

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور

راهنمای کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز

نشریه شماره ۶۴۶

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

<http://seso.moe.org.ir>

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

nezamfanni.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن

۳۳۲۷۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

Email: info@nezamfanni.ir

web: nezamfanni.ir

پیشگفتار

افزایش سریع جمعیت و محدودیت امکانات موجود، لزوم استفاده بهینه از منابع آب را ضروری می‌نماید. بر این اساس وجود یک راهنمای جامع درخصوص اخذ و مدیریت بهینه اطلاعات مکان مرجع جهت بررسی کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز و استفاده از علوم و فناوری‌های اطلاعاتی پیشرفته که نیاز به اندازه‌گیری و مشاهدات میدانی را کاهش می‌دهد، بیش از پیش احساس می‌شود.

با توجه به مطالب فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه نشریه «راهنمای کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز» را با هماهنگی امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی اجرایی کشور به این معاونت ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ ه مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

بدین وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت رئیس امور نظام فنی جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد ابراهیم‌نیا و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران را آرزومند می‌باشد. امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاون نظارت راهبردی

پاییز ۱۳۹۲

تهیه و کنترل «راهنمای کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در

استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز» [نشریه شماره ۶۴۶]

مجری: معاونت پژوهشی دانشگاه تهران

مؤلف اصلی: محمودرضا دلاور دانشگاه تهران
دکترای مهندسی نقشه‌برداری -
سیستم‌های اطلاعات مکانی

اعضای گروه تهیه‌کننده:

محمودرضا دلاور دانشگاه تهران
دکترای مهندسی نقشه‌برداری -
سیستم‌های اطلاعات مکانی

عبدالوحید آغاسی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
میرابوالفضل مصطفوی دانشگاه لاول، کانادا
دکترای مهندسی نقشه‌برداری -
سیستم‌های اطلاعات مکانی

عبدالعلی قبادی شرکت مهندسی مه‌باب قدس
کوروش کریمی زند دانشگاه تهران
مهدی حسنلو دانشگاه تهران
دکترای مهندسی نقشه‌برداری - سنجش
از دور

سینا تقوی کیش دانشگاه تهران
فرید کریمی‌پور دانشگاه تهران
سعيد نادی دانشگاه اصفهان
دکترای مهندسی نقشه‌برداری -
سیستم‌های اطلاعات مکانی

هانی رضائیان دانشگاه خوارزمی
آرمان عظیمی دانشگاه تهران
عباس شیخ محمدزاده دانشگاه تهران
دکترای مهندسی نقشه‌برداری -
سیستم‌های اطلاعات مکانی

میثم عفتی دانشگاه تهران
فوق لیسانس مهندسی نقشه‌برداری -
سیستم‌های اطلاعات مکانی

فوق لیسانس مهندسی عمران
فوق لیسانس مهندسی عمران
دکترای مهندسی نقشه‌برداری - سنجش
از دور

فوق لیسانس مهندسی نقشه‌برداری -
سنجش از دور

فوق لیسانس مهندسی نقشه‌برداری -
سنجش از دور

فوق لیسانس مهندسی نقشه‌برداری -
سنجش از دور

فوق لیسانس مهندسی نقشه‌برداری -
سنجش از دور

فوق لیسانس مهندسی نقشه‌برداری -
سنجش از دور

اعضای گروه نظارت:

لیسانس زمین‌شناسی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فضلعلی جعفریان
لیسانس عمران	شرکت آبتین تندیس ایده	محمد حمزه دوست حسن گرد
فوق لیسانس عمران - آب	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی	مریم رحیمی فراهانی
	صنعت آب کشور - وزارت نیرو	

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

دکترای منابع آب	دانشگاه صنعتی شریف	احمد ابریشم چی
دکترای منابع آب	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	بهرام ثقفیان
لیسانس زمین‌شناسی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فضلعلی جعفریان
فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی	کارشناس آزاد	عباسقلی جهانی
دکترای علوم و مهندسی آبیاری	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)	پیمان دانش کار آراسته
فوق لیسانس عمران - آب	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی	مریم رحیمی فراهانی
	صنعت آب کشور - وزارت نیرو	

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه:

فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی
ساناز سرافراز	کارشناس منابع آب امور نظام فنی

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

مقدمه

۱

فصل اول - اصول و مفاهیم پایه در سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)

۵

۱-۱- کلیات

۷

۱-۲- تاریخچه و تعاریف

۷

۱-۲-۱- تعریف GIS

۸

۱-۳- منابع داده قابل استفاده

۹

۱-۴- مدل‌های داده مکانی

۹

۱-۴-۱- مدل داده سلولی

۹

۱-۴-۲- مدل داده برداری

۱۰

۱-۵- ساختارهای داده

۱۱

۱-۶- نحوه ورود داده به پایگاه داده

۱۲

۱-۶-۱- اخذ و رقومی‌سازی اطلاعات

۱۳

۱-۶-۲- منابع تهیه داده‌های مکانی

۱۳

۱-۶-۳- رقومی‌سازی

۱۳

۱-۶-۴- تصحیح و ویرایش داده‌ها

۱۳

۱-۶-۵- مرجع کردن داده‌ها

۱۴

۱-۷- خروجی‌های اطلاعات

۱۵

۱-۷-۱- خروجی کاغذی

۱۵

۱-۷-۲- خروجی رقومی

۱۵

۱-۸- انواع پردازش‌ها

۱۵

۱-۸-۱- توابع هیدرولوژیک

۱۶

۱-۸-۲- تجزیه و تحلیل‌های شبکه

۱۸

۱-۹- قابلیت تبادل اطلاعات

۱۹

۱-۱۰- محیط‌های رایانه‌ای قابل استفاده

۲۰

۱-۱۱- کیفیت اطلاعات

۲۱

۱-۱۲- مروری بر برخی پیشرفت‌های اخیر در سیستم‌های اطلاعات مکانی

۲۲

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۲۳	فصل دوم - راهنمای استفاده از قابلیت‌های GIS در مطالعات منابع آب
۲۵	۲-۱- هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های پایه
۲۵	۲-۱-۱- روش کار
۲۹	۲-۲- تهیه و کنترل کیفیت مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین (DEM)
۲۹	۲-۲-۱- تهیه مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین
۳۱	۲-۳- مروری بر روش‌های درون‌یابی در مدل‌های رقومی زمین (DTM)
۳۱	۲-۳-۱- روش‌های درون‌یابی سراسری و محلی
۳۷	۲-۳-۲- معیارهای انتخاب روش مناسب درون‌یابی
۳۸	۲-۳-۳- کیفیت مدل‌های رقومی زمین
۴۰	۲-۴- کاربردهای GIS در مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز
۴۰	۲-۴-۱- محصولات قابل استخراج از مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین
۴۷	۲-۵- کاربردهای GIS در تعیین توزیع مکانی پارامترهای اقلیمی
۴۷	۲-۶- بررسی راهکارهای انتخاب و کاربرد مدل‌های رقومی زمین (DTM) برای مطالعات منابع آب
۴۷	۲-۶-۱- تهیه نقشه هم باران
۴۹	۲-۶-۲- تهیه نقشه هم فشار
۴۹	۲-۶-۳- تهیه نقشه هم دما
۵۰	۲-۶-۴- تهیه نقشه هم تبخیر
۵۰	۲-۷- استخراج پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی بارش رواناب حوضه‌های آبریز
۵۰	۲-۷-۱- تهیه ورودی‌های مکانی مدل HEC-HMS، HEC-GEOHMS، HEC-GeoRAS و WMS با استفاده از GIS
۵۵	۲-۷-۲- تهیه هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH)
۵۶	۲-۸- استخراج پارامترهای مدل‌های متداول فرسایش مانند مدل فرسایش جهانی و PSIAC
۵۶	۲-۸-۱- معرفی معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)
۵۹	۲-۸-۲- معرفی مدل PSIAC
۶۱	۲-۹- تلفیق پارامترهای فیزیوگرافی، اقلیمی و پیکره زمین (زمین و خاک) برای تعیین حوضه‌های همگن
۶۱	۲-۱۰- کاربرد GIS در مطالعات آب‌های زیرزمینی

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۶۱	۲- ۱۰- ۱- ساماندهی داده‌ها و تولید لایه‌های اطلاعاتی پایه آب‌های زیرزمینی
۸۵	فصل سوم - اصول و مفاهیم پایه سنجش از دور
۸۷	۳- ۱- کلیات
۸۸	۳- ۲- اصول و مفاهیم پایه در سنجش از دور
۸۸	۳- ۲- ۱- تاریخچه و تعاریف
۸۹	۳- ۲- ۲- مروری بر فیزیک سنجش از دور
۹۱	۳- ۲- ۳- مزایا و ویژگی‌های سنجش از دور
۹۳	۳- ۲- ۴- طبقه‌بندی سیستم‌های سنجش از دور
۹۳	۳- ۲- ۵- سکوها و سنجنده‌ها در سنجش از دور
۹۴	۳- ۲- ۶- انواع داده‌ها در سنجش از دور
۹۴	۳- ۲- ۷- مروری بر داده‌های سنجش از دور قابل استفاده در مطالعات منابع آب
۹۴	۳- ۲- ۸- اصول پردازش تصویر
۹۵	۳- ۲- ۹- تصحیحات قابل اعمال در پردازش تصویر در سنجش از دور
۱۰۰	۳- ۲- ۱۰- آشکارسازی تغییرات با استفاده از سنجش از دور
۱۱۳	۳- ۲- ۱۱- محیط‌های نرم‌افزاری در پردازش رقومی تصاویر سنجش از دور
۱۱۵	فصل چهارم - راهنمای استخراج عوامل موثر در مطالعات منابع آب با استفاده از سنجش از دور
۱۱۷	۴- ۱- نمایش توزیع فضایی گستره‌های آبی
۱۱۹	۴- ۲- نمایش توزیع فضایی و تغییرات زمانی پوشش گیاهی
۱۲۰	۴- ۲- ۱- روش‌های متعامد
۱۲۰	۴- ۲- ۲- روش‌های نسبی
۱۲۱	۴- ۲- ۳- روش‌های مرکب
۱۲۲	۴- ۲- ۴- روش‌های تشخیص تغییرات پوشش گیاهی
۱۲۳	۴- ۳- تعیین گستره مناطق برخی حوضه‌های آبریز
۱۲۴	۴- ۴- تهیه نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی
۱۲۴	۴- ۴- ۱- معیارهای طبقه‌بندی
۱۲۵	۴- ۴- ۲- کلاس‌های کلی طبقه‌بندی و انتخاب تصویر مناسب
۱۲۶	۴- ۴- ۳- کلاس‌های نمونه استفاده شده در سطوح I, II, III

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۱۳۱	۴-۴-۴- مراحل مختلف تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی
۱۳۲	۴-۴-۵- شناسایی تغییرات در نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی
۱۳۳	۴-۵- بررسی امکان کاربرد سنجش از دور در برآورد کیفیت آب
۱۳۳	۴-۵-۱- مدل‌های کیفیت آب
۱۳۵	۴-۵-۲- برآورد عمق کدري به‌وسیله بشقاب سچی (سنجش کدري آب)
۱۳۹	۴-۵-۳- رنگ
۱۴۰	۴-۵-۴- بررسی آلاینده‌های حرارتی
۱۴۰	۴-۵-۵- روش تعیین گیاهان آبی
۱۴۲	۴-۶- تهیه نقشه حرارت‌سنجی به کمک سنجش از دور
۱۴۳	۴-۶-۱- تهیه نقشه حرارتی سطوح پیکره‌های آبی با تصاویر سنجنده MODIS
۱۴۴	۴-۶-۲- تهیه نقشه حرارتی سطوح خشکی با تصاویر سنجنده AVHRR
۱۴۶	۴-۷- تدقیق محاسبات تبخیر و تعرق با کمک داده‌های سنجش از دور
۱۵۱	۴-۸- کمک به برآورد رطوبت خاک به منظور استفاده در معادلات بیلان منابع آب
۱۵۲	۴-۸-۱- فیزیک مساله
۱۵۴	۴-۸-۲- الگوریتم خط پایه AMSR-E
۱۵۷	۴-۹- کمک به پهنه‌بندی سیل
۱۵۸	۴-۹-۱- الگوریتم تشخیص تغییرات
۱۵۹	۴-۹-۲- توانمندی سنجش از دور در پیش‌بینی و هشدار سیل
۱۶۱	۴-۱۰- بررسی کاربردهای سنجش از دور در مطالعات فرسایش حوضه‌های آبریز
۱۶۱	۴-۱۰-۱- کاربردهای سنجش از دور در مطالعات فرسایش حوضه آبریز
۱۶۱	۴-۱۰-۲- روش به‌کارگیری داده‌های تهیه شده
۱۶۲	۴-۱۱- تعیین حدود پیکره‌های تبخیری (پلایا)
۱۶۲	۴-۱۱-۱- باندهای مرئی
۱۶۲	۴-۱۱-۲- روش‌هایدن
۱۶۲	۴-۱۲- تعیین مرزهای آبخوان
۱۶۳	۴-۱۲-۱- شناسایی داده‌های سنجش از دوری مورد استفاده در استخراج مرز آبخوان

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۱۶۴	۴-۱۲-۲- انتخاب تصاویر
۱۶۴	۴-۱۳- تفکیک سطحی آبرفت‌ها با توجه به دانه‌بندی
۱۶۵	۴-۱۴- مطالعات زمین‌شناسی به وسیله سنجش از دور
۱۶۵	۴-۱۴-۱- موارد استفاده تصاویر هوایی و ماهواره‌ای
۱۶۷	۴-۱۴-۲- راه‌های مختلف تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی
۱۷۱	فصل پنجم - پیاده‌سازی
۱۷۳	۵-۱- نمایش توزیع فضایی گستره‌های آبی
۱۷۳	۵-۱-۱- داده‌های کاربردی
۱۷۴	۵-۱-۲- تعیین پهنه‌های آبی با استفاده از روش اول
۱۷۴	۵-۱-۳- تعیین پهنه‌های آبی با استفاده از روش دوم
۱۷۵	۵-۲- نمایش توزیع فضائی پوشش گیاهی
۱۷۵	۵-۲-۱- داده‌های کاربردی
۱۷۶	۵-۲-۲- ترسیم نمودار پراکندگی و خط خاک
۱۷۶	۵-۲-۳- محاسبه شاخص‌های مختلف
۱۷۸	۵-۲-۴- تعیین مناطق با پوشش گیاهی
۱۸۱	۵-۳- تهیه نقشه دماسنجی سطح آب دریا
۱۸۱	۵-۳-۱- داده‌های به‌کار گرفته شده
۱۸۲	۵-۳-۲- زمین مرجع نمودن تصاویر دمای سطح آب دریا
۱۸۳	۵-۳-۳- محاسبه دمای سطح آب دریا
۱۸۵	۵-۴- تعیین حدود پیکره‌های تبخیری (پلایا)
۱۸۵	۵-۴-۱- فرآوری تصاویر
۱۸۹	۵-۴-۲- ایجاد فضای سه باندی HSI
۱۹۱	۵-۴-۳- تفکیک پلایا
۱۹۱	۵-۵- تهیه نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی
۱۹۳	۵-۵-۱- تشکیل تصویر ۷ باندی
۱۹۵	۵-۵-۲- حذف نمودن ابرها
۱۹۶	۵-۵-۳- حذف منابع آب

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۱۹۷	۵-۴- طبقه‌بندی بدون نظارت
۱۹۹	۵-۵- طبقه‌بندی نظارت شده
۲۰۰	۵-۶- نمونه‌برداری زمینی
۲۰۰	۵-۷- انتقال اطلاعات به ArcGIS
۲۰۱	۵-۶- برآورد رطوبت خاک به وسیله سنجنده AMSR-E
۲۰۱	۵-۶-۱- مرحله اول: فرآوری تصاویر و داده‌های جانبی
۲۰۹	۵-۶-۲- مرحله دوم: تشکیل ترکیب تصاویر
۲۱۳	پیوست ۱- قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی در مطالعات منابع آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی
۲۳۹	پیوست ۲- معرفی ArcHydro و نحوه استفاده از آن در مطالعات منابع آب
۲۷۷	منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

۸	شکل ۱-۱- اجزای اصلی یک GIS
۱۰	شکل ۲-۱- نمایش مدل داده سلولی
۱۰	شکل ۳-۱- نمایش عوارض در مدل داده‌برداری و سلولی
۱۲	شکل ۴-۱- تبدیل داده‌ها به اطلاعات در یک سیستم اطلاعاتی
۱۲	شکل ۵-۱- سطوح جزئیات در سازماندهی داده‌ها
۱۴	شکل ۶-۱- خطاهای مربوط به عدم اتصال لبه‌ها
۱۷	شکل ۷-۱- نمایش مقطع یک Sink
۱۷	شکل ۸-۱- نمایش شماتیک نحوه عملکرد تابع تعیین جهت جریان
۱۷	شکل ۹-۱- نحوه عملکرد تابع تجمع جریان
۱۸	شکل ۱۰-۱- نمایش شماتیک مفهوم Watershed
۱۸	شکل ۱۱-۱- خروجی تابع تولید شبکه جریان
۳۵	شکل ۱-۲- چندضلعی‌های تیسن
۳۶	شکل ۲-۲- محاسبه بر اساس سه همسایگی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴۱	شکل ۳-۲- نمایش شماتیک همسایگی ۳×۳ روی یک DEM
۴۳	شکل ۴-۲- شبکه جهت‌نما
۴۵	شکل ۵-۲- رتبه‌بندی آبراهه‌ها
۴۶	شکل ۶-۲- منحنی هم ارزش مربوط به ارتفاع ۵۰ متر
۴۷	شکل ۷-۲- نمایش نیمرخ طولی
۴۸	شکل ۸-۲- نقشه هم بارش براساس DTM
۴۹	شکل ۹-۲- نقشه مناطق هم بارش استان بوشهر بر اساس چندضلعی‌های تپسن
۵۱	شکل ۱۰-۲- ارتباط GIS و HMS و GeoHMS
۵۸	شکل ۱۱-۲- گراف مراحل تهیه نقشه فرسایش خاک با استفاده از GIS
۷۶	شکل ۱۲-۲- رابطه بار هیدرولیکی و ضخامت آبخوان با سطح زمین، سطح آب زیرزمینی، سنگ کف و سطح مبنا
۷۷	شکل ۱۳-۲- شمایی از حدود و هندسه آبخوان
	شکل ۱۴-۲- نمایش ارتباط منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی (الف) جریان سطحی زهکشی می کند (ب)
۷۸	جریان سطحی تغذیه می کند
	شکل ۱۵-۲- تعیین (الف) جهت شیب، نمایش موقعیت یک منبع آلاینده (ب) توزیع شدت آلودگی با استفاده
۷۹	از نقشه شیب
۸۸	شکل ۱-۳- جریان انرژی و اطلاعات در سنجش از دور
۸۹	شکل ۲-۳- میدان الکترومغناطیسی
۹۰	شکل ۳-۳- طیف الکترومغناطیس
۹۱	شکل ۴-۳- الف- پراکنش نور در هنگام برخورد با جو. ب- جذب نور در هنگام برخورد با جو
۹۱	شکل ۵-۳- سه نوع برخورد انرژی با اشیا
۹۳	شکل ۶-۳- طبقه‌بندی سامانه‌های سنجش از دور
۹۷	شکل ۷-۳- الف- خط‌خطی شدن . ب- خط جامانده
۹۷	شکل ۸-۳- موزاییک چند تصویر از یک سنجنده
۹۹	شکل ۹-۳- فرآیند ثبت هندسی
۱۰۰	شکل ۱۰-۳- الف- نزدیک‌ترین همسایگی ب- درون‌یابی دوخطی ج- کانولوشن مکعبی
۱۱۷	شکل ۱-۴- منحنی رفتار طیفی آب دریا
۱۱۹	شکل ۲-۴- انعکاس باندهای قرمز و فروسرخ برای سلول‌های تصویری مختلف تصویر

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

۱۳۲	شکل ۳-۴- روند انجام تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی
۱۳۳	شکل ۴-۴- تغییرات فصلی در الف- چمنزار. ب- جنگل‌های خزان‌شو
۱۳۶	شکل ۵-۴- بشقاب سچی
۱۳۸	شکل ۶-۴- منحنی بازتاب طیفی برای میانگین‌های عددی باندهای هر یک از ۱۰ کلاس
	شکل ۷-۴- نقشه‌برداری هیدرو اکوستیک (الف) نمایی از عملیات هیدرو اکوستیک (ب) شدت اکو به صورت رنگی
۱۴۰	(مقیاس ستون سمت dB، محور قائم سمت راست عمق به متر و محور افقی فاصله‌ی مسیر حرکت به متر)
۱۴۲	شکل ۸-۴- تصویر طبقه‌بندی شده گیاهان آبی در دریاچه Swan به‌وسیله تصاویر IKONOS
۱۵۰	شکل ۹-۴- توزیع دو بعدی VI-T
۱۵۲	شکل ۱۰-۴- الف- سطح زمین از دید یک سنجنده مایکروویو ب- سطح زمین، آنچه بشر می‌بیند
۱۶۰	شکل ۱۱-۴- مراحل پایش پیکره‌های آبی و سیل
۱۶۶	شکل ۱۲-۴- انعکاس طیفی مواد مختلف در طول موج‌های مختلف (NASA)
۱۶۸	شکل ۱۳-۴- مراحل اصلی و بررسی عناصر سطحی زمین
۱۶۹	شکل ۱۴-۴- نمودار مقادیر بازتابی در باندهای ۴ و ۷ MSS به‌دست آمده به‌وسیله رادیومترهای میان‌گذر
۱۶۹	شکل ۱۵-۴- نمودار مقادیر بازتابی در باندهای ۵ و ۷ MSS به‌دست آمده به‌وسیله رادیومترهای میان‌گذر
۱۷۰	شکل ۱۶-۴- نمودار مقادیر بازتابی در باندهای ۴ و ۵ MSS به‌دست آمده به‌وسیله رادیومترهای میان‌گذر
۱۷۳	شکل ۱-۵- الف- تصویر منطقه مورد بررسی، ب- باند ۲، ج- باند ۵، د- باند ۷
۱۷۴	شکل ۲-۵- الف- نمودار طیفی باند ۵، ب- نمودار طیفی باند ۷
۱۷۴	شکل ۳-۵- پهنه آبی استخراج شده به روش اول
۱۷۴	شکل ۴-۵- پهنه آبی استخراج شده به روش دوم
۱۷۵	شکل ۵-۵- الف- تصویر منطقه مورد بررسی، ب- تصویر باند قرمز،
۱۷۵	ج- تصویر باند فرورسرخ، د- پراکندگی پیکسل‌های دو باند قرمز و فرورسرخ
۱۷۶	شکل ۶-۵- اندازه شیب و پارامترهای مرتبط
۱۷۷	شکل ۷-۵- الف- NDVI، ب- DVI، ج- RVI، د- IPVI، ه- SAVI، ر- PVI، س- WDVI
۱۷۸	شکل ۸-۵- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از NDVI
۱۷۸	شکل ۹-۵- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از DVI

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۷۹	شکل ۵-۱۰- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از RVI
۱۷۹	شکل ۵-۱۱- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از IPVI
۱۸۰	شکل ۵-۱۲- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از SAVI
۱۸۰	شکل ۵-۱۳- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از PVI
۱۸۱	شکل ۵-۱۴- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از WDVI
۱۸۱	شکل ۵-۱۵- تصویر منطقه مورد بررسی از ماهواره MODIS.
	شکل ۵-۱۶- الف- تصویر ماهواره‌ای MODIS قبل از زمین مرجع نمودن ب- تصویر ماهواره‌ای MODIS بعد از زمین مرجع نمودن
۱۸۲	شکل ۵-۱۷- نحوه چیدمان نقاط کنترل زمینی تصویر ماهواره‌ای MODIS.
۱۸۴	شکل ۵-۱۸- نقشه دمای سطح آب دریای خزر
۱۸۴	شکل ۵-۱۹- تصویر HDF الف- MOD03. ب- MOD28L2.
	شکل ۵-۲۰- تصویر رنگ طبیعی سنجنده ETM+ ماهواره Landsat از منطقه دریاچه نمک و دریاچه حوض سلطان ۱۸۵
۱۸۸	شکل ۵-۲۱- الف- تصویر خام باند ۲۹ سنجنده MODIS ب- تصویر زمین مرجع شده
	شکل ۵-۲۲- تصاویر باندهای مورد نیاز جهت تعیین پیکره‌های تبخیری. الف- باند ۶ سنجنده ETM+ ب- باند ۴ سنجنده ETM+ ج- تصویر قطع شده و نمونه‌برداری مجدد شده به ۲۸/۵ متری، باند ۲۹ سنجنده MODIS. ۱۹۰
۱۹۱	شکل ۵-۲۳- ترکیب رنگی HSI پلایاها به رنگ زرد.
۱۹۲	شکل ۵-۲۴- الگوریتم مراحل به کار برده شده برای تفکیک مناطق آبی
۱۹۵	شکل ۵-۲۵- تصویر طبیعی سنجنده ETM+ ماهواره Landsat بخشی از منطقه دریاچه ارومیه،
۱۹۵	آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و دریاچه سد ارس
۱۹۶	شکل ۵-۲۶- تصویر شکل ۵-۲۵ عاری شده از ابر شده
۱۹۷	شکل ۵-۲۷- تصویر ۵-۲۵ عاری شده از ابر و پیکره‌های آبی
۲۰۰	شکل ۵-۲۸- طبقه‌بندی نهایی و نام کلاس‌ها برای تصویر ۳۳-۱۶۹ سنجنده ETM+ ماهواره Landsat
	شکل ۵-۲۹- تصاویر (الف)، (ج)، (ه) و (ز) به ترتیب حرارت ظاهری خام در باندهای ۷۶، H۶، ۷۱۰/۶۵ و H۱۰/۶۵ می‌باشد و (ب)، (د)، (و) و (ح) به ترتیب زمین مرجع شده‌ی همان تصاویر است. تصاویر (ط) و (ی) نیز
۲۰۵	نقشه خشکی-اقیانوس خام و زمین مرجع شده می‌باشند.
۲۰۶	شکل ۵-۳۰- (الف) موقعیت تصویر بر روی نقشه جهان که با رنگ متفاوت قابل رویت است
۲۰۶	(ب) نمونه‌ای از تصاویر حاصله برای گذر صعودی

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

۲۰۷	شکل ۵-۳۱-الف- تصویری از NDVI ماه فوریه با سیستم مختصات هم مساحت آزیموتی لامبرت و
۲۰۷	ب- همان تصویر با سیستم مختصات جغرافیایی
۲۰۹	شکل ۵-۳۲-نمایی از داده درصد جرمی لای Webb با سیستم مختصات طول و عرض جغرافیایی
۲۱۱	شکل ۵-۳۳-الگوریتم تعیین رطوبت خاک سنجنده AMSR
۲۱۲	شکل ۵-۳۴-تصویر رطوبت خاک مربوط به روز ۶ ژانویه سال ۲۰۰۷ از تمامی جهان
۲۱۵	شکل پ.۱-۱- محدوده حوضه بهار همدان به عنوان منطقه مورد بررسی
۲۱۶	شکل پ.۱-۲- نقشه توپوگرافی حوضه
۲۱۷	شکل پ.۱-۳- مشخصات جغرافیایی آبخوان
۲۱۸	شکل پ.۱-۴- نقشه شیب حوضه
۲۱۹	شکل پ.۱-۵- نقشه جهت شیب حوضه
۲۲۰	شکل پ.۱-۶- نقشه جهت جریان
۲۲۰	شکل پ.۱-۷-المان‌های جهت جریان
۲۲۱	شکل پ.۱-۸- نقشه تجميع جریان
۲۲۲	شکل پ.۱-۹- نقشه مقایسه آبراهه‌های موجود و محاسباتی
۲۲۳	شکل پ.۱-۱۰- نقشه قطعه‌بندی آبراهه‌ها
۲۲۶	شکل پ.۱-۱۱-الف- نقشه هم دمای حوضه در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۶
۲۲۷	شکل پ.۱-۱۱-ب- نقشه هم دمای حوضه در سال ۱۳۷۷ (دنباله)
۲۲۷	شکل پ.۱-۱۱-ج- نقشه هم دمای حوضه در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۱ (دنباله)
۲۲۸	شکل پ.۱-۱۱-د- نقشه هم دمای حوضه در سال ۱۳۸۵ (دنباله)
۲۲۸	شکل پ.۱-۱۲-الف- نقشه هم تبخیر برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۶
۲۲۹	شکل پ.۱-۱۲-ب- نقشه هم تبخیر برای سال ۱۳۷۷ (دنباله)
۲۲۹	شکل پ.۱-۱۲-ج- نقشه هم تبخیر برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۱ (دنباله)
۲۳۰	شکل پ.۱-۱۲-د- نقشه هم تبخیر برای سال ۱۳۸۵ (دنباله)
۲۳۰	شکل پ.۱-۱۳- نمودار فرازسنجی
۲۳۲	شکل پ.۱-۱۴- نقشه پراکندگی قنات حوضه

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲۳۲	شکل پ.۱- ۱۵- نقشه پراکندگی چاه‌های حوضه
۲۳۳	شکل پ.۱- ۱۶- نقشه پراکندگی چشمه‌های حوضه
۲۳۳	شکل پ.۱- ۱۷- نقشه هم تراز حوضه
۲۳۴	شکل پ.۱- ۱۸- نقشه‌های هم ضخامت حوضه
۲۳۴	شکل پ.۱- ۱۹- نقشه هم عمق آب زیرزمینی حوضه
۲۳۶	شکل پ.۱- ۲۰- نقشه خطوط هم ارزش TDS
۲۳۷	شکل پ.۱- ۲۱- نقشه خطوط هم‌ارزش کلر حوضه
۲۳۸	شکل پ.۱- ۲۲- نقشه خطوط هم‌ارزش PH حوضه
۲۴۱	شکل پ.۲- ۱- تابع DEM Reconditioning
۲۴۲	شکل پ.۲- ۲- منوی خروجی تابع DEM Reconditioning
۲۴۲	شکل پ.۲- ۳- تابع Fill Sinks
۲۴۳	شکل پ.۲- ۴- منوی خروجی تابع Fill Sinks
۲۴۳	شکل پ.۲- ۵- تابع Flow Direction
۲۴۴	شکل پ.۲- ۶- نمونه‌ای از خروجی تابع Flow Direction
۲۴۵	شکل پ.۲- ۷- تابع Flow Direction
۲۴۵	شکل پ.۲- ۸- خروجی تابع
۲۴۶	شکل پ.۲- ۹- تابع Stream Definition
۲۴۶	شکل پ.۲- ۱۰- خروجی تابع
۲۴۷	شکل پ.۲- ۱۱- مقدار آستانه برای مشخص نمودن آبراهه‌ها
۲۴۷	شکل پ.۲- ۱۲- تابع Stream Segmentation
۲۴۸	شکل پ.۲- ۱۳- لایه خروجی تابع
۲۴۸	شکل پ.۲- ۱۴- تابع Catchment Grid Delineation
۲۴۹	شکل پ.۲- ۱۵- خروجی تابع
۲۴۹	شکل پ.۲- ۱۶- تابع Catchment Polygon Processing
۲۵۰	شکل پ.۲- ۱۷- خروجی تابع
۲۵۰	شکل پ.۲- ۱۸- جدول توصیفات لایه‌ای Catchment
۲۵۱	شکل پ.۲- ۱۹- تابع Drainage Line Processing

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

۲۵۱	شکل پ.۲-۲۰ خروجی تابع
۲۵۲	شکل پ.۲-۲۱ تابع Drainage Line Processing
۲۵۳	شکل پ.۲-۲۲ خروجی تابع
۲۵۳	شکل پ.۲-۲۳ جدول محتویات
۲۵۳	شکل پ.۲-۲۴ جدول توصیفات لایه Catchment
۲۵۴	شکل پ.۲-۲۵ جدول توصیفات لایه Drainage Line
۲۵۴	شکل پ.۲-۲۶ تابع Drainage Point Processing
۲۵۵	شکل پ.۲-۲۷ خروجی تابع
۲۵۵	شکل پ.۲-۲۸ جدول توصیفات لایه جدید «Drainage Point»
۲۵۶	شکل پ.۲-۲۹ تابع Longest Flow Path for Catchment
۲۵۶	شکل پ.۲-۳۰ خروجی تابع
۲۵۷	شکل پ.۲-۳۱ جدول توصیفات لایه Longest Flow PathCat
۲۵۷	شکل پ.۲-۳۲ تابع Longest Flow Path for Adjoint Catchments
۲۵۸	شکل پ.۲-۳۳ خروجی تابع
۲۵۸	شکل پ.۲-۳۴ جدول توصیفات لایه ایجاد شده تابع Longest Flow Path Adjoint
۲۵۹	شکل پ.۲-۳۵ تابع Slope
۲۵۹	شکل پ.۲-۳۶ خروجی تابع
۲۶۰	شکل پ.۲-۳۷ تابع Slope Greater than 30
۲۶۰	شکل پ.۲-۳۸ معرفی لایه ورودی و خروجی تابع
۲۶۱	شکل پ.۲-۳۹ تابع Slope Greater than 30 and Facing North
۲۶۱	شکل پ.۲-۴۰ معرفی لایه ورودی و خروجی تابع
۲۶۲	شکل پ.۲-۴۱ تابع Weighted Flow Accumulation
۲۶۲	شکل پ.۲-۴۲ معرفی لایه ورودی و خروجی تابع
۲۶۳	شکل پ.۲-۴۳ منوی Watershed
۲۶۳	شکل پ.۲-۴۴ معرفی نام کلاس عارضه
۲۶۴	شکل پ.۲-۴۵ ایجاد نقطه

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲۶۴	شکل پ. ۲-۴۶- نحوه ایجاد یک عارضه Batch Point
۲۶۵	شکل پ. ۲-۴۷- جدول توصیفات لایه Batch Point
۲۶۵	شکل پ. ۲-۴۸- منوی ترسیم حوضه‌های آبخیز
۲۶۶	شکل پ. ۲-۴۹- تنظیمات جهت ترسیم حوضه‌های آبخیز
۲۶۶	شکل پ. ۲-۵۰- پیغام انجام شدن عملیات برای دو نقطه
۲۶۶	شکل پ. ۲-۵۱- حوضه‌های آبخیز ترسیم شده
۲۶۷	شکل پ. ۲-۵۲- جدول توصیفات لایه Batch Point
۲۶۷	شکل پ. ۲-۵۳- جدول توصیفات لایه Watershed Point
۲۶۷	شکل پ. ۲-۵۴- جدول توصیفات لایه Watershed
۲۶۸	شکل پ. ۲-۵۵- تنظیمات جهت ایجاد کلاس عارضه Batch Point
۲۶۸	شکل پ. ۲-۵۶- معرفی نام کلاس عارضه
۲۶۹	شکل پ. ۲-۵۷- معرفی فیلدهای Name و Description
۲۶۹	شکل پ. ۲-۵۸- انتخاب نقطه بر روی آبراهه
۲۷۰	شکل پ. ۲-۵۹- تابع Batch Subwatershed Delineation
۲۷۰	شکل پ. ۲-۶۰- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع
۲۷۰	شکل پ. ۲-۶۱- زیرحوضه‌ها
۲۷۱	شکل پ. ۲-۶۲- تابع Drainage Area Centroid
۲۷۱	شکل پ. ۲-۶۳- معرفی ناحیه و لایه خروجی تابع
۲۷۱	شکل پ. ۲-۶۴- پیغام محاسبه مراکز ثقل حوضه‌ها
۲۷۲	شکل پ. ۲-۶۵- تابع Longest Flow Path
۲۷۲	شکل پ. ۲-۶۶- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع
	شکل پ. ۲-۶۷- پیغام ایجاد ارتباط داده ای جدول توصیفات لایه تولید شده با جدول توصیفات کلاس عارضه
۲۷۳	Drainage Area
۲۷۳	شکل پ. ۲-۶۸- تابع Longest Flow Path USGS Method
۲۷۳	شکل پ. ۲-۶۹- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع مسیر جریان
۲۷۴	شکل پ. ۲-۷۰- پیغام انتخاب حوضه با طولانی‌ترین مسیر
۲۷۴	شکل پ. ۲-۷۱- تابع Longest Flow Path for Watersheds

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

۲۷۴	شکل پ. ۲-۷۲ تابع Longest Flow Path for Subwatersheds
۲۷۵	شکل پ. ۲-۷۳ تابع Flow Path Parameters
۲۷۵	شکل پ. ۲-۷۴ معرفی لایه ورودی و خروجی تابع
۲۷۵	شکل پ. ۲-۷۵ جدول توصیفات کلاس عارضه Longest Flow Path

فهرست جدول‌ها

عنوان

صفحه

۱۰	جدول ۱-۱ ویژگی‌های مدل‌های داده برداری و سلولی
۳۷	جدول ۲-۱ مقایسه روش‌های درون‌یابی
۵۳	جدول ۲-۲ اجزا داده‌های ورودی مدل HEC-HMS
۶۰	جدول ۲-۳ شاخص‌های ارزیابی برآورد رسوب در روش PSIAC
۶۰	جدول ۲-۴ رده‌بندی کلاس‌های فرسایش و خصوصیات آنها در نقشه پهنه‌بندی میزان فرسایش
۱۱۴	جدول ۳-۱ نرم‌افزارهای مورد ارزیابی
۱۱۴	جدول ۳-۲ مقایسه نرم‌افزارهای مورد ارزیابی با به توجه برخی از معیارهای مطرح شده
۱۲۵	جدول ۴-۱ سامانه‌های سلسله مراتبی پوشش طبیعی و کاربری اراضی اصلاح شده
	جدول ۴-۲ یک سامانه طبقه‌بندی برای نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی به‌وسیله سنجش از دور، اصلاح شده
۱۲۷	
۱۳۶	جدول ۴-۳ برخی سنجنده‌های مناسب برای تعیین SDT
۱۳۹	جدول ۴-۴ آلاینده‌ها و رنگ آنها در تصاویر رنگی
۱۴۳	جدول ۴-۵ ضرایب به‌دست آمده از مدل ECMWF برای محاسبه SST از الگوریتم MCSST
۱۴۴	جدول ۴-۶ ضرایب به‌دست آمده از رادیوساندها برای محاسبه SST از مدل MCSST
۱۴۵	جدول ۴-۷ ضرایب به‌کارگرفته شده برای محاسبه LST
۱۴۵	جدول ۴-۸ ضرایب گسیل‌مندی برای باندهای ۴ و ۵ سنجنده AVHRR برای ماهواره NOAA
۱۴۶	جدول ۴-۹ سنجش عوامل موثر در تعیین جریان‌های انرژی در سطح زمین به‌وسیله EOS
۱۴۹	جدول ۴-۱۰ پارامترهای مورد نیاز برای تعیین مقاومت سطحی شاخ و برگ گیاه
۱۵۱	جدول ۴-۱۱ مقایسه دو روش فعال و غیر فعال سنجش از دور مایکروویو برای تعیین رطوبت خاک

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۵۳	جدول ۴-۱۲- پارامترهای روابط (۴-۴۰) تا (۴-۴۷)
۱۵۶	جدول ۴-۱۳- مقادیر اولیه و محدوده قابل قبول برای الگوریتم
۱۵۸	جدول ۴-۱۴- ماهواره‌ها و کارایی آنها در مواجهه با سیل
۱۸۳	جدول ۵-۱- لیست لایه‌های فرمت HDF با سطح پردازش MOD03
	جدول ۵-۲- مشخصات باندهای یک کیلومتری موجود در داده L1A به‌طور خلاصه از پایگاه اینترنتی داده رنگ
۱۸۶	اکیانوس
۱۹۹	جدول ۵-۴- کلاس‌های مورد استفاده در پروژه
۲۲۴	جدول پ.۱-۱- اسامی ایستگاه‌ها و مشخصات جغرافیایی و شناسنامه‌ای ایستگاه‌های واقع در داخل محدوده مطالعاتی
۲۲۵	جدول پ.۱-۲- ایستگاه‌های انتخابی برای انجام مطالعات بارندگی از داخل و خارج از محدوده
۲۲۶	جدول پ.۱-۳- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده برای پارامتر دما

مقدمه

افزایش سریع جمعیت کشور و محدودیت امکانات موجود، لزوم استفاده بهینه از منابع را اجتناب ناپذیر می‌نماید. بدین ترتیب وجود یک راهنمای جامع در خصوص اخذ و مدیریت بهینه اطلاعات مکان مرجع جهت بررسی کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز و استفاده از علوم و فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی پیشرفته بیش از پیش احساس می‌شود. امروزه سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) جهت اخذ، ذخیره‌سازی، بازیابی، به‌هنگام‌سازی، پردازش، نمایش، کاربرد و تبادل اطلاعات مکان مرجع به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این رابطه جهت برآورد نحوه استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز و کاربردهای سیستم‌های اطلاعات مکانی و سنجش از دور در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، علوم و فنون مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این علوم و فنون می‌توان به مدل‌سازی رقومی زمین (DTM)، زمین آمار^۱، آمار مکان مرجع^۲، تجزیه و تحلیل‌های مکان مرجع^۳، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و ... اشاره نمود.

وجود آمار و اطلاعات دقیق، صحیح و به‌هنگام، عامل حیاتی برای کلیه برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و ... در کشور می‌باشد. در واقع از دیر باز آمار به عنوان یکی از زیرساخت‌های مهم توسعه در کشورها مد نظر بوده و همراه با تحولات علم و فناوری یکی از مهم‌ترین ابزارها و بسترهای توسعه محسوب شده است. از آنجا که آب به عنوان یکی از منابع اصلی توسعه پایدار محسوب می‌گردد، لذا برنامه‌ریزی جهت مطالعه سیستماتیک و استفاده بهینه از منابع محدود آب کشور با توجه به افزایش چشمگیر جمعیت و لزوم بهینه‌سازی منابع تولید و مدیریت تقاضا و مصرف آن، نیازمند وجود اطلاعات دقیق، صحیح، به‌هنگام و مکان مرجع است. در این راستا تهیه راهنمای کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز جهت استفاده مهندسين مشاور و دستگاه‌های اجرایی در فازهای مطالعاتی یا اجرایی به منظور ارائه روش‌های کاربردی در استفاده از قابلیت‌های علوم و فناوری‌های GIS و سنجش از دور در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز تهیه گردیده است.

هیدرولوژی به بررسی آب‌های موجود در سطح، زیر و اتمسفر زمین مانند رودخانه‌ها و دریاها، بارش باران و برف و ... می‌پردازد و شامل مسایلی مانند تخمین منابع آب موجود، مطالعه فرآیندهایی مانند نفوذ، تبخیر، ... و نیز مطالعه مسایلی مانند سیل و خشکسالی و ارائه استراتژی‌هایی برای مدیریت بهینه منابع آب می‌باشد. چرخه آب در طبیعت شامل مراحل است که به عنوان چرخه هیدرولوژی معروف می‌باشد. محاسبه بسیاری از پارامترهای موثر در چرخه آب نیازمند داده‌های مکانی می‌باشند که کمبود این داده‌ها یکی از محدودیت‌های عمده در این زمینه به حساب می‌آید.

1- Geostatistics
2- Spatial Statistics
3- Spatial Analyses

سنجش از دور به عنوان علم و فناوری اخذ اطلاعات از اجسام بدون تماس فیزیکی با آنها با تولید انواع داده‌های مکانی با قدرت‌های تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیومتریکی، با هزینه مقرون به صرفه به‌ویژه در مناطق وسیع و در زمان مورد نیاز و GIS به عنوان علم و فناوری اخذ، ذخیره‌سازی، بازیابی، به‌هنگام‌رسانی، پردازش، تلفیق، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، مدیریت، کاربرد، نمایش و تبادل اطلاعات مکان مرجع با ایجاد یک بستر مناسب بر مبنای فناوری اطلاعات برای مدیریت و تجزیه و تحلیل انواع داده‌های مکانی، دارای پتانسیل بسیار زیادی برای بهبود روش‌های محاسبه پارامترهای هیدرولوژیکی و انجام تحلیل‌های مورد نیاز می‌باشند.

امروزه با افزایش کاربردهای GIS و سنجش از دور (RS) در بسیاری از علوم، گرایش به استفاده از آنها برای مطالعات هیدرولوژیکی به‌صورت فزاینده‌ای افزایش یافته است. از اینرو ارائه راهکارها و دستورالعمل‌های علمی مناسب برای استفاده از این علوم و فنون در بهینه‌سازی روندهای سنتی مطالعات هیدرولوژیکی ضروری به نظر می‌رسد. نشریه حاضر در همین راستا و به منظور ارائه راهنمای علمی برای کاربردهای GIS و RS در محاسبه پارامترهای هیدرولوژیکی به‌صورت استاندارد و با کیفیت مطرح می‌گردد. فصل‌های ارائه شده در این راهنما، به تشریح اصول و مفاهیم پایه سیستم‌های اطلاعات مکانی و سنجش از دور و برخی کاربردهای آنها در هیدرولوژی مربوط می‌گردند. نحوه استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی و سنجش از دور و انجام برخی مطالعات موردی در فصول آتی این راهنما ارائه شده‌اند.

- هدف

راهنمای کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز با هدف ارائه روش‌های مختلف در به‌کارگیری توانایی‌ها و قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در انجام مطالعات منابع آب حوضه‌های آبریز تهیه گردیده، به گونه‌ای که با استفاده از الگوریتم‌ها، سیستم‌ها و محیط‌های رایانه‌ای بتوان با کیفیت مناسب، این پارامترها را استخراج نموده و مطالعات هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز مربوطه را انجام داد.

به‌طور کلی طرح‌های استفاده از منابع آب را می‌توان در چهار فاز مطالعاتی، برنامه‌ریزی و طراحی، اجرایی و مدیریتی تقسیم‌بندی نمود. راهنمای حاضر عمدتاً در چهارچوب فاز مطالعاتی جهت تعیین و استخراج پارامترهای موثر بر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز تدوین شده است. مطالعات منابع آب شامل مطالعات هواشناسی/اقلیم شناسی، هیدرولوژیکی (آب‌های سطحی) و آب‌های زیرزمینی است.

معرفی کلیات و موقعیت منطقه، شبکه سنجش، بررسی و ارزیابی کیفیت داده‌های آب و هواشناسی، تحلیل بارندگی، دما، نم نسبی، باد، ساعات روشنایی و تشعشع خورشیدی و تبخیر و تعرق، تحلیل وضعیت فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز، تهیه و تحلیل منحنی‌های هم ارزش و... از نیازهای اساسی مطالعات هواشناسی و اقلیم است. تهیه اطلاعات پوشش و شاخص‌های گیاهی، انجام مطالعات زمین آمار، تحلیل مدل‌های بارش - رواناب، تحلیل فرسایش و تحلیل سیلاب در

محیط‌های دو بعدی و سه بعدی و به‌ویژه در سیلاب‌دشت‌ها، تهیه و پردازش نقشه‌های رقومی و اطلاعات پایه برای مطالعات آب‌های سطحی و زیرزمینی، تهیه داده‌های ثانویه برای مطالعات آب‌های زیرزمینی و نحوه مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و... از مراحل مهم مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز است.

پیشرفت‌های اخیر در سنجش از دور (RS) از لحاظ کیفی و کمی از یک سو و قابلیت‌های فراوان موجود در این منابع اطلاعاتی، مانند پوشش وسیع و به‌هنگام بودن آنها باعث شده است که امروزه این تصاویر در بسیاری از کاربردهای زمینی به کار روند. از آنجا که بخش عمده‌ای از پارامترهای هیدرولوژیکی در زمره پارامترهای زمین مرجع قرار می‌گیرند، سنجش از دور پتانسیل بالایی در استخراج این پارامترها دارد. از سوی دیگر، یکی از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی، علاوه بر قابلیت مدیریت داده‌های مکانی، استخراج لایه‌های اطلاعات مکانی جدید از لایه‌های موجود با استفاده از عملگرها و توابع موجود در آن است. با توجه به آنکه برخی از پارامترهای هیدرولوژیکی به صورت غیرمستقیم و با استفاده از داده‌های مکانی دیگر به دست می‌آیند مانند استخراج شیب و جهت شیب از مدل رقومی زمین، این سیستم‌ها می‌توانند به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب برای استخراج پارامترهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند.

ارائه اطلاعات دقیق، صحیح، به‌هنگام، مکان مرجع، رقومی و نسبتاً ارزان قیمت از اقلیم منطقه تحت مطالعه به‌ویژه در حوضه‌های وسیع در طرح‌های شهری و روستایی، استانی، منطقه‌ای، ملی و فرا ملی با استفاده از سنجش از دور و استفاده از قابلیت‌های GIS در اخذ، ذخیره‌سازی، کنترل کیفیت، به‌هنگام‌رسانی، مدیریت، تلفیق، تحلیل، مدل‌سازی و شبیه‌سازی داده‌های مکانی و توصیفی باعث می‌گردد تا انجام مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، تسهیل، تسریع، تدقیق و مقرون به صرفه‌تر گردد. همچنین با امکان تلفیق حجم عظیم داده‌های حاصله از روش‌های زمینی، هوایی و ماهواره‌ای، می‌توان به ارتقا کمی و کیفی مطالعات هیدرولوژیکی پرداخت.

- دامنه کاربرد

این راهنما ضمن تشریح اصول و مفاهیم پایه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی موثر بر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، با تشریح انجام چند مطالعه موردی، به تست نتایج و راهکارهای ارائه شده پرداخته است. در این راهنما نحوه استخراج پارامترهای موثر بر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز که در تصاویر سنجش از دور با توجه به توان تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیومتریکی، قابل تشخیص و استخراج بوده و با توجه به قابلیت‌های تحلیلی مکان مرجع در GIS، قابل تلفیق، مدل‌سازی و مدیریت باشند ارائه گردیده است. لذا با توجه به قدرت تفکیک، مقیاس، کوچک‌ترین واحد مکانی مورد نیاز جهت تفکیک، ابعاد عوارض و ویژگی‌های طیفی و زمانی آنها در سنجش از دور و مسایل مربوط به ویژگی‌های هندسی، توپولوژیک و توصیفی اطلاعات هیدرولوژیکی از دیدگاه GIS و نحوه تعامل داده‌ها و سیستم‌ها، استانداردها، پایگاه‌های داده، اشتراک اطلاعاتی و قابلیت‌های تبادل داده‌ها، کیفیت اطلاعات، تنوع و حجم اطلاعاتی جهت تلفیق و تحلیل اطلاعات مکان مرجع، پارامترهای موثر در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز استخراج می‌گردد.

فصل ۱

اصول و مفاهیم پایه در سیستم‌های

اطلاعات مکانی (GIS)

۱-۱- کلیات

این فصل حاوی اطلاعاتی در ارتباط با اصول و مفاهیم پایه در سیستم‌های اطلاعات مکانی^۱ می‌باشد. هدف از ارائه این فصل، آشنایی با سیستم‌های اطلاعات مکانی و قابلیت‌های آن است. برای این منظور، ابتدا به بررسی تاریخچه شکل‌گیری این علم و فناوری و ارائه تعاریف مرتبط با آن خواهیم پرداخت. سپس با بررسی مدل‌ها و ساختارهای داده مکانی، نحوه ورود و خروج اطلاعات در GIS تشریح خواهد شد. به منظور آشنایی بیشتر با قابلیت‌هایی که این علم و فناوری می‌تواند ارائه دهد، انواع مختلف پردازش‌ها، قابلیت تبادل اطلاعات و همچنین محیط‌های رایانه‌ای مورد استفاده بررسی خواهند شد. با توجه به اهمیت نقش کیفیت اطلاعات در دقت نتایج به دست آمده، مباحث مربوط به کیفیت اطلاعات و در نهایت، نمونه‌هایی از پیشرفت‌های اخیر در علم GIS نیز ارائه خواهد گردید.

۱-۲- تاریخچه و تعاریف

در بسیاری از فعالیت‌های بشری، موقعیت مکانی بستری مناسب برای سایر اطلاعات به حساب می‌آید. تا آنجا که حدود ۸۰٪ از اطلاعات مورد استفاده، دارای مولفه‌های مکانی هستند. بخش عمده‌ای از این فعالیت‌ها، ذخیره‌سازی اطلاعات موجود و سپس برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل این داده‌ها است. با توسعه و پیشرفت علوم رایانه، سیستم‌های اطلاعاتی و پایگاه‌های داده به منظور مدیریت بهینه اطلاعات شکل گرفتند. اما از آنجا که این سیستم‌ها از مولفه‌های مکانی داده‌ها حمایت نمی‌کردند، نتوانستند کارایی مناسبی را برای مدیریت اطلاعات مکانی ارائه دهند. از این رو نیاز به سیستم‌های اطلاعاتی با قابلیت‌های ویژه در مدیریت داده‌های مکانی ضروری می‌نمود.

اولین نمونه‌ای که قابلیت‌های فوق‌الذکر را در قالب یک چهارچوب رسمی بر مبنای فناوری‌های رایانه‌ای مهیا نمود، سیستم اطلاعات مکانی کانادا^۲ می‌باشد که در سال ۱۹۶۳ به منظور مدیریت اطلاعات ملی کشور کانادا ایجاد گردید. اکنون پس از گذشت حدود پنجاه سال از ایجاد اولین نمونه عملی GIS، استفاده از این سیستم‌ها به عنوان یک جز لاینفک در اغلب تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های سازمانی و حتی کاربری‌های عمومی به حساب می‌آید.

1- Geospatial Information Systems (GIS)

2- Canada Geographic Information System (CGIS)

۱-۲-۱- تعریف GIS

GIS مجموعه‌ای از سخت‌افزار، نرم‌افزار، الگوریتم‌ها و روش‌ها، افراد و داده‌های مکان مرجع است که قابلیت جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، بازیابی، تغییر و تحول، تحلیل و نمایش داده‌ها را به منظور فراهم نمودن اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری دارا می‌باشد (شکل ۱-۱).

تعریف فوق، تعریفی کلی از GIS می‌باشد. در حالت کلی، به GIS با سه تفکر مختلف می‌توان نگریست که در هر یک از آنها بر روی یکی از کاربردهای GIS تاکید بیش‌تری شده است:



شکل ۱-۱- اجزای اصلی یک GIS

- نگرش ابزار - مبنا یا نقشه - مبنا^۱: در اینجا، GIS به صورت مجموعه‌ای قوی از قابلیت‌ها و توابع مورد استفاده جهت جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، بازیابی، تبدیل و نمایش داده‌های مکان مرجع دنیای واقعی تعریف می‌گردد. در این نگرش، GIS تنها به عنوان سیستمی استفاده می‌شود که نیازهای روزمره را مدنظر دارد و در مواردی، برخی از تحلیل‌های ساده مورد نیاز را انجام می‌دهد.
- نگرش پایگاه داده^۲: در این نگاه، GIS به عنوان یک پایگاه داده تعریف می‌شود که بخش اعظم داده‌های آن، مکانی هستند و علاوه بر آن قابلیت‌هایی برای پاسخ به پرسش‌هایی در ارتباط با اجزای مکانی موجود در پایگاه داده وجود دارد. تعریفی که در اینجا ارائه می‌گردد، انتظارات بیش‌تری نسبت به نگرش قبلی از GIS را دارا است. زیرا در اینجا GIS باید بتواند به پرسش‌های مکانی پیچیده‌تری پاسخ دهد و به همین دلیل نیازمند طراحی هوشمندانه‌تر و پیچیده‌تری است.

1- Toolbox-Based or Map-based View

2- Database View

- نگرش سازمانی^۱: در اینجا، GIS به عنوان سیستمی در نظر گرفته می‌شود که بخش اعظم نیازهای کاربران را به صورت اتوماتیک انجام می‌دهد. بر این اساس، GIS مجموعه‌ای از توابع است که قابلیت‌های پیشرفته‌ای را در ذخیره‌سازی، بازیابی، تغییر و تحول و نمایش داده‌های مکانی ارائه می‌دهد.

با توجه به این تعاریف، سیستمی که برای پاسخگویی به نیازهای اطلاعاتی موجود در مطالعات هیدرولوژی حوضه مورد نیاز خواهد بود منطبق با نگرش سوم می‌باشد که در آن علاوه بر مدیریت داده‌ها، قابلیت تحلیل و پردازش داده‌ها و همچنین تولید اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری را دارا خواهد بود.

۱-۳- منابع داده قابل استفاده

به طور کلی، جمع‌آوری و تولید داده‌های مکانی می‌تواند از طرق زیر صورت گیرد:

- منابع اولیه جمع‌آوری و تولید داده‌های مکانی
 - نقشه‌برداری زمینی، ژئودزی، نقشه‌برداری ماهواره‌ای مانند سیستم‌های جهانی تعیین موقعیت^۲
 - فتوگرامتری
 - سنجش از دور
- منابع ثانویه جمع‌آوری و تولید داده‌های مکانی
 - رقومی یا اسکن نمودن نقشه‌های کاغذی موجود
 - استفاده از نقشه‌های موجود

۱-۴- مدل‌های داده مکانی

مدل داده، برای ذخیره‌سازی و نمایش اشیا مکانی موجود در جهان واقعی در یک پایگاه داده مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور دو نوع مدل داده برداری و سلولی (شبکه‌ای) و تلفیق آنها قابل استفاده می‌باشد.

۱-۴-۱- مدل داده سلولی

مدل داده سلولی، ساده‌ترین نوع نمایش سطح است. در این مدل، سطح مورد نظر، به قطعاتی با اشکال منظم (مثلث، مربع، شش ضلعی و ...) تقسیم شده و سپس مقدار پارامتر مورد نظر برای هر یک از سلول‌ها ذخیره می‌شود (شکل ۱-۲). نکته حایز اهمیت آن است که در این حالت، به هر سلول یک و فقط یک مقدار قابل تخصیص است و ذخیره‌سازی بیش از یک پارامتر، در فایل‌های مجزا قابل انجام است.

1- Organization View

2- Global Positioning System (GPS)

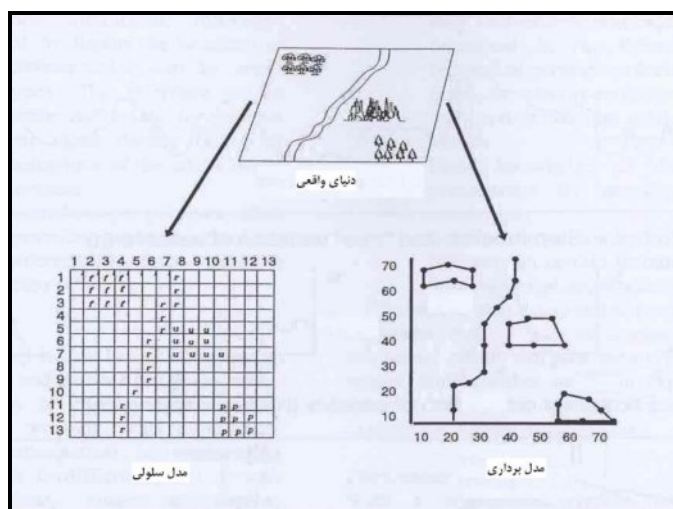


W	E	G
W	E	G
E	E	G

شکل ۱-۲- نمایش مدل داده سلولی

۱-۴-۲- مدل داده برداری

مدل داده برداری، برای ذخیره‌سازی و نمایش موقعیت مکانی عوارض نقطه‌ای، خطی، سطحی و یا حجمی به کار می‌رود. مولفه پایه در این مدل داده، نقطه است و خط و سطح از متصل نمودن نقاط به دست می‌آید. در واقع، هر شی در مدل داده برداری توسط نقاط و خطوطی تعریف می‌شوند که مشخص‌کننده مرزهای آن شی بوده و در یک سیستم مختصات مشخص همان‌طور که در شکل (۱-۳) دیده می‌شود بیان گردیده‌اند.



شکل ۱-۳- نمایش عوارض در مدل داده برداری و سلولی

جدول (۱-۱)، مقایسه‌ای بین خصوصیات مدل داده برداری و سلولی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- ویژگی‌های مدل‌های داده برداری و سلولی

مدل داده	برداری	سلولی
ساختار	پیچیده	ساده
میزان حجم ذخیره‌سازی	کم	زیاد
کیفیت	بالا	پائین (وابسته به ابعاد سلول)
ماهیت	ماهیت پیوسته	ماهیت گسسته
حمایت از روابط توپولوژیک	صریح	ضمنی
کاربرد	مناسب برای مناطق یکنواخت	مناسب برای مناطق دارای تغییرات مکانی

با توجه به خصوصیتی که برای هر یک از مدل‌های داده برداری و سلولی ذکر گردید، هیچ‌یک از آنها بر دیگری برتری ندارد و هر یک از این دو مدل داده برای کاربردهای خاصی مناسب‌تر هستند.

۱-۵- ساختارهای داده

بسیاری اصطلاح داده و اطلاعات را به صورت مترادف به کار می‌برند در حالی که این دو واژه مفاهیم کاملاً متمایزی را شامل می‌شوند. در حقیقت داده به عنوان یکی از اجزا مربوط به یک حقیقت یا یک شی مطرح می‌باشد که می‌تواند به صورت سیستماتیک اخذ شود و معمولاً به یکی از حالات زیر یافت می‌شوند.

- عبارات زبانی: مانند نام، سن، آدرس، تاریخ، مالکیت

- عبارات سمبلیک: مانند علائم راهنمایی و رانندگی

- عبارات ریاضی: مانند $E = mc^2$

- سیگنال‌ها: مانند امواج الکترومغناطیسی

اطلاعات به صورت داده‌هایی تعریف می‌شوند که در طی یک مجموعه پردازش، به فرمی تبدیل شده‌اند که برای دریافت‌کننده آنها دارای معنا بوده و بتوانند برای تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار بگیرند. اطلاعات زمانی مفیدند که دارای شرایط زیر باشند:

- مرتبط^۱

- قابل اعتماد، صحیح و قابل استناد^۲

- به‌هنگام^۳

- کامل^۴

- روشن و قابل فهم^۵

- سازگار^۶

- ساده برای به کار گیری^۷

همان‌طور که در شکل (۱-۴) دیده می‌شود عملکرد یک سیستم اطلاعاتی در واقع تبدیل داده‌ها به اطلاعات می‌باشد.

1- Relevant

2- Reliable, Accurate and verifiable

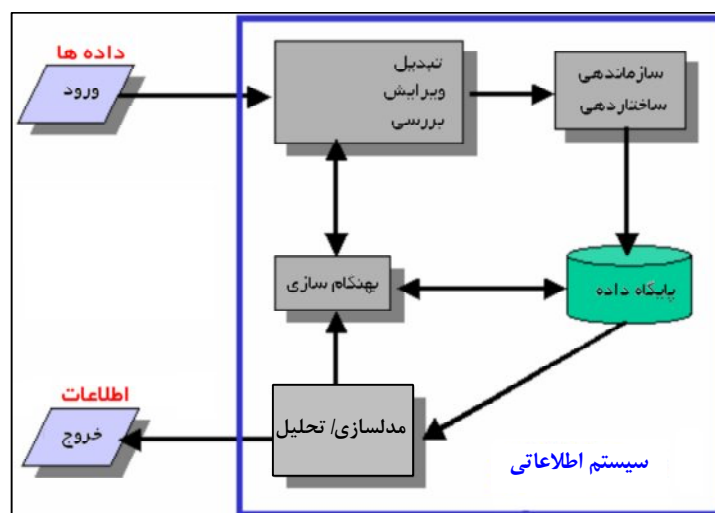
3- Up-to-Date

4- Complete

5- Intelligible

6- Consistent

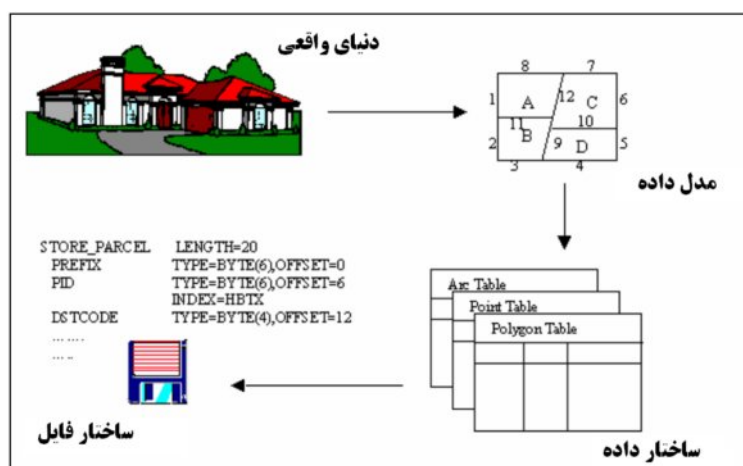
7- Easy to Handle



شکل ۱-۴- تبدیل داده‌ها به اطلاعات در یک سیستم اطلاعاتی

آنچه از این مقدمه مد نظر می‌باشد، اشاره به این نکته است که «سازماندهی» داده‌ها و «ساختار» داده‌ها برای تبدیل داده‌ها به اطلاعات، مفاهیمی بنیادی می‌باشند که باید مورد بررسی قرار گیرند.

فرآیندهای سازماندهی و ساختاردهی دو بخش کاملاً مرتبط می‌باشند که با یکدیگر مفهوم پیدا می‌کنند و اغلب هر دو تحت عنوان ساختار داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. شکل (۱-۵) تا حدود زیادی مفهوم ساختار داده‌ها را در برابر مفاهیم مدل داده‌ها^۱ و ساختار فایل‌ها^۲ نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۵- سطوح جزئیات در سازماندهی داده‌ها

۱-۶- نحوه ورود داده به پایگاه داده

مراحل مختلف ورود داده به پایگاه داده شامل موارد زیر می‌باشد.

- 1- Data Model
- 2- File Structure

- اخذ و رقومی سازی داده‌ها

- تصحیح و ویرایش داده‌ها

- مرجع کردن داده‌ها

موارد فوق در ادامه تشریح شده‌اند.

۱-۶-۱- اخذ و رقومی‌سازی اطلاعات

انواع داده‌های مختلفی که در سیستم اطلاعات مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند از منابع مختلف اخذ و جمع‌آوری می‌شوند که هر کدام مراحل مربوط به خود را برای ورود به پایگاه داده در GIS می‌طلبند.

۱-۶-۲- منابع تهیه داده‌های مکانی

روش‌های تهیه داده‌های مکانی را به‌طور کلی می‌توان به چهار روش برداشت زمینی، فتوگرامتری، سنجش از دور و استفاده از نقشه‌های موجود تقسیم‌بندی نمود.

۱-۶-۳- رقومی‌ساز

رقومی‌ساز به‌صورت استاندارد شامل یک میز و یک اشاره‌گر^۱ می‌باشد، میز رقومی‌ساز از یک شبکه مغناطیسی از سیم‌ها تشکیل شده که در زیر یک پوسته قرار گرفته‌اند. قدرت تفکیک رقومی‌ساز به فاصله این سیم‌ها بستگی دارد. رقومی‌ساز از طریق ولتاژی که سیم‌پیچ‌های موجود در سر اشاره‌گر در این شبکه ایجاد می‌کند، موقعیت اشاره‌گر را روی میز تعیین می‌نماید و به نرم‌افزار مربوط به ترسیم در کامپیوتر منتقل می‌کند. در واقع نقشه را روی صفحه قرار می‌دهیم و با موس روی خطوط موجود در نقشه حرکت می‌کنیم و نقاط عطف آنرا ثبت می‌کنیم، بدین ترتیب معادل آن در فایل نقشه رقومی ترسیم می‌شود.

۱-۶-۴- تصحیح و ویرایش داده‌ها

معمولاً پس از مرحله رقومی‌سازی داده‌ها، برخی نواقص و خطاهای احتمالی در داده‌ها ایجاد می‌شوند که باید قبل از به‌کارگیری داده‌ها در سیستم‌های اطلاعات مکانی نسبت به شناسایی و اصلاح آنها اقدام نمود. این خطاها به دو دسته خطاهای هندسی و خطاهای توپولوژیک تقسیم شده‌اند که عبارتند از:

الف- خطاهای هندسی

- جا افتادگی یا جابجایی یک نقطه یا یک خط

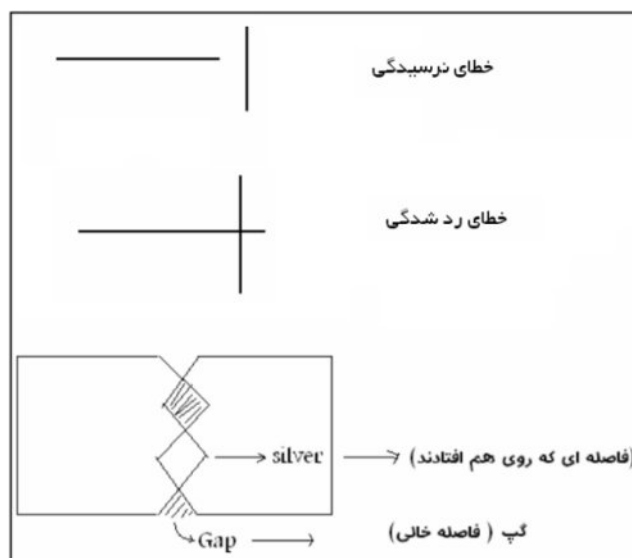
- وجود بیش از یک موقعیت برای یک نقطه

- وجود مقادیر بیش از حد زیاد یا کم نقاط برای نمایش یک خط

- وجود نقاطی با مختصات اشتباه بر روی یک خط

ب- خطاهای توپولوژیک

- عدم اتصال لبه‌ها در خطوط و پلیگون‌ها
 - خطای ردشدگی^۱: مربوط به عبور اشتباه دو خط از روی یکدیگر می‌باشد.
 - خطای نرسیدگی^۲: مربوط به خطا در عدم اتصال دو خطی که منطقاً باید متصل باشند.
 - خطاهای مربوط به مرز مشترک: مربوط به هم‌پوشانی پلیگون‌های کاذب^۳ و یا شکاف بین پلیگون‌های مجاور در زمان رقومی‌سازی^۴
 - اشتباه در اتصال رووس پلی‌گون‌ها
 - پلیگون‌های پیچ خورده^۵
 - پلیگون‌های باز^۶
 - وجود خطوط منطبق برهم^۷
- معمولاً خطاهای ذکر شده به یکی از روش‌های دستی، خودکار یا نیمه خودکار اصلاح می‌شوند. (شکل ۱-۶)



شکل ۱-۶- خطاهای مربوط به عدم اتصال لبه‌ها

۱-۶-۵- مرجع کردن داده‌ها

مرجع نمودن داده‌ها معمولاً شامل دو مرحله اصلی می‌باشد که عبارتند از:

- 1- Over Shoot
- 2- Under Shoot
- 3- Sliver
- 4- Gap
- 5- Wired Polygond
- 6- Unclosed Polygon
- 7- Duplicate Lines

- ثبت^۱: تعریف یک سیستم مختصات برای نقشه
- تصویر^۲: تعریف یک سیستم تصویر برای نقشه

۷-۱- خروجی‌های اطلاعات

معمولا خروجی‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی را می‌توان به صورت کاغذی^۳ و رقومی^۴ طبقه‌بندی نمود که در ادامه معرفی می‌شوند.

۱-۷-۱- خروجی کاغذی

سخت کپی، خروجی بر روی کاغذ را گویند که توسط پلاترها و چاپگرها انجام می‌شود. این دستگاه‌ها معمولا در دو نوع برداری و سلولی موجود می‌باشند.

۱-۷-۲- خروجی رقومی

خروجی بر روی صفحات تصویر را نرم کپی گویند. فناوری در زمینه صفحات نمایش به سرعت در حال پیشرفت می‌باشد. امروزه معمولا دو نوع صفحه نمایش رایج یکی بر مبنای LCD و دیگری بر مبنای لامپ تصویر موجود می‌باشند. صفحات نمایش دارای لامپ تصویر معمولا از دو فناوری استفاده می‌کنند:

- نمایش حالت برداری^۵
- نمایش به صورت اسکن سلولی^۶

۸-۱- انواع پردازش‌ها

آنچه سیستم‌های اطلاعات مکانی را از سایر سیستم‌های اطلاعاتی متمایز می‌کند وجود توابع تحلیل مکانی می‌باشد. این توابع، داده‌های مکانی و توصیفی را برای پاسخ به سوالات درباره دنیای واقعی به کار می‌برند. معمولا مدل‌سازی‌های پیچیده مکانی در تصمیم‌گیری‌ها نقش اساسی بازی می‌کنند. این مدل‌سازی‌ها را می‌توان از دیدگاه GIS با استفاده از ترکیب یک‌سری تجزیه و تحلیل‌های پایه انجام داد. این تجزیه و تحلیل‌های پایه می‌توانند بر اساس مدل داده‌ای که برای پردازش داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت زیر تقسیم‌بندی شوند:

- توابع سلولی
- توابع محلی

1- Registration
2- Projection
3- Hard Copy
4- Soft Copy
5- Vector Mode Screen
6- Raster Scan Display

- توابع همسایگی یا کانونی (مرکزی)
- توابع منطقه‌ای
- توابع سراسری
- توابع کاربردی
- توابع برداری
- بازایی / طبقه‌بندی / اندازه‌گیری
- همپوشی لایه‌ها^۱
- همسایگی^۲
- جستجو
- خط/نقطه در پلیگون^۳
- پلیگون‌های ورونوی (تیسن)^۴
- توابع همجواری^۵
- مجاورت^۶
- نزدیکی^۷
- شبکه^۸

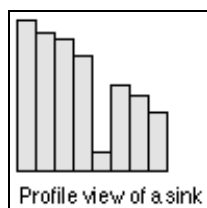
۱-۸-۱- توابع هیدرولوژیک

با توجه به اینکه شکل سطح حوضه یکی از عوامل ایجاد شکل هیدروگراف می‌باشد این توابع ابزاری قوی برای توصیف ویژگی‌های هیدرولوژیک سطح ایجاد می‌کنند. برخی از مهم‌ترین توابع هیدرولوژیک عبارت از تابع شناسایی Sink، تعیین جهت جریان، تجمع جریان، تعیین ویژگی‌های هندسی حوضه و تولید شبکه جریان می‌باشند. در ادامه به معرفی مختصر هر کدام از آنها پرداخته می‌شود.

الف - تابع شناسایی فرورفتگی^۹

فرورفتگی، یک حفره محلی می‌باشد که جریان را به صورت محلی به خود جذب می‌کند. شکل (۷-۱) یک مقطع شماتیک از یک Sink را نمایش می‌دهد.

-
- 1- Overlay
 - 2- Neighborhood
 - 3- Line/Point in Polygon
 - 4- Voronoi (Thiessen)
 - 5- Connectivity
 - 6- Adjacency
 - 7- Proximity
 - 8- Network Analysis
 - 9- Sink

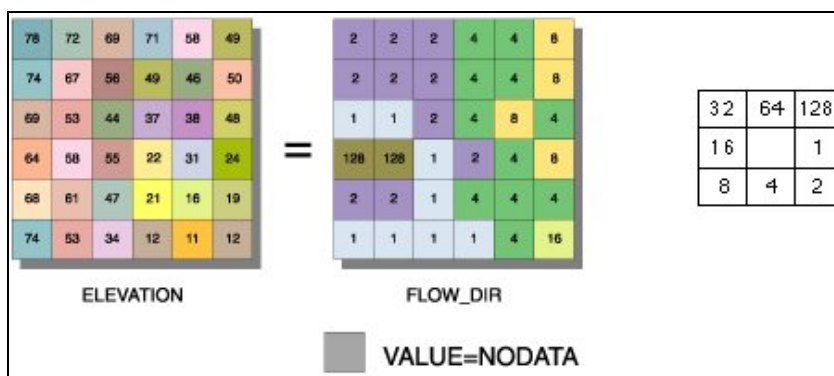


شکل ۱-۷- نمایش مقطع یک Sink

تابع فرورفتگی، کلیه این عوارض در سطح یک حوضه آبریز را شناسایی می‌کند.

ب- تابع تعیین جهت جریان

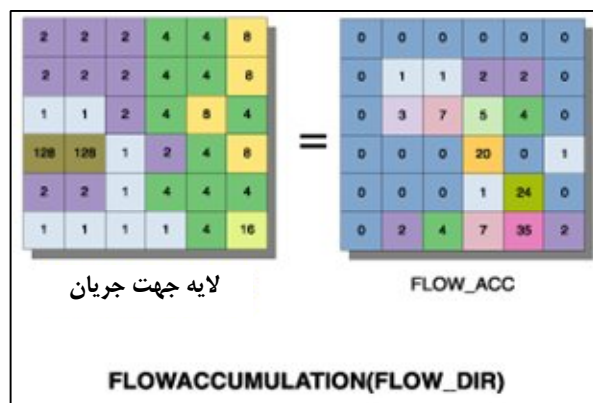
این تابع جهت جریان آب را روی سطح هر سلول تعیین می‌کند. این کار به وسیله تعیین جهت بیش‌ترین شیب از هر سلول به سلول‌های مجاور آن انجام می‌شود. شکل (۱-۸) به صورت شماتیک عملکرد این تابع را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۸- نمایش شماتیک نحوه عملکرد تابع تعیین جهت جریان

ج- تابع تجمع جریان

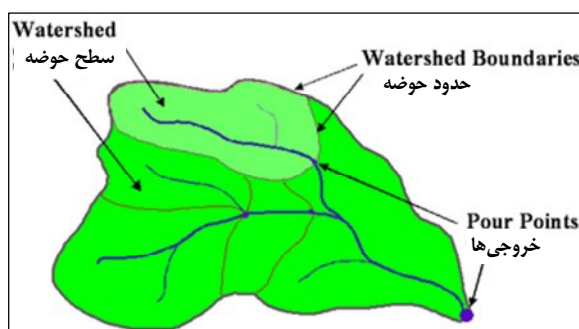
این تابع مقدار جریان تجمعی برای هر سلول را با استفاده از مجموع جریان‌ات تمام سلول‌ها به سلول‌های مجاور محاسبه می‌کند. یکی از کاربردهای آن در تعیین مقدار جریان در یک حوضه آبی می‌باشد. این جریان تجمعی با استفاده از خروجی حاصل از تابع تعیین جهت جریان به دست می‌آید. شکل (۱-۹) شمای کلی از عملکرد این تابع را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۹- نحوه عملکرد تابع تجمع جریان

د- تابع تولید Watershed

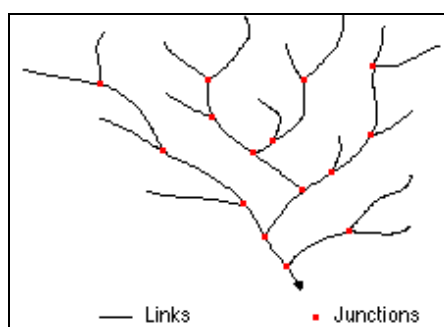
این تابع مجموعه‌ای از سلول‌ها است که سطح حوضه یک شاخه جریان آب را مشخص می‌کند. شکل (۱-۱۰) نمایش‌دهنده مفهوم Watershed می‌باشد.



شکل ۱-۱۰- نمایش شماتیک مفهوم Watershed

ه- تابع تولید شبکه جریان^۱

با استفاده از نتیجه خروجی تابع تجمع جریان و در نظر گرفتن یک حد آستانه، تابع تولید شبکه جریان خطوطی را که معرف آبراهه‌ها می‌باشند را می‌تواند استخراج نماید. نمونه‌ای از این آبراهه‌ها در شکل (۱-۱۱) ارائه شده است.



شکل ۱-۱۱- خروجی تابع تولید شبکه جریان

۱-۸-۲- تجزیه و تحلیل‌های شبکه

یک شبکه عبارت است از مجموعه‌ای از عوارض خطی متصل به یکدیگر که یک الگو یا یک چهارچوب را تشکیل می‌دهند. شبکه‌ها معمولاً جهت بررسی انتقال منابع از یک نقطه به یک نقطه دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. GIS برای اجرای سه نوع عمده تجزیه و تحلیل‌های شبکه استفاده می‌شود:

- پیش‌بینی بار شبکه
- یافتن مسیر بهینه
- اختصاص منابع

انتقال آب و رسوب‌ها در یک رودخانه می‌تواند با استفاده از مدل شبکه‌ای پیش‌بینی گردد. با پیش‌بینی صحیح جریان آب در یک شبکه از رودها، میزان و موقعیت وقوع سیل را می‌توان از قبل پیش‌بینی نمود به‌طوری که خدمات اضطراری برای مقابله با آن آماده شوند. توابع شبکه در زمینه بهینه کردن مسیر از توابع بسیار رایج در GIS می‌باشند. یکی از موارد معمول، اختصاص منابع تقسیم‌بندی یک منطقه به قسمت‌هایی می‌باشد که بتوان در آنها به‌طور موثری منابع آب موجود را ارائه نمود. تجزیه و تحلیل‌های شبکه معمولاً دارای چهار المان می‌باشند که عبارتند از:

- مجموعه‌ای از منابع
 - یک یا چند محل که منابع در آنها قرار دارند
 - یک هدف برای تحویل مجموعه‌ای از مقاصد
 - مجموعه‌ای از شرایط که محدودیت‌هایی را در رسیدن به هدف شبکه ایجاد می‌کنند.
- برخی از الگوریتم‌های مسیر یابی رایج که در تجزیه و تحلیل‌های شبکه کاربرد فراوان دارند عبارتند از:
- الگوریتم دیکسترا^۱: این الگوریتم برای حل مسایل مسیریابی با یک نقطه شروع جایی که وزن‌های مربوط به یال‌ها بزرگ‌تر یا مساوی صفر باشند به کار می‌رود.
 - الگوریتم بلمن - فورد^۲: این الگوریتم نیز مانند الگوریتم دیکسترا برای حل مسایل با یک نقطه شروع به کار می‌رود با این تفاوت که وزن‌های یال‌های شبکه می‌تواند منفی نیز باشند.
 - الگوریتم آ - ستاره^۳: این الگوریتم از یک روش اکتشافی برای حل مسایل با یک نقطه شروع به کار می‌رود.
 - الگوریتم فلوید - وارشال^۴: این الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر بین هر جفت رووس در یک شبکه را پیدا می‌کند.
 - الگوریتم جانسون^۵: همانند الگوریتم فلوید - وارشال عمل می‌کند با این تفاوت که سرعت آن در گراف‌های تنک بیش‌تر می‌باشد.
 - الگوریتم بر مبنای تئوری آشفتگی^۶: این الگوریتم (در بدترین حالت) کوتاه‌ترین مسیر محلی را پیدا می‌کند.

۹-۱- قابلیت تبادل اطلاعات

گام نخست در انجام هر تحلیل دسترسی به داده‌های مورد نیاز و انتقال آنها به صورت صحیح به محیط تحلیل می‌باشد. این مهم در سیستم‌های اطلاعات مکانی، که از تنوع بالای داده برخوردارند، از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. برای نمونه به منظور انجام تحلیلی جهت برآورد ویژگی‌های حوضه آبریز رودخانه، نیازمند دسترسی به داده‌هایی از قبیل توپوگرافی زمین،

1- Dijkstra's Algorithm
 2- Bellman-Ford Algorithm
 3- A* algorithm
 4- Floyd-Warshall Algorithm
 5- Johnson Algorithm
 6- Perturbation Theory

مسیر رودخانه، عوارض طبیعی و یا مصنوعی حاشیه رودخانه و داده‌های بارش می‌باشد. بدین ترتیب باید مجموعه‌ای از داده‌های نقطه‌ای، خطی و سطحی را فراخوانی نمود و در محیط تحلیل تلفیق کرد. عدم انتقال صحیح این اقلام داده، کاربر را درگیر حجم بالایی از کارهای اضافی می‌نماید که به صورت مستقیم روی کیفیت نتیجه تحلیل تاثیر می‌گذارد. در حالت ایده‌آل انتظار داریم که کاربر حداقل درگیری را با مقوله دسترسی و انتقال داده قابل استفاده در محیط تحلیل داشته باشد. تبادل اطلاعات به معنای انتقال داده از محیطی به محیط دیگر می‌باشد. پیش فرض هر نوع انتقال داده‌ای عبارت است از:

- مطابقت محتوایی داده‌ها قبل و بعد از ارسال
- مطابقت ساختاری داده‌های منتقل شده برای استفاده در محیط مقصد

۱-۱۰- محیط‌های رایانه‌ای قابل استفاده

محیط اجرای سیستم‌های اطلاعات مکانی تفاوت چندانی با محیط اجرای سایر برنامه‌های رایانه‌ای ندارد. منظور از محیط اجرا، اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پایه مورد نیاز برای اجرای یک برنامه می‌باشد. عمده تفاوت این سیستم‌ها در قابلیت‌هایی است که به کاربران خود ارائه می‌دهند. بنابراین محیط‌های رایانه‌ای قابل استفاده را باید به عنوان انتخاب محیط رایانه‌ای مناسب تعبیر نمود.

نکته حایز اهمیت در این زمینه عبارت است از این که در انتخاب اجزای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، اولویت با اجزای نرم‌افزاری است. به این معنا که پس از انتخاب نرم‌افزار مناسب، اجزای سخت‌افزاری با هدف تامین نیازهای نرم‌افزار مزبور ارزیابی و انتخاب می‌گردند. البته در انتخاب سخت‌افزار، بالاخص حافظه دائمی مورد نیاز سیستم، مشخصات داده‌ها از قبیل حجم حافظه مورد نیاز آنها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد.

روند معمول در انتخاب نرم‌افزار مناسب برای یک پروژه عبارت است از:

- بررسی رویکرد سیستمی حاکم بر پروژه که ارائه دهنده استراتژی کلی برای انتخاب نرم‌افزار می‌باشد
- بررسی قابلیت‌های تابعی سیستم

معیارهای انتخاب نرم‌افزار مبتنی بر دو مقوله کارآمدی^۱ و کارایی^۲ می‌باشند

کارآمدی عبارت از توانایی به انجام رساندن و تحقق صحیح نیازهای کاربر از سوی نرم‌افزار می‌باشد. صحت ساختار، عملکرد و مدیریت پایگاه داده و همچنین صحت تحلیل‌ها از مهم‌ترین شاخص‌های کارآمدی محسوب می‌شوند. از جمله مشخصات کارآمدی یک سیستم نرم‌افزاری، قابلیت گسترش و تعمیم آن می‌باشد. در این راستا قابلیت کار تحت شبکه،

1- Effectiveness

2- Efficiency

سازگاری با سایر سیستم‌ها، وضعیت رشد تولیدکننده و هماهنگی رشد مربوط به نیازهای سازمانی از مواردی است که باید لحاظ گردد. چنین مواردی را می‌توان با مراجعه به فروشنده و یا کاربران سیستم تعیین نمود.

در مقابل، کارایی دربرگیرنده مشخصاتی است که نشان‌دهنده قابلیت سیستم در به‌کارگیری از تمام ظرفیت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری است. فاکتورهای موثر در این زمینه عبارت است از مهندسی به‌کار گرفته شده در معماری نرم‌افزار و سرعت بستر سخت‌افزاری که نرم‌افزار تحت آن عمل می‌کند.

۱۱-۱- کیفیت اطلاعات

اطلاعات کافی، صحیح، دقیق، به‌هنگام و قابل استفاده، بستر تمامی فرآیندهایی می‌باشند که توسط یک سیستم اطلاعاتی^۱ به انجام می‌رسند. معمولاً بیش از نیمی از هزینه‌ها و سرمایه‌های تخصیص یافته برای طراحی، ایجاد و به‌خدمت‌گیری یک سیستم اطلاعاتی صرف تامین محتوای داده مورد نیاز سیستم می‌گردد. ضعف و یا عدم وجود برنامه‌ریزی و دانش تخصصی در زمینه پرداختن به امر تامین محتوای اطلاعاتی یک سیستم اطلاعاتی می‌تواند تاثیرات زیر را در پی داشته باشد.

- ایجاد تغییرات محسوس در هزینه‌ها و زمان تعیین شده برای پروژه
 - تضعیف سایر ابعاد پروژه از قبیل مدل‌سازی‌ها، ارزیابی‌ها، پروژه‌های رهنما، پایگاه داده و ساختار کلی سیستم
 - ناکارآمدی کاربری‌های ایجاد شده در سیستم
 - عدم امکان نگهداری و به‌هنگام‌سازی محتوای اطلاعاتی سیستم
- بر این اساس، ضعف محتوای اطلاعاتی در هر سیستم اطلاعاتی سبب می‌گردد تا سیستم اطلاعاتی مزبور یا به‌کلی تحقق نیابد و یا در مرحله‌ای از اجرا متوقف گردد. ضمن اینکه سیستم مزبور، حتی در صورت تحقق و ایجاد، عمر چندانی نخواهد داشت و پس از مدت کوتاهی از رده خارج می‌شود. فرآیند از رده خارج شدن یک سیستم، فرآیندی تدریجی است که در ابتدا با ابراز عدم رضایت‌مندی کاربران سیستم آشکار شده و سپس با بروز عدم قابلیت و کاربری سیستم در حمایت از فرآیندهای به‌هنگام‌رسانی (جهت ادامه بقای سیستم) به اوج می‌رسد. در چنین شرایطی سیستم اطلاعاتی مزبور عملاً خارج از رده محسوب خواهد شد.
- با توجه به شرایط فوق، صرف وقت و هزینه کافی در زمینه ترسیم و تعیین نیازهای اطلاعاتی مربوط به هر سیستم اطلاعاتی و منابع داده‌ای تامین‌کننده آن، امری ضروری و حیاتی است.

۱-۱۲- مروری بر برخی پیشرفت‌های اخیر در سیستم‌های اطلاعات مکانی

از پیدایش فناوری سیستم‌های اطلاعات مکانی به عنوان یک نوآوری در اوایل دهه ۱۹۶۰ بیش از ۵۰ سال می‌گذرد. در طی این مدت این نوآوری مراحل معرفی^۱ و ایجاد^۲ را با موفقیت پشت سرگذاشته است. در حال حاضر سیستم‌های اطلاعات مکانی در مرحله تکوین و تثبیت^۳ به سر می‌برند.

در این مرحله، تغییر و تحولات در فناوری سیستم‌های اطلاعات مکانی با سرعت کم‌تری نسبت به مراحل قبل به انجام می‌رسد. این در حالی است که هدف اصلی در این مرحله گسترش هرچه بیش‌تر حوزه استفاده از نوآوری مزبور به منظور حمایت از حل مشکلات می‌باشد. گسترش هرچه بیش‌تر استفاده‌کنندگان از فناوری سبب ایجاد شرایط مناسب از لحاظ سرمایه‌ای برای تولیدکنندگان محصولات و سرویس‌ها نیز می‌گردد.

با توجه به هدف عنوان شده بهترین دیدگاه بررسی پیشرفت‌های اخیر ایجاد شده در حوزه فناوری سیستم‌های اطلاعات مکانی، دیدگاه استفاده‌کنندگان از لحاظ گستردگی حوزه استفاده و نوع کاربری‌ها می‌باشد.

در صف نخست این پیشرفت‌ها، سطح تماسی است که این فناوری با عموم مردم برقرار کرده است. در این سطح استفاده‌کنندگان غیرمتخصص نیازمند استفاده از داده‌های مکانی برای فعالیت‌های روزمره خود هستند. بستر اصلی ایجاد این شرایط وجود اینترنت می‌باشد. با مروری بر سیستم‌های اطلاعات مکانی که ارائه‌دهنده سرویس تحت وب می‌باشند، مشاهده می‌شود که مخاطب اصلی اکثریت این سیستم‌ها مردم عادی می‌باشند. بالطبع سطح حداقلی از سرویس‌ها به همراه سادگی و سهولت قابل توجه در استفاده به راحتی در این سرویس‌ها قابل ملاحظه است. آنچه شرکت Google تحت عنوان Google Map و Google Earth معرفی نموده است، نمونه موفق از چنین رویکردی است. از سوی دیگر شاهد هستیم که افراد و شرکت‌های نه‌چندان عظیم نیز از این فرصت استفاده مناسبی نموده‌اند و زمینه‌ای برای کسب درآمد از داده‌های در اختیار خود ایجاد نموده‌اند.

1- Initiation
2- Implementation
3- Establishment

فصل ۲

راهنمای استفاده از قابلیت‌های GIS

در مطالعات منابع آب

۲-۱- هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های پایه

هم‌پوشانی عبارت از فرآیند قرار دادن لایه‌ها/کلاس‌های^۱ اطلاعات مکانی رقومی مختلف بر روی هم به منظور دستیابی به لایه/کلاس ترکیبی جدید حاصل از مجموع این اطلاعات می‌باشد به گونه‌ای که هر لایه/کلاس ترکیبی حاصل شده بتواند بر اساس اطلاعات تشکیل‌دهنده آن تفسیر شود.

۲-۱-۱- روش کار

بر اساس نوع داده‌هایی که مورد هم‌پوشانی قرار می‌گیرند، لایه‌ها/کلاس‌های ترکیبی حاصل شده را می‌توان بر مبنای یکی از چهار دسته عملگر زیر تفسیر نمود:

- عملگرهای بولین (مانند AND, OR, NOT) می‌توانند در مورد داده‌های موضوعی و دسته‌بندی شده مانند داده‌های طبقه‌بندی جنس خاک، در ساختارهای شبکه‌ای (سلولی) و برداری مورد استفاده قرار گیرند.
- عملگرهای مجموعه‌ها (مانند Union, Intersect, Difference) می‌توانند در مورد داده‌های موضوعی مانند داده‌های طبقه‌بندی جنس خاک، در ساختار برداری مورد استفاده قرار گیرند.
- عملگرهای ریاضی (مانند +, -, ×) می‌توانند در مورد داده‌های عددی و در ساختارهای شبکه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.
- عملگرهای رابطه‌ای (مانند >, <, =) می‌توانند در مورد داده‌های عددی و در ساختار شبکه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.

ضمناً در تولید لایه‌ها/کلاس‌های ترکیبی حاصل شده می‌توان برای هر کدام از اطلاعات مکانی اولیه یک وزن مشخص در نظر گرفت یا اینکه تمام داده‌ها را با یک وزن (معمولاً برابر ۱) هم‌پوشانی نمود.

نکته: در صورتی که از روش وزن‌دار استفاده شود، نیاز به نرمال سازی وزن‌ها وجود دارد (یعنی به‌طور معمول همه وزن‌ها باید بین ۰ و ۱ باشند و مجموع آنها نیز ۱ شود).

یکی از روش‌های نرمال‌سازی که ساده‌ترین و در عین حال کاربردی‌ترین روش می‌باشد، روش ماتریس مقایسه‌ای است که در آن به روش زیر عمل می‌شود.

- ۱- تعیین وزن نسبی هر مجموعه داده (لایه) نسبت به دیگر لایه‌ها (این فرآیند معمولاً با نظرسنجی از افراد خبره صورت می‌گیرد)

- ۲- تشکیل ماتریس وزن‌ها به‌صورت زیر (برای دو لایه a و b)

$$a \begin{bmatrix} 1 & i \\ b & 1/i \end{bmatrix} \quad (1-2)$$

۱- در اینجا تفکیک کلاس و لایه اطلاعاتی به ترتیب برای روش شی‌گرا و رابطه‌ای در هم‌پوشانی استفاده می‌شود.

که در آن وزن لایه a نسبت به b برابر i و وزن لایه b نسبت به a برابر 1/i در نظر گرفته شده است.

۳- در هر ستون از این ماتریس هر عنصر به مجموع عناصر آن ستون تقسیم می‌شود و ماتریس جدید رابطه (۲-۲) حاصل می‌گردد.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{i+1/i} & \frac{1}{1+i} \\ \frac{1/i}{1+1/i} & \frac{1}{1+i} \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

۴- از عناصر هر سطر میانگین‌گیری نموده و سپس وزن لایه مربوط به آن سطر را به دست می‌آوریم:

$$\text{وزن لایه a} = \frac{\frac{1}{1+1/i} + \frac{1}{1/i+1}}{2} \quad (3-2)$$

$$\text{وزن لایه b} = \frac{\frac{1/i}{1+1/i} + \frac{1}{1+i}}{2}$$

بر این اساس مراحل لازم جهت هم‌پوشانی لایه‌ها به قرار زیر است:

گام اول: تعیین لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای هم‌پوشانی

گام دوم: تعیین روش هم‌پوشانی (وزن دار یا ساده)

نکته: در صورتی که روش هم‌پوشانی، وزن دار باشد اجرای مراحل زیر ضروری است:

- مراجعه به متخصصین و افراد خبره جهت نظرسنجی در مورد وزن‌های نسبی هر لایه اطلاعاتی نسبت به لایه‌های دیگر

- میانگین‌گیری از نظرات مختلف متخصصین جهت دستیابی به یک وزن نسبی برای هر لایه

- تشکیل ماتریس مقایسه و محاسبه وزن‌های نرمال‌سازی شده برای هر لایه

- ضرب وزن هر لایه در مقادیر آن لایه (در مورد لایه‌های عددی)

نکته: اگر مقادیر لایه‌ها دسته‌بندی شده باشد (مثل لایه جنس خاک)، ابتدا باید به هر دسته یک عدد نسبت داد،

سپس این اعداد را در مقدار وزن مربوطه ضرب نمود.

گام سوم: تعیین نوع عملگر مورد نیاز برای رسیدن به تفسیر و تجزیه و تحلیل مورد انتظار

گام چهارم: اعمال تابع هم‌پوشانی و تشکیل نواحی ترکیبی

سپس می‌توان لایه ترکیبی را تفسیر نمود.

مثال:

تعیین نواحی مستعد سیل خیزی با توجه به پارامترهای زیر:

۱- شیب زیاد

۲- پوشش گیاهی کم

۳- میزان بارش زیاد

۴- خاک با تراوایی کم

اجرای گام اول: تولید داده‌های اولیه:

۱- نقشه شیب: شیب بر حسب درصد به ۵ کلاس زیر طبقه‌بندی می‌شود: (اعداد ارائه شده شبیه‌سازی بوده و

واقعی نمی‌باشند)

- کم‌تر از ۵: شیب خیلی کم

- ۵-۱۵: شیب کم

- ۱۵-۳۰: شیب متوسط

- ۳۰-۵۰: شیب زیاد

- بیش از ۵۰: شیب خیلی زیاد

۲- نقشه پوشش گیاهی: پوشش گیاهی بر حسب درصد تراکم به سه کلاس زیر طبقه‌بندی می‌گردد:

- کم‌تر از ۳۰: پوشش کم

- ۳۰-۶۰: پوشش متوسط

- بیش از ۶۰: پوشش زیاد

۳- نقشه بارندگی: میزان بارندگی بر حسب میلی‌متر به سه کلاس زیر طبقه‌بندی می‌شود:

- کم‌تر از ۱۰: بارش کم

- ۱۰-۳۰: بارش متوسط

- بیش از ۳۰: بارش زیاد

۴- نقشه تراوایی خاک: میزان نفوذ آب بر حسب میلی‌متر به سه کلاس زیر طبقه‌بندی می‌شود:

- کم‌تر از ۳: تراوایی کم

- ۳-۱۰: نیمه تراوا

- بیش از ۱۰: تراوایی زیاد

اجرای گام دوم: تعیین روش هم‌پوشانی

در این مثال فرض بر این است که از روش وزن‌دار استفاده می‌شود.

از آنجا که در این مثال از روش وزن‌دار استفاده شده است، وزن‌های زیر از طریق نظرسنجی از متخصصان و با

میانگین‌گیری (به صورت فرضی) تعیین می‌شود (به هر لایه، وزنی بین ۰ تا ۱۰۰ داده شد):

- وزن لایه شیب نسبت به پوشش گیاهی: ۸۵

- وزن لایه شیب نسبت به بارش: ۴۰

- وزن لایه شیب نسبت به جنس خاک: ۷۵
- وزن لایه پوشش گیاهی نسبت به بارش: ۲۵
- وزن لایه پوشش گیاهی نسبت به جنس خاک: ۴۰
- وزن لایه بارش نسبت به تراوایی خاک: ۳۵

و سپس ماتریس‌های زیر مطابق با روابط ۱-۲ و ۲-۲ تهیه می‌شوند.

	تراوایی خاک	بارش	پوشش گیاهی	شیب
شیب	۷۵	۴۰	۸۵	۱
پوشش گیاهی	۴۰	۲۵	۱	۱/۸۵
بارش	۳۵	۱	۱/۲۵	۱/۴۰
تراوایی خاک	۱	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۷۵

۰/۴۹۶۶	۰/۶۰۵۷	۰/۹۸۷۶	۰/۹۵۱۶
۰/۲۶۴۹	۰/۳۷۸۶	۰/۰۱۱۶	۰/۰۱۱۸
۰/۲۳۱۷	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۳۷
۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۲۶

وزن نرمال‌سازی شده لایه‌ها طبق رابطه ۲-۳ عبارت است از:

وزن لایه شیب: ۰/۷۶۰۳

وزن لایه پوشش گیاهی: ۰/۱۶۶۷

وزن لایه بارش: ۰/۰۶۷۷

وزن لایه جنس خاک: ۰/۰۰۴۹

این وزن‌ها را در مقادیر هر لایه ضرب کرده و هر لایه مجدداً کلاسه‌بندی می‌شود.

اجرای گام سوم: تعیین نوع عملگر

عملگر مورد نیاز جهت تفسیر مورد نظر عبارت است از:

$$(۰/۰۰۴۹ \times (\text{لایه جنس خاک})) + (۰/۰۶۷۷ \times (\text{لایه بارش})) + (۰/۱۶۶۷ \times (\text{لایه پوشش گیاهی})) + (۰/۷۶۰۳ \times (\text{لایه شیب}))$$

اجرای گام چهارم: اعمال تابع هم‌پوشانی

اعمال تابع هم‌پوشانی به‌دست آمده از گام سوم و ترکیب لایه‌های مذکور و ایجاد لایه ترکیبی هم‌پوشانی تولیدشده در

این گام انجام می‌شود.

لایه جدید به‌دست آمده به تعداد کلاس‌های مورد نظر طبقه‌بندی می‌شود. در این لایه هر کلاس که دارای مقدار

بیش‌تری باشد از لحاظ سیل‌خیزی پتانسیل بیش‌تری را دارا است.

۲-۲- تهیه و کنترل کیفیت مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین (DEM)

مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین یک بستر اطلاعاتی جهت نمایش، ذخیره‌سازی و تحلیل اطلاعات ارتفاعی سطح زمین به صورت ایجاد یک سطح پیوسته از آن می‌باشد. در این مدل‌ها، اطلاعات ارتفاعی سطح زمین در قالب رووس یک شبکه منظم یا نامنظم نمایش داده می‌شود. این مدل‌ها پایه و اساس اولیه بسیاری از تجزیه و تحلیل‌ها در مطالعات مختلف از جمله مطالعات منابع آب را تشکیل می‌دهند.

ایده اولیه مدل‌های رقومی زمین^۱ (DTM) مربوط به سال‌های ۱۹۵۰ می‌شود و اولین بار این اصطلاح توسط Miller و Laflamme از دانشگاه MIT آمریکا مطرح شد و بعداً به مرور عناوین مختلف دیگری مانند مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین^۲ (DEM)، داده‌های رقومی ارتفاعی زمین^۳ (DTED)، مدل‌های رقومی ارتفاعی^۴ (DHM)، مدل‌های رقومی سطح زمین^۵ (DGM) و مدل‌های رقومی سطح^۶ (DSM) در مجامع مختلف مورد استفاده قرار گرفت. اگر چه در نگاه اول این عناوین مترادف به نظر می‌رسند ولی در عمل تفاوت‌های خاصی دارند که کاربرد آنها را متفاوت می‌سازد.

- DEM, DTED, DGM: این اصطلاحات عمدتاً در مورد مدل‌های رقومی به کار برده می‌شوند که در آنها مقدار

هر راس شبکه، ارتفاع سطح زمین در آن نقطه از یک سطح مبنای ارتفاعی باشد.

- DHM: به مدلی رقومی گفته می‌شود که در آن مقدار هر راس شبکه، ارتفاع سطح زمین یا عوارض مصنوعی

روی سطح زمین در آن نقطه از پایین آن می‌باشد.

- DSM: به مدلی رقومی گفته می‌شود که در آن مقدار هر راس شبکه، معرف ارتفاع سطح زمین و بالای

عوارض مصنوعی روی سطح زمین در آن نقطه از یک سطح مبنا باشد.

- DTM: به مدلی رقومی گفته می‌شود که در آن مقدار هر راس شبکه، معرف یک ویژگی از سطح زمین در آن

نقطه باشد. این ویژگی می‌تواند الزاماً ارتفاع نباشد و مثلاً معرف نوع پوشش گیاهی سطح باشد.

۲-۲-۱- تهیه مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین

در این بخش به صورت اخص روی روش‌های تهیه مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین (DEM) بحث و بررسی شده است. که برای وضوح بیشتر به آن مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین گفته می‌شود. فرآیند کلی در تهیه این مدل‌ها عبارت است از:

-
- 1- Digital Terrain Model
 - 2- Digital Elevation Model
 - 3- Digital Terrain Elevation Data
 - 4- Digital Height Model
 - 5- Digital Ground Model
 - 6- Digital Surface Model

- انتخاب منبع اخذ اطلاعات

منابع موجود جهت اخذ اطلاعات عبارتند از:

- نقشه‌برداری زمینی
- نقشه‌های کارتوگرافی موجود (که شامل اطلاعات ارتفاعی باشد)
- عکس‌ها و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای
- تصاویر LIDAR^۱

- انتخاب روش مناسب برای نمونه‌برداری

روش‌های مختلفی برای نمونه‌برداری در مدل‌های رقومی زمین به کار می‌روند که عبارتند از:

- نمونه‌برداری با فواصل انتخابی
- نمونه‌برداری با فواصل ثابت در یک راستا (پروفیل برداری)
- نمونه‌برداری با فواصل ثابت در دو راستا (برداشت شبکه منظم)
- نمونه‌برداری تلفیقی

- انتخاب یک روش مناسب برای درون‌یابی و ایجاد شبکه مناسب با قدرت تفکیک مورد نیاز

در این بخش به معرفی منابع اخذ اطلاعات و مقایسه آنها و نیز روش‌های مناسب نمونه‌برداری پرداخته می‌شود. درون‌یابی و مقایسه روش‌های مورد استفاده به ترتیب در بخش‌های ۲-۳-۱ و ۲-۳-۲ مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

• انتخاب منبع اخذ اطلاعات

انتخاب یک روش برای اخذ اطلاعات جهت تهیه DEM به عواملی از قبیل وسعت منطقه مورد مطالعه، دقت و صحت مورد نیاز، هزینه و زمان تولید اطلاعات، هدف و کاربرد مورد نظر، نوع پوشش طبیعی زمین، توپوگرافی منطقه و ... بستگی دارد.

• انتخاب روش نمونه‌برداری

از دید عملیاتی چهار روش عمده جهت نمونه‌برداری برای ایجاد یک DEM وجود دارد که عبارتند از:

○ نمونه‌برداری انتخابی (تصادفی)

در این روش فقط در نقاط خیلی مهم (به‌طور مثال نقاطی که شیب زمین در آن نقاط یک تغییر ناگهانی را شامل می‌شود) نمونه‌برداری انجام می‌شود. این نقاط به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که صفحه مثلث حاصل از اتصال سه نقطه مجاور در بهترین وجه بر سطح زمین مماس شود. از مهم‌ترین مزایای این روش مدل‌سازی بهینه سطح با کم‌ترین تعداد نقاط ممکن است.

1- Light Detection and Ranging

○ نمونه‌برداری با فواصل ثابت در یک راستا

در این روش فواصل نقاط نمونه‌برداری در یک راستای ثابت مثلاً x، مشخص است و در راستای دیگر (مثلاً y) نمونه‌برداری فقط در نقاط خیلی مهم صورت می‌پذیرد. این روش عمدتاً در نقشه‌برداری زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

○ نمونه‌برداری با فواصل ثابت در دو راستا (منظم)

در این روش یک شبکه منظم از نقاط با فواصل ثابت، نمونه‌برداری می‌شود. این روش که عمدتاً در فتوگرامتری مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌طور مشخص ساده‌ترین روش و در عین حال بهینه نمی‌باشد زیرا در مناطق نسبتاً مسطح و یا مناطق با شیب ثابت با توجه به فاصله نمونه‌برداری، نقاط اضافه یا کم برداشت می‌شود.

○ نمونه‌برداری تلفیقی

این روش، تلفیقی از نمونه‌برداری انتخابی و نمونه‌برداری با فواصل ثابت در دو راستا (منظم) می‌باشد. در واقع در این روش با روش نمونه‌برداری با فواصل ثابت در دو راستا (منظم) ابتدا نمونه‌برداری صورت می‌پذیرد، سپس در نقاط خیلی مهم که در بین فواصل نمونه‌برداری منظم قرار گرفته‌اند نیز به‌صورت انتخابی نمونه‌برداری صورت می‌گیرد. این روش یکی از کاراترین روش‌ها می‌باشد.

با توجه به گستردگی و اهمیت انتخاب روش مناسب برای درون‌یابی، این مبحث و مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی در ادامه تشریح شده است.

۲-۳- مروری بر روش‌های درون‌یابی در مدل‌های رقومی زمین (DTM)

درون‌یابی فرآیندی است که بر اساس آن داده‌های مورد نظر برای نقاط یا نواحی بدون داده بر اساس داده‌های مشاهده شده موجود در نقاط مجاور آنها تخمین زده می‌شود.

به طور کلی روش‌های درون‌یابی به دو دسته درون‌یابی سراسری و محلی که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت، تقسیم می‌شوند.

۲-۳-۱- روش‌های درون‌یابی سراسری و محلی**۲-۳-۱-۱- روش‌های درون‌یابی سراسری**

در درون‌یابی سراسری برای پیش‌بینی یا تخمین داده‌های نقاط بدون داده از کلیه داده‌های موجود مشاهده شده استفاده می‌شود. به همین دلیل یک تغییر در داده ورودی بر کل داده‌های درون‌یابی شده تاثیر می‌گذارد. درون‌یاب‌های سراسری عمدتاً برای درون‌یابی مستقیم استفاده نمی‌شوند، بلکه برای آزمون و یا حذف پراکندگی‌های حاکم بر داده‌ها به

کار گرفته می‌شوند. مدل‌های طبقه‌بندی، سطوح روند و کریجینگ^۱، رایج‌ترین روش‌های درون‌یابی سراسری می‌باشند که در ادامه تشریح شده‌اند.

- درون‌یابی سراسری با استفاده از مدل‌های طبقه‌بندی

هنگامی که داده‌های مکانی پراکنده هستند، گاهی بهتر است که مشاهدات، یک جمعیت ایستای آماری^۲ فرض شود. (یعنی، میانگین و واریانس داده‌ها مستقل از مکان و مقدار داده‌ها باشد). در این روش داده‌های مشاهده شده بر مبنای این فرض که مهم‌ترین تغییر در مرزها رخ می‌دهد، به وسیله چندضلعی‌های مشابه طبقه‌بندی می‌شود.

روش کار

گام اول: داده‌های مشاهده شده به k دسته طبقه‌بندی می‌شود.

گام دوم: میانگین داده‌های هر طبقه، μ_k و میانگین کل داده‌ها، μ ، محاسبه می‌شود.

گام سوم: z ، مقدار ویژگی در موقعیت X_0 با استفاده از مدل‌های آماری به دست می‌آید. ساده‌ترین مدل آماری که مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل ANOVA^۳ است:

$$z(x_0) = \mu + \alpha_k - \varepsilon \quad (۴-۲)$$

که در آن α_k انحراف بین μ و μ_k می‌باشد و ε انحراف معیار هر طبقه می‌باشد.

- درون‌یابی سراسری با استفاده از سطوح روند

برای میدان‌هایی که پراکندگی ویژگی‌ها در سراسر آن پیوسته باشد یا میدان به تدریج از یک ناحیه به ناحیه دیگر تغییر نماید، به خوبی می‌توان بر این نواحی، سطوح نرمی را برازش داد. این عمل با برازش یک معادله چندجمله‌ای به مشاهدات در نقاط داده انجام می‌شود.

روش کار

• گام اول: تعریف تابع ریاضی سطوح روند - چندجمله‌ای

این تابع در حالت یک بعدی (رگرسیون ساده) به صورت رابطه ۲-۵ است:

$$z(x) = b_0 \quad \text{ثابت:}$$

$$z(x) = b_0 + b_1x + \varepsilon \quad \text{خطی:} \quad (۵-۲)$$

$$z(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \varepsilon \quad \text{درجه ۲:}$$

1- Kriging

2- Statistically Stationary Population

3- Analysis of Variance

و برای حالت دو بعدی (رگرسیون چندگانه) به صورت رابطه ۶-۲ می‌باشد:

$$z(x, y) = \sum_{i+j \leq p} (b_{ij} \cdot x^i \cdot y^j) \quad (6-2)$$

- گام دوم: با توجه به اندازه و پیچیدگی منطقه مورد نظر، تعداد عبارات مورد استفاده در چندجمله‌ای انتخاب می‌شود و سپس یک خط یا سطح (بر حسب یک یا دو بعدی بودن داده‌ها) به داده‌ها برازش می‌یابد و با روش کم‌ترین مربعات، ضرایب چندجمله‌ای محاسبه می‌شود.
- گام سوم: با داشتن ضرایب چندجمله‌ای، مقدار ویژگی مورد نظر برای هر نقطه نمونه‌برداری نشده قابل محاسبه است.

- کریجینگ

کریجینگ یک روش درون‌یابی آماری می‌باشد که در آن داده در نقاط مورد نظر با استفاده از میانگین وزن‌دار داده‌های مشاهده شده در سایر نقاط محاسبه می‌شود. این روش شبیه روش سطوح روند می‌باشد با این تفاوت که در این روش وزن‌ها براساس فاصله بین نقاط با داده معلوم و نقاط مورد نظر و از روی همبستگی آنها محاسبه می‌شود. پارامترهای کنترل روش‌های سطوح روند و فاصله معکوس وزن‌دار، داده‌های متفاوتی را تولید می‌نماید که باعث تخمین‌های متفاوتی برای درون‌یابی می‌شود. جهت رفع این نواقص روش کریجینگ به کار می‌رود. روش کریجینگ، وزن‌های بهینه برای درون‌یابی را به وسیله واریوگرام تعیین می‌نماید. مهم‌ترین مدل‌های واریوگرام عبارتند از:

$$C(d) = c_0 e^{-h^2 / 2k^2} \quad \text{مدل گوسی:} \quad (7-2)$$

$$C(d) = c_0 + c_1 \left\{ \frac{3d}{2a} - 1/2 (d/a)^3 \right\} \quad \text{مدل کروی:}$$

$$C(d) = c_0 + c_1 \{1 - \exp(-d/a)\} \quad \text{مدل توانی:}$$

$$C(d) = c_0 + bd \quad \text{مدل خطی:}$$

که در آنها d فاصله بین نقاط می‌باشد و پارامترهای مجهول از روش کم‌ترین مربعات برای نقاط با داده‌های معلوم محاسبه می‌گردند.

روش کریجینگ شبیه روش میانگین وزنی است:

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \quad (8-2)$$

با این تفاوت که وزن‌ها (λ_i) به جای یک مدل کلی، از تحلیل‌های زمین آماری داده‌ها و با استفاده از مدل‌های واریوگرام فوق‌الذکر به دست می‌آیند.

فرم ماتریسی رابطه درون‌یاب کریجینگ برای محاسبه داده نقطه مجهول (z_p) به صورت رابطه ۹-۲ می‌باشد:

$$z_p = c \{z_p, z_r\} [D\{z_r\}]^{-1} z_r \quad (9-2)$$

که در آن $c\{z_p, z_r\}$ ماتریس همبستگی بین نقاط معلوم z_r و نقاط مورد نظر z_p می‌باشد و $D\{z_r\}$ نیز همبستگی بین نقاط معلوم است.

$$D\{z_r\}_{n \times n} = \begin{bmatrix} C\{0\} & C\{d_{12}\} & \dots & C\{d_{1n}\} \\ C\{d_{21}\} & C\{0\} & \dots & C\{d_{2n}\} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C\{d_{n1}\} & C\{d_{n2}\} & \dots & C\{0\} \end{bmatrix} \quad (۱۰-۲)$$

$$C\{z_r, z_p\}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} C\{d_{1p}\} \\ C\{d_{2p}\} \\ \vdots \\ C\{d_{np}\} \end{bmatrix} \quad (۱۱-۲)$$

که در آن اندیس p برای نقطه مورد درون‌یابی به کار برده می‌شود:

$$C\{d_{ij}\} = \frac{1}{n_d} \sum_{n_d} z_i z_j \quad (۱۲-۲)$$

جایی که z_i و z_j داده‌ها در نقاط معلوم i و j و n_d تعداد نقاط معلوم می‌باشد.

از آنجایی که مقادیر z_p مجهول می‌باشد، مقادیر $C\{d_{ip}\}$ با استفاده از روابط بالا قابل محاسبه نمی‌باشند، لذا برای محاسبه آنها از روابط واریوگرام استفاده می‌شود. به این صورت که با استفاده از داده‌های معلوم، $C(d)$ از طریق رابطه ۱۲-۲ محاسبه شده و سپس با استفاده از این مقادیر، ضرایب ثابت معادله واریوگرام به دست می‌آید و نهایتاً با استفاده از این معادلات $C\{d_{ip}\}$ محاسبه می‌شود.

روش کار

- گام اول: ماتریس $D\{z_r\}$ را با محاسبه مقادیر $C\{d_{ij}\}$ از رابطه ۱۲-۲ تعیین می‌شود.
- گام دوم: با انتخاب یکی از مدل‌های واریوگرام، ضرایب ثابت آن با استفاده از $C\{d_{ij}\}$ به دست آمده از مرحله قبل و از طریق روش کم‌ترین مربعات محاسبه می‌شود.
- گام سوم: ماتریس $C\{z_r, z_p\}$ با استفاده از معادله واریوگرام تعیین شده در گام دوم به دست می‌آید.
- گام چهارم: با استفاده از رابطه ماتریسی درون‌یاب Kriging، مقدار داده مورد نظر برای نقطه مجهول محاسبه می‌شود.

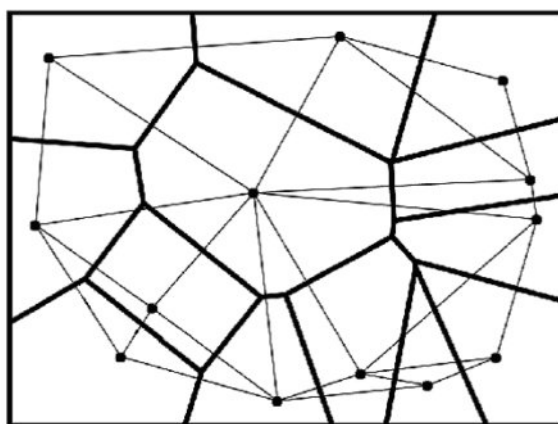
- روش‌های درون‌یابی محلی

در درون‌یابی محلی از داده‌های همسایگی نزدیک نقطه مورد نظر در یک منطقه کوچک استفاده می‌شود. در روش‌های درون‌یابی سراسری، پراکندگی‌های محلی، به عنوان خطای ساختار نیافته و تصادفی نادیده گرفته شده است درحالی‌که در روش‌های محلی برای جبران این امر، از نزدیک‌ترین همسایگی ناحیه نمونه‌برداری به طور مستقیم استفاده می‌شود. مراحل کلی روش‌های درون‌یابی محلی به ترتیب زیر است:

- ۱- تعریف یک ناحیه جستجو یا همسایگی در اطراف نقطه مورد نظر
- ۲- یافتن نقاط داده داخل همسایگی
- ۳- انتخاب یک تابع ریاضی برای ارائه انحراف موجود میان این تعداد محدود نقاط داخل همسایگی
- ۴- محاسبه تابع درون‌یابی برای نقطه موجود

- روش تیسن

در این روش پیش‌بینی مقادیر نمونه‌برداری نشده به کمک نزدیک‌ترین تک نقطه به دست می‌آید. چندضلعی‌های تیسن (دیاگرام‌های ورونوی) تقسیم‌بندی مناسبی را از نظر مکانی برای کل منطقه ایجاد می‌نماید، به طوری که در هر چندضلعی تنها یک نقطه مشاهده وجود داشته باشد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- چندضلعی‌های تیسن

روش کار

- گام اول: با استفاده از مثلث‌بندی دلونی^۱ و یا به طور مستقیم دیاگرام‌های ورونوی^۲ رسم می‌شوند.
- گام دوم: مرزهای چندضلعی‌های همسایه که مقدار یکسانی دارند، از بین برده می‌شوند و هر نقطه در داخل هر چندضلعی، مقداری برابر مقدار نقطه مرکزی آن چندضلعی را اخذ می‌نماید.

1- Delaunay
2- Voronoi

- روش عکس فاصله (IDW)^۱

روش عکس فاصله ایده‌ی مجاورت مطرح در چندضلعی‌های تیسن را با تغییرات تدریجی سطوح روند ترکیب می‌کند. این روش فرض می‌نماید که مقدار ویژگی مورد درون‌یابی، میانگین وزنی عکس فاصله نقاط داده موجود در همسایگی نقطه مورد نظر می‌باشد.

روش کار

- گام اول: در ابتدا باید نقاط همسایگی انتخاب شوند. برای این امر می‌توان یک شعاع همسایگی تعریف نمود.
- گام دوم: فاصله هر یک از نقاط همسایگی تا نقطه مورد بررسی اندازه‌گیری شده و در تابع پیش‌بینی IDW قرار داده می‌شود.

گام سوم: تعیین تابع درون‌یابی از رابطه ۲-۱۳:

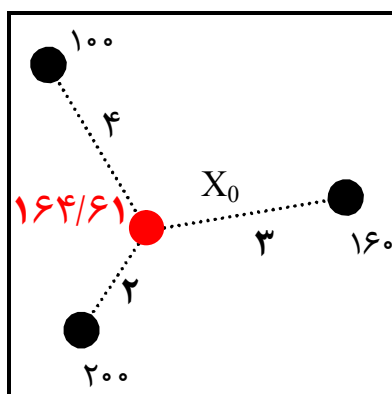
$$z(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{ji}^{-r}} \quad (۱۳-۲)$$

x_j نقاط تحت درون‌یابی، x_i نقاط داده، $z(x_i)$ مقادیر نقاط داده (نقاط نمونه‌برداری شده)، d_{ij} فاصله نقطه تحت درون‌یابی تا نقاط داده و r پارامتر وزنی است که کاربر تعریف می‌نماید.

مثال ۱:

با در نظر گرفتن r برابر ۱ و استفاده از سه همسایه نزدیک، مقدار نقطه وسط برابر است با (شکل ۲-۲):

$$z(x_0) = \frac{(100 \times 4^{-1} + 160 \times 3^{-1} + 200 \times 2^{-1})}{2^{-1} + 3^{-1} + 4^{-1}} = 164.61$$



شکل ۲-۲- محاسبه بر اساس سه همسایگی

- روش اسپیلاین^۱

اسپیلاین‌ها توابع تکه‌ای^۲ هستند که به تعداد اندکی از یک همسایگی نقاط داده، با اطمینان از پیوسته بودن بخش‌های منحنی، به طور کامل برازش داده می‌شود. با استفاده از اسپیلاین‌ها این امکان وجود دارد که یک بخش از منحنی بدون این که بخش‌های دیگر را دوباره محاسبه نمائیم تغییر کند. انجام این کار با سطوح روند امکان‌پذیر نیست. با به‌دست آوردن پارامترهای تابع اسپیلاین می‌توان مقدار مورد نیاز برای هر نقطه را به‌دست آورد. تابع مورد استفاده در درون‌یابی اسپیلاین به‌صورت رابطه ۲-۱۴ است:

$$s(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (2-14)$$

که در آن:

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{r^2}{4} \left[\ln\left(\frac{r}{2\tau}\right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[k_0 \left(\frac{r}{\tau}\right) + c + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right) \right] \right\} \quad (2-15)$$

$$T(x, y) = a_1 + a_2 x + a_3 y$$

و N برابر تعداد نقاط مورد استفاده، k_0 و λ_j و a_i ضرایب ثابت معادله می‌باشند که با استفاده از نقاط با مقادیر معلوم محاسبه می‌شوند، τ ضریب ثابتی است که تعیین‌کننده میزان نرمی تابع برازش داده شده می‌باشد، r فاصله هر نقطه معلوم تا نقطه مورد نظر می‌باشد و C ضریب ثابتی برابر 0.577215 است.

۲-۳-۲ معیارهای انتخاب روش مناسب درون‌یابی

اهم روش‌های درون‌یابی و معیارهای انتخاب روش درون‌یابی مناسب به شرح مندرج در جدول (۲-۱) است.

جدول ۲-۱- مقایسه روش‌های درون‌یابی

روش	قطعی / تصادفی	محلی / سراسری	گذار ناگهانی / تدریجی	درون‌یاب دقیق	محدودیت‌های راه‌کار	کاربرد	حجم محاسبات	ساختار داده خروجی	فرضیات مدل درون‌یابی
طبقه‌بندی	قطعی	سراسری	ناگهانی اگر به تنهایی استفاده شود	خیر	تشخیص طبقه‌بندی مشاهدات ممکن است شخصی باشد. خطای ارزیابی محدود به انحراف معیار داخلی طبقه‌ها است.	ارزیابی سریع برای داده‌های پراکنده و حذف تفاوت‌های سیستماتیک قبل از درون‌یابی پیوسته	کم	چندضلعی‌های طبقه‌بندی شده	تشابه در داخل مرزها
سطوح روند	قطعی	سراسری	تدریجی	خیر	مفهوم فیزیکی روند ممکن است روشن نباشد. تأثیر کناره‌ها ممکن است سطح را دارای اعوجاج نماید. خطای ارزیابی محدود به خوبی برازش است.	ارزیابی سریع و حذف روندهای مکانی	کم	سطوح شبکه‌بندی شده پیوسته	توضیح پدیده‌شناسی روند. توزیع نرمال داده‌ها

1- Spline
2- Piecewise

ادامه جدول ۲-۱- مقایسه روش‌های درون‌یابی

روش	قطعی / تصادفی	محلی / سراسری	گذار ناگهانی / تدریجی	درون‌یاب دقیق	محدودیت‌های راه‌کار	کاربرد	حجم محاسبات	ساختار داده خروجی	فرضیات مدل درون‌یابی
کریجینگ	تصادفی	محلی با وریوگرام‌های سراسری	تدریجی	بله	خطای ارزیابی به واریوگرام و توزیع داده‌ها و ابعاد بلوکهای درون‌یابی وابسته است. مدل‌سازی ساختارهای وابستگی مکانی، نیازمند دقت است.	هنگامی که داده‌ها برای حاسبه واریوگرام کافی باشند، برای داده‌های پراکنده مناسب است. برای داده‌های باینری و عددی	متوسط	سطوح شبکه‌دار	سطح درونیابی شده نرم است
چندضلعی‌های تیسن	قطعی	محلی	تدریجی اگر ورودی‌ها پراکندگی تدریجی داشته باشند	بله	بدون خطای ارزیابی، تنها یک داده برای هر چندضلعی وجود دارد و الگوی موزاییکی به توزیع داده‌ها بستگی دارد.	داده‌های عددی از نقاط مشاهده	کم	چندضلعی یا سطوح شبکه‌بندی شده	بهترین پیش‌بینی‌کننده محلی، نزدیک‌ترین آن به نقطه مشاهده شده است
عکس فاصله وزنی	قطعی	محلی	تدریجی	با پنجره نرم‌کننده منظم، خیر اما، می‌تواند اعمال گردد	بدون خطای ارزیابی، نتایج به اندازه پنجره جستجو و انتخاب پارامتر وزن‌گیری وابسته است. انتخاب ضعیف پنجره، زمانی که با تراکم بالایی داده مانند منحنی‌های رقومی شده استفاده شود نتایج مصنوعی به دست می‌دهد.	درون‌یابی سریع از داده‌های پراکنده در شبکه منظم یا نمونه‌های مکانی نامنظم	کم	سطوح شبکه‌دار، خطوط منحنی میزان	سطح مورد بررسی نرم است
Spline	قطعی با مولفه‌های اتفاقی محلی	محلی	تدریجی	در محدوده نرم‌کنندگی، بله	با فرض این که سطح برزش یافته کاملاً نرم باشد خوبی برازش امکان‌پذیر است.	درون‌یابی سریع داده‌های ارتفاعی رقومی و ویژگی‌های مربوط به ساختن DEM از داده‌های نسبتاً با جزئیات	کم	سطوح شبکه‌دار، خطوط منحنی میزان	سطح مورد بررسی همه جا نرم است

۲-۳-۳- کیفیت مدل‌های رقومی زمین

کیفیت مدل‌های رقومی زمین را می‌توان به میزان انطباق آن با زمین طبیعی نسبت داد. در واقع هرچه این انطباق با حد آستانه کیفیت مورد نظر کاربر بیش‌تر باشد مدل رقومی زمین دارای کیفیت بهتری خواهد بود. اغلب کیفیت مدل‌های رقومی را با اندازه‌گیری دقت ارتفاعی و مسطحاتی آن می‌سنجند. علاوه بر آن پارامترهای دیگری نظیر توپوگرافی، روش اخذ داده‌های توپوگرافی و میزان به‌هنگام بودن داده‌ها نیز در کیفیت مدل‌های رقومی موثر می‌باشند. سه دسته از خطاهای ممکن در کلیه مشاهدات و اندازه‌گیری‌های زمینی که در کیفیت مدل‌های رقومی زمین نیز موثر می‌باشند عبارتند از:

- خطاهای تصادفی
- خطاهای سیستماتیک

- خطاهای بزرگ (اشتباهات)

بخش عمده این خطاها ناشی از یکی از موارد زیر است:

- خطاهای موجود در داده‌های اولیه

- خطاهای دستگاهی

- خطاهای انسانی

- خطاهای مدل

در ادامه به بررسی انواع خطاها و شیوه مناسب برای کاهش اثرات هر یک پرداخته می‌شود.

۲-۳-۳-۱- خطاهای تصادفی

این خطاها ناشی از خطای مشاهداتی یک کمیت منفرد می‌باشد که هیچ قانون مشخصی را دنبال نکرده و غالباً از توزیع نرمال پیروی می‌کند. جهت کاهش تاثیر آنها اغلب از فیلترها استفاده می‌شود.

۲-۳-۳-۲- خطاهای سیستماتیک

این خطاها غالباً از یک الگوی مشخص پیروی می‌کنند و ناشی از عدم تنظیم ابزارهای اندازه‌گیری یا عدم تطابق شرایط جوی در زمان اندازه‌گیری با شرایط ایده‌آل که در آن اندازه‌گیری‌ها انجام شده‌اند، می‌باشد. برای برطرف کردن اثرات این خطاها اغلب الگوهای خطاها شناسایی شده و با استفاده از مدل‌های ریاضی مشخص خطاها به‌طور کامل برطرف می‌شوند.

۲-۳-۳-۳- خطاهای بزرگ (اشتباهات)

این خطاها که اغلب به تعداد کم ولی با میزان خطای زیاد رخ می‌دهد ناشی از خطای انسانی در اندازه‌گیری‌ها یا ثبت اطلاعات می‌باشد و از طریق برخی الگوریتم‌های محاسباتی قابل شناسایی و برطرف شدن می‌باشند.

۲-۳-۳-۴- معیارهای قابل پذیرش دقت در تولید مدل‌های رقومی زمین

در این بخش به برخی از مهم‌ترین استانداردهای موجود در تولید مدل‌های رقومی زمین اشاره می‌گردد. این استانداردها از ابزارهای متفاوتی برای تعیین میزان دقت استفاده می‌کنند. از میان استانداردهای موجود می‌توان به NMA¹، EMAS، NSSDA، ASPRS و غیره اشاره کرد. به‌طور کلی هدف از تمامی این استانداردها معیاری است که بتوان گفت آیا مدل تولید شده قابل قبول است یا خیر. از میان استانداردهای مذکور NMA¹ به‌دلیل قدمت و سادگی

تعریف از محبوبیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. این استاندارد هر دو معیار دقت مدل‌های رقومی زمین، یعنی دقت مسطحاتی و ارتفاعی را در خود گنجانده است. بر اساس این استاندارد:

- برای کنترل دقت مسطحاتی، از میان نقاط نمونه‌برداری برای نقشه‌های بزرگ‌تر از ۱/۲۰۰۰۰۰ حداکثر ۱۰ درصد نقاط مجاز هستند، خطایی بیش از ۰/۸۴۶ میلی‌متر در عدد مقیاس نقشه داشته باشند.
- برای کنترل دقت مسطحاتی، از میان نقاط نمونه‌برداری برای نقشه‌های با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰۰ یا کوچک‌تر از حداکثر ۱۰ درصد نقاط مجاز هستند، خطایی بیش از ۰/۵۰۸ میلی‌متر در عدد مقیاس نقشه داشته باشند.
- برای کنترل دقت ارتفاعی، از میان نقاط نمونه‌برداری حداکثر ۱۰ درصد نقاط مجاز هستند خطای بیش‌تر از نصف فاصله ارتفاعی بین دو منحنی میزان را داشته باشند.

۲-۴- کاربردهای GIS در مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز

فیزیوگرافی در حقیقت مطالعه خصوصیات فیزیکی و وضعیت ریخت‌شناسی حوضه آبریز است که اثر تعیین‌کننده‌ای بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه دارد. پاره‌ای از خصوصیات فیزیوگرافی از جمله ارتفاع و شیب می‌توانند در تشدید یا تعدیل بسیاری از عوامل هیدرولوژیکی تاثیر داشته باشند. از این رو لازم است که در مطالعات هیدرولوژیکی یک حوضه قبل از هر چیز خصوصیات فیزیوگرافی آن مورد مطالعه قرار گیرد.

یکی از منابع اطلاعاتی که بسیاری از پارامترهای فیزیوگرافی حوضه آبریز را می‌توان از آن استخراج نمود، مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین می‌باشد که در بخش ۲-۲ معرفی گردیدند. در ادامه این بخش دستورالعمل استخراج پارامترهای فیزیوگرافی حوضه آبریز از DEM ارائه می‌شود.

۲-۴-۱- محصولات قابل استخراج از مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین

برخی از مهم‌ترین پارامترهای قابل استخراج از مدل‌های رقومی زمین که می‌توانند در مطالعات فیزیوگرافی حوضه آبریز موثر واقع شوند عبارتند از شیب، جهت شیب، جهت جریان، رتبه‌بندی آبراهه‌ها، منحنی‌های فراز سنجی (هیپسومتری)، نیمرخ‌های طولی و عرضی که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این پارامترها از طریق ابزارهای مختلف تحلیل مکانی در GIS از جمله در 3D Analyst و Spatial Analyst موجود در نرم‌افزار ArcGIS قابل حصول می‌باشند.

۲-۴-۱-۱- نقشه شیب

به منظور بررسی شیب حوضه لازم است، نقشه شیب تهیه شود. در نقشه شیب مقدار موجود در هر سلول نمایش دهنده نرخ تغییرات ارتفاع به ازای یک بازه می‌باشد و بر مبنای درجه یا درصد بیان می‌شود و اغلب به صورت بزرگ‌ترین نرخ تغییرات ارتفاع یک سلول نسبت به سلول‌های همسایه آن محاسبه می‌شود.

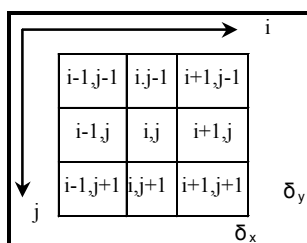
روش محاسبه:

یکی از موثرترین روش‌های محاسبه شیب، استفاده از روش تفاضلی مرتبه دوم در دو جهت x و y برای هر سلول می‌باشد که با استفاده از یک همسایگی ۳×۳ هر سلول و از طریق رابطه ۱۶-۲ به دست می‌آید:

$$\frac{\delta_z}{\delta_x} = \frac{[(z_{i+1,j+1} + 2z_{i+1,j} + z_{i+1,j-1}) - (z_{i-1,j+1} + 2z_{i-1,j} + z_{i-1,j-1})]}{8\delta_x} \quad \text{شیب در جهت x} \quad (16-2)$$

$$\frac{\delta_z}{\delta_y} = \frac{[(z_{i+1,j+1} + 2z_{i,j+1} + z_{i-1,j+1}) - (z_{i+1,j-1} + 2z_{i,j-1} + z_{i-1,j-1})]}{8\delta_y} \quad \text{شیب در جهت y}$$

که در آن i و j همان‌طور که در شکل (۳-۲) دیده می‌شود به ترتیب شماره سطر و ستون‌ها در جهت x و y روی DEM می‌باشد.



شکل ۳-۲- نمایش شماتیک همسایگی ۳×۳ روی یک DEM

با استفاده از این دو رابطه، مقدار شیب برای هر سلول در نقشه شیب از رابطه ۱۷-۲ به دست خواهد آمد.

$$\tan(s) = \left[\left(\frac{\delta z}{\delta x} \right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17-2)$$

در روابط بالا δx و δy به ترتیب ابعاد سلول در راستای x و y می‌باشد.

مثال:

در شبکه ۳×۳ زیر با ابعاد سلول ۲۰ متر در راستای x و y، مقدار شیب سلول مرکزی برابر خواهد بود با:

۶۰	۷۵	۹۸
۱۰۵	۱۰۰	۱۰۰
۱۱۱	۱۰۹	۱۰۶

$$\frac{\delta z}{\delta x} = \frac{[(106+200+98) - (111+210+60)]}{160} = -0/231$$

$$\frac{\delta z}{\delta y} = \frac{[(106+218+111) - (98+150+60)]}{160} = 0/793$$

$$\tan(s) = \sqrt{0/053+0/630} = 0/908 \Rightarrow s = \tan^{-1}(0/908)$$

با حرکت کرنل فوق در امتداد سلول‌های مدل رقومی زمین، مقدار شیب در هر سلول محاسبه شده و مجموعه شیب‌های فوق در سلول‌های مربوطه، نقشه شیب را ارائه می‌دهد.

۲-۱-۴-۲- نقشه جهت شیب

در نقشه جهت شیب، مقدار هر سلول نمایش‌دهنده زاویه بین خط بزرگ‌ترین شیب سلول نسبت به شمال در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد.

روش محاسبه:

متداول‌ترین روش محاسبه جهت شیب بر مبنای استفاده از روش تفاضلی مرتبه دوم می‌باشد که توسط Zevenbergen and Thorne در ۱۹۸۷ ارائه شده است و بر مبنای رابطه ۱۸-۲ می‌باشد:

$$\tan(\alpha) = -\frac{\delta z / \delta y}{\delta z / \delta x} \quad (18-2)$$

در این رابطه $\delta z / \delta x$ و $\delta z / \delta y$ از همان روابط ۱۶-۲ محاسبه می‌شوند.

مثال:

روش محاسبه جهت شیب مانند مثال بند ۲-۱-۴-۱ و با توجه به وقوع خط بزرگ‌ترین شیب در ناحیه چهارم

مثلاثاتی با توجه به منفی بودن $\delta z / \delta x$ و مثبت بودن $\delta z / \delta y$ می‌باشد.

۶۰	۷۵	۹۸
۱۰۵	۱۰۰	۱۰۰
۱۱۱	۱۰۹	۱۰۶

$$\frac{\delta z}{\delta x} = -0.231$$

$$\frac{\delta z}{\delta y} = 0.793$$

۲-۱-۴-۳- نقشه جهت جریان^۱

در نقشه جهت جریان، هر سلول نمایش‌دهنده جهت جاری شدن یک سیال از آن می‌باشد که به سمت کم‌ارتفاع‌ترین سلول همسایه آن سلول رخ می‌دهد. نقشه جهت جریان یکی از کلیدهای اصلی برای استخراج خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه می‌باشد.

روش محاسبه:

رایج‌ترین روش محاسبه جهت جریان، استفاده از یک شبکه ۳×۳ جهت نما مطابق شکل (۴-۲) می‌باشد. در DEM، هر سلول بر اساس مقداری که از رابطه ۱۹-۲ و شکل (۴-۲) به دست می‌آید و از روی شبکه جهت‌نما، مقداری می‌گیرد که معرف جهت جریان می‌باشد.

۸	۱	۲
۷	۰	۳
۶	۵	۴

شکل ۲-۴ - شبکه جهت‌نما

$$FD = f \quad \text{for} \quad \max_{(f:1,...,8)} \left[w_f \mid z_{i,j} - z_{(i,i+1,i-1),(j,j+1,j-1)} \right] \quad (19-2)$$

جایی که w_f برای سلول‌های ۱ و ۳ و ۵ و ۷ برابر ۱ و برای سلول‌های ۲ و ۴ و ۶ و ۸ برابر $\frac{1}{\sqrt{2}}$ می‌باشد.

چنان‌چه دو همسایه از سلول مورد بررسی دارای مقدار کم‌ترین و برابر هم بودند، تعداد همسایه‌های مورد بررسی گسترش داده می‌شوند تا اینکه فقط یک جهت جریان برای هر سلول به‌دست آید.
مثال:

در این مثال یک شبکه 5×5 ارتفاعی ارائه شده است که با استفاده از رابطه ۲-۱۹ نقشه جهت جریان برای آن محاسبه گردیده است.

20	13	17	10	19
11	18	20	10	91
8	16	13	21	13
12	11	10	8	7
6	5	9	13	17
6	5	9	13	17

 $\Rightarrow$

6	3	3
7	4	5
5	6	3

۲-۴-۱-۴-۲ - رتبه‌بندی آبراهه‌ها

برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها در GIS ابتدا باید این آبراهه‌ها را استخراج نمود. این فرآیند در GIS تحت عنوان استخراج شبکه زهکشی نامیده می‌شوند که در ادامه تشریح شده است.

در گذشته، شبکه‌های زهکشی و حوضه‌های آبریز از روی عکس‌های هوایی یا از نقشه‌های توپوگرافی برداشت می‌شدند. این کار علاوه بر زمانبر بودن، به طور اجتناب ناپذیری خطا را افزایش می‌داد. تشخیص مرزهای حوضه با چشم روی عکس‌های هوایی، در مناطق نسبتاً مسطح آسان نیست و زیر جنگل‌های پر درخت ممکن است حتی دیدن رودها میسر نباشد.

شبکه‌های زهکشی و رودخانه‌ها، حوضه‌ها، مرزها و ...، عوارض ساختاری مهم زمین هستند که در درک جریان نقش دارند. این موارد می‌توانند در یک DEM لحاظ شوند و نیز برعکس می‌توانند از آنها به طور خودکار استخراج شوند. استخراج خودکار شبکه‌های زهکش، ابزارهای جدیدی را در GIS، برای تخمین جریان آب و رسوبات‌گذاری و ارتباط پویای مدل‌های هیدرولوژیکی برای هیدرولوژیست‌ها فراهم نموده است.
گام‌های زیر در استخراج خودکار شبکه زهکش از DEM لازم هستند.

- تعیین جهت جریان

جریان کلی بر روی یک DEM با در نظر گرفتن تندترین شیب تعیین می‌گردد. چندین الگوریتم برای محاسبه این جهت وجود دارد که در بخش ۲-۴-۱ توضیح داده شدند.

- حذف فرورفتگی‌ها

هنگامی که یک سطح هموار با یک شبکه مربعی تخمین زده می‌شود، برخی سلول‌ها وجود خواهند داشت که توسط همسایه‌های با ارتفاع بالاتر احاطه شده‌اند. این فرورفتگی‌ها می‌توانند واقعی یا غیر طبیعی باشند که مورد اخیر ناشی از تخمین سطح زمین توسط شبکه منظم است. فرورفتگی‌های غیرطبیعی اغلب در دره‌های باریک، هنگامی که عرض انتهای دره از اندازه سلول کوچک‌تر باشد یا در مناطقی با برجستگی‌های ملایم به دلیل وجود خطاهای درون‌یابی ایجاد می‌گردند.

مشکل فرورفتگی‌های غیرطبیعی این است که آنها الگوریتم زهکشی را مختل می‌نماید و بنابراین لازم است که حذف شوند. حذف خودکار همه فرورفتگی‌ها همیشه معقول نیست، چرا که فرورفتگی‌های بسته و نیمه بسته ممکن است عوارض طبیعی باشند. یک روش برای حذف فرورفتگی‌های غیر طبیعی، افزایش ارتفاع سلول مرکزی تا ارتفاع یک یا چند سلول همسایه می‌باشد. همچنین ممکن است برخی فرورفتگی‌های طبیعی به دلیل محدودیت‌های مقیاس و قدرت تفکیک، نیاز به حذف داشته باشند.

- تعیین جریان‌های تجمعی در یک شبکه

محاسبه خصوصیات مانند مقدار تجمعی جریانی که از هر سلول عبور می‌نماید از روی DEM اصلاح شده (بدون فرورفتگی) و نقشه جهت جریان بسیار ساده است.

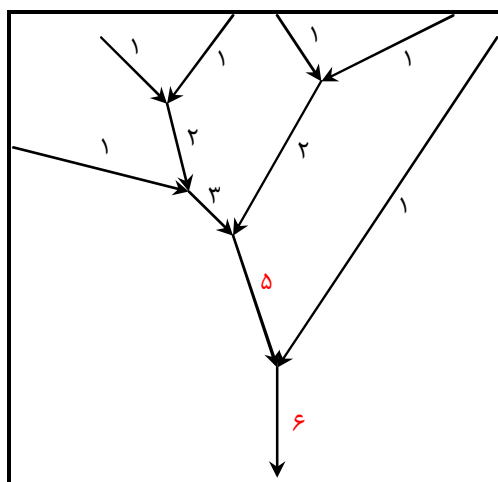
$$S(c_i) = S(c_i) + \sum_u^n (c_u) \quad (20-2)$$

اگر مقدار جریان برای هر سلول ۱ باشد، نقشه المان بالا دست یا به عبارت دیگر، تعداد سلول‌های تجمعی در بالا دست سلول حاضر که از میان آن سلول زهکش می‌شوند را نتیجه می‌دهد. معمولاً نقشه المان بالادست در مقیاس لگاریتمی نمایش داده می‌شود.

عملگر تجمعی، جریان تجمعی را از لایه اطلاعاتی بارش بر روی سطح محاسبه می‌نماید. به طور مثال جرم متعادل هر سلول از رابطه (۲۱-۲) محاسبه می‌شود.

$$S = P - I - F - ET \quad (21-2)$$

S نمایانگر آب مازاد هر سلول، P، بارش دریافتی، I، برگاب^۱، F، نفوذ^۲ و ET، تبخیر و تعرق است. جریان تجمعی بر روی شبکه با جمع زدن S سلول‌های متصل به هم (که از نقشه جهت جریان قابل تعیین می‌باشند) به دست می‌آید. پس از این مرحله و برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها باید سلول‌هایی که محل تقاطع آبراهه‌های مختلف می‌باشند را شناسایی کنیم. این کار با محاسبه تعداد سلول‌های بالادست برای هر سلول انجام می‌شود. سپس رتبه آبراهه، ما بین هر دو نقطه تقاطع برابر خواهد بود با رتبه آبراهه‌های تقاطع بالادست به علاوه ۱ تذکر، اولین آبراهه (آبراهه‌ای که بالادست نداشته باشد)، رتبه‌ای برابر ۱ می‌گیرد و بقیه از روی آن محاسبه می‌شوند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- رتبه‌بندی آبراهه‌ها

۲-۴-۱-۵- محاسبه منحنی‌های فرازسنجی (هیپسومتری)

در برخی نقشه‌های توپوگرافی برای نمایش دادن تغییرات ارتفاع از رنگ‌های گوناگون استفاده می‌کنند، از رنگ سبز برای نمایش دادن زمین‌های پست، مانند جلگه و دشت، از رنگ زرد برای مناطق کم ارتفاع و از رنگ‌های قهوه‌ای و نارنجی برای نشان دادن مناطق بلند و بسیار بلند کوهستانی و از آبی کم رنگ تا آبی سیر برای اعماق استفاده می‌شود. بر اساس این طیف رنگی به راحتی می‌توان مساحت مناطق مختلف را بر اساس ارتفاع محاسبه نمود.

۲-۴-۱-۶- ایجاد منحنی‌های هم ارزش

منحنی‌های هم‌ارزش مکان هندسی نقاط پیوسته‌ای می‌باشند که از اتصال نقاط با مقادیر برابر به دست می‌آیند. توزیع این منحنی‌ها، نمایش‌دهنده چگونگی تغییر مقادیر روی یک سطح می‌باشد. در نواحی که تغییرات مقادیر روی یک سطح کم می‌باشند منحنی‌ها با فواصل بیش‌تری نسبت به هم قرار می‌گیرند و بر عکس.

1- Interception

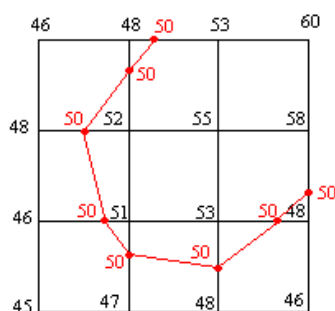
2- Infiltration

روش محاسبه:

روش‌های متعددی برای تولید منحنی‌های هم‌ارزش وجود دارند که عمدتاً بر مبنای روش‌های مثلث‌بندی و سپس درون‌یابی و اتصال نقاط هم‌ارزش می‌باشند. به عنوان مثال منحنی میزان از روی DEM با درون‌یابی فواصل بین هر پیکسل و اتصال مقادیر هم‌ارزش به دست می‌آید. (شکل ۶-۲)

در ایجاد منحنی‌های هم‌ارزش، خطوط حاصل از این فرآیند دارای رووس اتصال تیز و شکسته می‌باشند. در این مرحله با توجه به حد دقت و مقیاس نقشه‌ها (کوچک‌ترین جز قابل نمایش بر روی نقشه)، محل اتصالات تیز و شکسته مزبور نرم^۱ می‌شود. مثال:

در شکل (۶-۲) یک شبکه ۴×۴ از ارتفاعات سطح زمین درون‌یابی شده و منحنی میزان مربوط به ارتفاع ۵۰ متر ترسیم شده است.



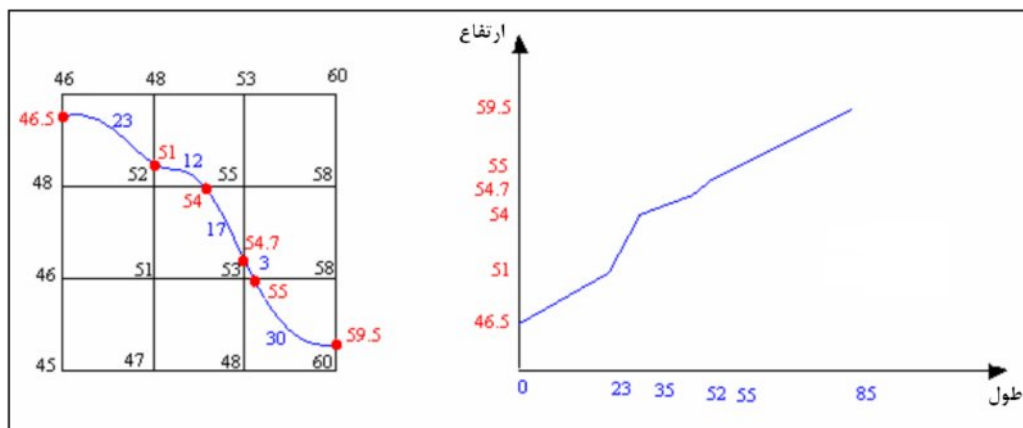
شکل ۶-۲- منحنی هم‌ارزش مربوط به ارتفاع ۵۰ متر

۲-۴-۱-۷- نیمرخ طولی و عرضی آبراهه‌ها

نیمرخ‌های طولی و عرضی آبراهه‌ها نمایش‌دهنده تغییر ارتفاع به ترتیب در امتداد محور یا عمود بر محور رودخانه باشد.

روش محاسبه:

نیمرخ‌ها از روی DEM با درون‌یابی فواصل بین هر پیکسل و به دست آوردن ارتفاع محل برخورد امتداد رودخانه با خطوط اتصال بین پیکسل‌ها و ترسیم این ارتفاعات نسبت به طول هر قطعه به دست می‌آید. (شکل ۷-۲)



شکل ۲-۷- نمایش نیمرخ طولی

۲-۵- کاربردهای GIS در تعیین توزیع مکانی پارامترهای اقلیمی

پهنه‌بندی توزیع مکانی پارامترهای اقلیمی باید بر مبنای درون‌یابی در نقاط با مقادیر مجهول بر اساس مقادیر معلوم در نقاط اندازه‌گیری شده آن پارامترها صورت گیرد. بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی و مقایسه آنها در بخش (۲-۳) ارائه شده است.

۲-۶- بررسی راهکارهای انتخاب و کاربرد مدل‌های رقومی زمین (DTM) برای مطالعات منابع آب

مطابق با تعریفی که در بخش (۲-۲) برای مدل‌های رقومی زمین ارائه شد، در این مدل‌ها مقادیر ذخیره‌سازی شده برای هر نقطه از رووس شبکه می‌تواند نمایش‌دهنده ویژگی آن نقطه باشد و الزاماً نمایش‌دهنده ارتفاع نیست. بر این اساس بسیاری از پارامترهای مختلف مورد استفاده در مطالعات منابع آب می‌توانند تحت این قالب مدل‌سازی شده و نمایش داده شوند. در این بخش برخی از این پارامترها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲-۶-۱- تهیه نقشه هم‌باران

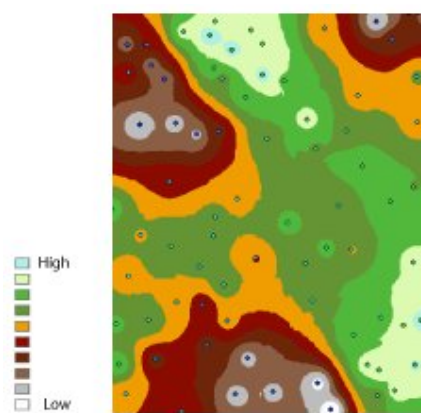
نقشه هم‌باران مکان هندسی موقعیت‌هایی است که دارای بارش یکسان می‌باشند. این نقشه‌ها معمولاً با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌دست می‌آیند و به سه دسته نقشه‌های هم‌بارش بر اساس DTM، چندضلعی‌های تیسن و منحنی‌های میزان تقسیم می‌شوند.

روش کار:

الف- نقشه‌های هم‌بارش بر اساس DTM

تهیه این نقشه‌ها طی گام‌های زیر به‌دست می‌آیند.

- گام اول: با توجه به مفاهیمی که در بخش ۲-۲ ذکر شده، یک شبکه با قدرت تفکیک مورد نیاز تشکیل داده سپس با استفاده از یکی از روش‌های درون‌یابی میزان بارش برای هر کدام از رووس شبکه از ایستگاه باران سنجی تخمین زده می‌شود.
- گام دوم: با استفاده از یکی از روش‌های طبقه‌بندی، DTM حاصل از گام اول به تعداد مناسب کلاس که هر کلاس معرف میزان بارش مشخصی می‌باشد طبقه‌بندی می‌شود.
- گام سوم: در هر کلاس، میزان بارشی معادل میانگین دسته‌ها قرار داده می‌شود. شکل (۲-۸) نمونه‌ای از این نقشه‌ها می‌باشد.

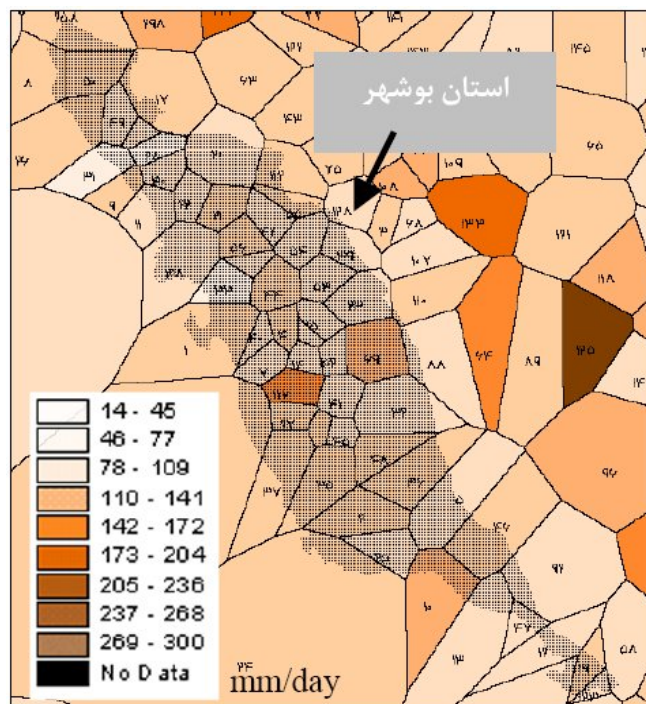


شکل ۲-۸- نقشه هم بارش براساس DTM

ب- نقشه‌های هم بارش بر اساس چندضلعی‌های تیسن یا دیگرام ورنوی

تهیه این نقشه‌ها شامل گام‌های زیر است:

- گام اول: انجام مثلث بندی به روش دلونی بین ایستگاه‌های باران سنجی
 - گام دوم: رسم عمود منصف‌های هر کدام از اضلاع مثلث‌ها و اتصال آنها به منظور ایجاد چندضلعی‌های تیسن مربوط به هر ایستگاه باران سنجی
 - گام سوم: تعمیم میزان بارش هر ایستگاه چندضلعی به تمام سطح چند ضلعی
- شکل (۲-۹) نمونه‌ای از این نقشه‌های هم بارش برای استان بوشهر می‌باشد.



شکل ۲-۹- نقشه مناطق هم بارش استان بوشهر بر اساس چندضلعی‌های تیسن

ج- نقشه‌های هم بارش بر اساس منحنی‌های میزان

این نقشه‌ها بر اساس DTM و با تکنیک شرح داده شده در بخش (۲-۲) تهیه می‌شوند. از آنجا که در محدوده مورد مطالعه در این تحقیق تعداد ایستگاه‌ها کم است، لذا از ابزار گرادیان جهت تعمیم اطلاعات به‌شرح زیر استفاده شد.

به‌طور کلی توزیع بارندگی در یک منطقه رابطه نزدیکی با خصوصیات جغرافیایی، توپوگرافی و وضعیت عمومی جو در آن ناحیه دارد. در مطالعه موردی این تحقیق به منظور تهیه نقشه هم بارش منطقه در اولین مرحله روابط همبستگی بارش با ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت. در محدوده مورد مطالعه، رابطه همبستگی بارندگی سالانه برای دوره‌های ۵، ۱۰ و ۳۰ ساله و همچنین سال‌های تر و خشک بررسی شد. در کلیه موارد روابط همبستگی خوبی برای ارتفاع و بارندگی وجود داشت که در قسمت مطالعه موردی به تشریح مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۶-۲- تهیه نقشه هم فشار

تهیه این نقشه‌ها عیناً مشابه با روش تهیه نقشه هم بارش می‌باشد با این تفاوت که به جای اطلاعات بارش، اطلاعات به دست آمده از ایستگاه‌های فشارسنجی استفاده می‌شود.

۲-۶-۳- تهیه نقشه هم دما

تهیه نقشه‌های هم دما عیناً مشابه با روش تهیه نقشه هم بارش می‌باشد با این تفاوت که به جای اطلاعات بارش، اطلاعات دما به دست آمده از ایستگاه‌های دماسنجی استفاده می‌شود.

۲-۶-۴- تهیه نقشه هم تبخیر

تهیه این نقشه‌ها عیناً مشابه با روش تهیه نقشه هم بارش می‌باشد با این تفاوت که به جای اطلاعات بارش، اطلاعات به دست آمده از ایستگاه‌های تبخیرسنجی استفاده می‌شود.

۲-۷- استخراج پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی بارش رواناب حوضه‌های آبریز

در این بخش به بررسی پارامترهای مورد نیاز در مدل‌سازی بارش - رواناب حوضه‌های آبریز پرداخته شده است.

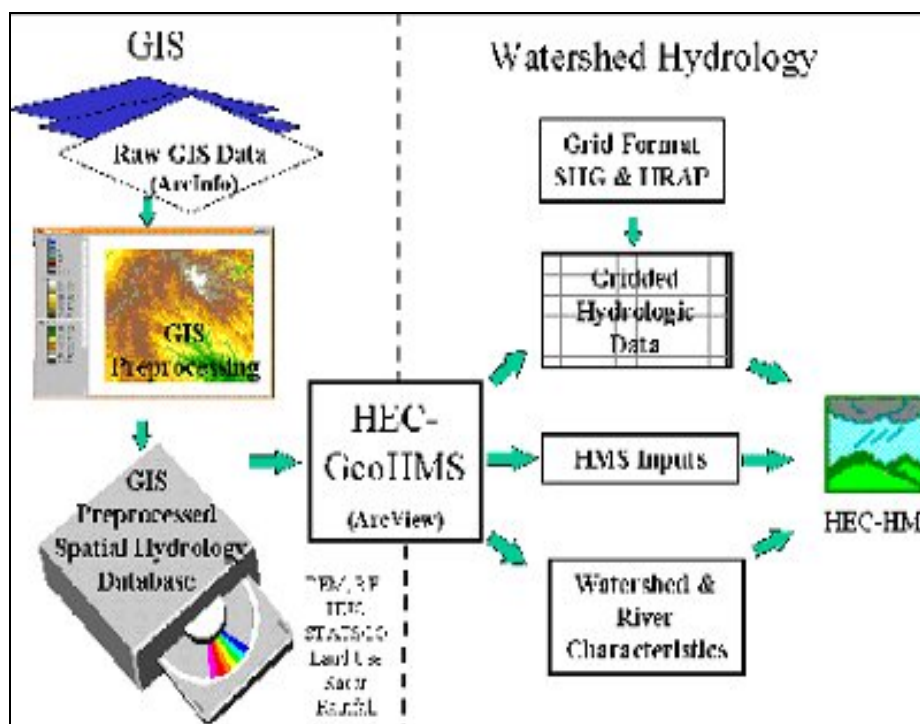
۲-۷-۱- تهیه ورودی‌های مکانی مدل HEC-HMS، HEC-GEOHMS، HEC-GeoRAS و WMS با استفاده از GIS

۲-۷-۱-۱- معرفی HEC-GeoHMS

مدل‌سازی هیدرولوژیکی مکانی HEC-GeoHMS با پردازش اطلاعات رقومی زمین، مجراهای زهکشی و محدوده‌های حوضه آبریز را به ساختار داده‌های هیدرولوژیکی که واکنش حوضه آبریز را به میزان بارندگی نشان می‌دهد، تبدیل می‌کند. این مدل‌سازی علاوه بر ساختار داده‌های هیدرولوژیکی، قابلیت ایجاد داده‌های شبکه‌ای برای تبدیل رواناب شبکه توزیع شده خطی^۱، خصوصیات فیزیکی حوضه آبریز و رودخانه، مدل حوضه HEC-HMS و فایل نقشه زمینه را نیز دارد و به کاربر اجازه می‌دهد تا طرح کلی هیدرولوژیکی حوضه آبریز را ایجاد نماید. به این ترتیب کاربر می‌تواند اطلاعات زمین را تحلیل نموده، حوضه‌ها و رودها را تشخیص داده و ورودی‌های هیدرولوژیکی را برای کاربردهای بعدی آماده نماید. این نتایج هیدرولوژیک در سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS به کار گرفته می‌شوند.

ارتباط بین GIS، HEC-GeoHMS و HEC-HMS در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است. در این شکل خط‌چین عمودی نقش GIS و هیدرولوژی حوضه آبریز را متمایز می‌کند. در این شکل GeoHMS یک رابط برای انتقال اطلاعات مکانی خام به مدل هیدرولوژیکی است که در این میان از قابلیت GIS در فرمت دادن به داده‌ها، پردازش و تبدیل مختصات استفاده می‌شود. نتیجه نهایی پردازش GIS، ایجاد پایگاه داده مکانی هیدرولوژی شامل DEM اصلاح شده، اطلاعات نوع خاک، اطلاعات کاربری زمین، بارش و ... می‌باشد. GeoHMS با پردازش DEM، حوضه را استخراج و ورودی‌های مدل هیدرولوژیک را آماده می‌کند. آنگاه HMS این داده‌ها را به عنوان ورودی مدل هیدرولوژی می‌پذیرد.

این مدل و همچنین HEC-HMS در قالب یک بسته نرم‌افزاری سازگار با نرم‌افزار سیستم اطلاعات مکانی ArcView و Spatial Analyst extension، به زبان Avenue، توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی (HEC) Hydrologic Engineering Center ارتش آمریکا ارائه شده است.



شکل ۲-۱۰- ارتباط GIS و HMS و GeoHMS

- ورودی مدل GeoHMS

تنها ورودی مورد نیاز مدل GeoHMS یک مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) است که وارد مدل GeoHMS می‌شود، آن گاه پردازش‌های مورد نیاز بر روی آن اعمال شده تا برای استخراج مدل هیدرولوژیکی آماده گردد. نحوه تولید DEM و کنترل کیفیت آن به ترتیب در بخش‌های ۲-۲ و ۳-۲-۳ ارائه شده‌اند.

• آماده سازی DEM

برای تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی به یک مدل زمین اصلاح شده هیدرولوژیکی نیاز است. منظور از مدل اصلاح شده هیدرولوژیکی، DEM بدون فرورفتگی‌های جزئی محلی^۱ است. با افزایش ارتفاع سلول‌های فرورفته و گود و رساندن ارتفاع آنها به سطح ناحیه مجاور، فرورفتگی‌ها پر شده و GeoHMS می‌تواند از این DEM اصلاح شده برای محاسبه مسیر جریان و دیگر پردازش‌های مدل زمین استفاده نماید.

کلیه فرآیندهای آماده‌سازی در خود نرم‌افزار HEC-GeoHMS برنامه‌ریزی شده و به صورت اتوماتیک قابل انجام می‌باشند.

۲-۷-۱-۲ معرفی HEC-HMS

مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS برای شبیه‌سازی بارش سیستم درختی حوضه آبریز (منابع آب، حوضه رودخانه، هیدرولوژی سیل و حوضه آبریز آب‌های سطحی در طبیعت یا در مناطق شهری کوچک) طراحی شده است. هیدروگراف‌های به دست آمده به وسیله HMS به طور مستقیم یا به وسیله نرم‌افزارهای دیگر برای مطالعات دسترسی آب، زهکشی شهری، پیش‌بینی سیل، تأثیرات آبی شهرسازی، طراحی مخازن و مجراهای هرزآب، کاهش خسارات سیل، مطالعات دشت‌های سیلابی و کاربردهای دیگر به کار می‌رود. HMS قابلیت ارائه حوضه‌های آبریز مختلفی را دارد. در بیش‌تر موارد مدل‌های مختلفی برای نشان دادن هر جریان وجود دارد. انتخاب صحیح مدل‌ها متناسب با شرایط مختلف محیطی، اطلاع از چگونگی حوضه‌های آبریز، آگاهی از هدف مطالعات هیدرولوژیکی و ارزیابی فنی می‌باشد. یک مدل یک خروجی (عامل نامعلوم) را از یک یا چند ورودی (عامل معلوم) استخراج می‌نماید. در مدل HMS، عامل معلوم بارش و عامل نامعلوم رواناب است یا به عبارت دیگر، عامل معلوم جریان بالادست و عامل نامعلوم جریان پایین‌دست می‌باشد.

- ورودی‌ها و فرضیات مدل HMS

مولفه‌های ورودی مدل HMS شامل موارد زیر می‌باشد.

- مدل حوضه، که طرح کلی و فیزیکی منطقه مورد نظر را نمایش می‌دهد و از اشکال مختلفی برای نمایش زیرحوضه‌ها، ایستگاه‌های ذخیره یا تلمبه، کانال‌ها و رودها و مجراهای خروجی و ... بهره می‌برد.
 - مدل هواشناسی، که رویدادهای مختلف بارندگی منطقه را در برمی‌گیرد.
 - مدل مشخصه‌های کنترل، که جزئیاتی هم چون بازه‌های زمانی شبیه‌سازی شده را تعریف می‌نماید.
- مولفه داده‌های ورودی، مانند داده‌های سری‌های زمانی، جفتی و شبکه‌ای هستند که اغلب به عنوان پارامتر و یا شرایط مرزی مدل حوضه و هواشناسی برای این شبیه‌سازی لازمند.
- مدل حوضه یکی از خروجی‌های مدل HEC-GeoHMS بوده و از روی DEM استخراج می‌شود و شامل زیرحوضه، قسمتی از طول رودخانه، چناب، فرورفتگی (چاله)، مخزن و انحرافی^۱ می‌باشد و مستقیماً وارد مدل HEC-HMS شده و به فرآیند آماده‌سازی خاصی نیاز ندارد.
- مدل هواشناسی، تحلیل داده‌های هواشناسی را به عهده دارد که شامل داده‌های بارندگی، تبخیر - تعرق و برف آب است. این مدل هر دو حالت بارش نقطه‌ای و شبکه‌ای را پردازش می‌نماید. بر این اساس می‌توان اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های سنجش را به صورت نقطه‌ای مستقیماً وارد مدل کرد یا با استفاده از درون‌یابی (تشریح شده در بخش ۲-۳) به داده‌های شبکه‌ای تبدیل شده و سپس وارد سیستم نمود، به هر حال برای آن فرآیند آماده‌سازی خاصی مورد نیاز

نمی‌باشد. مشخصه‌های کنترل عبارتند از تاریخ و زمان شروع، تاریخ و زمان پایان و بازه زمانی محاسبات که به صورت اطلاعات عددی به سیستم وارد می‌شوند.

اجزای داده‌های ورودی شامل سری‌های زمانی، جفتی و شبکه‌ای، به عنوان پارامتر و یا شرایط مرزی مدل حوضه و هواشناسی به صورت دستی و یا در قالب فایل‌های موجود HEC-DSS وارد مدل HEC-HMS می‌شوند. در جدول (۲-۲) این اجزا ارائه شده‌اند.

جدول ۲-۲- اجزا داده‌های ورودی مدل HEC-HMS

داده‌های شبکه‌ای	داده‌های جفتی	داده‌های سری زمانی
شبکه‌های بارش	تابع‌های ذخیره - دبی	اشل‌های بارش
شبکه‌های حرارتی	تابع‌های ارتفاع - ذخیره	اشل‌های دبی
شبکه‌های تابش خورشیدی	تابع‌های ارتفاع - مساحت	اشل‌های تابش خورشید
شبکه‌های ضریب crop	تابع‌های ارتفاع - دبی	اشل‌های حرارتی
شبکه‌های ظرفیت ذخیره	تابع‌های انحراف - درون‌ریزی	اشل‌های ضریب crop
شبکه‌های میزان تراوش	مقاطع عرضی	
شبکه‌های ضرایب ذخیره	منحنی‌های هیدروگراف واحد	
شبکه‌های کمبود رطوبت	منحنی‌های درصد	
شبکه‌های منطقه نفوذ	تابع‌های ATI ذوب	
شبکه‌های عدد قوس SCS	تابع‌های ATI سرما	
شبکه‌های محتوی سرما	الگوهای زمین ذوب	
شبکه‌های محتوی سرما	الگوهای میزان ذوب	
شبکه‌های ذوب ATI		
شبکه‌های محتوی آب مایع		
شبکه‌های معادل آب برف		

۲-۷-۱-۳- معرفی HEC-GeoRAS

HEC-GeoRAS برنامه جنبی به منظور استفاده همراه با ArcView است. این برنامه یک نرم‌افزار در زمینه GIS است که توسط موسسه تحقیقات زیست محیطی آمریکا (ESRI) به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی مورد استفاده در نرم‌افزار HEC-RAS ارائه شده است.

با استفاده از این ابزار کاربرانی که تجربه کمی در زمینه GIS دارند، می‌توانند از یک مدل رقومی ارتفاعی زمین و داده‌های تکمیلی مربوط استفاده نمایند و فایل ورودی HEC-RAS که حاوی اطلاعات مکانی منطقه مورد نظر است را تهیه کنند. همچنین می‌توان از آن برای تجزیه و تحلیل خروجی نرم‌افزار HEC-RAS نیز استفاده کرد.

اطلاعاتی که HEC-GeoRAS در فایل ورودی ذخیره می‌کند عبارتند از: شماره مشخصه‌های رودخانه و مقاطع آن، خطوط برش مقاطع، ایستگاه‌های مرزی مقاطع، طول محدوده پایین دست برای ناحیه سمت راست و چپ و کانال اصلی و ضرایب زبری مقاطع، ولی لازم به ذکر است اطلاعات سازه‌های هیدرولیکی موجود در مسیر در این فایل گنجانده نمی‌شوند. داده‌های پروفیل سطح آب و سرعت که جز نتایج HEC-RAS هستند را نیز می‌توان همراه با سایر داده‌ها وارد برنامه کرد.

این نرم‌افزار یک فایل مکانی به‌منظور استفاده در HEC-RAS تولید می‌کند و همچنین می‌توان نتایج خروجی HEC-RAS را به‌صورت گرافیکی در آن مشاهده کرد. این برنامه، فایل ورودی را با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از مدل شیب و مدل رقومی ارتفاعی زمین منطقه مورد نظر می‌سازد. بنابراین برای استفاده از این نرم‌افزار در اختیار بودن یک DTM که در قالب شبکه نامنظم مثلثی توصیف شده ضروری است. لایه‌هایی که با استفاده از این داده‌ها ساخته می‌شوند لایه‌های RAS نامیده می‌شوند. اطلاعات مکانی در نتیجه محاسباتی که بر روی این لایه‌ها انجام می‌شود به‌دست می‌آیند. قبل از وارد کردن این داده‌ها در HEC-RAS و انجام محاسبات هیدرولیکی، باید داده‌های مکانی و داده‌های مربوط به مشخصات جریان تکمیل شوند. همچنین باید پروفیل سطح آب و سرعت‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی در HEC-RAS را در محیط نرم‌افزاری ArcView وارد کرد.

– ورودی HEC-GeoRAS

به منظور استفاده از این مدل باید یک DTM در قالب TIN از ناحیه مورد مطالعه موجود باشد. DTM مذکور نشان‌دهنده ناحیه نسبتاً مسطحی است که دربردارنده کانال اصلی و نواحی سیلاب‌گیر اطراف می‌باشد. به‌دلیل اینکه تمام اطلاعات مورد نیاز این مدل از DTM به‌دست می‌آید این فایل باید از دقت بسیار بالایی برخوردار باشد. واحدهای مورد استفاده در برنامه نیز بستگی به واحد DTM دارد.

۲-۷-۱-۴- مدل WMS

WMS یک محیط کامل برای آنالیزهای هیدرولوژیکی است که توانسته با تلفیق امکانات GIS و مدل‌های هیدرولوژیکی متنوع ابزاری قدرتمند در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز ایجاد کند، به‌طوری که ابتدا داده‌های خام ورودی توسط نرم‌افزار دریافت و پس از پردازش اولیه برای ایجاد بستر رقومی مورد نیاز شبیه‌سازی، به فرمت TIN یا DEM تبدیل می‌گردند. سپس WMS با استخراج آبراه‌ها و دریافت محل خروجی‌ها اقدام به تعیین حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها نموده و در نهایت با به‌کارگیری مدل مناسب هیدرولوژیکی، هیدروگراف حاصل از بارش را محاسبه می‌کند که این هیدروگراف را می‌توان به فراخور نیاز پروژه مورد مطالعه برای شبیه‌سازی دشت سیلابی رودخانه‌ها و اثرات تخریبی سیلاب و یا محاسبات هیدرولیکی سازه‌ها در مسیر آبراه‌ها و در محیط شهری برای طراحی سیستم سیلاب‌روی شهری به‌کار برد.

در محیط‌های شهری به دلیل وجود خیابان‌ها و عوارض مصنوعی ایجاد شده، مسیر آبراه‌ها فقط از شکل توپوگرافی زمین تبعیت نمی‌کند بلکه ساختار شهری و موقعیت خیابان‌ها و معابر تاثیر به‌سزایی در تعیین شکل و وسعت حوضه‌های آبریز دارند. آنچه WMS را از سایر مدل‌های نرم‌افزارهای مشابه متمایز می‌کند ارائه Conceptual Model است که می‌توان با به‌کارگیری این ابزار در بستر رقومی TIN اقدام به شبیه‌سازی حوضه‌های شهری نمود و با به‌کارگیری مدل‌های مربوط به هیدرولوژی شهری، حجم رواناب حاصل از بارش را محاسبه و در نهایت آن را به‌عنوان مقادیر ورودی در نرم‌افزار StormCAD و یا مدل Storm Drain برای طراحی شبکه سیلاب‌روی شهری به‌کار برد.

به‌طور کلی می‌توان ویژگی‌های WMS را در خصوص سیلاب شهری به‌صورت زیر برشمرد.

– تهیه TIN و DEM و اصلاح آنها

- استفاده از نقشه‌های Raster و CAD به عنوان Background Image برای بررسی صحت داده‌های رقومی و نتایج آنالیزها
- استخراج آبراهه‌ها و نمایش مسیر جریان
- حوضه‌بندی بر مبنای مدل رقومی و آبراهه‌های استخراج شده
- حوضه‌بندی به صورت مفهومی^۱ بر مبنای مدل رقومی TIN با داشتن مسیر آبراهه‌ها و مرز تقریبی حوضه
- برآورد ضریب رواناب و شماره منحنی نفوذ توسط لایه‌های GIS
- محاسبه زمان تمرکز بر اساس روش TR-55 و روابط متنوع از جمله Kirpich و Kerby
- استفاده از مدل‌های ATONAL، TR-55، HEC-HMS برای برآورد رواناب
- قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای HEC-RAS، HEC-HMS و ArcGIS برای انجام آنالیزهای هیدرولوژیکی و GIS

۲-۷-۲- تهیه هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH)^۲

هیدروگراف رواناب مستقیم ناشی از بارش اضافی به ازای یک عمق واحد (۱ سانتی‌متر) و به طور یکنواخت در یک مدت زمان معین (D ساعت) بر سطح حوضه را هیدروگراف واحد می‌نامند. پارامتر مدت که شاخص بسیار مهمی است، به عنوان پیشوند هیدروگراف واحد استفاده می‌شود.

برای یک حوضه، هیدروگراف‌های واحد متعددی با مدت زمان‌های مختلف D می‌توان تعریف نمود. شکل این هیدروگراف‌های واحد متفاوت به مقدار مدت D بستگی دارد. با کاهش D، شدت^۳ بارش اضافی که برابر با $1/D$ است افزایش می‌یابد و هیدروگراف واحد بیش‌تر فشرده^۴ می‌شود. با میل دادن مدت زمان D به مقدار صفر، هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) به دست می‌آید. بنابراین IUH یک هیدروگراف واحد مجازی است که روان‌آب سطحی حوضه ناشی از یک بارندگی لحظه‌ای به عمق ۱ سانتی‌متر بارش اضافی را نمایش می‌دهد. این هیدروگراف، یک منحنی تک راس با عرض محدود و با خصوصیات شاخص زیر می‌باشد:

$$t \rightarrow \infty \Rightarrow u(t) \rightarrow 0 \quad (22-2)$$

$$\int_0^{\infty} u(t) dt = \text{عمق واحد}$$

مهم‌ترین برتری IUH، استقلال آن از مدت زمان بارش است. به این ترتیب در این حالت یک پارامتر کم‌تر از هیدروگراف واحد با مدت زمان D ساعت دارد. این امر IUH را برای تحلیل‌های تئوری ارتباط بارش - رواناب اضافی یک حوضه بسیار مناسب می‌سازد.

1- Conceptual

2- Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph

3- Intensity

4- Skew

برای استخراج IUH روش‌های متفاوتی مانند تحلیل هارمونیک، تبدیل لاپلاس، مدل مفهومی و منحنی S که از ساده‌ترین روش‌های محاسبات می‌باشند، موجود است. در روش منحنی S، عرض یک IUH در هر زمان t ، شیب منحنی S (منحنی S به دست آمده از هیدروگراف واحد (1-D)) با شدت ۱ سانتی‌متر بر ساعت در همان زمان است.

- استخراج منحنی S

برای تبدیل هیدروگراف D-h به هیدروگراف B-h برای همان حوضه از منحنی S استفاده می‌شود. برای هر نقطه در محور زمان منحنی IUH، مجموع ارتفاع آن نقطه و نقاط قبلی، ارتفاع منحنی S آن نقطه خواهد بود. منحنی حاصل از به هم پیوستن این ارتفاعات، منحنی S نامیده می‌شود.

۲-۸- استخراج پارامترهای مدل‌های متداول فرسایش مانند مدل فرسایش جهانی و PSIAC

به طور کلی عواملی که در فرسایش موثرند عبارت از بارندگی، رواناب، باد، خاک، شیب، پوشش گیاهی، وجود تمهیدات حفاظتی و چندین عامل اثرگذار دیگر هستند. این عوامل به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند.

- دسته اول: عوامل انرژی هستند که شامل توانایی یا پتانسیل بارندگی، رواناب و باد می‌باشند که توان مذکور را قدرت فرسایشی می‌نامند.
- دسته دوم: عوامل قدرت است که عامل اساسی فرسایش‌پذیری خاک است و به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارند.
- دسته سوم: عوامل حفاظتی بوده که بیش‌تر به پوشش گیاهی منطقه بستگی دارند.

۲-۸-۱- معرفی معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)

USLE یک مدل تجربی برای تخمین میانگین فرسایش خاک ناشی از فرسایش آبی در درازمدت است که توسط Wischmeier and Smith (۱۹۷۸) ارائه شده است. در این معادله فرسایش شیار و صفحه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. فرسایش صفحه‌ای^۱ و شیار^۲، از بین رفتن لایه‌های خاک سطح زمین بر اثر بارش و رواناب را بررسی می‌نماید و فرسایش خاک ناشی از منابع متمرکز مانند آب‌گذر و فرسایش کناره رود را در نظر نمی‌گیرد. این مدل معمول‌ترین مدل مورد استفاده برای تخمین فرسایش خاک است. گرچه این معادله در ابتدا برای مناطق کشاورزی (agricultural / cultivated) کوچک ایجاد شد، اما بعدها برای کاربری‌های دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفت. به کارگیری این مدل در GIS امکانات آسانی برای ورود، اداره و خروج داده‌ها به خصوص از لحاظ پردازش‌های سلولی فراهم می‌نماید. معادله این مدل برابر است با:

1- Sheet

2- Nill

$$A = R \times K \times C \times P \times L \times S \quad (23-2)$$

که در آن:

A: فرسایش خاک محاسبه شده (واحد جرم در واحد سطح در واحد زمان، مانند کیلوگرم در هکتار در سال)

R: عامل فرسایش‌دهی رواناب - بارش (rainfall-runoff erosive factor)

که مقدار آن برابر با میانگین سالانه فرسایش‌دهی (تن در هکتار در سال) است و از رابطه ۲-۲۴ محاسبه می‌شود.

$$R = E \times 130 / 100 \quad (24-2)$$

در این معادله E، انرژی جنبشی باران است که با استفاده از رابطه ۲-۲۵ محاسبه می‌شود. در این رابطه، 30I بیش‌ترین شدت باران در مدت ۳۰ دقیقه (سانتی‌متر در ساعت) می‌باشد که از روی بارندگی به دست آمده از باران نگار و تقسیم‌بندی مدت بارندگی به تعدادی بازه‌های کوچک به‌گونه‌ای که بتوان شدت بارندگی را در آنها یکنواخت در نظر گرفت در نظر گرفته می‌شود.

$$E = 210 + 89 \log 30I \quad (25-2)$$

انرژی جنبشی کل باران از جمع انرژی‌های جنبشی در تمام بازه‌ها به دست می‌آید. آن‌گاه با ضرب انرژی جنبشی کل (total E) در شدت بارش بیشینه در مدت ۳۰ دقیقه (I30)، شاخص فرسایش‌دهی ویشمایر، R، به دست می‌آید.

K: شاخص فرسایش‌پذیری خاک

شاخص فرسایش‌پذیری خاک، میانگین سالانه فرسایش خاک به ازای هر واحد فرسایش‌دهی در شرایط استاندارد (تن - ساعت در مگاژول - میلی‌متر) است که از روی گراف استاندارد ارائه شده به دست می‌آید.

L×S: شاخص تندی شیب و طول شیب (بدون واحد) - شاخص توپوگرافیک

این شاخص از ترکیب طول شیب (L) بر روی صفحه تصویر و تندی شیب (S) (که با نقطه میانی کلاس شیب ارائه می‌شود) به دست می‌آید و مقدار آن برای شیب استاندارد، ۵ درجه و طول ۲۲ متر، ۱ متر می‌باشد. مقدار آن از روی گراف و یا فرمول‌های متعددی به دست می‌آید. برخی فرمول‌های رایج برای آن در ادامه ارائه شده‌اند:

$$L \times S = \left(\frac{L}{22.13} \right)^n (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (26-2)$$

$$L \times S = \frac{\sqrt{L}}{22.13} (0.0065S^2 + 0.045S + 0.065)$$

$$LS = \sqrt{L / 22.13} * (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2)$$

$$LS = (L / 22) * (0.43 + 0.30S + 0.043S^2) / 6.574$$

$$LS = (L / 22.13)^n * (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2)$$

$$LS = (\text{FlowAccumulation} * \text{CellSize} / 22.13)^{0.6} *$$

$$(\text{Sin}(\text{Slope} * 0.01745) / 0.09)^{1.3} * 1.6$$

C: شاخص محصول،^۱ مدیریت^۲ و پوشش گیاهی^۳ می‌باشد و مقدار آن برابر با نسبت فرسایش خاک در شرایط مشخصی از سطح خاک لخت (بدون واحد) است. از آنجایی که میزان تاثیر عوامل مورفولوژی و پوشش گیاهی در طول سال متغیر است به همین دلیل یک سال به چندین دوره منطبق بر مراحل مختلف رشد گیاه تقسیم شده، آن گاه نسبت‌های این دوره‌ها و میانگین وزنی این مقادیر تهیه می‌شود و با معدل گیری مقادیر، شاخص C محاسبه می‌گردد.

P: شاخص عملیات حفاظت خاک^۴ و کنترل^۵ می‌باشد و مقدار آن برابر با نسبت فرسایش خاک در زمینی است که به‌صورت نواری زیر کشت رفته به فرسایش خاک زمینی که این اقدامات در آن صورت نگرفته است (بدون واحد). این مقادیر به‌صورت تجربی به دست می‌آیند. در صورتی که تدابیری در این زمینه انجام نشده باشد، مقدار آن برابر ۱ در نظر گرفته خواهد شد.

داده‌های مکانی مورد نیاز برای استفاده از GIS در تخمین فرسایش عبارتند از:

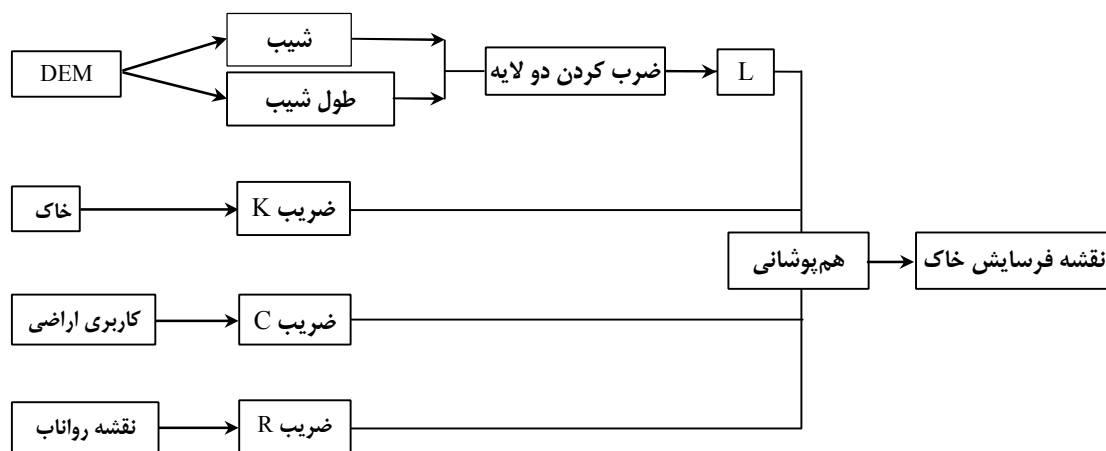
- مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM)

– روند بارش (بارش سالانه میانگین به میلی‌متر)^۶

۷ - نقشه نوع خاک

۸ - نقشه پوشش و کاربری زمین

مراحل استفاده از GIS برای تولید نقشه فرسایش خاک در گراف شکل (۲-۱۱) نمایش داده شده است.



شکل ۲-۱۱- گراف مراحل تهیه نقشه فرسایش خاک با استفاده از GIS

- 1- Cover
- 2- Management
- 3- Cropping Factor
- 4- Support Practice Factor
- 5- Control Practice
- 6- Precipitation Surface
- 7- Soil Type Map
- 8- Land Cover/use

۲-۸-۲- معرفی مدل PSIAC

برخلاف مدل USLE و دیگر نسخ آن، مدل PSIAC کل رسوب سالانه را تخمین می‌زند و تنها بر فرسایش شیلی و صفحه‌ای تمرکز ندارد. این مدل برای حوضه‌های بزرگ‌تر از ۳۰ کیلومتر مربع در غرب ایالات متحده ایجاد شده بود، گرچه برای حوضه‌های کوچک‌تر نیز کارایی دارد. برای به کارگیری مدل PSIAC بهتر است که حوضه مورد نظر به واحدهای هیدرولوژیکی یا اجزای واحدهای اراضی یا هر واحدی دیگر تقسیم شده و ارزیابی ۹ شاخص جدول (۲-۳) مورد بحث در هر واحد صورت پذیرد. سپس از حاصل جمع امتیازات به دست آمده شدت فرسایش خاک و میزان تولید رسوب محاسبه خواهد شد.

شاخص‌های این مدل عبارتند از:

X1: زمین‌شناسی سطح‌الارضی^۱ و حساسیت سنگ به فرسایش^۲

X2: خاک^۳

$$X2 = 16.67 \times K \quad (27-2)$$

که در آن K عبارت است از شاخص فرسایش پذیری خاک در مدل USLE

X3: اقلیم^۴

$$X3 = 0.2 \times P2 \quad (28-2)$$

که در آن P2 عبارت است از بارش ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ ساله که با استفاده از منحنی‌های شدت - مدت به دست می‌آیند.

X4: رواناب^۵

$$X4 = 0.006 \times R + 10 \times QP \quad (29-2)$$

که در آن R و QP به ترتیب عبارتند از ارتفاع رواناب^۶ و دبی بیشینه ویژه^۷

X5: عوارض زمین^۸

$$X5 = 0.33 \times S \quad (30-2)$$

که در آن S عبارت است از درصد شیب که از روی DEM استخراج می‌شود.

X6: پوشش زمین^۹

$$X6 = 0.2 \times Pb \quad (31-2)$$

که در آن Pb نقشه پوشش گیاهی تهیه شده می‌باشد که بر مبنای درصد زمین‌های لخت به دست می‌آید.

-
- 1- Surface Geology
 - 2- Stones Sensitivity to Erosion
 - 3- Soil
 - 4- Climate
 - 5- Runoff
 - 6- Runoff Height
 - 7- Specific Pick Discharge
 - 8- Topography
 - 9- Land/Ground Cover

X7: کاربری زمین^۱

$$X7 = 20 - 0.2 \times Pc \quad (32-2)$$

که در آن Pc درصد سایه بانی محصول در هر نوع پوشش^۲ می‌باشد.

X8: شرایط فرسایش (فرسایش سطحی)^۳

$$X8 = 0.25 \times SSF \quad (33-2)$$

که در آن SSF شاخص فرسایش سطح خاک می‌باشد.

X9: فرسایش کانال^۴ و حمل رسوب^۵ (فرسایش رودخانه)

$$X9 = 1.67 \times SSFg \quad (34-2)$$

که در آن SSFg شاخص فرسایش خندقی می‌باشد.

جدول ۲-۳- شاخص‌های ارزیابی برآورد رسوب در روش PSIAC

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص‌های ارزیابی	زمین‌شناسی	جنس خاک	شرایط اقلیمی	رواناب	توپوگرافی	پوشش زمین	کاربری زمین	فرسایش سطحی	فرسایش رودخانه
امتیازها	۰-۱۰	۰-۱۰	۰-۱۰	۰-۱۰	۰-۲۰	۱۰ تا ۱۰	۱۰ تا ۱۰	۰-۲۵	۰-۲۵

معادله این مدل عبارت است از:

$$QS = 38.77 \times e^{0.0353 \times R} \quad (35-2)$$

که در آن:

QS: رسوب تولید شده کل^۶

R: درجه رسوب تولید شده کل^۷ (حاصل جمع امتیازات شاخص‌ها)

جدول ۲-۴- رده‌بندی کلاس‌های فرسایش و خصوصیات آنها در نقشه پهنه‌بندی میزان فرسایش

رده‌بندی کلاس فرسایش	۱	۲	۳	۴	۵
شدت رسوب‌دهی	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
امتیاز رسوب‌دهی	بیش از ۱۰۰	۷۵-۱۰۰	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	کم‌تر از ۲۵
تولید سالانه رسوب	بیش از ۱۴۲۹	۴۷۶-۱۴۲۹	۲۳۸-۴۷۶	۹۵-۲۳۸	کم‌تر از ۹۵
جنس زمین	تبخیری‌ها	آبرفت‌ها	مارن‌ها	کنگلومراها	سنگ آهک‌ها

- 1- Land Use
- 2- Crop Canopy Percent
- 3- Erosion Condition
- 4- Channel Erosion
- 5- Sediment Transport
- 6- Total Sediment Yield
- 7- Sediment Yield Score

استفاده از GIS در تخمین فرسایش با استفاده از مدل PSIAC:

- ۱- نقشه‌های مربوط به هر کدام از ۹ شاخص ذکر شده با استفاده از مطالب ذکر شده در بخش مطالعات موردی در قالب لایه‌های شبکه‌ای تهیه می‌شوند.
- ۲- هر کدام از لایه‌های مذکور امتیازبندی و وزن‌دهی می‌شوند.
- ۳- لایه‌های ایجاد شده با استفاده از هم‌پوشانی جمع می‌شوند و ضریب R را ایجاد می‌کنند.
- ۴- با جایگذاری مقادیر در رابطه ۲-۳۵ مقدار فرسایش برای هر سلول محاسبه می‌گردد.

۲-۹- تلفیق پارامترهای فیزیوگرافی، اقلیمی و پیکره زمین (زمین و خاک) برای تعیین حوضه‌های همگن

تعداد زیادی از ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌ها در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

- ۱- مساحت و محیط، ۲- شکل حوضه، ۳- تراکم حوضه، ۴- شکل شبکه زهکشی، ۵- رتبه‌بندی آبراهه‌ها، ۶- شیب متوسط حوضه، ۷- طول آبراهه اصلی، ۸- شیب و پروفیل طولی آن، ۹- جهت حوضه، ۱۰- ارتفاع متوسط حوضه.

همان‌طور که قبلاً ذکر گردید همه این عوامل فیزیوگرافی به صورت لایه‌هایی قابل استفاده در محیط‌های نرم‌افزاری سیستم‌های اطلاعات مکانی قابل حصول و استفاده می‌باشند. بر اساس داده‌های اقلیمی نیز می‌توان نقشه هم باران و هم دما را برای حوضه‌های مختلف به دست آورد. با تلفیق این پارامترها و پارامترهای پیکره زمین که مبین شیب، جهت شیب و ارتفاع زمین می‌باشند می‌توان به حوضه‌های همگن دسترسی پیدا کرد، به طوری که این حوضه‌ها حوضه‌هایی هستند که بیش‌تر از ۸۰٪ از خصوصیات آنها از نظر پارامترهای ذکر شده شبیه به هم می‌باشند.

۲-۱۰- کاربرد GIS در مطالعات آب‌های زیرزمینی

از آنجا که بخش عمده‌ای از عوامل موثر بر مطالعات آب‌های زیرزمینی دارای مولفه‌های مکانی می‌باشند، در این بخش به بررسی قابلیت‌های GIS در زمینه مطالعات آب‌های زیرزمینی پرداخته می‌شود. به طور کلی، GIS می‌تواند در دو بخش زیر در رابطه با مطالعات آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد:

- ساماندهی داده‌ها و تولید لایه‌های اطلاعاتی پایه آب‌های زیرزمینی
- تهیه و نمایش داده‌های ثانویه آب‌های زیرزمینی با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی پایه

در ادامه به بررسی و تشریح موارد فوق پرداخته شده است.

۲-۱۰-۱- ساماندهی داده‌ها و تولید لایه‌های اطلاعاتی پایه آب‌های زیرزمینی

همان‌طور که در فصل قبل نیز اشاره شد در GIS، داده‌های مکانی بر اساس محتوا و نوع اطلاعات، در لایه‌های مختلف ذخیره شده و سپس اطلاعات توصیفی مربوط به هر یک از لایه‌ها، به آن منتسب می‌گردد. با توجه به آنکه رقومی بودن نیاز اساسی داده‌های مورد استفاده در GIS، اعم از مکانی و توصیفی می‌باشد، در این بخش مشخصات داده‌های پایه

آب‌های زیرزمینی به منظور استفاده در پردازش‌های آتی بررسی می‌شود. برای این منظور، کلیه داده‌های پایه مورد نیاز مطالعات آب‌های زیرزمینی در قالب جدولی با محتویات زیر ارائه می‌گردد.

- نام لایه: لایه مورد نظر
- تعریف لایه: یک تعریف از لایه مورد نظر
- نوع لایه: در این قسمت، برداری یا شبکه‌ای بودن لایه مشخص می‌شود و در مورد داده‌های برداری، نوع عوارض آن (نقطه‌ای، خطی و یا سطحی) تعیین می‌گردد.
- داده‌های توصیفی منتسب به لایه: در این بخش، داده‌های توصیفی یا اطلاعات مربوطه در قالب جدولی با محتویات زیر ارائه می‌گردد.
 - نام: نام داده توصیفی
 - نوع: در این قسمت، نوع داده توصیفی معرفی می‌شود که می‌تواند عدد صحیح^۱، عدد اعشاری^۲ یا الفبایی^۳ باشد.
 - واحد: در مواردی که داده توصیفی دارای واحد اندازه‌گیری باشد، این واحد در این قسمت معرفی می‌شود.
 - دامنه: در مواردی که محدوده مشخصی برای داده توصیفی مربوطه وجود داشته باشد، این مقدار در این قسمت ارائه می‌گردد.

در ادامه به معرفی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای مطالعات آب‌های زیرزمینی پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱۰-۱- توپوگرافی

داده‌های توپوگرافی را می‌توان به صورت نقاط ارتفاعی، منحنی میزان، مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) و TIN ارائه نمود.

نام لایه: نقاط ارتفاعی				
تعریف لایه: مجموعه‌ای از نقاط برداشت شده از سطح زمین که دارای مولفه ارتفاعی نسبت به یک سطح مبنای ارتفاعی مشخص می‌باشند.				
نوع لایه: ☒ برداری (☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	ارتفاع	float	m	

1- Int
2- Float
3- String

نام لایه: منحنی میزان				
تعریف لایه: خطوط هم‌تراز ارتفاعی هستند که نقاط موجود بر روی هر خط، دارای ارتفاع یکسان می‌باشند. هر چه این خطوط به یکدیگر نزدیک‌تر باشد، بیانگر شیب بیش‌تر سطح زمین است.				
نوع لایه: ☒ برداری (☐ نقطه‌ای ☒ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	ارتفاع	float	m	

نام لایه: مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM)				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن، سطح زمین به‌صورت شبکه‌ای تقسیم‌بندی شده و هر سلول شبکه، دارای ارتفاع مشخصی می‌باشد.				
نوع لایه: ☐ برداری (☐ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی) ☒ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	ارتفاع	float	m	

نام لایه: شبکه نامنظم مثلثی (TIN)				
تعریف لایه: یک مثلث‌بندی نامنظم از سطح می‌باشد که با استفاده از نقاط ارتفاعی انجام می‌شود.				
نوع لایه: ☒ برداری (☐ نقطه‌ای ☐ خطی ☒ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	ارتفاع	float	m	

۲-۱۰-۱-۲- شبکه آبراهه‌ها

نام لایه: شبکه آبراهه‌ها				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن، آبراهه‌ها مشخص شده‌اند.				
نوع لایه: ☒ برداری ☐ نقطه‌ای ☒ خطی ☐ سطحی				
☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	نام آبراهه	string		
۲	نوع آبراهه	string		
۳	دبی	float	m ³ /s	
۴	الگوی آبراهه	string		
۵	رتبه آبراهه	int		
۶	طول	float	m	
۷	عرض	float	m	
۸	شیب	float	درصد	

۲-۱۰-۱-۳- زمین‌شناسی

نام لایه: زمین‌شناسی				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن، سازندهای مختلف زمین‌شناسی مشخص می‌شود.				
نوع لایه: ☒ برداری ☐ نقطه‌ای ☐ خطی ☒ سطحی				
☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	جنس زمین	string		
۲	ضخامت لایه	string	m	
۳	شیب لایه	float	درصد	
۴	امتداد لایه	float	درجه	
۵	مقاطع زمین‌شناسی	link		
۶	فصل مشترک			
۷	محور چین‌ها			
۸	گسل‌ها			
۹	شیب			
۱۰	ضخامت			
۱۱	امتداد			
۱۲	شیب			
۱۳	ناپوستگی‌ها			
۱۴	چین‌ها			

۲-۱۰-۴- ژئوالکتریک

نام لایه: ژئوالکتریک				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن مقاومت الکتریکی و ضخامت لایه مشخص می‌باشد.				
نوع لایه: ☒ برداری (☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	آب منطقه‌ای	string		
۲	استان	string		
۳	نام محدوده	string		
۴	کد محدوده	int		
۵	نام آبادی	string		
۶	نام اپراتور	string		
۷	شماره سونداژ	int		
۸	امتداد گسترش (درجه)	float	degree	
۹	ارتفاع مطلق	float		
۱۰	سطح ایستایی			
۱۱	مقاومت الکتریکی مقاطع ژئوالکتریک	float	Ωm	
۱۲	ضخامت	float	m	
۱۳	مقاطع مربوطه	lin		
۱۴	ناپیوستگی‌ها			
۱۵	منحنی مقاومت ظاهری			
۱۶	منحنی مقاومت ظاهری			
۱۷	پروفیل‌ها			

۲-۱۰-۵- چاه و گمانه

نام لایه: چاه و گمانه				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن اطلاعاتی در ارتباط با خصوصیات مواد تشکیل‌دهنده لایه‌های زمین و ضخامت آنها و سطح آب ارائه شود.				
نوع لایه: ☒ برداری (☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	رقوم نقطه نشانه	int		
۲	عمق چاه یا گمانه	float	m	
۳	قطر	float	m	
۴	ضخامت	float	m	
۵	جنس	string		
۶	تراوایی	float		
۷	عمق سطح آب			

۹۲/۰۷/۰۱

۲-۱۰-۱-۶- عمق سنگ کف

نام لایه: عمق سنگ کف				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن عمق سنگ کف نسبت به یک سطح زمین، به صورت خطوط تراز مشخص شده‌اند. (این داده مختص آبخوان آزاد بوده در صورتی که آبخوان تحت فشار باشد باید عمق از ضخامت لایه‌های ناتراوا تعیین گردد).				
نوع لایه: ☒ برداری ☐ نقطه‌ای ☒ خطی ☐ سطحی ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	عمق سنگ کف	float	m	

۲-۱۰-۱-۷- جنس سنگ کف

نام لایه: جنس سنگ کف				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن جنس سنگ کف در مناطق مختلف مشخص شده است.				
نوع لایه: ☒ برداری ☐ نقطه‌ای ☐ خطی ☒ سطحی ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	جنس سنگ کف	string		

۲-۱۰-۱-۸- شبکه پیزومتری

نام لایه: شبکه پیزومتری				
تعریف لایه: این لایه، شامل چاه‌های پیزومتری و مشخصات آنها می‌باشد.				
نوع لایه: ☒ برداری ☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	ارتفاع آب	float	m	
۲	عمق سطح آب	float	m	
۳	ارتفاع BM	float	m	
۴	قطر	float	m	

۲-۱۰-۱-۹- عمق سطح آب

پس از حفر پیزومترها و اندازه‌گیری ارتفاع آب در هر یک از آنها، می‌توان مشابه نقشه‌های توپوگرافی، یک نقشه پیوسته از عمق سطح آب به دست آورد که اغلب به صورت منحنی میزان تهیه می‌گردد.

نام لایه: عمق سطح آب				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن، عمق سطح آب به صورت منحنی میزان ارائه می‌شود.				
نوع لایه: ☒ برداری (☐ نقطه‌ای ☒ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	عمق سطح آب	float	m	

۲-۱۰-۱-۱۰- توزیع بار هیدرولیکی آبخوان

نام لایه: توزیع بار هیدرولیکی آبخوان				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن، با استفاده از مشاهدات انجام شده در پیزومترها، خطوط هم‌بار هیدرولیکی ترسیم شده است.				
نوع لایه: ☒ برداری (☐ نقطه‌ای ☒ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	بار هیدرولیکی	float		

۲-۱۰-۱-۱۱- نقاط منابع آب

نقاط منابع آب می‌توانند چاه، چشمه و یا قنات باشند.

نام لایه: چاه				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن چاه‌های موجود در یک منطقه به همراه مشخصات آن وجود دارد.				
نوع لایه: ☒ برداری (☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	نام استان	string		
۲	نام محدوده مطالعاتی	string		
۳	کد محدوده مطالعاتی	int		
۴	نام شهرستان	string		
۵	نام بخش	string		
۶	نام آبادی	string		

۹۲/۰۷/۰۱

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۷	نام مالک در پرونده حفاظت	string		
۸	شماره پروانه حفر	string		
۹	تاریخ صدور پروانه حفر	date		
۱۰	شماره پروانه بهره‌برداری	string		
۱۱	تاریخ صدور پروانه بهره‌برداری	date		
۱۲	شماره پروانه آخرین کف شکنی یا جابجایی	string		
۱۳	تاریخ آخرین کف شکنی یا جابجایی	date		
۱۴	کلاس پرونده	string		
۱۵	تاریخ آمار برداری	date		
۱۶	شماره منبع روی نقشه	int		
۱۷	نام مالک فعلی	string		
۱۸	عمق چاه	float	m	
۱۹	چاه کمکی	bool		دارد، ندارد
۲۰	سال حفاری	int	Year	
۲۱	سطح آب در هنگام آمار برداری	float	m	
۲۲	قطر لوله جدار	float	inch	
۲۳	طول لوله جدار	float	m	
۲۴	قطر لوله آبده	float	inch	
۲۵	نوع موتور	string		دیزل، بنزینی، موتور ژنراتور، برقی، بادی، غیره
۲۶	نیروی محرکه	string		برقی، فسیلی، باد
۲۷	قدرت موتور	float	اسب بخار	
۲۸	نوع پمپ	string		سانتریفوژ، توربینی، شناور
۲۹	قدرت پمپ	float	اسب بخار	
۳۰	تعداد طبقات پمپ	int		
۳۱	دور موتور در دقیقه	int	R/m	
۳۲	قدرت الکترو موتور	float	اسب بخار	
۳۳	قدرت الکترو پمپ	float	اسب بخار	
۳۴	قدرت جعبه دنده	float	اسب بخار	
۳۵	نسبت تبدیل جعبه دنده	float		
۳۶	قدرت ترانس برق	float	وات	
۳۷	کنتور آب	bool		دارد، ندارد
۳۸	وضعیت کنتور آب	bool		سالم، خراب
۳۹	شماره بدنه کنتور آب	string		
۴۰	ساختمان موتور خانه	bool		دارد، ندارد
۴۱	منبع یا مخزن آب	bool		دارد، ندارد
۴۲	طول لوله آبرسانی	float	m	
۴۳	ارتفاع آبرسانی	float	m	
۴۴	شماره اشتراک برق	string		

۹۲/۰۷/۰۱

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۴۵	شماره شناسایی برق	string		
۴۶	آبدهی با تجهیزات	float	L/S	
۴۷	آبدهی بدون تجهیزات	float	L/S	
۴۸	وسیله اندازه‌گیری آبدهی	string		
۴۹	درصد مصرف کشاورزی	float		
۵۰	درصد مصرف فضای سبز	float		
۵۱	درصد مصرف گیاهان دارویی	float		
۵۲	درصد مصرف گلخانه	float		
۵۳	درصد مصرف دام و طیور	float		
۵۴	درصد مصرف آبی‌پرووی	float		
۵۵	درصد مصرف شرب شهری	float		
۵۶	درصد مصرف شرب روستایی	float		
۵۷	درصد مصرف صنعت	float		
۵۸	درصد مصرف خدمات	float		
۵۹	درصد مصرف آب بسته‌بندی	float		
۶۰	درصد مصرف بلا استفاده	float		
۶۱	تعداد روزهای بهره‌برداری در بهار	int	day	
۶۲	متوسط بهره‌برداری روزانه در بهار	int	Hou	
۶۳	کل بهره‌برداری فصل بهار	int	Hour	
۶۴	تعداد روزهای بهره‌برداری در تابستان	int	day	
۶۵	متوسط بهره‌برداری روزانه در تابستان	int	Hour	
۶۶	کل بهره‌برداری فصل تابستان	int	Hour	
۶۷	تعداد روزهای بهره‌برداری در پاییز	int	day	
۶۸	متوسط بهره‌برداری روزانه در پاییز	int	Hour	
۶۹	کل بهره‌برداری فصل پاییز	int	Hour	
۷۰	تعداد روزهای بهره‌برداری در زمستان	int	day	
۷۱	متوسط بهره‌برداری روزانه در زمستان	int	Hour	
۷۲	کل بهره‌برداری فصل زمستان	int	Hour	
۷۳	کل ساعات بهره‌برداری سالانه	int	Hour	
۷۴	حجم بهره‌برداری سالانه	int	m ³	
۷۵	تخلیه سالانه	int	m ³	
۷۶	میزان مصرف سوخت فسیلی در سال	float	litr	
۷۷	روش آبیاری	string		غرقابی، نشتی، تحت فشار
۷۸	سطح زیر کشت	float	Hectare	
۷۹	کشت غالب	string		
۸۰	مساحت باغ	float	Hectare	
۸۱	گردش تقسیم آب	int	day	
۸۲	درجه حرارت آب	float	cm	
۸۳	وضعیت چاه فاقد رقم آبدهی	string		
۸۴	جنس سنگ مخزن	string		
۸۵	نام سازند	string		
۸۶	سن سازند	string		
۸۷	جنس سازند	string		
۸۸	هدایت الکتریکی (EC)	float	میکروزیمنس بر سانتی‌متر	

۹۲/۰۷/۰۱

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۸۹	باقیمانده خشک (TDS)	float	mg/L	
۹۰	PH	float		
۹۱	CO_3^{--}	float	mE/L	
۹۲	HCO_3^-	float	mE/L	
۹۳	Cl^-	float	mE/L	
۹۴	SO_4^{--}	float	mE/L	
۹۵	جمع آنیون‌ها	float	mE/L	
۹۶	Ca^{++}	float	mE/L	
۹۷	Mg^{++}	float	mE/L	
۹۸	Na^+	float	mE/L	
۹۹	K^+	float	mE/L	
۱۰۰	جمع کاتیون‌ها	float	mE/L	
۱۰۱	Na	float	درصد	
۱۰۲	SAR	float		
۱۰۳	سختی کل TH برحسب CaCO_3	float	mg/L	

نام لایه: چشمه

تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن چشمه‌های موجود در یک منطقه به همراه مشخصات آن وجود دارد.

نوع لایه: ☒ برداری ☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی ☐ شبکه‌ای

داده‌های توصیفی:

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	نام استان	string		
۲	نام محدوده مطالعاتی	string		
۳	کد محدوده مطالعاتی	int		
۴	نام شهرستان	string		
۵	نام بخش	string		
۶	نام آبادی	string		
۷	نام مالک	string		
۸	نام چشمه	string		
۹	تاریخ آمار برداری	date		
۱۰	شماره منبع روی نقشه	int		
۱۱	ارتفاع مظهر چشمه از سطح دریا	float		
۱۲	وسیله تعیین ارتفاع	string		
۱۳	منبع یا مخزن آب	bool		دارد، ندارد
۱۴	طول لوله آبرسانی	float	m	
۱۵	ارتفاع آبرسانی	float	m	
۱۶	نوع چشمه از لحاظ نحوه ظهور	string		ساختار
۱۷	نوع چشمه از لحاظ موقعیت ظهور	string		ساختار
۱۸	نوع چشمه از لحاظ تداوم آبدهی	string		دائمی، فصلی، هوابین
۱۹	نوع چشمه از لحاظ دمای آب	string		گرم، نیمه گرم، سرد

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۲۰	نوع چشمه از لحاظ کیفیت	string		معدنی، غیر معدنی
۲۱	نوع سازند سخت	string		کربناته، غیر کربناته
۲۲	سن سازند			
۲۳	جنس سازند	string		
۲۴	جنس سنگ مظهر	string		
۲۵	آبدهی لحظه ای	float	L/S	
۲۶	آبدهی لحظه‌ای با تجهیزات	float	L/S	
۲۷	وسیله اندازه‌گیری آبدهی	string		
۲۸	حداقل آبدهی	float	L/S	
۲۹	حداکثر آبدهی	float	L/S	
۳۰	تعداد روزهای بهره‌برداری در بهار	int	day	
۳۱	متوسط بهره‌برداری روزانه در بهار	int	Hour	
۳۲	کل بهره‌برداری فصل بهار	int	Hour	
۳۳	تعداد روزهای بهره‌برداری در تابستان	int	day	
۳۴	متوسط بهره‌برداری روزانه در تابستان	int	Hour	
۳۵	کل بهره‌برداری فصل تابستان	int	Hour	
۳۶	تعداد روزهای بهره‌برداری در پاییز	int	day	
۳۷	متوسط بهره‌برداری روزانه در پاییز	int	Hour	
۳۸	کل بهره‌برداری فصل پاییز	int	Hour	
۳۹	تعداد روزهای بهره‌برداری در زمستان	int	day	
۴۰	متوسط بهره‌برداری روزانه در زمستان	int	Hour	
۴۱	کل بهره‌برداری فصل زمستان	int	Hour	
۴۲	کل ساعات بهره‌برداری سالانه	int	Hour	
۴۳	حجم بهره‌برداری سالانه	int	m ³	
۴۴	تخلیه سالانه	int	m ³	
۴۵	درصد مصرف کشاورزی	float		
۴۶	درصد مصرف فضای سبز	float		
۴۷	درصد مصرف گیاهان دارویی	float		
۴۸	درصد مصرف گلخانه	float		
۴۹	درصد مصرف دام و طیور	float		
۵۰	درصد مصرف آبی‌پروی	float		
۵۱	درصد مصرف شرب شهری	float		
۵۲	درصد مصرف شرب روستایی	float		
۵۳	درصد مصرف صنعت	float		
۵۴	درصد مصرف خدمات	float		
۵۵	درصد مصرف آب بسته‌بندی	float		
۵۶	درصد مصرف بلا استفاده	float		
۵۷	روش آبیاری	string		غرقابی، نشتی، تحت فشار
۵۸	سطح زیر کشت	float	Hectare	
۵۹	کشت غالب	string		
۶۰	مساحت باغ	float	Hectare	
۶۱	گردش تقسیم آب	int	day	

۹۲/۰۷/۰۱

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۶۲	درجه حرارت آب	float	cm	
۶۳	تاریخ نمونه‌برداری مشخصات کیفی	date		
۶۴	تاریخ انجام آزمایش مشخصات کیفی	date		
۶۵	هدایت الکتریکی (EC)	float	میکروزیمنس بر سانتی‌متر	
۶۶	باقیمانده خشک (TDS)	float	mg/L	
۶۷	PH	float		
۶۸	CO_3^{--}	float	mE/L	
۶۹	HCO_3^-	float	mE/L	
۷۰	Cl^-	float	mE/L	
۷۱	SO_4^{--}	float	mE/L	
۷۲	جمع آنیون‌ها	float	mE/L	
۷۳	Ca^{++}	float	mE/L	
۷۴	Mg^{++}	float	mE/L	
۷۵	Na^+	float	mE/L	
۷۶	K^+	float	mE/L	
۷۷	جمع کاتیون‌ها	float	mE/L	
۷۸	Na	float	درصد	
۷۹	SAR	float		
۸۰	سختی کل TH برحسب CaCO_3	float	mg/L	

نام لایه: قنات				
تعریف لایه: لایه‌ای است که در آن قنات‌های موجود در یک منطقه به همراه مشخصات آن وجود دارد.				
نوع لایه: ☒ برداری ☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	نام استان	string		
۲	نام محدوده مطالعاتی	string		
۳	کد محدوده مطالعاتی	int		
۴	نام شهرستان	string		
۵	نام بخش	string		
۶	نام آبادی	string		
۷	نام مالک	string		
۸	نام قنات	string		
۹	تاریخ آمار برداری	date		
۱۰	مختصات UTM مادر چاه رشته‌ای X	float		
۱۱	مختصات UTM مادر چاه رشته‌ای Y	float		
۱۲	شماره منبع روی نقشه	int		
۱۳	عمق مادر چاه رشته اصلی	float	m	
۱۴	تعداد رشته‌های فرعی	int		
۱۵	طول بلندترین رشته	float	m	
۱۶	وضعیت قنات	string		دایر، بایر
۱۷	وضعیت آینده	string		دائمی، فصلی، هوابین
۱۸	ارتفاع مظهر چشمه از سطح دریا	float		

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱۹	منبع یا مخزن آب	bool		دارد، ندارد
۲۰	طول لوله آبرسانی	float	m	
۲۱	ارتفاع آبرسانی	float	m	
۲۲	آبدهی لحظه‌ای	float	L/S	
۲۳	آبدهی لحظه‌ای با تجهیزات	float	L/S	
۲۴	وسیله اندازه‌گیری آبدهی	string		
۲۵	حداقل آبدهی	float	L/S	
۲۶	حداکثر آبدهی	float	L/S	
۲۷	تعداد روزهای بهره‌برداری در بهار	int	day	
۲۸	متوسط بهره‌برداری روزانه در بهار	int	Hour	
۲۹	کل بهره‌برداری فصل بهار	int	Hour	
۳۰	تعداد روزهای بهره‌برداری در تابستان	int	day	
۳۱	متوسط بهره‌برداری روزانه در تابستان	int	Hour	
۳۲	کل بهره‌برداری فصل تابستان	int	Hour	
۳۳	تعداد روزهای بهره‌برداری در پاییز	int	day	
۳۴	متوسط بهره‌برداری روزانه در پاییز	int	Hour	
۳۵	کل بهره‌برداری فصل پاییز	int	Hour	
۳۶	تعداد روزهای بهره‌برداری در زمستان	int	day	
۳۷	متوسط بهره‌برداری روزانه در زمستان	int	Hour	
۳۸	کل بهره‌برداری فصل زمستان	int	Hour	
۳۹	کل ساعات بهره‌برداری سالانه	int	Hour	
۴۰	حجم بهره‌برداری سالانه	int	m ³	
۴۱	تخلیه سالانه	int	m ³	
۴۲	درصد مصرف کشاورزی	float		
۴۳	درصد مصرف فضای سبز	float		
۴۴	درصد مصرف گیاهان دارویی	float		
۴۵	درصد مصرف گلخانه	float		
۴۶	درصد مصرف دام و طیور	float		
۴۷	درصد مصرف آبی‌پرووی	float		
۴۸	درصد مصرف شرب شهری	float		
۴۹	درصد مصرف شرب روستایی	float		
۵۰	درصد مصرف صنعت	float		
۵۱	درصد مصرف خدمات	float		
۵۲	درصد مصرف آب بسته بندی	float		
۵۳	درصد مصرف بلا استفاده	float		
۵۴	روش آبیاری	string		غرقابی، نشتی، تحت فشار
۵۵	سطح زیر کشت	float	Hectare	
۵۶	کشت غالب	string		
۵۷	مساحت باغ	float	Hectare	
۵۸	گردش تقسیم آب	int	day	
۵۹	درجه حرارت آب	float	cm	
۶۰	نام سازند	string		
۶۱	سن سازند	string		
۶۲	جنس سازند	string		
۶۳	جنس سنگ مظهر	string		
۶۴	تاریخ آخرین لایروبی	date		تاریخ آخرین لایروبی

۹۲/۰۷/۰۱

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۶۵	شماره مجوز آخرین لایروبی	string		
۶۶	تاریخ آخرین پیشکاری	date		
۶۷	شماره مجوز آخرین پیشکاری	string		
۶۸	تاریخ نمونه‌برداری مشخصات کیفی	date		
۶۹	تاریخ انجام آزمایش مشخصات کیفی	date		
۷۰	هدایت الکتریکی (EC)	float	میکروزیمنس بر سانتی‌متر	
۷۱	باقیمانده خشک (TDS)	float	mg/L	
۷۲	PH	float		
۷۳	CO ₃ ⁻⁻	float	mE/L	
۷۴	HCO ₃ ⁻	float	mE/L	
۷۵	Cl ⁻	float	mE/L	
۷۶	SO ₄ ⁻⁻	float	mE/L	
۷۷	جمع آنیون‌ها	float	mE/L	
۷۸	Ca ⁺⁺	float	mE/L	
۷۹	Mg ⁺⁺	float	mE/L	
۸۰	Na ⁺	float	mE/L	
۸۰	K ⁺	float	mE/L	
۸۲	جمع کاتیون‌ها	float	mE/	
۸۳	Na	float	درصد	
۸۴	SAR	float		
۸۵	سختی کل TH برحسب CaCO ₃	float	mg/L	

۲-۱۰-۱۲- ضرایب هیدرولیکی آبخوان حاصل از آزمایش پمپاژ

نام لایه: ضرایب هیدرولیکی آبخوان				
تعریف لایه: در این لایه، ضرایب هیدرولیکی آبخوان به عنوان داده توصیفی به آن متصل می‌شود.				
نوع لایه: ☒ برداری (☒ نقطه‌ای ☐ خطی ☐ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	تخلخل	float	درصد	
۲	ضریب هدایت هیدرولیکی	float	m/s	
۳	متوسط ضریب هدایت هیدرولیکی	float	m/s	
۴	ضریب هدایت هیدرولیکی	float	m/day	
۵	سرعت واقعی	float	m/s	
۶	سرعت ظاهری	float	m/s	
۷	ضریب هدایت هیدرولیکی در جهت افقی	float	m/s	
۸	ضریب هدایت هیدرولیکی در جهت قائم	float	m/s	
۹	ضریب ذخیره	float	درصد	
۱۰	ضریب انتقال برحسب	float	m ² /s	
۱۱	ضریب انتقال برحسب	float	m ² /day	
۱۲	ضریب نگهداشت ویژه	float		
۱۳	آبدهی ویژه (تخلخل مفید)	float		

ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱۴	مقاومت هیدرولیکی	int	day	
۱۵	عامل نشت	float	m	
۱۶	عمق چاه	float	m	
۱۷	قطر چاه	float	m	
۱۸	روش حفاری	string		
۱۹	میزان حفر			کلی، جزئی
۲۰	تراز سطح آب قبل از آزمایش	float	m	
۲۱	نوع آزمایش پمپاژ	string		
۲۲	روش آزمایش پمپاژ	string		
۲۳	مدت آزمایش	time		
۲۴	تعداد پیزومترها	int		
۲۵	عمق پیزومترها	float	m	
۲۶	فاصله پیزومترها	float	m	
۲۷	تراز سطح آب قبل از آزمایش	float	m	
۲۸	دبی پمپاژ	float	m	
۲۹	روش اندازه‌گیری دبی	string		

۲-۱۰-۱۳- پهنه‌بندی آبرفت‌های یک دشت بر اساس تراوایی

نام لایه: آبرفت‌های یک دشت بر اساس تراوایی				
تعریف لایه: در این لایه، مشخصات تراوایی آبرفت‌های یک دشت وجود دارد که براساس قابلیت هدایت هیدرولیکی پهنه‌بندی می‌شود.				
نوع لایه: ☒ برداری (☐ نقطه‌ای ☐ خطی ☒ سطحی) ☐ شبکه‌ای				
داده‌های توصیفی:				
ردیف	نام داده‌های توصیفی	نوع	واحد	دامنه
۱	ضریب هدایت هیدرولیکی	float	m/s	

۲-۱۰-۱۴- مدیریت سری‌های زمانی عوامل هیدرولوژیکی

برای امکان مدیریت سری‌های زمانی، اندازه‌گیری‌های مربوط به بازه‌های زمانی مختلف الزامی است. از این رو، برای انجام تحلیل‌های زمانی، اطلاعات ذکر شده در جداول فوق در بازه‌های زمانی مختلف ثبت شده و سپس تحلیل‌های زمانی بر روی آنها اعمال می‌گردد.

۲-۱۰-۱۵- چگونگی تهیه و نمایش داده‌های ثانویه برای مطالعات و مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی

با استفاده از اطلاعات پایه ارائه شده در بخش (۲-۱۰-۱) و اطلاعات توصیفی مرتبط با آنها، می‌توان مجموعه‌ای از داده‌های مورد استفاده در مطالعات منابع آب را تولید نمود. از آنجا که این داده‌ها مستقیماً قابل مشاهده و اندازه‌گیری نبوده و با استفاده از داده‌های اولیه موجود به دست می‌آیند، داده‌های ثانویه نامیده می‌شوند. در ادامه، به تشریح نحوه

تهیه و نمایش داده‌های ثانویه مورد نیاز بخش مطالعات آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های اشاره شده در بخش (۱-۱۰-۲) پرداخته شده است.

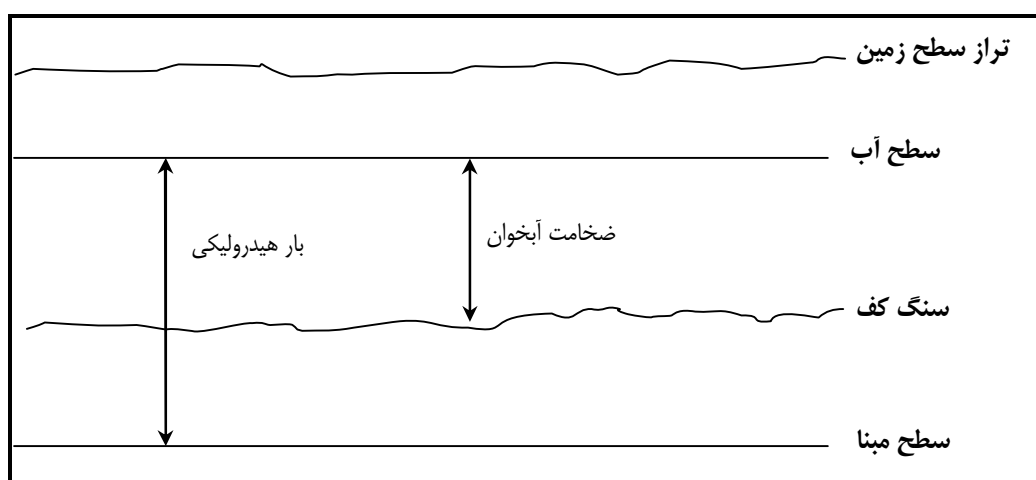
۱۰-۱-۱۶-۲ نحوه تعیین ضخامت آبخوان

با توجه به شکل (۱۲-۲)، بار هیدرولیکی و ضخامت آبخوان را می‌توان برای آبخوان آزاد به شرح زیر به دست آورد.

عمق آب زیرزمینی - تراز سطح زمین = بار هیدرولیکی

تراز سنگ کف - بار هیدرولیکی = ضخامت آبخوان

عمق سطح آب زیرزمینی - عمق سنگ کف = ضخامت آبخوان



شکل ۱۲-۲- رابطه بار هیدرولیکی و ضخامت آبخوان با سطح زمین، سطح آب زیرزمینی، سنگ کف و سطح مبنا

از آنجا که تراز سطح زمین، عمق سطح آب زیرزمینی و تراز سنگ کف، به ترتیب لایه‌های اطلاعاتی ارائه شده در بخش‌های ۱-۱۰-۲، ۸-۱۰-۲ و ۶-۱۰-۲ می‌باشند، کافی است ابتدا با استفاده از تفاضل دو لایه توپوگرافی و لایه سطح آب زیرزمینی، لایه بار هیدرولیکی را به دست آورده و سپس با کم کردن تراز سنگ کف از آن، لایه ضخامت آبخوان را تولید نمود.

۱۰-۱-۱۷-۲ نحوه تعیین قابلیت نفوذپذیری آبخوان

قابلیت انتقال هیدرولیکی آبخوان از رابطه (۳۶-۲) به دست می‌آید.

$$(k) = \frac{\text{قابلیت انتقال هیدرولیکی (T)}}{\text{ضخامت آبخوان (b)}} \quad (۳۶-۲)$$

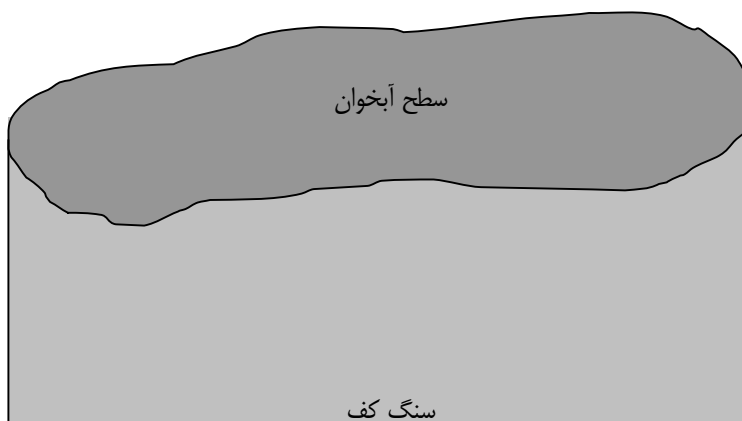
از آنجا که قابلیت انتقال هیدرولیکی یک آبخوان، به عنوان یکی از اطلاعات توصیفی موجود در لایه ضرایب هیدرولیکی آبخوان بخش ۱۰-۱-۱۲ موجود است، از تقسیم این مقدار بر ضخامت به دست آمده برای آبخوان در بخش قبل، می‌توان لایه نفوذپذیری آبخوان را به دست آورد (در صورت وجود المان قابلیت انتقال هیدرولیکی).

۲-۱۰-۱۸- تعیین گستره آبخوان آبرفتی

مرز یک آبخوان، به صورت مرز بین دو سازند آبرفتی و سنگ سخت به همراه مجموعه داده‌های اطلاعاتی از چاه‌های مشاهده‌ای، پیزومتری، اکتشافی، بهره‌برداری، ژئوفیزیک و غیره تعریف می‌گردد. به این ترتیب می‌توان با استفاده از اطلاعات توصیفی مربوط به نقشه زمین‌شناسی ارائه شده در بخش ۲-۱۰-۱ و دیگر داده‌های ذکر شده، مرز بین دو سازند فوق را تعیین نموده و آن را به عنوان مرز آبخوان در یک لایه اطلاعاتی جدید ذخیره نمود.

۲-۱۰-۱۹- تعیین حدود و هندسه آبخوان

یک آبخوان از لحاظ مسطحاتی، توسط لایه مرزهای آبخوان (بخش ۲-۱۰-۳) و از لحاظ ارتفاعی، توسط لایه سنگ کف (بخش ۲-۱۰-۷) محصور شده است (شکل ۲-۱۳). بنابراین، با استفاده از یک عملیات هم‌پوشانی، می‌توان بخشی از لایه سنگ کف را که از لحاظ مسطحاتی، منطبق بر لایه مرز آبخوان می‌باشد، جدا کرده و سپس از تلفیق این لایه با لایه مرز آبخوان، نمایشی سه‌بعدی از حدود و هندسه آبخوان به دست آورد (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳- شمایی از حدود و هندسه آبخوان

۲-۱۰-۲۰- تهیه نقشه‌های هم ارزش عوامل کمی مورد نیاز

به طور کلی، نقشه‌های هم ارزش را می‌توان برای یک پارامتر عددی با استفاده از مقادیر به دست آمده برای آن در مجموعه‌ای از نقاط نمونه‌برداری به دست آورد. به عنوان مثال، با استفاده از پارامتر میزان بارش در لایه ایستگاه‌های باران‌سنجی، می‌توان نقشه هم‌باران را تولید نمود. اصول انجام این کار در بخش ۲-۶ ارائه شده است.

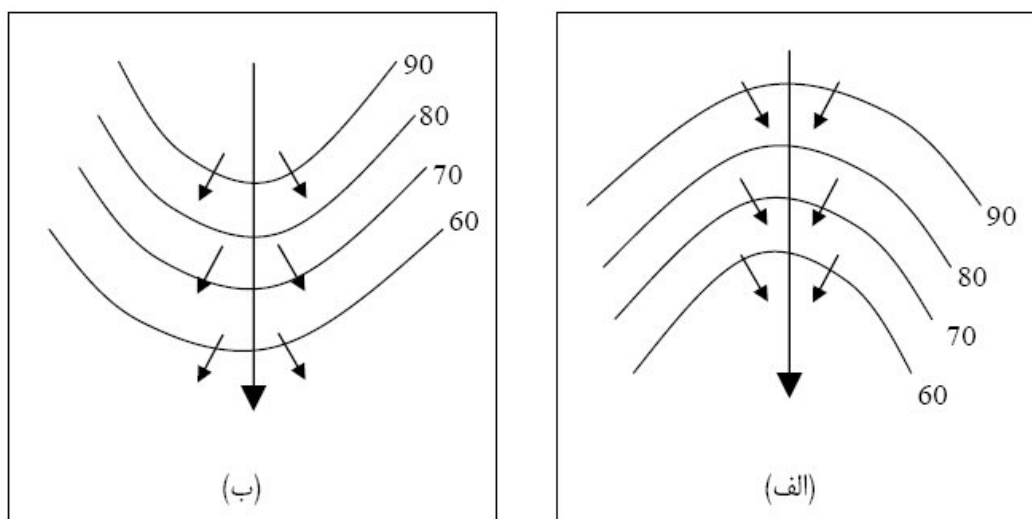
۲-۱۰-۲۱- تهیه شبکه جریان

براساس یک قانون کلی، جریان همیشه از پتانسیل بیش‌تر به پتانسیل کم‌تر ایجاد می‌گردد. در تهیه نقشه شبکه جریان، بار هیدرولیکی آبخوان به عنوان شاخص پتانسیل عمل می‌کند. بنابراین، با توجه به لایه توزیع بار هیدرولیکی آبخوان (بخش ۲-۱۰-۱)، می‌توان شبکه جریان را تولید نمود.

از آنجا که این نقشه به صورت هم تراز بار هیدرولیکی می‌باشد، می‌توان ابتدا یک نقشه شبکه‌ای از مدل بار هیدرولیکی ایجاد نمود و سپس مشابه با یک مدل رقومی ارتفاعی زمین، لایه‌های شیب و جهت شیب را برای آن تولید نمود. بدیهی است که در این حالت، نقشه جهت شیب، جهت جریان و نقشه شیب، شدت آن را نشان می‌دهد.

۲-۱۰-۱-۲۲- نحوه تعیین ارتباط هیدرولیکی آبخوان و جریان‌های سطحی

- برای تعیین ارتباط هیدرولیکی آبخوان و جریان‌های سطحی، دو اصل کلی باید در نظر گرفته شود.
- جریان همیشه از سمت بار هیدرولیکی بیش‌تر به سمت بار هیدرولیکی کم‌تر ایجاد می‌گردد.
- در صورت همگرایی جریان‌های آب‌های زیرزمینی، عمل زهکشی و در صورت واگرایی آنها، عمل تغذیه رخ می‌دهد. (شکل ۲-۱۴)



شکل ۲-۱۴- نمایش ارتباط منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی (الف) جریان سطحی زهکشی می‌کند (ب) جریان سطحی تغذیه می‌کند

این ساختار را می‌توان با استفاده از نقشه جهت جریان تولید شده در بخش ۲-۱-۴-۳ و شبکه آبراهه ۲-۱-۱۰-۲ که به صورت یک نقشه جهت شیب تهیه شده است، تشخیص داد.

۲-۱۰-۱-۲۳- بررسی نحوه تهیه نقشه‌های هم‌ارزش کیفی آب‌های زیرزمینی

پارامترهای کیفیت آب، عمدتاً پارامترهایی عددی هستند که در نقاط خاصی مانند چاه، چشمه و .. اندازه‌گیری می‌شود. می‌توان برای هریک از پارامترها نقشه هم‌ارزش تهیه نمود که اصول آن در بخش ۲-۶ توضیح داده شده است. این پارامترها می‌تواند هر یک از یون‌های عمده شیمیایی، عناصر فلزی سنگین و نادر، هیدروکربون‌ها، دترجنت‌ها، سموم دفع آفات گیاهی، کودهای شیمیایی و انواع آلودگی‌های میکروبی و نظایر آن باشد.

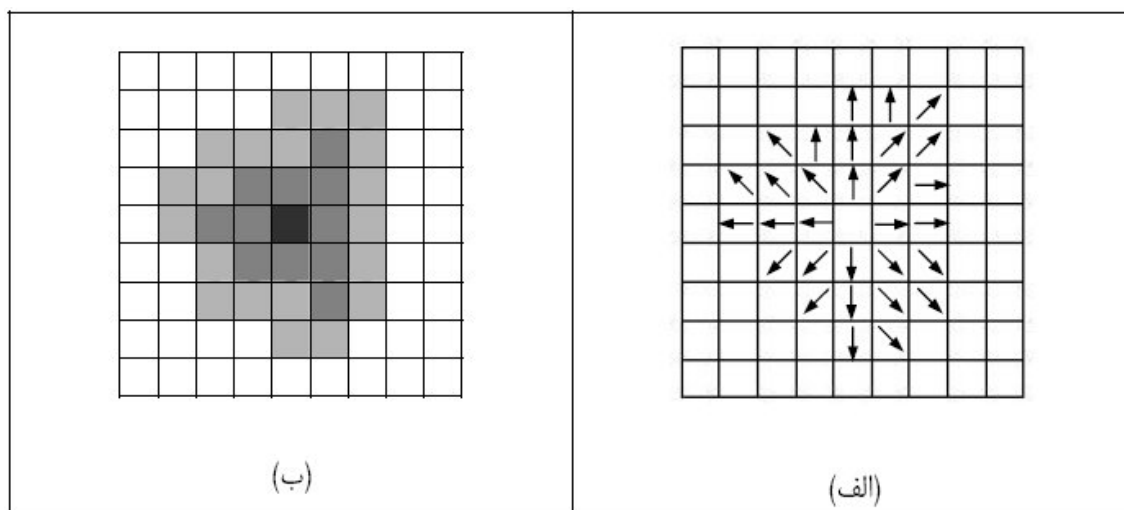
۲-۱۰-۱-۲۴- نحوه پردازش نقشه‌های آلودگی بر اساس خروجی مدل‌ها

نقشه‌های آلودگی به دست آمده در بخش قبل، حاوی اطلاعات مفیدی در مورد آلودگی‌ها و نحوه گسترش آنها می‌باشد. همچنین پس از تولید نقشه‌های فوق، می‌توان با تولید یک مدل رقومی شبکه‌ای از آن و سپس نقشه شیب و جهت شیب (مشابه آنچه در بخش‌های ۲-۴-۱-۱ و ۲-۴-۱-۲ ارائه شد)، جهت افزایش و گسترش پارامتر مورد نظر را تعیین نمود. به این ترتیب، با استفاده از نقشه جهت شیب می‌توان جهت گسترش آلودگی و با استفاده از نقشه شیب، شدت آن را تعیین نمود.

۲-۱۰-۱-۲۵- نقشه گستره مکانی منابع آلاینده

با استفاده از خروجی‌های به دست آمده در بخش ۲-۱۰-۱-۲۴، می‌توان منابع آلاینده و گستره مکانی آلودگی را به ترتیب زیر تعیین نمود.

- در نقشه جهت شیب نحوه توزیع آلودگی، نقشه‌ای که تمام جهات از آن ساطع می‌گردد، نمایش یک منبع آلاینده می‌باشد. (شکل ۲-۱۵-الف)
- در نقشه شیب نحوه توزیع آلودگی، گستره آلودگی تا جایی ادامه دارد که شیب حاصل، برابر صفر باشد. به عبارت دیگر، محدوده‌ای که توسط سلول‌های حاوی مقدار صفر احاطه شده است، گستره آلودگی را نشان می‌دهد. (شکل ۲-۱۵-ب)



شکل ۲-۱۵- تعیین (الف) جهت شیب، نمایش موقعیت یک منبع آلاینده (ب) توزیع شدت آلودگی با استفاده از نقشه شیب

۲-۱۰-۱-۲۶- چگونگی توسعه پایگاه داده آب‌های زیرزمینی

برای پیاده‌سازی پایگاه داده مکانی آب‌های زیرزمینی عموماً ساختاری رابطه‌ای مد نظر می‌باشد. در ساختار رابطه‌ای، داده‌های مکانی در قالب لایه‌های اطلاعاتی و داده‌های توصیفی در قالب ساختارهای جدولی ذخیره می‌شوند. در این ساختار اجزای تفصیلی هر داده توصیفی در یک رکورد و براساس اقلام اطلاعاتی که فیلدها مشخص می‌نماید ذخیره

می‌شوند. به علاوه ارتباط میان عوارض از طریق اتصال جداول اطلاعاتی، با استفاده از مشخصه‌های مشترک موجود در این جداول، برقرار می‌شوند.

به طور مشخص تر پایگاه داده مکانی مورد نظر مبتنی بر معماری GeoDatabase خواهد بود. این معماری از سوی شرکت ESRI ارائه شده است. از مشخصات این معماری برخورداری از قابلیت‌هایی تخصصی برای مدیریت نمایش مختلف داده‌های مکانی، اعم از داده‌های برداری و شبکه‌ای (سلولی) و روابط توپولوژیک میان داده‌ها می‌باشد. به علاوه معماری GeoDatabase تسهیلاتی را نیز جهت استفاده از پایگاه داده مکانی به صورتی شخصی^۱ و یا تحت شبکه فراهم می‌سازد. آنچه در ادامه ارائه می‌شود، ساختار یک پایگاه داده رابطه‌ای مبتنی بر معماری GeoDatabase برای مدیریت داده‌های معرفی شده در پروژه می‌باشد.

۲-۱۰-۱-۲۷- نحوه تبادل اطلاعات بین محیط GIS و مدل آب‌های زیرزمینی

تبادل اطلاعات میان یک GeoDatabase و مدل‌های تحلیل کاملاً اتوماتیک است. به عبارت دیگر پس از ایجاد GeoDatabase، مدل‌های تحلیل مختلف می‌توانند بدون نیاز به انجام فرآیند خاصی، داده‌های مورد نظر را معرفی، فراخوانی و ذخیره نمایند و سایر فرآیندها بدون دخالت کاربر به انجام می‌رسند.

محیط ArcGIS امکانات کاملی برای این امر را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. به علاوه برای استفاده از پایگاه داده در محیط‌های دیگر نیز کتابخانه‌هایی ارائه شده‌اند که امکان محاوره با یک GeoDatabase و مدیریت محتویات آن را فراهم می‌نماید. با توجه به اینکه نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات مکانی تقریباً یک گام جلوتر از مدل‌های هیدرولیکی می‌باشند، بنابراین ساختار ارتباطی و محاوره‌ای آنها قالب ShapFile می‌باشد. این قالب و ساختار تقریباً توسط اکثر نرم‌افزارهای CAD، نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات مکانی و اکثر مدل‌های هیدرولیکی پشتیبانی می‌گردد. در نظر گرفتن این ساختار ثابت محاوره‌ای فواید فراوانی را در پیش رو دارد که از جمله آن، کاهش مدت زمان آموزش کاربران را می‌توان نام برد.

۲-۱۰-۱-۲۸- نحوه ذخیره‌سازی داده‌های مکانی و تغییرات زمانی آنها

در معماری GeoDatabase، لایه‌های داده‌های مکانی در قالب فرمتی اختصاصی تحت عنوان Feature Dataset ذخیره می‌شوند. سیستم مدیریت طراحی شده برای یک GeoDatabase شامل توابعی برای تبدیل انواع مختلف فرمت‌های داده از قبیل CAD، ShapeFile و تصویر به فرمت Feature Dataset است.

تغییرات زمانی داده‌ها در معماری GeoDatabase مبتنی بر ذخیره‌سازی نسخه‌های زمانی است. به این معنا که با ایجاد تغییرات در داده‌ها، نسخه‌ای جدید از داده‌ها ذخیره‌سازی می‌شود. با ذخیره‌سازی زمان هر نسخه، امکان تحلیل داده‌های زمانی توسط سیستم فراهم می‌گردد. سادگی این ساختار امکان مدیریت موثر داده‌های زمانی را فراهم می‌سازد. انتقاد اصلی که در مورد این ساختار مطرح است عبارت است از تکرار داده‌ها که خود منجر به ازدیاد داده‌ها می‌گردد.

در راستای آنچه ارائه گردید، به بیان نحوه ذخیره‌سازی داده‌های مختلف پرداخته می‌شود. برای این منظور از زبان مدل‌سازی واحد موسوم به UML^۱ استفاده شده است.

- داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی در قالب سه لایه داده ذخیره می‌شوند که از طریق فیلدهای مشترک زیر به هم مرتبط می‌شوند.

- لایه داده مکانی WeatherStation که موقعیت ایستگاه‌ها را به صورت نقطه‌ای ذخیره می‌نماید. موقعیت هر ایستگاه به صورت نقاط سه‌بعدی نگهداری می‌شود که شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه می‌باشند.

WeatherStation
{GeometryType = esriGeometryPoint, HasZ = True}
-StationName : esriFieldTypeString
-StationID : esriFieldTypeInteger

- داده جدولی WeatherData که پارامترهای برداشت شده برای هر ایستگاه را ذخیره می‌نماید.

WeatherData
-StationID : esriFieldTypeInteger
-SurveyDate : esriFieldTypeDate
-ValueTypeID : esriFieldTypeInteger
-Value : esriFieldTypeDouble

- داده جدولی WeatherDataValue که فهرستی از پارامترهای برداشت شده را ذخیره می‌نماید.

WeatherDataValue
-ValueTypeID : esriFieldTypeInteger
-ValueName : esriFieldTypeString

- داده حوضه آبریز

داده حوضه آبریز لایه داده مکانی است که هر یک از حوضه‌های آبریز را در قالب محدوده آنها به صورت یک چندضلعی، شناسه، مساحت و محیط آن ذخیره می‌نماید.

Watershed
{GeometryType = esriGeometryPolygon}
-ID : esriFieldTypeInteger
-Name : esriFieldTypeString
-Area : esriFieldTypeDouble
-Perimeter : esriFieldTypeDouble

- داده آبراهه‌ها

داده آبراهه‌ها که شامل انواع رودخانه‌ها، کانال‌ها، قنات و مواردی از این قبیل می‌باشد، لایه مکانی سه‌بعدی است. در این لایه مسیر طولی آبراهه‌ها به صورت توالی از نقاط سه‌بعدی برداشت می‌شود. به این ترتیب می‌توان آبراهه‌ها را در ارتفاع مختلف روی سطح زمین و یا زیر آن تعریف نمود.

FlowLine {GeometryType = esriGeometryPolyline, HasZ = True}
-ID : esriFieldTypeInteger
-Name : esriFieldTypeString
-LengthKm : esriFieldTypeDouble
-FlowDir : HydroFlowDirections = 1
-FlowType : esriFieldTypeString

مقدار ۱ که به صورت اتوماتیک برای FlowDir لحاظ می‌گردد، نشان‌دهنده هم‌جهت بودن جریان با جهت رقومی‌سازی خطوط است.

- مقطع عرضی

مقاطع عرضی به صورت عوارض خطی سه‌بعدی به همراه شناسه آبراهه مربوطه و تاریخ و زمان برداشت ذخیره می‌گردند.

CrossSection {GeometryType = esriGeometryPolyline, HasZ = True}
-ID : esriFieldTypeInteger
-FlowLineID : esriFieldTypeInteger
-DateTime : esriFieldTypeDate

- داده‌های مدل رقومی زمین

داده‌های مدل رقومی زمین شامل لایه‌های زیر است.

- لایه داده مکانی HeightPoint، لایه‌ای سه بعدی است که موقعیت نقاط ارتفاعی را ذخیره می‌نماید.

HeightPoint {Geometry Type = esriGeometryPoint,HasZ = True}
-ID : esriFieldTypeInteger

- لایه داده مکانی Contour، لایه‌ای سه بعدی است که موقعیت منحنی‌های تراز زمین را ذخیره می‌نماید.

Contour {Geometry Type = esriGeometryPolyline, HasZ = True}
-ID : esriFieldTypeInteger

- لایه داده مکانی TIN حاوی مدل مثلث‌بندی زمین است که از لایه‌های HeightPoint و Contour استخراج

شده است. این لایه داده برای هر نقطه فضا، مقدار ارتفاع، شیب و جهت شیب را ارائه می‌نماید.

TIN {Geometry Type = esriTIN}
-Elevation : esriFieldTypeDouble
-Slope : esriFieldTypeDouble
-Aspect : esriFieldTypeDouble

- داده چاه

داده چاه به صورت نقاط سه‌بعدی ذخیره می‌گردد. عمق چاه، عمق آب و مشخصات کیفی آب از جمله مشخصاتی است که برای هر چاه منظور می‌گردد.

Well {Geometry Type = esriGeometryPoint, HasZ = True}
-ID : esriFieldTypeInteger
-Depth : esriFieldTypeDouble
-WaterDepth : esriFieldTypeDouble
-SolutionLevel : esriFieldTypeDouble

- داده چشمه

داده چشمه به صورت نقاط سه‌بعدی ذخیره می‌گردد. دبی آب، عمق آب و مشخصات کیفی آب از جمله مشخصاتی است که برای هر چشمه منظور می‌گردد.

Spring {Geometry Type = esriGeometryPoint, HasZ = True}
-ID : esriFieldTypeInteger
-Deby : esriFieldTypeDouble
-WaterDepth : esriFieldTypeDouble
-SolutionLevel : esriFieldTypeDouble

- داده حوضه‌های آبی زیرزمینی

داده حوضه‌های آبی زیرزمینی به صورت چندضلعی‌های حجمی سه‌بعدی ذخیره می‌گردد. حجم آب و مشخصات کیفی آب از جمله مشخصاتی است که برای هر حوضه آب زیرزمینی منظور می‌گردد.

Aquifer {Geometry Type = esriGeometryMultiPatch, HasZ = True}
-ID : esriFieldTypeInteger
-Volume : esriFieldTypeDouble
-SolutionLevel : esriFieldTypeDouble

- داده‌های تصویری

داده‌های تصویری در قالب فرمت Raster Dataset در پایگاه داده ذخیره می‌شوند. این فرمت معادل فرمت Feature Dataset است با این تفاوت که برای ذخیره‌سازی تصاویر به کار می‌رود. در GeoDatabase، طبقه‌بندی تصاویر در دو سطح به انجام می‌رسد.

- ۱- هر تصویر جداگانه و با اسم منحصر به فرد خود ذخیره‌سازی می‌شود.
- ۲- تصاویری که تشکیل دهنده بلوک به هم پیوسته‌ای می‌باشند در قالب یک لایه داده ترکیبی تحت عنوان Image Catalog ذخیره می‌شوند.

۲-۱-۱۰-۲- مدیریت داده آب‌های زیرزمینی اعم از داده‌های اولیه و ثانویه و نتایج مطالعات و مدل‌سازی

چنانکه عنوان شد مدیریت داده‌های یک GeoDatabase به صورت اتوماتیک به انجام می‌رسد. با این وجود قسمت اعظمی از فرآیند تضمین صحت داده‌های ورودی برعهده عامل انسانی می‌باشد. در این راستا تعریف سطوح دسترسی مناسب بسیار مهم است. به علاوه در زمینه سهولت مدیریت داده‌ها، معماری GeoDatabase ساختاری تحت عنوان Feature Class را ارائه نموده است. هر Feature Class می‌تواند شامل مجموعه‌ای از Feature Dataset باشد. به این ترتیب می‌توان از یک Feature Class جهت نگهداری داده‌های اولیه و از یک Feature Class دیگر برای نگهداری داده‌های ثانویه و مواردی از این قبیل استفاده نمود.

فصل ۳

اصول و مفاهیم پایه سنجش از دور

۳-۱- کلیات

به طور کلی طرح‌های استفاده از منابع آب را می‌توان در چهار فاز مطالعاتی، برنامه‌ریزی و طراحی، اجرایی و مدیریتی تقسیم‌بندی نمود. راهنمای حاضر عمدتاً در چهارچوب فاز مطالعاتی جهت تعیین و استخراج پارامترهای موثر بر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز گردیده است. مطالعات منابع آب شامل مطالعات هواشناسی/اقلیم شناسی، هیدرولوژیکی (آب‌های سطحی) و آب‌های زیرزمینی است.

معرفی کلیات و موقعیت منطقه، شبکه سنجش، بررسی و ارزیابی کیفیت داده‌های آب و هواشناسی، تحلیل بارندگی، دما، نم نسبی، باد، ساعات روشنایی و تشعشع خورشیدی و تبخیر و تعرق، تحلیل وضعیت فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز، تهیه، تحلیل منحنی‌های هم ارزش و ... از نیازهای اساسی مطالعات هواشناسی و اقلیم است. تهیه اطلاعات پوشش و شاخص‌های گیاهی، انجام مطالعات زمین آمار، تحلیل مدل‌های بارش - رواناب، تحلیل فرسایش و سیلاب در محیط‌های دوبعدی و سه‌بعدی و به‌ویژه در سیلاب دشت‌ها، تهیه و پردازش نقشه‌های رقومی و اطلاعات پایه برای مطالعات آب‌های سطحی و زیرزمینی، تهیه داده‌های ثانویه برای مطالعات آب‌های زیرزمینی و نحوه مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و ... از مراحل مهم مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز است.

پیشرفت‌های اخیر در سنجش از دور (RS) از لحاظ کیفی و کمی از یک سو و قابلیت‌های فراوان موجود در این منابع اطلاعاتی، مانند پوشش وسیع و به‌هنگام بودن آنها باعث شده است که امروزه این تصاویر در بسیاری از کاربردهای زمینی به کار روند. از آنجا که بخش عمده‌ای از پارامترهای هیدرولوژیکی در زمره پارامترهای زمین مرجع قرار می‌گیرند، سنجش از دور پتانسیل بالایی در استخراج این پارامترها خواهند داشت. از سوی دیگر یکی از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی، علاوه بر قابلیت مدیریت داده‌های مکانی، استخراج لایه‌های اطلاعاتی مکانی جدید از لایه‌های موجود با استفاده از عملگرها و توابع موجود در آن است. با توجه به آنکه برخی از پارامترهای هیدرولوژیکی به صورت غیرمستقیم و با استفاده از داده‌های مکانی دیگر به دست می‌آیند مانند استخراج شیب و جهت شیب از مدل رقومی زمین، این سیستم‌ها می‌توانند به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب برای استخراج پارامترهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند. به عبارت دیگر ارائه اطلاعات دقیق، صحیح، به‌هنگام، مکان مرجع، رقومی و نسبتاً ارزان قیمت از اقلیم منطقه تحت مطالعه به‌ویژه در حوضه‌های وسیع در طرح‌های شهری و روستایی، استانی، منطقه‌ای، ملی و فراملی با استفاده از سنجش از دور و استفاده از قابلیت‌های GIS در اخذ، ذخیره‌سازی، کنترل کیفیت، به‌هنگام‌رسانی، مدیریت، تلفیق، تحلیل، مدل‌سازی و شبیه‌سازی داده‌های مکانی و توصیفی باعث می‌گردد تا انجام مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز تسهیل، تسریع، تدقیق و مقرون به صرفه‌تر گردد. همچنین با امکان تلفیق حجم عظیم داده‌های حاصله از روش‌های زمینی، هوایی و ماهواره‌ای، می‌توان به ارتقا کمی و کیفی مطالعات هیدرولوژیکی پرداخت.

این راهنما ضمن تشریح اصول و مفاهیم پایه در سیستم‌های اطلاعات مکانی (فصل اول) و نقش آنها در مطالعات منابع آب (فصل دوم) و اصول و مفاهیم پایه در سنجش از دور (فصل سوم) و نقش آن در مطالعات هیدرولوژیکی

حوضه‌های آبریز (فصل چهارم)، با تشریح انجام چند مطالعه موردی به تست نتایج و راهکارهای ارائه شده می‌پردازد (فصل پنجم).

در این راهنما، نحوه استخراج پارامترهای موثر بر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز که در تصاویر سنجش از دور با توجه به توان تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیومتریکی قابل تشخیص و استخراج بوده و با توجه به قابلیت‌های تحلیل مکان مرجع در GIS قابل تلفیق، مدل‌سازی و مدیریت باشند، ارائه می‌گردد. لذا توجه به مسایل قدرت تفکیک، مقیاس، کوچک‌ترین واحد مکانی مورد نیاز جهت تفکیک، ابعاد عوارض و ویژگی‌های طیفی و زمانی آنها در سنجش از دور و مسایل مربوط به ویژگی‌های هندسی، توصیفی و توپولوژیک اطلاعات هیدرولوژیکی از دیدگاه GIS و نحوه تعامل داده‌ها و سیستم‌ها، استانداردها، پایگاه‌های داده، اشتراک اطلاعاتی و قابلیت‌های تبادل داده‌ها، کیفیت اطلاعات، تنوع و حجم اطلاعاتی جهت تلفیق و تحلیل اطلاعات مکان مرجع از جمله ویژگی‌های مورد نظر در استفاده از سنجش از دور و GIS در استخراج پارامترهای موثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز هستند.

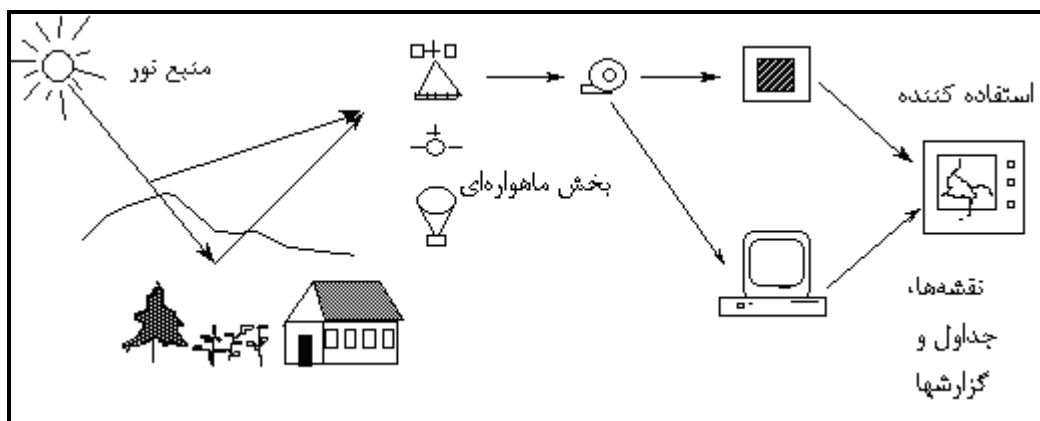
۲-۳- اصول و مفاهیم پایه در سنجش از دور

۳-۲-۱- تاریخچه و تعاریف

در این بخش با معرفی سنجش از دور و تاریخچه آن، مبانی روش‌های سنجش از دور توضیح داده خواهد شد.

۳-۲-۱-۱- تعاریف

سنجش از دور علم، فن و هنر تهیه اطلاعات از سطح زمین بدون تماس با آنها است که می‌تواند به‌وسیله سنجش انرژی بازتابی یا گسیل شده و همچنین با پردازش، تحلیل و به‌کارگیری این اطلاعات حاصل شود. در تعریف دیگری سنجش از دور را فناوری به‌دست آوردن اطلاعات مربوط به هدف از طریق تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده در فاصله دور می‌دانند که از سه بخش: هدف (که همان شی یا پدیده موجود در محیط)، اخذ داده‌ها (از طریق تجهیزات مشخص) و تحلیل داده‌ها (به‌وسیله شیوه‌های خاص) تشکیل شده است. این روندها در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- جریان انرژی و اطلاعات در سنجش از دور

۳-۲-۱-۲- تاریخچه

فناوری جدید سنجش از دور با اختراع دوربین در حدود ۱۶۰ سال قبل شروع شد. ایده تهیه تصاویر زمینی در سال ۱۸۴۰ میلادی مطرح شد و به وسیله بالونی به منظور تهیه نقشه‌های توپوگرافی انجام شد. در جنگ جهانی اول دوربین‌های که بر روی هواپیما نصب شده بود، باعث شناسایی در مقیاس وسیع جهت کاربردهای نظامی شد. از آن موقع تا سال ۱۹۶۰ میلادی تصاویر هوایی به عنوان تنها منبع و ابزار استاندارد برداشت و نمایش تصاویر قائم یا مایل از سطح به شمار می‌رفت.

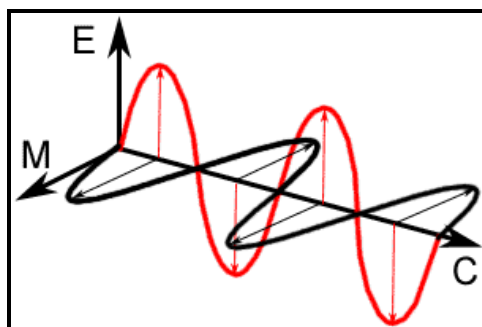
سنجش از دور ماهواره‌ای که هم‌اکنون عمدتاً با آن سروکار داریم باعث تصویربرداری در محدوده بسیار وسیعی از سطح زمین در مقایسه با سنجنده‌هایی که بر روی هواپیما نصب می‌شدند، شد. لغت سنجش از دور اولین بار در ایالات متحده در سال ۱۹۴۶ میلادی به وسیله Evelyn Pruitt در سازمان ملی تحقیقات فضائی استفاده شد.

۳-۲-۲- مروری بر فیزیک سنجش از دور

به منظور بررسی نحوه تراکنش بین امواج تابشی واصله از خورشید یا سنجنده‌های مختلف و جو و نیز طیف‌های مختلف طول موج الکترومغناطیس و خصوصیات فیزیکی این امواج لازم است مبانی و اصول کاربردی در این تراکنش مشخص شده و از لحاظ فیزیکی و سنجش از دوری بررسی شود.

۳-۲-۲-۱- تابش الکترومغناطیس

در سنجش از دور وجود منبع انرژی برای روشنایی بخشیدن به اشیاء مورد نیاز است. این انرژی از نوع تابش الکترومغناطیسی است. تمامی تابش‌های الکترومغناطیس دارای خصوصیات اولیه‌ای می‌باشند و نیز رفتار قابل پیش‌بینی براساس نظریه امواج دارند. تابش الکترومغناطیس شامل میدان الکتریکی E که اندازه آن در راستای عمود بر سیر تابش متغیر است و میدان مغناطیسی M است که عمود بر میدان الکتریکی است. هر دوی این میدان‌ها با سرعت نور (C) سیر می‌کنند. (شکل ۳-۲)



شکل ۳-۲- میدان الکترومغناطیسی

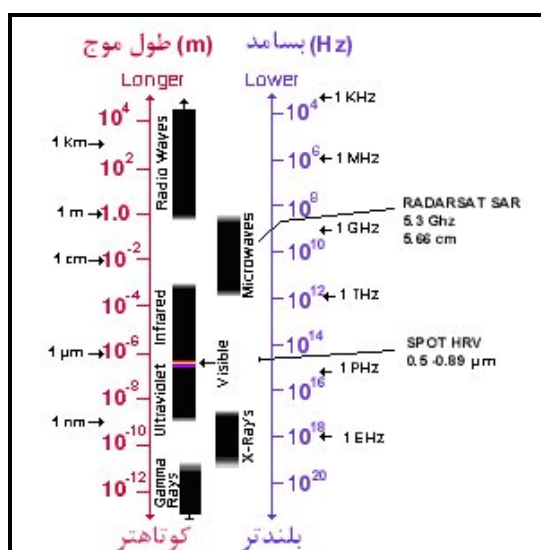
۳-۲-۲-۲- قوانین تابش

در محدوده‌های طیف بازتابی، بیش‌تر به خصوصیات بازتابشی از اشیاء پرداخته می‌شود ولی در محدوده‌های طیف حرارتی، به خصوصیات گسیلی اشیاء توجه می‌گردد. دلیل اصلی این موضوع این است که بیش‌تر حرارت‌های مرسوم (حرارت محیط

اطراف ما انرژی را گسیل می‌کنند که قابل اندازه‌گیری است. به همین علت لازم است که در مورد تئوری تابش و اصول اولیه آن توضیحاتی ارائه شود.

۳-۲-۲-۳- طیف الکترومغناطیس

محدوده طیف الکترومغناطیس از طول موج‌های کوتاه (شامل پرتوهای گاما و ایکس) تا طول موج‌های بلند (شامل مایکرو ویو و امواج رادیویی) است. چندین منطقه از طیف الکترومغناطیس برای سنجش از دور مناسب است (شکل ۳-۳).



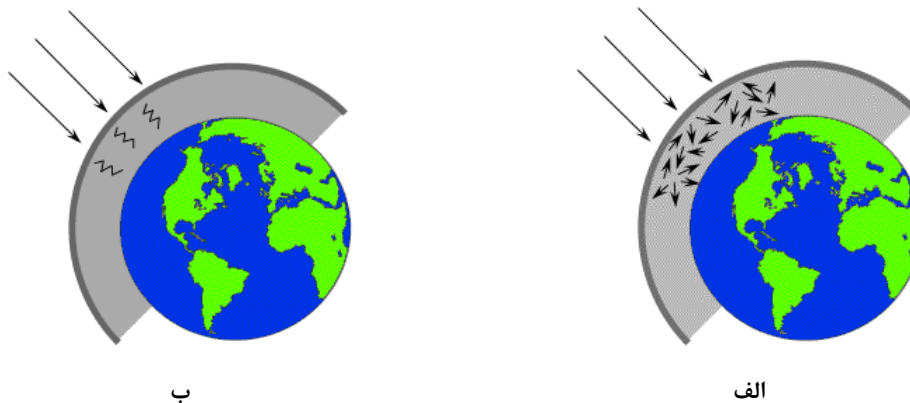
شکل ۳-۳- طیف الکترومغناطیس

محدوده طیف الکترومغناطیس از طول موج کوتاه تا بلند شامل محدوده‌های گاما، ایکس، ماوراء بنفش، مرئی، فروسرخ، مایکروویو و رادیویی می‌باشد.

۳-۲-۲-۴- برخورد با جو

قبل از اینکه تابشی که برای سنجش از دور مورد نیاز است به سطح زمین برسد، مسیری را از بین جو طی می‌کند. ذرات معلق و گازهای موجود در جو در دریافت تابش تاثیر می‌گذارد. این تاثیرات با مکانیزم‌هایی مانند پراکنش^۱ و جذب^۲ انجام می‌شود (شکل ۳-۴).

1- Scattering
2- Absorption



شکل ۳-۴ - الف - پراکنش نور در هنگام برخورد با جو. ب - جذب نور در هنگام برخورد با جو

۳-۲-۲-۵- برخورد تابش به اشیا

تابشی که با برخورد به جو، نه جذب شده و نه پراکنده می‌شود، به سطح زمین رسیده و با آن برخورد می‌کند. سه نوع برخورد ممکن است در هنگام اصابت یا فرود (I) به سطح رخ دهد. این سه برخورد عبارت از جذب (A)، عبور (T) و بازتابش (R) (شکل ۳-۵) هستند. کل انرژی فرودی که به سطح زمین برخورد می‌کند، یک یا چند مورد از این برخوردها است. خصوصیات آنها بستگی به طول موج انرژی، شرایط و مواد تشکیل شده‌ی آن عوارض دارد.



شکل ۳-۵ - سه نوع برخورد انرژی با اشیا

جذب (A) وقتی رخ می‌دهد که تابش توسط اشیا جذب شود درحالی که عبور (T) زمانی رخ می‌دهد که تابش از شیئی عبور کند و نیز بازتابش (R) حالتی است که انرژی تابشی از سطح جسم پس زده شده و دوباره جهت را برای حرکت انتخاب نماید. هدف اصلی در سنجش از دور اندازه‌گیری تابشی است که از سطح اجسام بازتابیده شده است.

۳-۲-۳- مزایا و ویژگی‌های سنجش از دور

اصلی‌ترین مزیت سنجش از دور، توسعه توانایی‌های بصری است، به‌علاوه این که به‌علت محدود بودن ذهن در دیدن و ذخیره‌سازی جزئیات اشیا، ما را کمک می‌نماید. به‌واسطه به‌کارگیری این تکنیک، منابع داده‌ها بسیار بیش‌تر از عکس‌های هوایی است. در واقع هدف، اندازه‌گیری و ترسیم ابعاد فضایی اشیا به‌وسیله سنجش از دور می‌باشد. به‌علاوه اینکه از داده‌های سنجش از دور برای نظارت بر پدیده‌های پویا در سطح کره زمین نیز استفاده می‌شود که شامل نظارت

بر منابع انرژی، گیاهان، کیفیت محیطی، اندازه‌گیری دمای اشیاء مختلف، کشف و شناسایی مکان‌های بحران زده ناشی از آتش‌سوزی، سیلاب، آتشفشان، زمین‌لرزه و غیره، تخمین توده مولفه‌های مختلف مانند سازندهای بیوشیمیایی درختان، تولید محصول سامانه‌های کشاورزی، ذخایر آبی و رواناب حوضه آبریز و جمعیت در مناطق شهری و غیرشهری است. سنجش از دور معمولاً محدود به استفاده از تابش الکترومغناطیس می‌باشد. این تابش (الکترومغناطیس) شامل انرژی‌های نوری فرابنفش، مرئی، فروسرخ نزدیک، میانی و دور، مایکروویو و طول موج‌های بلند رادیویی می‌باشد. بعضی از مزایای سنجش از دور در کاربرد منابع زمینی به شرح زیر می‌باشند.

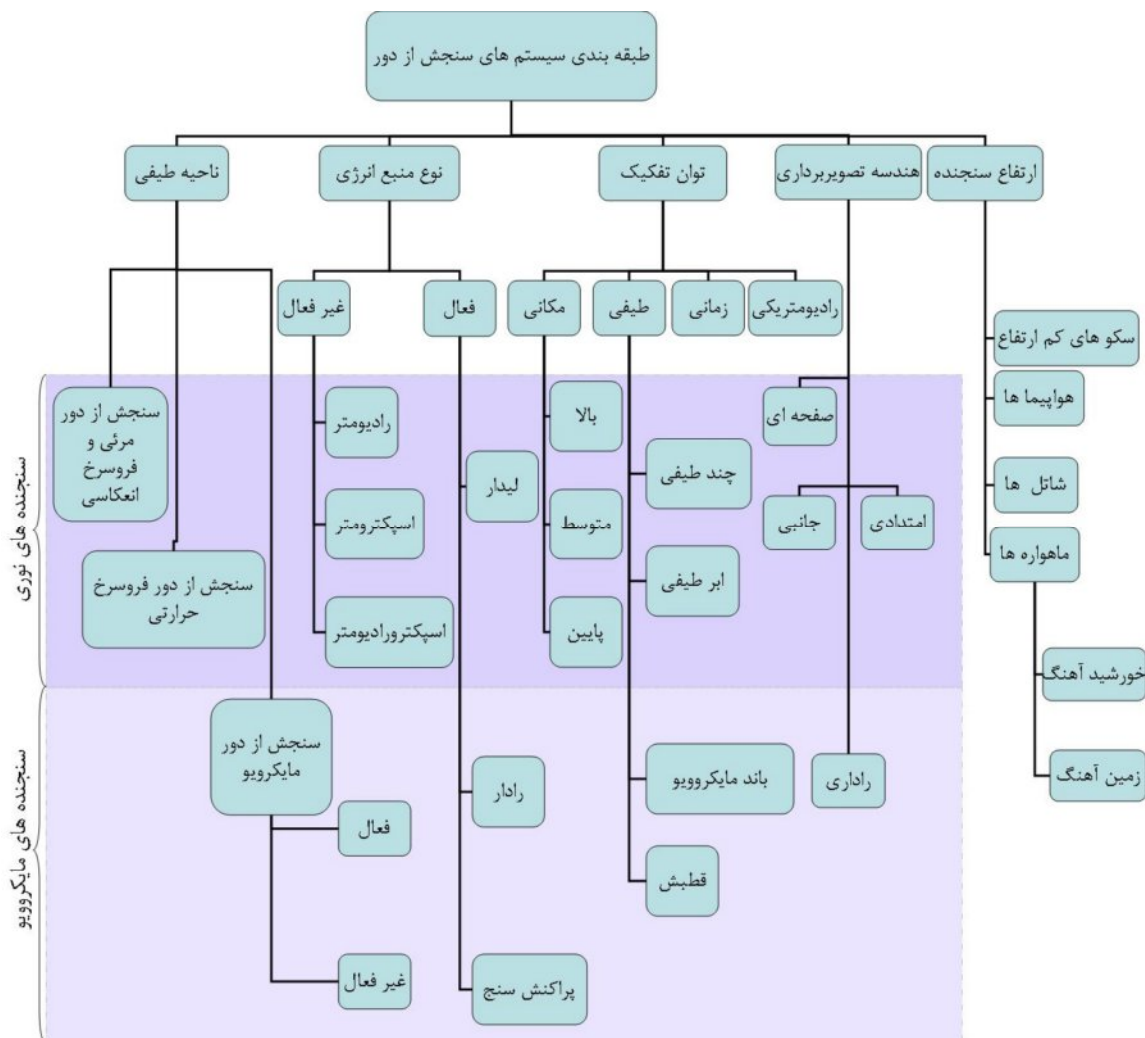
- افزایش سرعت و کارایی بیش‌تر مطالعات منابع زمینی
 - تسهیل و تسریع تهیه نقشه‌های منطقه‌ای
 - ذخیره‌سازی داده‌ها به‌صورت خودکار و ضبط دائمی تصاویر از مکان‌های مورد نظر
 - نمایش اطلاعات در محدوده‌های مختلف طول‌موج در کنار دید مرئی انسان
 - تکرار پذیر بودن تصاویر و امکان تهیه نقشه‌های پوششی ماهانه و سالانه
 - امکان به‌هنگام‌سازی سریع نقشه‌های پوششی با توجه به توان تفکیک سنجنده
 - رقومی بودن ذاتی داده‌ها و امکان به‌کارگیری سریع توسط رایانه
 - مقرون به صرفه بودن نسبی داده‌های تولید شده به کمک سنجش از دور
 - قابلیت تهیه تصاویر استریو از مناطق مختلف به منظور تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین^۱
 - امکان ترکیب داده‌های مختلف سنجش از دوری
 - امکان ارائه‌ی سرویس به سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) به‌عنوان منبع اولیه داده
 - کاربردهای مختلف در تهیه نقشه‌های کاربری/پوشش زمین، ارزیابی محصولات کشاورزی، بررسی وضعیت و نظارت بر گونه‌های گیاهی، طراحی شهری، کمک به اکتشاف مواد معدنی، تهیه نقشه‌های حرارتی دریا و خشکی، تهیه نقشه‌های آلودگی منابع آب، برف سنجی، هواشناسی، اقیانوس‌شناسی و غیره
- علاوه بر مطالب ذکر شده، مفهوم «سنجش از دور چندگانه»^۲، بسیاری از امکانات سنجش از دور را بیان می‌نماید. این حالت‌ها مانند چندلایه‌ای، چند زمانی، چند طیفی، چندقطبی (در داده‌های رادار) یا چند کاربره می‌باشند. تمامی این عوامل باعث می‌شود تصاویر سنجش از دور به‌عنوان یک منبع ارزان، سریع و به‌هنگام در دسترس باشد و به‌طور وسیعی از آنها استفاده گردد.

1- Digital Elevation Model

2- Multi Concept Remote Sensing

۳-۲-۴ طبقه‌بندی سیستم‌های سنجش از دور

طبقه‌بندی سیستم‌های سنجش از دور انجام شده در این راهنما در شکل (۳-۶) نمایش داده شده است. دو طبقه‌بندی اول از سمت چپ بر اساس خواص فیزیکی سنجنده‌ها است که مورد اول با نام طبقه‌بندی بر اساس ناحیه طیفی و مورد دوم با نام طبقه‌بندی بر اساس منبع انرژی آورده شده است. در طبقه‌بندی سوم، ارتفاع سکوها به عنوان معیار انتخاب شده است. در طبقه‌بندی چهارم، به ترتیب قدرت تفکیک‌های مکانی، طیفی و زمانی و رادیومتریکی تحت عنوان طبقه‌بندی بر اساس قدرت تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به هندسه تصویربرداری از سطح زمین، طبقه‌بندی پنجمی نیز صورت پذیرفته است.



شکل ۳-۶ طبقه‌بندی سامانه‌های سنجش از دور

۳-۲-۵ سکوها و سنجنده‌ها در سنجش از دور

با توجه به اینکه مبحث سکوها و سنجنده‌ها جدا از طبقه‌بندی سیستم‌های سنجش از دور نیست، تشریح سکوها و سنجنده‌ها در رابطه با طبقه‌بندی سیستم‌های سنجش از دور (۳-۲-۴) ارائه شده است.

۳-۲-۶- انواع داده‌ها در سنجش از دور

در تقسیم‌بندی انواع داده‌ها لازم است دو نوع داده خام و پردازش شده که اولی تصاویر خام و دومی تصاویر و یا داده‌های پردازش شده است در نظر گرفته شوند.

۳-۲-۶-۱- داده‌های خام

بر اساس طبقه‌بندی ناحیه استفاده از طیف الکترومغناطیس، داده‌های خام از سنجنده‌های نوری یا از سنجنده‌های مایکروویو به دست می‌آیند.

۳-۲-۶-۲- داده‌های پردازش شده

این بخش که نتایج فرآیند سنجش از دوری همراه با کار زمینی است شامل فرآورده‌هایی نظیر تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین، پوشش برف و یخ، دمای سطح زمین (LST)^۱ و دمای سطح دریاها (SST)^۲ و داده‌هایی در مورد آب قابل بارش و محصولاتی نظیر بازتابش سطح، امپسیویتی و دمای سطح زمین، انواع پوشش سطح زمین و تغییرات آن، اندکس تفاضلی تکینه شده گیاهی (NDVI)^۳ و اندکس ناحیه برگ‌گی (LAI)^۴ است (MODIS Web Page).

۳-۲-۷- مروری بر داده‌های سنجش از دور قابل استفاده در مطالعات منابع آب

بعضی از داده‌های سنجش از دور برای استفاده در زمینه‌های مختلف منابع آب مناسب می‌باشند. این داده‌ها با توجه به کاربرد آنها در زمینه‌های مختلف، متفاوت می‌باشند. همچنین در فصل چهار که در زمینه کاربردهای تصاویر سنجش از دور در مطالعات منابع آب می‌باشد، به این موضوع پرداخته شده است.

۳-۲-۸- اصول پردازش تصویر

وقتی به یک تصویر ماهواره‌ای و یا یک عکس هوایی می‌نگریم، چشم با توجه به آشنایی با فن تفسیر عکس، در یک فعالیت بسیار منحصر به فرد قادر به تفکیک و تشخیص برخی عوارض است. وقتی قادر به تشخیص آنچه در تصویر می‌بینیم، هستیم و این اطلاعات را با دیگران در میان می‌گذاریم، ما در حال تجربه تفسیر تصویر هستیم. این داده‌های تصویری، زمانی که به وسیله ذهن مفسر انسانی مورد پردازش قرار گیرند به اطلاعات قابل استفاده تبدیل می‌شوند. پردازش تصویر ابزاری است که به منظور تغییر و تحول و تفسیر تصویر به کار برده می‌شود. تفسیر تا حدی تابع مفسر انسانی است که تنها با تمرین بر روی صدها مورد سنجش از دوری با توجه به کاربرد و محل وقوع آنها تجربه کسب می‌نماید.

1- Land Surface Temperature

2- Sea Surface Temperature

3- Normalized Differential Vegetation Index

4- Leaf Area Index

۳-۲-۸-۱- اصول پردازش تصویر در سنجش از دور بصری

پارامترهای مهم در تفسیر بصری داده های سنجش از دور شامل شکل، ته رنگ، اندازه، مقیاس، سایه، بافت، جهت، الگو، ارتباط بین عوارض است. فرآیند تفسیر بصری عکس/تصویر می تواند به پنج مرحله: شناسایی، تشخیص، بررسی و تفکیک، طبقه بندی و کنترل کیفی تقسیم گردد.

۳-۲-۸-۲- اصول پردازش تصویر در سنجش از دور رقومی

پردازش رقومی تصویر شامل تغییر، تحول و تفسیر تصاویر رقومی است که با کمک رایانه صورت می پذیرد. البته امروزه با توجه به قیمت مناسب رایانه ها، افزایش حافظه، سرعت آنها و توسعه یافتن تئوری های پردازش رقومی تصویر، این شاخه نسبت به پردازش بصری تصویر برتری یافته است ولی هنوز در برخی موارد مانند مکان هایی که دسترسی به رایانه کمی دشوار است (مانند بسیاری از عملیات نجات یا جهت پردازش های میدانی) از پردازش تصویر بصری استفاده می شود. پردازش رقومی تصویر یک موضوع بسیار وسیع است که اغلب با مدل های ریاضی بسیار پیچیده همراه است. هدف در این فصل معرفی اصول پایه ی پردازش رقومی تصویر بدون وارد شدن به بحث پیرامون جزئیات ریاضی مورد استفاده در آنها است.

در پردازش رقومی تصویر، تصویر رقومی به صورت سلول تصویری وارد رایانه می شود. در رایانه برنامه ای طراحی شده که این داده ها را وارد یک معادله یا سری معادلات کرده و سپس نتایج محاسبه را برای هر سلول تصویری یا دسته سلول های تصویری ذخیره می کند. این نتیجه می تواند خود یک تصویر رقومی جدید باشد که صرفاً نمایش داده شده، ذخیره شده، یا مجدداً عملیاتی بر روی آن صورت پذیرد. روند مشابهی نظیر آنچه در تشخیص بصری مورد استفاده قرار گرفته در حالت رقومی نیز قابل استفاده است. ته رنگ که در واقع همان مقدار سلول تصویری است مهم ترین عنصر سنجش از دور رقومی نیز می باشد. اندازه، شکل، بافت و الگو نمایانگر نحوه قرارگیری ته رنگ و رنگ در تصویر می باشند.

به هر صورت تمامی این عملیات را می توان به صورت یک یا چندین نوع از هفت عملیات بسیار وسیع رایانه ای قرار داد که عبارت از پیش پردازش، بارزسازی تصویر، طبقه بندی، تلفیق تصاویر با سایر داده ها در سامانه های اطلاعاتی، تجزیه و تحلیل ابرطیفی، مدل سازی بیوفیزیکی و انتقال، مقایسه و ذخیره سازی تصویر می باشند.

۳-۲-۹- تصحیحات قابل اعمال در پردازش تصویر در سنجش از دور

برای استفاده از هر تصویر سنجش از دور ابتدا باید اطلاعات تصویر، نماینده ای از صحنه برداشت شده واقعی زمین تحت سنجش سنجنده باشد. از این رو پیش پردازش جز لاینفک هر فرآیند سنجش از دوری است. این فرآیند شامل تصحیحات رادیومتریکی و هندسی می باشد که در ذیل تشریح می شوند. انتخاب این که چه تصحیحی و چه روشی باید مورد استفاده قرار گیرد به هدف عملیات وابسته است، برای مثال اگر هدف تهیه ی NDVI باشد باید تصحیح رادیومتریکی تا سرحد امکان قوی باشد در صورتی که برای تعیین انواع ابرها این تصحیح

اصلاً نباید انجام شود. سازمان‌های عهده دار تهیه تصاویر ماهواره‌ای معمولاً قسمت‌هایی از این تصحیحات را با توجه به شناختی که از سنجنده و کاربران داده آن دارند، انجام می‌دهند. خریدار با توجه به نیاز خود، تصاویر را به صورت پیش پردازش شده برای کاربری خود خریداری می‌کند در این فصل به بحث درباره‌ی این سطوح پردازش پرداخته شده است.

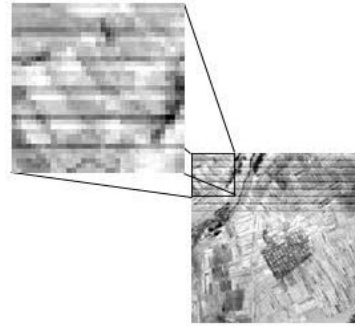
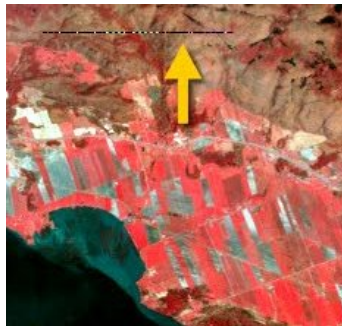
۳-۲-۹-۱- تصحیحات رادیومتریک

تصحیحات رادیومتریک در قبال تغییرات منظر، نوردهی، دید هندسی، شرایط جوی و نویز سنجنده باید صورت گیرند. هرکدام از این موارد به خصوصیات سنجنده‌ها و به شرایط هنگام اخذ داده بستگی دارند و شامل تصحیحات و یا روش‌های حذف خطای رادیومتریک می‌باشند که در زیر تشریح شده‌اند: ۱- خطاهای موجود در آشکارسازهای سامانه سنجش از دوری مانند خطوط پویش از دست رفته^۱، خطای راه‌راه شدن^۲ (که به‌وسیله آشکارسازهای خارج از تنظیم به‌وجود می‌آید)، یا خطای شروع خط (که در آن پویشگر از جمع‌آوری داده از ابتدای هر خط پویش قاصر است)، ۲- تاثیرات اتمسفری که به‌وسیله پراکنش و جذب در اتمسفر صورت می‌پذیرد، ۳- تاثیرات توپوگرافیک به‌وجود آمده در تصویر به دلیل شیب و تفاوت ارتفاع در عوارض موجود بر روی سطح زمین و ۴- نویز موجود در تصاویر به دلیل اختلالات یا خطا در سنجنده یا در ذخیره و ارسال نمودن داده ممکن است، اتفاق افتد. نویزهای معمول شامل راه‌راه شدن منظم و خطوط پویش از دست رفته می‌باشد (شکل ۳-۷).

هر دوی این تاثیرات باید قبل از هر نوع پردازش دیگر تصحیح شوند. به عنوان مثال خطای راه‌راه شدن در سنجنده MSS ماهواره LANDSAT سری یک تا پنج، خطایی معمول است که به‌علت متغیر بودن پاسخ طیفی شش آشکارساز سنجنده MSS حاصل می‌شود. این اختلاف برای هر آشکارساز متفاوت است و باعث نشان دادن روشنایی‌های یکسان برای هر باند و آشکارساز می‌شود و نماد ظاهری آن راه‌راه شدن تصویر می‌باشد. فرآیند تصحیح با ساختن تصحیحات نسبی مقادیر شش آشکارساز برای داشتن مقادیر ظاهری یکسان با یکدیگر در هر خط انجام می‌شود. خطوط پویش از دست رفته وقتی اتفاق می‌افتد که خطایی در سامانه سنجنده باشد که باعث تاثیر بر روی خط اسکن تصویر شود. این خطا معمولاً با جایگذاری مقادیر این خط با خط بالا یا پایین آن یا با میانگین‌گیری این دو خط انجام می‌شود.

1- Dropped Lines

2- Striping



الف
ب
شکل ۳-۷ - الف - خط خطی شدن . ب - خط جامانده (CCRS, 1998)

اعمال تصحیحات رادیومتریک زمانی که از تصاویر زمان‌های متفاوت برای تشخیص تغییرات استفاده شود، لازم است زیرا در غیر این صورت یک نوع کاربری زمین در تصاویر مربوط به دو سال متفاوت، یک ته رنگ یکسان را نشان نخواهد داد. مورد دیگر استفاده از این تصحیحات برای ساختن موزاییک تصویری از سنجنده‌ای واحد (شکل ۳-۸) است چراکه تصاویر باید دارای شرایط نوردهی یکسان از یک منظر به منظر دیگر باشند.



شکل ۳-۸ - موزاییک چند تصویر از یک سنجنده (CCRS, 1998)

تصحیح رادیومتریک مطلق نیاز به داشتن دانش وضعیت اتمسفر در زمان تصویربرداری دارد که معمولاً در دسترس نیست. اما تصحیح نسبی اتمسفری، روشی مقرون به صرفه تر است که در آن یک تصویر به عنوان مبنا در میان تصاویر زمان‌های متفاوت انتخاب می‌شود و مقادیر سلول تصویری دیگر تصاویر به این تصویر مبنا ارتباط داده می‌شوند. دو روش معمول برای تصحیح رادیومتریکی نسبی وجود دارند که عبارت از تناظر هیستوگرام و برازش تصویر است. اولی هیستوگرام مقادیر روشنایی یک تصویر را با تصویر دیگر متناظر می‌کند به گونه‌ای که توزیع ظاهری مقادیر روشنایی در دو تصویر تا سرحد امکان به یکدیگر نزدیک شوند درحالی‌که به وسیله دومی مقادیر تک تک سلول‌های تصویری تصویر دوم به تصویر مبنا به صورت باند به باند برای ایجاد یک برازش خطی مرتبط می‌گردد.

۳-۲-۹-۲- تصحیحات هندسی

تصاویر سنجش از دور به‌طور ذاتی با اعوجاجات هندسی در ارتباط هستند. این اعوجاجات به عوامل زیادی مانند جهت و منظر عدسی‌های سنجنده، حرکت سامانه اسکن‌کننده، سرعت، جهت و ارتفاع سنجنده، شکل ظاهری زمین، انحنا و دوران زمین بستگی دارد. تصحیحات هندسی به منظور برقرار کردن توازن بین این اعوجاجات و تبدیل هندسه تصاویر به شکل واقعی زمین صورت می‌گیرند. بسیاری از این تغییرات به‌صورت سیستماتیک می‌باشند و می‌توان با مدل کردن دقیق سنجنده، حرکت سکو و ارتباط هندسی بین سکو و زمین این تصحیح را انجام داد. خطاهای سیستماتیک شامل خطاهایی نظیر پیچش در زمان پویش به‌دلیل حرکت به سمت جلوی سکو در زمان هر چرخش آینه دوار در سنجنده‌های با پویش جانبی، پویش نامنظم به‌وسیله آینه و سرعت نامنظم سکو است.

در طرف دیگر خطاهای اتفاقی یا غیرسیستماتیک وجود دارند که آنها را نمی‌توان مدل نمود. بنابراین باید پردازش ثبت هندسی^۱ تصاویر با سامانه مختصات زمینی معلوم انجام گیرد. خطاهای غیر سیستماتیک شامل تغییرات در ارتفاع و وضعیت مداری سکو (خطاهای ناشی از رل^۲، پیچ^۳ و یاو^۴ که به ترتیب دوران حول محور Y ، X و Z هستند) می‌باشد.

فرآیند ثبت هندسی (شکل ۳-۹) شامل شناسایی مختصات هندسی تصویری (سطر و ستون) از نقاط مختلف تصویر است که همان نقاط کنترل زمینی^۵ در تصویر معوج است (A1 to A4 در شکل ۳-۹) و تناظریابی این نقاط با موقعیت‌های مختصات زمینی (طول و عرض جغرافیایی) انجام می‌شود. مختصات واقعی زمینی به‌عنوان نمونه از یک نقشه (B1 to B4 در شکل ۳-۹) در فرمت کاغذی یا رقومی تهیه می‌شود. به این حالت ثبت تصویر به نقشه گویند. در این حالت نقاط کنترل زمینی با مختصات پیکسلی تصویر جفت شده و به‌وسیله پردازش رایانه‌ای، معادله انتقال صحیح برای تبدیل تصویر خام به تصویر مختصات دار به‌کارگرفته می‌شود. حالت دیگری نیز می‌تواند برای ثبت هندسی به‌کارگرفته شود که استفاده از یک تصویر مختصات دار برای ثبت هندسی تصویر خام دیگر است. به این حالت ثبت تصویر به تصویر گویند و معمولاً قبل از هر فرآیند تبدیل هندسی باید انجام شود.

1- Geometric Registration

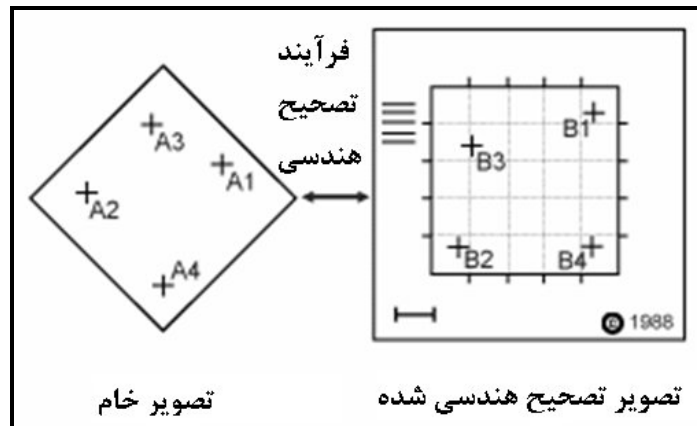
2- Roll

3- Pitch

4- Yaw

5- GCP(Ground Control Points)

۹۲/۰۷/۰۱

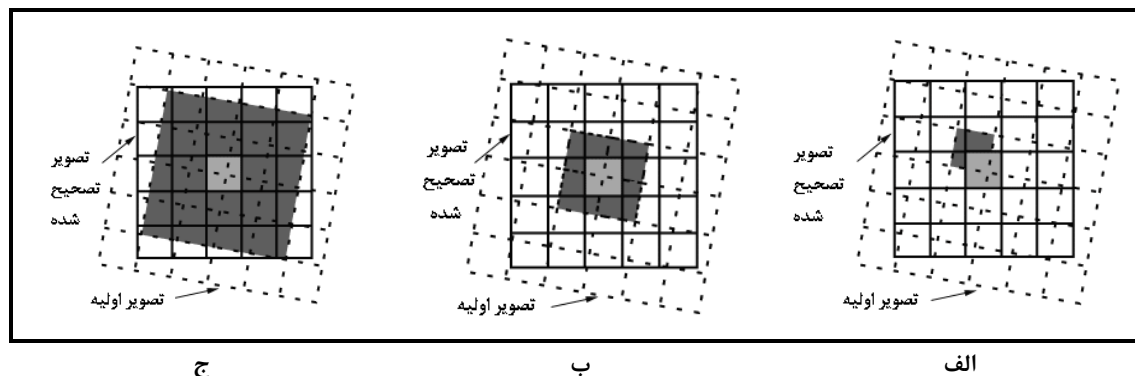


شکل ۳-۹- فرآیند ثبت هندسی

به منظور تصحیح هندسی صحیح بر روی تصویر اعوجاج یافته، فرآیندی به نام نمونه برداری مجدد^۱ انجام می شود که در آن مقدار رقومی سلول های تصویری در مکان جدید مختصات دار قرار می گیرد و تصویر تصحیح شده به دست می آید. فرآیند نمونه برداری مجدد، مقدار سلول تصویری جدید را از مقدار سلول تصویری، تصویر اصلی و تصحیح نشده به دست می آورد و محاسبه می نماید. سه نوع روش معمول نمونه برداری مجدد، نزدیک ترین همسایگی^۲، درون یابی دوخطی^۳ و کانولوشن مکعبی^۴ وجود دارند. روش نمونه برداری مجدد نزدیک ترین همسایگی (شکل ۳-۱۰-الف) مقدار سلول تصویری مورد نظر را از سلول تصویری، تصویر اصلی در نزدیک ترین مکان به سلول تصویری جدید در تصویر تصحیح شده قرار می دهد. این روش ساده ترین روش نمونه برداری مجدد است و همچنین مقدار سلول تصویری را تغییر نمی دهد ولی باعث می شود که بعضی مقادیر سلول های تصویری دوبار تکرار شوند و سلول تصویری اصلی از دست رود. این روش همچنین باعث دندانان دندانان شدن تصویر در لبه ها می شود. در روش نمونه برداری مجدد درون یابی دوخطی (شکل ۳-۱۰-ب) با میانگین گیری وزن دار از نزدیک ترین چهار سلول تصویری در تصویر اصلی، مقدار سلول تصویری را به دست می آورند. این فرآیند میانگین گیری مقدار سلول تصویری اصلی را دگرگون کرده و مقدار رقومی جدیدی در تصویر خروجی می سازد و باعث تغییر در درجات خاکستری سلول های تصویری می شود. روش نمونه برداری مجدد کانولوشن مکعبی (شکل ۳-۱۰-ج) با استفاده از میانگین گیری وزن دار از نزدیک ترین شانزده سلول تصویری در همسایگی تصویر اصلی در اطراف سلول تصویری خروجی و تصویر تصحیح شده به دست می آید. مانند روش درون یابی دوخطی این روش نیز باعث تولید یک مقدار درجه خاکستری دیگر برای سلول تصویری می شود. دو روش اخیر باعث تولید تصویر نرم تر می شود و برعکس روش نزدیک ترین همسایگی، تصویر دچار دندانان دندانان شدن^۵ نمی شود. چنانچه هدف تحلیل های بعدی، طبقه بندی بر مبنای مقادیر سلول تصویری

- 1- Resampling
- 2- Nearest Neighborhood
- 3- Bilinear Interpolation
- 4- Cubic Convolution
- 5- Blocky Appearance

باشد، بهتر است که نقاط کنترل قبل از طبقه‌بندی تعیین گردند ولی نمونه‌برداری مجدد پس از انجام طبقه‌بندی و با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایگی به دلیل عدم تغییر درجات خاکستری صورت پذیرد.



شکل ۳-۱۰ - الف - نزدیک‌ترین همسایگی ب - درون‌یابی دوخطی ج - کانولوشن مکعبی

۳-۲-۱۰ - آشکارسازی تغییرات با استفاده از سنجش از دور

تغییر در یک شی در واقع دگرگونی یک یا چند خصیصه در آن شی است. برای آن که بتوان تغییرات ایجاد شده در شی یا پدیده مورد نظر را تشخیص داد، اولاً باید خصوصیات اساسی و مهم آن پدیده را شناسایی کرده و سپس وضعیت آن دو مقطع زمانی مناسب را تعیین نمود. سپس با مقایسه این دو وضعیت از طریق مقایسه خصوصیات پدیده در دو مقطع زمانی، تغییرات ایجاد شده در آن پدیده را مشخص نمود. تغییر هر پدیده در سنجش از دور با تغییر در دو ویژگی آن پدیده شناسایی می‌شود.

۱- نوع پوشش زمینی

۲- تراکم سطحی نوع پوشش زمینی

در صورتی که نوع پوشش زمینی یک منطقه تغییر نماید، خواص طیفی آن نیز تغییر خواهد کرد. لذا در صورتی که باندهای طیفی مناسبی به کار گرفته شود، می‌توان تغییر پوشش زمینی را با تعیین مناطقی که خواص طیفی آن به طور کلی تغییر نموده است، مشخص نمود. در مواردی ممکن است با تغییر تراکم سطحی نوع پوشش زمینی، خواص طیفی آن به طور محسوس تغییر نماید. لذا تغییر طیفی بخشی از سطح زمین می‌تواند ناشی از تغییر نوع پوشش و یا تغییر در تراکم سطحی آن نوع پوشش باشد و تفکیک این دو حالت در بسیاری از موارد حایز اهمیت می‌باشد.

با رشد روز افزون سیستم‌های تصویربرداری ماهواره‌ای و افزایش توان (قدرت) تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیومتریکی آنها، روز به روز دامنه کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در پاسخ به نیازهای بشر گسترش می‌یابد. از جمله موضوعاتی که در این زمینه می‌تواند، دارای اهمیت باشد ارزیابی داده‌های سنجش از دور از نظر توانایی پاسخ به سوالات و نیازهای مختلف می‌باشد. یکی از کاربردهایی که با توجه به بالا رفتن توان تفکیک تصاویر ماهواره‌ای مطرح می‌شود، تشخیص تغییرات ایجاد شده در یک بازه زمانی می‌باشد. هر چه توان تفکیکی طیفی، مکانی و رادیومتریکی سنجنده تصویربردار

بیش تر باشد، انتظار می‌رود جزییات بیش‌تری از تصویر قابل استخراج باشد و این بدان معنی است که می‌توان تغییرات انجام شده در منطقه را با جزییات بیش‌تری آشکارسازی نمود.

۳-۲-۱۰-۱- اهمیت و لزوم بررسی تغییرات سطح زمین

یکی از مهم‌ترین زمینه‌های ارتباطی در علوم سنجش از دور و GIS، موضوع بررسی تغییرات^۱ است که از اهمیت خاصی برخوردار بوده و از جنبه‌های گوناگونی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. کاربرد آشکارسازی تغییرات در تمام زمینه‌های مختلف علمی و کاربردی مطرح است و تلاش‌های زیادی که در ارائه روش‌های مختلف در این زمینه انجام شده است بیانگر ادعای فوق می‌باشد. سطح زمین به‌خصوص در مناطق شهری، پدیده ساکن و ثابتی نبوده و متأثر از علل و عوامل متعدد طبیعی و انسانی، در معرض تغییر و دگرگونی دائمی قرار داشته و به‌خصوص رشد و پیشرفت صنعت و فناوری، سرعت این تغییرات را بسیار افزایش داده است. نظارت و مدیریت منابع یکی از کاربردهای چشم‌گیر تغییر سنجی می‌باشد. آگاهی از تغییرات ایجاد شده در محیط می‌تواند ابزار مفیدی برای کمک به تصمیم‌گیری درست و به موقع مدیران در قبال تبعات این تغییرات باشد. در نتیجه می‌توان گفت که فنون آشکارسازی تغییرات در زمینه‌هایی چون مدیریت منابع طبیعی (از قبیل جنگل، مرتع و زیستگاه‌های طبیعی)، مدیریت شهری و روستایی و مدیریت بحران می‌تواند کاربرد داشته باشد. پیش‌بینی و برآورد وضعیت آینده می‌تواند به برنامه‌ریزی صحیح‌تر برای مواجهه با حوادث و رویدادهای آینده و پیش‌بینی امکانات لازم جهت عملکرد مناسب در قبال وضعیت‌های بحرانی، کمک نماید. در بسیاری از مواقع تغییرات صورت گرفته در چهره زمین که ناشی از تغییرات نامطلوب محیط است از دیدگاه ناظر زمینی مخفی می‌ماند و چه بسا ادامه این روند در آینده منجر به بحرانی گردد که آمادگی لازم برای مواجهه با آن موجود نباشد. این در حالی است که این تغییرات می‌تواند از دیدگاه یک سنجنده یک ماهواره منابع زمینی مشخص گردد و با به کارگیری فنون آشکارسازی، روند تغییرات مشخص شده و در صورت پیش‌بینی بحران در آینده، آمادگی لازم ایجاد شود. در واقع آشکارسازی تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دور به دلایل متعددی اهمیت یافته‌اند از آن جمله می‌توان به پوشش و میدان دید وسیع این تصاویر، دسترسی منظم و طبیعت رقومی تصاویر (که امکان پردازش تصاویر توسط رایانه را به طور مستقیم امکان پذیر می‌سازد) اشاره نمود.

کاربرد دیگری که در زمینه آشکارسازی تغییرات مطرح می‌شود در زمینه آرشیو داده‌های سنجش از دور می‌باشد. با توجه به افزایش توان تفکیک زمانی تصاویر سنجش از دور، تعداد تصاویری که بایگانی می‌شوند، به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. اما باید بدانیم که بررسی و پردازش تمامی این داده‌ها نیاز به زمان و نیروی انسانی متخصص قابل توجهی دارد. لذا لازم است تا از میان این حجم زیاد تصاویر، تصاویری که تغییرات قابل توجهی نسبت به تصویر قبلی خود داشته‌اند، انتخاب شوند و مورد پردازش قرار گیرد. لذا به منظور انتخاب تصاویر مورد نظر فنون تشخیص تغییر خودکار

مطرح می‌شوند. به عبارت دیگر با استفاده از این فنون، تصویر انتخاب شده و متخصصین روی این تصویر، پردازش‌های لازم را انجام می‌دهند.

بنابراین صرف نظر از علل و عوامل ایجاد کننده تغییرات بر روی سطح زمین، اطلاع و آگاهی از میزان و چگونگی این تغییرات امری لازم و ضروری است، چرا که بدون اطلاع صحیح و به هنگام از اندازه، نرخ و جهت تغییرات رخ داده، عملاً مدیریت مناسب و هدفمند زمین و منابع آن امری امکان‌ناپذیر خواهد بود. علم و آگاهی از کم و کیف این تغییر و تحولات رخ داده از یک طرف برای مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران مسایل مختلف در ارتباط با زمین، در مدیریت و هدایت سمت و سوی سیاست‌ها، طرح‌ها و برنامه‌های بلند مدت خود در جهت صحیح و مناسب، یک ضرورت انکار ناپذیر بوده و از سوی دیگر اطلاع از وقوع چنین تغییراتی، به این مفهوم است که کلیه دانسته‌ها و اطلاعات قبلی از سطح زمین، از میزان دقت و اعتبار خود خارج شده و نیاز به بازبینی و اصلاح دارند.

لذا در مواردی که به هر دلیل نیاز به مطالعه بر روی یک فرآیند پویا باشد، استفاده از فنون آشکارسازی تغییرات مناسب با موضوع مورد مطالعه به عنوان ابزاری مفید مطرح می‌باشد.

۳-۲-۱۰-۲- نیازمندی‌های اولیه جهت تحلیل تشخیص تغییرات

اولین گام در تشخیص تغییرات، دسترسی به مجموعه داده‌های لازم جهت تعیین وضعیت موضوع مورد نظر در دو مقطع زمانی متفاوت می‌باشد. برای سنجش و بررسی تغییرات صورت گرفته در روی زمین در طول زمان، روش‌های متعدد و مختلفی را می‌توان مورد استفاده قرار داد که هر یک از آنها دارای معایب و مزایای خاص خود می‌باشند. یکی از بهترین روش‌های تغییر سنجی، استفاده از تصاویر به‌روز ماهواره‌ای است. استفاده از چنین داده‌هایی این امکان را فراهم می‌آورد که با بکارگیری این منبع اطلاعاتی مناسب و نسبتاً ارزان به سریع‌ترین و اقتصادی‌ترین طریق ممکن، سطح زمین و به‌خصوص شهرها را مورد مطالعه قرار داده و ضمن سنجش و بررسی آنها، میزان، شکل و نحوه تغییر آنها را در طول زمان مشخص کرد. در این راه تحلیل‌های مکانی در GIS می‌تواند با تلفیق داده‌های سنجش از دور و سایر داده‌ها، به بهبود، تسهیل و تسریع این فرآیند تغییر سنجی کمک زیادی نمایند.

در بحث تشخیص تغییرات در سنجش از دور، بسته به نوع داده ماهواره‌ای از لحاظ توان تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیومتریکی و شرایط تصویربرداری در مقاطع زمانی مختلف و نیز طبیعت مقایسه‌ای تحلیل تشخیص تغییرات، انجام یک سری پردازش‌های مقدماتی جهت آماده‌سازی داده‌ها برای آشکارسازی تغییرات، الزامی می‌باشد. وارد کردن تصاویر به یک محیط GIS و استفاده از توابع مناسبی همچون هم‌پوشانی و عملیات جبری کلاس‌های اطلاعاتی، مسئله مقایسه تصاویر و بررسی و کشف تغییرات را ساده کرده و تهیه نقشه تغییرات را راحت‌تر می‌نماید.

اولین قدم جهت پیاده‌سازی، شناخت عوامل موثر در صحت نتایج تحلیل آشکارسازی تغییرات و آگاهی از روش‌های حذف و یا کاهش عوامل مخرب در تحلیل فوق می‌باشد. هر چه عوامل مخرب در یک پروژه تشخیص تغییرات بیش‌تر باشد، پیچیدگی کار افزایش می‌یابد و در نتیجه زمان و هزینه بیش‌تری صرف می‌گردد.

۳-۲-۱۰-۳- عوامل مزاحم در تحلیل آشکارسازی تغییرات و روش‌های تعدیل آن

تعدادی از عوامل موثر در تشخیص تغییرات به شرح زیر می‌باشد.

- تفاوت توان تفکیک مکانی و طیفی تصاویر

تفاوت توان تفکیک مکانی و محدوده طیفی تصاویر ورودی به سیستم تشخیص تغییرات باعث پیچیدگی مقایسه مستقیم و پردازش داده‌ها جهت آشکارسازی تغییرات می‌گردد.

تفاوت باندهای طیفی ممکن است منجر به غیر قابل مقایسه شدن کلاس‌های پوشش زمینی قابل تشخیص در دو تصویر گردد. کلاس‌های پوشش زمینی قابل تشخیص در یک تصویر ممکن است در تصویر دیگر به دلیل تعداد باندهای طیفی کمتر و یا پهنای باند بیش‌تر قابل تشخیص نباشد. در صورتی که تفاوت توان تفکیک مکانی بین دو تصویر قابل توجه باشد، ممکن است عوارض زمینی قابل تشخیص در یک تصویر، در تصویر دیگر مشخص نباشد. این پیچیدگی را می‌توان با انتخاب داده‌ها از یک نوع سنجنده برطرف نمود.

- وجود ابر در تصاویر

در صورت وجود ابر در هر یک از تصاویر تشخیص تغییر پوشش زمین در محل ابرها غیر ممکن می‌شود. به منظور کاهش اثر ابر، لازم است در مرحله انتخاب تصاویر، انتخاب تصاویر با پوشش ابری کم مدنظر قرار گیرد. در مواردی که چند تصویر با مشخصه‌های رادیومتریکی و فصلی نزدیک به هم موجود باشند، می‌توان با ترکیب این تصاویر پوشش ابری تصویر را کاهش داد.

- تغییرات سالیانه و فصلی

تغییرات فصلی یکی از عوامل مهم در پیچیدگی تشخیص تغییرات می‌باشد. تغییر در پوشش گیاهی به خاطر تغییر فصل باعث تغییر انعکاس سطحی زمین می‌گردد. این مشکل را می‌توان با انتخاب تصاویری که تا حد امکان از لحاظ فصل مشابه هستند، تا حدود زیادی برطرف ساخت. اختلاف طیفی در پوشش گیاهی بین سال‌های خشک و مرطوب حتی در مواردی که تاریخ دو تصویر به هم نزدیک هستند، کاملاً محسوس می‌باشد. لذا باید تصاویر مربوط به سال‌های تقریباً یکسان از لحاظ بارندگی انتخاب شوند.

- تغییر عملکرد سنجنده در طول زمان و تفاوت سنجنده‌ها

تفاوت عملکرد دو سنجنده از یک نوع و نیز تغییر عملکرد یک سنجنده به مرور زمان باعث پیچیدگی فرآیند تشخیص تغییرات می‌شوند. در واقع این عوامل باعث می‌گردد اختلاف ناشی از عوامل فوق در دو پیکسل متناظر به عنوان تغییر پوشش زمینی این پیکسل‌ها تلقی گردد. یکی از راه‌های رفع این مشکل تغییر مقادیر درجه روشنی هر پیکسل با استفاده

از داده‌های کالیبراسیون به کمیت رادیانس می‌باشد. در مواردی که سنجنده به سیستم کالیبراسیون onboard مجهز نباشد ساده‌ترین روش جهت حذف اثرات مربوط به سنجنده، نرمالیزاسیون تصاویر نسبت به یکدیگر می‌باشد.

- تفاوت شرایط نوردهی صحنه

تغییرات میزان تابش خورشید، زاویه زینتی خورشید و آزیموت خورشید در روشنی پیکسل‌ها و محل سایه‌ها تفاوت ایجاد می‌کند که در نهایت بر نتایج حاصل از تحلیل تشخیص تغییرات موثر می‌باشد. این اثرات را می‌توان با انتخاب صحنه‌های تقریباً یکسان از لحاظ وضعیت خورشید کاهش داد. به طور کلی هر چه زاویه ارتفاعی تابش خورشید بیش‌تر باشد، میزان سایه‌های ایجاد شده در تصویر کاهش می‌یابد و در نتیجه برای تحلیل تشخیص تغییرات مناسب‌تر می‌باشد.

- تفاوت شرایط جوی تصاویر

تفاوت اثرات جوی موثر بر تصاویر می‌تواند بر مشخصات تصاویر، تاثیر قابل توجهی داشته باشد. با فرض اینکه اثرات جوی بر روی تصاویر در تمام تصویر همگن باشد، می‌توان این اثرات را با اعمال تصحیحات جوی تصاویر و یا نرمالیزاسیون داده‌ها تعدیل نمود.

- عدم انطباق مکانی تصاویر

عدم انطباق مکانی تصاویر نسبت به یکدیگر باعث کاهش صحت تجزیه و تحلیل آشکارسازی تغییرات با استفاده از داده‌های رقومی می‌گردد. معمولاً خطای انطباق مکانی تصاویر نسبت به یکدیگر، باید در حد نیم پیکسل و یا کم‌تر باشد تا اثر عدم انطباق مکانی بر نتایج به دست آمده کمینه گردد.

۳-۲-۱۰-۴- مراحل پیش پردازش لازم جهت تحلیل آشکارسازی تغییرات

به طور کلی برای آماده‌سازی تصاویر اولیه برای تحلیل آشکارسازی تغییرات، مراحل زیر باید انجام گیرد.

- ۱- استخراج منطقه مورد مطالعه از تصاویر
- ۲- تصحیح هندسی و انطباق مکانی تصاویر
- ۳- تصحیح رادیومتریک

- استخراج منطقه مورد مطالعه از تصاویر

پس از انتخاب صحنه‌های مناسب جهت مطالعه منطقه مورد نظر باید یک سری پردازش‌های اولیه برای استخراج تصویر منطقه مورد نظر از تصاویر موجود انجام گردد. از جمله پردازش‌هایی که ممکن است جهت استخراج تصویر مورد نظر از تصاویر موجود لازم گردد، می‌توان به موزاییک نمودن تصاویر مربوط به یک تاریخ به منظور دستیابی به تصویری که منطقه مورد نظر را پوشش می‌دهد و نیز حذف داده‌های اضافی که پردازش آن‌ها اهمیت ندارد و یا مانع پردازش درست داده‌ها می‌گردد، اشاره نمود.

- تصحیح هندسی و انطباق مکانی تصاویر

در تحلیل آشکارسازی تغییرات، مناطق تغییر با مقایسه وضعیت هر پیکسل در یک مقطع زمانی با وضعیت همان پیکسل در مقطع زمانی دیگر مشخص می‌گردد. لذا لازم است تصاویر ورودی به سیستم تشخیص تغییرات علاوه بر داشتن هندسه همسان، انطباق مکانی خوبی نسبت به هم داشته باشند تا هر پیکسل در یک تصویر با پیکسل نظیر خود در تصویری دیگر مقایسه گردد. با توجه به اینکه آشکارسازی تغییرات با مقایسه پیکسل به پیکسل انجام می‌شود، عدم انطباق مکانی پیکسل‌های متناظر باعث ایجاد خطا خواهد گردید. لذا برای جلوگیری از این مشکل در مرحله ایجاد انطباق مکانی تصاویر نسبت به یکدیگر نباید خطای RMS مکانی پیکسل‌های دخیل در این مرحله از نیم پیکسل تجاوز نماید. به منظور رسیدن به این دقت معمولاً یکی از تصاویر را به عنوان مرجع در نظر گرفته و این تصویر را با استفاده از نقاط کنترل زمینی، زمین مرجع کرده و سپس تصویر دیگر را با استفاده از نقاط خوش تعریف مشترک در دو تصویر، بر تصویر مرجع از لحاظ مکانی، منطبق می‌نماید. در مناطقی که پستی و بلندی‌های زمین زیاد است، استفاده از مدل ارتفاعی رقومی زمین می‌تواند در رسیدن به دقت لازم مفید باشد.

- تصحیح رادیومتریک

تفاوت شرایط تصویربرداری در دو مقطع زمانی مختلف باعث تفاوت در میزان انرژی دریافتی توسط سنجنده از یک پیکسل بدون تغییر در حد واسط این دو مقطع زمانی و در نتیجه میزان ثبت شده برای پیکسل مورد نظر در دو مقطع زمانی می‌گردد که در نهایت منجر به معرفی مناطق تغییر یافته می‌شود.

برای انجام تصحیح رادیومتریک، ابتدا لازم است که با انتخاب باندهای مناسب از داده و ترکیب آنها به صورت RGB، یک تصویر رنگی را تشکیل داده و با اعمال ترانسفورماسیون‌های لازم به هیستوگرام تصویر، میزان روشنایی و کنتراست تصویر را در وضعیت مناسبی قرار داد چنان‌که عوارض در روی آن به خوبی مشخص و قابل تمایز بوده و بتوان از آن در تحلیل‌های بصری مورد نیاز استفاده کرد. این تحلیل‌های بصری به‌خصوص در مراحل هم‌چون انتخاب نقاط کنترل در فرآیند تصحیح هندسی و همچنین برای بررسی و انتخاب انواع پوشش‌های زمین در منطقه و پس از آن تعیین نواحی آموزشی در فرآیند طبقه‌بندی تاثیر به‌سزایی خواهند داشت.

عوامل موثر در ایجاد این تفاوت را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود.

۱- اعوجاجات مربوط به سنجنده‌های تصویربردار

۲- اعوجاجات ناشی از عوامل بیرونی (محیط تصویربرداری)

- اعوجاجات رادیومتری مربوط به سنجنده‌های تصویربردار

تفاوت در نحوه عملکرد سنجنده‌هایی که از یک نوع هستند ولی بر روی سکوها یا مختلف قرار دارند یکی از عوامل ایجاد اعوجاجات رادیومتری در نتایج آشکارسازی تغییرات می‌باشد.

تغییر در نحوه عملکرد یک سنجنده در طی زمان از دیگر عوامل ایجاد خطا در آشکارسازی تغییرات می‌باشد. در صورتی که داده‌های کالیبراسیون جهت کالیبره نمودن تصویر مربوط به هر سنجنده موجود باشد با کالیبره کردن تصاویر می‌توان عوامل مربوط به عملکرد سنجنده‌ها را تعدیل نمود. در مواردی که داده‌های مربوط به سنجنده‌های TM و MSS به کار گرفته می‌شود به دلیل فقدان سیستم کالیبراسیون onboard در این سنجنده‌ها می‌توان با استفاده از روش‌های نرمالیزاسیون اثر عملکرد متفاوت سنجنده‌ها در شرایط یکسان را کمینه نمود. تفاوت در موقعیت مکانی (شامل آزیموت و زاویه زینتی) سنجنده نسبت به پیکسل موردنظر در دو مقطع زمانی تصویربرداری نیز از عوامل ایجاد خطا در نتایج تشخیص تغییرات می‌باشد.

- اعوجاجات ناشی از عوامل بیرونی

بخش عمده‌ای از اثرات ناخوشایند رادیومتری، مربوط به محیط تصویربرداری می‌باشد. وضعیت محیط تصویربرداری شامل شرایط جوی و شرایط نوردهی به صحنه می‌باشد. شرایط مختلف جوی باعث تفاوت در توزیع طیفی و مکانی تشعشع تابیده شده به سطح زمین، میزان تضعیف تشعشع انعکاسی از سطح و میزان افزایش رادیانس میسر می‌گردد. لذا در تحلیل داده‌های چند زمانه به خاطر تفاوت شرایط جوی در زمان‌های مختلف باید تصحیحاتی بر روی داده‌ها انجام گیرد. تفاوت در شرایط نوردهی صحنه شامل شدت تابش خورشید، آزیموت و زاویه زینتی خورشید نسبت به پیکسل مورد نظر نیز باعث خطا در نتایج می‌گردد. لذا باید تصحیحات لازم جهت کاهش این گونه اثرات اعمال گردد.

۳-۲-۱۰-۵- روش‌های آشکارسازی تغییرات در سنجش از دور

این روش‌ها را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم نمود.

- روش‌های مبتنی بر تشخیص تغییر طیفی
- روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی
- روش‌های ترکیبی

در روش‌های مبتنی بر تغییر طیفی ابتدا با استفاده از یک تبدیل مناسب، تصویری که در آن نواحی دارای تغییر طیفی بارز شده‌اند، ایجاد می‌گردد. این تصویر می‌تواند حاوی یک یا چند باند باشد و به آن تصویر اختلاف می‌گویند. اغلب این فنون بر مبنای فاصله طیفی بین پیکسل‌ها (روش‌های تفاضلی) و یا شباهت پیکسلی (روش‌های نسبت، ضرب داخلی و ضریب همبستگی) عمل می‌نماید. سپس با انتخاب یک یا چند حد آستانه، تصویر اختلاف به نقشه تغییر تبدیل می‌شود. در این روش‌ها اغلب نوع تغییر ایجاد شده مشخص نمی‌گردد و فقط مناطق تغییر یافته تعیین می‌گردد.

در روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی ابتدا تصاویر به کلاس‌های مناسب طبقه‌بندی شده و سپس با استفاده از نتایج طبقه‌بندی و پس از یک مرحله تفسیر، نقشه تغییر به دست می‌آید. در این روش‌ها اغلب نوع تغییر مشخص می‌گردد. روش‌های مبتنی بر تغییر طیفی و روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی را می‌توان به اشکال مختلف با هم ترکیب نمود تا

صحت نتایج تحلیل آشکارسازی تغییرات افزایش یابد. لذا به روش‌هایی که حاصل از ترکیب دو روش مذکور باشند، روش‌های ترکیبی می‌گویند.

- روش‌های مبتنی بر تشخیص تغییر طیفی

روش‌های تشخیص تغییر طیفی که بر پایه عملیات پیکسلی استوار هستند در زمره ساده‌ترین روش‌های تشخیص تغییرات می‌باشند. در این روش‌ها پیکسل‌های متناظر از دو تصویر با هم مورد پردازش قرار می‌گیرند تا در نهایت تصویری به دست آید که بخش‌های دارای تغییر طیفی از قسمت‌های دیگر که دارای تغییر کم و یا بدون تغییر می‌باشند، قابل تشخیص باشد. مساله اساسی در این روش‌ها تعیین مرز بین پیکسل‌های تغییر یا به عبارت دیگر تعیین حد آستانه تغییر می‌باشد.

متداول‌ترین روش تعیین حد آستانه برای تشخیص پیکسل‌های تغییر یافته از پیکسل‌های بدون تغییر، استفاده از هیستوگرام تصویر اختلاف می‌باشد. پیکسل‌هایی که دستخوش تغییر قابل ملاحظه‌ای شده‌اند در دو انتهای هیستوگرام تصویر اختلاف واقع می‌شوند و پیکسل‌هایی که تغییر قابل توجهی نداشته‌اند حول میانگین هیستوگرام تجمع می‌یابند. معمولاً حد آستانه در محلی انتخاب می‌شود که فاصله‌اش از میانگین هیستوگرام، ضریبی از مقدار انحراف معیار هیستوگرام باشد. روش‌های تشخیص تغییر طیفی را می‌توان از لحاظ توجه به اثرات ناشی از شرایط متفاوت تصویربرداری شامل تغییر در سنجنده، شرایط نوردهی یا تابش نور و شرایط جوی، به دو گروه روش‌های مبتنی بر عملیات پیکسلی و روش‌های مبتنی بر عملیات پیکسلی و صحنه‌ای تقسیم نمود.

• روش‌های مبتنی بر عملیات پیکسلی

در این روش‌ها تصویر اختلاف با مقایسه پیکسل‌های نظیر در دو تصویر به دست می‌آید و در محاسبه تصویر اختلاف، مشخصه‌های آماری تصاویر دخالتی ندارند. این روش‌ها شامل تفاضل تصاویر، روش تحلیل بردار تغییر، روش ضرب داخلی، روش ضریب همبستگی، روش نسبت و تفاضل شاخص پوشش گیاهی است که در زیر به آن اشاره شده است.

○ تفاضل تصاویر

در این روش دو تصویر که دارای انطباق مکانی نسبت به هم و مربوط به دو زمان متفاوت هستند، پیکسل به پیکسل از هم کم می‌شوند. از دیدگاه ریاضی این روش یک تصویر اختلاف با تعداد باند برابر با تصاویر اولیه ایجاد می‌نماید. در نهایت با استفاده از یکی از روش‌های تعیین حد آستانه، تصویر اختلاف به دست آمده به روش تفاضل، به نقشه تغییر تبدیل می‌گردد. این روش تنها مناطقی را که تغییر داشته‌اند مشخص می‌نماید و اطلاعاتی در مورد نوع یا طبیعت تغییر ارائه نمی‌دهد. این روش به عدم انطباق مکانی دو تصویر، وجود پیکسل‌های مخلوط و به اختلافات رادیومتریک دو تصویر ورودی حساس می‌باشد. این روش ممکن است برای دو نوع تغییر مختلف مقدار تفاضل یکسان بدهد. لذا این روش می‌تواند باعث ایجاد نتایج گمراه کننده شود.

○ روش تحلیل بردار تغییر

در این روش دو تصویر تک باندهای به دست می‌آید. تصویر اول معرف اندازه بردارهای تغییر پیکسل‌ها بوده و تصویر دوم معرف جهت بردار تغییر می‌باشد. وقتی پیکسلی دارای تغییر طیفی قابل توجهی باشد، تصویر جهت باید مورد بررسی قرار گیرد تا نوع تغییر تعیین گردد. اندازه تغییر را می‌توان با به دست آوردن اندازه اقلیدسی بردار تغییر به دست آورد. جهت تغییر را می‌توان با تعیین نوع تغییر شامل مثبت، منفی و صفر در هر باند تعیین نمود.

○ روش ضرب داخلی

اختلاف بین دو پیکسل در فضای برداری (چند طیفی) را می‌توان با زاویه بین بردارهای نظیر به هر پیکسل بیان نمود. در صورتی که دو پیکسل یکسان باشند، زاویه بین آن‌ها صفر خواهد بود و یا به عبارت دیگر ضرب داخلی دو بردار برابر واحد می‌باشد. در غیر این صورت عددی در بازه (۱ و -۱) به دست می‌آید. در صورتی که پیکسل برداری مربوط به یک محل در بازه زمانی بین دو تصویربرداری تغییر کرده باشد، ضرب داخلی پیکسل‌های برداری مربوط به دو مقطع زمانی مقداری غیر از واحد به دست می‌آید هر چه تغییر شدیدتر باشد عدد به دست آمده به ۱- نزدیک‌تر می‌گردد. در این روش تغییر جهت بردار پیکسل در طی زمان، معیار تغییر در نظر گرفته شده و به اندازه بردار پیکسل توجهی نشده است.

○ روش ضریب همبستگی

از لحاظ مفهومی این روش مشابه روش ضرب داخلی می‌باشد. اختلاف این دو روش آن است که روش ضریب همبستگی، میانگین بردارهای چند طیفی را نیز وارد محاسبات می‌نماید که در کاهش اثرات ناشی از مقادیر مطلق دو بردار چند طیفی مفید می‌باشد. این روش توانایی کاهش اثرات ناشی از تفاوت دو تصویر به خاطر تفاوت در میان تابش خورشید، موقعیت خورشید، اثرات جوی و سنجنده را دارد. در واقع روش ضرب داخلی به اختلافات رادیومتریکی دو تصویر به خاطر شرایط متفاوت تصویربرداری حساس می‌باشد، در حالی که روش ضریب همبستگی به میزان زیادی باعث کاهش این اثرات می‌شود.

○ روش نسبت

در این روش نسبت مقادیر پیکسل‌های متناظر از تصاویر دارای انطباق مکانی در زمان‌های متفاوت برای هر باند محاسبه می‌شود. اگر تغییری رخ داده باشد انتظار می‌رود که نسبت به دست آمده به میزان قابل توجهی بیش‌تر یا کم‌تر از واحد باشد. پس از ایجاد تصویر نسبت برای به دست آوردن مناطق تغییر باید تصویر به دست آمده تفسیر گردد. یک انتقاد عمده که به این روش وارد می‌شود آن است که توزیع تصویر نسبت غیرنرمال می‌باشد. در این روش در صورتی که از سنجنده‌های متفاوت استفاده شده باشد به gain و offset سنجنده‌ها حساس می‌باشد.

○ تفاضل شاخص پوشش گیاهی

در این روش یک شاخص بارزسازی پوشش گیاهی بر روی هر تصویر اعمال می‌شود و سپس از تفاضل دو تصویر حاصل، تصویر اختلاف به دست می‌آید. در مرحله بعد با اعمال یک حد آستانه، تصویر اختلاف به نقشه تغییر تبدیل می‌شود. از آنجا که شاخص‌های پوشش گیاهی، تفاوت پاسخ طیفی عوارض زمینی را بارز می‌نماید و باعث می‌شوند تفاوت‌های ناشی از شدت تابش نرمالیزه گردد، روش تفاضل شاخص پوشش گیاهی، روشی مناسب جهت مطالعه تغییرات در پوشش گیاهی گزارش شده است.

• روش‌های مبتنی بر عملیات صحنه‌ای

همه تغییراتی که در تصاویر ثبت می‌شوند حایز اهمیت نمی‌باشند. این تغییرات ناشی از تغییر در سنجنده، شرایط نوردهی یا تابش نور در زمان تصویربرداری و شرایط جوی در زمان برداشت تصویر می‌باشد. تمامی این اثرات را می‌توان به عنوان اختلافات رادیومتریکی بین دو صحنه در نظر گرفت که می‌توان به میزان زیادی اثر آن‌ها را قبل از انجام تحلیل تغییرات از میان برد. بر این اساس تصحیح رادیومتریک یک صحنه نسبت به صحنه دیگر با نرمالیزاسیون نسبی تصاویر مطرح گردیده است. در اینجا به چند روش از روش‌های آشکارسازی تغییرات که سعی در کاهش اثرات رادیومتریک ناشی از تفاوت شرایط تصویربرداری دارند، اشاره می‌گردد.

○ تفاضل تصاویر نرمال شده

این روش اساساً نوعی تفاضل تصاویر است با این تفاوت که اختلافات رادیومتریک بین دو زمان تصویربرداری در نظر گرفته می‌شود. در این روش ابتدا دو تصویر، باند به باند نرمال‌سازی شده تا تصاویری با میانگین و انحراف از معیار قابل مقایسه به دست آید. این دو تصویر نرمال شده از هم کم شده و یک تصویر تغییر طیفی به دست می‌آید. چند روش برای نرمال‌سازی یک تصویر وجود دارد که یکی از روش‌های معمول، استفاده از میانگین و انحراف معیار در مرحله نرمال‌سازی می‌باشد. در این روش نرمال‌سازی، ابتدا میانگین و انحراف معیار تصاویر محاسبه می‌گردد. سپس ضرایب یک تبدیل خطی به گونه‌ای تعیین می‌گردد که میانگین و انحراف معیار تصویر حاصل از اعمال این تبدیل خطی بر تصویر هدف، با میانگین و واریانس تصویر مرجع یکسان گردد. تصویر هدف تصویری است که باید نرمال شود. با توجه به اینکه روش تفاضل تصاویر نرمال شده اثرات مربوط به شرایط متفاوت تصویربرداری را کاهش می‌دهد، نتایج بهتری نسبت به روش تفاضل به دست می‌دهد. در فرآیند نرمال‌سازی انتخاب پارامترهای تبدیل بسیار مهم می‌باشد.

○ تحلیل مولفه اصلی چند زمانه

تحلیل مولفه اصلی (PCA) یکی از رایج‌ترین روش‌های کاهش داده‌ای چند باندی می‌باشد. در مطالعات چند زمانه، دو تصویر n باندی از یک منطقه که در زمان‌های مختلف برداشته شده است را می‌توان روی هم قرار داد و یک تصویر $2n$ باندی به دست آورد. انجام تحلیل مولفه اصلی روی این تصویر باعث می‌شود تا تصویری با همان تعداد باند به دست آید

که به هر باند یک مولفه می‌گویند. ویژگی باندهای حاصل این است که واریانس باند اول دارای بزرگ‌ترین مقدار بوده و به ترتیب در باندهای بعدی واریانس کاهش می‌یابد. تغییر در انعکاس سراسری سطح و اختلافات رادیومتریکی ناشی از شرایط متفاوت تصویربرداری در مولفه‌های اصلی ظاهر شده و تغییرات محلی مربوط به تغییرات در پوشش زمین در مولفه‌های فرعی تصویر ظاهر می‌گردد.

○ روش برازش تصاویر

در روش برازش تصاویر اختلاف بین میانگین و واریانس مقادیر پیکسل‌ها در تاریخ‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود. لذا اثر شرایط متفاوت جوی و موقعیت خورشید کاهش می‌یابد. در روش برازش، مقادیر پیکسل در تاریخ دوم به عنوان یک تابع خطی از مقادیر پیکسل در تاریخ اول فرض می‌شوند. ضرایب این تابع خطی را می‌توان با حل دستگاه معادلات خطی حاصل از نوشتن معادله خطی برای هر یک از پیکسل‌ها به روش کم‌ترین مربعات به دست آورد. سپس ضرایب به دست آمده در قالب یک تابع خطی بر تصویر اول اعمال می‌شود و تصویر حاصل برآوردی از تصویری است که اگر شرایط تصویربرداری در تاریخ اول همانند تاریخ دوم باشد، به دست می‌آید. برای پیکسل‌هایی که دستخوش تغییر شده‌اند، اختلاف مقادیر پیکسل‌های متناظر در تصویر دوم و تصویر برآورد شده قابل توجه خواهد بود. لذا تصویر برآورد شده یا برازش یافته به همراه تصویر دوم را می‌توان به یک روش آشکارسازی تغییر مثل تفاضل و یا تقسیم وارد ساخته و مناطق تغییر را به دست آورد.

- روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی

در روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی، ابتدا یک مرحله طبقه‌بندی روی تصاویر انجام می‌شود و تصویر اختلاف از نتایج طبقه‌بندی به دست می‌آید. در نهایت تصویر اختلاف با تفسیر به نقشه تغییر تبدیل می‌گردد. مزیت اصلی این روش‌ها آن است که در اغلب موارد، مناطق تغییر یافته و نوع تغییرات صورت گرفته را مشخص می‌کند. در این روش‌ها نیاز به انتخاب حد آستانه نمی‌باشد. روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی با توجه به روش مورد استفاده جهت ایجاد نقشه تغییر، می‌تواند به دو گروه تقسیم گردد.

الف- روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی

ب- روش‌های طبقه‌بندی هم‌زمان داده چند زمانه

• روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی

در این روش‌ها ابتدا وضعیت منطقه مورد نظر در تاریخ‌های مختلف تصویربرداری در قالب یک نقشه موضوعی مشخص می‌گردد. این نقشه را می‌توان از منابع مختلف از جمله طبقه‌بندی تصاویر به روش‌های مختلف و یا نقشه‌های موضوعی موجود به دست آورد. نکته قابل توجه آن است که روش طبقه‌بندی مورد استفاده برای هر یک از تصاویر و حتی منبع هر تصویر می‌تواند متفاوت باشد. نقشه تغییر با مقایسه برچسب پیکسل‌های متناظر در هر

نقشه به دست می‌آید. با توجه به این که هر تصویر به طور جداگانه طبقه‌بندی می‌شود، نیازی به نرمالیزاسیون نسبی تصاویر نمی‌باشد. در صورتی که تغییرات ایجاد شده در مقیاس تصویر خواسته شده باشد، نیازی به انطباق مکانی نسبی دو نقشه طبقه‌بندی شده نمی‌باشد. در غیر این صورت، انطباق مکانی تصاویر و یا نقشه‌ها همانند روش‌های تغییر طیفی حایز اهمیت می‌باشد. صحت نقشه تغییر به دست آمده از این روش وابسته به صحت طبقه‌بندی هر یک از نقشه‌ها است.

• روش‌های طبقه‌بندی داده چند زمانه

در این روش‌ها پس از روی هم قرار دادن دو یا چند تصویر به دست آمده در مقاطع زمانی مختلف، تصویر چند زمانه حاصل با استفاده از یک روش طبقه‌بندی، طبقه‌بندی می‌شود. تصویر طبقه‌بندی حاصل حاوی یک کلاس بدون تغییر و چندین کلاس تغییر می‌باشد. با توجه به وضعیت دسترسی به داده‌های واقعیت زمینی دو راهکار برای اجرای این روش وجود دارد که عبارت از روش طبقه‌بندی بدون نظارت و روش نظارت شده است. مشکل عمده در به کارگیری این روش انتساب برچسب مناسب به کلاس‌ها می‌باشد. در صورتی که از نوع تغییرات ایجاد شده آگاهی وجود داشته باشد و نمونه‌ای از پیکسل‌هایی که دچار این نوع تغییر شده‌اند در تصویر قابل شناسایی باشد، می‌توان یک روش نظارت شده را جهت طبقه‌بندی این تصویر به کار گرفت. در اغلب موارد دسترسی به داده‌های واقعیت زمینی زمانمند ممکن نمی‌باشد. از سوی دیگر تغییرات ناشی از تغییر خواص طیفی پوشش زمین و تغییرات مربوط به شرایط متفاوت تصویربرداری دارای وضعیت یکسانی خواهند بود. بنابراین نرمالیزاسیون نسبی تصاویر الزامی می‌باشد.

- روش‌های ترکیبی

به منظور کمینه‌سازی خطای تشخیص تغییرات، روش‌های مبتنی بر تشخیص تغییر طیفی را می‌توان با روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی به شیوه‌های مختلف ترکیب نمود. به عنوان نمونه با به کارگیری یک روش مبتنی بر تشخیص تغییر طیفی می‌توان مناطق دارای تغییرات قابل توجه را تعیین نمود. سپس این مناطق را با به کارگیری یک روش مبتنی بر طبقه‌بندی، طبقه‌بندی نمود تا اطلاعات تغییر کلاس‌ها به دست آید. به کارگیری این روند می‌تواند به میزان قابل توجهی باعث کاهش خطای شمول (تشخیص نادرست پیکسل‌های تغییر و بدون تغییر) گردد.

۳-۲-۱۰-۶- ارزیابی و مقایسه روش‌های آشکارسازی تغییرات

در اصل شباهت‌های زیادی بین فنون موجود که عناوین متفاوتی به آن‌ها نسبت داده شده است، وجود دارد. در واقع، گاهی اسامی مختلفی برای پردازش‌های تقریباً یکسان به کار گرفته می‌شود. همچنین مواردی هم وجود دارد که یک عنوان برای روش‌های متفاوت به کار گرفته می‌شود.

نکته دیگری که پس از مطالعه بر روی کارهایی که در زمینه آشکارسازی تغییرات انجام شده‌اند، جلب توجه می‌کند این است که در بیش‌تر مطالعات انجام شده در این زمینه یک فن آشکارسازی تغییر جهت بررسی یک موضوع خاص در

یک منطقه مشخص استفاده شده است. در اغلب این مطالعات ارزیابی دقت انجام نشده است و دلیل منطقی عدم ارزیابی دقت، در دسترس نبودن و یا به عبارت بهتر کمیاب بودن داده‌های واقعیت زمینی زمانمند می‌باشد. مطالعاتی که در آن‌ها روش‌های آشکارسازی تغییرات با هم مقایسه شده‌اند، اندک هستند و در اغلب آن‌ها مقایسه به صورت کمی انجام نشده است. البته در تعدادی از مطالعات، مقایسه‌ای به همراه ارزیابی کمی نتایج انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. یاسوکا و همکاران (۱۹۹۳)^۱ روش تفاضل شاخص پوشش گیاهی را بهتر از دو روش تفاضل و روش نسبت ارزیابی نموده است. این در حالی است که اسلاگت و همکاران (۱۹۹۴)^۲ دقت این روش را کمتر از روش طبقه‌بندی داده چند زمانه عنوان نموده است. ال-ری و همکاران (۱۹۹۵)^۳ پس از جمع‌بندی کارهای انجام شده در مطالعات قبلی در زمینه ارزیابی روش‌های خودکار جهت تشخیص تغییرات در جنگل، روش‌های تفاضل تک بانندی، تقسیم تصاویر، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، برازش تصاویر، تحلیل مولفه اصلی، مقایسه پس از طبقه‌بندی، طبقه‌بندی داده چند زمانه را مقایسه نموده‌اند. چندین روش مبتنی بر پردازش‌های مکانی مثل نرم کردن، بهبود لبه‌ها و چند روش تعریف بافت بر اساس انحراف معیار نیز در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد.

۱- روش برازش با استفاده از باند ۲ سنجنده MSS بالاترین دقت را به‌دست می‌دهد.

۲- روش تفاضل و تقسیم تصاویر در رده بعدی قرار دارند.

۳- روش‌های مختلف پردازش مکانی باعث بهبود دقت نمی‌گردد.

۴- روش مقایسه پس از طبقه‌بندی کم‌ترین دقت را ارائه می‌دهد.

بنر و لینهام (۱۹۸۹)^۴ معتقدند که روش PCA در کل بهترین نتایج را به‌دست می‌دهد. اما یادآوری نموده‌اند که بعضی از کلاس‌های تغییر توسط روش‌های دیگر با دقت بهتری به‌دست می‌آیند. سینگ (۱۹۸۹)^۵ روش PCA را نسبت به روش‌های تفاضل و تقسیم ارجح معرفی نموده است. از سویی دیگر فانگ و لی‌درو (۱۹۸۸)^۶ ادعا می‌کنند هر دو این روش‌ها بهتر از روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی و طبقه‌بندی هم‌زمان داده چند زمانه عمل می‌نماید. در نهایت جیاجو (۱۹۸۸)^۷ این‌گونه عنوان می‌کند که روش مقایسه پس از طبقه‌بندی نتایج بهتری نسبت به روش‌های طبقه‌بندی داده چند زمانه و PCA به‌دست می‌دهد.

1- Yasuoka et al. (1993)

2- Sloggett et al. (1994)

3- El-Raey et al. (1995)

4- Banner and Lynham (1989)

5- Singh (1989)

6- Fung and LeDrew (1988)

7- Jiaju (1988)

۳-۲-۱۱- محیط‌های نرم‌افزاری در پردازش رقومی تصاویر سنجش از دور

ارزیابی نرم‌افزارها، اغلب شامل تهیه فهرستی از خصوصیات است که هر بسته نرم‌افزاری با آن مورد سنجش قرار می‌گیرد و نرم‌افزاری که بیش‌ترین خصوصیات مطلوب را داشته باشد، برتری می‌یابد. نرم‌افزارها با هدفی خاص طراحی می‌شوند و از قابلیت بالایی نیز برخوردارند. این موضوع در مورد نرم‌افزارهای پردازش تصویر نیز مصداق دارد. انواع فراوان سامانه‌های سنجنده در سطوح و دامنه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. فاکتورهای مهمی نظیر حجم، تنوع و ویژگی‌های داده‌هایی که باید پردازش شوند و ملزومات سامانه پردازش تصویر برای ارتباط عملیاتی با سایر سامانه‌ها، در امر پردازش تصاویر، مطرح هستند. امروزه مشکل واقعی تعیین بهترین سامانه پردازش تصویر نیست، بلکه یافتن «مناسب‌ترین» آنها در میان سامانه‌های موجود و براساس کاربرد و نیاز کاربران است که در زیر به آن پرداخته می‌شود.

۳-۲-۱۱-۱- معیارهای انتخاب

معیارهای بسیار زیادی برای انتخاب سامانه‌های پردازش تصاویر سنجش از دور وجود دارند و در این بین با توجه به کاربرد و ویژگی‌های پروژه‌های مختلف معیارهای مختلفی وجود دارند. عوامل و معیارهای مختلفی در زمینه انتخاب نرم‌افزارهای پردازش تصاویر سنجش از دور وجود دارند که برخی از اهم معیارهای فوق به‌صورت زیر است.

- امکان تعامل با فرمت‌های مختلف داده‌ای و نرم‌افزاری
- نمایش و بارزسازی بصری تصاویر
- امکان انجام روش‌های مختلف طبقه‌بندی
- امکان انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریکی
- امکان تهیه تصاویر ارتوفتو
- امکان تولید مدل‌های رقومی زمین
- قابلیت پردازش تصاویر رادار
- تحلیل و پردازش تصاویر ابرطیفی
- کارایی و سهولت استفاده از نرم‌افزار
- هزینه نرم‌افزار
- قابلیت تعامل با نرم‌افزارهای GIS
- امکانات ترسیم و نمایش برداری CAD جهت انجام پردازش‌های کارتوگرافیک
- وجود مستندات جامع به‌صورت کاغذی و یا رقومی
- وجود رابط گرافیکی کاربر مناسب

۳-۲-۱۱-۲- مقایسه نرم‌افزارهای پردازش رقومی تصاویر سنجش از دور

اسامی و آدرس اینترنتی مهم‌ترین نرم‌افزارهای پردازش رقومی تصاویر سنجش از دور که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند، در جدول (۳-۱) تشریح شده است.

جدول ۳-۱- نرم‌افزارهای مورد ارزیابی

نرم‌افزار	آدرس اینترنتی
ENVI	http://www.rsinc.com
ERDAS IMAGINE	http://www.erdas.com
ER-MAPPER	http://www.ermapper.com
Image Analyst	http://www.intergraph.com
PCI	http://www.pcigeomatics.com
TNTmips	http://www.microimages.com

براساس معیارهای ذکر شده در بخش ۳-۲-۱۱-۱، به بررسی هریک از خصوصیات ذکر شده پرداخته شده است (جدول ۳-۲). در این جدول بهترین معیار با پنج ستاره و کم‌ترین آنها با دو ستاره نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- مقایسه نرم‌افزارهای مورد ارزیابی با توجه به برخی از معیارهای مطرح شده

نام نرم‌افزار	پردازش تصاویر ابرطیفی	پردازش تصاویر راداری	تهیه اورتوفتو	تصحیحات هندسی و رادیومتریکی	روش‌های طبقه‌بندی	بارسازی تصویر	امکان ترسیم و نمایش برداری با CAD	تعامل با داده‌ها و فرمت‌های مختلف	سازگاری با نرم‌افزارهای GIS	قیمت بر مبنای محصولات پایه
ENVI	*****	*****	*****	*****	*****	*****	***	***	***	\$3000-5000
ERDAS	***	*****	*****	*****	*****	*****	***	***	*****	\$2500-6000
ER MAPPER	**	*****	*****	*****	*****	*****	***	***	***	\$3000-5000
PCI	**	*****	*****	*****	*****	*****	***	*****	*****	\$2500-6000
TNTmips	***	*****	*****	*****	*****	*****	***	*****	***	\$3000-5000
Image Analyst	**	***	*****	*****	*****	*****	*****	**	*****	\$3000-5000

فصل ۴

راهنمای استخراج عوامل موثر در
مطالعات منابع آب با استفاده از
سنجش از دور

۴-۱- نمایش توزیع فضایی گستره‌های آبی

به دلیل رفتار جذبی آب از باندهای فروسرخ به بعد، می‌توان با استفاده از یک حد آستانه برای یک تک باند فروسرخ میانی، پیکره‌های آبی را از سایر عوارض در تصویر تشخیص داد. باندهای مرئی برای تعیین بصری خطوط مرزی مناسب نیستند و از طرف دیگر فنون نسبت بین دو باند مانند باند فروسرخ میانی به باند سبز بسیار مناسب تر است. چراکه مشکلاتی که به وسیله زاویه تابش خورشید، غلظت تابش خورشیدی و اثر زمانی فصول مختلف در تصاویر چند زمانی به وجود می‌آیند، به وسیله فنون نسبت گیری بین باندی از بین می‌روند. فنون نسبت گیری بین باندی، بیانگر نسبت انرژی بازتاب شده به انرژی ورودی است که برای مثال در خصوص نسبت مقادیر انرژی بازتابیده شده در باند فروسرخ میانی به سبز، مقادیر کوچک‌تر از یک، مناطق تحت پوشش آب می‌باشند.

- مراحل روش اول

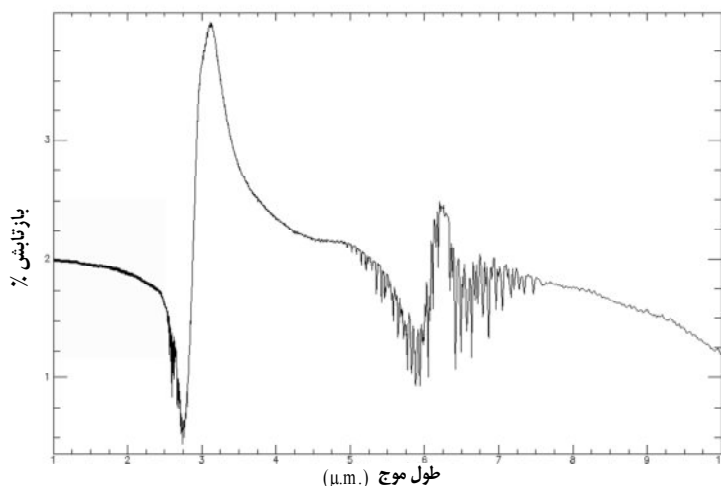
گام ۱- تهیه تصویری که توان تفکیک مکانی آن متناسب با دقت نقشه در دست تهیه باشد.

مثال ۱: مثلاً در تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ با توجه به اینکه کوچک‌ترین عارضه قابل تشخیص در نقشه، دارای ابعادی برابر با ۰/۲ میلی‌متر در مقیاس نقشه است لذا حداقل قدرت تفکیک مورد نیاز معادل ۵۰ متر است. یعنی تصاویری مناسب است که توان تفکیک مکانی آنها در باندهای مورد نظر بهتر از ۵۰ متر باشد (مانند ETM+ ماهواره Landsat).

گام ۲- ایجاد تصویر تک باندی از باندی که در محدوده‌ی فروسرخ میانی قرار گیرد. لازم به ذکر است که باند فروسرخ میانی دارای طول موجی از یک تا ۱۰ میکرومتر می‌باشد.

گام ۳- باید یک حد آستانه جهت تمایز آب از سایر پدیده‌های طبیعی انتخاب شود. رقم پیشنهادی برای مثال برای باند ۵ سنجنده‌ی ETM+ ماهواره Landsat بین ۱۵ تا ۵۰ درصد (بازتابش) می‌باشد.

حد آستانه به دلیل زاویه تابش خورشید و غلظت تابش خورشیدی برای هر تصویر متفاوت است ولی می‌توان یک حداقل حد آستانه را از منحنی شکل (۴-۱) استخراج کرد.



شکل ۴-۱- منحنی رفتار طیفی آب دریا

مثال ۲: روش جداسازی آب با استفاده از سنجنده‌ی ETM+ ماهواره LANDSAT این سنجنده دارای دو باند فروسرخ میانی $5 \mu m$ (۱/۷۵-۱/۵۵) و $7 \mu m$ (۲/۳۵-۲/۰۸) است که در منحنی فوق دارای بازتابش‌های دو درصد می‌باشند. از آنجا که توان تفکیک رادیومتریکی این سنجنده هشت بیتی است، حداکثر مقدار یک سلول تصویری هر یک از باندهای این سنجنده ۲۵۵ درجه خاکستری می‌باشد. دو درصد حداکثر مقدار یک سلول تصویری که معادل رقم ۵ (درجه خاکستری) می‌باشد به عنوان کم‌ترین رقم حد آستانه پیشنهاد می‌شود. گام ۴- تمامی سلول‌های تصویری که مقداری کم‌تر از حد آستانه داشته باشند آب می‌باشند.

- مراحل روش دوم

- گام ۱- تهیه تصویری که توان تفکیک مکانی آن مناسب دقت نقشه در دست تهیه باشد.
- گام ۲- ایجاد تصویر دو یا سه باندهای که حتما دارای دو باند در محدوده‌های فروسرخ میانی و مرئی (ترجیحا در طیف سبز) باشد.
- گام ۳- یک حد آستانه باید انتخاب شود. عدد پیشنهادی برای مثال برای سنجنده ETM+ ماهواره LANDSAT یک می‌باشد.
- گام ۴- نسبت بین باندهای فروسرخ میانی به مرئی محاسبه شود.
- گام ۵- مناطقی که نسبت بین دو باند آنها کم‌تر از حد آستانه باشد آب تلقی می‌شوند.

- مراحل روش سوم

- گام ۱- تهیه تصویری که توان تفکیک مکانی آن مناسب دقت نقشه در دست تهیه باشد.
- گام ۲- انجام طبقه‌بندی بدون نظارت، برای مثال برای داده‌های سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره LANDSAT، از تمامی باندها برای استخراج ۱۰ کلاس از تصویر استفاده شود.
- گام ۳- ترکیب کلاس‌های احتمالی آب به عنوان یک کلاس نکات:

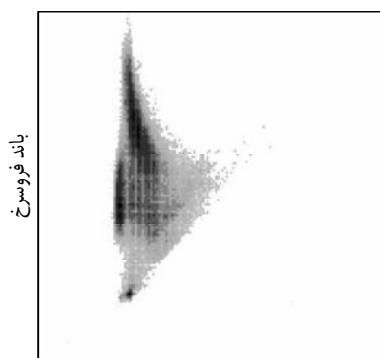
مرز پیکره آبی معمولا به محدوده بزرگ‌ترین گستره آن اطلاق شده و بنام بالاترین حد معمولی آب (OHW^۱) شناخته می‌شوند. OHW با استفاده از وجود پدیده‌های فیزیکی هیدرولوژیکی که نمایانگر حد عادی رسیدن آب در بالای بستر یا حوضه آبریز است، تعریف می‌شود. این مرز در واقع در زمانی که مالکیت اراضی مطرح باشد، مشکل‌ساز می‌گردد. برای تعیین آن نیاز به دانستن بالاترین حدی از آب است که به صورت معمول اراضی را پوشش می‌دهد و لذا نیاز به دانستن و تشخیص گیاهان خاصی دارد که در مرزهای آبی رشد می‌کنند و داده‌های سنجش از دور به‌غیر از داده‌های ابرطیفی قادر به طبقه‌بندی مورد نیاز این گیاهان در زمین‌های مرطوب نیستند و لذا تنها دو راه حل وجود دارد، اولی

استفاده از روش سنتی استفاده از عکس‌های هوایی و کار میدانی و دومی استفاده از سنجنده‌های ابر طیفی با توان تفکیک‌های مکانی در حدود ۳ متر و کار میدانی است. راه حل دیگر مساله OHW، استفاده از تصاویر چند زمانی است که باید با تواتر بالا باشند و حتما دوره حداکثر پیشروی آب را نیز دربرگیرند که به این منظور نیز استفاده از عکس‌برداری هوایی روزانه در دوره حداکثر پیشروی آب مفید به نظر می‌رسد.

۴-۲- نمایش توزیع فضایی و تغییرات زمانی پوشش گیاهی

تعیین پوشش گیاهی از طریق تعیین شاخص‌های مختلف گیاهی میسر می‌شود. این شاخص‌ها با به‌کارگیری باندهای قرمز^۱ ($0.620 - 0.7 \mu m$) که در این راهنما با RED و فروسرخ نزدیک^۲ ($0.7 - 1.3 \mu m$) که با NIR نشان داده می‌شود، حاصل می‌گردد. به‌همین منظور برای بررسی این شاخص‌ها روابط خاصی مطرح و از روش‌های متعامد^۳، نسبی^۴ و مرکب^۵ استفاده می‌شود که با به‌کارگیری آنها می‌توان پوشش گیاهی را استخراج نمود.

شکل (۴-۲) انعکاس باندهای قرمز و فروسرخ نزدیک برای پیکسل‌های تصویر مورد استفاده را نشان می‌دهد. در این شکل محدوده پایین و راست شامل پیکسل‌هایی است که دارای خاک می‌باشد و این محدوده به خط خاک^۶ معروف می‌باشد. خطی که برعکس خط خاک است و دارای انعکاس زیاد فروسرخ و انعکاس کم قرمز می‌باشد، تشکیل‌دهنده پیکسل‌هایی است که با پوشش گیاهی پوشیده شده است. به مکان حاصل از برخورد این دو مرز، نقطه پوشش گیاهی^۷ گفته می‌شود. تمام محدوده‌هایی که به‌طور مختلط با پوشش گیاهی و خاک پوشیده شده‌اند، در محدوده این دو مرز نشان داده می‌شود.



باند قرمز

شکل ۴-۲- انعکاس باندهای قرمز و فروسرخ برای سلول‌های تصویری مختلف تصویر

- 1- Red Band
- 2- Near Infrared Band
- 3- Orthogonal
- 4- Ratio
- 5- Hybrid
- 6- Soil line
- 7- Vegetation Point

۴-۲-۱- روش‌های متعامد

در روش‌های متعامد با به‌کارگیری روش‌های تفاضلی و استفاده از پارامترهای اضافی و برخی ثابت‌ها، نقشه شاخص گیاهی تولید می‌شود.

۴-۲-۱-۱- روش شاخص قائم گیاه (PVI)^۱

یک روش معمول برای استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی، استفاده از شکل (۴-۲) است که با اندازه‌گیری فاصله پیکسل مورد نظر از خط خاک انجام می‌شود. استفاده از خط خاک، به‌علت سادگی در پیدا کردن بیش‌تر نقاط گیاهی توصیه می‌شود. روش شاخص قائم گیاه (PVI)، فرض می‌کند که فاصله عمودی پیکسل مورد نظر تا خط خاک رابطه مستقیمی با پوشش گیاهی داشته و با رابطه (۴-۱) به‌دست می‌آید.

$$PVI = -\sin(a)NIR \times \cos(a)RED$$

$$PVI = \sqrt{(NIR_{soil} - NIR_{veg})^2 + (RED_{soil} - RED_{veg})^2} \quad (4-1)$$

در این رابطه NIR، باند فروسرخ نزدیک و RED، باند قرمز سنجنده می‌باشد. زاویه a نیز زاویه‌ای است که خط خاک با محور فروسرخ در شکل (۴-۲) می‌سازد. در نتیجه خطوطی موازی با خط خاک تشکیل می‌شود که دارای مقدار گیاه یکسان می‌باشد و به خطوط Iso-Vegetation معروف هستند.

۴-۲-۱-۲- روش شاخص تفاضل گیاه (DVI)^۲

برمبانی رابطه PVI، رابطه DVI را می‌توان تشکیل داد با فرض اینکه که شیب خط خاک برابر با یک باشد. در این روش با به‌کارگیری رابطه (۴-۲)، نقشه توزیع پوشش تشکیل می‌شود.

$$DVI = NIR - RED \quad (4-2)$$

۴-۲-۲- روش‌های نسبتی

این روش‌ها با تقسیم دو باند یا نسبتی از دو باند تشکیل می‌شود و به‌واسطه این نسبت‌گیری شاخص پوشش گیاهی به‌دست می‌آید.

۴-۲-۲-۱- روش شاخص نسبت گیاه (RVI)^۳

فرض دیگر برای تشکیل شاخص پوشش گیاهی بدین ترتیب است که خطوط Iso-Vegetation همگی در یک نقطه همدیگر را قطع می‌نماید. در این روش با تقسیم باند فروسرخ نزدیک به باند قرمز طیف الکترومغناطیس (رابطه ۴-۳)، شاخص نسبت پوشش گیاهی حاصل می‌شود.

1- Perpendicular Vegetation Index

2- Difference Vegetation Index

3- Ratio Vegetation Index

- 1- Normalized Difference Vegetation Index
- 2- Leaf Area Index
- 3- Infrared Percentage Vegetation Index

۴-۲-۳-۱- روش شاخص تعدیل خاک گیاه (SAVI)^۱

در این روش نیز تاثیر پارامترهای خاک را بر روی پوشش گیاهی مد نظر قرار داده و آن را با رابطه (۴-۷) مورد بررسی قرار می‌دهند. روش شاخص تعدیل خاک گیاه، مانند روش‌های قبلی دو باند قرمز و فروسرخ نزدیک از طیف الکترومغناطیس را به کار می‌گیرد.

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (1 + L) \quad (۷-۴)$$

$$0 < L < 1 \Rightarrow L \approx 0.5$$

هوت^۲ نشان داد که خطوط Iso-Vegetation در یک نقطه واحد همگرا نمی‌شوند و فاکتور L در رابطه SAVI بر مبنای اینکه خط مشخص شده پوشش گیاهی در کدام نقطه خط خاک را قطع می‌نماید، می‌توان تعریف نمود. برای بیش‌ترین مقدار پوشش گیاهی، مقدار $L = 0$ و برای کم‌ترین مقدار پوشش گیاهی، لازم است $L = 1$ و برای پوشش گیاهی متوسط، $L = 0.5$ (که بیش‌ترین استفاده را نیز دارد) در نظر گرفته می‌شود.

۴-۲-۳-۲- روش شاخص اصلاح شده تعدیل خاک گیاه (MSAVI)^۳

روش شاخص اصلاح شده تعدیل خاک گیاه، اصلاح شده روش SAVI می‌باشد که در آن پارامتر L به شیوه خاصی با به‌کارگیری اطلاعات منطقه و تصویر مورد نظر به کار برده می‌شود. محاسبه L در روش فوق از رابطه (۴-۸) به دست می‌آید:

$$L = 1 - 2 \times \text{Slope} \times \text{NDVI} \times \text{WDVI} \quad (۸-۴)$$

که WDVI ^۴، شاخص وزنی تفاضل گیاه است که از لحاظ کارایی معادل PVI می‌باشد و به وسیله رابطه (۴-۹) محاسبه می‌گردد:

$$\text{WDVI} = \text{NIR} - \text{Slope} \times \text{RED} \quad (۹-۴)$$

در دو رابطه اخیر، Slope شیب خط خاک می‌باشد که با رابطه $\text{NIR}_{\text{soil}} / \text{RED}_{\text{soil}}$ مشخص می‌شود. در این رابطه NIR_{soil} ، مقدار باند فروسرخ نزدیک خط خاک و RED_{soil} ، مقدار باند قرمز خط خاک می‌باشد.

۴-۲-۴- روش‌های تشخیص تغییرات پوشش گیاهی

چهار روش جهت شناخت تغییرات پوشش گیاهی با به‌کارگیری شاخص‌های گیاهی و در نتیجه تعیین و تشخیص خشکسالی وجود دارد که این روش‌ها شامل WSVI ، VDI ، AVI و CVI است که در زیر به آنها اشاره شده است.

1- Soil Adjusted Vegetation Index

2- Huete

3- Modified Soil Adjusted Vegetation Index

4- Weighted Difference Vegetation Index

۴-۲-۴-۱- روش شاخص تامین آب گیاه (WSVI)^۱

در این روش با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI و استفاده از حرارت ظاهری^۲ باندهای حرارتی می‌توان شاخص تامین آب گیاه را از رابطه (۴-۱۰) محاسبه نمود.

$$WSVI = \frac{NDVI}{T_{b4}} \quad (4-10)$$

که در آن T_{b4} حرارت ظاهری باند چهارم سنجنده AVHRR می‌باشد.

۴-۲-۴-۲- روش شاخص خشکی گیاه (VDI)^۲

در روش شاخص خشکی گیاه نیز شاخص تامین آب گیاه، $WSVI_{now}$ ، برای سال یا تصویر جاری را تهیه کرده و برای منطقه مورد نظر نیز حداقل و حداکثر شاخص تامین آب گیاه ($WSVI_{min}$ و $WSVI_{max}$) برای یک دوره مورد مطالعه، در نظر گرفته و از رابطه (۴-۱۱) برای استخراج این شاخص (خشکی گیاه) اقدام می‌نماید.

$$VDI = \frac{100 \times (WSVI_{now} - WSVI_{min})}{WSVI_{max} - WSVI_{min}} \quad (4-11)$$

۴-۲-۴-۳- روش شاخص آنومالی گیاه (AVI)^۳

در این روش با محاسبه شاخص تفاضلی نرمال گیاه تصویر جاری $NDVI_{now}$ و نیز محاسبه $NDVI$ میانگین دوره مورد بررسی، به تشخیص این آنومالی با استفاده از رابطه (۲-۱۲) پرداخته می‌شود.

$$AVI = NDVI_{now} - \overline{NDVI} \quad (4-12)$$

۴-۲-۴-۴- روش شاخص شرایط گیاه (VCI)^۵

شاخص شرایط گیاه با استفاده از شاخص تفاضل نرمال گیاه برای دوره کنونی و حداقل و حداکثر این شاخص برای کل دوره مورد بررسی با استفاده از رابطه (۴-۱۳) محاسبه می‌گردد.

$$VCI = \frac{100 \times (NDVI_{now} - NDVI_{min})}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (4-13)$$

۴-۳- تعیین گستره مناطق برخی حوضه‌های آبریز

روش تعیین گستره حوضه آبریز بر اساس تعیین نقطه تمرکز و امتدادیابی نقاط خط‌الراس، بهترین روش برای تعیین حوضه آبریز است ولی شاید بتوان گستره برخی حوضه‌های آبریز را با استفاده از نمایش خط‌الراس کوه‌ها در تصاویر

1- Water Supply Vegetation Index

2- Brightness Temperature

3- Vegetation Drought Index

4- Anomaly Vegetation Index

5- Vegetation Condition Index

مشخص نمود. از آنجاکه این امر بسته به توانایی مفسر دارد، صحت تعیین آن صرفاً اساس بصری دارد و با توجه به در اختیار بودن اطلاعاتی نظیر مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) با قدرت تفکیک ۹۰ متری حاصل از SRTM^۱ برای اکثر نقاط جهان، استفاده از روش بصری توصیه نمی‌شود.

اگرچه برخی نرم‌افزارهای پردازش تصاویر سنجش از دور با استفاده از اطلاعات سه بعدی منطقه قادر به تعیین گستره حوضه آبریز می‌باشند ولی الگوریتم مورد استفاده در آنها یک الگوریتم سنجش از دوری نیست و سنجش از دور تنها قادر است اطلاعات خام سه بعدی را در اختیار قرار دهد. به این منظور دو منبع عمده برای تعیین مدل رقومی ارتفاعی زمین در سنجش از دور قادر به تهیه اطلاعات آن است و جزییات آن در بخش GIS ذکر شد که به شرح زیر می‌باشند.

– تهیه DEM از تصاویر ماهواره‌ای استریو (برای تصاویر سنجنده‌های نوری و میکروویو)

– تهیه DEM با استفاده از تکنیک اینترفرومتری^۲ (تنها برای تصاویر سنجنده‌های میکروویو)

لازم به ذکر است که نحوه تعیین گستره حوضه‌های آبریز در بخش GIS ذکر شده است.

۴-۴- تهیه نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی^۳

با استفاده از تصاویر مختلف سنجش از دور با قدرت تفکیک مختلف می‌توان عوارض سطح زمین را شناسایی و نسبت به تهیه نقشه آنها اقدام نمود. همچنین با شناسایی و طبقه‌بندی عوارض مختلف طبیعی و بشر ساخت می‌توان نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی را تهیه نمود. این نقشه‌ها از داده‌های مهم در برخی از تحلیل‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی هستند و اغلب براساس طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای حاصل می‌شوند. یکی از روش‌های متداول برای تهیه نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی، روش مورد استفاده اندرسون^۴ و همکاران (۱۹۷۶) در سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده است که در زیر به تفصیل به آن پرداخته خواهد شد. تفاوت کلاس‌های موجود در این طبقه‌بندی از یک‌سو و مشابهت گونه‌های طبیعی و گیاهی در ایالات متحده با اقلیم ایران از سوی دیگر باعث شد که از این طبقه‌بندی استفاده شود.

۴-۴-۱- معیارهای طبقه‌بندی

سامانه‌های طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی که به‌طور وسیعی از سنجنده‌های ماهواره‌ای برای تهیه این نقشه‌ها استفاده می‌نماید، باید دارای شرایط زیر باشند.

– حداقل دقت تفسیر در شناسایی کلاس‌های نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی باید ۸۵٪ باشد.

– دقت تفسیر برای چندین طبقه از این نقشه‌ها باید، یکسان باشد.

– نتایج تکراری و تکرارپذیر باید از یک مفسر به مفسر دیگر و از یک تصویر به تصویر زمان دیگر به‌دست آید.

1- Shuttle Radar Topography Mission

2- Interferometry

3- Land Cover/Use Map

4- Anderson

- سامانه طبقه‌بندی کننده باید در محدوده وسیعی اجرایی باشد.
 - کلاس‌های طبقه‌بندی شده باید نماینده واقعی فعالیت مورد نظر باشد.
 - سامانه طبقه‌بندی کننده باید برای استفاده از تصاویر مختلف (سنجش از دور) و در زمان‌های مختلف سال مناسب باشد.
 - استفاده از زیر کلاس‌های به‌دست آمده از تصاویر با قدرت تفکیک بالا و عملیات میدانی یا استفاده از سنجنده‌های بهبود یافته باید امکان‌پذیر باشد. به عبارت دیگر واحدهای اصلی، قابل تقسیم و تفکیک به واحدهای جزئی یا کوچک‌تر باشند.
 - تجمع و ادغام کلاس‌های به‌دست آمده باید امکان‌پذیر باشد.
 - امکان مقایسه با نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی آتی، وجود داشته باشد.
 - زمانی که استفاده‌های چند منظوره از زمین وجود دارد باید آنها مشخص گردند.
- بعضی از این شرایط باید در طبقه‌بندی در حالت کلی برای تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی به‌کار برده شوند، ولی بعضی از این شرایط برای داده‌های تفسیر شده و به‌دست آمده از تصاویر سنجش از دور می‌باشد.

۴-۴-۲- کلاس‌های کلی طبقه‌بندی و انتخاب تصویر مناسب

کلاس‌های کلی طبقه‌بندی در سنجش از دور نوری بسیار متفاوتند، ولی می‌توان بر اساس قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده، چهار سطح پردازش کلی تعریف کرد که حاصل چهار سطح طبقه‌بندی متفاوت می‌باشد. این موارد در جدول (۴-۱) نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- سامانه‌های سلسله مراتبی پوشش طبیعی و کاربری اراضی اصلاح شده

سطح پردازش	داده‌های مورد استفاده	قدرت تفکیک مکانی	مقیاس مورد استفاده
I	داده‌های سنجنده‌هایی همچون MSS	بین ۲۰ تا ۱۰۰ متر	کوچک‌تر از ۱:۲۵۰۰۰۰
II	عکس‌های هوایی با ارتفاع پرواز بالاتر از ۱۲۴۰۰ متر و سنجنده‌ای مانند ETM+ (در باند پانکروماتیک)	بین ۵ تا ۲۰ متر	از ۱:۸۰۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰۰
III	عکس‌های هوایی با ارتفاع پرواز مابین ۳۱۰۰ تا ۱۲۴۰۰ متر و سنجنده‌ای همچون IKONOS	بین ۱ تا ۵ متر	از ۱:۲۰۰۰۰۰ تا ۱:۸۰۰۰۰۰
IV	عکس‌های هوایی با ارتفاع پرواز زیر ۳۱۰۰ متر	بین ۰/۲۵ تا ۱ متر	۱:۲۰۰۰۰۰ و بزرگ‌تر

باید توجه داشت که نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی تهیه شده در هر کدام از سطوح، محدود به کلاس‌های خاص یا مقیاس نقشه‌ها نیست. اطلاعات در سطوح I و II می‌تواند از حالت کلی و کشوری تا استانی باشد. نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی با جزییات بیش‌تر از سطوح III و IV به دستور کارفرمایان مختلفی که نیاز به اطلاعات استانی، منطقه‌ای و حتی شهری دارند، تهیه می‌شود. لذا ارتباط کلی بین سطوح طبقه‌بندی و داده‌های استفاده شده به‌منظور محدود کردن کاربران به استفاده از داده‌های اولیه خاص و یا تهیه نقشه نهایی با مشخصات خاص ذکر شده در این گزارش نمی‌باشد.

منبع اصلی داده‌های سنجش از دور برای سطح II، استفاده از داده‌های اخذ شده از ارتفاع بالا یا عکس‌های هوایی و رنگی فروسرخ می‌باشد. کلاس‌های استفاده شده در سطح II را نمی‌توان با اعتمادپذیری یکسان تفسیر نمود. مثلاً تفسیر بعضی از کلاس‌هایی که از تصاویر هوایی به‌دست می‌آیند با تفسیر کلاس‌های به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای تفاوت دارد. در سطح III به‌کارگیری وسیع تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس (۱:۱۵۰۰۰ تا ۱:۴۰۰۰۰) انتظار می‌رود. به‌واسطه استفاده از این اطلاعات وسیع و داده‌های سنجش از دور، انواع نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی قابل تولید و اندازه‌گیری هستند.

بالاخره در پردازش سطح IV، می‌توان از داده‌های وسیع کمکی و همچنین از داده‌های سنجش از دور بزرگ مقیاس استفاده نمود.

قدرت تفکیک مکانی، مهم‌ترین عامل برای انتخاب تصاویر خام جهت تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی است. هنگامی که تهیه نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی مطرح است، به‌طور معمول و با توجه به دقت چشم انسان و دقت ترسیم، تفکیک واحدهای کوچک‌تر از $2/5 \times 2/5$ میلی‌متر مربع بسیار مشکل بوده (این رقم قراردادی است و می‌تواند تا 4×4 میلی‌متر مربع نیز باشد) و از طرف دیگر کوچک‌ترین واحد هر نقشه معمولاً $2/2$ میلی‌متر در مقیاس نقشه در نظر گرفته می‌شود که معادل توان تفکیک مکانی سنجنده تولید کننده تصویر است. برای مثال سنجنده IRS/IC دارای یک باند سیاه و سفید $5/8 \mu m$ است ولی چون باندهای مورد استفاده در طبقه‌بندی، باند فروسرخ نزدیک میانی و دو باند مرئی $23/5$ متری آن است، قابلیت تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی با حداکثر مقیاس $1:300000$ (تا $1:500000$) را دارا است.

۴-۳- کلاس‌های نمونه استفاده شده در سطوح I, II, III

سامانه‌های طبقه‌بندی‌کننده نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی در حالت کلی باید شامل کلاس‌های سطح یک، دو و سه باشند (جدول ۴-۲). این سامانه‌ها باید سه خصوصیت اصلی فرآیند طبقه‌بندی را دارا باشند.

۱- اسامی کلاس‌های مورد استفاده، ساده بوده و مفهوم را برساند.

۲- قابلیت انتقال اطلاعات را داشته باشد.

۳- قادر به خلاصه‌سازی استنتاجی و نتیجه‌گیری کلی و عمومی باشد.

سامانه‌های طبقه‌بندی‌کننده قادرند پالایش‌های بیش‌تری نسبت به تنوع و گستردگی داده‌های مورد استفاده، داشته باشند و این در حالی است که در لایه‌های عمومی باید نسبت به هدف اصلی تشکیل و تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی (برای فعالیت‌های طراحی، برنامه‌ریزی و مدیریت) دقت نمود. دستیابی به اهداف اصلی و گسترده تهیه و استاندارد سازی سامانه‌های طبقه‌بندی‌کننده نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی در مقیاس‌های ملی و منطقه‌ای بستگی به بهبود استفاده گسترده از این سامانه دارد.

جدول ۴-۲- یک سامانه طبقه‌بندی برای نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی به وسیله سنجش از دور

سطح یک	سطح دو	سطح سه
۱- زمین‌های شهری یا ساخته شده	۱-۱- مسکونی	۱-۱- تک واحدی با تراکم کم ۱-۲- تک واحدی با تراکم متوسط ۱-۳- تک واحدی با تراکم زیاد ۱-۴- خانه‌های متحرک ۱-۵- خانه‌های چند طبقه، با طبقات کم ۱-۶- خانه‌های چند طبقه، با طبقات زیاد ۱-۷- مسکونی مختلط
	۱-۲- تجاری و خدماتی	۱-۲- خرده‌فروش‌ها و خدماتی‌ها ۱-۳- عمده‌فروش‌ها و خدماتی‌ها (شامل انبارها و بنگاه‌ها) ۱-۴- ادارات و خدمات حرفه‌ای ۱-۵- هتل‌ها و متل‌ها ۱-۶- مراکز فرهنگی و تفریحی ۱-۷- مراکز تجاری و خدماتی مختلط
	۱-۳- صنعتی	۱-۳- صنایع سبک ۱-۴- صنایع سنگین ۱-۵- صنایع استخراجی ۱-۶- صنایع در دست ساخت
	۱-۴- حمل و نقل	۱-۴- فرودگاه‌ها (شامل باند پرواز، محل پارکینگ، آشیانه و پایانه) ۱-۵- راه‌آهن (شامل محوطه و پایانه) ۱-۶- اتوبوس و پایانه ۱-۷- راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها ۱-۸- بندر و تاسیسات وابسته ۱-۹- تاسیسات پارک ماشین‌ها (به صورت مستقل)
	۱-۵- ارتباطات و خدمات شهری	۱-۵- تاسیسات انرژی (گاز و برق) ۱-۶- مراکز تهیه آب (شامل ایستگاه پمپاژ) ۱-۷- تاسیسات فاضلاب ۱-۸- مراکز دفع ضایعات
	۱-۶- سازمان‌ها و نهادها	۱-۶- مراکز آموزشی (مدارس راهنمایی، دبیرستان، پیش دانشگاهی و دانشگاه‌ها) ۱-۷- مراکز مذهبی/حوزه‌های علمیه ۱-۸- مراکز پزشکی و سلامتی ۱-۹- مراکز تادیبی ۱-۱۰- مراکز نظامی ۱-۱۱- مراکز دولتی، مدیریتی و خدماتی ۱-۱۲- گورستان
	۱-۷- مکان‌های تفریحی	۱-۷- زمین‌های گلف ۱-۸- پارک‌ها و باغ وحش‌ها ۱-۹- تفرجگاه‌های ساحلی ۱-۱۰- ورزشگاه‌ها، سیرک‌ها، محل مسابقات ماشین‌سواری، موتورسواری، اسب‌سواری، چوگان و ...
	۱-۸- زمین‌های شهری چند کاربری ^۱	
	۱-۹- زمین‌های شهری دیگر	۱-۹- مناطق توسعه نیافته در مناطق شهری ۱-۱۰- مناطق در حال توسعه (نا معلوم از لحاظ کاربری)

۱- زمانی که نتوان در منطقه‌ای شهری، بین کلاس‌های ۱-۱ تا ۷-۱ تفکیکی قائل شد.

ادامه جدول ۴-۲- یک سامانه طبقه‌بندی برای نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی به‌وسیله سنجش از دور

سطح یک	سطح دو	سطح سه
۴- زمین‌های کشاورزی	۲-۱ گیاهان سردرختی و چراگاه‌ها	۲-۱-۱ محصولات ردیفی ۲-۱-۲ محصولات زمینی ۲-۱-۳ چراگاه
	۲-۲ باغستان، بیشه، تاکستان، نهالستان، گیاهان آرایشی	۲-۲-۱ باغ مرکبات ۲-۲-۲ باغ غیرمرکبات ۲-۲-۳ نهالستان ۲-۲-۴ گیاهان آرایشی ۲-۲-۵ تاکستان
	۲-۳ زمین‌های مغذی محدود ^۱	۲-۳-۱ احشام (گاو و گوسفند) ۲-۳-۲ ماکیان (مرغ و خروس) ۲-۳-۳ گراز و خوک
	۲-۴ زمینهای کشاورزی دیگر	۲-۴-۱ زمین‌های کشاورزی غیر فعال ۲-۴-۲ دیگر زمین‌ها
	۳-۱ علفزار	۳-۱-۱ مصنوعی ^۲ ۳-۱-۲ معتدل ^۳ ۳-۱-۳ سیلابی ^۴ ۳-۱-۴ کوهستانی ^۵ ۳-۱-۵ بیابانی ^۶
۴- زمین‌های مرتع	۳-۲ مراتع بوته‌ای و جاروئی	۳-۲-۱ دشت‌های بوته‌ای ^۷ ۳-۲-۲ خارستان ساحلی ۳-۲-۳ بلوط کوتاه و همیشه بهار جنگلی ۳-۲-۴ اراضی جاروئی رشد دوم ^۸
	۳-۳ مراتع مرکب ^۹	
۴- زمین‌های جنگلی	۴-۱ جنگل‌های همیشه سبز	۴-۱-۱ کاج و صنوبر ۴-۱-۲ درخت ماموت ۴-۱-۳ دیگر درختان
	۴-۲ جنگل‌های خزان شو	۴-۲-۱ بلوط ۴-۲-۲ دیگر درختان چوب سفت
	۴-۳ جنگل‌های مرکب ^{۱۰}	۴-۳-۱ جنگل‌های مختلط
	۴-۴ جنگل‌های مصنوعی	۴-۴-۱ کاج‌های با میوه مخروطی ۴-۴-۲ احیا و اصلاح جنگل
	۴-۵ جنگل‌های سوخته (دچار حریق شده)	

1- confined feeding Operations

2- Antropogenic Grasslands

3- Temperate Grasslands

۴- علفزارهای که به صورت فصلی یا در طی سال در سیلاب قرار گیرند.

5- Mountane Grasslands

6- Xeric Grasslands

7- Sagebrush Prairies

8- Second-Growth Brushland

۹- وقتی بیش از یک سوم منطقه‌ای شامل مخلوطی از علفزار و مراتع بوته‌ای و جارویی باشد.

۱۰- وقتی بیش از یک سوم منطقه‌ای شامل مخلوطی از جنگل‌های خزان شو و همیشه سبز باشد.

ادامه جدول ۴-۲- یک سامانه طبقه‌بندی برای نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی به‌وسیله سنجش از دور

سطح سه	سطح دو	سطح یک
۵-۱- خشک شده ۵-۱-۲ رودخانه یا جویبار به هم تابیده ^۱ ۵-۱-۳ رودخانه‌های فصلی ۵-۱-۴ رودخانه‌های دائمی با جزر و مد ۵-۱-۵ رودخانه‌های دائمی بدون جزر و مد	۵-۱ رودخانه‌ها و جویبارها	۵-۱ آب
۵-۲-۱ پیش یخچال ^۲ (دریاچه‌ای که در حال تبدیل شدن به یخچال باشد) ۵-۲-۲ بسته ^۳ (دریاچه‌ای که رودخانه‌ای از آن خارج نمی‌شود) ۵-۲-۳ آب ساکن ^۴ (جریان در بین عمق‌های متفاوت آب کم است) ۵-۲-۴ آب‌دره ^۵ (در دره‌های یخچالی دارای فرسایش وجود دارند) ۵-۲-۵ یوغی شکل ^۶ (در پیچ‌های U شکل رودخانه‌ها رخ می‌دهند) ۵-۲-۶ دهانه آتشفشانی ^۷	۵-۲ دریاچه‌ها	
۵-۳-۱ مخازن مصنوعی ۵-۳-۲ مخازن طبیعی ۵-۳-۳ سدهای مخزنی ۵-۳-۴ سدهای انحرافی ۵-۳-۵ بندها ۵-۳-۶ حوضچه‌های تغذیه	۵-۳ مخازن آبی	
۵-۴-۱ سه‌گوش نمکی ^۸ ۵-۴-۲ با لایه‌بندی زیاد ^۹ ۵-۴-۳ با لایه‌بندی کم ^{۱۰} ۵-۴-۴ با اختلاط قائم ۵-۴-۵ دهانه رود معکوس ^{۱۱} ۵-۴-۶ غیردائمی ^{۱۲}	۵-۴ خلیج‌ها و دهانه رودها	
	۵-۵ آب‌های دریای آزاد	
۶-۱-۱-۶ درختان همیشه سبز ۶-۱-۲-۶ درختان خزان شو ۶-۱-۳-۶ جنگل‌های ماندابی	۶-۱- زمین‌های مرطوب گیاهی، جنگلی	۶-۱ زمین‌های مرطوب
۶-۲-۱-۶ گیاهان علفی ۶-۲-۲-۶ مرداب آب شیرین ۶-۲-۳-۶ مرداب آب شور	۶-۲- زمین‌های مرطوب گیاهی، غیرجنگلی	
۶-۳-۱-۶ زمین‌های آبگیر ۶-۳-۲-۶ دیگر زمین‌های مرطوب غیرگیاهی	۶-۳- زمین‌های مرطوب غیر گیاهی	

- 1- Braided River
- 2- Periglacial Lake
- 3- Endorheic Lake
- 4- Meromictic Lake
- 5- Fjord Lake
- 6- Oxbow Lake
- 7- Crater Lake
- 8- Salt Wedge Estuary
- 9- Highly Stratified Estuary
- 10- Slightly Stratified Estuary
- 11- Inverse Estuary
- 12- Intermittent Estuary

ادامه جدول ۴-۲- یک سامانه طبقه‌بندی برای نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی به‌وسیله سنجش از دور

سطح یک	سطح دو	سطح سه
۷- زمین‌های بایر	۷-۱- پیکره‌های تخییری	
	۷-۲- سواحل	
	۷-۳- مناطق شن و ماسه‌ای به‌غیر از سواحل	
	۷-۴- صخره‌های برهنه	۷-۴-۱- سنگ بستر نمود یافته در سطح ^۱ (سنگ بستر برهنه) ۷-۴-۲- پس‌مانده‌های آتشفشانی ۷-۴-۳- تیلِس ^۲ (توده سنگریزه در پای صخره)
	۷-۵- معادن	۷-۵-۱- خاک رس ۷-۵-۲- ذغال سنگ ۷-۵-۳- فلزات سنگین ۷-۵-۴- معادن دولومیت ۷-۵-۵- معادن فسفات ۷-۵-۶- معادن مواد معدنی سنگین
	۷-۶- زمین‌های در حال تغییر کاربری ^۳	۷-۶-۱- زمین‌های روستایی در حال تغییر بدون دورنمای ۷-۶-۲- زمین‌های گودبرداری شده ^۴ ۷-۶-۳- زمین‌های ضایع شده ^۵
	۷-۷- مخلوطی از زمین‌های بایر فوق	
	۸-۱- تندراهای بوته‌ای	
	۸-۲- تندراهای علفی	
	۸-۳- تندراهای زمین‌های بایر	
۸- زمین‌های تندرا	۸-۴- تندراهای مرطوب	
	۸-۵- تندراهای مرکب	
	۹-۱- زمین‌های با برف دائمی	
۹- برف؛ یخبندان	۹-۲- یخچال‌های طبیعی	۹-۲-۱- قله‌های یخی ۹-۲-۲- یخچال‌های دره‌ای

سامانه‌های طبقه‌بندی‌کننده در حالت ظاهری بسیار ساده می‌باشند، اما ممکن است بعضی مشکلات و ابهامات در استفاده از این سامانه جهت طبقه‌بندی وجود داشته باشند. در تصاویر استفاده شده ممکن است شناسایی عوارض بعضی کلاس‌های تعریف شده غیرممکن و مشکل باشد. مثلاً جداسازی زمین از آب به‌نظر آسان می‌آید ولی مشکل طبقه‌بندی کاربری‌ها در فصول مختلف مناطق مرطوب، زمین‌های آبیگر و مرداب با پوشش‌های گیاهی مختلف همچنین باقی است. مشکل دیگر تعریف محدوده بین کلاس‌های مختلف نقشه کاربری اراضی است که ممکن است در یکدیگر تداخل داشته باشد، در این حالت محدوده آستانه مهم می‌باشد.

-
- 1- Bedrock Exposure
 - 2- Talus
 - 3- Transitional Areas
 - 4- Borrow Areas
 - 5- Spoiled Areas

۴-۴-۴- مراحل مختلف تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش‌های قبلی و به منظور تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی، لازم است مراحل مختلفی انجام شوند، که در زیر به آن اشاره شده است.

۱- با توجه به گستردگی منطقه مورد استفاده و تعداد تصاویر، لازم است که یک موزاییک از کل تصاویر مورد استفاده تهیه شود. در این مرحله با توجه به شرایط مختلف نوردهی و نیز استفاده از تصاویر با شرایط مختلف جوی لازم است، تصحیحات مختلف اتمسفری و یکسان نمودن نوردهی تصاویر و تصحیحات دیگر (مثلاً حذف خطای خطی شدن و ...) انجام شود.

۲- سپس با به‌کارگیری روش طبقه‌بندی بدون نظارت^۱، یک دید کلی و آماری از کلاس‌های به‌دست آمده با توجه به خصوصیت طیفی تصاویر از منطقه به‌دست آید. نتایج کلاس‌های به‌دست آمده باید مورد ارزیابی قرار گیرند. این ارزیابی شامل بازدید میدانی از حداقل ۳۰ نقطه از هر کلاس تخمین زده شده در نقشه پوشش طبیعی می‌باشد. همچنین با به‌کارگیری سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)^۲ در این محدوده، باید نقاطی به منظور آموزش نرم‌افزار در روش‌های طبقه‌بندی با نظارت و ثبت خصوصیات طیفی انواع خاص گونه‌های پوشش زمین در این نقاط، اطلاعات توصیفی جمع‌آوری شوند. در مرحله بعد لازم است نقاط به‌دست آمده از GPS به‌واسطه روش‌های GIS بر روی تصویر طبقه‌بندی شده هم‌پوشانی^۳ گردند.

۳- روند ارزیابی طبقه‌بندی با نظارت^۴ در چند مرحله انجام می‌شود. به‌واسطه به‌کارگیری اطلاعات به‌دست آمده از GPS، در مکان کلاس‌ها با دانستن نوع پوشش، اولین طبقه‌بندی با نظارت انجام می‌شود. بعد از کامل شدن اولین طبقه‌بندی با نظارت به‌وسیله تیم اعزام شده، لازم است تا دومین تیم برای بهبود و پالایش نتایج به منطقه اعزام شود تا طبقه‌بندی با نظارت را کامل نمایند. این رویه سه بار دیگر هم اگر مورد نیاز باشد، تکرار می‌شود.

۴- نقشه نهایی می‌باید دوباره برای ارزیابی دقت به‌وسیله بازدید زمینی و با ارزیابان حرفه‌ای آشنا با محیط کنترل شود. سنجش این ارزیابی به‌صورت کیفی انجام می‌گردد.

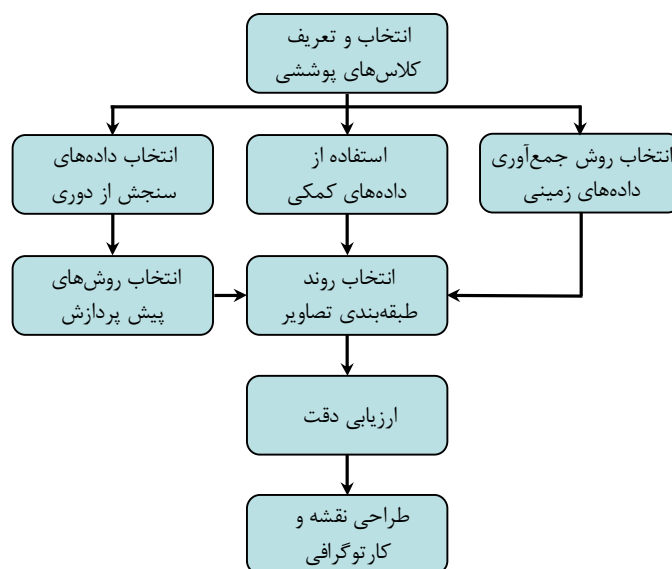
در شکل (۴-۳)، روند انجام مراحل مختلف تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی نشان داده شده است.

1- Unsupervised Classification

2- Global Positioning System

3- Overlay

4- Supervised Classification



شکل ۴-۳- روند انجام تهیه نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی

۴-۴-۵- شناسایی تغییرات در نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی

مطالعه شناسایی تغییرات در نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی به منظور به‌روز کردن نقشه‌های کاربری و مدیریت منابع طبیعی لازم است. شناسایی تغییرات معمولاً با مقایسه تصاویر زمان‌های متفاوت یا به کارگیری نقشه‌های قدیمی و تصاویر سنجش از دور قابل انجام می‌باشد. شناسایی و استخراج تغییرات به دو صورت انجام می‌شود.

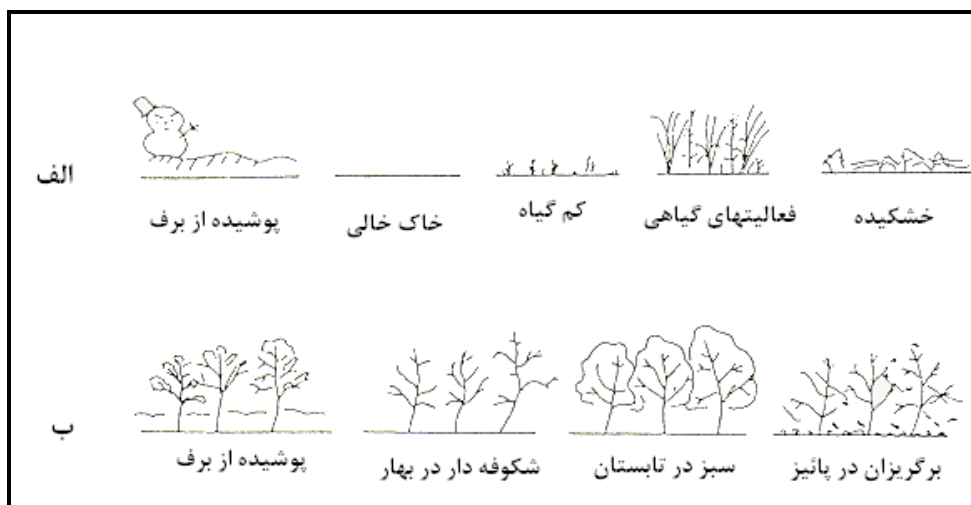
– مقایسه بین دو نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی که به‌طور مستقل تولید شده‌اند.

– تلفیق دو تصویر در یک تصویر مرکب یا استفاده از تصاویر PCA^۱.

استخراج این تغییرات به منظور به‌روز کردن نقشه‌های گیاهی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ با تصاویر LANDSAT TM و SPOT قابل انجام است.

تغییرات در نقشه پوشش طبیعی به دو دسته است:

- ۱- تغییرات فصلی: زمین‌های کشاورزی و جنگل‌های خزان شو به‌طور فصلی تغییر می‌نماید.
 - ۲- تغییرات سالیانه: تغییرات در نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی که به‌صورت واقعی انجام شده باشد، برای مثال جنگل‌زدایی مناطق مختلف یا ساخت شهرک‌های جدید.
- معمولاً تغییرات فصلی و سالیانه در یک تصویر ماهواره‌ای آمیخته هستند. به این دلیل که فقط تغییرات واقعی باید کشف شود، بنابراین دو تصویر با زمان‌های متفاوت باید از یک فصل در سال‌های مختلف به منظور استخراج اثرات فصلی انتخاب شوند. یک مساله دیگر که باید مدنظر داشت، این است که دوره تغییرات فصلی بسیار پیچیده می‌باشد و نحوه انتخاب تصویر از ماه‌های مختلف یک فصل نیز باید مد نظر باشد (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴- تغییرات فصلی در الف- چمنزار. ب- جنگل‌های خزان‌شو

۴-۵- بررسی امکان کاربرد سنجش از دور در برآورد کیفیت آب

سنجش از دور به ندرت قادر است به تنهایی نوع و غلظت آلاینده را تعیین کند، ولی به راحتی قادر است محل ورود آلاینده و مشخصات پراکنش آن را تعیین کند. لازم به ذکر است برخی از آلودگی‌ها نظیر فسفر در رنگ و رفتار آب در طیف‌های مرئی و حرارتی از خود اثری باقی نمی‌گذارند و سنجش از دور قابلیت تشخیص آنها را ندارد.

در این بخش برخی مدل‌های کیفیت آب (۴-۵-۱) معرفی می‌گردند که روابطی تجربی برای تعیین برخی پارامترهای کیفیت آب می‌باشند. سپس در بند (۴-۵-۲) پارامتری بنام عمق کدري که به‌وسیله ابزاری بنام بشقاب سچی^۱ اندازه‌گیری می‌شود مورد بحث قرار می‌گیرد. در بند (۴-۵-۳) به کاربرد سنجش از دور در مورد رنگ آب اشاره می‌شود. با اینکه در بند (۴-۵-۴) در رابطه با آلاینده‌های حرارتی مطالعاتی ارائه می‌شود همچنین در بند (۴-۵-۵) گیاهان آبی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۴-۵-۱- مدل‌های کیفیت آب

این مدل‌ها نیاز به تعیین مجدد ضرایب برای بومی کردن آنها دارند و از طرف دیگر تنها ترکیب باندی ممکن نیز نیستند. برای هر منطقه می‌توان رابطه خاص آن منطقه را از طریق تعیین معادلات برازش میان مقادیر سلول‌های تصویری در باندهای مختلف با مشاهدات زمینی تعیین کرد.

۴-۵-۱- روابط کارپنتر

روابط تجربی بسیار زیادی در زمینه کیفیت آب با استفاده از سنجش از دور طراحی شده است که همگی به محل طراحی آنها وابسته است. برای مثال رابطه کارپنتر^۱ و کارپنتر^۲ که در زیر به آن اشاره شده است، مستقل از زمان می‌باشد و برای دریاچه‌های جنوب غربی استرالیا طراحی شده است. تصحیح زمان برای از بین بردن تغییرات فصلی نور و زاویه خورشید برای تصحیح تغییرات نور در طی روز است.

$$\log T = 4.51 + (0.304)MSS4 - (0.0727)MSS5 + (0.0534)MSS6 - (10.5)SUN \quad (۱۴-۴)$$

$$\log P = 5.48 - (0.114)MSS4 - (0.0546)MSS5 + (5.12)SUN - (0.00479)TIME \quad (۱۵-۴)$$

که در آنها منظور از MSS4، MSS5 و MSS6 مقادیر عددی بازتابش متوسط باندهای ۴، ۵ و ۶ سنجنده‌ی MSS^۳ (معادل باندهای ۱، ۲ و ۳ سنجنده MSS در ماهواره‌های LANDSAT سری‌های ۴ و ۵) برای هر سلول تصویری آب است. منظور از T همان $T = \ln(\text{turbidity})$ است که واحد آن NTU^۴ است و $P = \ln(\text{pigment})$ ، رنگدانه است که واحد آن mg m^{-1} می‌باشد، SUN، سینوس زاویه ارتفاعی خورشید (دامنه آن ۱۷ تا ۴۷ درجه) در لحظه تصویربرداری LANDSAT است (که از فایل هدر^۴ قابل استخراج است) و TIME، زمانی از روز است (دامنه آن از ساعت ۰۸:۲۰ تا ۱۳:۳۰ است) که نمونه‌برداری زمینی برای کنترل صورت می‌پذیرد. تصاویر مورد استفاده مربوط به سنجنده MSS ماهواره LANDSAT بود.

برای مثال برای استفاده از رابطه فوق کافی است که در هر سلول تصویری آب، مقادیر عددی تصویر در باندهای ۴، ۵ و ۶ استخراج شده و از اطلاعات هدر تصویر، زاویه ارتفاعی خورشید در زمان تصویربرداری استخراج گردد. سپس با دانستن ساعت نمونه‌برداری زمینی که در آن این رابطه کالیبره شده با جایگذاری مقادیر فوق در روابط (۱۴-۴) و (۱۵-۴)، مقادیر T و P برای آن سلول تصویری محاسبه گردد. معادلات فوق برای دریاچه‌های بخشی از استرالیا به‌دست آمده، بنابراین لازم است برای نقاط دیگر (چنانچه در بند (۴-۵-۱) نیز ذکر شد) این روابط و یا روابط مشابه تعیین گردند.

۴-۵-۱-۲- روابط خرم

خرم^۵ با انجام ۵۰ نمونه‌برداری در خلیج سان‌فرانسیسکو در ایالات متحده روابط ۴-۱۶ تا ۴-۱۹ را برای شوری، کدری، بار جامد معلق و کلروفیل آب این خلیج پیشنهاد نمود.

$$\text{Salinity} = 91.8 - 19.7(\ln MSS5) - 11.8(\ln MSS6) \quad (۱۶-۴)$$

$$\text{Turbidity} = 3.70 - 0.40(MSS4)^2 + 0.8(MSS5)^2 + 0.09(MSS6)^2 - 0.57(MSS7)^2 \quad (۱۷-۴)$$

$$\text{Suspended Solid} = -79.5 + 24.4(\ln MSS5) + 0.34(\ln MSS7) \quad (۱۸-۴)$$

1- Carpenter and Carpenter, 1983 Cited in Engman and Gurney, 1991

۲- لازم به ذکر است که سنجنده MSS در ماهواره‌های Landsat ماقبل سری ۴، دارای ۴ باند بود که نام‌گذاری باند اول آن با باند ۴ شروع می‌شد.

3- Nephelometric Turbidity Unit

4- Header

5- Khorram

$$\text{Chlorophyll} = -40.99 + 2.73(\text{MSS4}) - 2.62(\text{MSS5}) + 1.93(\text{MSS6}) + 4.14(\text{MSS7}) + 0.07(\text{MSS4})^2 + 0.30(\text{MSS5})^2 - 0.25(\text{MSS6})^2 - 0.19(\text{MSS7})^2 \quad (۱۹-۴)$$

که در آنها MSS4، MSS5، MSS6 و MSS7 به ترتیب مقادیر عددی بازتابش متوسط باندهای ۴، ۵، ۶ و ۷ سنجنده MSS برای هر سلول تصویری آب است و Salinity، Turbidity، SuspendedSolid و Chlorophyll به ترتیب شوری (یک بخش در هزار)، کدوری آب (NTU)، مجموع ذرات جامد معلق در آب (میلی گرم بر لیتر) و کلروفیل (گرم بر لیتر) می باشند. خرم در مدل دیگری که برای تعیین شوری آب در رودخانه‌ای در کارولینای شمالی استفاده کرده از معادله (۴-۲۰) بهره برده است که مقایسه آن با (۴-۱۶) حایز اهمیت است.

$$\text{Salinity} = 38.52 - 120.86 \left(\frac{\text{MSS6}}{\text{MSS4} + \text{MSS5}} \right) \quad (۲۰-۴)$$

مقایسه این دو رابطه نشان می‌دهد که هر حوضه می‌تواند روابط برازش مربوط به خود را داشته باشد و رابطه‌ای کلی که برای تمامی حوضه‌ها صادق باشد وجود ندارد.

۴-۵-۲- برآورد عمق کدوری به وسیله بشقاب سچی (سنجش کدوری آب)

میزان کل فسفر، کلروفیل آلفا و عمق کدوری بشقاب سچی (SDT)، پارامترهای مهمی در بررسی کیفیت آب دریاچه‌ها می‌باشند. اندازه‌گیری این متغیرهای کیفیت آب به همراه تبدیلاتی نظیر شاخص حالت TSI^۱ در مدیریت دریاچه‌ها کاربرد زیادی دارند. از این میان SDT به شدت با اندازه‌گیری‌های طیفی ماهواره‌ها در ارتباط است. برای دریاچه‌هایی که کدوری آنها تحت تاثیر تجمع فیتوپلانکتون‌ها است، کلروفیل نیز به شدت با مشاهدات ماهواره‌ای هم‌خوانی دارد. اما فسفر به وسیله سنجش از دور قابل بررسی نیست.

داده SDT حاصل از تصاویر ماهواره‌ای باید به وسیله یک برازش به اطلاعات زمینی مرتبط گردد، نتیجه می‌تواند مستقیماً نقشه SDT دریاچه باشد یا می‌تواند به وسیله رابطه کارلسون^۲ (رابطه ۴-۲۱) به TSI تبدیل شود.

$$\text{TSI}(\text{SDT}) = 60 - 14.41 \ln(\text{SDT}(\text{m})) \quad (۲۱-۴)$$

شاخص SDT تحت تاثیر فاکتورهای دیگری به غیر از کدوری ناشی از جلبک‌ها نیز می‌باشد، لذا بهتر است SDT حاصل از داده‌های سنجش از دوری را همواره «SDT حاصل از ماهواره» خواند و TSI حاصله را نیز «TSI بر اساس کدوری» خوانده شود.

گام ۱- انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مناسب و نمونه برداری زمینی

تصاویر باید با کیفیت بالا و بدون ابر باشند که در فصل تابستان و ترجیحاً در مرداد اخذ شده باشند. البته این زمان ممکن است برای مناطق مختلف و دریاچه‌های فصلی مورد بازبینی قرار گیرد. برای انتخاب زمان مناسب بهتر است که

1- Trophic State Index

2- Carlson

دریاچه کم‌ترین تغییرات فصلی شفافیت را به همراه بیش‌ترین میزان کدوری دارا باشد. در جدول (۳-۴) نام برخی سنجنده‌های متداول برای تعیین SDT با ذکر نقاط ضعف و قوت آنها ذکر شده است.

جدول ۳-۴- برخی سنجنده‌های مناسب برای تعیین SDT

نام سنجنده	توان تفکیک مکانی	توان تفکیک طیفی	مزایا	معایب	کارایی
(ETM+) LANDSAT	مناسب (۳۰ متر)	برای تصحیح اتمسفری کافی نیست لذا نباید تنها با استفاده از خود تصاویر این تصحیحات را انجام داد	ندارد	تصحیح اتمسفری ناکافی	**
IKONOS	عالی (۱ متر)	برای تصحیح اتمسفری کافی نیست لذا نباید تنها با استفاده از خود تصاویر این تصحیحات را انجام داد	ندارد	تصحیح اتمسفری ناکافی و گران قیمت	***
MODIS	نامناسب (۲۵۰-۵۰۰ متر)	مناسب	تصحیح اتمسفری دقیق	مناسب تنها برای دریاچه‌های بزرگ‌تر از ۲۰۰۰۰ متر مربع	**
سنجنده‌های ابر طیفی مستقر در هواپیما	عالی (۳ متر)	عالی	تصحیح اتمسفری دقیق	سنجنده گران قیمت و هواپیمای مخصوص آن	****

هر ستاره نشانگر یک امتیاز مثبت در سنجنده برای استفاده در تعیین SDT است

بشقاب سچی متداول، ابزاری ساده ولی وابسته به کاربر است. اندازه‌گیری بشقاب سچی شامل پایین بردن یک بشقاب مسطح سفید با قطر ۲۰ سانتی‌متر در آب است (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵- بشقاب سچی

میزان دوعمقی که بشقاب در آنها ابتدا ناپدید می‌شود و سپس دوباره با بالا کشیدن آن، پدیدار می‌شود اندازه‌گیری و میانگین‌گیری می‌شود.

برای بررسی سنجش عمق کدوری به‌وسیله بشقاب سچی (SDT) نیاز به مشاهدات زمینی می‌باشد که کاری کم هزینه است. حداقل ۲۰ نمونه اندازه‌گیری شده میدانی با پراکندگی مناسب، برای هر تصویر مورد نیاز است. این اندازه‌گیری‌ها بهتر است در فاصله زمانی یک تا دو روز از زمان تصاویر ماهواره‌ای باشند و حداکثر اختلاف زمانی که در آن اطلاعات میدانی هنوز قابل استفاده باشد، هفت روز است لذا تصاویر قدیمی و بدون مشاهدات میدانی هم‌زمان، کارایی لازم را ندارند.

با اینکه طبق جدول (۴-۳) تصاویر حاصل از سنجنده‌های موجود در ماهواره‌های LANDSAT کم‌ترین میزان کارایی را در تعیین SDT داشتند، ولی از آنجا که نزدیک به سه دهه بهترین داده تجاری قابل دسترس را برای مهندسان و دانشمندان تهیه می‌کردند، الگوریتم ذکر شده در ادامه فرض را بر اساس تصاویر LANDSAT قرار داده است. ولی امروزه با تجاری شدن سنجنده‌های با توان تفکیک مکانی بالا و تصاویر سنجنده‌های ابر طیفی، الگوریتم فوق به راحتی برای این تصاویر نیز قابل تعمیم است. برای این کار گام‌های ۲ و ۳ را با توجه به نوع تصویر باید مورد بازبینی قرار داد. (برای گام ۲ باید به بخش (۳-۲-۹) مراجعه شود) برای تعدیل گام ۳ نیز با در نظر داشتن مشخصات طیفی سنجنده به بخش (۳-۲-۵) مراجعه شود.

گام ۲- پیش پردازش

به عنوان تصحیح هندسی، تصاویر باید در سیستم تصویر UTM و Zone مناسب ثبت هندسی شوند. روش نمونه برداری مجدد باید نزدیک‌ترین همسایگی باشد. برای انجام عمل ثبت هندسی، نیاز به حداقل ۴۰ نقطه کنترل زمینی دارای پراکندگی مناسب و وضوح تصویر مناسب می‌باشد. دقت مکانی (RMSE) باید در حدود ± 0.25 سلول تصویری باشد. تصاویر با خطای بالای ± 1 سلول تصویری باید دوباره تصحیح هندسی شوند. تصحیح رادیومتریک نباید صورت پذیرد، مگر اینکه داده‌های میدانی SDT برای یک تصویر خاص موجود نباشد.

گام ۳- تصویر پیکره آبی

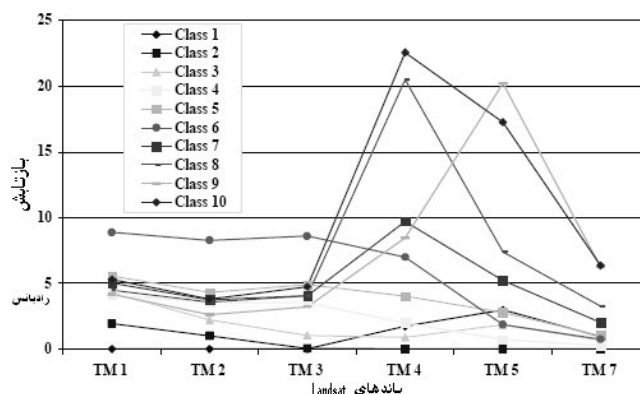
به این منظور از بخش (۴-۱) و ترجیحاً روش سوم استفاده شده و مناطق غیر آبی از تصویر حذف گردد. سپس باید پیکره آبی حاصله مورد بررسی قرار گیرد تا از عدم وجود مناطق سایه، لبه‌های تصویر، اعوجاجات تصویر، سایه ابر، مه، خطوط پویش از دست رفته و نظایر آن اطمینان حاصل گردد. در صورت وجود هر یک از موارد ذکر شده، آن قسمت باید از تصویر پیکره آبی حذف شود.

گام ۴- طبقه‌بندی بدون نظارت تصویر پیکره آبی

طبقه‌بندی بدون نظارت تصویر مناطق آبی برای به دست آوردن نمونه‌ای از هر یک از دریاچه‌های مورد نظر است و نمایانگر قسمت مرکزی دریاچه است که در آن بازتابش از گیاهان، خطوط ساحلی، یا بازتابش از کف دریاچه بازتاب طیفی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد.

گام ۴-۱- اعمال یک طبقه‌بندی بدون نظارت ۱۰ کلاسه بر روی تصویر مناطق آبی.

گام ۴-۲- تهیه منحنی طیفی از میانگین عددی باندهای هر کلاس (مانند شکل (۴-۶))



شکل ۴-۶- منحنی بازتاب طیفی برای میانگین‌های عددی باندهای هر یک از ۱۰ کلاس

گام ۴-۳- مناطقی که تحت تاثیر گیاهان، خطوط ساحلی و یا کف می‌باشند در مناطق فروسرخ نزدیک (باند ۴) و یا فروسرخ میانی (باند ۵) دارای بازتابش بسیار بالایی می‌باشند. نمونه‌ها نباید از این مناطق استخراج شوند (کلاس‌های ۷ تا ۱۰ در شکل (۴-۶)).

گام ۴-۴- یک رنگ خاص به هر یک از کلاس‌های تصویر طبقه‌بندی شده اختصاص داده شود.

گام ۵- استخراج منحنی طیفی

با استفاده از تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از گام ۴-۴ در تصویر مناطق آبی حاصل از گام ۳، مناطقی از هر دریاچه که دارای بهترین اطلاعات SDT است، انتخاب می‌شوند. این مناطق باید تحت تاثیر گیاهان، خطوط ساحلی و یا کف نباشند و می‌توانند از حداقل هشت سلول تصویری (در دریاچه‌های کوچک) تا ۱۰۰۰ سلول تصویری باشند. سپس میانگین بازتابش هر یک از باندها در این مناطق حساب شده و در جدولی برای هر یک از دریاچه‌ها ذخیره شود.

گام ۶- اعمال برازش چندگانه

بر اساس نتایج تجربی کلابیر^۱ و همکاران (۲۰۰۲) روابط (۴-۲۲ و ۴-۲۳) برای سنجنده‌های MSS و TM ماهواره LANDSAT پیشنهاد می‌شود.

$$\ln(\text{SDT}) = a \left(\frac{\text{MSS4}}{\text{MSS5}} \right) + b \text{MSS4} + c \quad (4-22)$$

$$\ln(\text{SDT}) = a \left(\frac{\text{TM1}}{\text{TM3}} \right) + b \text{TM1} + c \quad (4-23)$$

که در آن منظور از MSS4 و MSS5 مقادیر عددی بازتابش متوسط باندهای ۴ و ۵ سنجنده MSS برای منطقه ذکر شده در گام پنجم است و SDT مقادیر زمینی اندازه‌گیری شده برای کدوری بشقاب سچی برای دریاچه مربوطه است و TM1 و TM3 به ترتیب مقادیر عددی بازتابش متوسط باندهای ۱ و ۳ سنجنده TM برای منطقه ذکر شده در گام پنجم

است. لازم به ذکر است که این روابط برای دریاچه‌های موجود در مناطق مینسوتا، ویسکانسین و میشیگان^۱ در ایالات متحده است.

روابط (۲۲-۴) و (۲۳-۴) ارتباطی بسیار قوی را بین انعکاس در تصاویر سنجش از دوری و مقدار SDT نشان می‌دهند به گونه‌ای که ضریب همبستگی (r^2) آن بین ۰/۵۳ تا ۰/۹۸ گزارش شده است اما در فصل تابستان مقدار r^2 تقریباً ۰/۸ است. البته حذف اشتباهات حتماً باید به وسیله الگوریتم‌های مربوطه صورت بپذیرد. هدف از این برآزش، تعیین ضرایب a، b و c برای هر تصویر است.

گام ۷- تهیه نقشه شفافیت آب^۲

حال با داشتن a، b، c برای هر تصویر، می‌توان SDT تمام سلول‌های تصویر مناطق آبی حاصل از گام سوم را تعیین کرد که حاصل، تصویر SDT دریاچه‌های آن منطقه خواهد بود. با استفاده از شاخص حالت TSI رابطه‌ی (۴-۲۱) نیز می‌توان مقادیر SDT را به TSI تبدیل کرده و تصویر TSI(SDT) دریاچه‌ها را تهیه کرد.

۴-۵-۳- رنگ

رنگ آب در سنجش از دور عموماً یک شاخص کیفیت غیر کمی است که اطلاعات کیفی در مورد تولید بیولوژیکی و ساختار کلی شیمیایی آب را در اختیار قرار می‌دهد. رنگ واقعی آب که پارامتری کمی است، به وسیله محلول‌های کلردار یا سوسپانسیون‌های کلردار قابل تعیین است و به صورت مستقیم به وسیله سنجش از دور قابل برداشت نیست. در جدول (۴-۴) برخی مشخصات رنگی آب و نوع آلاینده ذکر شده است. البته رنگدانه‌ها که در بند (۴-۵-۱) ذکر شده‌اند از جمله این آلاینده‌ها به حساب می‌آیند.

جدول ۴-۴- آلاینده‌ها و رنگ آنها در تصاویر رنگی

نوع آلاینده	رنگ	کارایی سنجش از دور
خزه‌های آبی - سبز	سبز تیره	مناسب
خزه‌های تک‌سلولی ^۳	ته رنگ زرد یا زرد - قهوه‌ای	مناسب
محلول‌های شیمیایی	بی‌رنگ	نامناسب

سنجنده‌های نوری که دارای تعداد بیش از یک باند در قسمت فرابنفش طیف مرئی باشند، عموماً سنجنده‌های اقیانوس‌شناسی نیز خوانده می‌شوند که از جمله توانایی آنها بررسی رنگ اقیانوس‌ها، میزان کلروفیل آب، آلاینده‌های رنگی و فیتوپلانکتون‌ها است. از آنجمله می‌توان به سنجنده‌های CZCS^۴، MODIS^۵، COIS^۵ و SEAWIFS^۶ اشاره کرد.

1- Minnesota, Wisconsin and Michigan

2- Trophic Condition

3- Diatom

4- Coastal Zone Color Scanner

5- Coastal Ocean Imaging Spectrometer

6- Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor

۴-۵-۴- بررسی آلاینده‌های حرارتی

سنجش از دور عموماً حرارت سطحی را اندازه‌گیری می‌کند و تنها آثاری که از حرارت در عمق بر روی سطح به‌وجود می‌آید به‌وسیله‌ی یک مفسر زبده قابل تعیین است. برای تعیین نقشه حرارتی سطح آب به بخش (۴-۶) مراجعه نمایید.

۴-۵-۵- روش تعیین گیاهان آبی

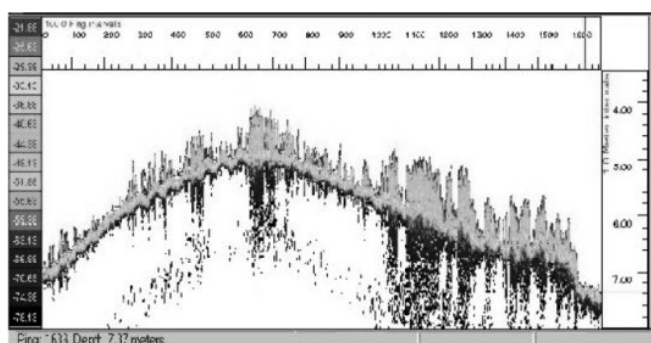
تعیین انواع گیاهان آبی در دو مرحله قابل انجام است.

گام ۱- انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مناسب

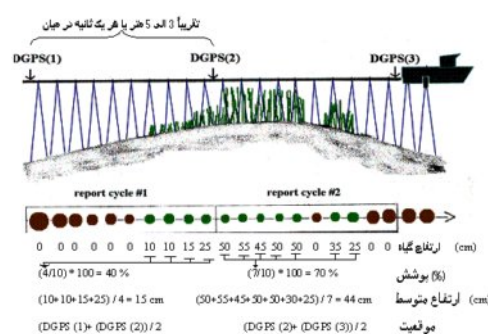
تصاویر مورد استفاده باید توان تفکیک مکانی مورد نظر را داشته باشند که برای این موضوع بهتر است از تصاویری نظیر IKONOS که قدرت تفکیک مکانی بالا دارند استفاده شود. تصاویر باید با کیفیت بالا و بدون ابر باشند.

گام ۲- نقشه برداری از گیاهان به‌صورت زمینی

این عمل باید با در اختیار داشتن رایانه قابل حمل، GPS و اکوساندر برای گیاهان روی آب و زیر آب صورت پذیرد. در اختیار داشتن تصویر و برداشت نقاط با توجه به موقعیت و رنگ آنها در تصویر توصیه شده است. گیاهان به‌وسیله متخصص مربوطه شناسایی و به‌وسیله GPS مکان‌یابی شده و در تصویر مشخص می‌گردند و برای گیاهان زیر آبی نیز از عملیات هیدرواکوستیک^۱ استفاده می‌شود. شکل (۴-۷) نمایی از عملیات هیدرواکوستیک است که با استفاده از GPS و اکوساندر مخصوص آن صورت می‌پذیرد. گیاهان در شکل (۴-۷-ب) به رنگ روشن قابل رویت می‌باشند. این روش توانایی تعیین ارتفاع و میزان پوشش گیاهان را دارد. تفاوت عمده اکوساندرهای مورد استفاده در این روش با اکوساندرهای هیدروگرافی در داشتن فرکانس‌های متعدد است.



ب



الف

شکل ۴-۷- نقشه برداری هیدرواکوستیک (UMN web, 2006) (شکل الف) نمایی از عملیات هیدرواکوستیک می‌باشد (شکل ب) شدت اکو به صورت رنگی نشان داده شده است که ستون سمت چپ مقیاس آن را بر اساس dB نشان می‌دهد، عمق به متر در محور قائم سمت راست و محور افقی نمایانگر فاصله به متر در مسیر حرکت است

گام ۳- پیش پردازش

از آنجا که معمولاً تصاویر مورد استفاده برای این کار دارای توان تفکیک طیفی بالایی نیستند، نیازی به تصحیح اتمسفری نیست ولی تصاویر با کیفیت بالا عموماً بهتر است به صورت ارتو^۱ خریداری شوند. در غیر این صورت باید یک تصحیح هندسی بسیار دقیق نظیر آنچه که برای گام ۲ بند ۴-۵ ذکر شد صورت پذیرد.

گام ۴- طبقه‌بندی تصویر

گام ۴-۱- ابتدا مرز بدنه‌های آبی و مناطق زمینی باید تعیین شود که بهتر است به صورت دستی و با در نظر گرفتن حاشیه بدنه‌های آبی و گیاهان آنها صورت پذیرد، سپس مناطق غیرآبی حذف شود.

گام ۴-۲- یک طبقه‌بندی بدون نظارت با ۱۰ کلاس تنها بر روی مناطق آبی انجام شود و با استفاده از داده‌های زمینی کلاس‌های مربوط به گیاهان زیر آبی حذف شود تا تنها کلاس‌های مربوط به گیاهان روی آبی باقی بماند.

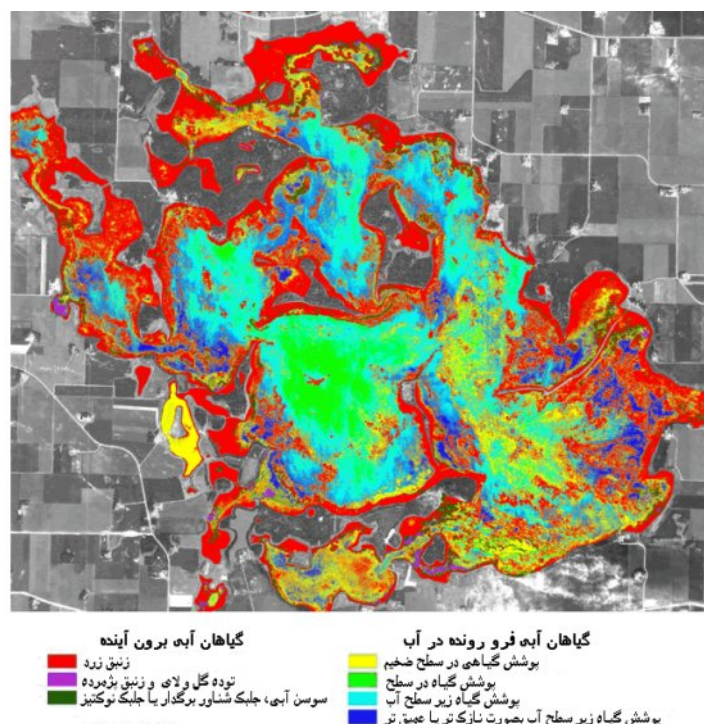
گام ۴-۳- یک طبقه‌بندی بدون نظارت با ۱۰۰ کلاس بر روی تصویر گیاهان روی آبی حاصل از گام (۴-۲) صورت پذیرد. طبقه‌بندی حاصل دارای کلاس‌های مربوط به گیاهان زیر آبی بسیار متراکم نیز می‌باشد که باید دوباره از تصویر حذف شوند. حاصل در دو کلاس گیاهان روی آبی و گیاهان زیر آبی بسیار متراکم ادغام شود.

گام ۴-۴- یک طبقه‌بندی بدون نظارت با ۱۰۰ کلاس بر روی تصویر گیاهان روی آبی حاصل از گام (۴-۳) صورت پذیرد و یک طبقه‌بندی بدون نظارت با ۱۰ کلاس بر روی گیاهان زیر آبی بسیار متراکم انجام شود.

گام ۴-۵- یک طبقه‌بندی بدون نظارت با ۱۰ کلاس بر روی تصویر گیاهان زیر آبی حاصل از گام (۴-۲) صورت پذیرد.

گام ۵- ادغام کلاس‌های حاصل از گام‌های (۴-۴) و (۴-۵) با توجه به اطلاعات زمینی، طبقه‌بندی را کامل می‌کند.

شکل (۴-۸) نمونه‌ای از این عمل که به وسیله سنجنده IKONOS صورت گرفته را نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۸- تصویر طبقه‌بندی شده گیاهان آبی در دریاچه Swan به وسیله تصاویر IKONOS^۱

۴-۶- تهیه نقشه حرارت سنجی به کمک سنجش از دور

نقشه حرارتی را می‌توان به دمای سطح خشکی (LST^2) و دمای سطح دریا (SST^3) تقسیم نمود. به همین منظور در تهیه این نقشه‌ها باید از سنجنده‌هایی استفاده نمود که دارای باندهای حرارتی به‌خصوص در محدوده‌های $10/780 - 11/280$ میکرومتر (مانند باند ۳۱ سنجنده MODIS) و $11/770 - 12/270$ میکرومتر (مانند باند ۳۲ سنجنده MODIS) هستند. تصاویر و سنجنده‌های موجود سنجش از دوری که فعال بوده و هنوز تصاویر از آنها تهیه می‌شوند و نیز دارای باند حرارتی می‌باشند، عبارت از سنجنده‌های MODIS از ماهواره Terra و نیز سنجنده AVHRR از ماهواره NOAA هستند. استفاده از تصاویر سنجنده MODIS به علت داشتن باندهای بیش‌تر (۳۶ باند) و باریک بودن محدوده این باندها و قدرت تفکیک مکانی بهتر نسبت به سنجنده AVHRR (۵ باند)، جهت تهیه نقشه حرارتی فوق‌الذکر پیشنهاد می‌شود.

1- Sawaya et al., 2003

2- Land Surface Temperture

3- Sea surface Temperture

۴-۶-۱- تهیه نقشه حرارتی سطوح پیکره‌های آبی با تصاویر سنجنده MODIS

مدلی که برای محاسبه SST در بیش‌تر منابع علمی استفاده می‌شود، مدل MCSST^۱ از سری الگوریتم‌های موسوم به Split Window می‌باشد که به دلیل در نظر گرفتن زاویه زینتی ماهواره و تصحیح اتمسفری (با تفاضل بین باندها) از دقت بالایی برخوردار است. مدل MCSST مورد استفاده عبارتست از:

$$\text{MODIS\_SST} = c_1 + c_2 \times T_{31} + c_3 \times T_{31-32} + c_4 \times (\sec(\theta) - 1) \times T_{31-32} \quad (24-4)$$

T_{31} : حرارت ظاهری باند ۳۱، T_{31-32} : اختلاف حرارت ظاهری (در باندهای ۳۱ و ۳۲)، θ : زاویه زینت ماهواره و c_1, c_2, c_3, c_4 ضرایبی هستند که مقادیر آنها در زیر ارائه می‌شود.

زاویه زینت ماهواره از اطلاعات هدر فایل استخراج و مقدار آن برای تمام پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد حرارت ظاهری باندهای ۳۱ و ۳۲ با استفاده از مقادیر رادیانس تصویر و به کمک عکس قانون پلانک طبق رابطه (۲۵-۴) محاسبه می‌گردد.

$$T = \frac{hc/k}{\lambda \times \ln(2hc^2 / (L\lambda^5 + 1))} \quad (25-4)$$

T : حرارت ظاهری برحسب درجه کلوین، λ : طول موج (m)، h : ثابت پلانک برابر با 6.62607×10^{-34} Js، c : سرعت نور برابر با 2.99792458×10^8 m/s، k : ثابت استفان بولتزمن برابر با 1.380658×10^{-23} J/K، L : رادیانس برحسب $\text{Watts/m}^2\text{sr}$ است. برای محاسبه ضرایب مدل MCSST، از دو دسته ضرایب استفاده می‌شود که عبارت از ضرایب مدل جهانی ECMWF^۲ و ضرایب به‌دست آمده از رادیو ساندها می‌باشند.

۴-۶-۱-۱- ضرایب به‌دست آمده از مدل جهانی

در این روش ضرایب مدل MCSST براساس داده‌های جمع‌آوری شده از مدل شبیه‌سازی جهانی ECMWF به‌دست می‌آید. این داده‌ها در شرایط اتمسفری مختلف، در فواصل ۱۰ درجه‌ای طول و عرض جغرافیایی و در ساعات ۰ و ۱۲ UTC^۳ در روزهای ۱ و ۱۶ ماه‌های فرد میلادی در سال ۱۹۹۶ جمع‌آوری شده‌اند. از آنجا که ضرایب به‌دست آمده از جدول (۴-۵)، نمایانگر شرایط اتمسفری تمامی دریاها و اقیانوس‌های زمین می‌باشند بنابراین انتظار می‌رود که دارای عدم قطعیت کم‌تری نسبت به رادیوساندهای مورد بحث در بند (۴-۶-۱-۲) باشند.

جدول ۴-۵- ضرایب به‌دست آمده از مدل ECMWF برای محاسبه SST از الگوریتم MCSST

ضرایب	$T_{31-32} > 0.7$	$T_{31-32} \leq 0.7$
c_1	1.196099	1.11071
c_2	0.988837	0.958687
c_3	0.130063	0.174123
c_4	1.627125	1.876752

1- Multi Chanel Sea Surface Temperture

2- European Center of Medium-Range Weather Forecasting

3- Universal Time Constant

۴-۱-۲- ضرایب به‌دست آمده از رادیوساندها

با استفاده از ۱۲۰۰ رادیو ساند کنترل شده با کیفیت در ۵ زاویه زینتی مختلف در نقاط مختلف دنیا یک پایگاه داده مشتمل بر ۳۰/۰۰۰ داده از درجه حرارت ظاهری^۱ در باندهای ۳۱ و ۳۲ به‌دست آمده است. بر اساس این پایگاه داده، ضرایب مدل MCSST در دو حالت که اختلاف بین حرارت‌های ظاهری در باندهای ۳۱ و ۳۲ بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر مساوی ۰/۷ باشد محاسبه شده و در جدول (۴-۶) ارائه شده است.

جدول ۴-۶- ضرایب به‌دست آمده از رادیوساندها برای محاسبه SST از مدل MCSST

ضرایب	$T_{31-32} > 0.7$	$T_{31-32} \leq 0.7$
c_1	1.692521	1.228552
c_2	0.9558419	0.9576555
c_3	0.0873754	0.1182196
c_4	1.199584	1.774631

۴-۶-۲- تهیه نقشه حرارتی سطوح خشکی با تصاویر سنجنده AVHRR

همان‌طور که در ابتدا توضیح داده شد سنجنده MODIS دارای باندهای باریکتری نسبت به سنجنده AVHRR می‌باشد، اما به‌علت پیچیدگی الگوریتم‌های تهیه نقشه حرارتی سطح خشکی و جدید بودن تصاویر MODIS، از تصاویر سنجنده AVHRR که قدیمی‌تر می‌باشد، برای تهیه نقشه حرارتی سطح خشکی استفاده می‌کنیم. دقت سنجش دمای سطح زمین (LST) با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR، یک درجه سیلسیوس در توان تفکیک ۱۱۰۰ متر تحت شرایط بدون ابر می‌باشد. همچنین می‌توان از اندازه‌گیری‌های هم‌زمان زمینی در مناطق مسطح و همگون به منظور بررسی دقت نتایج استفاده نمود.

در محاسبه نقشه LST مانند تهیه نقشه حرارتی سطح پیکره‌های آبی از الگوریتم Split-Window استفاده می‌شود. ولی تفاوت‌هایی برای به‌کارگیری این الگوریتم وجود دارند و لازم است که ضریب گسیل^۲، ε ، برای هر منطقه از ایران با توجه به پوشش‌های زمینی محاسبه شود. علی‌رغم تغییرات ضریب گسیل سطح، شواهدی وجود دارند که ویژگی‌های ضریب گسیل طیفی انواع پوشش‌های زمینی در محدوده طول موج ۱۲/۵-۱۰/۵ میکرومتر (محدوده‌ای که در باندهای ۴ و ۵ NOAA قرار دارد) ثبات بیشتری دارند. بنابراین باندهای حرارتی ۴ و ۵، سنجنده AVHRR جهت استفاده در الگوریتم Split-Window در نظر گرفته می‌شوند.

مشابه الگوریتم LST محلی، ارائه شده به‌وسیله بکر و لی^۳ به منظور کاهش اثرات اتمسفری و تغییرات ضریب گسیل، وان و دازیر^۴ در سال ۱۹۹۶ الگوریتم اصلاح شده Split-Window را با معلوم کردن مقادیر ضریب گسیل، ε ، روی انواع

1- Brightness Temperature

2- Emissivity

3- Becker and Li, 1990

4- Wan and Dozier, 1996

پوشش‌ها در زوایای دید مختلف ارائه نمودند. به‌منظور بهبود الگوریتم Split-Window، یک پایگاه داده با در نظر گرفتن زوایای دید مختلف و شرایط اتمسفری از جمله بخار آب ایجاد شد. براساس این داده‌ها در شرایط مختلف، ضرایب متفاوتی ($A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C$) برای معادله Split-Window در نظر گرفته می‌شود (روابط ۴-۲۶).

$$T_s = (A_1 + A_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}) \frac{T_4 + T_5}{2} + (B_1 + B_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}) \frac{T_4 - T_5}{2} + C$$

$$\varepsilon = 0.5(\varepsilon_4 + \varepsilon_5)$$

$$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_4 - \varepsilon_5)$$

(۴-۲۶)

T_4 : حرارت ظاهری باند ۴، T_5 : حرارت ظاهری باند ۵، ε_4 : ضریب گسیل باند ۴ و ε_5 : ضریب گسیل باند ۵ می‌باشند.

ضرایب روابط (۴-۲۶) در جدول (۴-۷) ارائه شده است.

جدول ۴-۷ - ضرایب به‌کارگرفته شده برای محاسبه LST

ضرایب	
1.00	A_1
0.15616	A_2
-0.482	A_3
6.26	B_1
3.98	B_2
38.33	B_3
1.274	C

در روابط (۴-۲۶) ضرایب گسیل باندهای ۴ و ۵ سنجنده AVHRR برای زوایای تابش مختلف و به‌طور میانگین برای ۱۴ کلاس کلی و پوشش طبیعی زمین در جدول (۴-۸) نشان داده شده است.

جدول ۴-۸ - ضرایب گسیل‌مندی برای باندهای ۴ و ۵ سنجنده AVHRR برای ماهواره NOAA

شماره کلاس	کلاس ضریب گسیل‌مندی	میانگین	زاویه			میانگین	زاویه		
			65°	40°	10°		65°	40°	10°
			باند ۵				باند ۴		
1	جنگل سوزنی برگ سبز	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹	۰/۹۸۸	۰/۹۹۱	۰/۹۹۱	۰/۹۹۱	
2	جنگل سوزنی برگ خزان شونده	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۵	۰/۹۸۸	۰/۹۸۸	۰/۹۸۷	
3	جنگل پهن برگ سبز	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰/۹۸۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸۹	
4	جنگل پهن برگ خزان شونده	۰/۹۶۸	۰/۹۶۸	۰/۹۶۷	۰/۹۶۵	۰/۹۷۱	۰/۹۷۱	۰/۹۷۰	
5	زمین‌های پر درخت سبز	۰/۹۸۸	۰/۹۸۸	۰/۹۸۸	۰/۹۸۹	۰/۹۹۱	۰/۹۹۱	۰/۹۹۲	
6	زمین‌های پردرخت خزان شونده	۰/۹۷۵	۰/۹۷۵	۰/۹۷۶	۰/۹۷۶	۰/۹۷۸	۰/۹۷۸	۰/۹۷۹	
7	علفزارهای سبز	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰/۹۸۸	۰/۹۹۱	۰/۹۹۱	۰/۹۹۱	
8	علفزارهای خزان شونده	۰/۹۷۳	۰/۹۷۳	۰/۹۷۳	۰/۹۷۳	۰/۹۷۵	۰/۹۷۵	۰/۹۷۵	
9	بوته‌زارهای پراکنده سبز	۰/۹۷۲	۰/۹۷۲	۰/۹۷۳	۰/۹۷۶	۰/۹۷۶	۰/۹۷۶	۰/۹۷۹	
10	بوته‌زارهای پراکنده خزان شونده	۰/۹۷۰	۰/۹۷۰	۰/۹۷۱	۰/۹۷۲	۰/۹۷۵	۰/۹۷۵	۰/۹۷۶	
11	آب	۰/۹۹۱	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۶	۰/۹۸۲	۰/۹۸۲	۰/۹۸۲	
12	زمین‌های بدون پوشش با مواد آلی	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۶	۰/۹۸۲	۰/۹۸۲	۰/۹۸۲	
13	زمین‌های بدون پوشش بایر	۰/۹۶۶	۰/۹۶۶	۰/۹۶۵	۰/۹۶۴	۰/۹۷۲	۰/۹۷۲	۰/۹۷۱	
14	برف، یخ	۰/۹۸۸	۰/۹۸۸	۰/۹۸۸	۰/۹۸۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۶	

در نهایت T به‌دست آمده از روابط مذکور مربوط به این چهارده کلاس می‌باشد.

۴-۷- تدقیق محاسبات تبخیر و تعرق با کمک داده‌های سنجش از دور

در سال‌های اخیر بر روی بسیاری از پارامترهایی که می‌توانند به محاسبه ET^1 کمک کنند در سنجش از دور کار شده است. این پارامترها شامل دمای سطح، رطوبت سطحی خاک، آلبدو سطحی، پوشش گیاهی و تابش خورشیدی فرودی به سطح می‌باشند، ولی در مورد اندازه‌گیری پارامترهای اتمسفری نظیر دمای هوای نزدیک سطح، گرادیان بخار آب نزدیک به سطح و بادهای نزدیک سطح به‌وسیله سنجش از دور پیشرفت چندانی حاصل نشده است. جدول (۴-۹) شامل برخی پارامترها می‌باشد که سنجنده‌های ماهواره‌های منابع زمینی (EOS^2) برای تعیین جریان‌های انرژی در سطح زمین اندازه‌گیری می‌کنند.

سنجنده MODIS دارای داده سطح IV از پردازش می‌باشد که تحت نام MOD16 خوانده می‌شود. این داده شامل مقاومت الکتریکی سطحی و ET می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی ET حاصل از سنجنده MODIS یک کیلومتر است که با قدرت تفکیک زمانی هشت روز تهیه می‌شود. ابتدا محصول مقاومت سطحی با استفاده از دمای سطح خشکی (MOD11) و شاخص گیاهی بهینه شده MODIS (MOD13) محاسبه شده و سپس با استفاده از اطلاعات تابش ورودی، مقدار ET تعیین می‌گردد. در این الگوریتم به جای محاسبه مستقیم تبخیر و تعرق، پارامتری بنام EF^3 (سهم تبخیر و تعرق) محاسبه می‌شود که از رابطه (۴-۲۷) که به‌وسیله شاتلورث^۴ معرفی شده تبعیت می‌کند.

$$EF \equiv ET / Q$$

(۴-۲۷)

جدول ۴-۹- سنجش عوامل موثر در تعیین جریان‌های انرژی در سطح زمین به‌وسیله EOS

سنجنده	پارامتر	
SCM,SUSIM	جریان خورشیدی در بالای اتمسفر	مشاهدات مستقیم
MODIS,VAS*	پوشش ابر	
MODIS,LASA	اروسول ^۵	
MODIS,HIRIS,AMRIR	آلبدوی سطحی	
MODIS,LASA,VAS*	دما و ارتفاع ابر	
AMSR	مجموع محتویات سیال ابر و مجموع محتویات یخ ابر	مشاهدات غیر مستقیم برای تعیین انرژی عبور کرده از میان ابرها
AMSU,AMRIR,MODIS,VAS*	ضخامت قائم ابر ^۶ و تعداد لایه‌ها	
MODIS,AMSU,AMSR,AMRIR,TIMS,VAS*	دمای سطحی	گازهای گلخانه‌ای
MODIS,AMSU,AMSR	ضریب گسیل‌مندی سطحی	
AMSR,SAR	Fractional Sea ice	
Ground-based monitoring	گاز CO_2	
AMSU,AMSR,LASA,MODIS,VAS*	بخار آب	
GOMR,IR-Rad,MLS,SUB-MM,CIS	گاز ازون	
NCIS,CR	گاز CH_4 (تروپوسفر)	
IR-Rad,SUM-MM,CIS,GOMR	گاز CH_4, N_2O و کلروفلئوروکربنها (استراتسفر)	

1- Evapotranspiration

2- Earth Observation Satellites

3- Evaporation Fraction

4- Shuttleworth

5- Aerosol

6- Cloud Vertical Extent

ادامه جدول ۴-۹- سنجش عوامل موثر در تعیین جریان‌های انرژی در سطح زمین به وسیله EOS

سنجنده	پارامتر
به سطرهای مربوط به مشاهدات مستقیم در انرژی تابشی ورودی رجوع کنید	مشاهدات مستقیم
LASA	دمای لایه‌های مرزی بر اساس ارتفاع لایه‌های مرزی
MODIS, AMSU, VAS*LASA	مقاطع حرارت تروپسفری
LAWS, VAS*cloud track winds*, atmospheric temp.	بر اساس باد در لایه‌های فوقانی
SCATT, ALT	بادهای سطحی (دریاها)
SAR	زبری سطح زمین
SCATT, ALT	زبری سطح دریا
AMSU, AMSR, LASA, MODIS, VAS*	بخار آب اتمسفری
AMSR	آب و یخ موجود در اتمسفر
AMSR, AMSU, MODIS, AMRIR	تبخیر سطحی دریاها
HIRIS, MODIS, SAR, ESTAR, TMS	تبخیر سطحی خشکی‌ها
* برای سنجنده‌های مستقر در مدار GSO می‌باشد	

که در آن Q کل انرژی موجود شامل انرژی‌های نهانی و محسوس اتمسفر می‌باشد. پارامتر EF به دو دلیل مناسب‌تر از ET می‌باشد که عبارتند از: اولاً EF نماینده مناسب تری برای رطوبت سطحی است چرا که ET نه تنها تابع پارامترهای سطحی نظیر رطوبت خاک و گیاه است بلکه تحت تاثیر تابش ورودی نیز می‌باشد، دوماً EF نماینده‌ی دوره زمانی طولانی‌تری نسبت به ET می‌باشد زیرا اثر تغییرات روزانه و ماهانه دما در آن نرمالیزه شده است ولی از طرف دیگر تعیین میزان دقیق Q بسیار مشکل و کم دقت است چراکه نیاز به داده‌هایی نظیر بخار آب اتمسفر دارد.

با در نظر گرفتن دو فرض که:

الف- تابش تنها از سطح زمین است.

ب- نقل و انتقال انرژی بین گیاه و خاک کم است.

می‌توان برای EF رابطه (۴-۲۸) را نوشت که اساس الگوریتم MOD16 را تشکیل می‌دهد.

$$EF = \frac{ET}{Q} = f_{veg} \frac{Q_{veg}}{Q} EF_{veg} + (1 - f_{veg}) \frac{Q_{bare}}{Q} EF_{bare} \quad (۴-۲۸)$$

- الگوریتم MOD16

گام ۱- تعیین f_{veg}

به عنوان سهم پوشش گیاهی $(f_{veg})^2$ ، می‌توان از شاخص‌های گیاهی نظیر NDVI استفاده کرد ولی استفاده از SAVI، EVI و VCI نیز پیشنهاد شده است.

گام ۲- تعیین EF_{veg}

EF_{veg} از رابطه تعمیم یافته «پنمن-ماتیس»^۱ (رابطه (۲۹-۴)) محاسبه می‌شود که در آن Δ ، تغییرات فشار بخار اشباع در اثر تغییر حرارت ($Pa \ K^{-1}$) است، α پارامتر پریستلی-تیلور^۲ خوانده می‌شود که مقدار $1/26$ برای آن پذیرفته شده است. γ ثابت psychrometric است ($Pa \ K^{-1}$). r_a مقاومت آیرودینامیکی (sm^{-1}) است و r_c مقاومت سطحی شاخ و برگ گیاه (sm^{-1}) است:

$$EF_{veg} = \frac{\alpha \Delta}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_c}{2 r_a})} \quad (29-4)$$

در زیر مجموعه‌های گام ۲، پارامترهای مجهول رابطه (۲۹-۴) محاسبه می‌شوند.

گام ۱-۲- تعیین مقاومت آیرودینامیکی

روابط تجربی (۳۰-۴) و (۳۱-۴) از رابطه تجربی بین مقاومت آیرودینامیکی و سرعت باد استفاده می‌کند.

(۳۰-۴) $1/r_a = 0.008 U_{50m}$ (برای جنگل‌ها)

(۳۱-۴) $1/r_a = 0.003 U_{1m}$ (برای مراتع و زمین‌های کشاورزی)

که در آن U_{50m} و U_{1m} به ترتیب سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متری و ۱ متری از سطح زمین است.

گام ۱-۱-۲ محاسبه سرعت باد در ارتفاع ۱ متری

با محاسبه T_a (در گام حاضر) و $T_{bare MAX}$ (در گام ۳) و Q_{bare0} (با استفاده از معادلات بیلان انرژی) و رابطه (۳۲-۴)، می‌توان مقاومت آیرودینامیکی خاک ($r_{a bare}$) را محاسبه کرد:

$$T_{bare MAX} = \frac{Q_{bare0}}{4\epsilon\sigma T_a^3(1 - C_G) + \rho C_p / r_{a bare}} \quad (32-4)$$

و مقدار سرعت در ۱ متری، با استفاده از رابطه تجربی (۳۳-۴) محاسبه می‌شود.

$$1/r_{a bar} = 0.0015 U_{1m} \quad (33-4)$$

گام ۲-۱-۲ محاسبه سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متری

با استفاده از مقاطع لگاریتمی باد، U_{1m} از U_{50m} محاسبه می‌شود:

$$\ln[z - d] / z_0 / k \times U = u \quad (34-4)$$

1- Penman-Monteith & Complementary Relation

2- Priestley-Taylor's Parameter

که در آن u سرعت برشی باد (sm^{-1})، z ارتفاع به متر، d جابجایی سطح^۲ به متر، z_0 زبری سطح (مقدار $z_0 = 0.005 \text{ m}$ برای خاک و 0.1 متر برای گیاهان در نظر گرفته شود)، k ثابت ون کارمن^۳ است که 0.4 در نظر گرفته شده است.

گام ۲-۲- تعیین مقاومت سطحی شاخ و برگ گیاه

رابطه رسانایی (۳۵-۴) می‌تواند برای تعیین مقاومت سطحی شاخ و برگ گیاه استفاده شود که در آن تابش فعال ناشی از فتوسنتز (PAR)^۴ و T_a که نمایانگر دمای هوا است به وسیله سنجش از دور قابل تعیین می‌باشند. دیگر پارامترهایی نظیر پتانسیل آب موجود در برگ که به وسیله سنجش از دور قابل تعیین نبودند در نظر گرفته نشده است. روابط (۳۶-۴) و (۳۷-۴) روابط معرف توابع موجود در رابطه (۳۵-۴) است که پارامترهای آنها به همراه تعریف و مقادیرشان در جدول (۴-۱۰) ذکر شده است.

$$\frac{1}{r_c} = \frac{f_1(T_a)f_2(\text{PAR})}{r_{c \text{ MIN}}} + \frac{1}{r_{\text{cuticle}}} \quad (35-4)$$

$$f_1(T_a) = \left(\frac{T_a - T_n}{T_o - T_n} \right) \left(\frac{T_x - T_a}{T_x - T_o} \right)^{\left[\frac{(T_x - T_o)}{(T_o - T_n)} \right]} \quad (36-4)$$

$$f_2(\text{PAR}) = \frac{\text{PAR}}{(\text{PAR} + A)} \quad (37-4)$$

جدول ۴-۱۰- پارامترهای مورد نیاز برای تعیین مقاومت سطحی شاخ و برگ گیاه

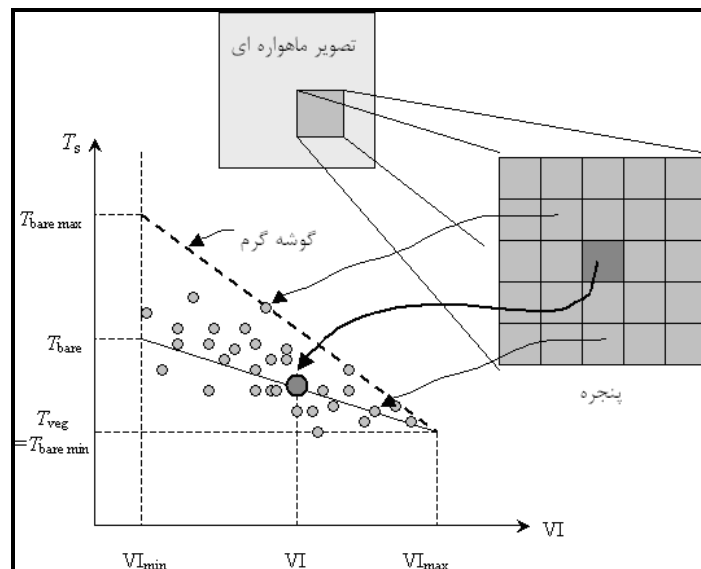
پارامتر	تعریف	مقدار
$r_{c \text{ MIN}}$	کم‌ترین مقاومت (طبیعی) ^۵	s m^{-1} ۵۰
$r_{c \text{ MIN}}$	کم‌ترین مقاومت (گیاهان) ^۶	s m^{-1} ۳۳
r_{cuticle}	مقاومت روپوستی ^۷	s m^{-1} ۱۰۰۰۰۰
T_n	حداقل دما	$^{\circ}\text{C}$ ۲/۷
T_o	دمای بهینه	$^{\circ}\text{C}$ ۳۱/۱
T_x	دمای حداکثر	$^{\circ}\text{C}$ ۴۵/۳
A	کارایی جذب فوتون در نور با شدت‌های کم	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ۱۵۲

گام ۲-۲-۱- تعیین دمای هوا

با این فرض که دمای سطحی اندازه‌گیری شده بر روی پوشش گیاهی متراکم، تقریباً با دمای هوا برابر است ($T_{\text{veg}} = T_a$)، توزیع دو بعدی دمای سطح - شاخص گیاهی رسم می‌گردد (مانند شکل (۴-۹)). برای این کار برای هر

- 1- Shear Velocity
- 2- Surface Displacement
- 3- Von Karman's Constant
- 4- Photosynthetic Active Radiation
- 5- Minimum Resistance (Natural)
- 6- Minimum Resistance (Crop)
- 7- Cuticle Resistance

سلول تصویری، مقدار LST و شاخص گیاهی (مثلاً NDVI) محاسبه شده و به عنوان مولفه‌های X و Y مانند شکل (۴-۹) رسم می‌شوند. سپس در گوشه گرم (خط مماس بر بیش‌ترین مقادیر که داده‌ای بالاتر از آن خط قرار نگیرد طبق نامگذاری کارلسون^۱)، کم‌ترین میزان LST مشاهده شده در تصویر را استخراج نموده و به عنوان T_{veg} که معادل دمای هوا است در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴-۹- توزیع دو بعدی VI-T

گام ۲-۲-۲- تعیین تابش فعال ناشی از فتوسنتز

برای تعیین PAR، حاصل ضرب R_d در ثابت $2/05 \mu\text{mol W}^{-1}$ استفاده می‌شود که برای محاسبه تابش ورودی موج کوتاه (R_d) از روابط کُند استفاده می‌شود که پارامترهای کدري، آلبيدو، رطوبت نسبی و فشار استاندارد اتمسفری به ترتیب ۰/۰۳، ۰/۲۰، ۶۰٪ و ۱۰۱۳ hPa در نظر گرفته می‌شوند. البته در صورتی که هر یک از این مقادیر دارای مقدار واقعی‌تری باشند جایگزینی آن پیشنهاد شده است.

گام ۳- تعیین EF_{bare}

برای تعیین EF_{bare} از رابطه (۴-۳۸) استفاده می‌شود.

$$EF_{bare} = \frac{T_{bare\ MAX} - T_{bare}}{T_{bare\ MAX} - T_a} \quad (4-38)$$

پارامترهای حداکثر دمای ممکن خاک برهنه ($T_{bare\ MAX}$) و دمای واقعی خاک برهنه (T_{bare}) با توجه به شکل (۴-۹) از توزیع دو بعدی دمای سطح - شاخص گیاه ذکر شده در گام (۲-۲-۱) استخراج می‌شوند. دمای هوا (T_a) نیز به عنوان اطلاعات جانبی برای روز تصویربرداری در منطقه باید وارد رابطه (۴-۳۸) گردد.

گام ۴- تعیین Q ، Q_{veg} و Q_{bare}

برای تعیین انرژی‌های Q ، Q_{veg} و Q_{bare} باید از روابط بیلان انرژی استفاده کرد. روابط فوق مقادیری تقریبی را ارائه می‌دهند و با داشتن اطلاعات جانبی وسیع‌تر و دقیق‌تر می‌توان دقت محاسباتی آنها را افزایش داد.

گام ۵- محاسبه سهم تبخیر و تعرق

با در اختیار داشتن پارامترهای حاصل از گام‌های ۱ تا ۴ و رابطه (۴-۲۸)، می‌توان EF را محاسبه کرد.

گام ۶- تهیه تصویر EF

برای هر سلول تصویری، EF را محاسبه کرده و می‌توان تصویری با مقادیر EF ایجاد نمود.

۴-۸- کمک به برآورد رطوبت خاک به منظور استفاده در معادلات بیلان منابع آب

اغلب مدل‌ها در هیدرولوژی از سنجش مستقیم رطوبت خاک استفاده نمی‌کنند که علت آن را باید در وابستگی شدید اندازه‌گیری‌های زمینی به زمان و مکان ایستگاه‌های اندازه‌گیری و عملی نبودن مشاهدات زمانی پیوسته مگر در موارد خاص دانست. اکنون سنجش از دور توانایی تعیین میزان رطوبت خاک برای اکثریت مناطق به صورت گسترده، پیوسته و بدون انجام مشاهدات زمینی را دارا می‌باشد.

سنجش از دور مایکروویو به دلیل تفاوت زیاد کنتراست بین خواص دی‌الکتریک آب مایع و خاک خشک، توانایی تعیین میزان رطوبت خاک و رطوبت گیاه را دارد. ضریب دی‌الکتریک برای آب تقریباً در حدود 80° و برای خاک خشک در حدود 3° الی 5° (بدون بعد) می‌باشد. بنابراین با افزایش رطوبت خاک میزان ضریب دی‌الکتریک می‌تواند به میزان 20° یا بیش‌تر برسد؛ برای سنجش از دور مایکروویو غیرفعال این تغییر در ضریب دی‌الکتریک منجر به کاهش ضریب گسیل‌مندی از حدود 0.95 به 0.6 یا کم‌تر می‌شود؛ همان تغییر برای سنجش از دور مایکروویو فعال سبب افزایش میزان پس‌پراکنش در حدود 10° دسی‌بل و یا حتی بیش‌تر می‌شود. جدول (۴-۱۱) هر دو روش فعال و غیرفعال را در مقایسه با هم نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۱- مقایسه دو روش فعال و غیر فعال سنجش از دور مایکروویو برای تعیین رطوبت خاک

نوع سنجش	آنچه اندازه‌گیری می‌شود	مزایا	معایب یا منابع نوفه (نویز)
مایکروویو فعال (1-100 cm)	ضریب پس‌پراکنش، ضریب دی‌الکتریک	- قابلیت استفاده در تمامی شرایط جوی - قدرت تفکیک مکانی بالا (حتی ۳ متر) - عرض روبش محدود	- زبری سطح - گیاهان - توپوگرافی سطح
مایکروویو غیرفعال (1-100 cm)	دمای ظاهری (تابش مایکروویو)، ضریب دی‌الکتریک دمای خاک	- قابلیت استفاده در تمامی شرایط جوی - در برخی گیاهان نفوذ می‌کند - پوشش مناطق وسیع	- قدرت تفکیک مکانی پایین و محدود - دمای سطح - زبری سطح - گیاهان

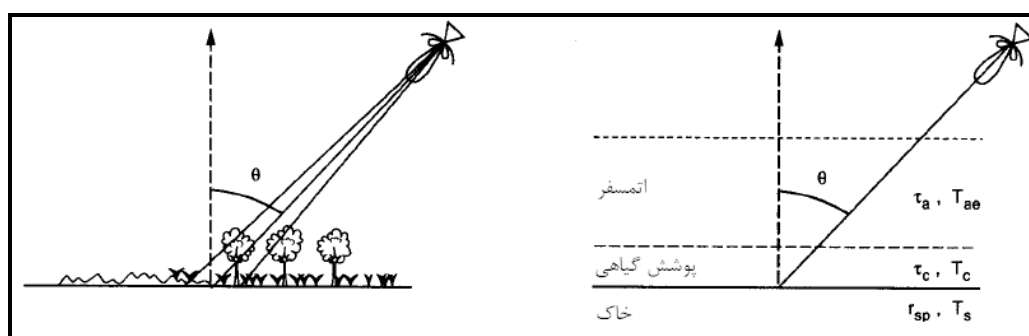
در ادامه الگوریتمی با مبنای فیزیکی ذکر می‌گردد که برای سنجنده مایکروویو غیرفعال AMSR-E مستقر بر روی ماهواره‌ی Aqua طراحی شده است. محصول رطوبت خاک از جمله محصولات سطح 2A سنجنده‌ی AMSR-E می‌باشد. از این رو الگوریتم ارائه شده برای مشخصات این سنجنده تعدیل یافته است ولی روش تعیین رطوبت سطحی خاک را به‌وسیله سنجش از دور مایکروویو غیر فعال نمایش می‌دهد. برای تعیین رطوبت سطحی خاک، دو فرکانس زیر ۱۰ گیگاهرتز، آن سنجنده یعنی فرکانس‌های ۶/۹۲۵ و ۱/۶۵ گیگاهرتز، در هر دو حالت قطبش افقی و عمودی مورد استفاده قرار می‌گیرند، چراکه فرکانس کم‌تر یا در حدود ۱۰ گیگاهرتز از اثرات منفی گیاهان و زبری سطح می‌کاهد. به‌دلیل فرکانس پایین، قدرت تفکیک مکانی به‌شدت کاهش (۶۰ کیلومتر) می‌یابد. دقت سنجش رطوبت سطحی خاک به‌وسیله سنجنده AMSR-E، ۰/۰۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است و قدرت تفکیک زمانی آن یک روزه می‌باشد.

۴-۸-۱- فیزیک مساله

رابطه (۴-۳۹) که بر اساس شکل (۴-۱۰) می‌باشد، یک مدل فیزیکی با در نظر گرفتن یک لایه جذب گیاهی است که ارتباط بین دمای ظاهری دریافت شده به‌وسیله سنجنده (T_{Bp}) با مشخصات اتمسفر، پوشش گیاهی و خاک را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که T_{Bp} در رابطه (۴-۳۹) برای یک فرکانس مشخص و یک زاویه دید معین است.

$$T_{Bp} = T_u + \exp(-\tau_a) [\{T_d r_{sp} \exp(-2\tau_c)\} + T_e \{(1 - r_{sp}) \exp(-\tau_c) + (1 - \omega_p) [1 - \exp(-\tau_c)] [1 + r_{sp} \exp(-\tau_c)]\}] \quad (4-39)$$

که در آن T_u تابش به سمت بالای اتمسفر، T_d تابش به سمت پایین اتمسفر و تابش پس زمینه بر روی گیاه می‌باشد، τ نمایانگر حاجب ماورائی^۱ است. اندیس p ، مربوط به هریک از قطبش‌های افقی یا عمودی است. T نمایانگر دما، ω نمایانگر آلبدو و r درصد بازتابش است. اندیس‌های a ، c و s ، به ترتیب نمایانگر اتمسفر، پوشش گیاهی و خاک می‌باشند.



شکل ۴-۱۰- الف- سطح زمین از دید یک سنجنده مایکروویو ب- سطح زمین، آنچه بشر می‌بیند

روابط (۴-۴۰) تا (۴-۴۶) روابطی می‌باشند که پارامترهای رابطه (۴-۳۹) را بسط می‌دهند تا بتوان به‌وسیله اطلاعات جانبی مقدار T_{Bp} را تعیین نمود. تعریف این سری پارامترهای نهایی به صورت خلاصه در جدول (۴-۱۲) ذکر شده است. نهایتاً برای یک فرکانس مشخص، ضریب دی‌الکتریک به مقدار رطوبت خاک بستگی دارد که به صورت معادله (۴-۴۷) نمایش داده شده است.

$$T_u \cong T_d \cong (T_{as} - \delta T_a)[1 - \exp(-\tau_a)]; \quad (40-4)$$

$$\tau_a = (\tau_0 + a_v q_v + a_l q_l) / \cos \theta; \quad (41-4)$$

$$\tau_c = b w_e / \cos \theta \quad (42-4)$$

$$r_{sv} = [(1-Q)r_{ov} + Qr_{oh}] \exp(-h) \quad (43-4)$$

$$r_{sh} = [(1-Q)r_{oh} + Qr_{ov}] \exp(-h) \quad (44-4)$$

$$r_{ov} = \left| \frac{\varepsilon_r \cos \theta - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \theta}}{\varepsilon_r \cos \theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \theta}} \right|^2 \quad (45-4)$$

$$r_{oh} = \left| \frac{\cos \theta - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \theta}} \right|^2 \quad (46-4)$$

$$\varepsilon_r = f(m_e; \rho_b, s, c) \quad (47-4)$$

برای محاسبه ε_r ، خاک به صورت مخلوطی از ذرات خاک و خلل و فرج مملو از هوا و آب فرض می‌شود. مدل دابسون و همکاران نیاز به دانستن مشخصات نسبت جرمی شن و ماسه و همچنین چگالی توده خاک دارد.

جدول ۴-۱۲- پارامترهای روابط (۴-۴۰) تا (۴-۴۷)

نحوه محاسبه	تعریف	پارامتر		
روابط استاندارد برای جذب بخار آب و ذرات ابر در اتمسفر (برای ذرات ابر جذب ریلی فرض می‌شود) اطلاعات جانبی (د) در گام ۴	حاجب ماورایی اکسیژن در نادیر ضرایب حاجب ماورایی بخار آب و آب نرخ تفاضلی تغییر دما (K)	τ_0 a_l و a_v δT_a	اتمسفر	الف- پارامترهای سنجنده و محیط
کالیبراسیون در جنگل‌های استوایی اطلاعات جانبی (ج) در گام ۴	آلبدو پس پراکنش تک قطبی ضریب حاجب ماورایی	ω_p b	پوشش گیاهی	
کالیبراسیون در صحرا اطلاعات جانبی (ب) در گام ۴ اطلاعات جانبی (ب) در گام ۴	ضرایب زبری چگالی توده ^۱ (گرم بر سانتی‌متر مکعب) نسبت جرمی ماسه و رس	Q و h ρ_b c و s	خاک	
مشخصات باند مورد استفاده مشخصات باند مورد استفاده مشخصات باند مورد استفاده	زاویه دید (درجه) فرکانس (گیگا هرتز) قطبش	θ v p	سنجنده	

ادامه جدول ۴-۱۲- پارامترهای روابط (۴-۴۰) تا (۴-۴۷)

پارامتر		تعریف	نحوه محاسبه
اتمسفر	q_v	آب قابل بارش (سانتی‌متر)	اطلاعات جانبی (د) در گام ۴
	q_l	مسیر آب مایع ابر ^۱ (میلی‌متر)	اطلاعات جانبی (د) در گام ۴
	T_{as}	دمای هوای سطحی (K)	اطلاعات جانبی (د) در گام ۴
سطح زمین	m_e	رطوبت سطحی خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	با استفاده از الگوریتم بازیافت تکراری
	w_e	محتوای آب گیاه (کیلوگرم بر متر مربع)	با استفاده از الگوریتم بازیافت تکراری
	T_e	دمای سطح (K)	با استفاده از الگوریتم بازیافت تکراری.

پارامترهای جدول (۴-۱۲) به دو دسته الف و ب تقسیم شده‌اند. دسته الف پارامترهای سنجنده و محیط میانی می‌باشند که نسبت به زمان ثابت یا آهنگ تغییرات آنها کند است. دسته ب متغیرهای ژئوفیزیکی محیط می‌باشند.

روابط (۴-۳۹) تا (۴-۴۷) در نهایت می‌توانند به صورت رابطه‌ی خلاصه‌سازی شده (۴-۴۸) درآید:

$$T_{Bi} = \Phi_i(x) \quad (4-48)$$

که در آن i نمایانگر باند و $x = \{x_j\}$ نمایانگر پارامترهای متغیر خاک - گیاه - اتمسفر است که برای الگوریتم تکراری به سه پارامتر m_e ، w_e و T_e تبدیل می‌شود.

۴-۸-۲- الگوریتم خط پایه^۲ AMSR-E

گام ۱- وارد نمودن داده‌های خام

منظور از داده‌های خام، هر یک از چهار مقدار حرارت ظاهری برای قطبش‌های افقی و عمودی در باندهای ۶/۹۲۵ و ۱۰/۶۵ گیگا هرتز می‌باشد.

گام ۲- کنترل کیفیت داده‌ها

گام ۳- نمونه برداری مجدد

داده‌ها باید با توجه به شبکه جدید (۲۵×۲۵ کیلومتری) نمونه‌برداری مجدد شوند تا با اطلاعات جانبی هماهنگی داشته باشند. شبکه مزبور شبکه NSIDC EASE-Grid می‌باشد که مشخصات آن را می‌توان در آدرس اینترنتی NSIDC مشاهده کرد.

گام ۴- تهیه اطلاعات جانبی

الف - توپوگرافی سطح

می‌توان از GTOPO30 تهیه شده به وسیله USGS استفاده نمود. این مدل رقومی ارتفاعی زمین امکان مشخص نمودن دریاها و اقیانوس‌ها و مناطق کوهستانی که الگوریتم در آنها قابل اجرا نیست را فراهم می‌سازد. لازم به ذکر است که توان تفکیک مکانی هر سلول تصویری این داده ۳۰ آرک ثانیه، معادل ۹۰۰ متر، می‌باشد.

1- Cloud Liquid Water Path

2- Baseline Algorithm

البته هر مدل ارتفاعی رقومی دیگری که توان تفکیک بالاتری نسبت به مدل GTOPO30 داشته باشد نظیر اطلاعات حاصل از SRTM و یا مدل رقومی حاصل از نقشه‌های توپوگرافی نیز قابل استفاده می‌باشد.

ب- بافت خاک (نسبت جرمی ماسه و رس)

از داده انواع خاک جهانی^۱ با قدرت تفکیک مکانی $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (طول و عرض جغرافیایی) استفاده می‌شود. از این داده می‌توان برای تعیین مشخصات دی‌الکتریکی خاک به عنوان تابعی از رطوبت خاک استفاده کرد.

ج- نوع پوشش گیاهی

استفاده از داده GLCC^۲ مربوط به USGS EDC توصیه می‌شود که دارای توان تفکیک مکانی یک کیلومتر می‌باشد. این داده برای تعیین پارامتر b مورد استفاده قرار خواهد گرفت که میزان آب موجود در گیاه را به میزان حاجب ماورائی گیاه مرتبط می‌سازد.

د- پارامترهای اتمسفری (آب قابل بارش و دمای هوای سطحی)

از اطلاعات سری داده‌های اقلیم شناسی جهانی NCEP^۳ یا ECMWF^۴ می‌توان استفاده نمود. همچنین می‌توان از خروجی‌های مدل‌های پیش‌بینی آبی استفاده کرد. این منابع داده برای تعیین تأثیرات اتمسفری در الگوریتم مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

گام ۵- طبقه‌بندی نوع سطح

این طبقه‌بندی قبل از هر عملی برای حذف سلول‌های ۲۵ کیلومتری مربوط به گستره‌های آبی بزرگ، مناطق به‌شدت کوهستانی، پوشش گیاهی متراکم و پوشش دائمی برف استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که زمین‌های یخ زده و مناطق تحت بارش در هنگام تصویربرداری نیز باید از تصویر حذف شوند چراکه الگوریتم مورد بحث قادر به تعیین میزان رطوبت خاک در شرایط فوق نمی‌باشد. برای این کار از اطلاعات جانبی الف و ج معرفی شده در گام ۴ استفاده می‌شود.

گام ۶- کالیبراسیون مدل

به منظور کاهش عدم قطعیت موجود در کالیبراسیون دمای ظاهری AMSR-E و خطاهای موجود در برخی پارامترهای دیگر مورد نیاز مدل بازیافت، مقادیر h ، Q و ω_p مورد کالیبراسیون قرار می‌گیرند. این عمل با انتخاب مناطق همگنی چون صحراها و جنگل‌های استوایی صورت می‌پذیرد.

1- Global Soil Particle Size Properties

2- Global Land Cover Characteristics

3- National Centers for Environmental Prediction

4- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

گام ۶-۱- کالیبراسیون در مناطق صحرایی

از آنجاکه زبری سطح صحرها در محدوده فرکانس‌های میکروویو مورد استفاده، دارای آهنگ تغییرات بسیار کمی است و پوشش گیاهی ناچیز است ($\tau_c \rightarrow 0$) رابطه (۳۹-۴) را می‌توان به‌صورت رابطه (۴۹-۴) بازنویسی کرد.

$$T_{sp} = \frac{T_{Bp} - T_u - T_e \exp(-\tau_a)}{\exp(-\tau_a) \{T_d - T_e + T_{sky} \exp(-\tau_a)\}} \quad (49-4)$$

مقادیر q_v و q_l (از داده‌های جانبی د) ذکر شده در گام چهارم به همراه τ_0 و a_v و a_l که به‌وسیله‌ی مدل‌های پیش‌بینی تعیین می‌گردند به عنوان مقادیر اولیه برای رابطه (۴۱-۴) جهت تعیین τ_a استفاده می‌گردد. با استفاده از T_{as} (از اطلاعات جانبی د) و τ_a در رابطه (۴۰-۴)، مقدار پارامترهای T_u و T_d محاسبه می‌گردد. T_{sky} و T_e از مدل‌های پیش‌بینی تعیین می‌گردد و با استفاده از معادله ۴۹-۴ و داده دمای ظاهری در سلول‌های تصویری صحرایی، T_{sh} و T_{sv} محاسبه می‌شود که مقادیر بازتابش خاک زیر در قطبش‌های افقی و عمودی می‌باشند. در نهایت مقادیر h و Q به‌وسیله معادلات (۴۳-۴) و (۴۴-۴) برای هر فرکانس تعیین می‌گردد.

گام ۶-۲- کالیبراسیون در مناطق جنگلی استوا

از آنجا که آلبدو پس پراکنش تک قطبی در سلول‌های تصویری جنگل‌های استوایی دارای آهنگ تغییرات کمی است و حاجب ماورائی بالای پوشش گیاهی، خاک زیرین را عملاً از بازتابش در محدوده مایکروویو محروم می‌کند لذا با استفاده از حد ($\tau_c \rightarrow \infty$) رابطه (۳۹-۴) را می‌توان به‌صورت رابطه (۵۰-۴) بازنویسی کرد:

$$\omega_p = 1 - \frac{T_{Bp} - T_u}{T_e \exp(-\tau_a)} \quad (50-4)$$

مقادیر ω_p برای هر فرکانس و قطبش را می‌توان با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی و دمای ظاهری در سلول‌های تصویری جنگل‌های استوایی تعیین کرد.

گام ۷- اجرای تکراری الگوریتم بازیافت بر روی زمین‌های باقی مانده

گام ۷-۱- مقدار اولیه رطوبت سطحی خاک (m_e)، محتوای آب گیاه (w_e) و دمای سطح (T_e) از جدول (۴-۱۳) انتخاب می‌شود.

جدول ۴-۱۳- مقادیر اولیه و محدوده قابل قبول برای الگوریتم

پارامتر	محدوده قابل قبول	مقدار اولیه
رطوبت سطحی خاک m_e (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰/۳۲	۰/۱۵
محتوای آب گیاه w_e (کیلوگرم بر متر مربع)	۴۰	۲۰
دمای سطح T_e (K)	۱/۵	۰
آب قابل بارش q_v (سانتی‌متر)	۵	۲/۵

گام ۷-۲- مقدار $\Phi_i(x)$ برای هر یک از قطبش‌ها و باندها با استفاده از مقادیر گام (۶-۱) و پارامترهای از پیش تعیین شده در گام‌های ۵ و ۴ با استفاده از روابط (۴-۳۹) تا (۴-۴۷) محاسبه می‌شود و $x = \{m_e, w_e, T_e\}$ با یک عملیات تکراری سرشکن می‌شوند تا جمع وزن دار تفاضلات مربعی χ^2 رابطه (۴-۵۱) بین T_{Bi}^{Obs} (دمای ظاهری مشاهده شده) و $\Phi_i(x)$ کمینه شود که الگوریتم لونبرگ - مارک^۲ برای کمینه کردن پیشنهاد شده است.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{T_{Bi}^{Obs} - \Phi_i(x)}{\sigma_i} \right)^2 \quad (4-51)$$

مقدار $\Phi_i(x)$ معمولاً بسیار همگرا است و به سرعت به پاسخ می‌رسد. متغیرهای اتمسفری مدل - آب قابل بارش (q_v)، مسیر آب مایع ابر (q_l)، دمای هوای سطحی (T_{as}) و نرخ تفاضلی تغییر دما (δT_a) - به عنوان اطلاعات دلیل مقدم^۳ از اطلاعات اقلیم‌شناسی ارائه می‌شود. پارامترهای اتمسفری حاجب ماورائی اکسیژن در نادیر (τ_0)، ضرایب حاجب ماورائی بخار آب و آب (a_v و a_l)، ثوابتی با مقادیر مشخص می‌باشند. پارامترهای ضریب حاجب ماورائی (b)، ضرایب زبری (h و Q)، آلبدو پس پراکنش تک قطبی (ω_p)، چگالی توده (ρ_b) و نسبت جرمی ماسه و رس (s و c) مقادیر ثابت به دست آمده از کالیبراسیون و یا داده‌های جانبی می‌باشند.

گام ۸- ذخیره‌سازی هر یک از مقادیر نهایی رطوبت سطحی خاک (m_e)، محتویات آب گیاه (w_e) و دمای سطح (T_e). تصویر حاصل از m_e همان رطوبت سطحی خاک را نشان می‌دهد که برای سنجنده AMSR-E این رطوبت مربوط به قشری با ضخامت ۰/۰۲ میلی‌متر از سطح خاک می‌باشد.

۴-۹- کمک به پهنه‌بندی سیل

در ابتدا پارامترهای مهم بصری برای تشخیص سیلابدشت که به وسیله رانگو و اندرسون^۴ پیشنهاد شده است، ذکر می‌شود.

۱- فیزیوگرافی بالادشت

۲- مشخصات حوضه آبریز منجمله شکل و چگالی زهکشی حوضه

۳- درجه رهایی خاکریزهای طبیعی^۵

۴- تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده بر روی تراس^۶ رودخانه

۵- آرایش کانال و مشخصات ریختاری رودخانه‌ای

۶- مناطق دوباره زیر سیل رفته^۷

1- Minimize the Weighted-Sum of Squared Differences

2- Levenberg-Marquardt Algorithm

3- A-Priori

4- Rango and Anderson, 1974, 1991 Cited in Engman and Gurney

5- Degree of Abandonment of Natural Levees

6- Terrace

7- Backswamp Areas

۷- قابلیت دسترسی به رطوبت خاک (معیاری کوتاه مدت برای استعداد سیل)

۸- اختلاف خاک

۹- اختلاف پوشش گیاهی

۱۰- مرزهای کاربری اراضی

۱۱- توسعه کشاورزی

۱۲- پیشگیری‌های فروکش سیل در سیلابدشت

برای تعیین منطقه تحت سیلاب، می‌توان با استفاده از روش تشخیص تغییرات با داشتن دو تصویر که یکی مربوط به قبل از سیل و دیگری مربوط به زمان اوج سیلاب یا در فاصله زمانی حداکثر دو هفته از روز وقوع سیل باشد، منطقه تحت خسارت سیل را تعیین کرد. فاصله زمانی دو هفته برای تهیه تصاویر سنجنده‌های نوری اغلب مشکل ساز است که در واقع به دلیل امکان وجود ابر در زمان تصویربرداری از منطقه می‌باشد ولی تصاویر حاصل از سنجنده‌های مایکروویو این مشکل را ندارند و به مراتب برای تعیین وضعیت پیشرفت سیل بهتر می‌باشند. جدول (۴-۱۴) مقایسه انواع سنجنده‌های معمول برای بررسی سیل را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۴- ماهواره‌ها و کارایی آنها در مواجهه با سیل

سنجنده	نوع سنجنده	قدرت تفکیک		مزایا	معایب	کارایی
		مکانی (متر)	زمانی			
LANDSAT MSS	نوری	متوسط (۸۰)	متوسط (۱۶ روز)	-	ابر	**
LANDSAT TM, ETM+	نوری	خوب (۳۰)	متوسط (۱۴ روز)	-	ابر	***
SPOT HRV, PAN	نوری	خوب (۱۰ و ۲۰)	بد (۲۶ روز)	-	ابر	**
NOAA AVHRR	نوری	کم (۱۱۰۰)	خوب (روزانه)	-	ابر	**
TERRA & AQUA MODIS	نوری	کم (۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰)	خیلی خوب (دوبار در شبانه روز)	-	ابر	**
IKONOS	نوری	عالی (۴ تا ۱)	متوسط (۱۱ روز)	با استفاده از زوایای جمع‌آوری متفاوت، توانایی تصویربرداری مجدد از منطقه را در بین ۱۱ روز دارا است	ابر	****
RADARSAT 2	مایکروویو فعال	عالی (۳ تا ۱۰۰)	خوب (روزانه)	در هر شرایط جوی	-	*****
AMSR-E	مایکروویو غیرفعال	کم (۲۵۰۰۰)	خوب (روزانه)	در هر شرایط جوی	-	***

هر ستاره نشانگر یک امتیاز مثبت در سنجنده برای استفاده در بررسی سیل است

۴-۹-۱- الگوریتم تشخیص تغییرات

سنجش از دور توانایی تشخیص تغییرات ناشی از سیل جهت تعیین خسارت و کنترل بحران را دارد که برای این کار دو تصویر از قبل و بعد از حادثه مورد نیاز است تا با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص تغییرات، مکان‌های آسیب دیده را تعیین نمود.

گام ۱- انتخاب سنجنده مناسب جهت اخذ تصاویر

گام ۲- انتخاب ۳ باند مناسب

این انتخاب کاملاً بستگی به مهارت مفسر دارد ولی برای مثال برای سنجنده ETM+ ماهواره LANDSAT، ترکیب‌های باندی (۵،۳،۱)، (۱،۵،۴)، (۵،۴،۲) و (۷،۴،۱) به دلیل حساسیت آنها به نوع خاک پیشنهاد می‌شود ولی بهترین روش، انجام یک طبقه‌بندی بدون نظارت با تمامی کلاس‌ها می‌باشد که نیازمند تعیین منحنی‌های طیفی (شکل ۴-۶) برای کلاس‌های مختلف و تعیین باندهای مناسب با توجه به آن منحنی‌ها است.

گام ۳- تصحیح هندسی هر دو تصویر قبل و بعد از تغییرات

گام ۴- استفاده از PCA^۱ به عنوان معیار تغییرات

روش PCA بر اساس تجزیه و تحلیل ماتریس‌های همبستگی است در نتیجه‌ی این کار، تصاویر جدید PCA غیر همبسته حاصل می‌شود. باندهای جدیدی که به وجود می‌آیند مربوط به تغییرات هستند.

گام ۵- بررسی کیفیت داده‌ها و اطلاعات و دقت آماری آنها

گام ۶- تهیه داده نهایی به صورت تصویر

۴-۹-۲- توانمندی سنجش از دور در پیش‌بینی و هشدار سیل

مدیریت سانحه به سه بخش اصلی آمادگی^۲، که (انجام) فعالیت‌هایی از قبیل پیش‌بینی و شناسایی منطقه خطر را قبل از رخداد حادثه در برمی‌گیرد، پیشگیری که فعالیت‌هایی نظیر پیش‌بینی و هشدار به‌هنگام، پایش (مانیتورینگ) و آماده‌سازی طرح‌های محتمل‌الوقوع قبل از رخداد یا در حین حادثه را شامل می‌شود و مرحله پاسخ و تسکین که مرتبط با فعالیت‌های بعد از حادثه نظیر ارزیابی خسارت و مدیریت فعالیت‌های مرتبط است. کاربران زیادی از جمله سیاست‌گذاران سطح بالا در سطح ملی، سازمان‌های بین‌المللی، محققان و سیاست‌گذاران سطح میانی در سطوح منطقه‌ای، استانی و محلی، تولید کنندگان محلی شامل کشاورزان، متصدیان، بازرگانان و مدیران بخش آب مایل به کسب اطلاعات دقیق و معتبر راجع به سیل هستند. در این میان یک سیستم پایش مناسب سیل، عنصر کلیدی در مدیریت سانحه می‌باشد.

با استفاده از فنون سنجش از دور و با تکیه بر قابلیت‌های سنجنده‌های مختلف در اخذ و گردآوری اطلاعات از مناطق وسیع با توان تفکیک‌های متنوع طیفی، مکانی، رادیومتریک و زمانی، امکان پایش سیل بخوبی وجود دارد. از طرفی تلفیق اطلاعات به‌دست آمده از سنجش از دور با دیگر مجموعه داده‌های مکانی و غیر مکانی، عامل شگرفی برای شناسایی، پایش (نظارت) و ارزیابی سیل محسوب می‌گردد.

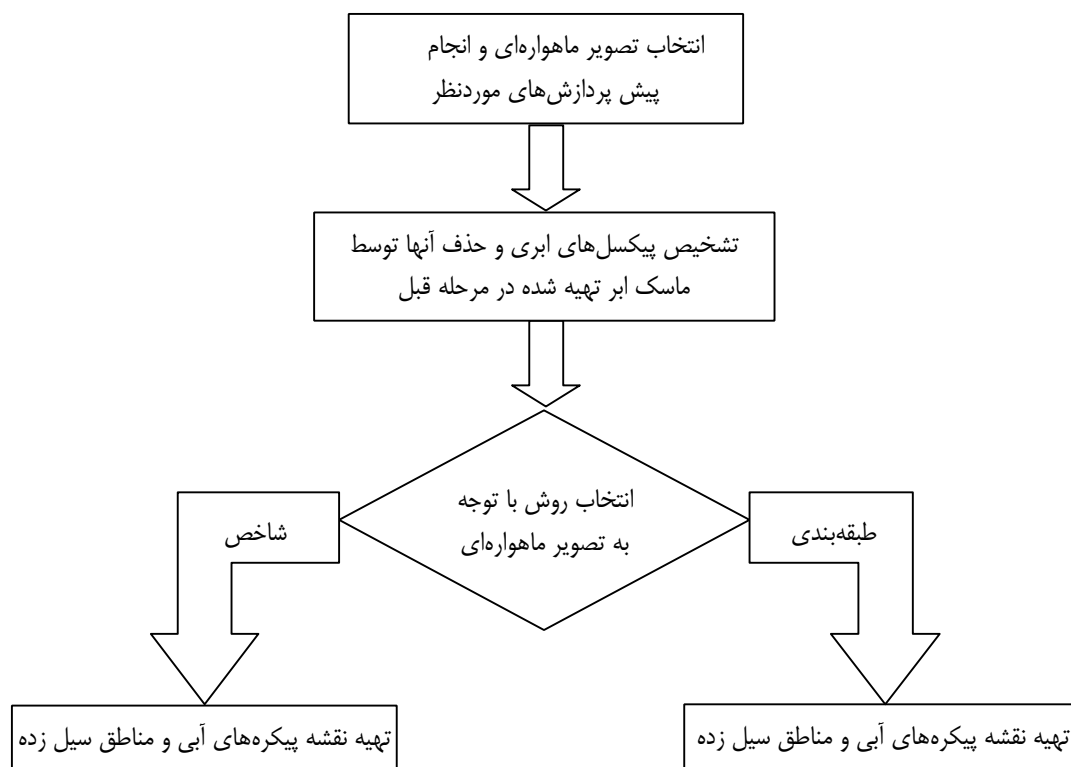
1- Principal Component Analysis

2- Preparedness

دلایل بسیاری از قبیل امکان پوشش وسیع و توانایی تصویربرداری مجدد از منطقه، استفاده عملی از ماهواره‌های مختلف سنجش از دور برای نظارت و تهیه نقشه سیل و ارزیابی خسارت سیل را به وجود آورده است. اطلاعات سنجش از دور به دست آمده از سنجنده‌ها و سکوها‌های مختلف (ماهواره، هواپیما و زمین و ...) برای نظارت بر سیل در کشورهای توسعه یافته به کار گرفته شده است. جهت پایش مناطق آب گرفته با توجه به نوع تصویر از روش‌های مختلفی استفاده می‌گردد. در تصاویر با توان تفکیک مکانی مناسب از انواع روش‌های طبقه‌بندی استفاده می‌گردد. استفاده از روش‌های متداول طبقه‌بندی بانظارت از قبیل طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت و یا در داده‌های بانویز زیاد استفاده از روش Support Vector Machine، امکان تعیین مناطق آبی را بخوبی ایجاد می‌کند. در تصاویر با توان تفکیک مکانی کم و نسبتاً کم، از انواع روش‌های حد آستانه‌ای استفاده می‌گردد. انواع روش‌های حد آستانه تک باند، مدل حرارتی، مدل تفاضلی باند یک و دو، مدل نسبی باند یک و دو و نهایتاً روش‌های مبتنی بر شاخص اختلاف نرمال شده آب (NDWI) در تعیین پیکره‌های آبی و سیلی سودمند است. شاخص اختلافی نرمال شده آب به صورت رابطه (۴-۵۲) تعریف می‌شود. با استفاده از این شاخص و تعیین حدود آستانه جهت آب می‌توان با دقت بالا پیکره‌های آبی و مناطق سیل زده را استخراج نمود.

$$NDWI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED} \quad (۴-۵۲)$$

مراحل پایش پیکره‌های آبی و سیل در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است. جهت تشخیص پیکسل ابر در تصاویر سنجش از دور با توجه به سنجنده مورد استفاده روش‌های مختلفی وجود دارد.



شکل ۴-۱۱- مراحل پایش پیکره‌های آبی و سیل

۱۰-۴- بررسی کاربردهای سنجش از دور در مطالعات فرسایش حوضه‌های آبریز

در بررسی کاربردهای سنجش از دور در مطالعات فرسایش حوضه‌های آبریز باید به این نکته توجه داشت که سنجش از دور برخلاف نقشه‌های حرارتی و پوشش طبیعی و کاربری اراضی، به‌طور مستقیم محصولی به‌عنوان لایه یا نقشه فرسایش تولید نمی‌کند، بلکه عوامل و لایه‌های مرتبط با پردازش این مطالعات و رسیدن به فرسایش حوضه را در اختیار قرار می‌دهد.

۱-۱۰-۴ کاربردهای سنجش از دور در مطالعات فرسایش حوضه آبریز

با استفاده از تصاویر سنجش از دور و نیز محصولات استخراج شده از این تصاویر می‌توان لایه‌ها و داده‌های اولیه را برای برآورد فرسایش تهیه نمود و با به‌کارگیری مدل‌های فرسایش با استفاده از داده اولیه تهیه شده به‌وسیله سنجش از دور می‌توان به نتیجه مطلوب رسید. در زیر داده‌های اولیه که امکان تهیه آن با استفاده از تصاویر سنجش از دور ممکن است، ذکر شده است.

- ۱- تهیه داده‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی: یکی از عوامل موثر در فرسایش حوضه‌های آبریز، تغییر کاربری و پوشش منطقه مورد بررسی می‌باشد. به‌همین منظور با استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های مذکور در بخش (۴-۴)، می‌توان نقشه‌های پوشش طبیعی و کاربری اراضی منطقه را تهیه نمود.
- ۲- تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه: پوشش گیاهی منطقه مورد بررسی نقش مهمی در حفاظت از خاک و فرسایش حوضه آبریز دارد. به‌همین منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان نقشه پوشش گیاهی منطقه را به‌دست آورد. در این مورد نیز به تفصیل در بخش (۴-۴) بحث شده است.
- ۳- تهیه نقشه توپوگرافی: بعضی سنجنده‌های سنجش از دور قادرند که از یک منطقه زوج تصویر به‌صورت استریو تهیه نمایند و به‌واسطه اختلاف منظر دو تصویر می‌توان نقشه توپوگرافی را تهیه نمود.
- ۴- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی: با توجه به خصوصیات طیفی سطوح مختلف زمین می‌توان این سطوح را به لایه‌های مختلف زمین‌شناسی تقسیم‌بندی نمود. این تقسیم‌بندی و نحوه تعیین کلاس‌های مختلف استفاده شده در بخش (۴-۱۴) ارائه گردیده است.

۲-۱۰-۴ روش به‌کارگیری داده‌های تهیه شده

با استفاده از داده‌های تهیه شده در بند (۴-۱۰-۱) و با یک‌سری تحلیل که در بخش سیستم اطلاعات مکانی تشریح گردید، نقشه‌های فرسایش حوضه‌های آبریز تهیه می‌شود.

۴-۱۱- تعیین حدود پیکره‌های تبخیری^۱ (پلایا)

پیکره‌های تبخیری را می‌توان از طریق رفتار رنگی آنها تعیین نمود که به‌وسیله سنجش از دور نوری و روش طبقه‌بندی از دیگر عوارض قابل تفکیک می‌باشند ولی به‌نظر نمی‌رسد در حال حاضر روش موفقی برای تعیین آنها به‌وسیله سنجش از دور مایکروویو موجود باشد. در ادامه دو روش برای تعیین پیکره‌های تبخیری ذکر شده است که در مورد طبقه‌بندی آنها می‌توان یا از روش سوم بخش ۴-۱ که یک طبقه‌بندی ساده است یا روش مطرح شده در گام ۴ الگوریتم ۴-۵-۵ که در واقع یک طبقه‌بندی مرحله به مرحله است، استفاده نمود.

۴-۱۱-۱- باندهای مرئی

پیکره‌های تبخیری در صورت عاری بودن از آب، عموماً دارای پوششی از نمک در سطح خود می‌باشند که در تصاویر مرئی با ترکیب رنگی واقعی به رنگ سفید دیده می‌شود. برخی از پیکره‌های تبخیری در فصل بارش حاوی آب هستند، لذا اگر آب به میزانی جمع شود که بر روی سطح پوششی نمک قرار گیرد، تهرنگ آبی روشنی نیز به آن اضافه می‌شود.

۴-۱۱-۲- روش‌هایدن^۲

هایدن محصول ویژه‌ای را از تصاویر ماهواره‌های LANDSAT و TMS^۳ به صورت زیر پیشنهاد می‌کند.

۱- ترکیب رنگی HSI^۴ (خلوص، اشباع و شدت)

۲- باند ۶ سنجنده TM ماهواره LANDSAT به عنوان H

۳- تصویر فروسرخ حرارتی پوشگر چندطیفی TMS به عنوان S

۴- باند ۴ سنجنده TM ماهواره LANDSAT به عنوان I

که در آن بدنه اصلی پیکره‌های تبخیری به طور یقین به رنگ زرد دیده می‌شود. به جای سنجنده TMS می‌توان از دیگر تصاویر فروسرخ حرارتی (به‌غیر از باند ۶ سنجنده TM) نیز استفاده کرد که ممکن است تفاوتی در تهرنگ زرد گفته شده ایجاد شود ولی در تفکیک پذیری این پیکره‌ها تاثیری نمی‌گذارد. لازم به ذکر است که مناطق دارای پوشش نمک ضعیف در این تصاویر به رنگ آبی و سبز متمایل می‌شوند.

۴-۱۲- تعیین مرزهای آبخوان

استفاده از سنجش از دور به‌عنوان ابزاری برای دید وسیع در مقیاس‌های منطقه‌ای، بسیار موثر بوده و هزینه عملیات زمینی و سنتی برای تهیه و تعیین مرزهای آبخوان را به حداقل می‌رساند.

1- Playas

2- Dr. Rupert Haydn

3- Thermal Infrared Multispectral Scanner

4- Hue, Saturation and Intensity

۴-۱۲-۱- شناسایی داده‌های سنجش از دوری مورد استفاده در استخراج مرز آبخوان

با توجه به ماهیت آبخوان‌ها و پنهان بودن آنها از دید تصاویر ماهواره‌ای، به کمک سنجش از دور مرئی می‌توان به تخمین مرز این حدود به صورت غیرمستقیم پرداخت. در این حالت به کمک محصولات مختلف سنجش از دوری و داده‌های مختلف تولید شده به وسیله این روش می‌توان به تعیین حدود آبخوان رسید.

عوامل مختلفی مانند پوشش گیاهی سطح، حدود لایه‌های زمین‌شناسی (مانند مرز بین گسل‌ها و شکست‌ها) و رطوبت سطح زمین بر خصوصیات آبخوان تاثیر می‌گذارند. در این بین نقش سنجش از دور می‌تواند به تهیه این لایه‌ها به خصوص نقشه‌های پوشش گیاهی (بخش ۴-۲) و نقشه‌های زمین‌شناسی (۴-۱۴) کمک نماید.

تفاوت در دمای سنجش شده به وسیله سنجنده‌های ماهواره‌ای باعث استنتاج و شناسایی آب‌های زیرزمینی کم عمق و چشمه‌ها یا تراوشات طبیعی می‌شود. این تفاوت دما بین آب و محیط باعث کاهش دما در تابستان و افزایش دما در زمستان نسبت به محیط اطراف می‌شود.

آب‌های زیرزمینی کم عمق به واسطه اندازه‌گیری رطوبت سطح خاک و با تغییر در نوع پوشش گیاهی و الگوهای آن قابل شناسایی می‌باشد. تغذیه و تخلیه مناطق آب‌های زیرزمینی در حوضه زهکشی به وسیله خاک، گیاهان و آب‌های زیرزمینی عمیق و کم عمق انجام می‌شود.

به همین منظور برای شناسایی آبخوان به وسیله سنجش از دور، به واسطه به کارگیری روش‌های تفسیر تصاویر و نیز به کارگیری خصوصیات از تصویر مانند تن، رنگ، بافت، الگو و اندازه و نیز شکل، مکان و ارتفاع منطقه مورد بررسی، می‌توان آبخوان را مشخص نمود. نتایج تحلیل تصاویر و تفسیر خصوصیات تصاویر سنجش از دور به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

۱- اشکال زمین باعث شناسایی عوارض فیزیکی (یعنی کوه‌های سنگی، عوارض آتشفشانی، مخروط افکنه و عوارض منجمد و یخچالی) در سطح زمین می‌شوند. برای مثال می‌توان فرض کرد که آب‌های زیرزمینی به سمت شیب‌های کم و به سمت پایین بادرز آبرفتی همانند جریان‌های سطحی هدایت می‌شوند. در یک حوضه آبریز بزرگ، می‌توان فرض کرد که مواد درشت دانه که به وسیله زهکشی‌های قدیمی جابجا شده‌اند، بسیار دورتر از این حوضه قرار گرفته و به جای آن مواد ریز دانه با نفوذ پذیری زیاد قرار گرفته است. بسیاری از رسوبات درشت دانه در حاشیه حوضه آبریز قرار می‌گیرند.

۲- عوارض زهکشی شامل اندازه و شکل حوضه، الگوها و چگالی زهکشی، شکل دره، مکان و زاویه انشعابات کانال‌ها می‌باشند. فرض می‌شود که اتصالات و گسل‌ها در زمین‌های سنگی بر پیشرفت الگوهای زهکشی تاثیر گذار می‌باشند.

۳- انواع پوشش گیاهی (شامل طبیعی یا ساخته شده به دست انسان) و خاکی، گیاهان متراکم در دره‌ها یا حوضه‌های آبریز باعث مشخص شدن وجود مقدار آب کافی و محتملاً آب‌های زیرزمینی نزدیک به سطح می‌شود.

۴- در این زمین‌ها خطواره‌ها مستقیم و کمی منحنی شکل می‌باشند. بسیاری از عوارض خطی پیوسته نبوده ولی نیاز به اتصال در تحلیل تصویر دارد. فرض می‌شود که خطواره‌ها مکان اتصالات و گسل‌ها می‌باشند.

۵- منحنی‌ها به صورت خطوط متقارن مانند خطواره‌ها در تحلیل تصاویر با شکل‌های دایره‌ای یا بیضوی می‌باشند.

۶- بافت تصویر باعث شناسایی تراکم الگوهای زهکشی می‌شود. سامانه‌های زهکشی با بافت‌های ریز، باعث شناسایی رسوبات ریز دانه و نواحی کم نفوذ می‌شود. برای شناسایی نواحی با بافت میانه تا زیر زهکشی و امتداد جریان‌های اصلی از این روش استفاده می‌شود.

۴-۱۲-۲- انتخاب تصاویر

معیارهای انتخاب تصاویر سنجش از دور برای تحقیقات آب‌های زیرزمینی از کاربردهای دیگر متفاوت می‌باشند. انتخاب صحیح تصویر باعث کمک به اکتشاف آب‌های زیرزمینی می‌شود. در مورد تصاویر SPOT، TM و LANDSAT، انتخاب صحیح باندها و زمان، مهم می‌باشد. این معیارها به صورت زیر می‌باشند.

۱- انتخاب تصاویر با زاویه پایین تابش خورشید. شکل زمین و توپوگرافی منطقه به وسیله سایه وقتی که زاویه تابش کمتر از ۴۵ درجه باشد، بهبود می‌یابد.

۲- انتخاب دو تصویر سیاه و سفید از دو مدار مختلف. با انتخاب دو تصویر از دو مدار مختلف یا زمان مختلف باعث دید استروسکوپی از منطقه مورد مطالعه می‌شود. این عمل برای تعیین شیب و ارتفاع تقریبی منطقه (شکل زمین و توپوگرافی منطقه) صورت می‌گیرد. در این مورد انتخاب تصاویر SPOT به علت تهیه تصویر از دو منظر مفید می‌باشد.

۳- انتخاب تصاویر سیاه و سفید فرسرخ مانند باند هفت سنجنده LANDSAT که برای نمایش عوارض سطح زمین و مخدوش نشدن آنها با تهرنگ گیاهان مناسب می‌باشد.

انتخاب یک تصویر کاذب^۱، انتخاب تصاویر با ترکیب رنگی کاذب، باعث نمایش سطح زمین و الگوهای زهکشی با انواع الگوها و پوشش گیاهی می‌شود. الگوهای گیاهی و روشنایی باعث شناسایی محل تقریبی آب‌های زیرزمینی می‌شود. در فصول خشک گیاهان با رطوبت مناسب به رنگ قرمز روشن دیده می‌شوند درحالی‌که گیاهان بدون رطوبت کافی به صورت قرمز کدر یا قهوه‌ای دیده می‌شوند.

۴-۱۳- تفکیک سطحی آبرفت‌ها با توجه به دانه‌بندی

همان‌طور که می‌دانید سطوح آبرفتی را می‌توان با توجه به دانه‌بندی‌های مختلف ذرات به سطوح مختلفی تقسیم نمود. در این راستا با استفاده از تصاویر و داده‌های سنجش از دوری به واسطه طبقه‌بندی سطوح زمین به وسیله خصوصیات طیفی و ضرایب مختلف بازتابش، می‌توان سطوح را بر اساس دانه‌بندی طبقه‌بندی نمود.

در این راستا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های مختلف مانند تهیه نقشه‌های پوشش اراضی در موارد خاص مانند تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با کلاس‌های مختلف زمین‌شناسی مثلا تفکیک سطح زمین به مواد رسوبی مختلف شامل موارد رسوبی معلق^۱، مواد رسوبی کفی^۲ و مواد محلول^۳ تقسیم‌بندی نمود. به واسطه تهیه این نقشه‌ها می‌توان دانه‌بندی خاک را مشخص نمود. برای توضیحات بیش‌تر به بخش ۴-۱۴ (تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی) مراجعه شود.

۴-۱۴- مطالعات زمین‌شناسی به وسیله سنجش از دور

به واسطه به‌کارگیری سنجش از دور، اکتشاف مواد معدنی به چهار طریق صورت‌پذیر است.

- ۱- تهیه نقشه‌های خطواره منطقه‌ای که در امتداد نواحی مورد نظر قرار دارد.
- ۲- تهیه نقشه‌های الگوهای شکستگی موضعی که باعث کنترل کنسارها می‌شود.
- ۳- شناسایی سنگ‌های آتزه شده با رگه‌های معدنی و هیدروترمالی همراه با تنه‌های معدنی.
- ۴- تهیه داده‌های زمین‌شناسی پایه.

۴-۱۴-۱- موارد استفاده تصاویر هوایی و ماهواره‌ای

سال‌ها زمین‌شناسان از تصاویر هوایی برای استخراج پارامترهای مختلف زمین‌شناسی بهره برده‌اند، این موضوعات شامل موارد زیر هستند.

- ۱- جداسازی واحدهای سنگی (چینه‌شناسی)
- ۲- مطالعات تغییرات سطح زمین (ریخت‌شناسی)
- ۳- تعیین ساختار و قرارگیری لایه‌های مختلف زمین‌شناسی (مانند چین‌خوردگی‌ها و گسل‌ها)
- ۴- ارزیابی تغییرات دینامیک وقایع طبیعی (مانند سیلاب‌ها و فوران آتشفشان)
- ۵- جستجو به دنبال عوارض سطحی (مانند تغییرات سطحی و علایم سنگ‌های معدنی) تا ذخایر زیرسطحی کانی‌های معدنی، نفت، گاز و آب‌های زیرزمینی
- ۶- توانایی ترسیم مستقیم بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی به صورت بصری و در حالت همپوشی نقشه‌ها با ورود داده‌های سنجش از دور، زمین‌شناسان کاربردهایشان را در سه قسمت گسترش دادند.
- ۱- مزیت محدوده وسیع پوشش به آنها اجازه داد تا در یک تصویر واحد یک تعریف واحد در مقیاس منطقه‌ای داشته باشند.

1- Suspended Sediment

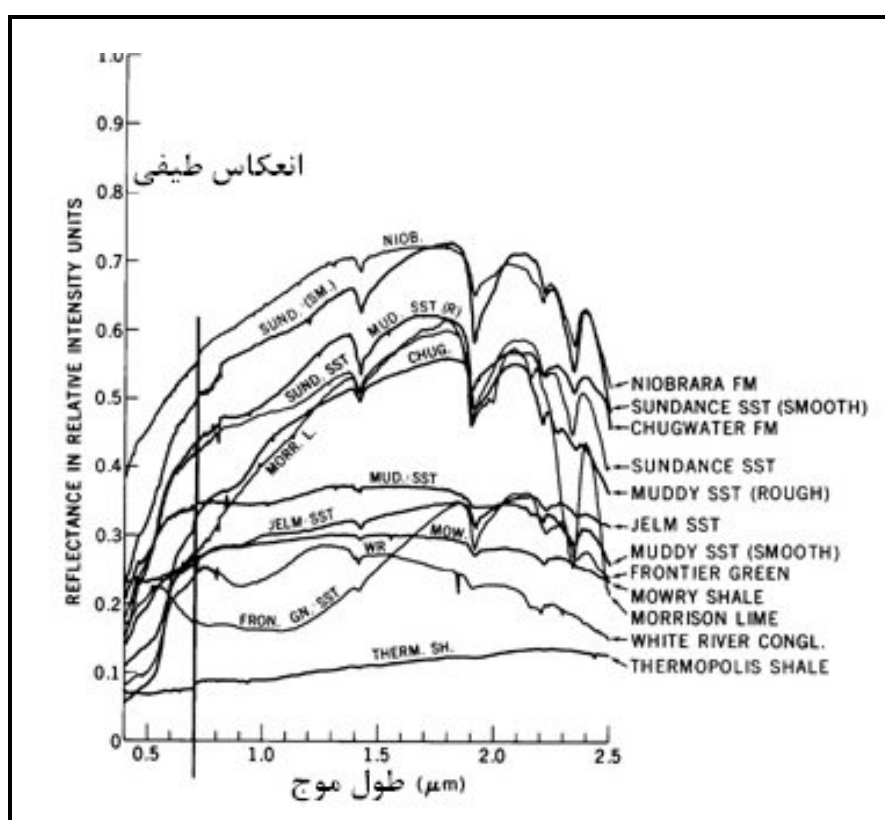
2- Bed Load Sediment

3- Dissolved Materials

۲- توانایی تحلیل باندهای چند طیفی به صورت کمی به آنها اجازه داد تا به واسطه استفاده از پردازش تصاویر به وسیله رایانه، خصوصیات پیچیده مواد مختلف سطح زمین را تشخیص دهند و نیز در تشخیص این مواد بهبود حاصل شود.

۳- توانایی الحاق انواع مختلف تولیدات سنجش از دور (مانند تصاویر بازتابی راداری یا تصاویر حرارتی) یا ترکیب این اطلاعات با داده‌های ارتفاعی و با داده‌های پایه (مانند نقشه‌های موضوعی، اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی و نمونه‌برداری‌های شیمیایی) راه‌حل‌های جدیدی برای برقراری ارتباط بین خصوصیات طبیعی مختلف در پدیده‌های زمین را باعث می‌شود.

راه اصلی شناسایی جنس انواع زمین در مکان‌های مختلف، استفاده از خصوصیات طیفی این گونه‌ها می‌باشد. این تشکیلات زمین‌شناسی باعث دیدن الگوهایی می‌شود که بسته به نزدیکی به سطح، گستردگی در منطقه مورد بررسی، ضخامت لایه‌های وابسته، وضعیت ساختار (افقی یا مایل بودن) و درجه فرسایش متفاوت می‌باشند. بعضی از زمین‌شناسان قادرند با دیدن تصویر ماهواره‌ای یا عکس هوایی بعضی گونه‌های سنگی را شناسایی نمایند. بنابراین شناسایی انواع مختلف دیگر، وابسته به خصوصیات طیفی‌شان می‌باشد و انواع و سن صخره‌های مختلف با تغییر در طول موج‌های مشخص تغییر می‌نماید. شکل (۴-۱۲) خصوصیات طیفی مواد مختلف که در آزمایشگاه تهیه شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲- انعکاس طیفی مواد مختلف در طول موج‌های مختلف (NASA)

شناسایی مواد مختلف مطرح شده در شکل (۴-۱۲) به صورت تفسیر کتابخانه‌ای طیفی مواد، مانند گام ۵ بند ۴-۵-۲ انجام می‌شود. راه معمول تهیه نقشه این ساختارهای زمین‌شناسی و ترسیم توزیع آنها، استفاده از مناطق آموزشی^۱ در مکان‌های مشخص تصویر است و این امر تنها با عملیات زمینی محقق می‌شود. سپس با یک‌سری پردازش مانند طبقه‌بندی تصویر به صورت با نظارت، نتیجه لازم به دست می‌آید.

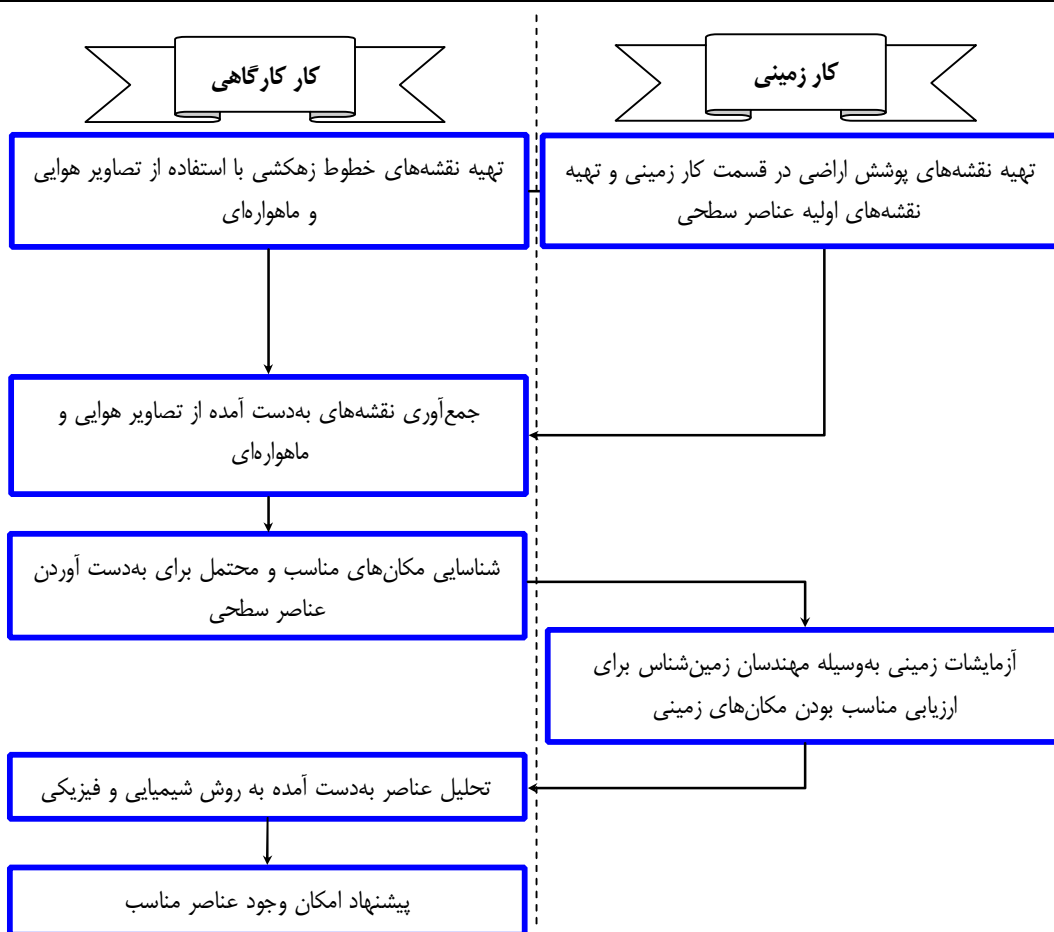
خطواره عوارض خطی یا الگوهای تفسیری در تصاویر سنجش از دور می‌باشد. خطواره‌های ساختاری زمین‌شناسی مانند گسل‌ها یا شکاف‌ها را بازتاب می‌کنند. در این حالت استخراج خطواره‌ها در کاربردهای زمین‌شناسی در سنجش از دور بسیار اهمیت دارد. این خطوط را باید از دیگر عوارض خطی که به ساختارهای زمین‌شناسی مرتبط نمی‌باشند، متمایز نمود. بنابراین استخراج خطواره می‌بایست به وسیله یک زمین‌شناس تفسیر شود. خطواره تولید شده به وسیله رایانه باید شامل تمام عوارض خطی از سطح طبیعی زمین مانند ساختارهای مصنوعی باشد که باید به وسیله مفسر حذف شود. به همین منظور استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در استخراج خطواره‌های زمین‌شناسی در وسعت بسیار زیاد مفید می‌باشد. این خطواره‌ها در تحلیل‌های زمین‌شناسی و اکتشاف نفت جاری در امتداد گسل‌ها، مخازن نفتی در بین گسل‌ها و لایه‌های نفتی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

۴-۱۴-۲- راه‌های مختلف تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی

راه‌های بسیاری برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی از جمله استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش تصاویر موجود می‌باشد. در زیر روشی مبتنی بر کاربرد تصاویر سنجش از دور و نیز روش آزمایشگاهی تشریح می‌شود.

۴-۱۴-۲-۱- استفاده از روش‌های تفسیری برای طبقه‌بندی زمین‌شناسی

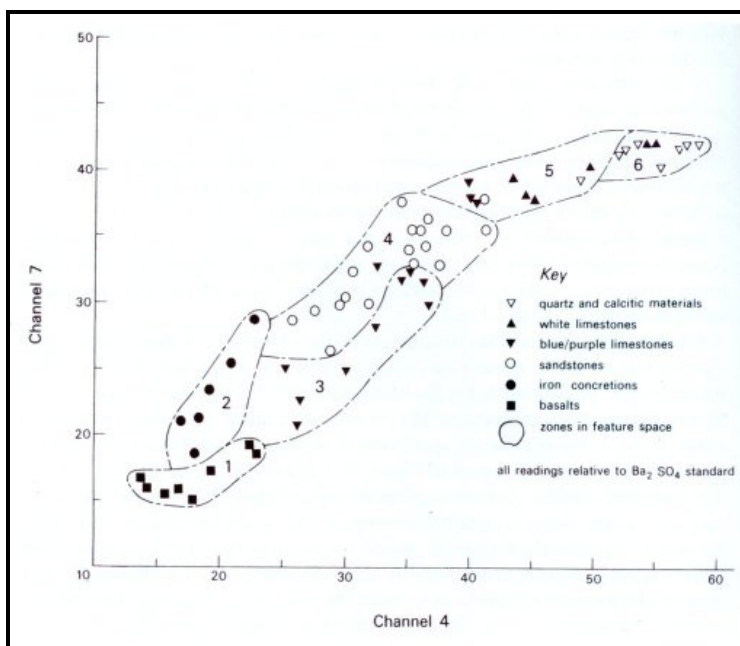
در این روش با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و هوایی از منطقه مورد نظر و نیز استفاده از بازدیدهای زمینی و آزمایشات زمین‌شناسی برای مناطق سطحی مختلف، نقشه عناصر سطحی تهیه می‌گردد. در این روش از نیروهای انسانی شامل زمین‌شناسان، ریخت‌شناسان، متخصصان خاک و مهندسان باید استفاده نمود. در شکل (۴-۱۳) مراحل مختلف به کارگیری روش تفسیری و سنتی تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و هوایی نشان داده شده است.



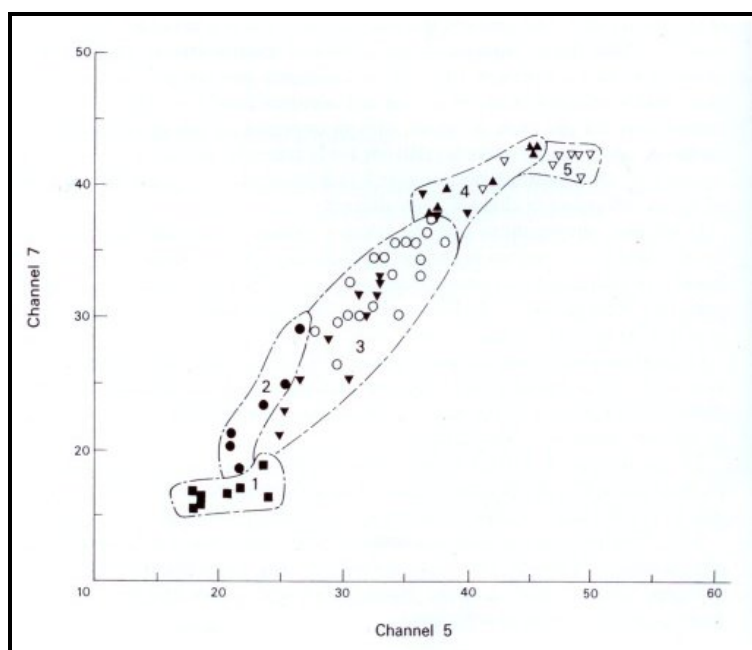
شکل ۴-۱۳- مراحل اصلی و بررسی عناصر سطحی زمین

۴-۱۴-۲- استفاده از روش‌های رقومی برای استخراج مواد سطحی

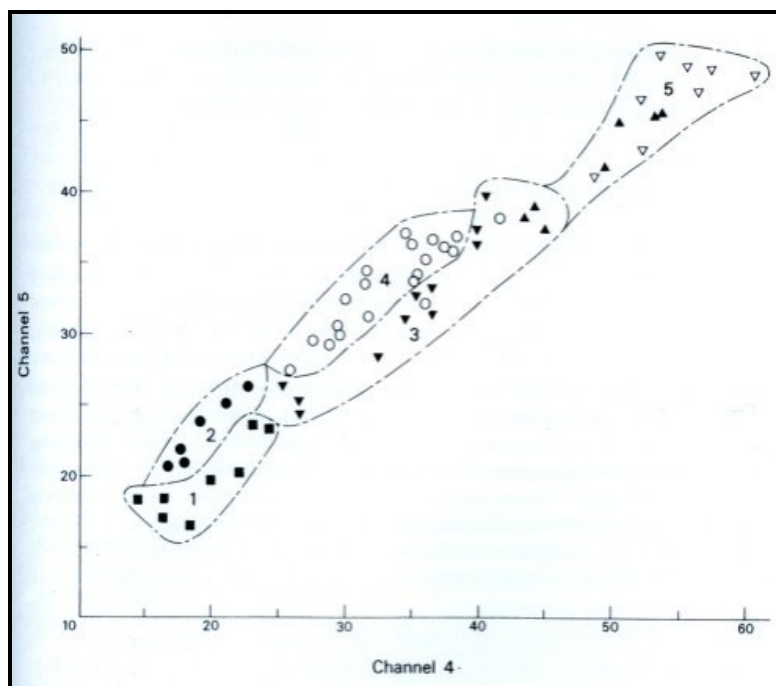
در این روش سطوح با ذرات درشت می‌توانند در تصاویر ماهواره‌ای قابل تمایز باشند. در این تصاویر تغییر در ته رنگ تصاویر و به‌واسطه عوامل دیگر مثلاً پوشش گیاهی و ... باعث شناسایی مواد سطحی می‌شود. به‌همین منظور برای به‌دست آوردن مواد مختلف روی سطح باید در هنگام جمع‌آوری داده‌های زمینی نمونه‌برداری شود. در این بین برای جداسازی مواد مختلف به‌وسیله انعکاس طیفی در باندهای مختلف سنجنده‌ها (مثلاً باندهای سنجنده MSS ماهواره LANDSAT)، پاسخ طیفی هریک از گونه‌های مختلف مواد روی سطح به‌وسیله رادیومترهای میان‌گذر باندی که بسیار شبیه به باندهای سنجنده به‌کارگرفته شده باشد، اندازه‌گیری می‌شود. نمونه‌هایی از محدوده‌های بازتابی بعضی از موارد مختلف موجود روی سطح خاک در اشکال (۴-۱۴) تا (۴-۱۶) دیده می‌شوند.



شکل ۴-۱۴- نمودار مقادیر بازتابی در باندهای ۴ و ۷ MSS به دست آمده به وسیله رادیومترهای میان گذر



شکل ۴-۱۵- نمودار مقادیر بازتابی در باندهای ۵ و ۷ MSS به دست آمده به وسیله رادیومترهای میان گذر



شکل ۴-۱۶- نمودار مقادیر بازتابی در باندهای ۴ و ۵ MSS به دست آمده به وسیله رادیومترهای میان گذر

با توجه به اشکال به دست آمده مشخص می‌شود که با انتخاب مواد روستحی زمین‌شناسی، در طیف سنجنده MSS ماهواره LANDSAT، موقعیت‌های متمایزکننده‌ای برای شناسایی این مواد وجود دارند. در نهایت به واسطه به کارگیری این باندها می‌توان سطوح مختلف سطح زمین که با نسبت‌های مختلف وجود دارند را متمایز نمود و آنها را شناسایی نمود. در این بین داده‌های زمینی جمع‌آوری شده و نیز داده‌های رقومی به دست آمده از سنجنده‌های ماهواره‌ای باید هم‌زمان تهیه شده باشند.

در واقع فرض اصلی برای دستیابی به نقشه زمین‌شناسی، مواد متفاوت سطحی است که خصوصیات طیفی متفاوت را دارا می‌باشد. به همین منظور برای استخراج این عوارض باید کار آزمایشگاهی بسیار زیادی انجام شود. بدون شک عوامل زیادی مانند اندازه ذرات باعث سنجش طیفی مرکب در سنجنده‌های مختلف می‌شود. اگر مواد طیفی مختلف دارای خصوصیات طیفی بسیار ضعیف و تغییرات کم باشند، به آسانی ممکن است، به علت خطاهای دستگاهی یا تاثیرات اتمسفری از بین روند.

فصل ۵

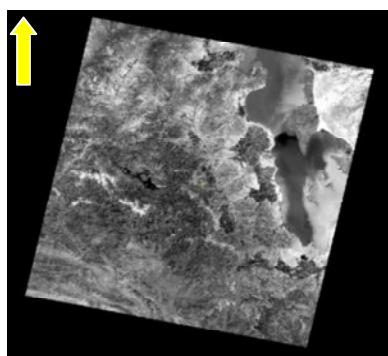
پیاده سازی

۵-۱- نمایش توزیع فضایی گستره‌های آبی

استخراج پهنه‌های آبی از بسیاری از تصاویر ماهواره‌ای قابل انجام می‌باشد. لازم است تصاویر به کار گرفته شده دارای باندهای فرسرخ میانی و باند مرئی (باند سبز) باشند. در ادامه ابتدا به ارائه داده‌های کاربردی و سپس به بررسی دو روش مطرح شده پرداخته خواهد شد.

۵-۱-۱- داده‌های کاربردی

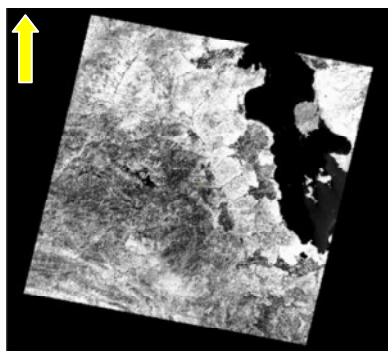
تصویر مورد استفاده، تصویر سنجنده ETM+ ماهواره LANDSAT است که شامل هفت باند است، باندهای ۲، ۵ و ۷ آن که به ترتیب باندهای سبز و فرسرخ میانی و فرسرخ میانی است مورد استفاده قرار گرفته است. منطقه مورد بررسی بخش غربی دریاچه ارومیه است. (شکل ۵-۱-الف)



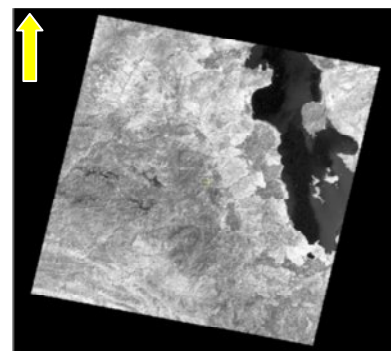
ب



الف



د

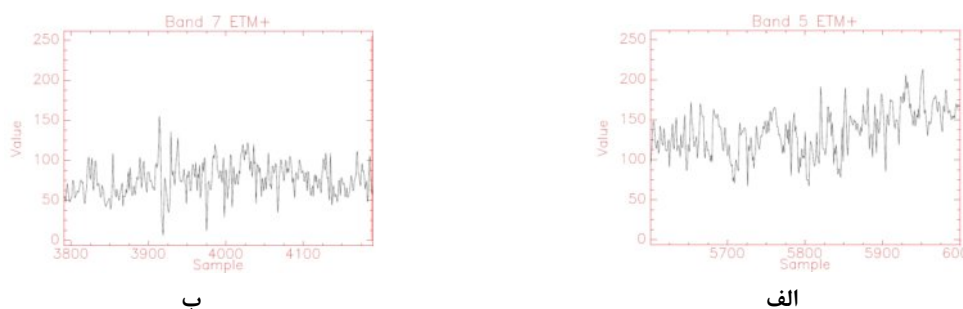


ج

شکل ۵-۱- الف- تصویر منطقه مورد بررسی، ب- باند ۲، ج- باند ۵، د- باند ۷

برای محاسبه پهنه‌های آبی موجود در تصویر لازم است از تک‌باندهای سبز شکل (۵-۱-ب) و فرسرخ میانی شکل (۵-۱-ج و د) استفاده شود.

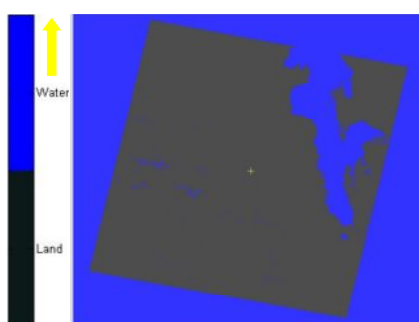
بدیهی است خصوصیات طیفی هریک از باندهای سنجنده ETM+ بایکدیگر تفاوت دارد. با نمودارهای طیفی^۱، خصوصیات طیفی آشکارتر شده و استخراج پهنه‌های آبی به‌طور دقیق‌تری صورت می‌گیرد (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲- الف- نمودار طیفی باند ۵، ب- نمودار طیفی باند ۷

۵-۱-۲- تعیین پهنه‌های آبی با استفاده از روش اول

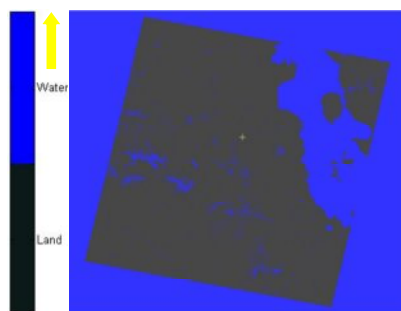
در این روش از یکی از باندهای فروسرخ میانی (باند ۵ یا ۷) و یک حد آستانه استفاده شده و پهنه آبی مشخص می‌شود. با استفاده از یک گزینه شرطی به‌صورتی که اگر مقدار پیکسل مورد نظر از آن حد آستانه کوچک‌تر باشد، پیکسل فوق به‌عنوان پیکسل پهنه آبی شناخته می‌شود. در مثال پیاده سازی شده با استفاده از باند ۵ سنجنده ETM+ و حد آستانه ۲۰ در طیف الکترومغناطیس، پهنه‌های آبی تصویر استخراج می‌شود (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۳- پهنه آبی استخراج شده به روش اول

۵-۱-۳- تعیین پهنه‌های آبی با استفاده از روش دوم

در این روش با استفاده از باندهای محدوده مرئی (باند سبز ۲) و فرو سرخ میانی (باند ۵)، به برآورد پهنه‌های آبی منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. طریقه عمل به این صورت است که حاصل نسبت باند فروسرخ میانی به باند مرئی سبز را در یک حد آستانه قرار داده و با به‌کارگیری حد آستانه ۱ برای تصویر ماهواره‌ای LANDSAT، به استخراج پهنه آبی پرداخته می‌شود. نقشه استخراج شده پهنه آبی به‌صورت شکل (۵-۴) می‌باشد.



شکل ۵-۴- پهنه آبی استخراج شده به روش دوم

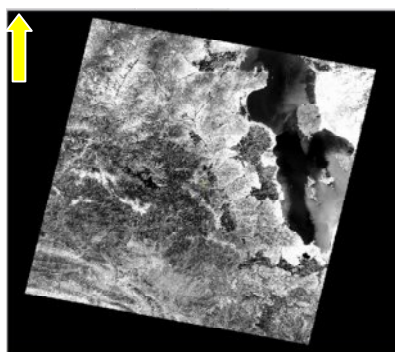
با توجه به پهنه آبی استخراج شده در روش دوم همان‌طور که از شکل (۵-۴) نیز پیدا است، روش دوم با توجه به به‌کارگیری خصوصیات طیفی دو باند به‌صورت کامل‌تری نسبت به روش اول در استخراج پهنه آبی موفق بوده است.

۵-۲- نمایش توزیع فضائی پوشش گیاهی

همان‌طور که در فصل‌های گذشته ذکر شده با توجه به کاربردهای شاخص‌های گیاهی و بررسی خصوصیات این شاخص‌ها با ارائه مثالی این مساله تشریح می‌گردد.

۵-۲-۱- داده‌های کاربردی

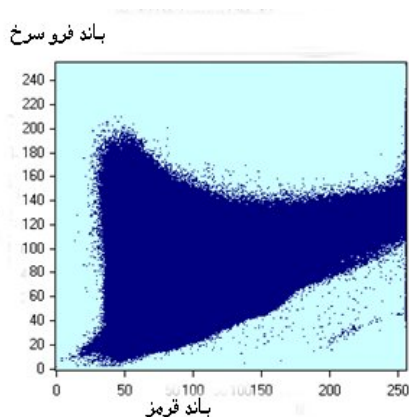
تصویر مورد استفاده، تصویر سنجنده ETM+ از ماهواره LANDSAT است که شامل هفت باند است و باندهای ۳ و ۴ آن به‌ترتیب باندهای قرمز و باند فروسرخ مورد استفاده قرار گرفته است. منطقه مورد بررسی بخش غربی دریاچه ارومیه می‌باشد (شکل ۵-۵-الف).



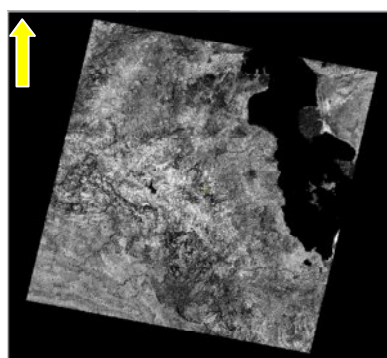
ب



الف



د

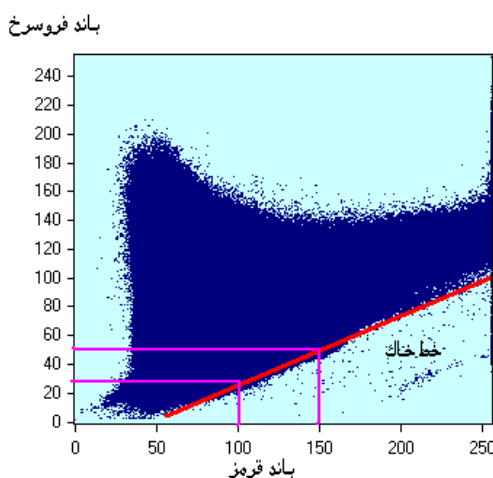


ج

شکل ۵-۵- الف- تصویر منطقه مورد بررسی، ب- تصویر باند قرمز،
ج- تصویر باند فروسرخ، د- پراکندگی پیکسل‌های دو باند قرمز و فروسرخ

۵-۲-۲- ترسیم نمودار پراکندگی و خط خاک

در این مرحله لازم است که دو باند قرمز و فروسرخ را در لایه‌های جداگانه‌ای قرار داده و هرکدام را به تفکیک نشان داد (شکل ۵-۵-ب و ج). سپس به ترسیم نمودار پراکندگی^۱ این دو باند در این قسمت به‌وسیله نرم‌افزار PCI Geomatica پرداخته می‌شود. در این حالت نمودار شکل (۵-۵-د) حاصل می‌شود. بعد از این مرحله لازم است که از روی نمودار پراکندگی مورد نظر، پارامترهای خط خاک استخراج شود. برای این منظور لازم است مطابق شکل (۵-۶) به اندازه‌گیری شیب و عرض از مبدا خط خاک پرداخته شود (رابطه ۵-۱).



شکل ۵-۶- اندازه شیب و پارامترهای مرتبط

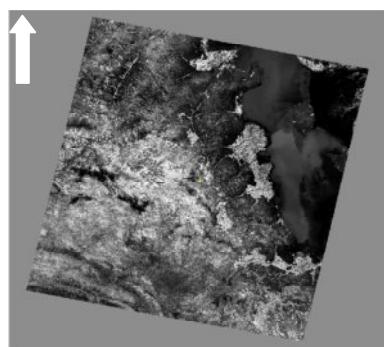
$$y = \text{Slope} \times x - b \quad (۵-۱)$$

$$\text{slope} = \frac{50 - 30}{150 - 100} = 0.4 \quad (۵-۲)$$

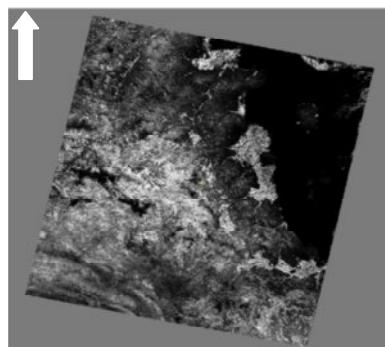
$$b = 30 - 0.4 \times 100 = -10$$

۵-۲-۳- محاسبه شاخص‌های مختلف

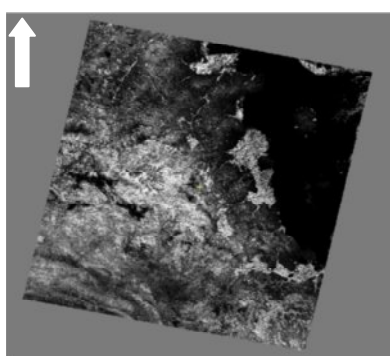
در این مرحله با استفاده از داده‌های باندهای قرمز و فروسرخ به برآورد شاخص‌های مختلف پرداخته می‌شود. همان‌طور که در شکل (۵-۷) دیده می‌شود تصویر شاخص‌های مختلف نشان داده شده است. برای برآورد هریک از این شاخص‌ها در نرم‌افزار PCI Geomatica در قسمت Focus این نرم‌افزار و در منوی Tools\EASI Modeling آن یک‌سری کد شامل عملیات ریاضی و تمام عملیاتی که در محاسبه شاخص‌ها مورد نیاز است، موجود می‌باشد. این محاسبات با استفاده از فرمول‌های ارائه شده در بندهای قسمت (۵-۲) قابل انجام است.



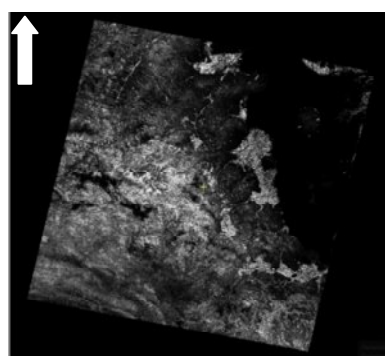
ب



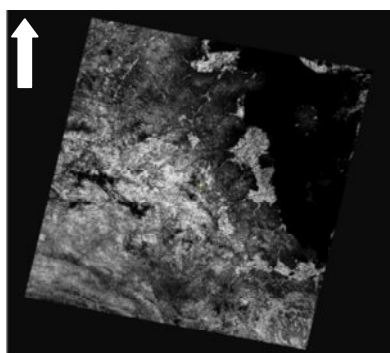
الف



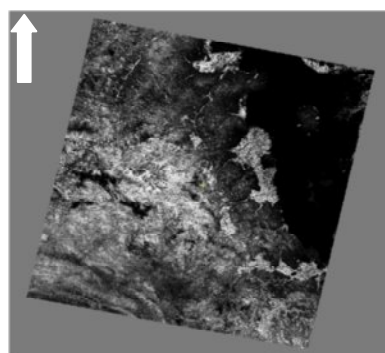
د



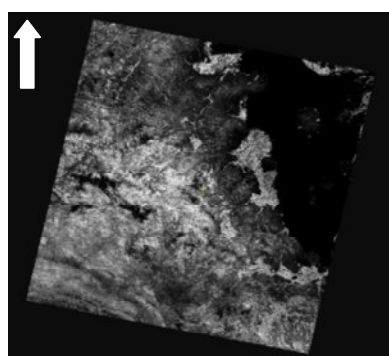
ج



ر



ه



س

شکل ۵-۷- الف - NDVI، ب - DVI، ج - RVI، د - JPVI، ه - SAVI، ر - PVI، س - WDVI

همان‌طور که دیده می‌شود، دریاچه ارومیه در تصویر شکل (۵-۷-الف)، بسیار تیره دیده می‌شود ولی در کناره غربی دریاچه، مناطق پوشیده از گیاه وجود دارند که روشن‌تر به نظر می‌رسد.

۵-۲-۴- تعیین مناطق با پوشش گیاهی

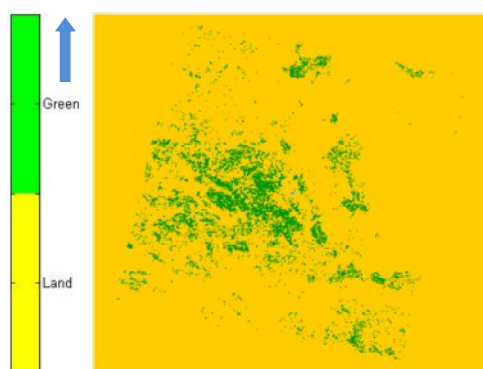
۵-۲-۴-۱- تصویر NDVI با اعمال حد آستانه

حد آستانه به‌کارگرفته شده برای استخراج پوشش گیاهی با استفاده از NDVI، 0.1 می‌باشد.

Threshold = 0.1;

Map = (NDVI > threshold);

در این حالت نقشه ارائه شده شکل (۵-۸) با توجه به حد آستانه در نظر گرفته شده تولید گردید.



شکل ۵-۸- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از NDVI

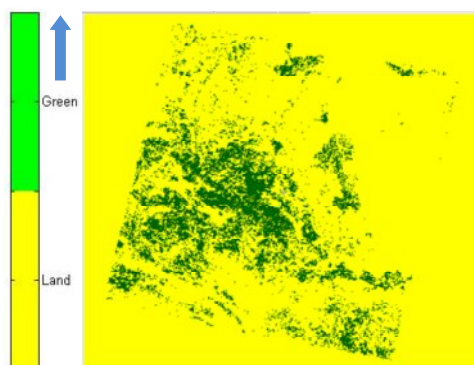
- تصویر DVI با اعمال حد آستانه

حد آستانه به‌کارگرفته شده برای استخراج پوشش گیاهی با استفاده از DVI، 0.1 می‌باشد.

Threshold = 0.1;

Map = (DVI > threshold);

در این حالت نقشه ارائه شده شکل (۵-۹) با توجه به حد آستانه در نظر گرفته شده تولید شد.



شکل ۵-۹- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از DVI

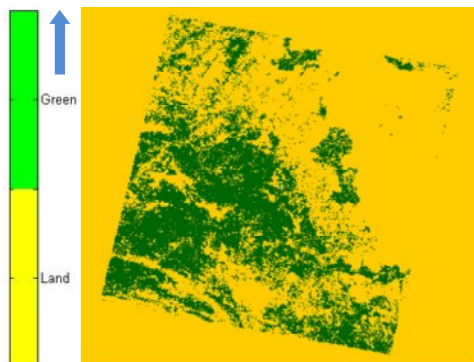
- تصویر RVI با اعمال حد آستانه

حد آستانه به کار گرفته شده برای استخراج پوشش گیاهی، $0/8$ می‌باشد.

$\text{threshold} = 0.8;$

$\text{Map} = (\text{RVI} > \text{threshold});$

در این حالت نقشه ارائه شده شکل (۵-۱۰) با توجه به حد آستانه در نظر گرفته شده تولید شد.



شکل ۵-۱۰- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از RVI

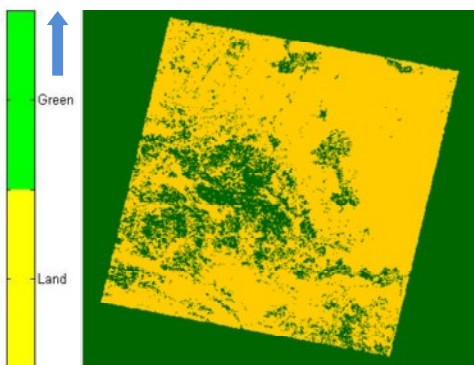
- تصویر IPVI با اعمال حد آستانه

حد آستانه به کار گرفته شده برای استخراج پوشش گیاهی، $0/5$ می‌باشد.

$\text{Threshold} = 0.5;$

$\text{Map} = (\text{IPVI} > \text{threshold});$

در این حالت نقشه ارائه شده شکل (۵-۱۱) با توجه به حد آستانه در نظر گرفته شده تولید شد.



شکل ۵-۱۱- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از IPVI

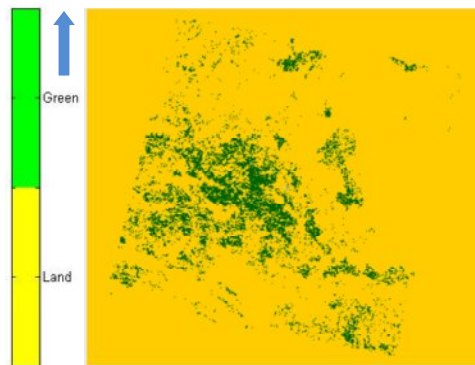
- تصویر SAVI با اعمال حد آستانه

حد آستانه به کار گرفته شده برای استخراج پوشش گیاهی، $0/1$ می‌باشد.

$\text{Threshold} = 0.1;$

$\text{Mao} = (\text{SAVI} > \text{threshold});$

در این حالت نقشه ارائه شده شکل (۵-۱۲) با توجه به حد آستانه در نظر گرفته شده تولید شد.



شکل ۵-۱۲- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از SAVI

- تصویر PVI با اعمال حد آستانه

حد آستانه به کار گرفته شده برای استخراج پوشش گیاهی، ۰/۱ می‌باشد.

Threshold = 0.1;

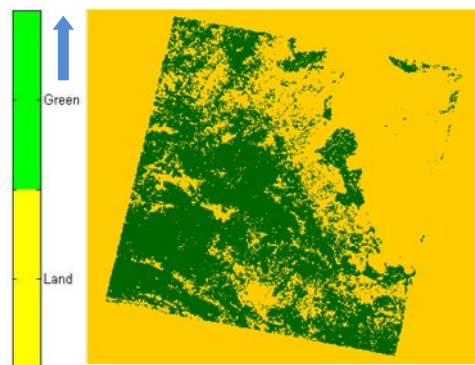
Map = (PVI > threshold);

Bare soil: PVI = 0 (whatever the soil surface status)

Water: PVI < 0

Vegetation: PVI > 0

در این حالت نقشه ارائه شده شکل (۵-۱۳) با توجه به حد آستانه در نظر گرفته شده تولید شد.



شکل ۵-۱۳- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از PVI

- تصویر WDI با اعمال حد آستانه

حد آستانه به کار گرفته شده برای استخراج پوشش گیاهی، ۰/۸ می‌باشد.

Threshold = 0.8;

Map = (WDI > threshold);

در این حالت نقشه ارائه شده شکل (۵-۱۴) با توجه به حد آستانه در نظر گرفته شده تولید شد.



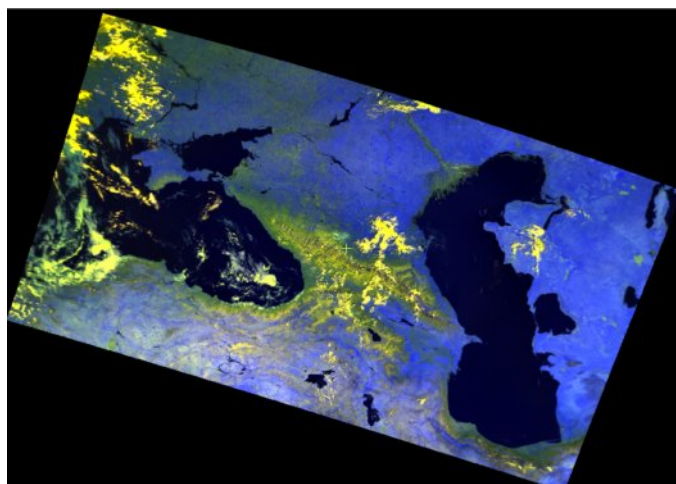
شکل ۵-۱۴- نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از WDI

۵-۳- تهیه نقشه دماسنجی سطح آب دریا

استخراج دمای سطح آب دریاها (SST) از تصاویر ماهواره‌ای که دارای باندهای حرارتی باشند قابل انجام می‌باشد. همان‌طور که در بخش ۴-۶ ذکر شد لازم است تصاویر به کار گرفته شده دارای باندهای حرارتی و فروسرخ باشند. در ادامه به بررسی روش مطرح شده در بخش ۴-۶-۱ پرداخته شده است.

۵-۳-۱- داده‌های به کار گرفته شده

تصویر مورد استفاده، تصویر ماهواره MODIS و از سنجنده Tera می‌باشد که شامل ۳۶ باند است، باندهای ۳۱ و ۳۲ آن باندهای حرارتی هستند، که در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند. منطقه مورد بررسی دریای خزر می‌باشد (شکل ۵-۱۵).

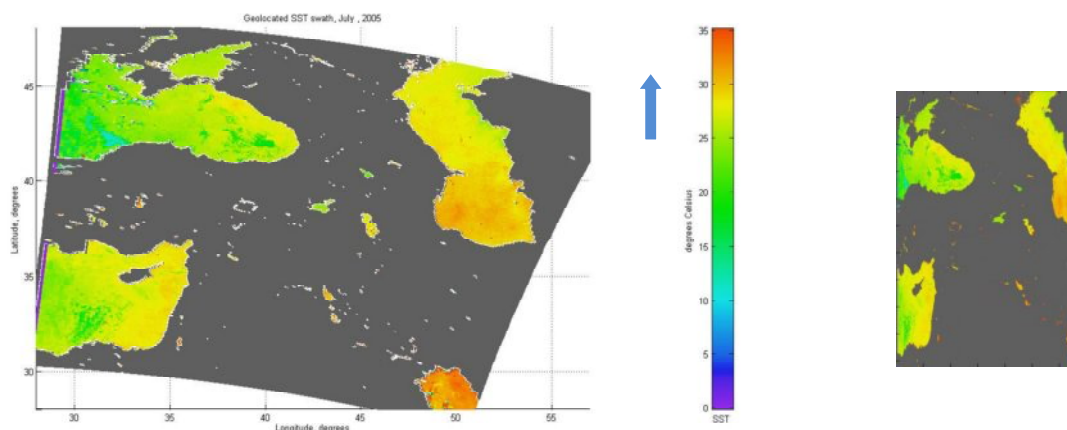


شکل ۵-۱۵- تصویر منطقه مورد بررسی از ماهواره MODIS.

برای محاسبه دمای سطح آب دریاها با توجه به مطالب ذکر شده برای سنجنده MODIS (قسمت ۴-۶) از رابطه (۴-۲۴) و ثابت‌های مندرج در جداول (۴-۵ و ۴-۶) می‌توان استفاده نمود.

۵-۳-۲- زمین مرجع نمودن تصاویر دمای سطح آب دریا

در این روش لازم است با استفاده از نقاط کنترل زمینی و نیز یک‌سری نقاط قرائت شده از تصویر خام، شکل (۵-۱۶- الف) را به تصویر زمین مرجع شده، شکل (۵-۱۶- ب)، تبدیل نمود.

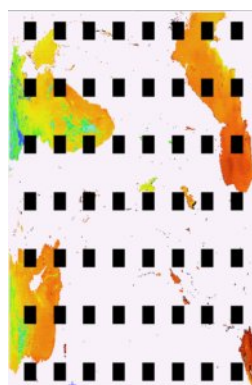


ب

الف

شکل ۵-۱۶- الف - تصویر ماهواره‌ای MODIS قبل از زمین مرجع نمودن ب - تصویر ماهواره‌ای MODIS بعد از زمین مرجع نمودن

نکته‌ای که برای عملیات زمین مرجع نمودن تصویر ماهواره‌ای MODIS باید مورد توجه قرار داد، این است که نحوه چیدمان نقاط کنترل زمینی می‌بایست در راستای طول جغرافیایی بسیار بیش‌تر از عرض جغرافیایی باشد. این به این معنا است که اگر شبکه‌ای از نقاط کنترل برای تبدیل مختصات مورد استفاده قرار می‌گیرد، مثلاً به ازای هر واحد حرکت در راستای طول جغرافیایی، دو یا سه واحد در راستای عرض جغرافیایی استفاده شود (شکل ۵-۱۷).



شکل ۵-۱۷- نحوه چیدمان نقاط کنترل زمینی تصویر ماهواره‌ای MODIS.

۵-۳-۳- محاسبه دمای سطح آب دریا

پس از انجام عملیات زمین مرجع نمودن تصویر لازم است باتوجه به رابطه (۴-۲۴) و نیز جداول (۴-۵ و ۴-۶) و زاویه زنیت ماهواره که به عنوان داده‌های کمکی تصویر در فرمت تصویری HDF^۱ در اختیار قرار داده شده است، به استخراج دمای سطح آب دریا پرداخته شود.

فرمت HDF که برای استخراج دمای سطح آب برای تصاویر MODIS در اختیار است، دارای لایه‌های اطلاعاتی دیگری نیز می‌باشد (جدول ۵-۱). این فرمت توسط نرم‌افزار PCI Geomatica و نیز Matlab و تمامی نرم‌افزارهای پردازش تصاویر رقومی قابل قرائت است.

جدول ۵-۱- لیست لایه‌های فرمت HDF با سطح پردازش MOD03

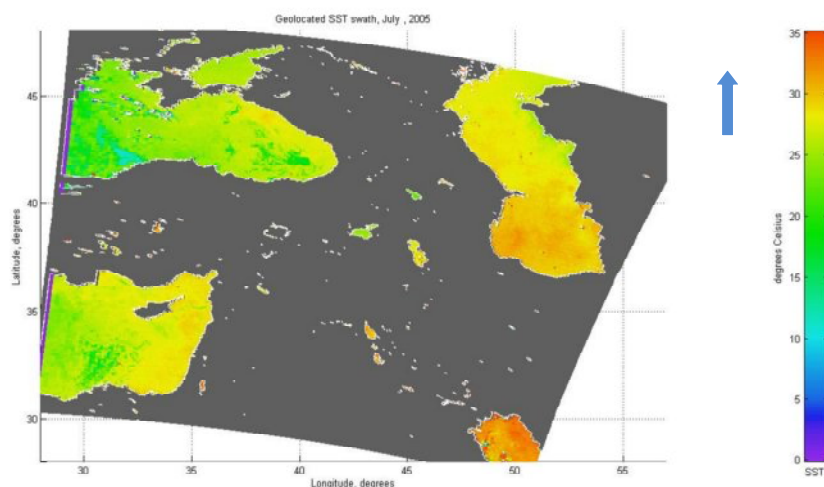
1	[16S] MODIS_Swath_Type_GEO; Height;
2	[16S] MODIS_Swath_Type_GEO; SensorZenith;
3	[16S] MODIS_Swath_Type_GEO; SensorAzimuth;
4	[16U] MODIS_Swath_Type_GEO; Range;
5	[16S] MODIS_Swath_Type_GEO; SolarZenith;
6	[16S] MODIS_Swath_Type_GEO; SolarAzimuth;
7	[8U] MODIS_Swath_Type_GEO; Land/SeaMask;
8	[8U] MODIS_Swath_Type_GEO; gflags;

بعد از قرائت این مشخصات و تبدیل مقادیر پیکسل‌ها به حرارت ظاهری (T) به‌وسیله رابطه (۴-۲۵) و قرار دادن در رابطه (۴-۲۴) و استفاده از ثابت‌های C_1 ، C_2 و C_3 ، به دمای پیکسل مورد نظر می‌رسیم و در نهایت نقشه دمای سطح دریا خزر تهیه می‌شود (شکل ۵-۱۸). باید توجه داشت که برای محاسبه حرارت ظاهری، محاسبه رادیانس لازم می‌باشد و محاسبه رادیانس نیز با استفاده از پارامترهای گین^۲ و آفست^۳ که به‌صورت اطلاعاتی است که در فرمت HDF قرار گرفته و در اختیار می‌باشد، انجام می‌گیرد.

1- Hierarchical Data Format

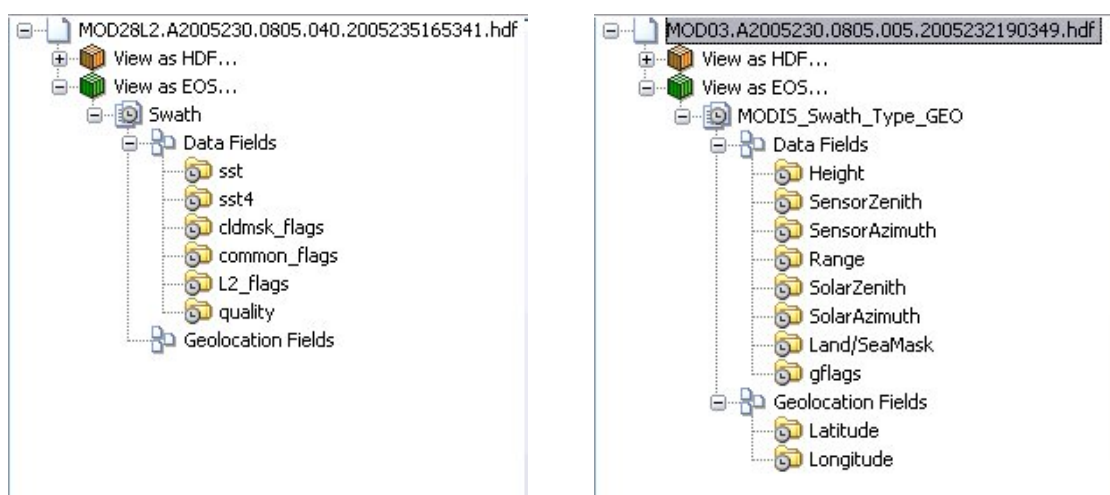
2- Gain

3- Offset



شکل ۵-۱۸- نقشه دمای سطح آب دریای خزر

باید توجه داشت که نقشه دمای سطح آب دریا، SST، به صورت یک محصول در دسترس می‌باشد و در فرمت HDF توسط مرکز فضایی آمریکا (NASA) و دیگر کشورهای دارای گیرنده قابل تهیه می‌باشد. برای این منظور باید از تصاویر دمای سطح دریا در فرمت HDF با دو مد MOD03 و MOD28L2 که لایه پردازشی مربوطه شامل زاویه زنیت ماهواره و دیگر اطلاعات ثبت شده هنگام تصویربرداری است، به همراه لایه‌های نقاط کنترل تصویر برای زمین مرجع نمودن آن، استفاده نمود. دیگر تصویر HDF مورد استفاده با مد MOD28L2 است که لایه‌های SST در آن وجود دارد (شکل ۵-۱۹).



ب

الف

شکل ۵-۱۹- تصویر HDF الف- MOD03. ب- MOD28L2.

۵-۴- تعیین حدود پیکره‌های تبخیری^۱ (پلایا)

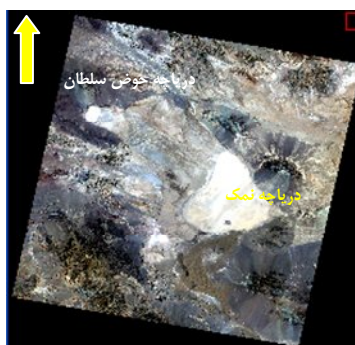
پیکره‌های تبخیری را می‌توان از طریق رفتار رنگی آنها تعیین نمود که به‌وسیله سنجش از دور نوری و روش طبقه‌بندی از دیگر عوارض قابل تفکیک می‌باشند.

۵-۴-۱- فرآوری تصاویر

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مختلف به منظور تعیین حدود پیکره‌های تبخیری مراحل برای آماده‌سازی دارد که برای تصاویر LANDSAT و MODIS متفاوت می‌باشد، این مراحل در زیر توضیح داده شده است.

۵-۴-۱-۱- تصویر ETM+

این فرآیند شامل آماده کردن تصویر ETM+ ماهواره Landsat و تصویر یک سنجنده دیگر نظیر داده یک کیلومتری سنجنده MODIS می‌باشد. ابتدا تصویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat 7 مربوط به تاریخ ۷ سپتامبر ۲۰۰۱ تهیه شد. منطقه تصویر شامل دریاچه نمک در جنوب شرق تهران و دریاچه حوض سلطان در ۳۵ کیلومتری شمال شرق قم می‌باشد. نمایی از این تصویر در شکل (۵-۲۰) قابل رویت است. این تصویر دارای سطح پردازشی L1G می‌باشد که با مراجعه به واژه نامه ماهواره Landsat در سایت ناسا [NASA WebPage, Glossary] مشخص می‌شود که در این داده تصحیحات هندسی و رادیومتریکی به صورت سیستماتیک انجام شده است و تصویر دارای سیستم مختصات UTM می‌باشد.



شکل ۵-۲۰- تصویر رنگ طبیعی سنجنده ETM+ ماهواره Landsat از منطقه دریاچه نمک و دریاچه حوض سلطان

۵-۴-۱-۲- تصویر MODIS

به دلیل نیاز به یک باند حرارتی متفاوت در سنجنده ETM+، استفاده از تصویر ماهواره MODIS که در تاریخ ۷ سپتامبر ۲۰۰۱ تصویربرداری شده است، از طریق پایگاه داده و سایت اینترنتی رنگ اقیانوس ناسا [NASA WebPage, Ocean] دریافت شده و مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز برای این امر دو فایل L1A و L2 بود که اولی شامل اطلاعات خام باندها و دومی شامل مشخصات طول و عرض جغرافیایی برای زمین مرجع کردن تصویر

می‌باشد. این داده‌ها با نام‌های T2001250073000.L2_LAC_SST.bz2 و T2001250073000.L1A_LAC.bz2 در پایگاه اینترنتی فوق موجود می‌باشند.

پس از باز کردن این فایل‌های زیپ شده، دو فایل با فرمت HDF حاصل خواهد شد. پردازش‌های لازم برای این دو داده به وسیله نرم‌افزار Envi صورت پذیرفت و مراحل آن به شرح زیر است.

گام ۱- نرم‌افزار Envi فعال شود.

گام ۲- در منوی File، گزینه Open Image File انتخاب شود.

گام ۱-۲- فایل L1A انتخاب شود.

گام ۲-۲- داده تصویر شب، EV_1km_night، انتخاب شود.

این داده شامل باندهای ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۱ و ۳۲ است و با اینکه اطلاعات ۱۰ باند در این داده ذخیره شده ولی دارای ۱۷ باند است (این رقم را می‌توان از ابعاد این داده $۱۴۰۰ \times ۱۷ \times ۲۰۸۰$ حدس زد، رقم ۱۴۰۰، تعداد سلول‌های تصویری در هر سطر و ۲۰۸۰ تعداد سطور تشکیل‌دهنده هر باند است). این به آن معنا است که تعدادی از باندها عاری از داده می‌باشند. جدول (۵-۲) توضیحی در مورد باندهای موجود در داده‌های خلاصه‌سازی شده L1A سنجنده MODIS در این پایگاه داده اینترنتی را ارائه می‌دهد.

جدول ۵-۲- مشخصات باندهای یک کیلومتری موجود در داده L1A به‌طور خلاصه از پایگاه اینترنتی داده رنگ اقیانوس

روز			شب		
شماره باند سنجنده MODIS	طول موج (مایکرومتر)	شماره باند در فایل L1A	شماره باند سنجنده MODIS	طول موج	شماره باند در فایل L1A
8	412	1-day	20	3.7	1-night
9	443	2-day	22	3.9	3-night
10	488	3-day	23	4	4-night
11	531	4-day	24	4.5	6-night
12	551	5-day	26	1.3	7-night
13lo ^۱	667	6-day	27	6.7	8-night
13hi ^۲	667	7-day	28	7.3	9-night
14lo	678	8-day	29	8.5	10-night
14hi	678	9-day	31	11	12-night
15	748	10-day	32	12	13-night
16	869	11-day			

گام ۱-۲-۲- از آنجایی که اطلاعات چندین باند تنها در یک داده ذخیره شده است باید برای نرم‌افزار تعیین شود که داده دارای چه فرمتی (BIP^۳، BIL^۴، BSQ^۵) می‌باشد. از آنجایی که ابعاد داده $۱۴۰۰ \times ۱۷ \times ۲۰۸۰$ است، این روش

1- Low Orbit

2- High Orbit

3- Band Interleaved by Pixel, A Set of Multi-Band Data With Respect to Each Pixel Arranged Spatially by Pixel Number and Line Number

4- Band Interleaved by Line, Line Data Are Arranged in the Order of Band Number and Repeated with Respect to Line Number

5- Band Sequential Image Data (Pixel Number and Line Number) of Each Band are Separately Arranged

قرارگیری به این مفهوم است که اطلاعات باندهای متفاوت به صورت خط به خط ذخیره شده‌اند و لذا باید گزینه BIL انتخاب شود.

گام ۳- در منوی File گزینه Open Image File انتخاب شود.

گام ۳-۱- فایل L2 انتخاب شود.

گام ۳-۲- دو داده مربوط به طول و عرض جغرافیایی با نام‌های Latitudes و Longitudes at Control Points انتخاب شود. برای انتخاب هر دوی آنها می‌توان از دکمه Ctrl بر روی صفحه کلید استفاده کرد. لازم به ذکر است که داده با سطح پردازشی ۲ که طول و عرض جغرافیایی از آن استخراج شد مربوط به SST^۱ بود که اندازه آن چنانچه در این قسمت قابل رویت باشد ۱۳۵۴×۲۰۳۰ است.

گام ۴- دو داده طول و عرض جغرافیایی باید با تصویر L1A از لحاظ ابعاد یکسان شوند. برای این منظور نیاز به یک تبدیل کانفورمال با یک مقیاس و دو جابجایی وجود دارد تا برای مثال داده $L1A \ ۱۴۰۰ \times ۱۷ \times ۲۰۸۰$ با دو فایل طول و عرض جغرافیایی با اندازه یکسان ۱۷۰×۲۰۳۰ ، یک اندازه شوند. به این منظور قسمت مقیاس باید بر اساس آنچه در گام ۳-۲ گفته شده از ۱۷۰ به ۱۳۵۴ و تعداد خطوط و مابقی سلول‌های تصویری در هر خط از انتهای داده ۱۴۰۰×۲۸۰۰ کم شود (گام (۳-۱-۵) در ادامه).

گام ۴-۱- در منوی Basic Tools گزینه Resize data(Spatial/Spectral) انتخاب شود.

گام ۴-۲- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

گام ۴-۳- فایل طول جغرافیایی (Longitude) انتخاب شود و رقم ۱۷۰ باید به ۱۳۵۴ تغییر داده شود.

گام ۴-۳-۱- نوع نمونه‌برداری مجدد، Bilinear انتخاب شود.

گام ۴-۳-۲- ذخیره نمودن داده‌ی حاصله در حافظه یا در فایل، اختیاری است.

گام ۴-۴- در منوی Basic Tools گزینه Resize data(Spatial/Spectral) انتخاب شود

گام ۴-۵- فایل عرض جغرافیایی انتخاب شود و رقم ۱۷۰ را به ۱۳۵۴ تغییر داده شود.

گام ۴-۵-۱- نوع نمونه‌برداری مجدد، Bilinear انتخاب شود.

گام ۴-۵-۲- ذخیره نمودن داده حاصله در حافظه یا در فایل اختیاری است.

گام ۵- برای انجام فرآیند زمین مرجع کردن تصویر باید در منوی Map و در گزینه Georeference from Input Geometry، گزینه Georeference from IGM اجرا شود.

گام ۵-۱- ابتدا فایل اصلی تصویر از کاربر خواسته می‌شود که:

گام ۵-۱-۱- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

گام ۵-۱-۲- باندی حرارتی مناسب را از میان ۱۷ باند EV_1km_night که در آن باند ۲۹ سنجنده MODIS با طول موج ۸/۵ میکرو متر است، انتخاب شد که سیزدهمین باند داده EV_1km_night (براساس آنچه در گام ۲-۲ ذکر شد) می‌باشد.

گام ۵-۱-۳- گزینه Spatial Subset انتخاب شود و در مقابل Sample، قسمت To و NS هر دو با رقم ۱۳۵۴ که همان تعداد سلول‌های تصویری داده طول و عرض جغرافیایی است پر شود و در مقابل Lines، قسمت To و NL هر دو با رقم ۲۰۳۰ که همان تعداد سلول‌های تصویری داده طول و عرض جغرافیایی است پر شود.

گام ۵-۲- فایل مولفه x مختصات از کاربر خواسته می‌شود که با اعمال گام ۲-۴ در جهت سهولت انتخاب فایل تغییر یافته طول جغرافیایی انتخاب می‌شود.

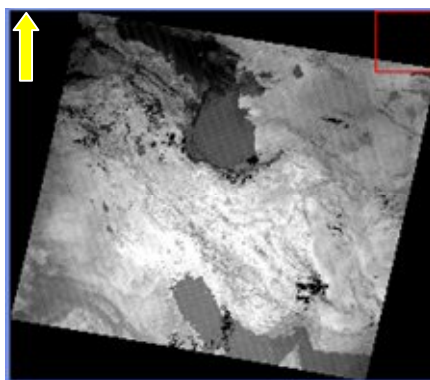
گام ۵-۳- فایل مولفه y مختصات از کاربر خواسته می‌شود که با اعمال گام ۲-۴ در جهت سهولت انتخاب فایل تغییر یافته، عرض جغرافیایی انتخاب می‌شود.

گام ۵-۴- سیستم مختصات اولیه و ثانویه از کاربر خواسته می‌شود که در این مورد نیازی به تغییر در این صفحه نیست.

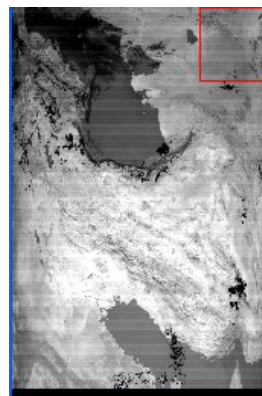
گام ۵-۵- مکان ذخیره‌سازی برای فایل GLT^۱ و برای تصویر زمین مرجع شده، تعیین شود.

گام ۵-۶- زوایه دوران^۲ که در قسمت GLT دیده می‌شود باید برابر صفر گردد و برنامه اجرا شود. نتیجه حاصله،

تصویری زمین مرجع شده با سیستم مختصات UTM خواهد بود (شکل ۵-۲۱).



ب



الف

شکل ۵-۲۱- الف- تصویر خام باند ۲۹ سنجنده MODIS ب- تصویر زمین مرجع شده

1- Geographic Lookup Table

2- Rotation

۵-۴-۲- ایجاد فضای سه باندی HSI

طبق آنچه در بخش (۴-۱۱-۲) تحت عنوان روش‌هایدن ذکر شد، از باندهای ۴ و ۶ سنجنده Landsat و باندی حرارتی از سنجنده MODIS (مانند باند ۲۹) برای تشکیل فضای رنگی فام - شدت - اشباع (HSI)^۱ استفاده به‌عمل آمد که در ادامه عملیات این داده‌ها در فضای نرم‌افزار Envi فعال شدند.

۵-۴-۲-۱- کشش هیستوگرام^۲

برای انجام ترکیب رنگی فوق لازم است داده فام، دارای دامنه‌ای برابر ۰ تا ۳۶۰ درجه و داده‌های شدت و اشباع هرکدام دارای دامنه‌ای برابر ۰-۱ باشند، لذا باید آنها را با کشش هیستوگرام مطابق گام‌های زیر آماده نمود.

- گام ۱- در منوی Basic Tools گزینه Stretch Data انتخاب شود.
- گام ۲- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۳- باند ۶ سنجنده Landsat انتخاب شود.
- گام ۴- در فضاهای خالی زیر Output Data Range برای Min، رقم صفر و برای Max، رقم ۳۶۰ انتخاب شود.
- گام ۵- مکان ذخیره‌سازی برای داده فام تعیین شود.
- گام ۶- در منوی Basic Tools گزینه Stretch Data انتخاب شود.
- گام ۷- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۸- باند ۴ سنجنده Landsat انتخاب شود.
- گام ۹- در فضاهای خالی زیر Output Data Range برای Min، رقم صفر و برای Max، رقم یک انتخاب شود.
- گام ۱۰- مکان ذخیره‌سازی برای داده اشباع تعیین شود.
- گام ۱۱- در منوی Basic Tools، گزینه Stretch Data انتخاب شود.
- گام ۱۲- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۱۳- باند حرارتی زمین مرجع شده سنجنده MODIS (باند ۲۹) انتخاب شود.
- گام ۱۴- در فضاهای خالی زیر Output Data Range برای Min، رقم صفر و برای Max، رقم یک انتخاب شود.
- گام ۱۵- مکان ذخیره‌سازی برای داده شدت تعیین شود.

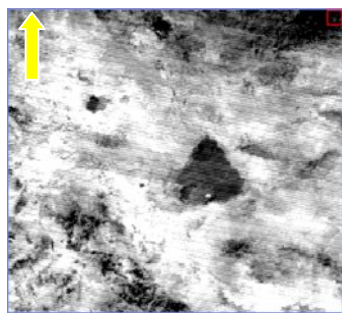
۵-۴-۲-۲- تشکیل تصویر ۳ باندی

برای این‌که بتوان تصاویر باندهای مختلف را به‌صورت یک تصویر سه‌باندی مشاهده نمود، لازم است موارد زیر انجام شود.

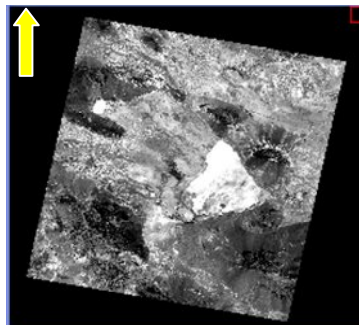
گام ۱- در منوی Basic Tools باید گزینه Layer Stacking انتخاب شود.

1- Hue-Saturation-Intensity
2- Histogram Stretching

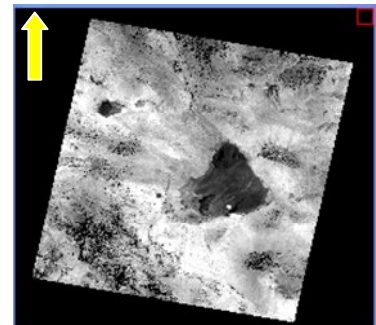
- گام ۲- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۳- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۴- باند ۶ کشیده شده سنجنده Landsat انتخاب شود.
- گام ۵- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۶- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۷- باند ۴ کشیده شده سنجنده Landsat انتخاب شود.
- گام ۸- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۹- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۱۰- باند زمین مرجع و کشیده شده حرارتی (۲۹) سنجنده MODIS انتخاب شود.
- گام ۱۱- گزینه Exclusive: range encompasses file overlap انتخاب شود. این گزینه باعث می‌شود تا فصل مشترک ۳ باند از لحاظ مکانی ذخیره شود.
- گام ۱۲- اگر X Pixel Size و Y Pixel Size رقمی متفاوت با ۲۸/۵ متر که همان قدرت تفکیک مکانی سنجنده ETM+ ماهواره Landsat، بود این ارقام باید تصحیح شوند.
- گام ۱۳- مکان ذخیره‌سازی برای ترکیب ۳ باند تعیین شود.
- شکل (۵-۲۲) نمایی از این ۳ باند را به صورت جداگانه نمایش می‌دهد.



ج



ب



الف

شکل ۵-۲۲- تصاویر باندهای مورد نیاز جهت تعیین پیکره‌های تبخیری. الف- باند ۶ سنجنده ETM+ ب- باند ۴ سنجنده ETM+ ج- تصویر قطع شده و نمونه‌برداری مجدد شده به ۲۸/۵ متری، باند ۲۹ سنجنده MODIS.

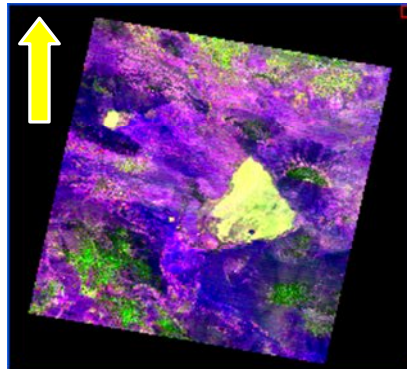
۵-۴-۲-۳- تشکیل فضای رنگی HSI

مراحل تشکیل فضای رنگی HSI از طریق اجرای گام‌های زیر میسر است:

- گام ۱- در منوی Transform در داخل گزینه Color Transforms، گزینه HSI to RGB باید انتخاب گردد.
- گام ۲- در تصویر ۳ باندهای حاصل از گام (۴-۱۱-۲) باند اول (باند ۶) برای H، باند دوم (باند ۴) برای I و باند سوم (حرارتی MODIS) برای S انتخاب گردد.

گام ۳- مکان ذخیره‌سازی برای شکل RGB فضای رنگی HSI باید تعیین شود.

گام ۴- ترکیب رنگی حاصل معکوس است و با نمایش B-G-R به جای R-G-B می‌توان پلایاها را که به رنگ زرد قابل رویت است تشخیص داد.



شکل ۵-۲۳- ترکیب رنگی HSI پلایاها به رنگ زرد.

۵-۴-۳- تفکیک پلایا

برای این تفکیک می‌توان به‌وسیله بردارها و به روش دستی، مناطق زرد رنگ تصویر را که کاملاً از دیگر مناطق متمایز است، جدا نمود و نتیجه را به عنوان یک داده برداری تهیه کرد که بعدها می‌تواند در GIS مورد استفاده قرار گیرد. برای این کار انجام گام‌های زیر ضروری است.

گام ۱- در منوی Basic Tools و در گزینه Region Of Interest، گزینه ROI Tool انتخاب گردد.

گام ۲- با انتخاب پنجره مناسب در ROI Tool، حاشیه منطقه پلایا به دقت در تصویر با کلیک کردن دکمه سمت چپ Mouse توسط کاربر مشخص می‌شود.

گام ۳- وقتی تمامی حاشیه تعیین شد، با کلیک سمت راست Mouse، بردار بسته می‌شود.

گام ۴- حال می‌توان به دقت بیش‌تر و با تعویض پنجره دید نقاط منحنی را بهتر ویرایش نمود.

گام ۵- وقتی ویرایش به پایان رسید یک کلیک راست دیگر کافی است تا محیط منطقه به صورت برداری آماده گردد.

گام ۴- در منوی File صفحه ROI Tool، گزینه Export ROIs to Shapefile را انتخاب کرده و داده برداری به فرمت Shapefile تبدیل می‌شود.

۵-۵- تهیه نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی

این نمونه تحقیقاتی قسمتی از عملیات پروژه تعیین پوشش طبیعی و کاربری اراضی مربوط به استان آذربایجان شرقی بود که توسط مشاورین یکم به عنوان جزیی از تعیین حد حریم و بستر رودخانه‌های این استان صورت گرفته است.

جهت تهیه نقشه پوشش طبیعی و کاربری اراضی رعایت نمودن یکی از استانداردهای مربوطه از جمله استاندارد USGS می‌باید مد نظر قرار گیرد. بر این اساس در کار عملی انجام شده، هفت کلاس اطلاعاتی شامل کلاس‌های منابع

آب، نواحی شهری، زمین‌های بایر، جنگل، زمین‌های کشاورزی دیم، زمین‌های کشاورزی آبی و مراتع (ابر، سایه، مرتع، اراضی بایر، مناطق صخره‌ای، نمکزار، آب، کشت دیم، کشت آبی و مناطق شهری) در نظر گرفته شده است که مراحل انجام کار عملی زیر تشریح می‌شوند.

۱- منابع آب

مناطق آبی شامل هر پیکره آبی اعم از رودخانه‌های دائمی و فصلی و دریاچه‌های دائمی و فصلی بود و چنانچه در نمودار مراحل به کار رفته در شکل (۵-۲۴) دیده می‌شود قسمت اعظم آن به روش حد آستانه قبل از طبقه‌بندی تفکیک شد.

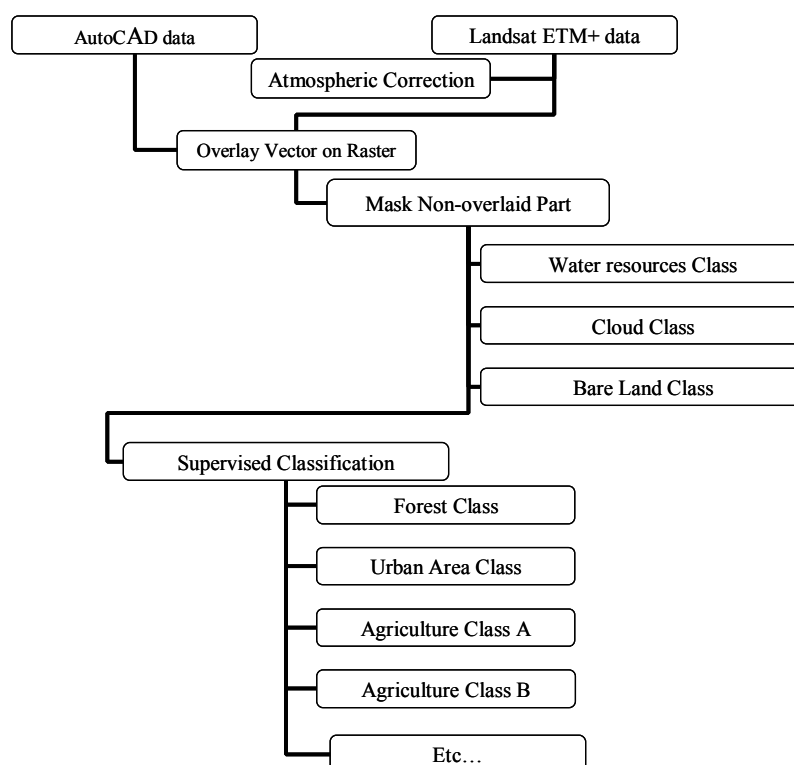
۲- نواحی شهری

این مناطق توسط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از باند سیاه و سفید ۱۵ متری سنجنده ETM+ شناسایی و با رسم چندضلعی‌هایی به دور آنها تعیین شدند.

۳- زمین‌های بایر

زمین‌های بایر با توجه به تعریف USGS تعیین شد.

۴- جنگل، زمین‌های کشاورزی دیم، زمین‌های کشاورزی آبی و مراتع توسط طبقه‌بندی تعیین می‌شود (در تصویر مورد بحث وجود ندارد).



شکل ۵-۲۴- الگوریتم مراحل به کار برده شده برای تفکیک مناطق آبی

لازم به ذکر است که جهت انجام طبقه‌بندی در زمان‌های متفاوت از یک منطقه، انجام تصحیحات اتمسفری مطلق لازم می‌باشد. در صورت عدم انجام تصحیح اتمسفری مطلق بر روی یکایک تصاویر، تصحیح اتمسفری نسبی نسبت به یک تصویر مبنا اجباری است.

در این نمونه عملی چون پنج تصویر کل منطقه را تحت پوشش قرار داده بود و تصحیح مطلق اتمسفری به دلیل نداشتن پارامترهای جوی میسر نبود، لذا یک تصویر به عنوان مبنا انتخاب شده و مابقی تصاویر نسبت به آن تصحیح اتمسفری نسبی شدند. مرحله Overlay Vector on Raster نیز در طبقه‌بندی تصاویر همسایه این تصویر صورت پذیرفت.

فرآوری تصاویر شامل آماده کردن تصویر ETM+ ماهواره Landsat می‌باشد. ابتدا تصویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat 7 مربوط به تاریخ ۲۷ جولای ۲۰۰۲ تهیه شد. منطقه تصویر شامل قسمت شمالی دریاچه ارومیه بود و دریاچه سد ارس کمی بالاتر از مرکز تصویر در شکل (۵-۲۵) قابل رویت است. این تصویر دارای سطح پردازشی L1G می‌باشد که با مراجعه به لغت‌نامه ماهواره Landsat در سایت ناسا مشخص می‌شود که در این داده، تصحیحات هندسی و رادیومتریکی به صورت سیستماتیک انجام شده است و تصویر دارای سیستم مختصات UTM می‌باشد.

داده این تصویر که در Path شماره ۱۶۹ و Row شماره ۳۳ ماهواره Landsat قرار دارد (یک سیستم تعیین موقعیت مداری برای تعیین حدود منطقه) دارای باندهای اطلاعاتی زیر می‌باشد.

- L71169033_03320020727_B10
- L71169033_03320020727_B20
- L71169033_03320020727_B30
- L71169033_03320020727_B40
- L71169033_03320020727_B50
- L71169033_03320020727_B61
- L71169033_03320020727_B62
- L71169033_03320020727_B70
- L71169033_03320020727_B80

که باند ۸ همان باند سیاه و سفید سنجنده ETM+ است که قدرت تفکیک مکانی آن ۱۵ متر است. باند ۶ این سنجنده که باند فروسرخ حرارتی است دارای دو مقدار متفاوت برای هر پیکسل است که نشان‌گر کم‌ترین (باند ۶۱) و بیش‌ترین (باند ۶۲) رقم حس شده توسط آشکارساز فروسرخ حرارتی این سنجنده است و یکی از این دو باند باید به عنوان باند ۶ انتخاب شود که به دلیل استفاده نشدن از این باند، در این متن، از بحث پیرامون آن خودداری به عمل آمد. مراحل کار انجام شده در تهیه نقشه کاربری اراضی به شرح زیر می‌باشد:

۵-۵-۱- تشکیل تصویر ۷ باندهای

گام ۱- نرم‌افزار ER Mapper فعال شود.

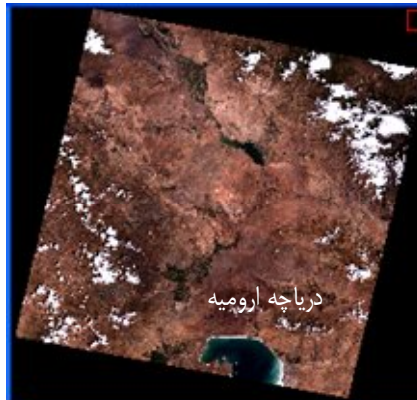
گام ۲- در منوی File، گزینه Open انتخاب شود.

گام ۳- فایل باند ۱ انتخاب شود.

- گام ۴- در منوی File، گزینه ... Open into New Surface انتخاب شود.
- گام ۵- فایل باند ۲ انتخاب شود.
- گام ۶- در منوی File، گزینه ... Open into New Surface انتخاب شود.
- گام ۷- فایل باند ۳ انتخاب شود.
- گام ۸- در منوی File، گزینه ... Open into New Surface انتخاب شود.
- گام ۹- فایل باند ۴ انتخاب شود.
- گام ۱۰- در منوی File، گزینه ... Open into New Surface انتخاب شود.
- گام ۱۱- فایل باند ۵ انتخاب شود.
- گام ۱۲- در منوی File، گزینه ... Open into New Surface انتخاب شود.
- گام ۱۳- فایل باند ۶ (L71169033_03320020727_B61) انتخاب شود.
- گام ۱۴- در منوی File، گزینه ... Open into New Surface انتخاب شود.
- گام ۱۵- فایل باند ۷ انتخاب شود.
- گام ۱۶- در منوی File، گزینه Algorithm انتخاب شود.
- گام ۱۷- نام سطوح^۱ به ترتیب ۱ تا باند ۷ نامگذاری شود. در پنجره Algorithm باز شده، به اشیایی که علامت  را داشته باشند اصطلاحاً سطح گفته می‌شود.
- گام ۱۸- نام هر تک لایه در سطح، همانام با نام آن سطح شود. در پنجره Algorithm، به اشیایی که علامت ، یا نظیر آنرا داشته باشند اصطلاحاً لایه^۲ گفته می‌شود.
- گام ۱۹- در منوی File، گزینه Save As انتخاب شود.
- گام ۲۰- نامی برای ذخیره داده انتخاب شود و نوع داده (ER Mapper Raster Dataset(.ers) انتخاب شود.
- گام ۲۱- نوع Output Type، Multi layer انتخاب شود.
- گام ۲۲- نوع Data Type، Unsigned 8BitInteger انتخاب شود.
- گام ۲۳- باید دقت شود که اندازه تصویر حدود ۴۰۰ مگابایت شود.
- گام ۲۴- در مقابل هر دوی Maintain aspect ratio و Delete output transforms، علامت تایید زده شود.

1- Surface

2- Layer



شکل ۵-۲۵- تصویر طبیعی سنجنده ETM+ ماهواره Landsat بخشی از منطقه دریاچه ارومیه، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و دریاچه سد ارس

۵-۵-۲- حذف نمودن ابرها

در این مرحله فرض بر این است که تصویر هفت بانندی حاصل از بخش (۵-۵-۱) باز است، برای حذف ابر کافی است در منوی File، گزینه Open انتخاب شده و فایل هفت بانندی باز شود که حاصل یک نمای RGB با سه باند برای هر یک از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی به وجود آورنده تصویر خواهد بود.

گام ۱- در منوی File، گزینه Algorithm انتخاب شود.

گام ۲- در منوی Toolbars، گزینه Remote Sensing انتخاب شود. با این عمل یک خط به منوهای تصویری

ER Mapper اضافه می‌شود (تصاویر ۵-۵-۳).

گام ۳- در منوی Remote Sensing، دکمه Highlight Cloud (تصاویر ۵-۵-۴) انتخاب شود. با انجام این کار تصویر سیاه و سفید تک بانندی دیده خواهد شد که مناطق ابری آن به رنگ سفید و دیگر مناطق همه به رنگ سیاه دیده خواهند شد.

گام ۴- در منوی File، گزینه Algorithm انتخاب شود.

گام ۵- برای دقیق نمودن حد آستانه بر روی دکمه Formula ($E=mc^2$) کلیک کرده و پنجره Formula Editor ظاهر خواهد شد که در آن رابطه (۵-۱) قابل مشاهده است.

(۵-۱)
$$\text{IF}(I1/I2 > 1.70) \text{ THEN } 255 \text{ ELSE } 0$$

در رابطه فوق باید مقدار $1/70$ را تا سرحد حذف مناسب ابرها تغییر داد. این رقم از تصویری به تصویر دیگر متفاوت است و دلیل دقیق نبودن آن عدم انجام تصحیح اتمسفری مطلق می‌باشد. مثلاً برای تصویر ۳۳-۱۶۹ روز ۲۷ جولای سال ۲۰۰۲، این حد آستانه باید برابر ۱ در نظر گرفته شود و رابطه فوق برای حذف مناطق ابری به صورت رابطه (۵-۲) در می‌آید:

(۵-۲)
$$\text{If } (I1/I2 > 1) \text{ THEN null ELSE } I3$$

در مقابل I3، باند ۱ انتخاب می‌شود.

گام ۶- از سطح حاصل از گام (۴) به وسیله دکمه Copy (تصاویر ۵-۵-۶) کپی نموده و سپس ۶ بار Paste (تصاویر ۵-۵-۷) می‌نماید تا

بتوان نظیر آنچه در بخش (۵-۵-۱)، گفته شد تصویری عاری از ابر که دارای ۷ باند باشد تشکیل داد.

گام ۷- در هر یک از ۶ باند دیگر، ارقام ۲ تا ۷ هم برای لایه و هم برای سطح نامگذاری و در مقابل I3 هر لایه، باند همنام با آن لایه انتخاب گردد.

گام ۸- در منوی File، گزینه Save As انتخاب شود.

گام ۹- نامی برای ذخیره داده انتخاب شود و نوع داده (ER Mapper Raster Dataset(.ers انتخاب شود.

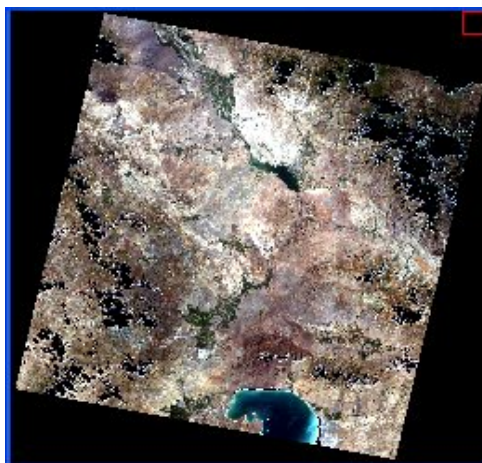
گام ۱۰- نوع Output Type، Multi layer انتخاب شود.

گام ۱۱- نوع Data Type، Unsigned 8BitInteger انتخاب شود.

گام ۱۲- باید دقت شود که اندازه تصویر حدود ۴۰۰ مگابایت شود.

گام ۱۳- در مقابل هر دوی Maintain aspect ratio و Delete output transforms، علامت تایید زده شود.

تصویر (۲۶-۵) نمایی از تصویر (۲۵-۵) را زمانی که ابر به روش فوق حذف شده باشد نمایش می‌دهد.



شکل ۵-۲۶- تصویر شکل ۵-۲۵ عاری شده از ابر شده

۵-۳- حذف منابع آب

در این مرحله فرض بر این است که تصویر هفت باندي بدون ابر حاصل از بخش (۲-۵-۵) باز است. برای انجام این کار کافی است در منوی File، گزینه Open انتخاب شده و فایل هفت باندي بدون ابر باز شود که حاصل یک نمای RGB خواهد بود که ابرها به رنگ سیاه دیده می‌شوند.

گام ۱- در منوی File، گزینه Algorithm انتخاب شود.

گام ۲- در منوی Toolbars، گزینه Remote Sensing انتخاب شود.

گام ۳- در منوی Remote Sensing، تصویر آب انتخاب شود. با انجام این کار تصویر سیاه و سفید تک باندي دیده

خواهد شد که منابع آب آن به رنگ سفید و سایر مناطق همه به رنگ سیاه دیده خواهند شد.

گام ۴- در منوی File، گزینه Algorithm انتخاب شود.

گام ۵- برای دقیق نمودن حد آستانه بر روی دکمه $(E=mc^2)$ Formula کلیک کرده و پنجره Formula Editor ظاهر خواهد شد که در آن رابطه (۳-۵) قابل مشاهده است.

$$\text{if}(i1/i2 < 1.7) \text{ THEN } 255 \text{ ELSE } 0 \quad (3-5)$$

در رابطه فوق باید مقدار $1/7$ را تا حد حذف مناسب منابع آب تغییر داد. این رقم از تصویری به تصویر دیگر متفاوت است و دلیل دقیق نبودن آن عدم تصحیح اتمسفری مطلق می‌باشد. مثلاً برای تصویر ۳۳-۱۶۹ روز ۲۷ جولای سال ۲۰۰۲، رابطه فوق برای حذف پیکره‌های آبی به صورت رابطه (۴-۵) در می‌آید:

$$\text{If } (i1/i2 < 1.0) \text{ THEN null ELSE I3} \quad (4-5)$$

در مقابل I3، باند ۱ انتخاب شود.

گام ۶- از سطح حاصل از گام (۴) به وسیله دکمه Copy (کپی نموده و سپس ۶ بار Paste) می‌نماید تا بتوان نظیر آنچه در بخش (۵-۵-۲). گفته شد تصویری که دارای هفت باند باشد تشکیل داد. گام ۷- در هر یک از ۶ باند دیگر، ارقام ۲ تا ۷ هم برای لایه و هم برای سطح نامگذاری گردیده و در مقابل I3 هر لایه، باند همنام با آن لایه انتخاب گردد.

گام ۸- در منوی File، گزینه Save As انتخاب شود.

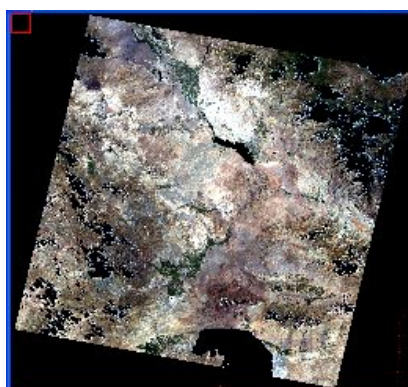
گام ۹- نامی برای ذخیره داده انتخاب شود و نوع داده (ers) ER Mapper Raster Dataset انتخاب شود.

گام ۱۰- نوع Output Type، Multi layer انتخاب شود.

گام ۱۱- نوع Data Type، Unsigned 8BitInteger انتخاب شود.

گام ۱۲- باید دقت شود که اندازه تصویر حدود ۴۰۰ مگابایت شود.

گام ۱۳- در مقابل هر دوی Maintain aspect ratio و Delete output transforms، علامت تایید زده شود.



شکل ۵-۲۷- تصویر ۵-۲۵ عاری شده از ابر و پیکره‌های آبی

۵-۴-۵- طبقه‌بندی بدون نظارت

پیش فرض آغاز این مرحله، باز بودن تصویر عاری از ابر و آب است. علت حذف این دو نوع عارضه در تصویر، در درجه اول گستره زیاد طیفی و مکانی ابر است که باعث می‌شود این عارضه کلاس‌های متعددی را به خود نسبت دهد و باعث

عدم توازن در تعداد کلاس‌های دیگر گردد و در درجه دوم قابل تفکیک بودن ابر و آب از دیگر عوارض به دلیل رفتار خاص طیفی آنها می‌باشد.

۵-۴-۱- محاسبه آمار

گام ۱- در منوی Process، گزینه Calculate Statistics انتخاب شود.

گام ۲- مقدار Subsampling Interval را می‌توان ۱ در نظر گرفت.

۵-۴-۲- طبقه‌بندی ISOCLASS

گام ۱- در منوی Process و در گزینه Classification، گزینه ISOCLASS Unsupervised Classification... انتخاب شود.

گام ۱-۱- در پنجره Unsupervised Classification در مقابل Input Dataset، آدرس فایل عاری از آب و ابر انتخاب شود.

گام ۱-۲- باندهای مورد استفاده ترکیب رنگی برای مثال (۷،۴،۱) انتخاب شود

گام ۱-۳- نام و مکان ذخیره‌سازی طبقه‌بندی حاصل در مقابل Output Dataset، نوشته یا انتخاب شود.

گام ۱-۴- در مقابل Autogenerate، تعداد ۴۰ کلاس برای مثال انتخاب شود.

گام ۱-۵- در مقابل Maximum iterations، تعداد ۲۰ تکرار انتخاب شود.

گام ۱-۶- در مقابل Desired percent unchanged، رقم ۸۰٪ انتخاب شود.

گام ۱-۷- در مقابل Sampling row interval، رقم ۳ پیکسل در میان انتخاب شود.

گام ۱-۸- در مقابل Sampling column interval، رقم ۳ پیکسل در میان انتخاب شود.

گام ۱-۹- تعداد حداکثر کلاس‌های مناسب برای اولین طبقه‌بندی‌ها معمولاً ۶۰ کلاس است لذا در برابر Maximum number of classes، رقم ۶۰ انتخاب شود.

گام ۱-۱۰- تعداد حداقل اعضای کلاس در مقابل Minimum members in a class(%) برابر ۰/۰۱ درصد کل پیکسل‌ها انتخاب شود.

گام ۱-۱۱- مقدار حداکثر انحراف معیار، برابر ۳/۵ در نظر گرفته شود که برای این کار باید در برابر Maximum standard deviation، این رقم را وارد نمود.

گام ۱-۱۲- مقدار Split separation value: را می‌توان نصف مقدار کم‌ترین فاصله بین دو کلاس در نظر گرفت. برای مثال رقم ۱/۵ مناسب است.

گام ۱-۱۳- به عنوان مقدار کم‌ترین فاصله بین میانگین دو کلاس در برابر Min. distance between two class means می‌باید رقم ۳ را انتخاب کرد. با انتخاب دکمه Ok، طبقه‌بندی انجام می‌شود.

گام ۲- تصویر طبقه‌بندی شده، حاصل را باز نموده و در منوی File، گزینه Algorithm انتخاب شود.

گام ۳- بر روی لایه طبقه‌بندی شده کلیک راست کرده و Class Display انتخاب شود.

۵-۴-۳- نامگذاری کلاس‌ها

برای نامگذاری تعداد زیادی کلاس مانند حداکثر ۶۰ کلاسی که در بخش (۵-۴-۲) حاصل شد، یکی از بهترین روش‌ها که در نرم‌افزار ER Mapper در اختیار کاربر قرار داده شده، اختصاص رنگ به کلاس‌ها با توجه به مقادیر سلول‌های تصویری آنها می‌باشد.

گام ۱- در منوی Process و در گزینه Classification، گزینه Edit Class/Region Color and Name انتخاب شود.

گام ۲- گزینه Auto-gen colors... در پنجره Edit Class/Region Details، انتخاب شود.

گام ۱-۲- در پنجره Auto-gen colors، باندهای مناسب (Red Band:7, Green Band:4, Blue Band: 1)، انتخاب شود و سپس دکمه Auto-gen زده شود.

پس از این کار نتیجه عملیات به مهارت کاربر در شناسایی عوارض زمینی، به خصوص عناصر تفسیر عکس، بستگی دارد. مثلاً یک مفسر خوب می‌داند که در ترکیب رنگی (۴،۳،۲) گیاهان با ته رنگ‌های قرمز قابل مشاهده بوده ولی در بین اراضی آبی به رنگ قرمز روشن‌تر دیده می‌شوند، درحالی‌که این گیاهان در اراضی دیم بدین ترتیب نمی‌باشند، مگر در مناطقی که اخیراً دارای بارش بوده‌اند، این مورد برای تصاویر ماه تابستان امری نادر می‌باشد. بر فرض آنکه کاربر تشخیص دهد کلاس خاصی مربوط به عارضه‌ای خاص است، می‌توان از روش زیر برای نامگذاری آن کلاس استفاده کند.

گام ۳- در پنجره Edit Class/Region Details، در مقابل رقم اختصاص داده شده به کلاس، نام آن به انگلیسی نوشته شود مثلاً برای کلاس‌های مورد استفاده در این پروژه می‌توان از نام‌های ارائه شده در جدول (۵-۴) استفاده نمود.

جدول ۵-۴- کلاس‌های مورد استفاده در پروژه

نام فارسی	نام لاتین
ابر	Cloud
سایه	Shadow
مرتع	Ranch
ارضای بایر	Bareland
مناطق صخره‌ای	Baren
نمکزار	Salt
آب	Water
کشت آبی	Farm (Irrigated)
کشت دیم	Farm (rain fed)
مناطق شهری	Commercial and Residential land

۵-۵-۵- طبقه‌بندی نظارت شده

انجام طبقه‌بندی‌های بدون نظارت متعدد، برای تهیه هسته‌های مناسب کلاس‌ها، جهت استفاده به عنوان مناطق آموزشی لازم بود. حال با داشتن مناطق آموزشی، طبقه‌بندی نظارت شده قابل اجرا است. این عمل به شرح زیر صورت پذیرفت.

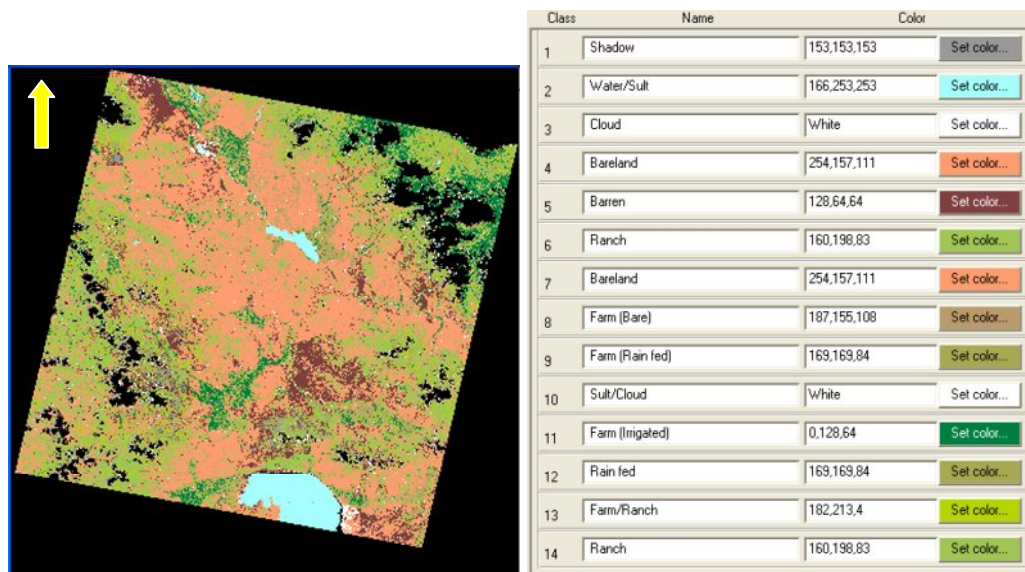
گام ۱- در منوی Process و در گزینه Classification، گزینه Supervised Classification... انتخاب شود.

گام ۱-۱- در مقابل Input Dataset، فایل منطقه مورد نیاز برای طبقه‌بندی نظارت شده انتخاب شود.

گام ۱-۲- یک ترکیب رنگی با توجه به هدف طبقه‌بندی نظارت شده در حال انجام انتخاب شود. مثلاً ترکیب رنگی (۴،۳،۲) برای تفکیک عوارض دیم و غیر دیم انتخاب شود.

گام ۱-۳- مکان و نام مناسب برای ذخیره‌سازی داده طبقه‌بندی انتخاب شود.

گام ۱-۴- نوع طبقه‌بندی Maximum Likelihood Enhanced برای نمونه می‌تواند انتخاب شود. انتخاب نوع طبقه‌بندی نیز به مهارت و دانش کاربر وابسته است برای مثال اگر میزان اطلاعات جانبی مانند مناطق آموزشی کم باشند یا قابل اعتماد نباشند نمی‌توان از طبقه‌بندی Maximum Likelihood استفاده نمود و بهتر است از روش‌هایی با توان آماری کم‌تر نظیر Minimum Distance استفاده شود. چون طبقه‌بندی‌های متعدد و مناسبی در مرحله طبقه‌بندی بدون نظارت صورت پذیرفته بود و نمونه‌های آموزشی مناسب توسط نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ منطقه تایید شده بود و با طبقه‌بندی کلی USGS ذکر شده در بخش تعیین رطوبت خاک همخوانی داشت لذا طبقه‌بندی قوی نظیر Maximum Likelihood Enhanced قابل اجرا بود. در نهایت تصویر به ۱۴ کلاس اصلی تقسیم شد که تعدادی از آنها ترکیب دو یا چند کلاس بودند که تفکیک آنها را عملاً غیر ممکن ساخته بود. در حوضه حریم بستر هر رودخانه نام مناسب برای این کلاس‌های خاص تعیین شد. شکل (۵-۲۸) نمایی از طبقه‌بندی نهایی، نام و رنگ کلاس‌ها می‌باشد.



شکل ۵-۲۸- طبقه‌بندی نهایی و نام کلاس‌ها برای تصویر ۳۳-۱۶۹ سنجنده ETM+ ماهواره Landsat

۵-۵-۶- نمونه‌برداری زمینی

دقت طبقه‌بندی فوق با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفته و قابل قبول شناخته شد.

۵-۵-۷- انتقال اطلاعات به ArcGIS

در نرم‌افزار ER Mapper با وجود انتخاب‌های متعدد برای انتقال داده به یک سیستم GIS، بهترین روش تهیه داده‌ای به فرمت GeoTiff از طبقه‌بندی می‌باشد.

- گام ۱- در منوی File، گزینه Save As انتخاب شود.
- گام ۲- نامی برای ذخیره داده انتخاب شود و نوع داده، GeoTIFF/TIFF (tif) انتخاب شود.
- گام ۳- نوع Grayscale.Output Type انتخاب شود.
- گام ۴- در مقابل هر دوی Maintain aspect ratio و Delete output transforms، علامت تایید زده شود. باید دقت شود که اندازه تصویر حدود ۶۰ مگابایت شود.
- گام ۵- حال با اجرای نرم‌افزار ArcGIS، کلاس‌ها را با توجه به شماره آنها تفکیک نموده و دیگر اعمال آماده‌سازی و کارتوگرافی نقشه برای تهیه یک خروجی وفق GIS^۱ انجام می‌شود که شامل قرار دادن طبقه‌بندی بر روی یک تصویر واقعی از منطقه است که برای مثال می‌تواند باند سیاه و سفید (باند ۸) همین تصاویر باشد.

۵-۶- برآورد رطوبت خاک به وسیله سنجنده AMSR-E

آنچه در این کار عملی برآورد رطوبت خاک به وسیله سنجنده دارای AMSR-E ذکر شده بر اساس یک داده نمونه که در سایت JAXA^۲ موجود بود، انجام شد ولی از آنجایی که مورد دیگری که هم داده خام و هم محصول نهایی در اختیار باشد. برای سنجنده‌های مایکروویو یافت نشد، لذا برای نشان دادن قابلیت این سنجنده‌ها با اینکه برخی مراحل میانی به دلیل عدم دسترسی به آن داده‌ها وجود نداشت انجام شد. اطلاعات فوق از سایت (EORC، ۲۰۰۷) اخذ گردید. مراحل مختلف کار عملی انجام شده در زیر تشریح می‌گردد.

۵-۶-۱- مرحله اول: فرآوری تصاویر و داده‌های جانبی

این فرآیند شامل آماده کردن تصویر AMSR-E و داده‌های جانبی می‌باشد که شامل داده پوشش گیاهی GLCC^۳ و داده نسبت خاک Webb (نوعی نام‌گذاری خاک) است.

۵-۶-۱-۱- تصویر AMSR-E

تصویر این سنجنده که توسط Jaxa تهیه شده است می‌تواند از سایت (EORC، ۲۰۰۷) اخذ شود. پس از باز کردن فایل با پسوند Tar به وسیله نرم‌افزار WinRar، داده‌ای با نام P1AME030201006MA_P01B0000000.00.sample قابل دسترسی می‌باشد. این فایل با فرمت HDF، داده خام اولیه حرارت ظاهری مربوط به تاریخ ۱ فوریه ۲۰۰۳ می‌باشد که توسط این سنجنده به دست آمده و دارای سطح پردازشی L1B می‌باشد. پردازش‌های لازم برای داده به وسیله نرم‌افزار Envi صورت پذیرفت و مراحل آن به شرح زیر است:

گام ۱- نرم‌افزار Envi، فعال شود.

1- GIS ready

2- Japan Aerospace Exploration Agency

3- Global Land Cover Classification

گام ۲- در منوی File، گزینه Open Image File انتخاب شود.

گام ۱-۲- فایل L1B انتخاب شود.

گام ۲-۲- داده‌های زیر انتخاب شوند:

- 6GHz-V_Brightness_Temperature
- 6GHz-H_Brightness_Temperature
- 10.65 GHz-V_Brightness_Temperature
- 10.65 GHz-H_Brightness_Temperature
- Lat_of_Observation_Points_Except_89B
- Long_of_Observation_Points_Except_89B
- Land/Ocean_Flag_for_6_10_18_23_36_50_89A

این داده‌ها به ترتیب حرارت ظاهری در باند ۶ گیگاهرتز با قطبش عمودی، حرارت ظاهری در باند ۶ گیگاهرتز با قطبش افقی، حرارت ظاهری در باند ۱۰/۶۵ گیگاهرتز با قطبش عمودی، حرارت ظاهری در باند ۱۰/۶۵ گیگاهرتز با قطبش افقی، عرض جغرافیایی نقاط مشاهداتی، طول جغرافیایی نقاط مشاهداتی و یک نقشه با نشانگرهایی برای جدایی خشکی از آب است که این داده آخر دارای ۷ باند برای ۷ فرکانسی است که در خود نام فایل به ترتیب ذکر شده است.

گام ۲-۲-۱- از آنجایی که در داده نقشه خشکی- اقیانوس، چندین باند تنها در یک داده ذخیره شده است باید برای نرم‌افزار، نوع فرمت (BIP, BIL, BSQ) ذخیره‌سازی تعیین شود. ابعاد داده $۱۹۶ \times ۲۰۰ \times ۷$ است. این روش قرار گیری به این مفهوم است که اطلاعات باندهای متفاوت به صورت باند به باند ذخیره شده‌اند و لذا باید گزینه BSQ انتخاب شود.

گام ۳- دو داده طول و عرض جغرافیایی باید با تصاویر حرارت ظاهری L1B از لحاظ بعد یکسان شوند بدین منظور نیاز به یک تبدیل مقیاس ساده وجود دارد تا برای مثال داده L1B با ابعاد ۱۹۶×۲۰۰ با دو فایل طول و عرض جغرافیایی با ابعاد یکسان، ۳۹۲×۲۰۰ هم اندازه شوند. برای این منظور باید گام‌های زیر انجام گیرد.

گام ۳-۱- در منوی Basic Tools، گزینه Resize data(Spatial/Spectral) انتخاب شود

گام ۳-۲- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

گام ۳-۳- فایل طول جغرافیایی (Long_of_Observation_Points_Except_89B) انتخاب شود و رقم ۳۹۲ در مقابل Samples، باید به ۱۹۶ تغییر داده شود.

گام ۳-۳-۱- نوع نمونه‌برداری مجدد، Bilinear انتخاب شود.

گام ۳-۳-۲- ذخیره داده حاصله در حافظه یا در فایل به انتخاب کاربر می‌باشد.

گام ۳-۴- در منوی Basic Tools، گزینه Resize data(Spatial/Spectral) انتخاب شود.

گام ۳-۵- فایل عرض جغرافیایی (Lat_of_Observation_Points_Except_89B) انتخاب شود و باید رقم ۳۹۲ در مقابل Samples به ۱۹۶ تغییر داده شود.

گام ۳-۵-۱- نوع نمونه‌برداری مجدد، Bilinear انتخاب شود.

گام ۳-۵-۲- ذخیره داده حاصله در حافظه یا در فایل به انتخاب کاربر است.

گام ۴- هر یک از داده‌های طول و عرض جغرافیایی (با رفتن به منوی Tools و انتخاب Cursor Location/Value) در ۱۰۰ ضرب شده‌اند و برای مثال به جای ۱۸۰ درجه، رقم ۱۸۰۰۰ ثبت شده است. این ضریب باید از بین برده شود و از طرف دیگر ۱۸۰ درجه شرقی با علامت + و ۱۸۰ درجه غربی با علامت منفی - ذخیره شده که باید حفظ علامت نیز در هنگام تصحیح رعایت شود.

گام ۴-۱- در منوی Basic Tools، گزینه Band Math انتخاب شود.

گام ۴-۲- در جای خالی بالای Add To List، رابطه (۵-۵) وارد می‌شود:

(۵-۵) $b1/float(100)$

گام ۴-۳- دکمه Add To List اجرا می‌شود.

گام ۴-۴- پس از اجرای فرمول، فایل طول جغرافیایی حاصل از گام (۳-۳-۲) به عنوان متغیر b1 معرفی گردد.

گام ۴-۵- ذخیره داده حاصله در حافظه یا در فایل به انتخاب کاربر است.

گام ۴-۶- دوباره در منوی Basic Tools، گزینه Band Math انتخاب شود.

گام ۴-۷- در جای خالی بالای Add To List، رابطه (۳-۵) وارد می‌شود یا فرمول موجود از گام ۴-۲ انتخاب شود.

گام ۴-۸- پس از اجرای فرمول، فایل عرض جغرافیایی حاصل از گام (۳-۵-۲) به عنوان متغیر b1 معرفی گردد.

گام ۴-۹- ذخیره داده حاصله در حافظه یا در فایل به انتخاب کاربر است.

گام ۵- حال برای انجام فرآیند زمین مرجع کردن تصویر ۶ گیگاهرتز با قطبش عمودی، باید در منوی Map و در

گزینه Georeference from Input Geometry، گزینه Georeference from IGM اجرا شود.

گام ۵-۱- ابتدا فایل اصلی تصویر از کاربر خواسته می‌شود.

گام ۵-۱-۱- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

گام ۵-۱-۲- باند 6GHz-V_Brightness_Temperature انتخاب شود.

گام ۵-۲- فایل طول جغرافیایی حاصل از گام (۳-۳-۲)، به عنوان فایل مولفه x مختصات انتخاب شود.

گام ۵-۳- فایل عرض جغرافیایی حاصل از گام (۳-۵-۲)، به عنوان فایل مولفه y مختصات انتخاب شود.

گام ۵-۴- سپس نرم‌افزار، سیستم مختصات اولیه و ثانویه را از کاربر می‌پرسد که برای همخوانی با دیگر داده‌های

جانبی، Geographic Lat/Lon به عنوان سیستم مختصات ثانویه انتخاب شود.

گام ۵-۵- مکان ذخیره‌سازی، هم برای فایل GLT^۱ و هم برای تصویر زمین مرجع شده تعیین شود.

گام ۵-۶- دوران^۲ که در قسمت GLT دیده می‌شود باید برابر با صفر گردد و برنامه اجرا شود.

گام ۶- برای انجام فرآیند زمین مرجع کردن تصویر با قطبش افقی فرکانس ۶ گیگاهرتز، باید در منوی Map و در

گزینه Georeference from Input Geometry، گزینه Georeference from GLT اجرا می‌شود.

1- Geographic Lookup Table

2- Rotation

- گام ۶-۱- ابتدا فایل GLT از کاربر خواسته می‌شود، که می‌باید همان فایل GLT ذخیره شده در گام (۵-۵) انتخاب شود.
- گام ۶-۲- فایل اصلی تصویر از کاربر خواسته می‌شود.
- گام ۶-۲-۱- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۶-۲-۲- باند 6GHz-H_Brightness_Temperature انتخاب شود.
- گام ۶-۳- مکان ذخیره‌سازی برای تصویر زمین مرجع شده تعیین شود.
- گام ۷- برای انجام فرآیند زمین مرجع کردن تصویر با قطبش عمودی، فرکانس ۱۰/۶۵ گیگاهرتز باید در منوی Map و در گزینه Georeference from Input Geometry، گزینه Georeference from GLT اجرا شود.
- گام ۷-۱- ابتدا فایل GLT از کاربر خواسته شود. همان فایل GLT ذخیره شده در گام (۵-۵) انتخاب شود.
- گام ۷-۲- فایل اصلی تصویر از کاربر خواسته می‌شود.
- گام ۷-۲-۱- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۷-۲-۲- باند 10.65GHz-V_Brightness_Temperature، انتخاب شود.
- گام ۷-۳- مکان ذخیره‌سازی برای تصویر زمین مرجع شده تعیین شود.
- گام ۸- برای انجام فرآیند زمین مرجع کردن تصویر با قطبش افقی، فرکانس ۱۰/۶۵ گیگاهرتز باید در منوی Map و در گزینه Georeference from Input Geometry، گزینه Georeference from GLT اجرا شود.
- گام ۸-۱- ابتدا فایل GLT از کاربر خواسته شود. همان فایل GLT ذخیره شده در گام (۵-۵) انتخاب شود.
- گام ۸-۲- فایل اصلی تصویر از کاربر خواسته می‌شود.
- گام ۸-۲-۱- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۸-۲-۲- باند 10.65GHz-H_Brightness_Temperature انتخاب شود.
- گام ۸-۳- مکان ذخیره‌سازی برای تصویر زمین مرجع شده تعیین شود.
- گام ۹- برای انجام فرآیند زمین مرجع کردن نقشه خشکی - اقیانوس باید در منوی Map و در گزینه Georeference from Input Geometry، گزینه Georeference from GLT اجرا شود.
- گام ۹-۱- ابتدا فایل GLT از کاربر خواسته شود. همان فایل GLT ذخیره شده در گام (۵-۵) انتخاب شود.
- گام ۹-۲- فایل اصلی تصویر از کاربر خواسته شود.
- گام ۹-۲-۱- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۹-۲-۲- باند Land/Ocean_Flag_for_6_10_18_23_36_50_89A انتخاب شود.
- گام ۹-۳- باید یک نام و مکان برای ذخیره‌سازی تصویر زمین مرجع شده تعیین شود.
- شکل (۲۹-۵) نمایی از تصاویر خام در ابتدای گام ۳ و تصاویر زمین مرجع شده در انتهای گام ۹ را نشان می‌دهد. این تصاویر در قطبین دچار کشیدگی بسیار و در استوا بسیار باریک می‌شوند. از طرف دیگر کشیدگی تصویر در پایین به

سمت شرق و در بالا به سمت غرب را می‌توان دید که با توجه به حرکت شرق به غرب زمین (در هنگام دوران به دور خود) نشان‌دهنده صعودی بودن گذر است. لذا باید آنرا 180° درجه چرخش داد تا قطب شمال در بالا قرار گیرد. برای درک بهتر مکانی تصاویر، نمایی از زمین در تصویر (۵-۳۰-الف) ارائه شده است که منطقه تصویربرداری شده بر روی زمین با تهرنگ متفاوت نمایش داده شده است. این منطقه شامل قسمتی از قطب جنوب، سوماترا، مالزی، برمه، بنگلادش، بوتان، نپال، تبت، چین، مغولستان، قزاقستان، روسیه و قطب شمال است.



ب



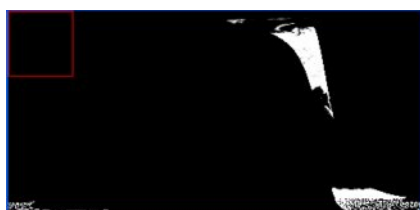
د



و



ح



ی



الف



ج



هـ



ز



ط

شکل ۵-۲۹- تصاویر (الف)، (ج)، (ه) و (ز) به ترتیب حرارت ظاهری خام در باندهای V_6 ، H_6 ، $V_10/65$ و $H_10/65$ می‌باشد و (ب)، (د)، (و) و (ح) به ترتیب زمین مرجع شده‌ی همان تصاویر است. تصاویر (ط) و (ی) نیز نقشه خشکی-اقیانوس خام و زمین مرجع شده می‌باشند.



ب



الف

شکل ۵-۳۰ (الف) موقعیت تصویر بر روی نقشه جهان که با رنگ متفاوت قابل رویت است
(ب) نمونه‌ای از تصاویر حاصله برای گذر صعودی

۵-۶-۱-۲- داده GLCC^۱ یک کیلومتری^۲ USGS EDC^۳

داده GLCC که توسط سازمان نقشه‌برداری زمین‌شناسی ایالات متحده از یکسال کامل تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA (۱۹۹۲-۱۹۹۳) تهیه شده است را می‌توان از سایت (GLCC, ۲۰۰۷) دریافت کرد. منطقه مورد نظر در فایل AMSR-E در واقع شامل قاره اوراسیا (اروپا و آسیا) است که می‌توان فایل NDVI مربوط به ماه فوریه را (زمان اخذ تصویر AMSR-E) دریافت نمود. داده با سیستم تصویر هم مساحت لامبرت آزیموتی^۳ و با نام eab6m8lamball.img دریافت شد. با مراجعه به مدارک این فایل، مشخصات دقیق از جمله تعداد سطر و ستون و جزئیات سیستم تصویر آن نیز استخراج گردید.

مراحل انجام کار به شرح زیر است:

گام ۱- نرم‌افزار Envi اجرا شود.

گام ۲- در منوی File، گزینه Open Image File انتخاب شود.

گام ۱-۲- فایل eab6m8lamball.img انتخاب شود.

گام ۲-۲- در پنجره Header Info باز شده در مقابل Samples، رقم ۱۳۰۰۰ و در مقابل Lines، رقم ۱۲۰۰۰ در مقابل Band، رقم ۱ و در مقابل Data Type، نوع byte انتخاب شود.

گام ۲-۳- با زدن دکمه Edit Attributes در همان پنجره، Header Info گزینه Map Info انتخاب شود.

گام ۳- با زدن دکمه Change Proj، پنجره Projection Selection باز شود.

گام ۴- با زدن دکمه New، پنجره Customized Map Projection Definition باز شود.

گام ۵- با زدن دکمه Load Existing Projection، پنجره Map Projection Selection باز شود و در آن

Sample Lambert Azimuthal Equal Area انتخاب گردد.

1- Global Land Cover Characteristics

2- EROS Data Center

3- Lambert Azimuthal Equal Area Projection

گام ۵-۱- در پنجره Customized Map Projection Definition در قسمت Projection Type، نوع سیستم تصویر، Azimuthal Equal Area انتخاب شود و نام سیستم تصویر نیز تغییر یابد (برای مثال LAEA شود).

گام ۵-۲- در مقابل Latitude، رقم ۴۵ و در مقابل Longitude، رقم ۱۰۰ در مقابل False Easting و False Northing، رقم صفر و در مقابل شعاع دایره (Sphere Radius)، رقم ۶۳۷۰۹۹۷ انتخاب شود.

گام ۵-۳- در پنجره Edit Map Information در مقابل Image X و Image Y، رقم صفر و در برابر E، رقم ۸۰۰۰۰۰۰ و در برابر N، رقم ۶۵۰۰۰۰۰ نوشته شود. اندازه سلول‌های تصویری در راستای X و Y نیز ۱۰۰۰ در نظر گرفته شود.

گام ۶- حال می‌توان تصویر را به سیستم مختصات طول و عرض جغرافیایی تغییر داد، برای این کار در منوی Map، گزینه Convert Map Projection باید انتخاب شود.

گام ۷- برای انتخاب راحت تر در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

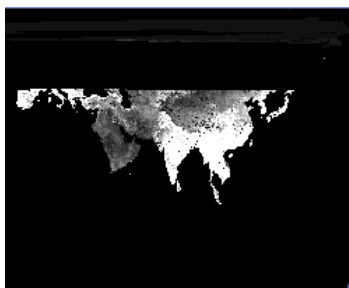
گام ۸- فایل eab6m8lamball.im انتخاب شود.

گام ۸-۱- در پنجره Convert Map Projection Parameters، دکمه Change Proj زده شود.

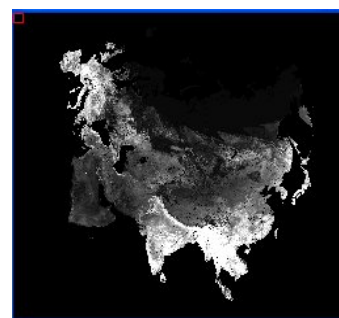
گام ۸-۲- سیستم Geographic Lat/Lon انتخاب شود.

گام ۸-۳- محلی برای ذخیره‌سازی نقاط کنترل زمینی (GCP) و فایل تغییر مختصات یافته تعیین شود.

تصویر (۵-۳۱) نمایی از یک تصویر NDVI در سیستم مختصات هم مساحت لامبرت آزیموتی (تصویر الف) و تصحیح صورت گرفته بر روی آن به منظور دستیابی به سیستم مختصات طول و عرض جغرافیایی نمایش داده شده است.



ب



الف

شکل ۵-۳۱- الف- تصویری از NDVI ماه فوریه با سیستم مختصات هم مساحت آزیموتی لامبرت و ب- همان تصویر با سیستم مختصات جغرافیایی

۵-۶-۱-۳- داده نسبت خاک Webb

این داده که از آدرس اینترنتی ناسا اخذ شده است، دارای سیستم مختصات طول و عرض جغرافیایی است و تنها کافی است مختصات اولیه آن را معرفی کرد.

به‌همراه هر فایل داده، یک داده Word که در واقع Header داده می‌باشد نیز باید دریافت شود. پس از باز کردن فایل Zip، فایل‌هایی که باید دریافت شوند عبارتند از:

- نسبت جرمی ماسه با نام wrsan01.img
- نسبت جرمی رس با نام wrcla01.img
- نسبت جرمی لای با نام wrsil01.img

شکل (۵-۳۲) نمایی از نسبت جرمی لای را نمایش می‌دهد و مراحل معرفی مختصات اولیه به این داده‌ها به شرح زیر است.

گام ۱- نرم‌افزار Envi اجرا شود.

گام ۲- در منوی File، گزینه Open Image File انتخاب شود.

گام ۱-۲- فایل wrsan01.img انتخاب شود.

گام ۲-۲- در پنجره Header Info باز شده، در مقابل Samples، رقم ۳۶۰ و در مقابل Lines، رقم ۱۸۰، در مقابل Band، رقم ۱ و در مقابل Data Type، نوع Floating Point باید انتخاب شود

گام ۲-۳- با زدن دکمه Edit Attributes در همان پنجره Header Info، گزینه Map Info باید انتخاب شود.

گام ۲-۳-۱- در مقابل Image X و Image Y، رقم ۱، در مقابل E رقم ۱۷۹- و در مقابل N، رقم ۸۹ نوشته شود و X Pixel Size و Y Pixle Size، رقم ۱، درجه با دوران صفر در نظر گرفته شود.

گام ۳- در منوی File، گزینه Open Image File انتخاب شود.

گام ۴- فایل wrcla01.img انتخاب شود.

گام ۵- در پنجره Header Info باز شده، دکمه Input Header Info From زده شده و wrsan01.img انتخاب شود.

گام ۶- در منوی File، گزینه Open Image File انتخاب شود.

گام ۷- فایل wrsil01.img انتخاب شود.

گام ۸- در پنجره Header Info باز شده، دکمه Input Header Info From زده شده و wrsan01.img انتخاب شود.

گام ۹- در منوی Basic Tools، گزینه Band Math انتخاب شود.

گام ۱۰- در جای خالی بالای Add To List، رابطه (۵-۶) وارد شود.

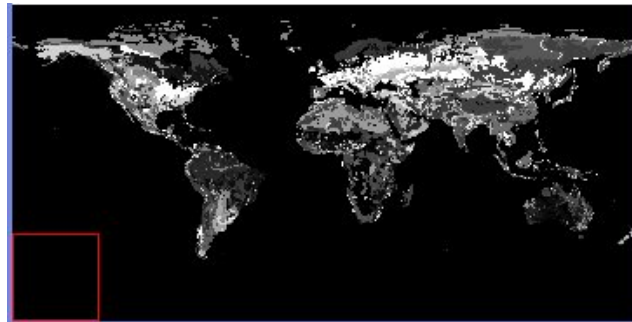
$$b1*\text{float}(1.922) + b2*\text{float}(1.586) + b3*\text{float}(1.225) \quad (۵-۶)$$

در این رابطه، ۱/۹۲۲ به عنوان چگالی Clay، ۱/۵۸۶ به عنوان چگالی Sand و ۱/۲۲۵ به عنوان چگالی Silt در نظر گرفته شده است.

گام ۱۱- دکمه Add To List اجرا می‌شود.

گام ۱۲- پس از اجرای فرمول، فایل wrcla01.img به عنوان متغیر b1، فایل wrsan01.img به عنوان متغیر b2 و فایل wrsil01.img به عنوان متغیر b3 معرفی گردد.

گام ۱۳- نام و مکان مناسب برای ذخیره فایل ناشی از محاسبات تعیین گردد.



شکل ۵-۳۲- نمایی از داده درصد جرمی لای Webb با سیستم مختصات طول و عرض جغرافیایی که شامل کلیه جهان به غیر از قطبین می‌باشد.

۵-۶-۱-۴- پارامترهای اتمسفری (آب قابل بارش و دمای هوای سطحی)

جهت تحلیل پارامترهای جوی آب قابل بارش و دمای هوای سطحی، می‌توان از اطلاعات اقلیم شناسی جهانی NCEP^۱ یا ECMWF^۲ استفاده نمود. همچنین می‌توان از خروجی‌های مدل‌های پیش‌بینی آنی نیز استفاده کرد. این منابع داده برای تعیین تاثیرات اتمسفری در الگوریتم مورد استفاده قرار خواهد گرفت که برای این کار عملی، دسترسی به آنها میسر نشد.

۵-۶-۲- مرحله دوم: تشکیل ترکیب تصاویر

حال ایجاد یک شبکه ۲۵*۲۵ کیلومتری از ترکیب همه اطلاعات باندهای ذکر شده مورد نیاز است و باید همه اطلاعات دارای قدرت تفکیک مکانی یکسان باشند.

گام ۱- در منوی Basic Tools، گزینه Layer Stacking انتخاب شود.

گام ۲- گزینه Import File انتخاب شود.

گام ۳- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

گام ۴- تصویر AMSR-E 6H انتخاب شود.

گام ۵- گزینه Import File انتخاب شود.

گام ۶- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

گام ۷- تصویر AMSR-E 6V انتخاب شود.

گام ۸- گزینه Import File انتخاب شود.

گام ۹- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.

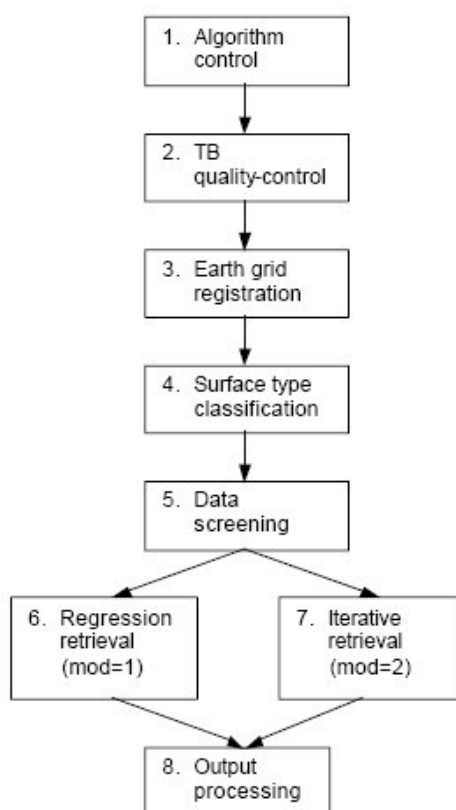
1- National Centers for Environmental Prediction

2- European Center for Medium Range Weather Forecasting

-
- گام ۱۰- تصویر AMSR-E 10.65H انتخاب شود.
- گام ۱۱- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۱۲- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۱۳- تصویر AMSR-E 10.65V انتخاب شود.
- گام ۱۴- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۱۵- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۱۶- تصویر Land/Ocean_Flag_for_6_10_18_23_36_50_89A انتخاب شود.
- گام ۱۷- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۱۸- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۱۹- تصویر GLCC تصحیح شده پوشش گیاهی انتخاب شود.
- گام ۱۴- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۱۵- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۱۶- تصویر wrsan01.img انتخاب شود.
- گام ۱۷- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۱۸- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۱۹- تصویر wrcla01.img انتخاب شود.
- گام ۲۰- گزینه Import File انتخاب شود.
- گام ۲۱- برای سهولت انتخاب در مقابل Select By، گزینه Band انتخاب شود.
- گام ۲۲- تصویر چگالی خاک ناشی از داده Webb انتخاب شود.
- گام ۲۳- گزینه Inclusive: range encompasses all the files انتخاب شود. این گزینه باعث می‌شود تا تمامی باندهای داده مورد نیاز از لحاظ مکانی ذخیره شود.
- گام ۲۴- X Pixel Size و Y Pixel Size رقمی برابر با ۲۵ کیلومتر که همان قدرت تفکیک مکانی پیشنهادی داده در گام (۳) بخش (۴-۸-۲) می‌باشد.
- گام ۲۵- مکان ذخیره‌سازی برای این ترکیب ۷ باندهای تعیین شود.
- از این قسمت به بعد الگوریتم به دلیل نبود پارامترهای جوی ذکر شده در بند (۵-۶-۱-۴) قابل اجرا نیست، ولی شرح خلاصه از آنچه انجام می‌شود در ادامه ذکر شده که به همراه آنچه در بخش ۲-۸ آورده شد. می‌تواند راهگشای نحوه اجرای الگوریتم خط پایه AMSR برای تعیین رطوبت خاک می‌باشد.
- الگوریتم مورد استفاده یک الگوریتم مدل مبنای تکراری است که مدل آن حرارت ظاهری دریافت شده به وسیله AMSR را در یک فرکانس خاص به صورت رابطه (۵-۷) تشریح می‌کند.

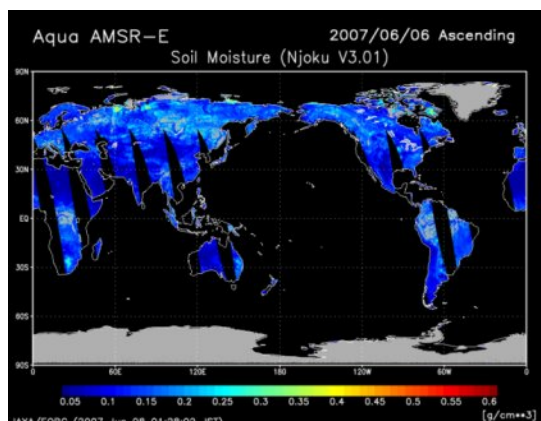
$$T_{Bp} = T_e \{ (1 - r_{sp}) \exp(-\tau_c) + (1 - \omega_p) [1 - \exp(-\tau_c)] [1 + r_{sp} \exp(-\tau_c)] \} \quad (۷-۵)$$

در رابطه فوق T_e حرارت سطحی، r_{sp} انعکاس سطحی که با استفاده از روابط فرنل به رطوبت حجمی خاک، mv وابسته است، ω_p آلبدو تک پراکنش گیاه، τ_c میزان حاجب ماورایی گیاه که ارتباط آن به صورت خطی با محتویات آب گیاه، w_c در نظر گرفته شده است. برای ارتفاع زبری سطح و ω_p (که r_{sp} را تحت تاثیر قرار می‌دهند) مقادیری ثابت استفاده شده است (گام ۶-۱ و ۶-۲ در بخش (۴-۸-۲)). الگوریتم تصحیحاتی داخلی برای T_e و τ_c در به‌دست آوردن mv با استفاده از اطلاعات چند باندی در نظر گرفته شده است. الگوریتم در هر دور محاسبه یک سری داده برای T_e ، τ_c و mv پیدا می‌کند که باید مجموع وزندار مربعات تفاضل بین مشاهدات و دمای ظاهری محاسبه شده توسط مدل را کمینه کند. وزن‌ها برای انتخاب در میان ۶ کانال پایینی (۶/۹، ۱۰/۶ و ۱۸ گیگاهرتز با قطبش‌های عمودی و افقی) به‌دست می‌آیند. نمودار اجرایی کلی این الگوریتم در شکل (۵-۳۳) ارائه شده است. یک الگوریتم کمکی با استفاده از یک معادله برازش با اساس تجربی نیز جداگانه به‌دست می‌آید که به عنوان یک روش جایگزین در موارد غیرعادی، برای مثال زمانی که الگوریتم نتواند همگرا شود، استفاده می‌شود. این حالت خاص از ترکیب داده ۶ باند پایین AMSR با داده‌های سنجنده SMMR^۱ ماهواره Nimbus-7 صورت می‌گیرد.



شکل ۵-۳۳- الگوریتم تعیین رطوبت خاک سنجنده AMSR

لازم به ذکر است که این داده را می‌توان بدون انجام هیچ یک از عملیات فوق ولی با دقتی کم‌تر به صورت روزانه از سایت JAXA دریافت نمود و داده‌هایی نظیر رطوبت خاک، بخار آب، بارش، باد روی سطح دریا و حرارت ظاهری آب در این منبع اطلاعاتی وجود دارند که نمونه‌ای از آن در شکل (۵-۳۴) ارائه شده است.



شکل ۵-۳۴- تصویر رطوبت خاک مربوط به روز ۶ ژانویه سال ۲۰۰۷ از تمامی جهان

پیوست ۱

قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات

مکانی در مطالعات منابع آب‌های

سطحی و آب‌های زیرزمینی

در این بخش پیاده‌سازی قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی در مطالعات منابع آب در دو بخش آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی ارائه می‌گردد.

پ.۱-۱- آب‌های سطحی

در این بخش به منظور تبیین قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در زمینه مدیریت منابع آب و انجام مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز، برخی از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز بهار واقع در استان همدان، با بهره‌گیری از امکانات این سیستم مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در قالب نقشه‌های مربوطه ارائه گردیده است.

پ.۱-۱-۱- منطقه مورد بررسی و داده‌های مربوطه

محدوده منطقه مورد بررسی در شکل (پ.۱-۱) نمایش داده شده است.

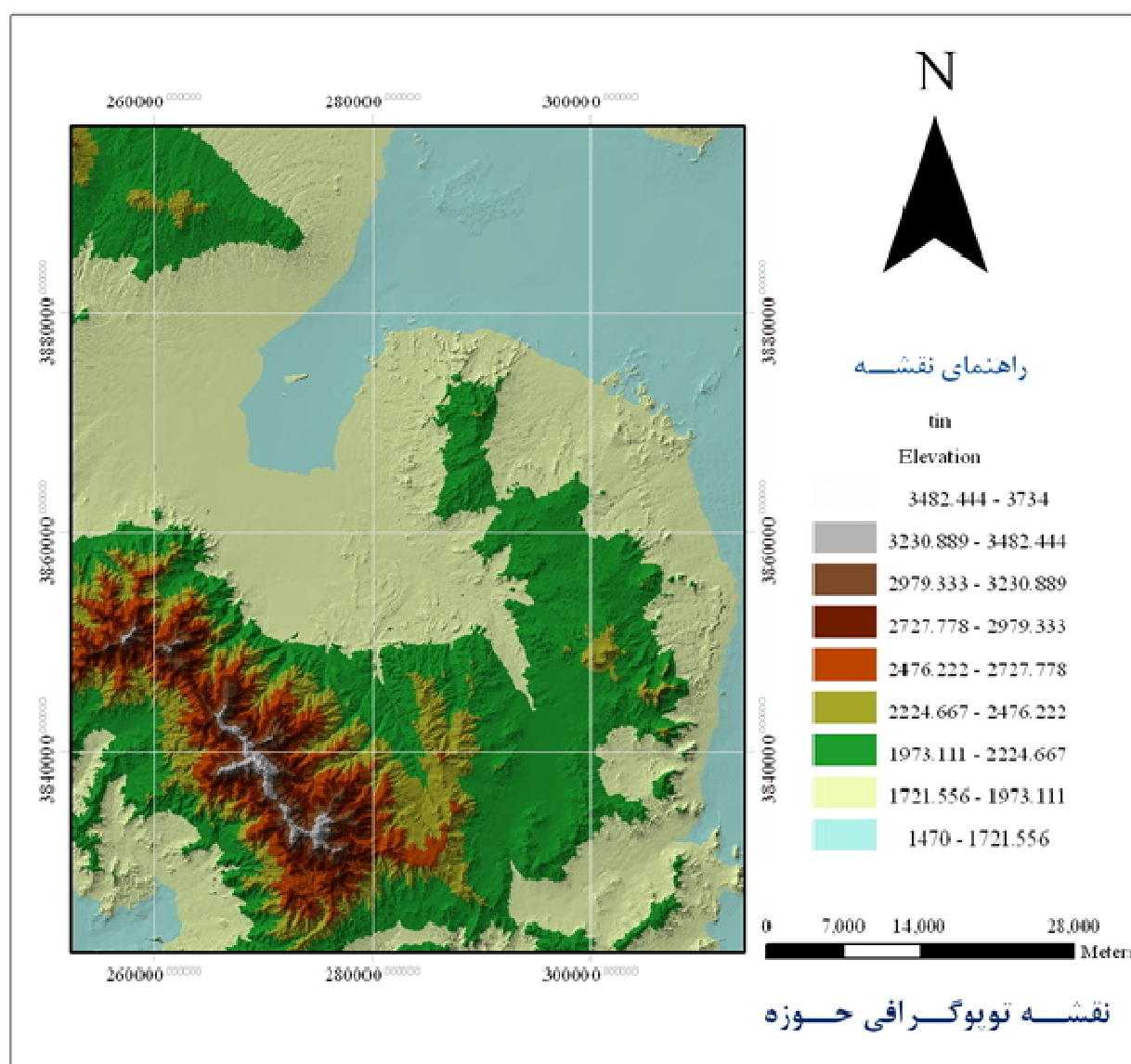


شکل پ.۱-۱- محدوده حوضه بهار همدان به عنوان منطقه مورد بررسی

جهت استخراج خصوصیات فیزیوگرافی منطقه مورد نظر، از منحنی میزان‌های نقشه‌ی توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ جهت تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین استفاده شده است. پردازش داده‌های ارتفاعی، انجام تحلیل‌ها و نیز تهیه نقشه‌ها در این تحقیق همگی به کمک نرم افزار ArcGIS 9.3 صورت پذیرفته‌اند.

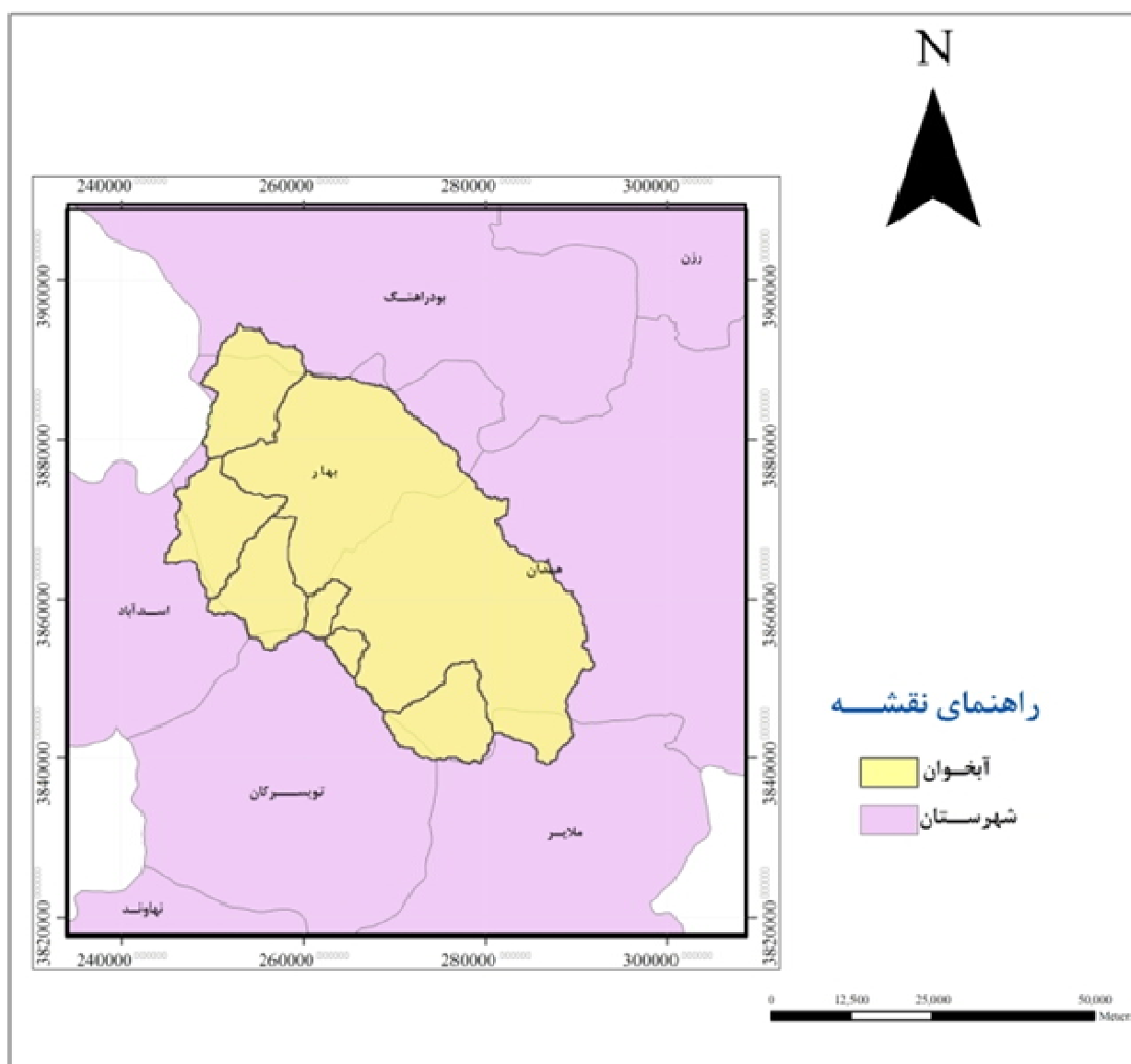
با توجه به اینکه وجود فرورفتگی‌های غیرطبیعی در مدل رقومی ارتفاعی زمین، نتایج حاصل از استخراج خصوصیات فیزیوگرافی را تحت تاثیر قرار می‌دهد لذا قبل از انجام هر تحلیل بر روی DEM، این خطاها می‌بایست شناسایی و حذف گردند. به این منظور پس از تشکیل مدل رقومی ارتفاعی زمین، با جستجو در سطح آن، این فرورفتگی‌ها شناسایی و برطرف گردیدند.

نقشه توپوگرافی منطقه که در ادامه آمده است مدل رقومی ارتفاعی زمین تصحیح شده (با حذف فرورفتگی‌های غیرطبیعی) منطقه است که به کمک استخراج سایه‌ها و یک طیف رنگی، پستی و بلندی‌های منطقه را نمایش می‌دهد (شکل پ. ۱-۲).



شکل پ. ۱-۲- نقشه توپوگرافی حوزه

منطقه مورد مطالعه (بهار همدان) در دامنه شرقی رشته کوه‌های زاگرس و غربی‌ترین نقطه حوضه آبریز دریاچه نمک واقع شده است. همچنین منطقه مطالعاتی از شمال غرب با حوضه آبریز سفیدرود و از غرب و جنوب با حوضه آبریز کرخه هم مرز می‌باشد. وسعت این منطقه حدود ۲۴۷۰ کیلومترمربع بوده و با ارتفاع متوسطی حدود ۲۲۳۶ متر در محدوده جغرافیایی 34° تا 35° شمالی و 48° تا 51° شرقی قرار دارد. منطقه مطالعاتی جز مناطق مرتفع کشور محسوب می‌گردد به‌طوری‌که حداقل ارتفاع آن در دشت‌ها و بخش‌های شرقی و شمال شرقی آن به حدود ۱۶۸۰ متر رسیده و حداکثر ارتفاع آن در نواحی مرزی با حوضه آبریز کرخه، واقع در بخش‌های غربی و جنوب غربی آن به ۳۵۶۰ متر نیز می‌رسد. شکل (پ.۱-۳) مشخصات جغرافیایی آبخوان را نمایش می‌دهد.



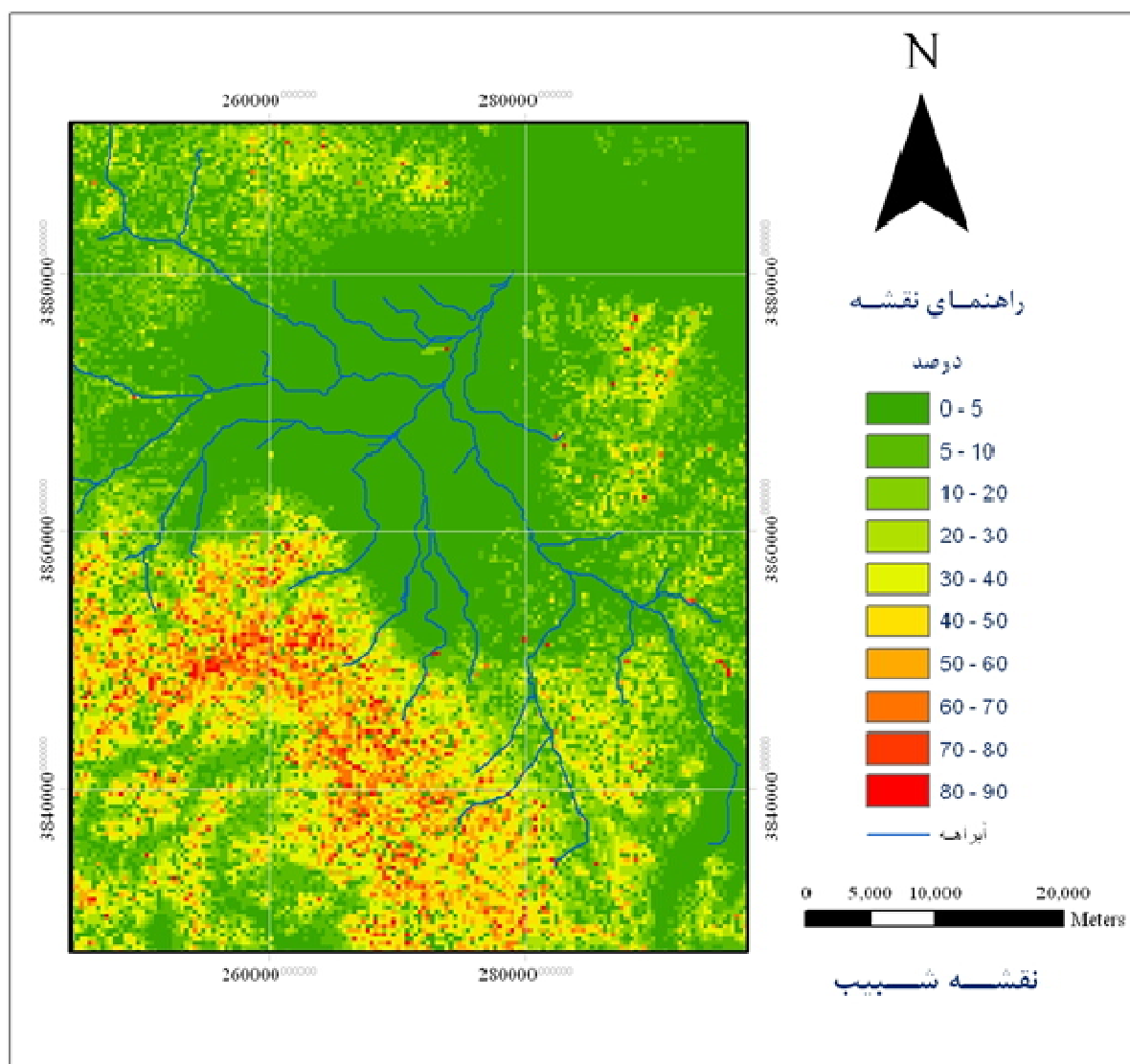
شکل پ.۱-۳ - مشخصات جغرافیایی آبخوان

پ.۱-۱-۲- محصولات قابل استخراج از مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین می‌توان به کمک تحلیل‌های موجود در سیستم‌های اطلاعات مکانی، بسیاری از خصوصیات فیزیوگرافی زمین را استخراج نمود. در همین راستا برای منطقه مورد بررسی برخی از این خصوصیات استخراج گردیده که در لایه گروهی نرم افزار جهت پیاده‌سازی با نام خصوصیات فیزیکی حوزه مشخص شده است و در ادامه به تشریح آنها پرداخته می‌شود.

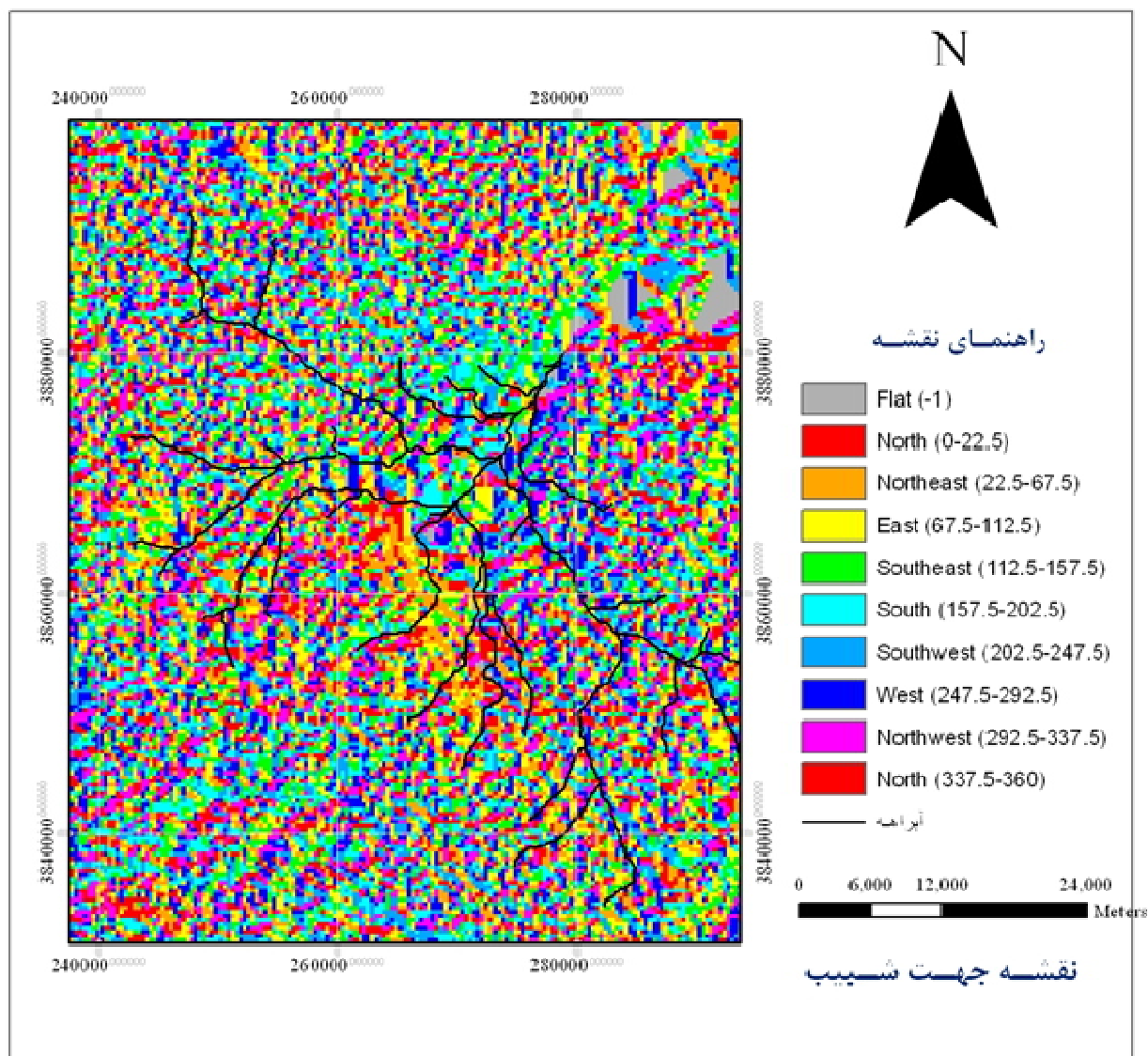
پ.۱-۲-۱-۱- نقشه شیب و جهت شیب

در این مرحله شیب قسمت‌های مختلف منطقه بر اساس روابطی که پیش‌تر مورد بررسی قرار گرفتند، بر حسب درجه و درصد استخراج گردید. نقشه شیب حوزه نتیجه این بخش می‌باشد (شکل پ.۱-۴).



شکل پ.۱-۴ - نقشه شیب حوزه

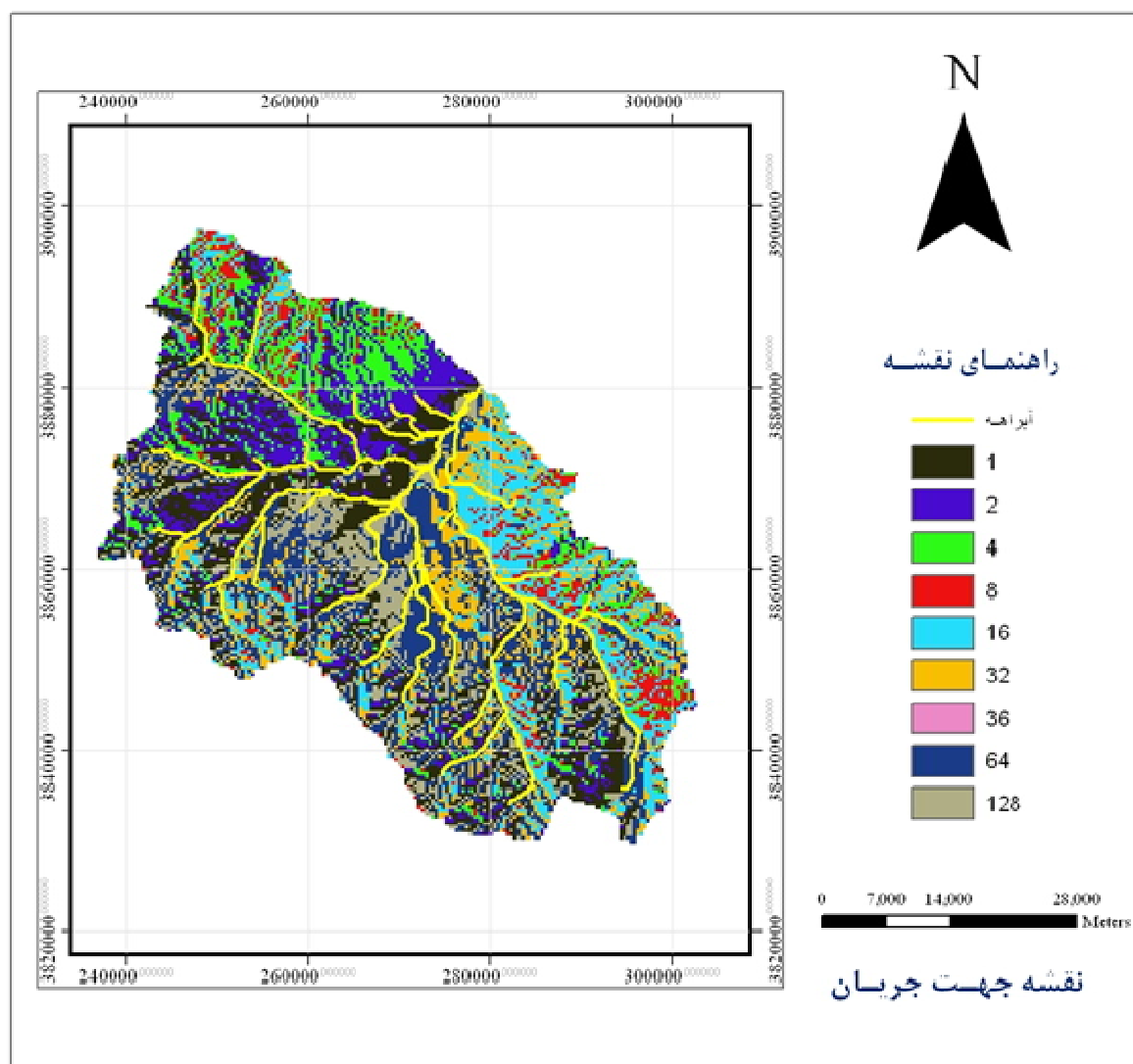
جهت شیب در منطقه از فاکتورهایی است که در بسیاری از ارزیابی‌ها و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در منطقه مورد بررسی، جهت شیب قسمت‌های مختلف تهیه و در نقشه مربوطه ارائه گردیده است (شکل پ. ۱-۵).



شکل پ. ۱-۵- نقشه جهت شیب حوزه

پ. ۱-۱-۲-۲- نقشه جهت جریان

در نقشه جهت جریان، هر سلول نمایش دهنده جهت جاری شدن یک سیال از آن می‌باشد که در آن جریان به سمت کم ارتفاع‌ترین سلول همسایه آن سلول هدایت می‌شود. نقشه جهت جریان یکی از کلیدهای اصلی برای استخراج خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه می‌باشد. جهت جریان تهیه شده در منطقه مورد نظر در نقشه جهت جریان ارائه شده است (شکل پ. ۱-۶). منظور از اعداد ارائه شده در راهنمای این نقشه، جهت‌هایی است که در شکل (پ. ۱-۷) نمایش داده شده است.



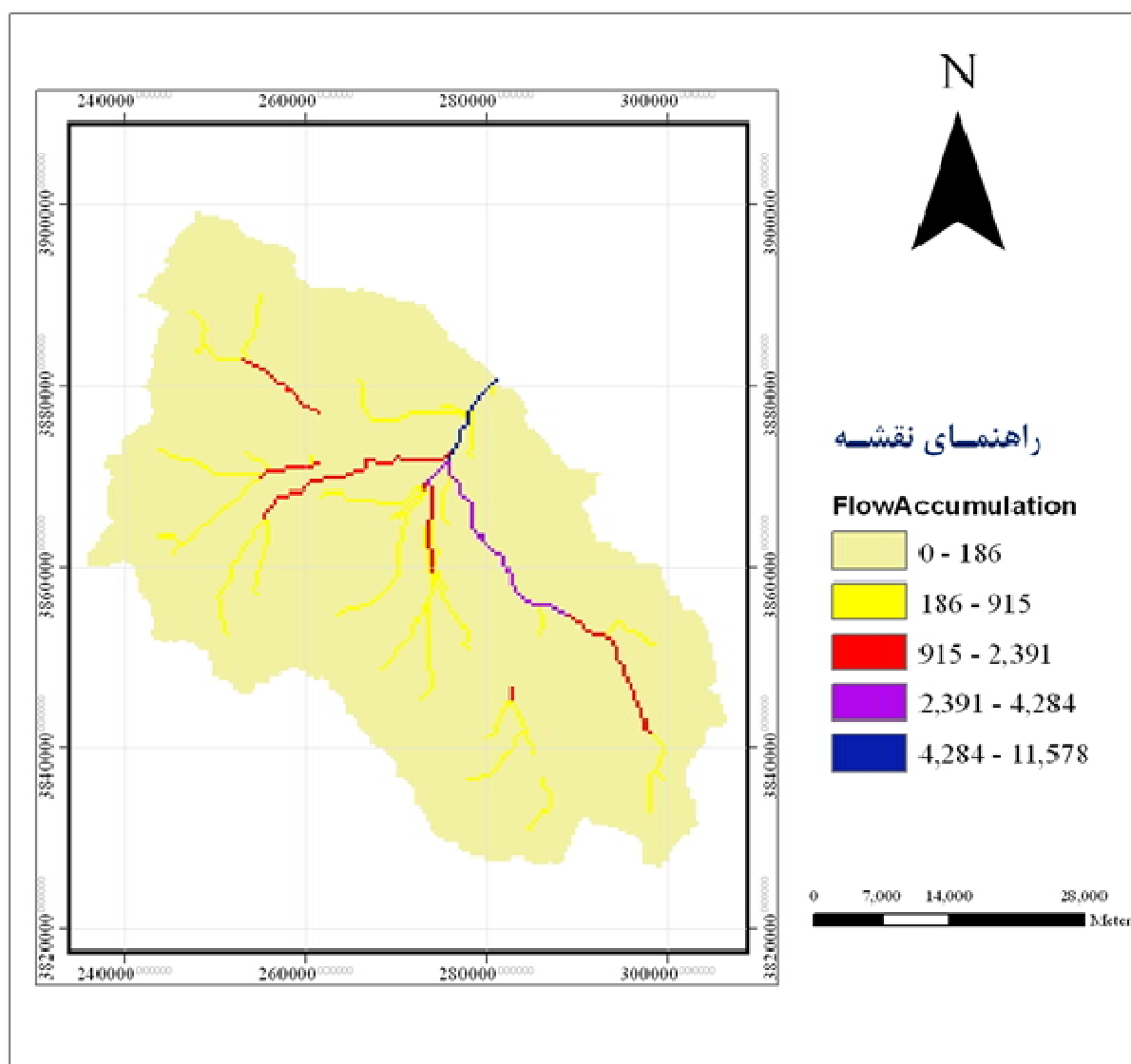
شکل پ.۱-۶ - نقشه جهت جریان

32	64	128
16		1
8	4	2

شکل پ.۱-۷ - المان‌های جهت جریان

پ.۱-۱-۲-۳ - نقشه تجمیع جریان

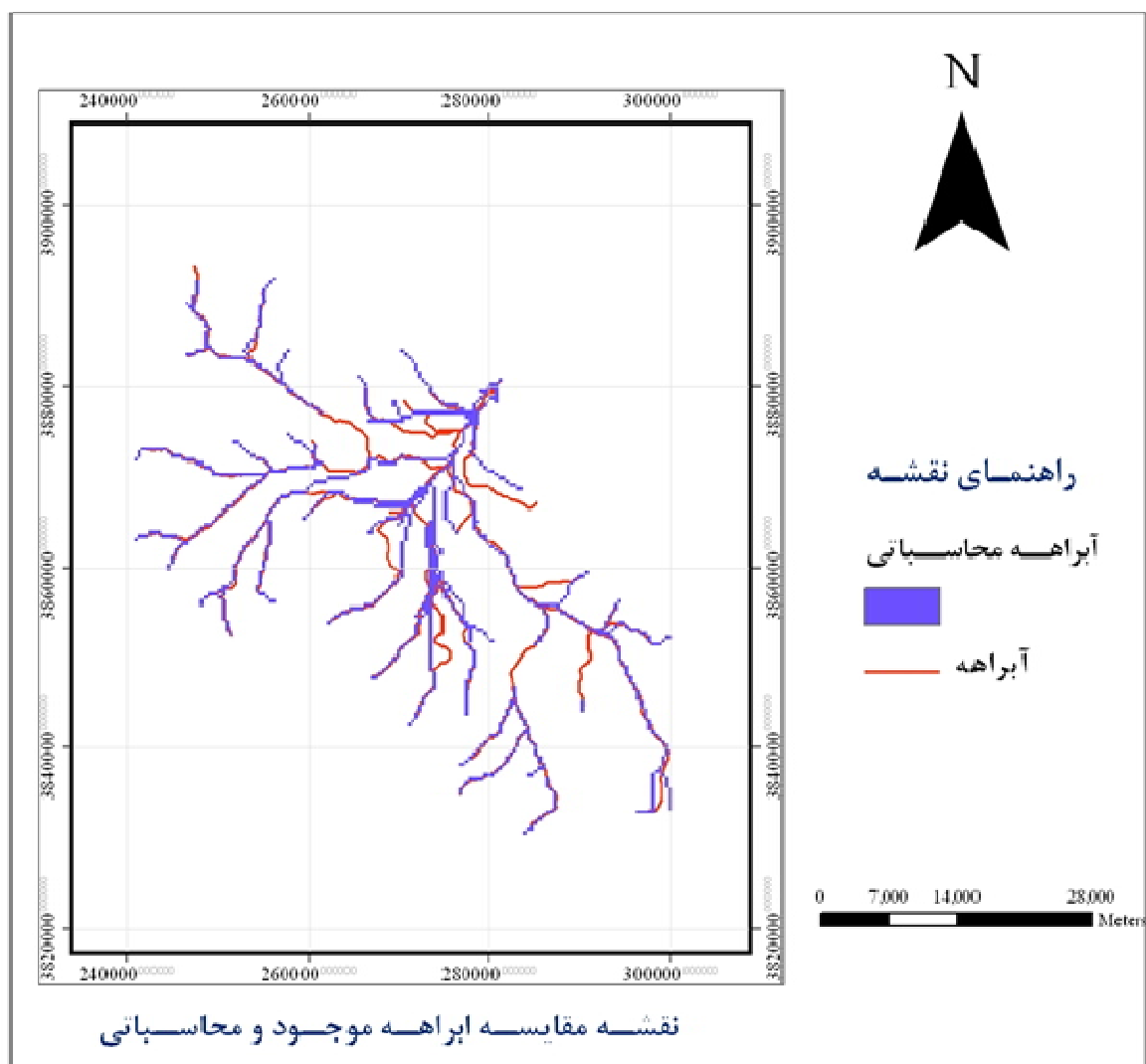
با استفاده از نقشه جهت جریان می‌توان نقشه تجمیع جریان را استخراج کرد. نتیجه این تحلیل در نقشه تجمیع جریان ارائه شده است (شکل پ.۱-۸).



شکل پ.۱-۸- نقشه تجمیع جریان

پ.۱-۱-۲-۴- نقشه آبراهه‌ها

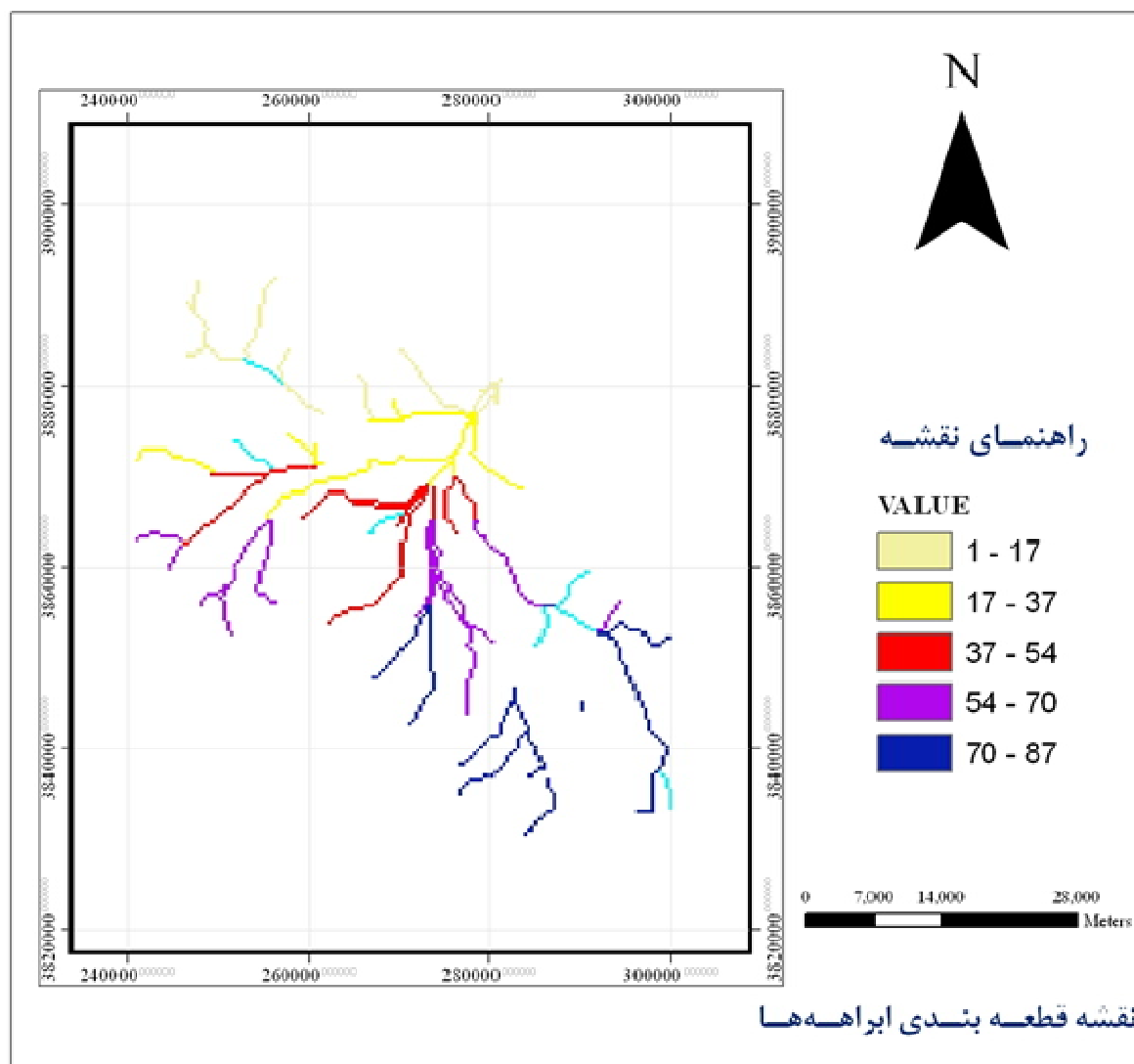
استخراج جریان‌های تجمعی از مدل رقومی ارتفاعی زمین از فاکتورهایی است که در تهیه جریان‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد نیاز است. اگر مقدار جریان برای هر سلول ۱ باشد، نقشه المان بالا دست، یا به عبارت دیگر تعداد سلول‌های تجمعی در بالای دست سلول حاضر که از میان آن سلول زهکش می‌شوند را نتیجه می‌دهد. در این تحقیق برای هر سلول در مدل رقومی ارتفاعی زمین میزان جریان تجمعی محاسبه گردیده است. از نتایج حاصل از محاسبه میزان جریان تجمعی در هر سلول می‌توان جریان‌ات و آبراهه‌ها در منطقه را استخراج نمود. در اینجا با شناسایی آن دسته از سلول‌های مدل رقومی ارتفاعی که در آنها میزان جریان تجمعی نسبت به سایر سلول‌ها زیاد می‌باشد، آبراهه‌ها استخراج گردیدند. این منطق جهت استخراج آبراهه‌ها با آبراهه‌های موجود تا حدودی سازگار است چرا که جریان‌ات از تجمع آبراهه‌های بالادست حاصل می‌گردند (شکل پ.۱-۹) آبراهه‌های خارج شده را با آبراهه‌های موجود مقایسه می‌کند.



شکل پ.۱-۹ - نقشه مقایسه آبراهه‌های موجود و محاسباتی

پ.۱-۱-۲-۵ - نقشه قطعه‌بندی آبراهه‌ها

شکل (پ.۱-۱۰) نقشه حاصله از قطعه‌بندی آبراهه‌های حوضه را نمایش می‌دهد.



شکل پ.۱-۱۰ - نقشه قطعه‌بندی آبراهه‌ها

پ.۱-۱-۲-۶- بررسی راهکارهای انتخاب و کاربرد DEM برای مطالعات منابع آب

علاوه بر خصوصیات فیزیوگرافی منطقه، اطلاعات جمع‌آوری شده از وضعیت اقلیمی و جوی منطقه می‌تواند در کنار مطالعات مدل رقومی ارتفاعی زمین کمک شایانی به انجام مطالعات منابع آب داشته باشد. در این بخش برخی از کاربردهای سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینه تحلیل این اطلاعات ارائه گردیده است.

- نقشه هم‌دما

پارامتر دما یکی از اساسی‌ترین پارامترهای هواشناسی است و میزان و نحوه توزیع آن در مطالعات منابع آب تاثیرگذار خواهد بود. در این قسمت اسامی و مشخصات جغرافیایی و شناسنامه‌ای ایستگاه‌های موجود در محدوده مطالعاتی

(جدول پ. ۱-۱)، ایستگاه‌های انتخابی برای انجام مطالعات بارندگی از داخل و خارج از محدوده (جدول پ. ۱-۲)، مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده برای پارامتر دما (جدول پ. ۱-۳) به همراه نقشه هم دما ارائه گردیده است.

جدول پ. ۱-۱- اسامی ایستگاه‌ها و مشخصات جغرافیایی و شناسنامه‌ای ایستگاه‌های واقع در داخل محدوده مطالعاتی

ردیف	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			سال تاسیس	نوع ایستگاه	مرجع
		طول (درجه)	عرض (درجه)	ارتفاع (متر)			
۱	رسول آباد	۳۴/۸۳۸۸۹	۴۸/۲۱۴۴۴	۲۱۱۵	۱۳۸۳	باران‌سنجی	وزارت نیرو
۲	مریانج	۳۴/۸۲۶۶۷	۴۸/۴۵۶۹۴	۱۸۴۵	۱۳۷۰	باران‌سنجی	
۳	سوباشی	۳۵/۱۶۴۱۷	۴۸/۲۴۱۱۱	۲۲۴۸	۱۳۸۰	باران‌سنجی	
۴	همه کسی	۳۴/۹۷۰۵۶	۴۸/۱۷۹۴۴	۲۰۶۳	۱۳۸۰	باران‌سنجی	
۵	سد اکباتان	۳۴/۷۵۹۴۴	۴۸/۶۰۲۵۰	۱۹۵۷	۱۳۷۴	تبخیرسنجی	
۶	آق کهریز (بهادریگ)	۳۴/۹۹۰۰۰	۴۸/۳۳۰۲۸	۱۸۳۵	۱۳۵۲	تبخیرسنجی	
۷	کوشک آباد	۳۵/۰۳۳۸۹	۴۸/۵۶۲۲۲	۱۶۸۴	۱۳۷۰	تبخیرسنجی	
۸	همه کسی	۳۴/۹۶۶۶۷	۴۸/۱۸۳۳۳	۱۶۷۰	۱۳۵۴	باران‌سنجی	سازمان هواشناسی
۹	صالح آباد	۳۴/۹۱۶۶۷	۴۸/۳۳۳۳۳	۱۷۰۰	۱۳۴۰	باران‌سنجی	
۱۰	تج آباد	۳۴/۸۶۶۶۷	۴۸/۲۱۶۶۷	۲۰۰۰	۱۳۴۰	باران‌سنجی	
۱۱	بهار	۳۴/۹۰۰۰۰	۴۸/۴۳۳۳۳	۱۷۰۰	۱۳۴۴	باران‌سنجی	
۱۲	شورین	۳۴/۸۰۰۰۰	۴۸/۵۸۳۳۳	۱۶۷۰	۱۳۵۴	باران‌سنجی	
۱۳	آق تپه	۳۴/۷۳۳۳۳	۴۸/۶۸۳۳۳	۱۶۷۰	۱۳۵۴	باران‌سنجی	
۱۴	گنبد	۳۴/۶۸۳۳۳	۴۸/۷۵۰۰۰	۹۸۵	۱۳۴۴	باران‌سنجی	
۱۵	همدان فرودگاه	۳۴/۸۵۰۰۰	۴۸/۵۳۳۳۳	۱۷۴۹	۱۳۵۵	سینوپتیک	
۱۶	همدان نوژه	۳۵/۲۰۰۰۰	۴۸/۷۱۶۶۷	۱۶۷۹.۷	۱۳۳۰	سینوپتیک	
۱۷	سوباشی	۳۵/۱۶۶۶۷	۴۸/۲۳۳۳۳	۲۰۳۹	۱۳۴۴	اقلیم شناسی	
۱۸	کارخانه قند	۳۴/۹۱۶۶۷	۴۸/۶۳۳۳۳	۱۶۱۰	۱۳۵۵	اقلیم شناسی	
۱۹	دانشکده کشاورزی	۳۴/۷۵۰۰۰	۴۸/۵۰۰۰۰	۱۷۸۵	۱۳۵۵	اقلیم شناسی	

با توجه به جدول (پ. ۱-۱) ملاحظه می‌گردد که در داخل محدوده مطالعاتی تنها سه ایستگاه تبخیرسنجی وجود دارد که دارای آمار دما می‌باشد. از طرفی مطابق جدول (پ. ۱-۲) از تعداد شش ایستگاه انتخابی کمکی برای پارامتر بارندگی، ۳ ایستگاه تبخیرسنجی می‌باشند که با توجه به مجاورت به منطقه مطالعاتی در این بخش نیز مورد استفاده می‌باشند.

جدول پ.۱-۲. ایستگاه‌های انتخابی برای انجام مطالعات بارندگی از داخل و خارج از محدوده

ردیف	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			سال تاسیس	نوع ایستگاه	موقعیت
		طول (درجه)	عرض (درجه)	ارتفاع (متر)			
۱	رسول آباد	۳۴/۸۳۸۸۹	۴۸/۲۱۴۴۴	۲۱۱۵	۱۳۸۳	باران‌سنجی	داخل محدوده مطالعاتی
۲	مریانج	۳۴/۸۲۶۶۷	۴۸/۴۵۶۹۴	۱۸۴۵	۱۳۷۰	باران‌سنجی	
۳	سوباشی	۳۵/۱۶۴۱۷	۴۸/۲۴۱۱۱	۲۲۴۸	۱۳۸۰	باران‌سنجی	
۴	همه کسی	۳۴/۹۷۰۵۶	۴۸/۱۷۹۴۴	۲۰۶۳	۱۳۸۰	باران‌سنجی	
۵	سد اکباتان	۳۴/۷۵۹۴۴	۴۸/۶۰۲۵۰	۱۹۵۷	۱۳۷۴	تبخیرسنجی	
۶	آق کهریز (بهادریک)	۳۴/۹۹۰۰۰	۴۸/۳۳۰۲۸	۱۸۳۵	۱۳۵۲	تبخیرسنجی	
۷	کوشک آباد	۳۵/۰۳۳۸۹	۴۸/۵۶۲۲۲	۱۶۸۴	۱۳۷۰	تبخیرسنجی	
۸	قلعه جوق	۳۵/۰۳۳۸۹	۴۸/۶۲۸۶۱	۲۰۶۰	۱۳۷۰	باران‌سنجی	خارج از محدوده مطالعاتی
۹	زهتران	۳۵/۲۵۷۲۲	۴۹/۱۳۴۱۷	۱۷۷۰	۱۳۶۱	باران‌سنجی	
۱۰	آب باریک	۳۵/۲۷۰۲۸	۴۸/۹۳۸۳۳	۱۷۶۰	۱۳۷۰	باران‌سنجی	
۱۱	قهاوند	۳۴/۸۶۱۶۷	۴۹/۰۰۳۳۳	۱۶۲۵	۱۳۵۴	تبخیرسنجی	
۱۲	خمیگان	۳۵/۳۷۱۱۱	۴۹/۰۲۱۳۹	۱۸۶۸	۱۳۴۵	تبخیرسنجی	
۱۳	عمرآباد	۳۵/۰۹۰۰۰	۴۹/۲۴۱۶۷	۱۶۲۰	۱۳۶۳	تبخیرسنجی	

با انجام بررسی‌های اولیه در منطقه مشخص گردید که استفاده از این شش ایستگاه (سد اکباتان، آق کهریز، کوشک آباد در داخل محدوده و قهاوند، خمیگان و عمرآباد در خارج از محدوده مطالعاتی) روابط مناسبی را خصوصاً برای همبستگی دما و ارتفاع بوجود نخواهد آورد. این امر به دو دلیل می‌باشد که عبارتند از (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۷):

۱- با توجه به کوه و دشت بودن منطقه نوعی جریان (باد) محلی موسوم به باد کوه به دشت (در شب هنگام) و باد دشت به کوه (در روز) در منطقه ایجاد می‌گردد، به‌طوری‌که در شب، هوای سرد و سنگین دامنه به سمت دره نزول نموده و موجب نوعی وارونگی دمایی می‌گردد به‌طوری‌که رابطه دمایی (خصوصاً دمای کمینه) با ارتفاع افزایشی خواهد بود و در روز نیز وضعیت برعکس خواهد بود. در نتیجه این وضعیت خرده اقلیمی، که در بخشی از منطقه حاکم است موجب دگرگونی روابط همبستگی دما و ارتفاع خواهد گردید.

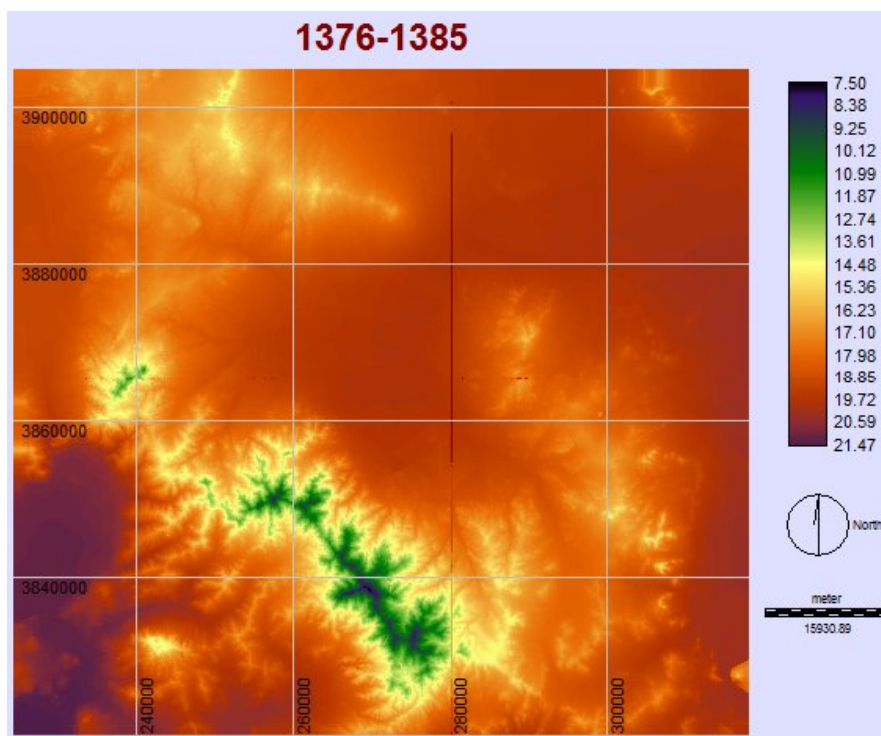
۲- ارتفاع شش ایستگاه مذکور از طیف مناسبی خصوصاً در مورد ارتفاعات پایین برخوردار نیست. بنابراین نیاز است از ایستگاه‌هایی که دارای ارتفاع کم‌تری می‌باشند استفاده نمود.

با بررسی ارتفاع ایستگاه‌های منطقه ملاحظه گردید که در حوضه عمل شرکت آب منطقه‌ای همدان ارتفاع کلیه ایستگاه‌ها بالای ۱۵۰۰ متر می‌باشد و به ناچار از ایستگاه‌هایی در حوضه عمل شرکت‌های آب قزوین، تهران و مرکزی استفاده گردید. همچنین از آمار ایستگاه سینوپتیک همدان - نوزه با توجه به صحت و تکمیل بودن آن استفاده گردید. جدول (پ.۱-۳) مشخصات جغرافیایی و شناسنامه‌ای کلیه ایستگاه‌های مورد استفاده برای درون‌یابی پارامتر دما را نشان می‌دهد (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۷). پس از استخراج پارامترهای مختلف دما در این مرحله همبستگی پارامترهای

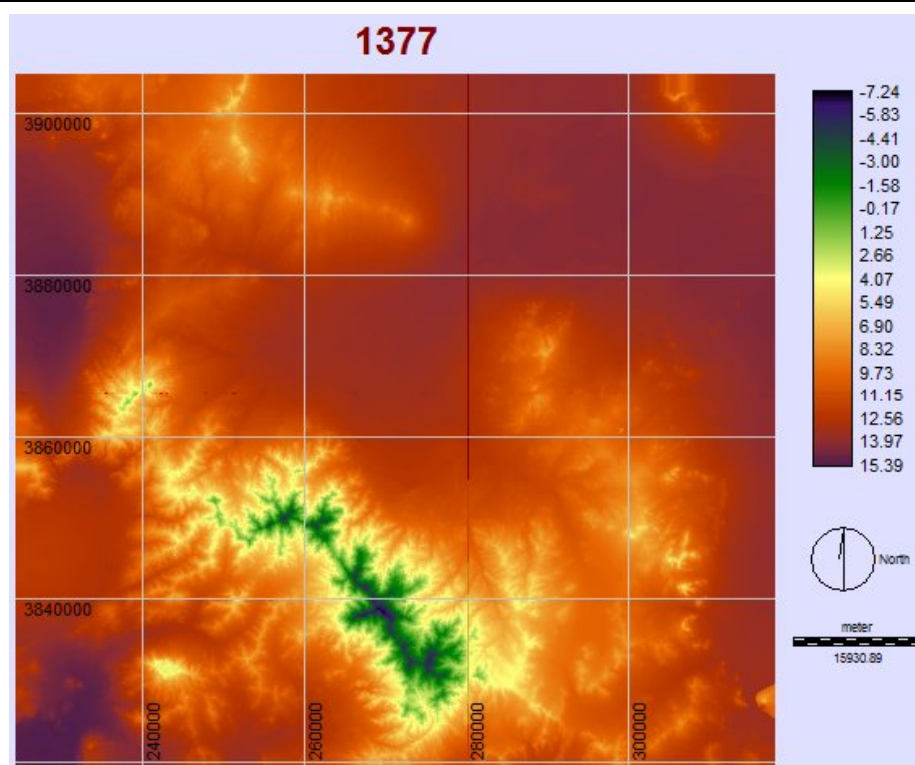
مختلف دما و ارتفاع محاسبه می‌گردد. در نهایت شکل‌های (پ.۱-۱۱-الف تا پ.۱-۱۱-د)، نقشه‌های هم دما را برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۶، ۱۳۷۷، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۱-۱۳۸۵ نمایش می‌دهد.

جدول پ.۱-۳- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده برای پارامتر دما

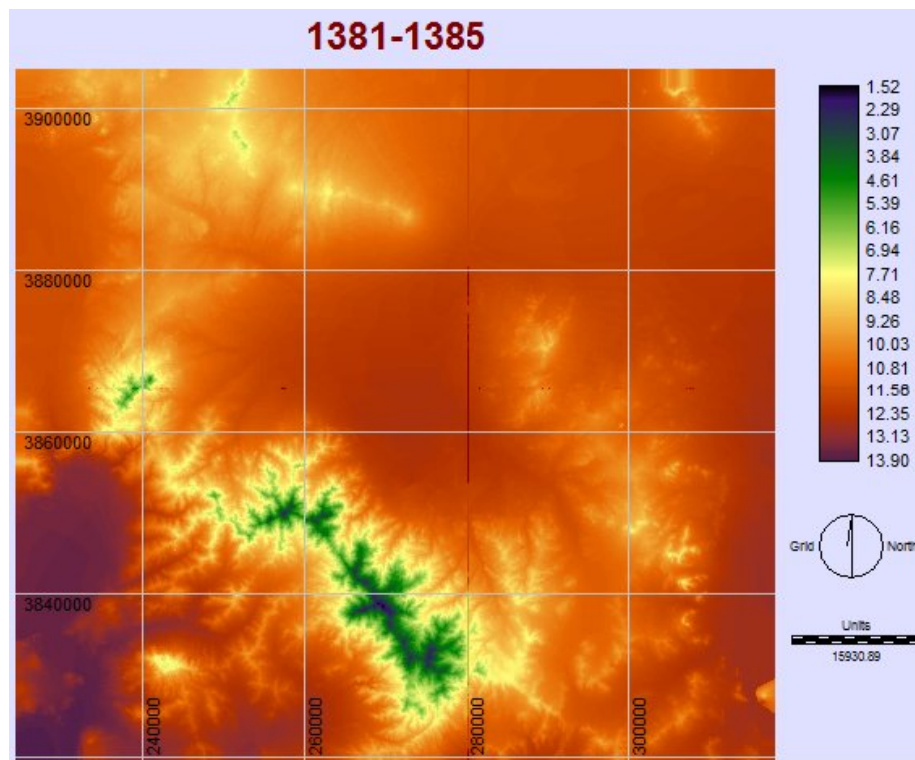
ردیف	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			سال تاسیس	نوع ایستگاه	موقعیت
		طول (درجه)	عرض (درجه)	ارتفاع (متر)			
۱	سد اکباتان	۳۴/۷۵۹۴۴	۴۸/۶۰۲۵۰	۱۹۵۷	۱۳۴۷	تبخیرسنجی	داخل محدوده مطالعاتی
۲	آق کهریز (بهادر بیگ)	۳۴/۹۹۰۰۰	۴۸/۳۳۰۲۸	۱۸۳۵	۱۳۵۲	تبخیرسنجی	
۳	کوشک آباد	۳۵/۰۳۳۸۹	۴۸/۵۶۲۲۲	۱۶۸۴	۱۳۷۰	تبخیرسنجی	
۴	همدان نوژه	۳۵/۲۰۰۰۰	۴۸/۷۱۶۶۶۶۷	۱۶۷۹/۷	۱۳۳۰	سینوپتیک	
۵	قه‌اوند	۳۴/۸۶۱۶۷	۴۹/۰۰۳۳۳	۱۶۲۵	۱۳۵۴	تبخیرسنجی	خارج از محدوده مطالعاتی
۶	خمیگان	۳۵/۳۷۱۱۱	۴۹/۰۲۱۳۹	۱۸۶۸	۱۳۴۵	تبخیرسنجی	
۷	عمرآباد	۳۵/۰۹۰۰۰	۴۹/۲۴۱۶۷	۱۶۲۰	۱۳۶۳	تبخیرسنجی	
۸	حاجی عرب	۳۵/۶۰۰۰۰	۴۹/۷۵۰۰۰	۱۶۷۰	۱۳۶۳	تبخیرسنجی	
۹	داسفان	۳۵/۸۰۰۰۰	۴۹/۷۳۳۳۳	۲۰۰۰	۱۳۵۶	تبخیرسنجی	
۱۰	امام آباد ساوه	۳۸/۸۸۳۳۳	۵۰/۴۶۶۶۷	۹۲۰	۱۳۴۹	تبخیرسنجی	
۱۱	کریم آباد	۳۵/۸۳۳۳۳	۵۰/۶۳۳۳۳	۱۱۶۰	۱۳۶۵	تبخیرسنجی	



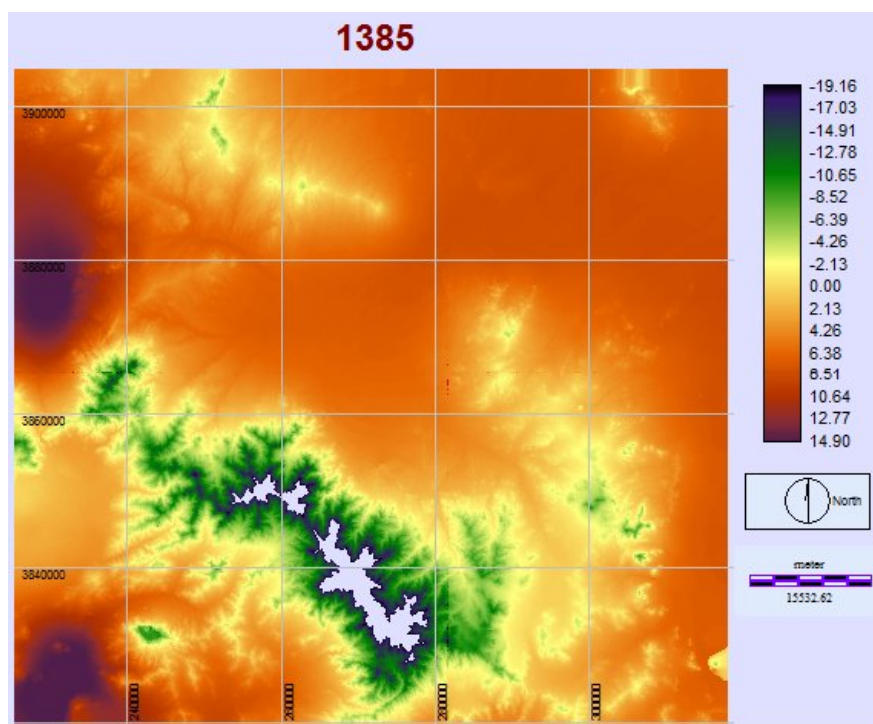
شکل پ.۱-۱۱-الف- نقشه هم دمای حوضه در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۶



شکل پ.۱-۱۱- ب- نقشه هم دمای حوضه در سال ۱۳۷۷ (دنباله)



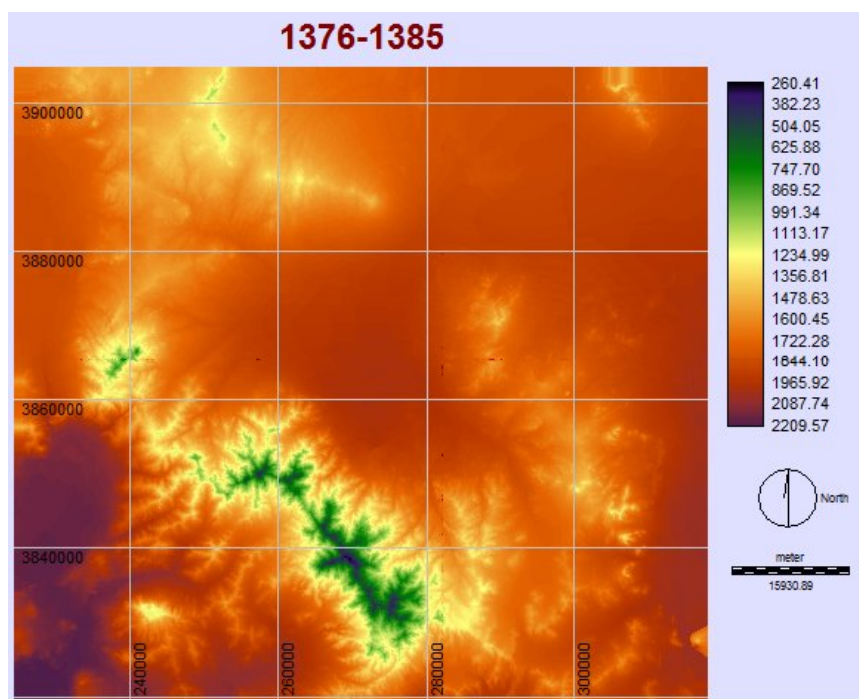
شکل پ.۱-۱۱- ج- نقشه هم دمای حوضه در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵ (دنباله)



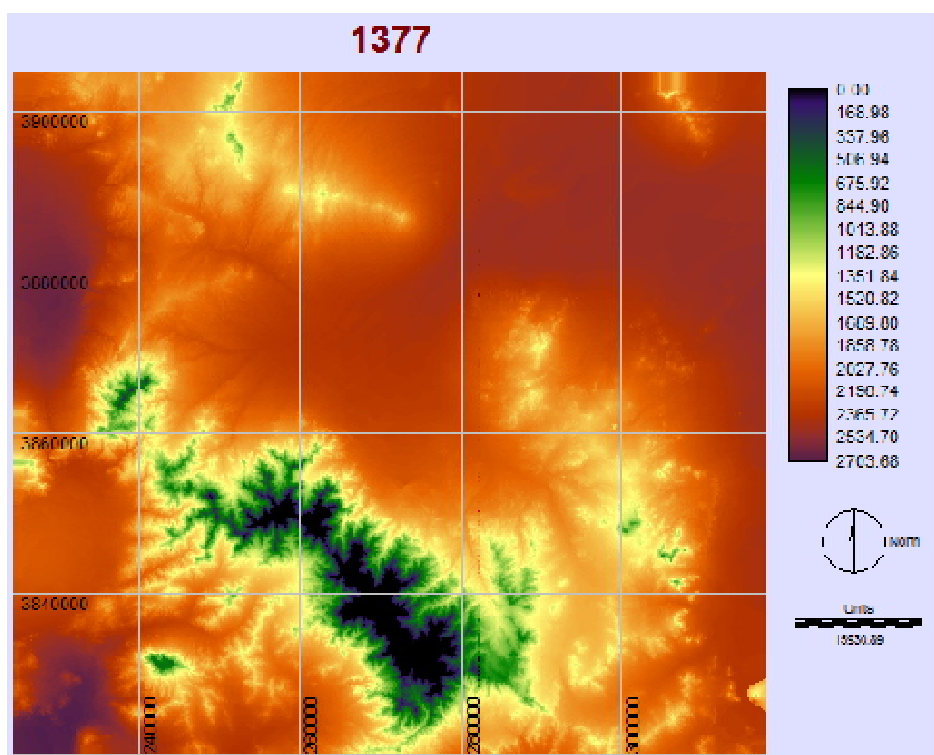
شکل پ.۱-۱۱- د- نقشه هم دمای حوزه در سال ۱۳۸۵ (دنباله)

- نقشه هم تبخیر

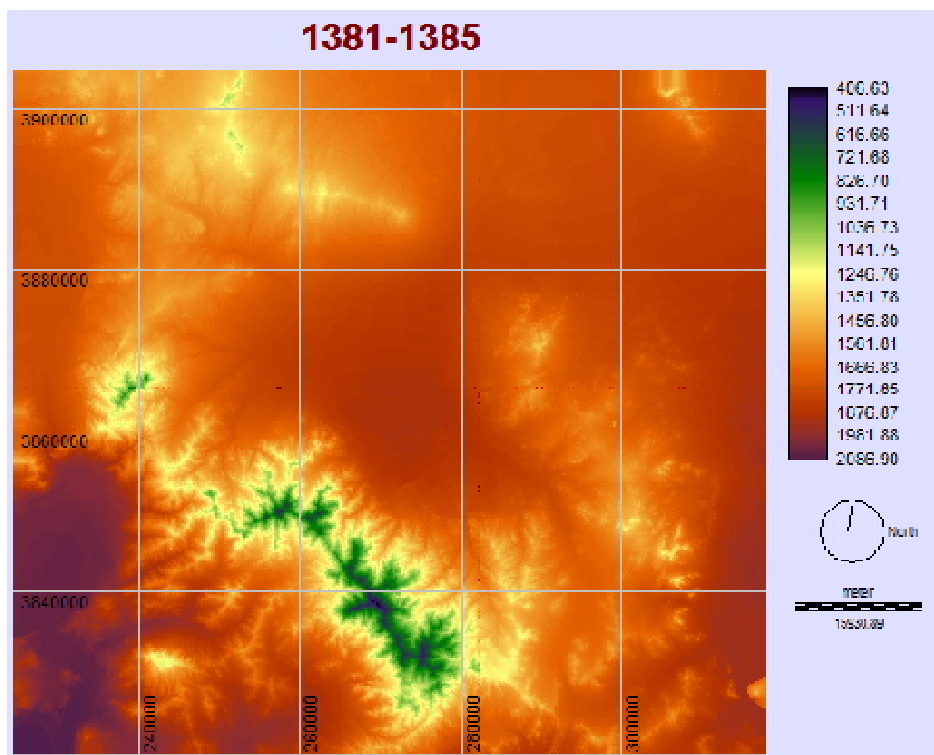
به طریقی مشابه شکل (پ.۱-۱۲- الف تا پ.۱-۱۲- د)، نقشه‌های هم تبخیر را برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۶ و ۱۳۷۷ و ۱۳۸۵ و ۱۳۸۱-۱۳۸۵ نمایش می‌دهد.



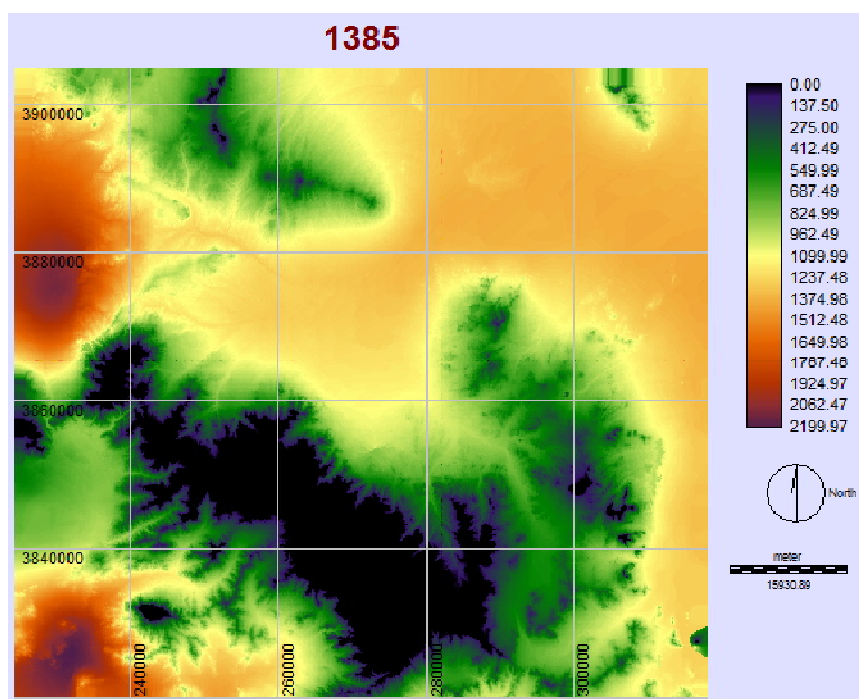
شکل پ.۱-۱۲- الف- نقشه هم تبخیر برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۶



شکل پ.۱-۱۲- ب- نقشه هم تبخیر برای سال ۱۳۷۷ (دنباله)



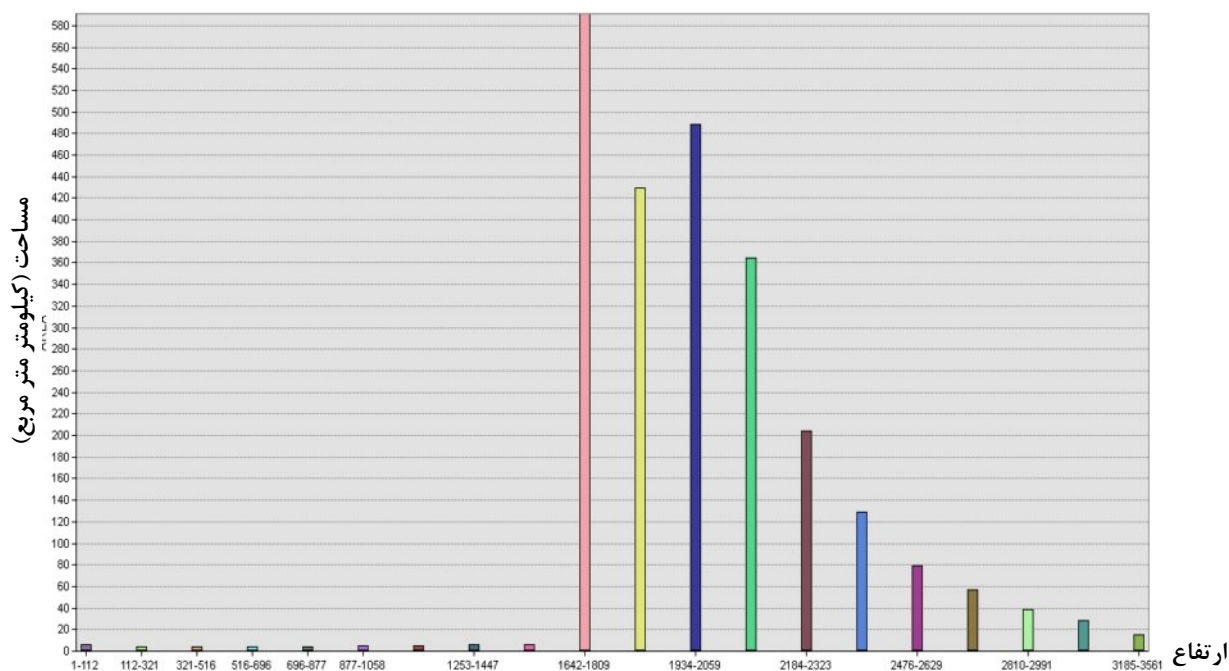
شکل پ.۱-۱۲- ج- نقشه هم تبخیر برای سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵ (دنباله)



شکل پ.۱-۱۲-د- نقشه هم تبخیر برای سال ۱۳۸۵ (دنباله)

- نمودار فرازونجی

نمودار فرازونجی (هیپسومتری) منطقه مورد بررسی در شکل (پ.۱-۱۳) ارائه گردیده است. مساحت ارائه شده در این شکل بر اساس کیلومتر مربع می‌باشد. در این شکل محور عمودی بیانگر مساحت بر حسب کیلومتر مربع و محور افقی بیانگر محدوده‌های ارتفاعی می‌باشد.



شکل پ.۱-۱۳- نمودار فرازونجی

پ.۱-۲- آب‌های زیرزمینی

در این بخش به منظور تبیین قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در زمینه مدیریت منابع آب و انجام مطالعات بر روی آب‌های زیرزمینی، برخی از قابلیت‌های تحلیل‌های مکان مرجع در سیستم اطلاعات مکانی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در قالب نقشه‌های مربوطه ارائه گردیده است. به‌طور کلی کاربرد GIS در مطالعات آب‌های زیرزمینی می‌تواند در دو بخش زیر مورد توجه قرار گیرد:

- ساماندهی داده‌ها و تولید لایه‌های اطلاعاتی پایه آب‌های زیرزمینی
- تهیه و نمایش داده‌های ثانویه آب‌های زیرزمینی با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی

پ.۱-۲-۱- منابع آب زیرزمینی

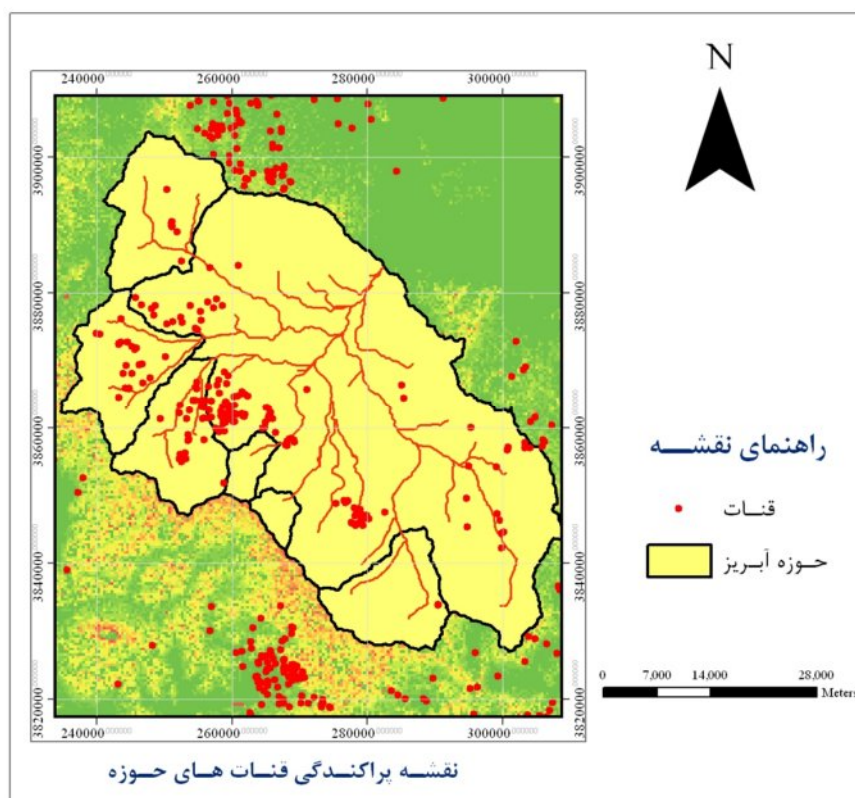
براساس آمار و اطلاعات آخرین گزارش رسیده خلاصه‌ی وضعیت منابع آب زیرزمینی دفتر مطالعات پایه منابع آب در سال ۸۴-۸۵ در محدوده مطالعاتی همدان - بهار تعداد ۱۰۶۳ چاه عمیق با تخلیه سالانه ۱۹۷ میلیون مترمکعب، تعداد ۱۰۸۰ حلقه چاه نیمه عمیق با تخلیه سالانه ۵۳ میلیون مترمکعب و به‌طور کلی تعداد ۲۱۴۳ حلقه چاه، تعداد ۱۵۰ رشته قنات با تخلیه سالانه ۱۵ میلیون مترمکعب در سال و ۳۱۰ دهنه چشمه با تخلیه ۳۵ میلیون مترمکعب در سال بود که در مجموع کل تخلیه سالانه از طریق منابع آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات به میزان ۳۰۰ میلیون مترمکعب در سال تعیین گردیده (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۷). شکل‌های (پ.۱-۱۴)، (پ.۱-۱۵) و (پ.۱-۱۶) پراکندگی قنات و چاه و چشمه را در محدوده مطالعاتی نمایش می‌دهد.

میزان هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی حداقل به میزان ۲۰۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تا حداکثر ۲۱۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و میانگین آن نیز ۹۷۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. هم چنین حداقل میزان یون کلر منابع آب زیرزمینی در این محدوده ۳/۵ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر آن ۲۲۳ میلی‌گرم و میانگین یون کلر منابع آب زیرزمینی محدوده ۶۶ میلی‌گرم در لیتر بر آورد شده است (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۷).

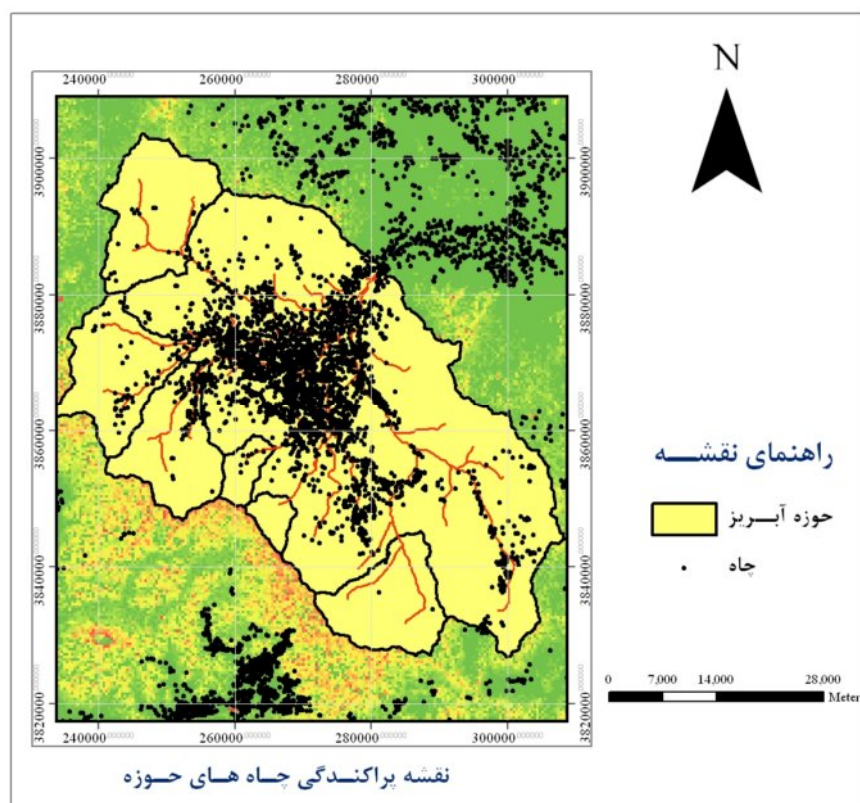
پ.۱-۲-۲- تراز آب زیرزمینی (ایزوپیز)

جهت ترسیم نقشه‌ی تراز آب زیرزمینی در محدوده‌ی مطالعاتی همدان - بهار، آمار مربوط به نواسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان مورد نظر طی سال‌های آبی ۸۱-۸۲ تا ۸۵-۸۶ جمع‌آوری و بررسی و جهت ترسیم نقشه‌های هم‌عمق، هم‌اختلاف سطح آب زیرزمینی در تعداد ۲۸ چاه مشاهده‌ای موجود در محدوده‌ی مطالعاتی استفاده گردید.

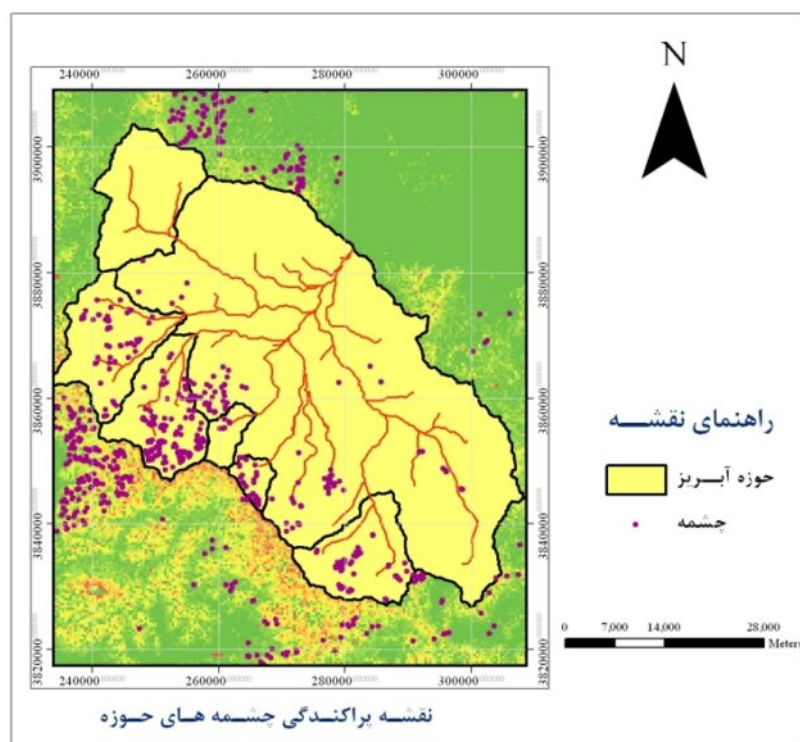
به‌طور کلی نقشه‌های آب زیرزمینی محدوده آبخوان آبرفتی از طریق اطلاعات و آمار نواسانات سطح آب زیرزمینی تعداد ۲۸ پیزومتر در طی سال‌های آبی ۸۱-۸۲ تا ۸۵-۸۶ ترسیم گردیده است و میانگین عمق و تراز آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. شکل‌های (پ.۱-۱۷) و (پ.۱-۱۸) نقشه‌های هم‌تراز و هم‌ضخامت محدوده را نمایش می‌دهند:



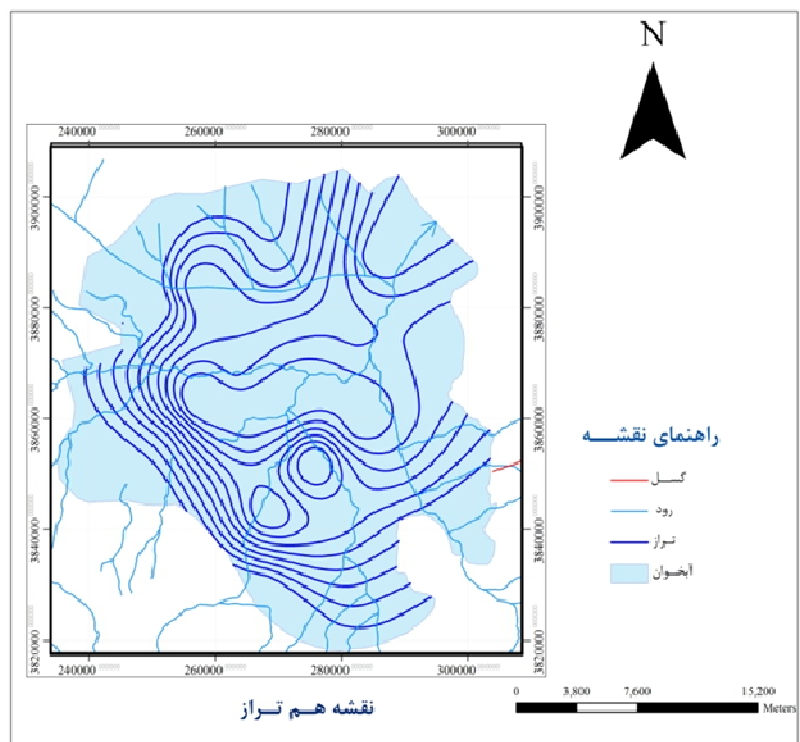
شکل پ.۱-۱۴- نقشه پراکندگی قنات حوزه



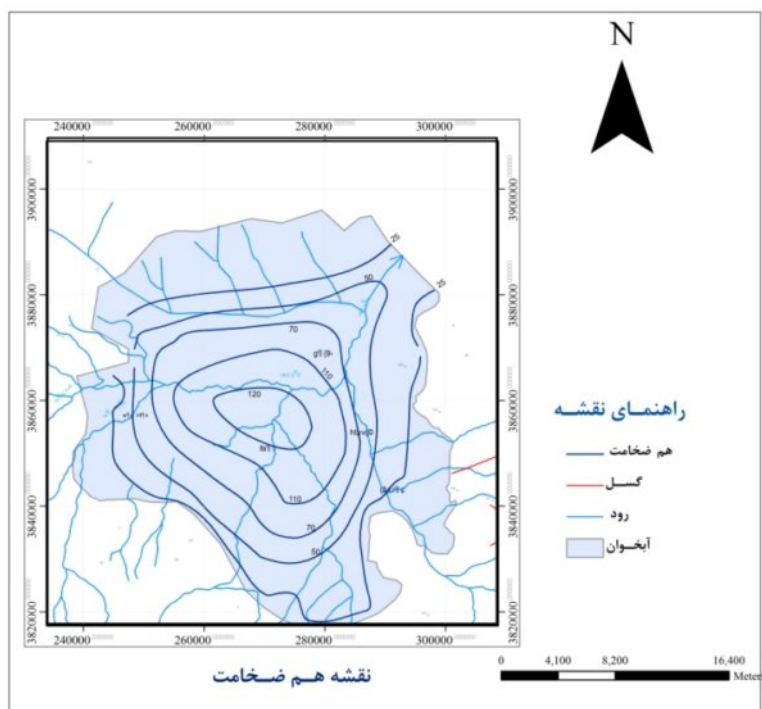
شکل پ.۱-۱۵- نقشه پراکندگی چاه های حوزه



شکل پ.۱-۱۶- نقشه پراکندگی چشمه‌های حوزه



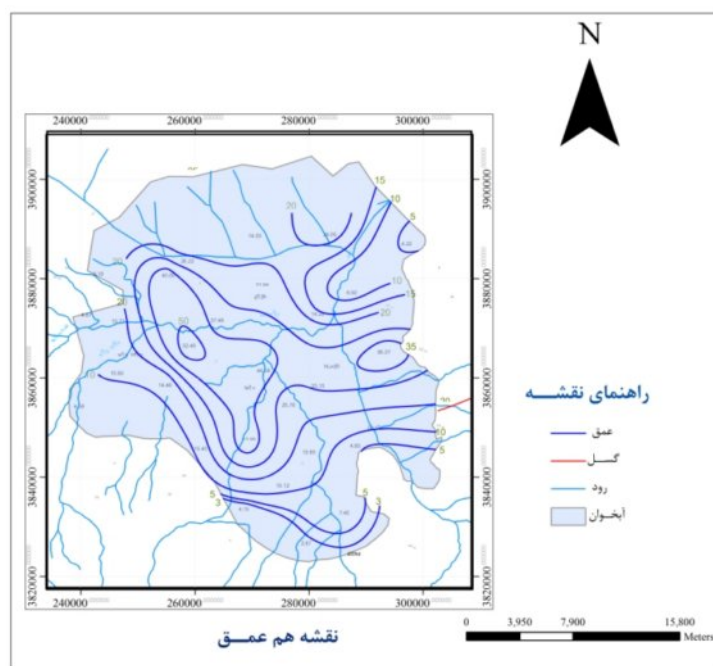
شکل پ.۱-۱۷- نقشه هم تراز حوزه



شکل پ.۱-۱۸- نقشه‌های هم ضخامت حوضه

پ.۱-۲-۳- عمق آب زیرزمینی

نقشه هم عمق آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی همدان - بهار (شکل پ.۱-۱۹) بر اساس میانگین عمق آب زیرزمینی در تعداد ۲۵ چاه مشاهده آبخوان آبرفتی ترسیم گردیده است.



شکل پ.۱-۱۹- نقشه هم عمق آب زیرزمینی حوضه

همان‌گونه که در نقشه هم عمق آب زیرزمینی (شکل پ. ۱-۱۹) مشاهده می‌شود حداقل عمق آب زیرزمینی به میزان ۲/۶۷ متر در پیزومتر شماره ۱۶ به نام حصار امام در ناحیه شمال شهر همدان و حداکثر آن به میزان ۴۴/۶ متر در پیزومتر شماره ۱۳ به نام پیزومتر گنج تپه در نواحی آبخوان در ناحیه شمال شرق بهار اندازه‌گیری شده است. در حاشیه جنوبی و جنوب غربی دشت، عمق آب زیرزمینی حدود ۳ تا ۱۰ متر می‌باشد که ناشی از بالا بودن سنگ کف، تغذیه ناشی از چشمه‌ها و رواناب‌های جاری از دامنه‌های کوه‌های الوند و اثرات برگشت آب مصرفی توسط ساکنین خصوصاً شهروندان شهر همدان می‌باشد. در قسمت‌های شمالی شرقی دشت (خروجی منطقه) نیز عمق آب زیرزمینی حدود ۵ تا ۱۵ متر بوده که علت اصلی آن ناشی از بالا آمدگی سنگ کف در این ناحیه است. عمق آب زیرزمینی در نواحی مرکزی آبخوان حدود ۲۵ تا ۳۵ مترمکعب متغیر می‌باشد و عمیق‌ترین آب زیرزمینی نیز در نواحی مرکزی آبخوان در حوالی روستاهای هارون آباد، گنج تپه، بکن آباد و بهار مشاهده شده است.

پ. ۱-۲-۴- اختلاف سطح آب زیرزمینی (نوسانات سطح آب زیرزمینی)

براساس بررسی‌های به عمل آمده و نقشه تهیه شده که ناشی از اختلاف سطح آب در سال‌های آبی ۸۵-۸۶ نسبت به سال آبی ۸۲-۸۳ به دست آمده است، حداکثر اختلاف سطح آب زیرزمینی به میزان ۴/۳۲- متر در چاه مشاهده‌ای شماره ۹ هارون آباد و حداقل آن به میزان ۰/۰۲ + در چاه مشاهده‌ای شماره ۶ به نام صالح آباد در نواحی غرب دشت اندازه‌گیری شده است.

همان‌طور که در نقشه ملاحظه می‌شود به طور کلی جز در نواحی مرکز، جنوب و جنوب شرقی دشت، سایر نواحی دشت اختلاف سطح آب زیرزمینی مثبت می‌باشد که نشان از بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در سایر نواحی اختلاف سطح آب زیرزمینی منفی بوده و حکایت از افت دراز مدت سطح آب زیرزمینی ناشی از برداشت زیاد از سفره آب زیرزمینی و خشکسالی‌های اخیر می‌باشد.

حداقل منحنی اختلاف سطح آب زیرزمینی به میزان ۳- متر و حداکثر آن ۳+ متر بوده که به ترتیب در نواحی شمال غربی و مرکزی آبخوان ملاحظه می‌شود.

پ. ۱-۲-۵- کیفیت آب زیرزمینی

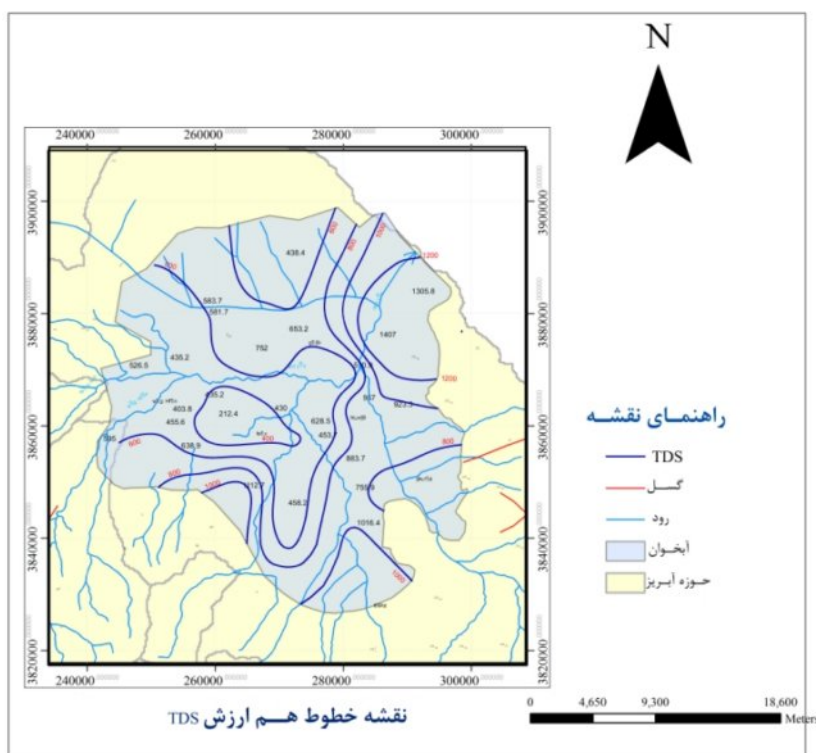
در این بخش به بررسی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (EC) و باقی‌مانده خشک آب زیرزمینی (TDS)، یون کلر آب زیرزمینی و اسیدیته آب زیرزمینی (PH) پرداخته می‌شود.

پ.۱-۲-۵-۱- هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (EC) و باقی‌مانده خشک آب زیرزمینی (TDS)

نقشه‌های کیفیت منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی همدان - بهار بر اساس آمار و اطلاعات کیفی اندازه‌گیری شده و نتایج آنالیز شیمیایی تعداد ۲۶ منبع انتخابی آب زیرزمینی شامل ۷ حلقه چاه نیمه عمیق و ۱۹ حلقه چاه عمیق در سال آبی ۸۴-۸۵ مربوط به خرداد ماه ۸۵ تهیه گردیده است (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۷). شکل (پ-۱-۲۰) نقشه باقی‌مانده خشک آب زیرزمینی محدوده را نمایش می‌دهند.

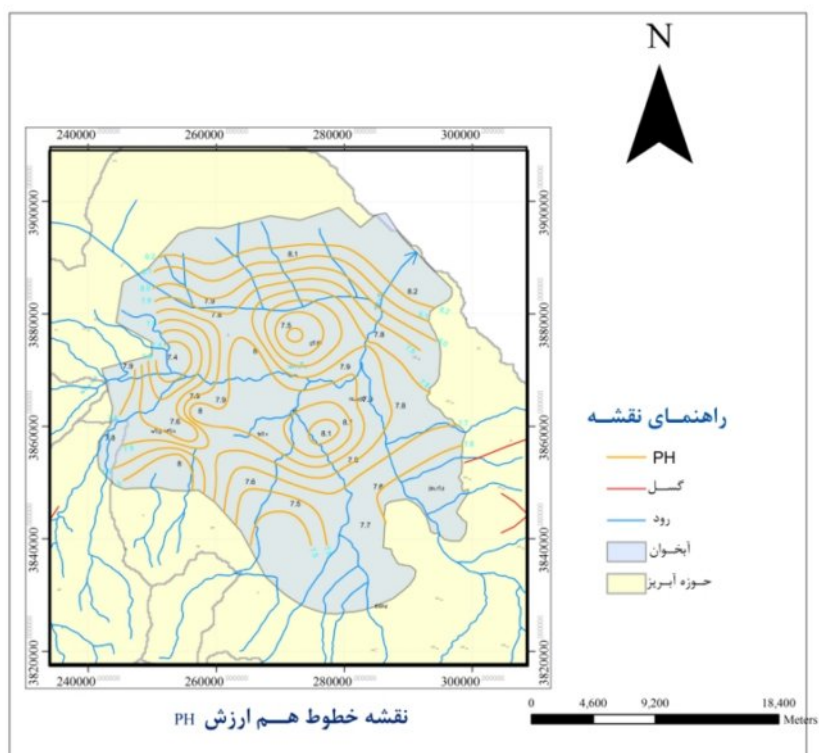
پ.۱-۲-۵-۲- یون کلر آب زیرزمینی

بررسی نقشه کلر محدوده مطالعاتی همدان - بهار نشان می‌دهد مقادیر یون کلر آب زیرزمینی از غرب به شرق و از جنوب، جنوب غرب به شمال شرق (منطقه خروجی دشت) در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان گفت نقشه‌های هدایت الکتریکی، باقی‌مانده خشک و کلر دارای روند یکسانی می‌باشند. کم‌ترین میزان کلر آب زیرزمینی در آبخوان به میزان ۱۴/۲ میلی‌گرم در لیتر در چاه عمیق انتخابی شماره ۱۰ در نواحی شمال غربی بهار اندازه‌گیری شده است.



شکل پ.۱-۲۰- نقشه خطوط هم ارزش TDS

براساس منحنی هم کلر (شکل پ.۱-۲۱) ترسیمی، کم‌ترین میزان یون کلر در نواحی مرکزی دشت با ترسیم منحنی ۳۰ و بیش‌ترین وسعت دشت را منحنی کم‌تر از ۵۰ شامل شده و مناطقی از جمله نواحی جنوب، شرق و شمال شرقی



شکل پ. ۱-۲۲- نقشه خطوط هم‌ارزش PH حوضه

پیوست ۲

معرفی ArcHydro و نحوه استفاده

از آن در مطالعات منابع آب

پ.۲-۱- پیش پردازش‌ها^۱

این منو از DEM برای تشخیص الگوی زهکشی سطح زمین استفاده می‌شود با استفاده از توابع موجود در این منو DEM و مشتقات آن می‌توان برای تشخیص دقیق آبخیزها و تولید شبکه هیدروگرافی استفاده نمود. لازم به ذکر همه مراحل در منوی Terrain Preprocessing می‌بایست به ترتیب انجام داده شود. همه پیش پردازش‌ها باید قبل از استفاده از توابع Watershed Processing کاملاً انجام شود. البته DEM Reconditioning و Filling Sinks را می‌توان بسته به کیفیت DEM اولیه انجام نداد.

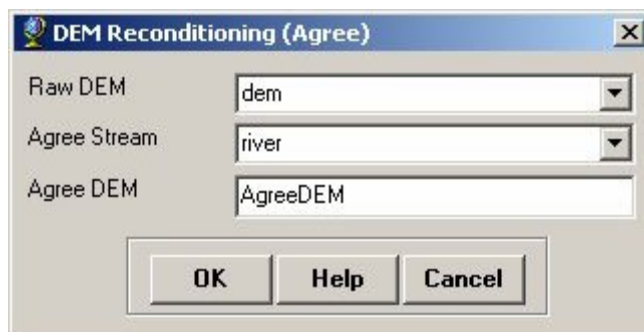
پ.۲-۱-۱- DEM Reconditioning

این تابع، DEM اولیه را با وارد کردن یک عارضه خطی (همانند شبکه هیدروگرافی) به آن اصلاح می‌کند. این تابع نیاز به وارد کردن یک DEM اولیه و یک کلاس عارضه خطی (آبراهه‌ها) دارد. شکل (پ.۲-۱) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۱- تابع DEM Reconditioning

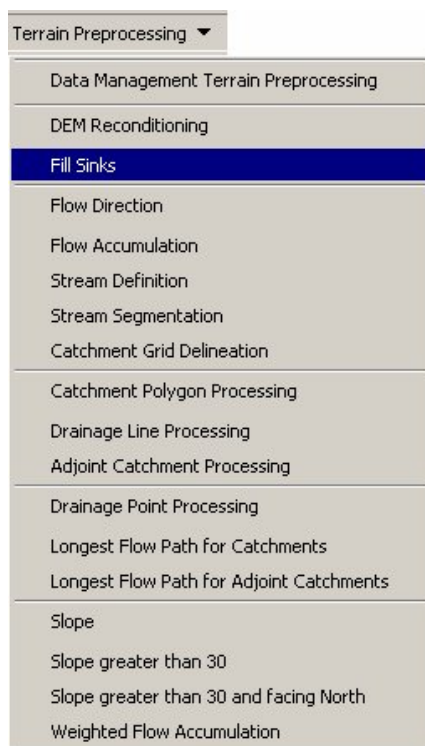
مطابق شکل (پ.۲-۲)، DEM و عارضه خطی انتخاب می‌گردد. خروجی تابع، DEM اصلاح شده ای با نام پیش فرض AgreeDEM می‌باشد.



شکل پ.۲-۲- منوی خروجی تابع DEM Reconditioning

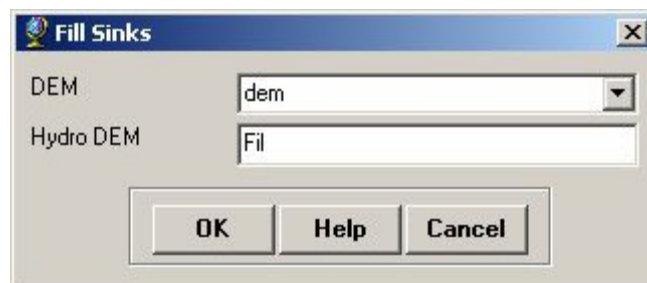
پ.۲-۱-۲- Fill Sinks

این تابع چاله‌های موجود در شبکه سلولی را پر می‌کند. اگر یک سلول به وسیله سلول‌هایی با ارتفاع بیش‌تر احاطه شده باشد آب در این سلول محصور شده و نمی‌تواند جریان پیدا کند. تابع Fill Sinks مقادیر ارتفاعی را برای از بین بردن این چاله‌ها اصلاح می‌کند. شکل (پ.۲-۳) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۳- تابع Fill Sinks

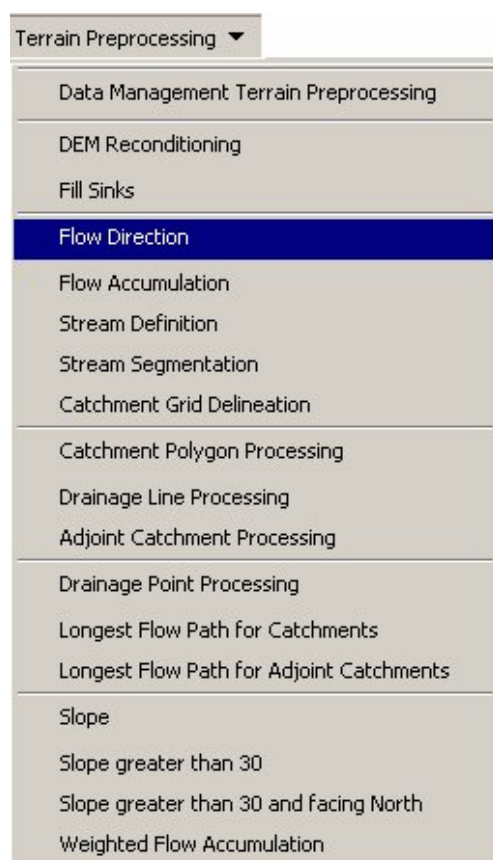
در پنجره باز شده در شکل (پ.۲-۴)، DEM ورودی مشخص می‌شود (AgreeDEM یا DEM اولیه). خروجی تابع لایه Hydro DEM با نام پیش فرض Fil است.



شکل پ.۲-۴- منوی خروجی تابع Fill Sinks

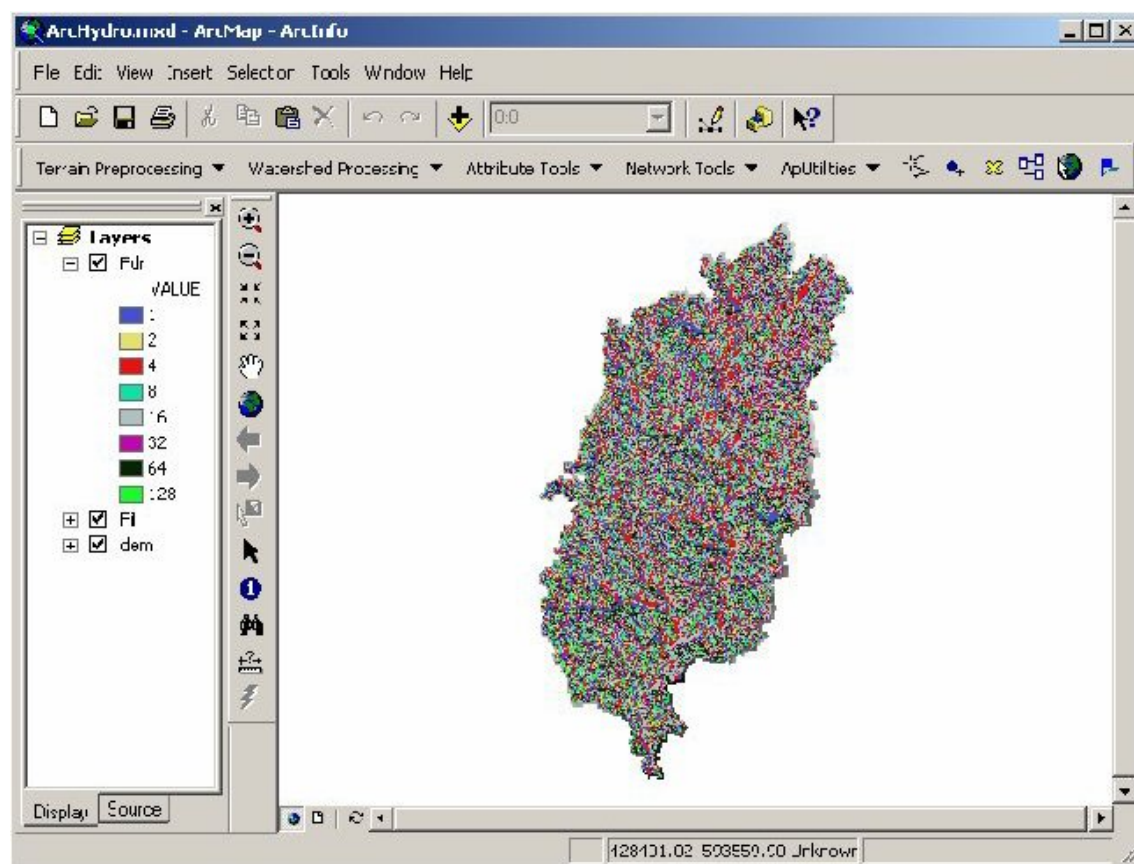
پ.۲-۱-۳- Flow Direction

این تابع جهت جریان را برای یک شبکه سلولی محاسبه می‌کند. مقادیر سلول‌های Flow Direction نشان دهنده جهت کاهش شیب از این سلول‌ها است. شکل (پ.۲-۵) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۵- تابع Flow Direction

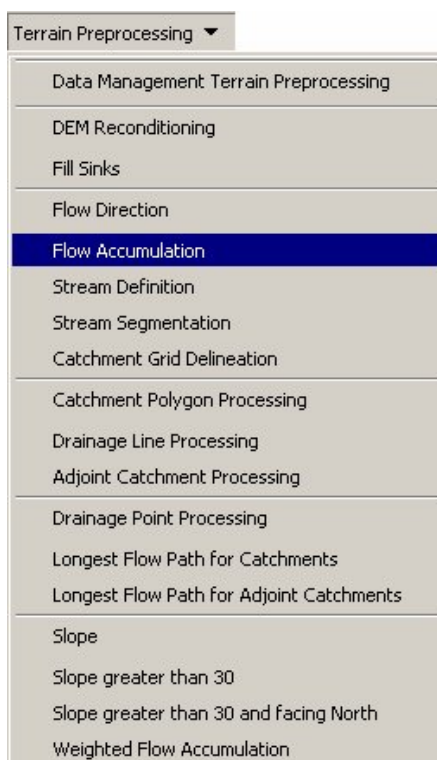
شکل (پ.۲-۶) نمونه‌ای از خروجی این تابع را نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۶- نمونه‌ای از خروجی تابع Flow Direction

پ.۲-۱-۴- Flow Accumulation

این تابع تراکم جریان را محاسبه می‌کند که محتوی انباشت ارقام سلول‌ها، برای هر سلول در لایه سلولی ورودی می‌باشد. شکل (پ.۲-۷) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۷- تابع Flow Direction

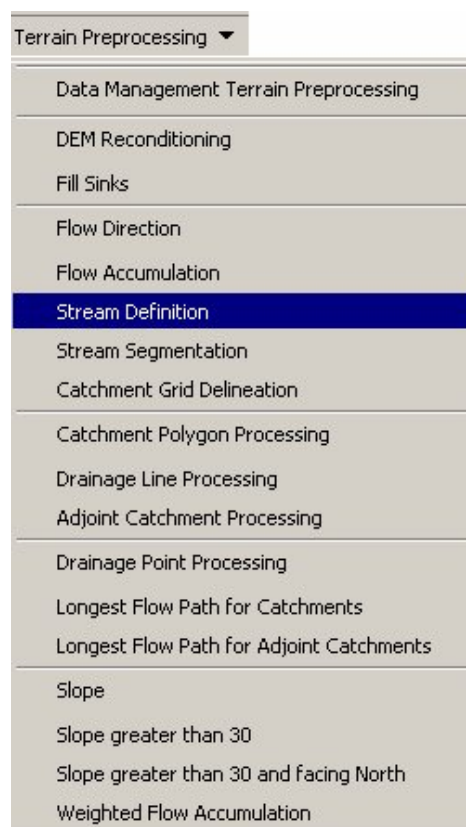
مطابق شکل (پ.۲-۸) در پنجره باز شده در قسمت Flow Direction Grid، لایه سلولی Fil که در مرحله قبل تولید شد را قرار دهید. خروجی این تابع، لایه سلولی تراکم جریان با نام پیش فرض Fac می‌باشد.



شکل پ.۲-۸- خروجی تابع

پ.۲-۱-۵- Stream Definition

این تابع یک لایه سلولی است که شبکه آبراهه تولید می‌کند. در هنگام تولید این لایه آستانه‌ای تعیین می‌شود که سلول‌هایی که در لایه ورودی تراکم جریان «Fac» دارای ارزش بزرگ‌تر از این آستانه باشد در لایه خروجی دارای ارزش «۱» و نشان دهنده شبکه هیدروگرافی خواهند بود. (شکل پ.۲-۹) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



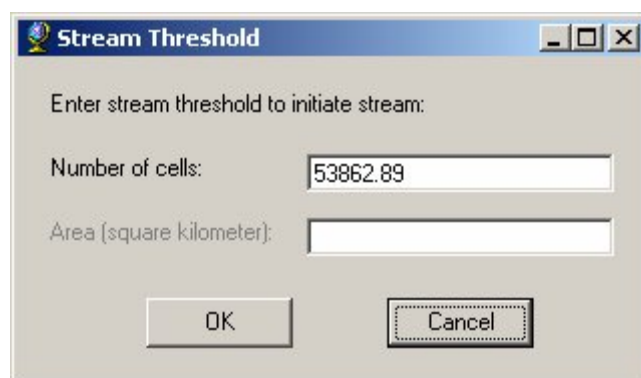
شکل پ.۲-۹- تابع Stream Definition

در پنجره باز شده در شکل (پ.۲-۱۰)، لایه ورودی را برای Flow Accumulation، لایه سلولی «Fac» ایجاد شده در مرحله قبل قرار دهید. لایه خروجی یک لایه سلولی از آبراهه ای با نام Str می‌باشد.



شکل پ.۲-۱۰- خروجی تابع

پس از زدن کلید ok در پنجره فوق پنجره‌ای دیگری باز می‌شود (شکل پ.۲-۱۱) که مقدار آستانه برای مشخص نمودن آبراهه‌ها در این قسمت وارد می‌شود. مقادیر پیش فرضی برای آستانه مشاهده می‌شود. این آستانه نشان دهنده ۱٪ بیشینه تراکم جریان می‌باشد. این مقدار برای تعیین شبکه آبراهه‌ای مطلوب است هر چند هر ارزش دیگری برای آستانه‌ای می‌تواند انتخاب شود. آستانه‌های کم‌تر، شبکه هیدروگرافی متراکم تر و متعاقبا حوضه‌های آبخیز بیش‌تری را مشخص می‌کند.

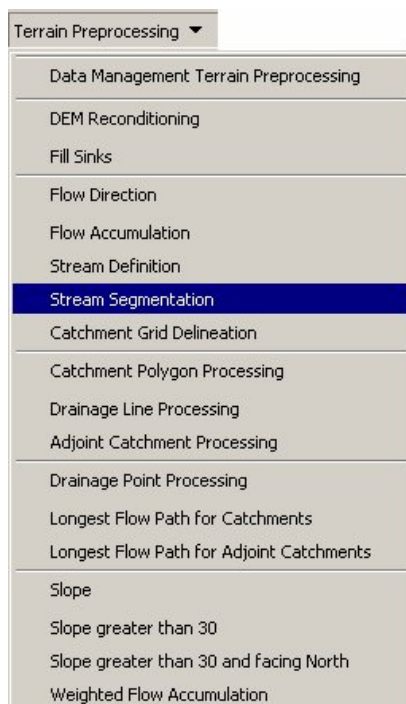


شکل پ.۲-۱۱- مقدار آستانه برای مشخص نمودن آبراهه‌ها

پس از تعیین آستانه و زدن کلید ok در شکل (پ.۲-۱۱)، لایه سلولی تولید شده شبکه هیدروگرافی به داده‌های موجود در جدول محتویات Arc Map اضافه خواهد شد.

پ.۲-۱-۶- Stream Segmentation

این تابع یک لایه سلولی از قطعات شبکه هیدروگرافی ایجاد می‌کند که هر کدام از قطعات در لایه تولید شده دارای یک شناسه منحصر به فرد خواهند بود. هر کدام از قطعات ممکن است قطعه انتهایی باشند یا اینکه به صورت قطعه‌ای بین دو قطعه باشند. همه سلول‌ها در یک قطعه خاص دارای کدهای مشابه هستند که فقط مختص قطعه مورد نظر است. شکل (پ.۲-۱۲) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۱۲- تابع Stream Segmentation

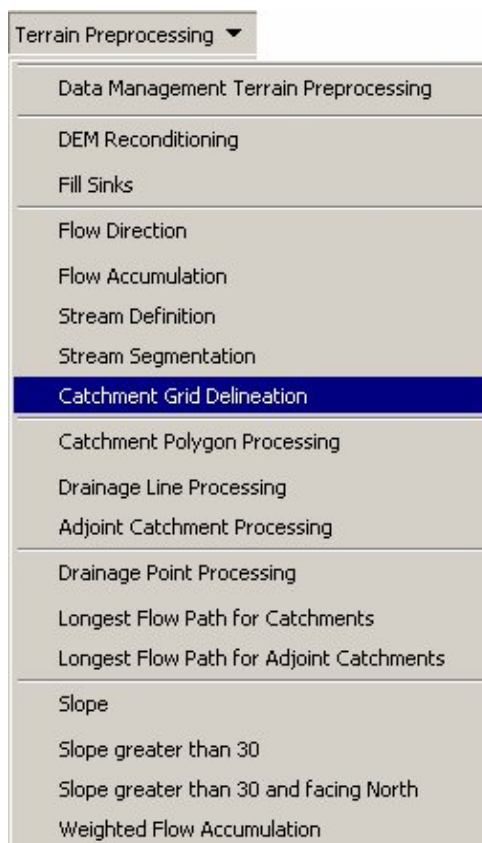
مطابق شکل (پ. ۲-۱۳) لایه خروجی یک لایه سلولی با نام پیش فرض Lnk خواهد بود.



شکل پ. ۲-۱۳- لایه خروجی تابع

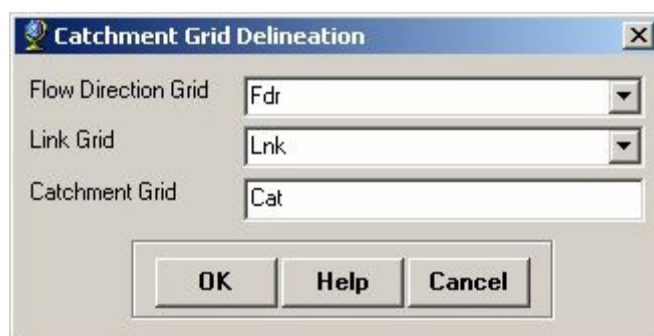
پ. ۲-۱-۷- Catchment Grid Delineation

این تابع شبکه‌ای ایجاد می‌کند که به هر سلول یک ارزش (Cod Grid) برای تعیین تعلق هر سلول به یک حوضه آبخیز اختصاص داده می‌شود. ارزش‌ها مشابه با ارزش‌های اختصاص داده شده در Stream Segment (در مراحل قبل ایجاد شده) می‌باشند که محدوده این آبراهه‌ها در Link Grid تعیین شد. شکل (پ. ۲-۱۴) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ. ۲-۱۴- تابع Catchment Grid Delineation

مطابق شکل (پ.۲-۱۵) لایه خروجی، لایه سلولی از حوضه‌های آبخیز با نام پیش فرض «Cat» می‌باشد.

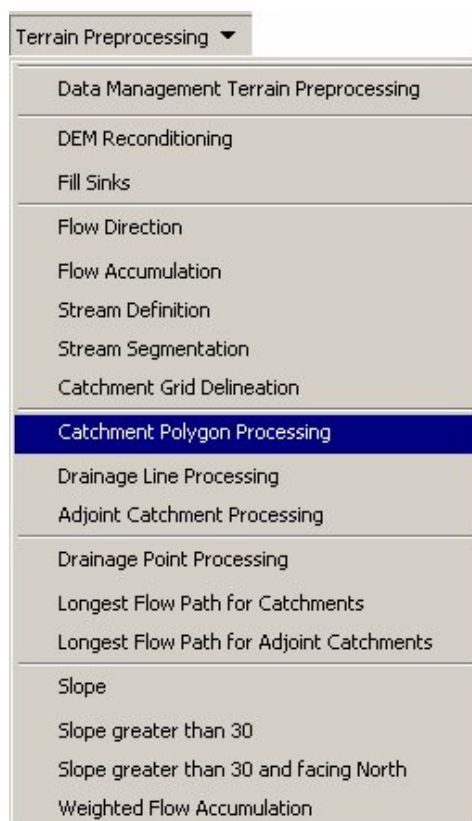


شکل پ.۲-۱۵- خروجی تابع

پس از تنظیم پنجره فوق، با کلیک ok لایه ایجاد شده به Arc Map اضافه می‌شود.

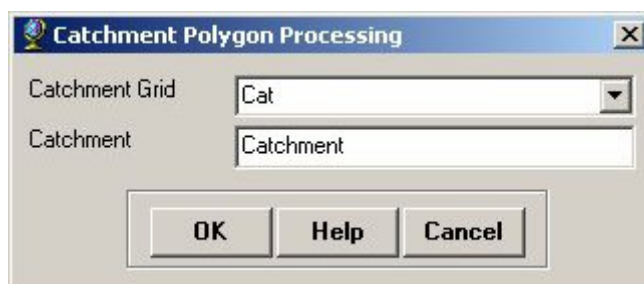
پ.۲-۱-۸- Catchment Polygon Processing

این تابع لایه سلولی تولید شده در مرحله قبل «Cat» را به عارضه پلیگونی تبدیل می‌کند. شکل (پ.۲-۱۶) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۱۶- تابع Catchment Polygon Processing

مطابق شکل (پ.۲-۱۷) لایه خروجی یک لایه‌برداری پلیگونی با نام پیش فرض «Catchment» می‌باشد.



شکل پ.۲-۱۷- خروجی تابع

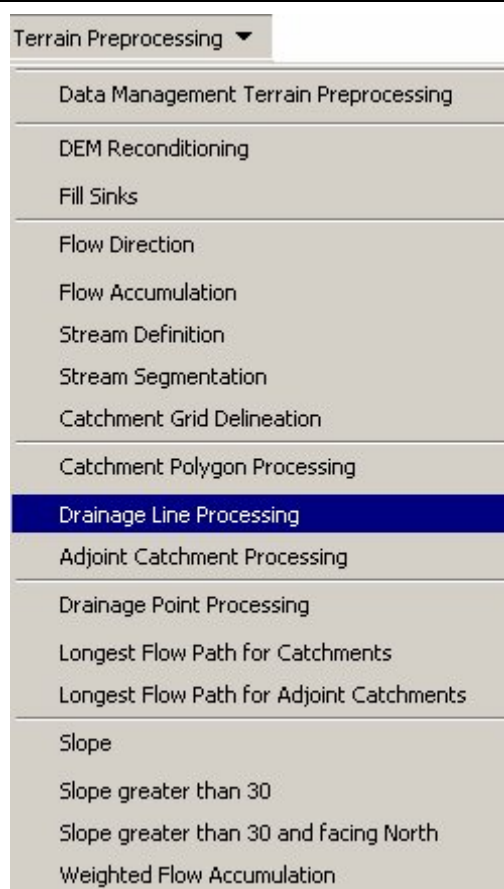
مطابق شکل (پ.۲-۱۸) در جدول توصیفات لایه‌ای Catchment، فیلد GridID حاوی مقداری برای شبکه آبخیز (Catchment Grid) دارای ارزش‌های مشترک می‌باشد. HydroID یک شناسه منحصر به فرد برای شناسایی عوارض در Geodatabase می‌باشد.

Attributes of Catchment						
Shape*	OID*	Shape_Length	Shape_Area	HydroID	GridID	
Polygon	1	36479.999918	26218800.038738	1	1	
Polygon	2	31559.999814	16946100.014269	2	2	
Polygon	3	13140.000097	4588200.010796	3	3	
Polygon	4	27660.000038	10106100.047217	4	4	
Polygon	5	25019.999957	21497399.982851	5	5	
Polygon	6	20040.000011	13174200.024702	6	6	
Polygon	7	24359.999917	11725200.015741	7	7	
Polygon	8	33600.000006	32172299.979849	8	8	
Polygon	9	26759.999934	21551399.975490	9	9	
Polygon	10	24239.999924	18395099.991875	10	10	

شکل پ.۲-۱۸- جدول توصیفات لایه‌ای Catchment

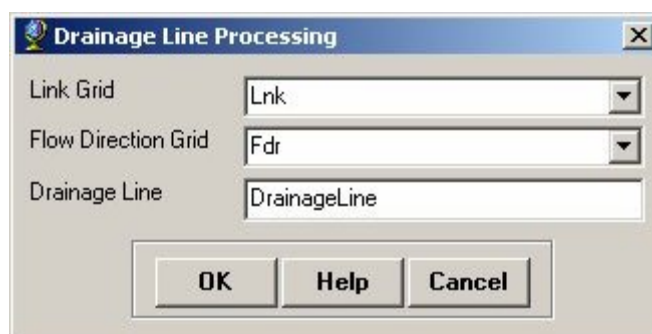
پ.۲-۱-۹- Drainage Line Processing

این تابع لایه سلولی Link Grid که در مراحل قبل تولید شده را به یک عارضه خطی تبدیل می‌کند. هر خط (آبراهه) در کلاس عارضه تولید شده حاوی یک شناسه از حوضه آبخیزی که در آن قرار دارد می‌باشد. شکل (پ.۲-۱۹) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۱۹- تابع Drainage Line Processing

مطابق شکل (پ.۲-۲۰) لایه خروجی یک لایه برداری خطی با نام پیش فرض «Drainage Line» می باشد. توجه کنید که در هر مرحله از لایه های تولید شده از مراحل قبل استفاده می شود بنابراین کلیه این مراحل باید به ترتیب انجام شود. همچنین نام های پیش فرض قابل تغییر می باشند ولی برای جلوگیری از سردرگمی برای یافتن لایه های مورد نیاز در هر مرحله بهتر است از اسامی پیش فرض استفاده شود.

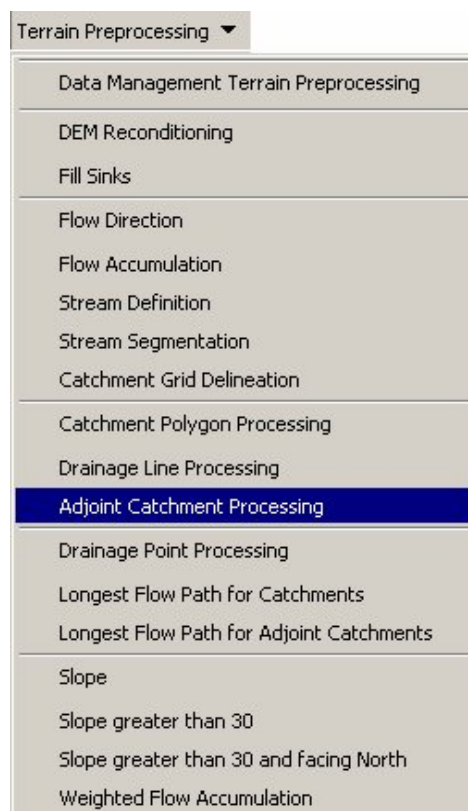


شکل پ.۲-۲۰- خروجی تابع

پس از افزوده شدن لایه خطی جدید به نام ArcMap جدول توصیفات آن شامل اطلاعاتی می‌باشد. فیلد GridID حاوی HydroID حوضه آبخیز متناظر است. Next DownID حاوی HydroID برای آبراهه بعدی که در آبراهه مورد نظر قرار دارد می‌باشد. در صورتی که آبراهه ای در پایین‌دست نباشد در آن فیلد مقدار «-۱» درج می‌شود.

پ.۲-۱-۱۰ - Adjoint Catchment Processing

این تابع مجموع حوضه‌های آبخیز را از لایه‌های پلیگونی «Catchment» تولید می‌کند. برای هر حوضه آبخیزی که بالادست نداشته باشد، یک پلیگون حول سطح بالادست آبراهه بر طبق نقطه خروجی ساخته شده و در یک کلاس عارضه به نام Adjoint Catchment ذخیره می‌شود. شکل (پ.۲-۲۱) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۲۱ - تابع Adjoint Catchment Processing

مطابق شکل (پ.۲-۲۲) لایه خروجی یک کلاس عارضه پلیگونی با نام (Adjoint Catchment) می‌باشد.



شکل پ.۲-۲۲- خروجی تابع

پس از اضافه شدن کلاس عارضه جدید، مطابق شکل (پ.۲-۲۳) با باز کردن جدول محتویات در ArcMap، ستون HydroID شناسه Adjoint Catchment و GridID حاوی GridID آبخیز پایین دست Adjoint Catchment می‌باشد.

Shape*	OID*	Shape_Length	Shape_Area	HydroID	GridID
Polygon	1	40440.000001	43164900.053007	107	3
Polygon	2	51539.999905	79488900.041519	108	13
Polygon	3	45540.000095	58288499.987401	109	22
Polygon	4	63119.999937	108263699.974872	110	15
Polygon	5	98040.000100	258779699.984452	111	9
Polygon	6	111360.000187	312503399.93979	112	6
Polygon	7	43080.000159	43336799.945011	113	26
Polygon	8	55200.000160	72854999.991575	114	33
Polygon	9	87179.999949	206917199.933838	115	31
Polygon	10	58379.999900	67703400.091926	116	45

شکل پ.۲-۲۳- جدول محتویات

مطابق شکل (پ.۲-۲۴) در جدول توصیفات لایه Catchment پردازش Adjoint Catchment به فیلد Next DownID که حاوی HydroID آبخیز پایین دست است اضافه شده است (در صورتی که سطح آبخیزی در پایین دست وجود نداشته باشد به آن رقم «۱-» اختصاص داده می‌شود).

Shape*	OID*	Shape_Length	Shape_Area	HydroID	GridID	NextDownID
Polygon	1	36479.999918	26218800.038738	1	1	3
Polygon	2	31559.999814	16946100.014269	2	2	3
Polygon	3	13140.000097	4588200.010796	3	3	4
Polygon	4	27660.000038	10106100.047217	4	4	-1
Polygon	5	25019.999957	21497399.982851	5	5	4
Polygon	6	20040.000011	13174200.024702	6	6	5
Polygon	7	24359.999917	11725200.015741	7	7	5
Polygon	8	33600.000006	32172299.979849	8	8	6
Polygon	9	26759.999934	21551399.975490	9	9	6
Polygon	10	24239.999924	18395099.991875	10	10	7

شکل پ.۲-۲۴- جدول توصیفات لایه Catchment

مطابق شکل (پ.۲-۲۵) در جدول توصیفات لایه Drainage Line، پردازش Adjoint Catchment به فیلد DrainID که حاوی HydroID سطوح آبخیز متناظر با خطوط آبراهه، افزوده شده است.

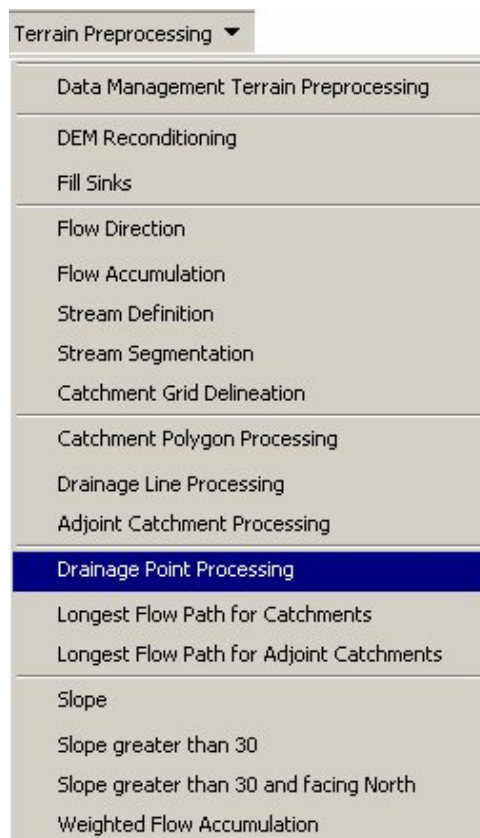
Attributes of DrainageLine									
Shape*	OID*	Shape_Length	GridID	FROM_NOD	TO_NODE	HydroID	NextDownID	DrainID	
Polyline	1	6326.026012	1	1	2	54	56	1	
Polyline	2	1635.182911	2	3	2	55	56	2	
Polyline	3	3034.629881	3	2	5	56	57	3	
Polyline	4	830.330104	4	5	4	57	-1	4	
Polyline	5	5277.716385	5	6	5	58	57	5	
Polyline	6	3744.777041	8	7	8	59	60	8	
Polyline	7	4028.893947	6	8	6	60	58	6	
Polyline	8	4249.188291	7	9	6	61	58	7	
Polyline	9	1188.198115	10	10	9	62	61	10	
Polyline	10	1565.954528	12	11	12	63	64	12	

Record: 18 Show: All Selected Records (0 out of 53 Selected.) Options

شکل پ.۲-۲۵- جدول توصیفات لایه Drainage Line

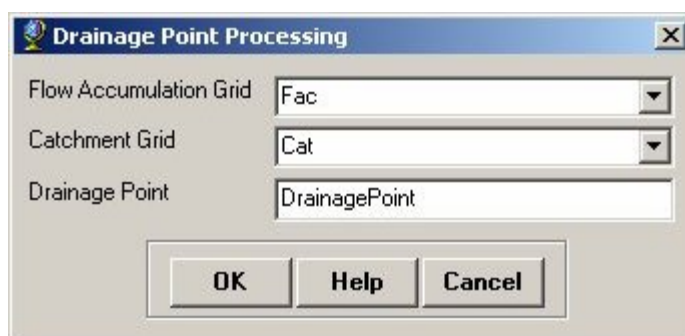
پ.۲-۱-۱۱- Drainage Point Processing

به وسیله این تابع نقاط مشترک بین آبراهه‌ها و سطوح آبخیز قابل استخراج می‌باشد. شکل (پ.۲-۲۶) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۲۶- تابع Drainage Point Processing

مطابق شکل (پ.۲-۲۷) لایه‌های خروجی یک کلاس عارضه نقطه ای با نام پیش فرض Drainage Point می‌باشد.



شکل پ.۲-۲۷- خروجی تابع

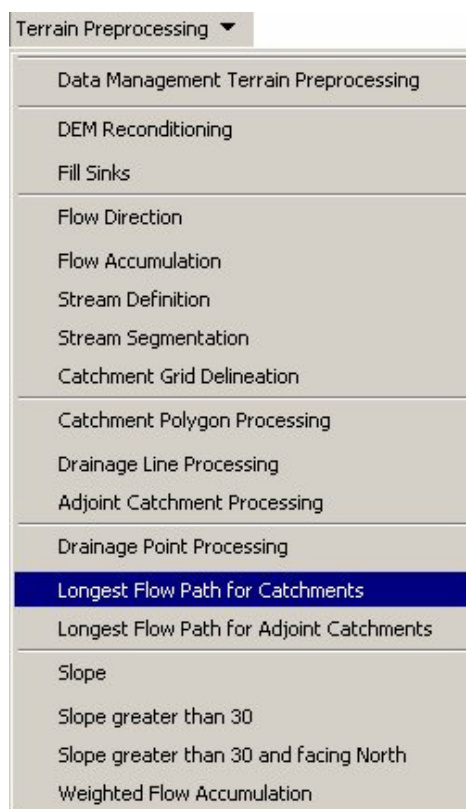
مطابق شکل (پ.۲-۲۸) در جدول توصیفات لایه جدید «Drainage Point»، فیلد HydroID شناسه منحصر به فرد در Geodatabase می‌باشد. GridID ارزش آبراهه موجود در هر سطح آبخیز واقع در لایه سلولی Catchmentgrid است. DrainID، HydroID سطح آبخیز متناظر می‌باشد.

Attributes of DrainagePoint					
	Shape*	OID*	HydroID	GridID	DrainID
	Point	1	186	1	1
	Point	2	187	2	2
	Point	3	188	4	4
	Point	4	189	3	3
	Point	5	190	5	5
	Point	6	191	6	6
	Point	7	192	7	7
	Point	8	193	8	8
	Point	9	194	9	9
	Point	10	195	10	10

شکل پ.۲-۲۸- جدول توصیفات لایه جدید «Drainage Point»

پ.۲-۱-۱۲- Longest Flow Path for Catchment

این تابع طولانی‌ترین مسیر جریان را برای سطوح آبخیز محاسبه می‌کند. شکل (پ.۲-۲۹) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۲۹- تابع Longest Flow Path for Catchment

مطابق شکل (پ.۲-۳۰) لایه خروجی یک کلاس عارضه خطی به نام پیش فرض LongestFlowPathCat می‌باشد.



شکل پ.۲-۳۰- خروجی تابع

مطابق شکل (پ.۲-۳۱) در جدول توصیفات لایه LongestFlowPathCat، HydroID شناسه منحصر به فرد در Geodatabase است. DrainID، سطح آبخیز متناظر می‌باشد. LengthDown، طول مسیر جریان از نقطه شروع تا نقطه خروجی حوضه در واحد نقشه می‌باشد.

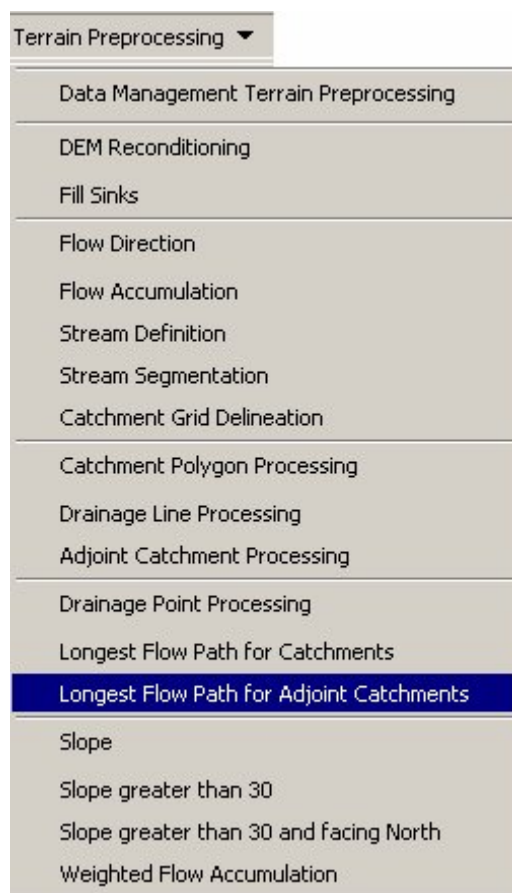
Attributes of LongestFlowPathCat						
Shape*	OID*	Shape_Length	HydroID	DrainID	LengthDown	
Polyline	1	12265.874537	239	1	16124.62	
Polyline	2	11903.742426	240	2	15762.49	
Polyline	3	4245.731577	241	3	5069.85	
Polyline	4	6805.325732	242	6	12913.37	
Polyline	5	10600.067040	243	8	20730.79	
Polyline	6	8988.229425	244	12	30389.24	
Polyline	7	9449.072483	245	5	10279.40	
Polyline	8	8511.244539	246	9	18641.97	
Polyline	9	7202.604989	247	13	24427.92	
Polyline	10	8774.772740	248	4	8774.77	

Record: [Navigation Icons] 20 [Navigation Icons] Show: [All] [Selected] Records (0 out of 53 Selected.) Opt

شکل پ.۲-۳۱- جدول توصیفات لایه LongestFlowPathCat

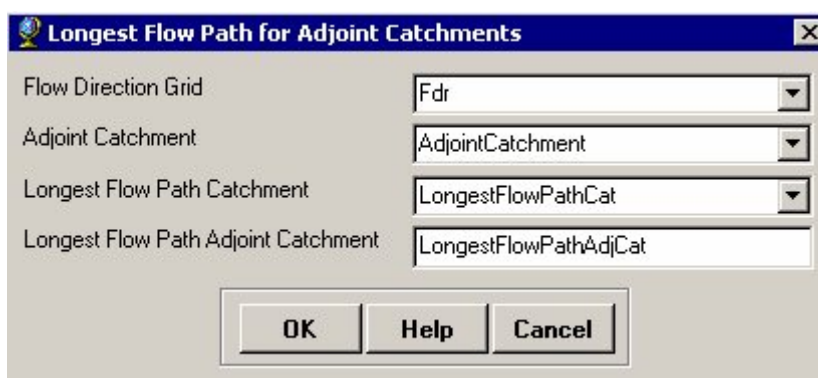
پ.۲-۱-۱۳- Longest Flow Path for Adjoint Catchments

این تابع طولانی‌ترین مسیر جریان را برای لایه Adjoint Catchment محاسبه می‌کند. شکل (پ.۲-۳۲) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۳۲- تابع Longest Flow Path for Adjoint Catchments

مطابق شکل (پ.۲-۳۳) لایه خروجی یک کلاس عارضه خطی با نام پیش فرض Longest Flow Path Adjoint می‌باشد.



شکل پ.۲-۳۳- خروجی تابع

مطابق با شکل (پ.۲-۳۴) در جدول توصیفات لایه ایجاد شده تابع Longest Flow Path Adjoint, DrainID, HydroID متناظر Adjoint Catchment می‌باشد.

Shape*	OID*	Shape_Length	DrainID
Polyline	1	12265.874537	107
Polyline	2	14340.321533	108
Polyline	3	9853.448121	109
Polyline	4	16141.053083	110
Polyline	5	27626.668995	111
Polyline	6	34715.045603	112
Polyline	7	9572.787806	113
Polyline	8	13288.372180	114
Polyline	9	18832.524837	115
Polyline	10	18256.311613	116

Record: 20 Show: All Selected Records (0 out of 26)

شکل پ.۲-۳۴- جدول توصیفات لایه ایجاد شده تابع Longest Flow Path Adjoint

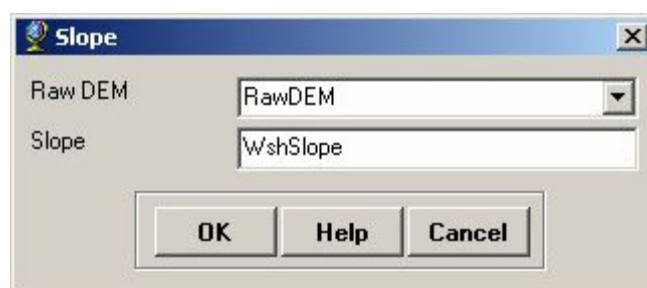
پ.۲-۱-۱۴ - Slope

این تابع لایه سلولی شیب (به درصد) را برای DEM ورودی ایجاد می‌کند. شکل (پ.۲-۳۵) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۳۵- تابع Slope

لایه ورودی را مطابق شکل (پ.۲-۳۶) بر روی RawDEM (لایه DEM اولیه) قرار می‌گیرد. لایه خروجی، لایه سلولی شیب برای DEM مذکور با نام پیش فرض WshSlope می‌باشد.



شکل پ.۲-۳۶- خروجی تابع

پ.۲-۱-۱۵- Slope greater than 30

این تابع لایه سلولی از سلول‌هایی که شیب بزرگ‌تر از ۳۰٪ دارند ایجاد می‌کند. این سلول‌ها دارای ارزش ۱ و سلول‌های دیگر، یعنی سلول‌هایی که دارای شیب کم‌تر از ۳۰٪ هستند، دارای ارزش ۰ خواهند بود. شکل (پ.۲-۳۷) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۳۷- تابع Slope greater than 30

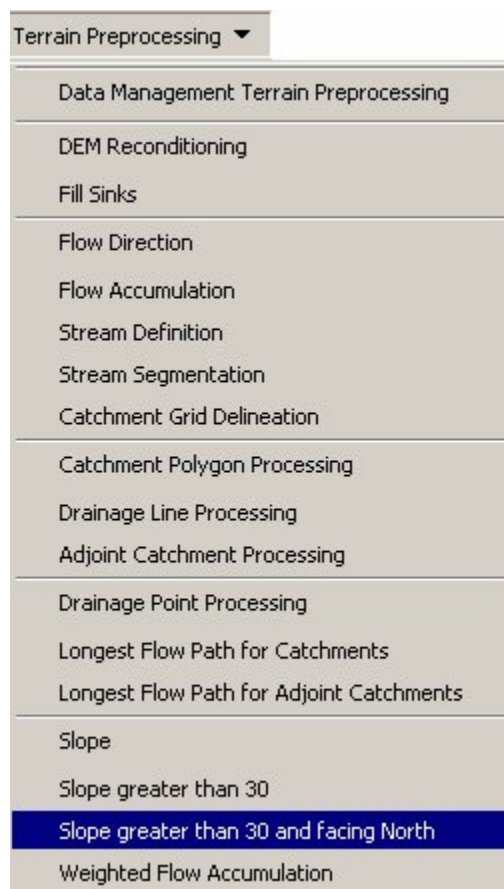
لایه ورودی مطابق شکل (پ.۲-۳۸) بر روی WshSlope قرار می‌گیرد. لایه خروجی شیب‌های بزرگ‌تر از ۳۰٪ با فرمت سلولی با نام پیش فرض WshSlopeGE30 می‌باشد.



شکل پ.۲-۳۸- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع

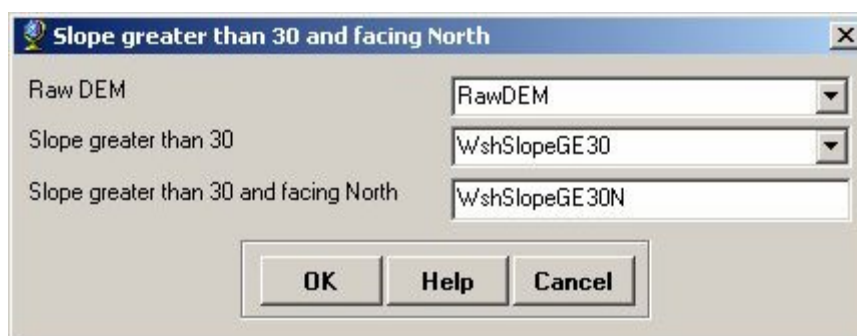
پ.۲-۱-۱۶- Slope Greater than 30 and Facing North

این تابع یک لایه سلولی از تمام سلول‌هایی که شیب آنها بزرگ‌تر از ۳۰٪ و رو به شمال هستند ایجاد می‌کنند. این سلول‌ها دارای ارزش ۱ و سلول‌هایی که مشخصات فوق را ندارند با ارزش ۰ مشخص می‌شوند. شکل (پ.۲-۳۹) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۳۹- تابع Slope Greater than 30 and Facing North

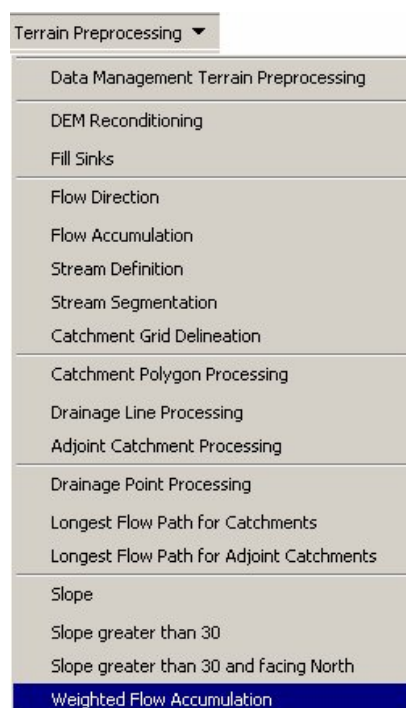
مطابق شکل (پ.۲-۴۰) لایه خروجی یک لایه سلولی با نام پیش فرض WshSlopeGE30N خواهد بود.



شکل پ.۲-۴۰- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع

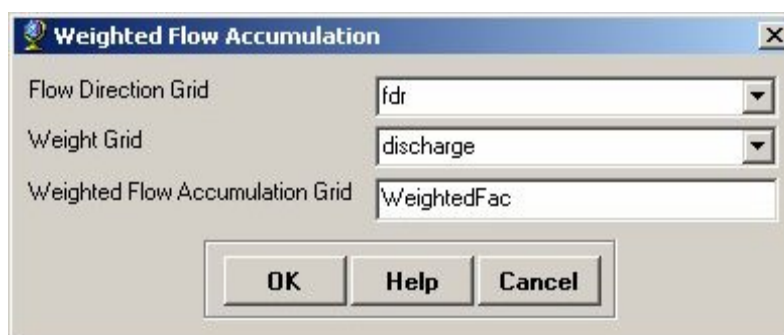
پ.۲-۱-۱۷- Weighted Flow Accumulation

این تابع یک لایه تراکم جریان وزنی سلولی ایجاد می‌کند. هر سلول در لایه ایجاد شده حاوی مجموع ارزش‌های همه سلول‌های بالا دست لایه وزنی وارد شده می‌باشد. شکل (پ.۲-۴۱) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۴۱- تابع Weighted Flow Accumulation

مطابق شکل (پ.۲-۴۲) در پنجره باز شده در قسمت Flow Direction Grid، لایه ایجاد شده fdr قرار می‌گیرد. در قسمت Weight Grid لایه‌ای را که محتوی مقادیری است که هدف جمع کردن آنها است (به طور مثال از یک لایه سلولی از دبی شامل دبی در هر سلول - این لایه را می‌توان با ضرب یک لایه سلولی ضریب روان آب در یک لایه سلولی از بارش بدست آورد) وارد می‌گردد. لایه خروجی یک لایه سلولی با نام پیش فرض WeightedFac می‌باشد.

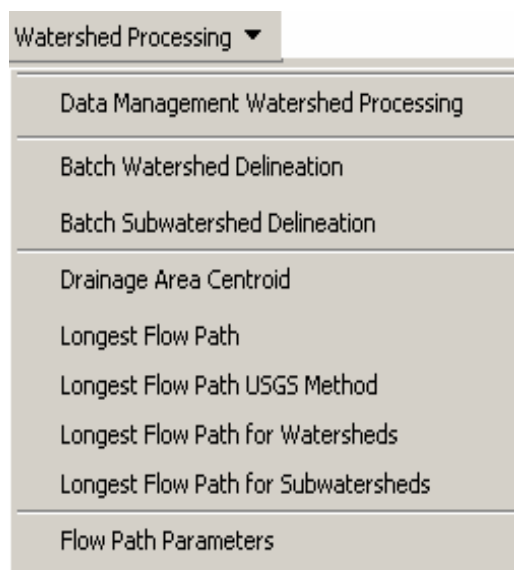


شکل پ.۲-۴۲- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع

پ.۲-۲- Watershed Processing

قبل از استفاده از توابع موجود در منوی Watershed Processing، تمامی مراحل Terrain preprocessing می‌بایست انجام شود. توابع پیش پردازش، عوارض زمین را به واحدهایی جهت تسریع در عملیات ترسیم حوضه‌های آبخیز تقسیم می‌کند.

شکل (پ.۲-۴۳) منوی Watershed را نشان می‌دهد.



شکل پ.۲-۴۳- منوی Watershed

پ.۲-۲-۱- Batch Watershed Delineation

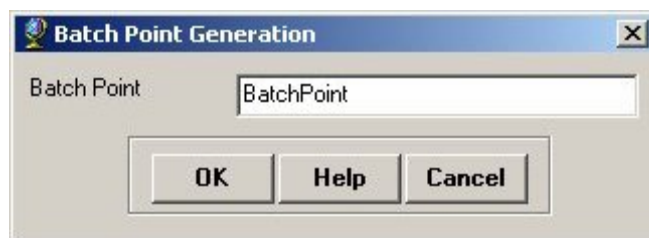
این تابع حوزه آبخیز را برای نقاطی در یک کلاس، عارضه‌ای با نام Batch Point ترسیم می‌کند. کلاس عارضه Batch Point باید حاوی چهار فیلد زیر باشد.

- Name -
- Description -
- BatchDon -
- SnapOn -

Batch Point ها را می‌توان با آیکون ( Arc Hydro tool Batch point) ایجاد کرد.

- نحوه ایجاد یک عارضه Batch Point

- بر روی آیکون  در نوار ابزار Arc Hydro tool کلیک کنید.
- مطابق شکل (پ.۲-۴۴) نام کلاس عارضه را Batch point که نام پیش فرض نیز می‌باشد، وارد کنید.

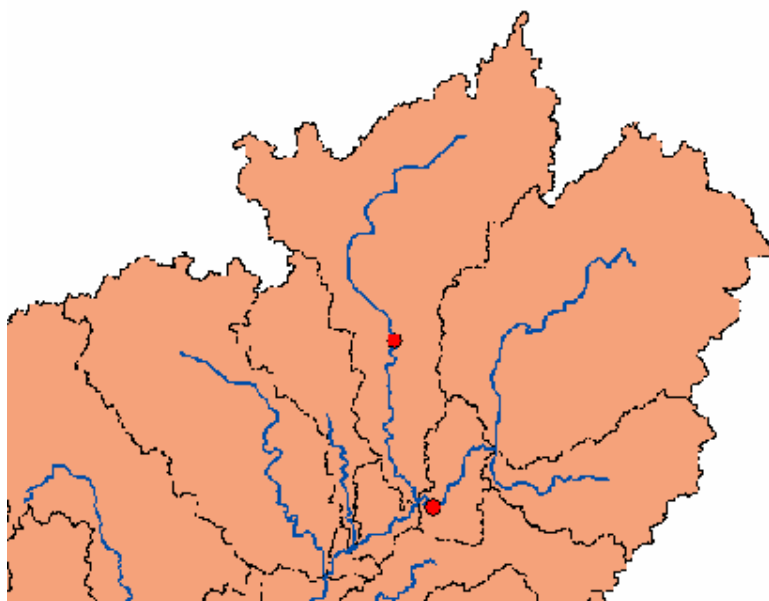


شکل پ.۲-۴۴- معرفی نام کلاس عارضه

پس از تایید کردن پنجره فوق یک کلاس عارضه نقطه‌ای به جدول محتویات ArcMap اضافه خواهد شد. با موس بر روی محلی که می‌خواهید نقطه را ایجاد کنید کلیک کنید، پنجره‌ای مطابق با شکل (پ. ۲-۴۵) ظاهر می‌شود.

شکل پ. ۲-۴۵- ایجاد نقطه

دو فیلد Name و Description را پر کنید. هر دو فیلد از نوع متن می‌باشند. BatchDone نشان دهنده این است که آیا تابع Batch Watershed Delineation عمل ترسیم را برای این نقطه انجام دهد یا خیر (۰= ترسیم کردن و ۱= ترسیم نکردن). SnapOn نشان دهنده این است که آیا تابع Batch Watershed Delineation نقطه مشخص شده‌ای را به نزدیک‌ترین رودخانه snap کند یا خیر. تنظیمات را همانند شکل (پ. ۲-۴۵) انجام دهید. مطابق شکل (پ. ۲-۴۶) نقطه دیگری ایجاد کنید و آیتم‌های آن را پر کنید.



شکل پ. ۲-۴۶- نحوه ایجاد یک عارضه Batch Point

جدول توصیفات این لایه (Batch Point) را باز کنید. مطابق شکل (پ.۲-۴۷) BatchDone=۰ به این معنی است که عمل ترسیم حوضه آبخیز برای دو نقطه انجام خواهد شد.

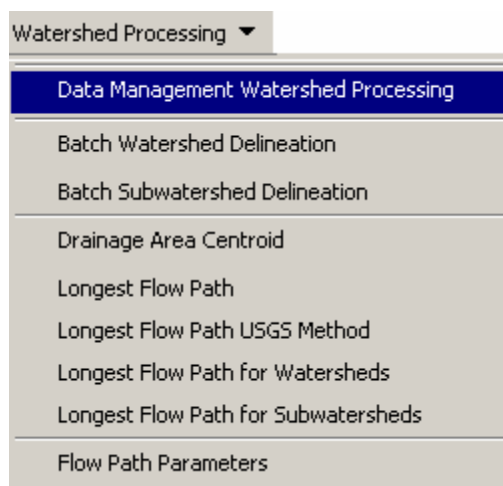
Shape*	OID*	Name	Description	BatchDone	SnapOn
Point	1	Name 1	Description 1	0	1
Point	2	Name 2	Description 2	0	1

Record: [Navigation Buttons] 0 [Navigation Buttons] Show: [All] [Selected] Records (0 out of 2 Selected.)

شکل پ.۲-۴۷- جدول توصیفات لایه BatchPoint

- ترسیم حوضه‌های آبخیز

شکل (پ.۲-۴۸) این منو را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



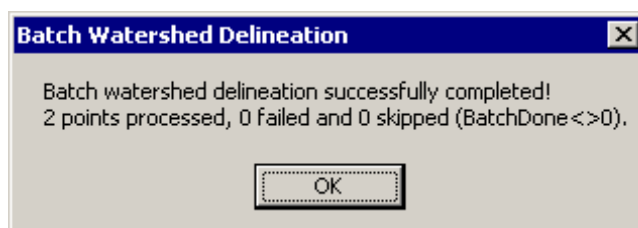
شکل پ.۲-۴۸- منوی ترسیم حوضه‌های آبخیز

در پنجره باز شده لایه‌های مورد نیاز را همانند شکل (پ.۲-۴۹) تنظیم کنید. در این تابع دو خروجی یک لایه نقطه‌ای با نام پیش فرض WatershedPoint و یک لایه پلیگونی با نام پیش فرض Watershed خواهیم داشت. لایه Watershed حوضه آبخیز ترسیم شده را برای نقاط خروجی تعیین شده نشان می‌دهد.



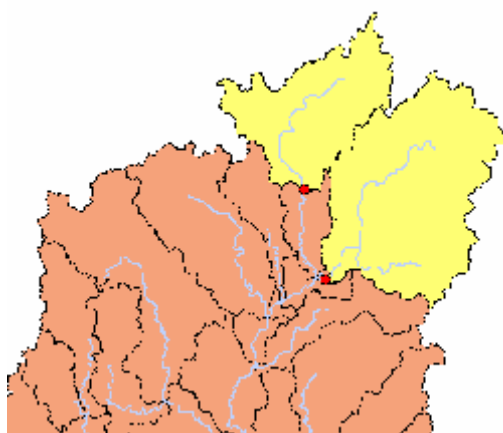
شکل پ.۲-۴۹- تنظیمات جهت ترسیم حوضه‌های آبخیز

پس از وارد کردن پارامترهای مورد نیاز در پنجره فوق، کلید OK را کلیک کنید. پیغام شکل (پ.۲-۵۰) ظاهر می‌شود که نشان دهنده عملیات برای دو نقطه انجام شده است. شما می‌توانید تعداد نقاط بیش‌تری را انتخاب کنید.



شکل پ.۲-۵۰- پیغام انجام شدن عملیات برای دو نقطه

حوضه‌های آبخیز ترسیم شده به صورت شکل (پ.۲-۵۱) نمایش داده می‌شود.



شکل پ.۲-۵۱- حوضه‌های آبخیز ترسیم شده

مطابق شکل (پ.۲-۵۲) اگر جدول توصیفات لایه BatchPoint را باز کنید متوجه خواهید شد که BatchDone ها ارزش یک دارند که نشان دهنده این است که عملیات ترسیم حوضه‌های آبخیز مربوط به هر نقطه انجام شده است. اگر در طول عملیات ترسیم خطایی رخ دهد فیلد BatchDone با ارزش ۱- مشخص خواهد شد.

Shape*	OID*	Name	Description	BatchDone	SnapOn
Point	1	Name 1	Description 1	1	1
Point	2	Name 2	Description 2	1	1

شکل پ.۲-۵۲- جدول توصیفات لایه BatchPoint

جدول توصیفات لایه‌های WatershedPoint و Watershed را باز کنید (شکل پ.۲-۵۳ و پ.۲-۵۴). بین این دو لایه و لایه BatchPoint به واسطه فیلد Name، ارتباط داده‌ای به (relate) برقرار شده است. DrainID در جدول توصیفات لایه WatershedPoint، HydroID حوضه آبخیز متناظر در جدول توصیفات لایه Watershed می‌باشد.

Shape*	OID*	HydrolID	DrainID	Name
Point	1	4	3	Name 1
Point	2	6	5	Name 2

شکل پ.۲-۵۳- جدول توصیفات لایه WatershedPoint

Shape*	OID*	Shape_Length	Shape_Area	HydrolID	DrainID	Name	Description
Polygon	1	236519.999581	957065398.699077	3	3	Name 1	Description 1
Polygon	2	63360.000001	109312199.636152	5	5	Name 2	Description 2

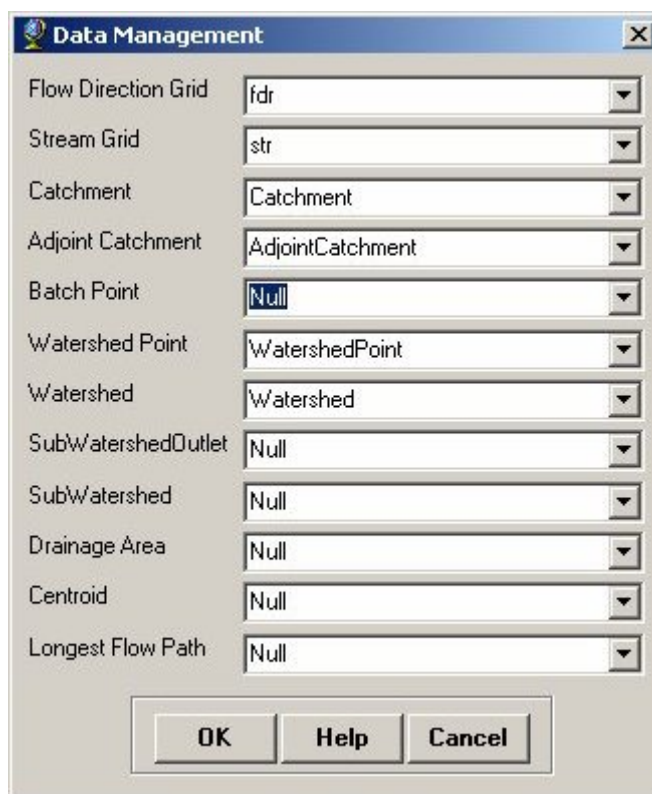
شکل پ.۲-۵۴- جدول توصیفات لایه Watershed

پ.۲-۲-۲- Batch Subwatershed Delineation

این تابع زیر حوضه‌ها را برای تمام نقاط موجود در یک کلاس عارضه مشخص می‌کند. لایه ورودی این تابع یک کلاس عارضه نقطه‌ای با محل نقاط مورد نظر است. از تابع Batch Point Generation می‌توان برای ایجاد چنین فایلی استفاده کرد.

- ایجاد کلاس عارضه Batch Point

از منوی Watershed Processing گزینه Data Management را انتخاب و در پنجره باز شده در شکل (پ. ۲-۵۵)، قسمت BatchPoint را بر روی Null قرار دهید و سپس Ok را کلیک کنید.



شکل پ. ۲-۵۵- تنظیمات جهت ایجاد کلاس عارضه Batch Point

بر روی آیکون  در نوار ابزار Arc Hydro برای فعال کردن ابزار Batch Point Generation کلیک کنید. در پنجره باز شده در شکل (پ. ۲-۵۶) نام کلاس عارضه را SubBatchPoint وارد کنید.



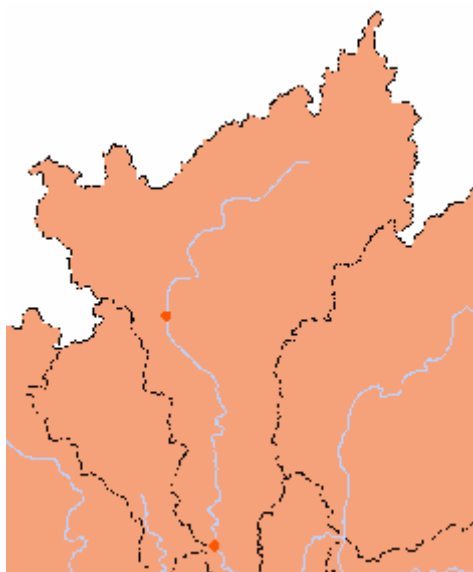
شکل پ. ۲-۵۶- معرفی نام کلاس عارضه

با موس بر روی نقشه برای ایجاد یک نقطه کلیک کنید.

فیلدهای Name و Description را در پنجره باز شده همانند شکل (پ. ۲-۵۷) وارد کنید.

شکل پ.۲-۵۷- معرفی فیلدهای Name و Description

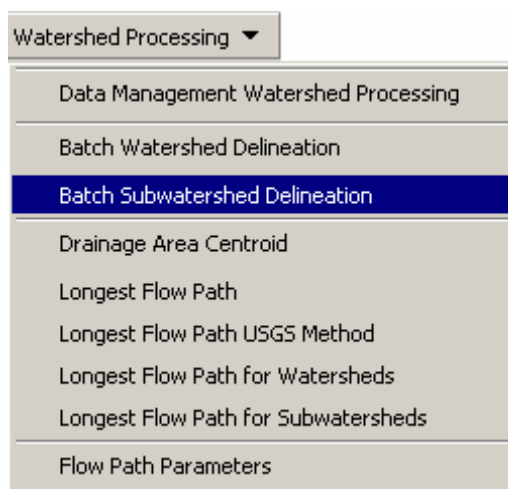
گزینه‌های BatchDone و SnapOn در این تابع استفاده نمی‌شوند و از آنها چشم پوشی می‌شود. اگر نقطه مورد نظر بر روی آبراهه است، مطمئن باشید که در داخل سلول آبراهه قرار دارد. به همین ترتیب نقطه دیگری را ایجاد کنید (شکل پ.۲-۵۸).



شکل پ.۲-۵۸- انتخاب نقطه بر روی آبراهه

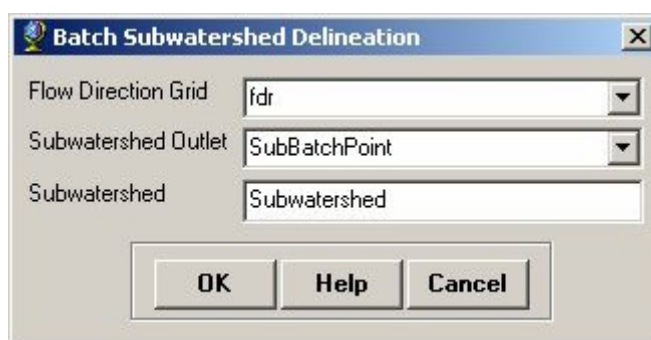
Select Watershed Processing | Batch Subwatershed Delineation

شکل (پ.۲-۵۹) این منو را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



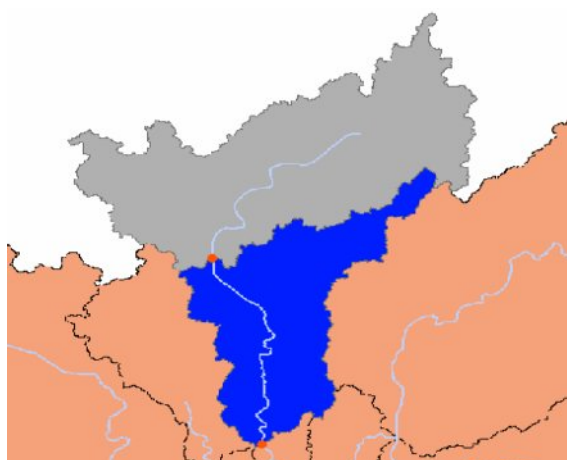
شکل پ.۲-۵۹ - تابع Batch Subwatershed Delineation

در پنجره باز شده لایه‌های ورودی را همانند شکل (پ.۲-۶۰) وارد کنید و سپس OK را کلیک کنید. خروجی این تابع یک لایه پلیگونی از زیر حوضه‌های مورد نظر با نام پیش فرض Subwatershed خواهد بود.



شکل پ.۲-۶۰ - معرفی لایه ورودی و خروجی تابع

زیرحوضه‌ها همانند شکل (پ.۲-۶۱) ترسیم خواهد شد.

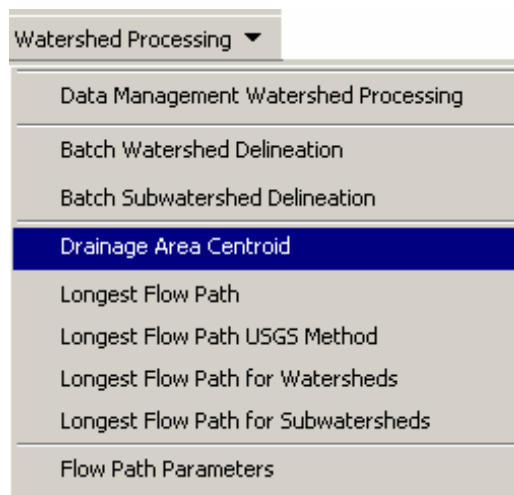


شکل پ.۲-۶۱ - زیرحوضه‌ها

پ.۲-۳- Drainage Area Centroid

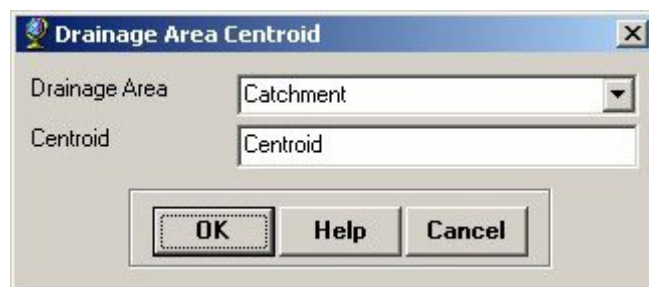
این تابع مرکز ثقل سطوح آبخیز را ایجاد می‌کند. این عملیات بر روی سطوح آبخیز انتخاب شده عمل می‌کند. اگر سطحی انتخاب نشده باشد تابع بر روی تمامی حوضه‌های آبخیز عمل می‌کند. شکل (پ.۲-۶۲) این منو را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.

Select Watershed Processing | Drainage Area Centroid



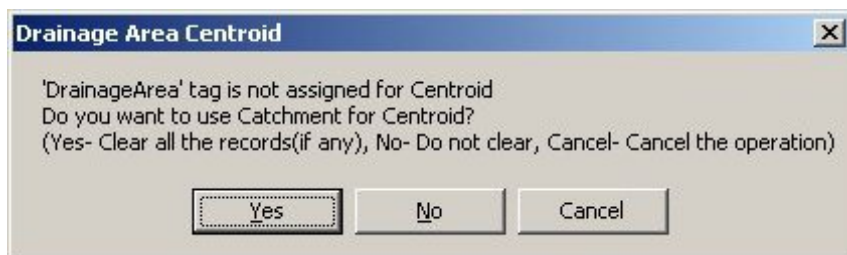
شکل پ.۲-۶۲- تابع Drainage Area Centroid

پنجره باز شده را همانند شکل (پ.۲-۶۳) کامل کنید. لایه خروجی یک کلاس عارضه نقطه ای با نام پیش فرض Centroid خواهد بود.



شکل پ.۲-۶۳- معرفی ناحیه و لایه خروجی تابع

بر روی OK کلیک کنید تا مراکز ثقل حوضه‌ها محاسبه شوند. پیغامی مطابق با شکل (پ.۲-۶۴) ظاهر می‌شود.

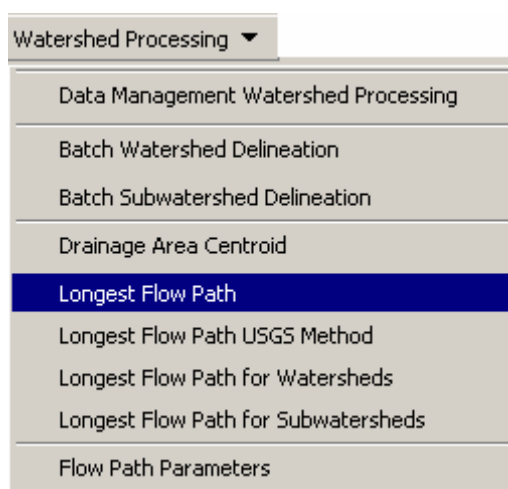


شکل پ.۲-۶۴- پیغام محاسبه مراکز ثقل حوضه‌ها

در این پنجره Yes را انتخاب و بر روی آن کلیک کنید. انتخاب گزینه Yes موجب برقراری ارتباط داده‌ای (relate) بین جدول توصیفات لایه تولید شده با جدول توصیفات کلاس عارضه Drainage Area می‌شود.

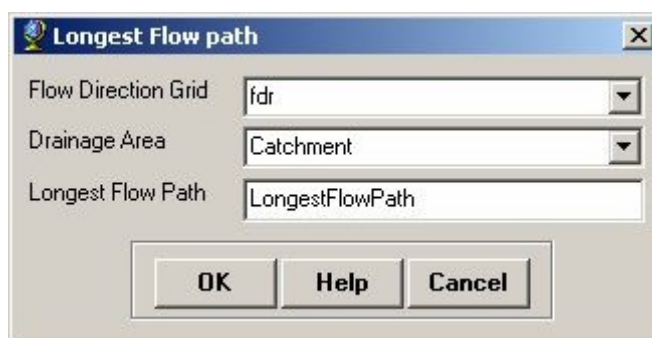
پ.۲-۴- Longest Flow Path

این تابع عمل شناسایی و محاسبه طولانی‌ترین مسیر جریان در سطوح زهکشی انتخاب شده را انجام می‌دهد. اگر سطح زهکشی قبلاً انتخاب نشده باشد این تابع طولانی‌ترین مسیر را نسبت به همه سطوح زهکشی محاسبه می‌کند. شکل (پ.۲-۶۵) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



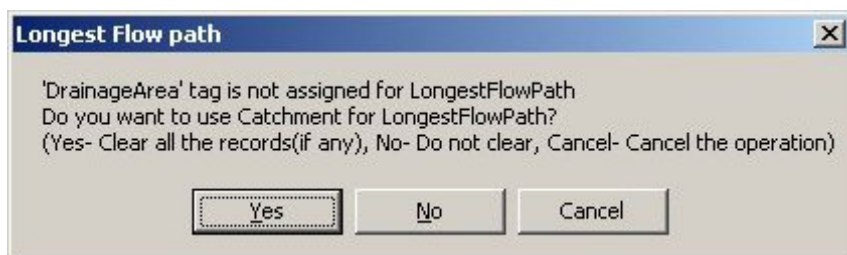
شکل پ.۲-۶۵- تابع Longest Flow Path

در پنجره باز شده لایه‌های ورودی را مطابق شکل (پ.۲-۶۵) تکمیل کنید و سپس کلید OK را فشار دهید. خروجی این تابع یک کلاس عارضه خطی با نام پیش فرض LongestFlowPath می‌باشد.



شکل پ.۲-۶۶- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع

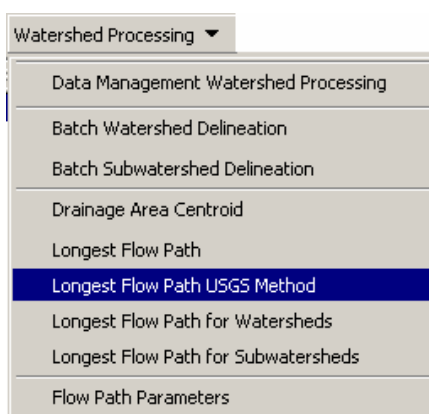
در صورتی که پیغام شکل (پ.۲-۶۷) ظاهر شد، گزینه Yes را انتخاب کنید تا جدول توصیفات لایه تولید شده با جدول توصیفات کلاس عارضه Drainage Area، ارتباط داده‌ای (relate) برقرار نماید.



شکل پ.۲-۶۷- پیغام ایجاد ارتباط داده‌ای جدول توصیفات لایه تولید شده با جدول توصیفات کلاس عارضه Drainage Area.

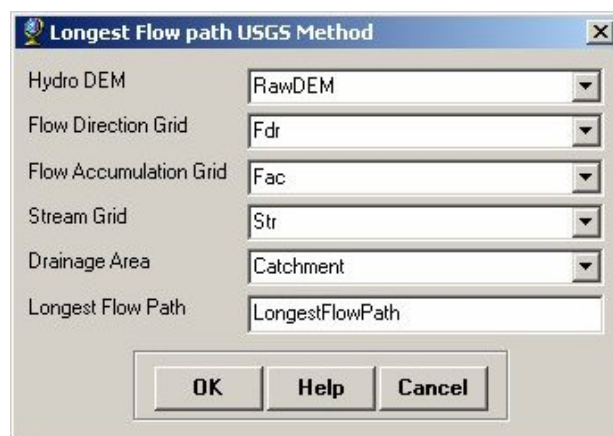
پ.۲-۲-۵- Longest Flow Path USGS Method

این تابع حوزه‌های آبخیز انتخاب شده بر اساس روش USGS را شناسایی و طولانی‌ترین مسیر را محاسبه می‌کند. در صورتی که حوزه ای انتخاب نشده باشد طولانی‌ترین مسیر جریان برای تمامی حوزه‌ها محاسبه خواهد شد. شکل (پ.۲-۶۸) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



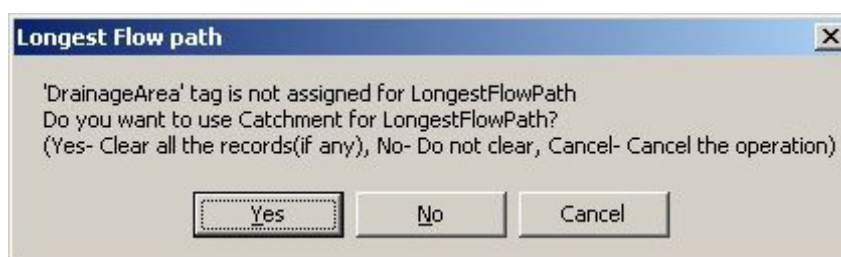
شکل پ.۲-۶۸- تابع Longest Flow Path USGS Method

در پنجره باز شده در شکل (پ.۲-۶۹) لایه‌های ورودی را مطابق شکل زیر تکمیل کنید و کلید OK را کلیک کنید. لایه خروجی یک کلاس عارضه خطی با نام پیش فرض LongestFlowPath خواهد بود.



شکل پ.۲-۶۹- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع مسیر جریان

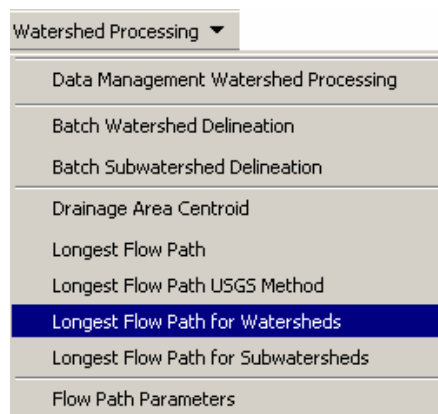
در صورتی که پیغام شکل (پ.۲-۷۰) ظاهر شد همانند مرحله قبل گزینه Yes را انتخاب کنید.



شکل پ.۲-۷۰- پیغام انتخاب حوضه با طولانی‌ترین مسیر

پ.۲-۲-۶- Longest Flow Path for Watersheds

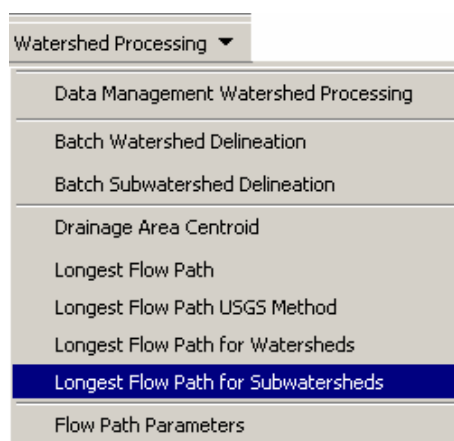
شکل (پ.۲-۷۱) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



شکل پ.۲-۷۱- تابع Longest Flow Path for Watersheds

پ.۲-۲-۷- Longest Flow Path for Subwatersheds

شکل (پ.۲-۷۲) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.

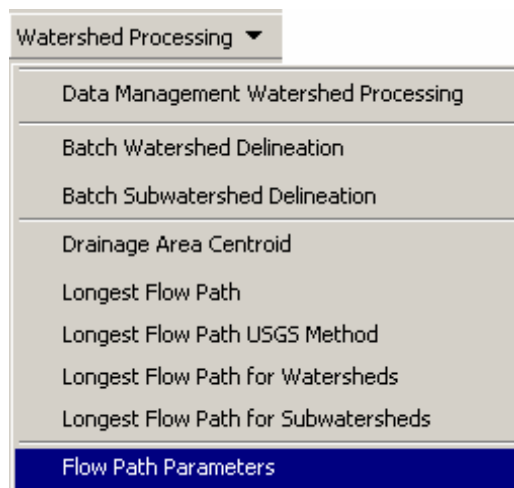


شکل پ.۲-۷۲- تابع Longest Flow Path for Subwatersheds

پ.۲-۲-۸- Flow Path Parameters

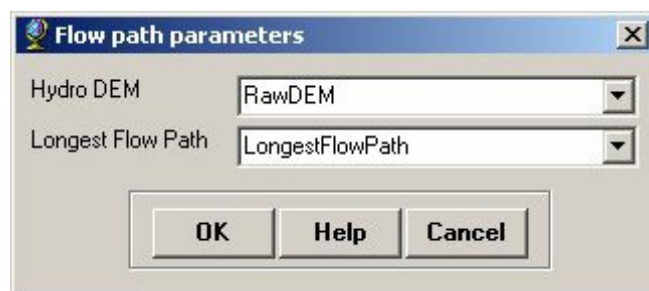
این تابع طولانی‌ترین مسیر جریان را بر حسب مایل، شیب و شیب ۱۰ تا ۸۵ درصد را بر حسب فوت بر مایل محاسبه می‌کند. مقادیر محاسبه شده در جدول توصیفات کلاس عارضه LongestFlowPath ذخیره می‌شوند. شکل (پ.۲-۷۳) نحوه دسترسی به این تابع را در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.

Select Watershed Processing | Flow Path Parameters



شکل پ.۲-۷۳- تابع Flow Path Parameters

در پنجره باز شده در شکل (پ.۲-۷۴) لایه‌های ورودی را مطابق شکل زیر تکمیل کرده و OK را کلیک کنید.



شکل پ.۲-۷۴- معرفی لایه ورودی و خروجی تابع

پارامترهای محاسبه شده در جدول توصیفات کلاس عارضه Longest Flow Path همانند شکل (پ.۲-۷۵) ذخیره خواهند شد.

Attributes of LongestFlowPath							
Shape*	OID*	Shape_Length	DrainID	Length_Miles	Slope_1085fpm	Slope_fpm	
Polyline	1	9838.448002	17	6.115	331.02	434.20	
Polyline	2	18501.017267	10	11.498	442.48	522.60	
Polyline	3	10225.067140	26	6.355	296.94	383.09	

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 3 Selected.) Options

شکل پ.۲-۷۵- جدول توصیفات کلاس عارضه LongestFlowPath

منابع و مراجع

- ۱- مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۷، گزارش مطالعات سیستم اطلاعات مکانی در محدوده مطالعاتی همدان - بهار، جلد دوم
- ۲- رضائیان، ه. (۱۳۸۲). ایجاد چارچوب مفهومی زیرساختار ملی اطلاعات مکان مرجع ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشکده تهران، ۱۳۸۲.
- ۳- آگاروال، دی.سی.، مؤلف. شیخ زادگان، ج.، مترجم (۱۳۸۲). مخابرات ماهواره‌ای، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین (ع).
- ۴- صادقیان، ح. (۱۳۸۱). ارزیابی تصاویر فضایی با قدرت تفکیک بالا به منظور تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس از دیدگاه فتوگرامتری. مطالعه موردی: تصاویر پانکروماتیک ژئوآیکونوس ایران، رساله دکتری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- ۵- طاهرکیا، ح. (۱۳۷۵) اصول و کاربرد سنجش از دور، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.
- ۶- حسنلو، مهدی. (۱۳۸۵). استخراج جریانات سطحی از تصاویر حرارتی سطح دریا و شناسایی الگو، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشکده تهران، ۱۳۸۵.
- 7- Albert, K. Y (1998). Data Organization and Structure, NCGIA Core Curriculum in GIScience,
- 8- Aronoff, S., 1989, Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa.
- 9- Bailey T.C. and A.C. Gatrell, (1995) Interactive spatial data analysis. Longman, Harlow.
- 10- Burrough, P. A., R. A. McDonnell (1998). Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, Toronto.
- 11- Chrisman, N. (2002). Exploring Geographic Information Systems, 2nd ed., John Wiley and Sons, Toronto.
- 12- Cormen, T. H., Charles E. L., Ronald L. R., and C. Stein (2001). Introduction to Algorithms, Second Edition, MIT Press and McGraw-Hill, ISBN 0262032937 Chapters 24: Single-Source Shortest Paths, and 25: All-Pairs Shortest Paths, pp.580-642.
- 13- Date, C.J. (1995). An Introduction to Database Systems, 6th edition, Addison-Wesley, Reading, MA.
- 14- Deberg, M., Kreveld M. V., Overmars, M. and O. Schwarzkopf (2000). Computational Geometry: Algorithms and Application, Spring, Berlin.
- 15- DeMers, M. N. (2002). GIS Modeling in Raster, John Wiley and Sons, Toronto.
- 16- DeMers, M. N. (2003). Fundamentals of Geographic Information Systems, Second Edition, John Wiley & Sons Press.
- 17- Elmasri, R. and Navathe S.B. (1994). Fundamentals of Database Systems, Addison-Wesley, Menlo Park, CA.
- 18- El-Sheimy N., Valeo C. and A. Habib, 2005, Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications, Artech House, London.

- 19- Frank, A. U. (2005). Practical Geometry: The Mathematics for Geographical Information System, Unpublished Manuscript.
- 20- Hudson N. (1981). Soil conservation. Batsford, London, UK.
- 21- Jones C.B. (1997), Geographical Information Systems and Computer Cartography, Addison-Wesley Longman.
- 22- Jones, C. (1997). Geographical Information Systems and Computer Cartography, Addison Wesley Longman Limited, Edinburgh Gate, England.
- 23- Laurini, R, and D. Thompson (1992). Fundamental of Spatial Information Systems, Academic Press, London.
- 24- Li Z., Zhu Q. and C. Gold, (2005), Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology, CRC Press, New York
- 25- Longley, P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J. and D. W. Rhind (2005). Geographical Information Systems and Science, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd.
- 26- Meijerink, A. M. J, H. A. Brouwer, C. M. Manssaerts, C. R. Valenzuela (1994). Introduction to the Use of GIS for Practical Hydrology, ITC Press.
- 27- Maune, D. F. (Editor), (2007), Digital Elevation Model Techniques and Applications: The DEM User Manual, 2nd Editor, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland.
- 28- Petrie G. and T.J.M. Kennie, (1991), Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering, McGraw-Hill, U.S.A.
- 29- Peuquet, D. J. (1981a). Cartographic data, part I: the raster-to-vector process, Cartographica, 18:34-48.
- 30- Peuquet, D. J. (1981b). An examination of techniques for reformatting digital cartographic data, part II: the vector-to-raster process, Cartographica, 18:21-33.
- 31- Pressman, R.S. (1994). Software Engineering – A Practitioner's Approach, McGraw-Hill.
- 32- Rigaux, P., M. Scholl, A. Voisard (2002). Spatial Databases with Application to GIS, Morgan Kaufmann Press.
- 33- Subramanya K., (1988), Engineering Hydrology, Tata McGraw Hill Publishing, New Dehli, India.
- 34- Veregin, H. (1989). Taxonomy of Error in Spatial Databases, NCGIA Technical Report 89-12.
- 35- Wischmeier W.H. and Smith D (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. USDA-ARS Agriculture Handbook N° 537, Washington DC.
- 36- Worby, M. F. and M. Duckham (2004). GIS: A Computing Perspective, 2nd Edition, CRC Press.
- 37- Zevenbergen L.W. and C.R. Thorne, (1987), Quantitative Analysis of Land Surface Topography, Earth Surface Processes and Landforms, 12:47-56.
- 38- www.pobonline.com
- 39- www.OpenGeospatial.org
- 40- www.microsoft.com
- 41- www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u051/u051.html
- 42- EORC, AMSR / AMSR-E Level 3 Global Images, Earth Observation Research Center Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA EORC Earth Observation Research and application,

- http://sharaku.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/adeos2/amsl/13brws/13brws.cgi?lang=e&sat=P1&ad=D&prd=SM0_Pal&ver=new&map=E0&y=2007&m=5&d=7&ny=2007&nm=5&nd=7
- 43- GLCC, 2007," Global land cover characterization, USGS, Earth Resources Observation & Science, <http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc>.
 - 44- Webb, R. S., Rosenzweig, and Levine, (1991). A global data set of soil particle size properties, NASA Technical Memorandum 4286, http://www.ngdc.noaa.gov/seg/cdroms/ged_ia/datasets/a12/wr.htm#dsd
 - 45- Williams, D. and L. Rocchio , (2007). Glossary, National Aeronautics and Space Administration portal, Goddard Homepage , <http://landsat.gsfc.nasa.gov/references/glossary.html>.
 - 46- Gene Carl Feldman, (2007). "Ocean Color Web", National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>.
 - 47- Camfer, (1996). Remote Sensing & Image Analysis, University of California, Berkeley.
 - 48- CCRS (1998). Fundamentals of Remote Sensing, Canada Center for Remote Sensing.
 - 49- Dundee University Web Page, Dundee Satellite Receiving Station Geostationary Satellites Frequently Asked Questions, <http://www.sat.dundee.ac.uk/pdusfaq.html>
 - 50- Herring, D. (1999). Remote Sensing Methods, NASA/GSFC Earth Observatory Library.
 - 51- JARS (1999). Remote Sensing Note, Japan Association of Remote Sensing, JARS.
 - 52- Karimi, H. A., and A. Hammad (2004). Telegeoinformatics: Location Based Computing and Services, CRC PRESS.
 - 53- Lillesand, T., R. W. Kiefer, J. W. Chipman (2004). Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons Inc., Fifth Edition.
 - 54- Limp, W. F. (1999). Image Processing Software; System Selection Depends on User Needs, Center for Advanced Spatial Technologies, University of Arkansas, www.geoplance.com.
 - 55- MODIS Web Page (2004). <http://modis.gsfc.nasa.gov>.
 - 56- Rawls, W.J., W.P. Kustas, T.J. Schmugge, J.C. Ritchie, T.J. Jackson, A. Rango, P. Doraiswamy (2003). Remote Sensing in Watershed Scale Hydrology, Proceedings, The First Interagency Conference on Research in Watersheds, Benson, Arizona, October 27-30, pp. 580-585.
 - 57- Remote Sensing Earth Observatory (1999). NASA's Earth Science Enterprise, <http://earthobservatory.nasa.gov>.
 - 58- RST (2005). The Remote Sensing Tutorial, NASA. Last Edition 2005.
 - 59- Smith, B. and D. Sandwell (2003). Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data, Geophysical Reserch Letters, Vol. 30, No. 9, pp. 14-67.
 - 60- USACE (1998). Engineering and Design Runoff from snowmelt, Department of the Arm, U.S. Army Corps of Engineers, CECW-EH, Engineering Manual 1110-2-1406, 31 March 1998.
- Adams, J.B., M. O. Smith, and A. R. Gillespie, (1989).” Simple models for complex natural surfaces: a strategy for the hyperspectral era of remote sensing”, in Proc. IEEE Int. Geosci. And Remote Sensing Symp. '89, IEEE, New York, 16-21.
- Anderson, J. R., E. E., Hardy, J. T., Roach, and R.E., Witmer, (1976), “A land-use and land-cover classification system for use with remote sensor data”, U.S. Geological Survey Professional paper 964.
- Baret, F., G. Guyot, , and D., Major, (1989). “TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation”, 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS 1990, Vancouver, Canada, July 10-14, 1989.

-
- Baret, F. and G. Guyot, (1881). "Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment", Remote Sensing of Environment, Vol. 35, pp. 161-173.
- 61- Becker, F., and Z.L. Li, (1990). "Temperature Independent Spectral Indices in thermal infrared bands", Remote Sensing of Environment, 32, 17-33.
- 62- Boardman, J. W., (1994). "Geometric Mixture Analysis of Imaging Spectrometry Data", in Proc. IEEE Int. Geosci. And Remote Sensing Symp. 94, IEEE, New York, 2369-2371.
- 63- Clevers, J. G. P. W., (1988). "The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index", Remote Sensing of Environment, Vol 35, pp. 53-70.
- 64- Crippen, R. E., (1990). "Calculating the Vegetation Index Faster", Remote Sensing of Environment, Vol 34, pp. 71-73.
- 65- Crist, E. P. and R. C., Cicone, (1984). "Application of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50, pp. 343-352.
- 66- Elvidge, C. D. and Z., Chen, (1994). "Comparison of Broad-band and Narrow-band red versus near infrared vegetation indices", Remote Sensing of Environment.
- 67- Elvidge, C. D. and R. J. P., Lyon, (1985). "Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass", Remote Sensing of Environment, Vol. 17, pp. 265-269.
- 68- Encyclopaedia Britannica, (2004). "Ready Reference 2004", Encyclopaedia Britannica Inc.
- 69- Engman, E. T., and R.J., Gurney, (1991). "Remote Sensing in Hydrology", Chapman And Hall, First Edition.
- 70- Goetz, A. F. H. et al., (1975). "Application of ERTS images and image processing to regional geologic problems and geologic mapping in northern Arizona", _JPL Technical Report 32-1597, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.
- 71- Huete, A. R., R. D. Jackson and D. F. Post, (1985). "Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds", Remote Sensing of Environment, Vol. 17, pp.37-53.
- 72- Huete, A. R., (1988). "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)", Remote Sensing of Environment, Vol. 25, pp. 295-309.
- 73- Jackson, R. D., (1983). "Spectral indices in n-space", Remote Sensing of Environment, Vol. 13, pp. 409-421.
- 74- JARS, (1999). "Remote Sensing Notes", Edited by Japan Association of Remote Sensing.
- 75- Jordan, C. F., (1969). "Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor", Ecology, Vol. 50, pp. 663-666.
- 76- Kanemasu, E. T., (1974). "Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum, and soybean", Remote Sensing of Environment, Vol. 3, 43-47.
- 77- Kaufman, Y. J. and, D. Tanre, (1992). "Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS", in Proc. IEEE Int. Geosci. and Remote Sensing Symp. '92_, IEEE, New York, 261-270.
- 78- Kauth, R. J. and G.S. Thomas, (1976). "The tasseled cap--A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT", Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 41-51.
- 79- Kloiber, S. M., P. L. Brezonik and M. E., Bauer, (2002). "Application of LANDSAT imagery to regional-scale assessments of lake clarity", Water Research, Vol.36, March (2002) 4330-4340.

- 80- Kriegler, F. J., W. A., Malila, R. F., Nalepka, and W. Richardson, (1969). "Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition", Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp.97-131.
- 81- Leprieur, C., M.M., Verstraete, B., Pinty and A. Chehbouni, (1994). "NOAA/AVHRR Vegetation Indices: Suitability for Monitoring Fractional Vegetation Cover of the Terrestrial Biosphere", in Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, 1103-1110, 1994.
- 82- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer, (1987). "Remote Sensing and Image Interpretation", 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 721 p.
- 83- Lillesand, T., R. W. Kiefer and J. W. Chipman, (2004). "Remote Sensing and Image Interpretation", Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- 84- Minnett, P.J., (1990). "Satellite infrared scanning radiometers- AVHRR & ASTER. In Microwave Remote Sensing for Oceanographic and Marine Weather-Forecast Models", R.A.Vaughn, ed. Kluwer Academic Publishers.
- 85- NASA, (2006). "Thermal Infrared Multispectral Scanner", National Aeronautics and Space Administration, <http://www.nasa.gov/centers/dryden/research/AirSci/ER-2/tims.html>.
- 86- Nishida, K., R. R., Nemani, S. W., Running and J. M. Glassy, (2003). "An operational remote sensing algorithm of land surface evaporation", Journal of Geophysical Research, Vol. 108, No. D9, 4270, doi: 10.1029/2002JD002062.
- 87- Njoku, E. G., (1999). "AMSR Land Surface Parameters - Surface Soil Moisture - Land Surface Temperature - Vegetation Water Content ", Algorithm Theoretical Basis Document version 3, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA. December.
- 88- NSIDC URL, (2000). www-nsidc.colorado.edu/NASA/GUIDE/EASE.
- 89- Olmanson, L. G., S. M., Kloiber, M. E., Bauer and P. L. Brezonik, (2001). "Image Processing Protocol for Regional Assessments of Lake Water Quality", Water Resources Center and Remote Sensing Laboratory, University of Minnesota.
- 90- Pickup, G., Chewings, V. H. and O. J., Nelson, (1993). "Estimating changes in vegetation cover over time in arid rangelands using LANDSAT MSS data", Remote Sensing of Environment, Vol. 43, pp. 243-263.
- 91- Pinty, B. and M. M. Verstraete, (1991). "GEMI: A Non-Linear Index to Monitor Global Vegetation from Satellites", Vegetatio, Vol. 101, 15-20.
- 92- Qi, J., A. Chehbouni, A. R., Huete, and Y. H., Kerr, (1994a). "Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)", Remote Sensing of Environment, Vol. 48, pp. 119-126.
- 93- Qi, J., Y. Kerr, and A. Chehbouni, (1994b). "External Factor Consideration in Vegetation Index Development", Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, 723-730.
- 94- Reid, G. K., (1965). "Ecology of Inland Waters and Estuaries, 4th Edition, Reinhold, New York.
- 95- Richardson, A. J. and J. H., Everitt, (1992). "Using spectra vegetation indices to estimate rangeland productivity", Geocarto International, Vol. 1, pp. 63-69.
- 96- Richardson, A. J. and C. L., Wiegand, (1977). "Distinguishing vegetation from soil background information", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, pp. 1541-1552.
- 97- Roberts, D. A., Smith, M. O. and Adams, J. B., (1993). "Green Vegetation, Nonphotosynthetic vegetation, and soils in AVIRIS data", Remote Sensing of Environment, 44: 117-126.

- 98- Rouse, J. W., R. H., Haas, J. A., Schell, and D. W. Deering, (1973). "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS", Third ERTS Symposium, NASA SP-351, Vol. 1, pp. 309-317.
- 99- Rouse, J. W., R. H., Haas, J. A. Schell , D. W. Deeringand and J. C., Harlan, (1974). "Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation", NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Md., P. 371.
- 100- RST, (2005). "The Remote Sensing Tutorial", NASA. Last Edition.
Sabins, F.F., 1997, "Remote Sensing: Principles and Interpretation". 3rd Edition, W. H. Freeman and Co. New York.
- 101- Salisbury, J., (1996). "the Johns Hopkins University Spectral Library", Johns Hopkins University, These data are available on-line from JHU via anonymous ftp at rocky.eps.jhu.edu. Also see the data on the ASTER homepage at: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/speclib/>.
- 102- Sawaya, K. E., L. G. Olmanson, N. J., Heinert, P. L. Brezonik and M. E. Bauer, (2003)." Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery", Remote Sensing of Environment, 88, April 2003, 144– 156.
- 103- Sheng, Y., (1998)."Drought Monitoring by AVHRR" University of California at Berkeley, <http://www.cnr.berkeley.edu/~sywsheng/drought/ppframe.htm>.
- 104- Smith, M., D. Roberts, J. Hill, W. Mehl, B. Hosgood, J. Verdebout, G. Schmuck, C. Koechler, and J. Adams, (1994)."A New Approach to Quantifying Abundance of Materials in Multispectral Images", IEEE Int. Geosci. and Remote Sensing Symp. '94, IEEE, New York, 2372-2374.
- 105- Smith, M. O., , S. L., Ustin, J. B. Adams, and A. R. Gillespie, (1990). "Vegetation in Deserts: I. A Regional Measure of Abundance from Multispectral Images", Remote Sensing of Environment, 31: 1-26.
- 106- Townshend, J.R.G., (1981). "Terrain Analysis and Remote Sensing", George Allen & Unwin, London.
- 107- Tucker, C. J., (1979). "Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation", Remote Sensing of Environment, Vol. 8, 127-150.
- 108- UMN web, (2006). "Submergent Aquatic Vegetation Mapping Lake Minnetonka Area, Hennepin County", University of Minnesota,. http://water.umn.edu/aq_veg/submergent.html.
- 109- USACE, (2003). "Engineering and Design Remote Sensing", US Army Corps of Engineers, Engineer Manual No. 1110-2-2907.
- 110- Wan, Z., and J. Dozier, (1996). "A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 34, 892-905.
- 111- Webb, R. S., C. E. Rosenzweig and E. R. Levine, (1992). "A global data set of soil particle size properties. Digital raster data on a 1-degree geographic (lat/lon) grid", In: Global Ecosystems Database Version 1.0: Disc A, NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, CO. 2 independent and one derived spatial layer with 65 attributes, on CD-ROM, 16.5 MB [first published in 1991].
- 112- Weeksung, G. W. and J. R., Jr. Breedlove, (1977). "Some techniques for digital processing, display and interpretation of ratio images in multispectral remote sensing", Applications of Digital Image Processing, Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, Vol. 119, pp. 47-54.
- 113- Wikipedia, (2007). "Lake", "Grassland", <http://en.wikipedia.org>.

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision

Guideline for Application of Geospatial Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) in Extraction of Effective Parameters for Hydrological Basin Studies

No.646

Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Engineering and Technical
Criteria for Water and Wastewater

<http://seso.moe.org.ir>

2013

این نشریه

با هدف ارائه روش‌های مختلف در به‌کارگیری توانایی‌ها و قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در انجام مطالعات منابع آب در حوضه‌های آبریز تهیه گردیده است. تا بتوان با استفاده از الگوریتم‌ها، سیستم‌ها و محیط‌های رایانه‌ای با کیفیت مناسب این پارامترها را استخراج نموده و مطالعات هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز را انجام داد.