

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور

دستورالعمل روش‌های محاسبه حداکثر سیل محتمل PMF

نشریه شماره ۶۴۷

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

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

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

nezamfanni.ir



بسمه تعالی

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

شماره:	۹۲/۸۳۸۸۵
تاریخ:	۱۳۹۲/۰۹/۱۶

موضوع: دستورالعمل روش های محاسبه حداکثر سیل محتمل PMF

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح های عمرانی - مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۶۴۷ امور نظام فنی، با عنوان «دستورالعمل روش های محاسبه حداکثر سیل محتمل PMF» از نوع گروه سوم ابلاغ می شود.

رعایت مفاد این ضابطه برای دستگاه های اجرایی، مشاوران، پیمانکاران و سایر عوامل ذینفع نظام فنی اجرایی در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۳/۲/۱ الزامی است.
امور نظام فنی این معاونت در مورد مفاد نشریه پیوست، دریافت کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی مربوط بوده و عهده دار اعلام اصلاحات لازم به طور ادواری خواهد بود.

محمد باقر نوبخت
معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی
رئیس جمهور

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی 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

برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های تحت تاثیر پدیده‌های هیدرولوژیکی اغلب نیازمند برآورد سیلاب طراحی و یا حداکثر پتانسیل سیلاب در حوضه‌های آبریز است. سیلاب طراحی کمیت سیلی است که با توجه به عواملی چون ایمنی سازه، هزینه، طول عمر، خسارت محتمل ناشی از وقایع هیدرولوژیکی تعیین می‌گردد. محاسبه حداکثر سیلاب محتمل در طراحی سدهای بزرگ با توجه به اهمیت سازه در حفظ ایمنی پایین‌دست و استفاده بهینه از منابع آب در گرو دقت و مهارت‌های ویژه است.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه نشریه «دستورالعمل روش‌های محاسبه حداکثر سیل محتمل PMF» را با هماهنگی امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور در دستورکار قرارداد 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 و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب ۴۲۲۳۹/ت ۳۳۴۹۷ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

بدین‌وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت رییس 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 ایزدمنان 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 «دستورالعمل روش‌های محاسبه حداکثر سیل محتمل PMF» [نشریه شماره ۶۴۷]

مجری: معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس

مؤلف اصلی: بهرام ثقفیان پژوهشکده مهندسی آب

دکترای مهندسی منابع آب

اعضای گروه تهیه‌کننده:

بهرام ثقفیان پژوهشکده مهندسی آب

دکترای مهندسی منابع آب

علی حیدری شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران

دکترای مهندسی آب

باقر حیدریپور دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودسر و املش

فوق لیسانس عمران - آب

عبدالرسول تلوری کارشناس آزاد

دکترای منابع آب

ابراهیم فتاحی پژوهشکده هواشناسی

دکترای هواشناسی

اعضای گروه نظارت:

کامران امامی شرکت کریت کارا

دکترای منابع آب

عباسقلی جهانی شرکت بهان سد

فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی

مریم رحیمی فراهانی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور

فوق لیسانس عمران - آب

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

عبدالوحید آغاسی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

دکترای منابع آب

فضلعلی جعفریان شرکت مدیریت منابع آب ایران

لیسانس زمین‌شناسی

عباسقلی جهانی شرکت بهان سد

فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی

پیمان دانش کار آراسته دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

دکترای علوم و مهندسی آبیاری

مریم رحیمی فراهانی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور

فوق لیسانس عمران - آب

اعضای گروه هدایت و راهبردی:

فرزانه آقارمضانعلی رییس گروه امور نظام فنی

ساناز سرافراز کارشناس منابع آب امور نظام فنی

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۱۳	فصل اول - کلیات
۱۵	۱-۱- مسایل کلیدی و نکات مهم در برآورد حداکثر سیل محتمل
۱۶	۱-۲- کلیات روش‌شناسی
۲۵	فصل دوم - مقدمات تهیه داده‌های مورد نیاز
۲۷	۱-۲- شناسایی و به‌دست آوردن داده‌های اولیه
۲۷	۱-۲-۱- نقشه‌های توپوگرافی و یا محلی
۲۸	۱-۲-۲- عکس‌های هوایی حوضه آبریز
۲۹	۱-۲-۳- اطلاعات زمین‌شناسی و خاک‌شناسی
۲۹	۱-۲-۴- موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان و داده‌های دبی
۲۹	۱-۲-۵- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های اقلیمی
۳۱	۱-۲-۶- داده‌های سنجش از دور
۳۲	۱-۲-۷- داده‌های هیدرولوژیکی طوفان‌ها و سیل‌های تاریخی
۳۳	۱-۲-۸- گزارش‌های مطالعات قبلی
۳۳	۱-۲-۹- مقاطع عرضی در امتداد مسیر رودخانه
۳۴	۱-۲-۱۰- اطلاعات کاربری اراضی
۳۴	۱-۲-۱۱- اطلاعات سدهای بالا دست
۳۴	۲-۲- بررسی و تکمیل داده‌های مورد نیاز
۳۴	۱-۲-۲- بررسی گزارش‌های حداکثر بارش محتمل (PMP) در منطقه
۳۵	۲-۲-۲- بررسی وضعیت حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌های هیدرومتری
۳۵	۲-۲-۳- کنترل کیفیت داده‌های هیدرومتری و هیدروگراف‌های سیل
۳۶	۲-۲-۴- کنترل کیفیت داده‌های روزانه و ساعتی بارش
۳۹	۲-۳- نحوه انتخاب وقایع بارش - سیلاب
۳۹	۱-۳-۲- انتخاب طوفان‌های شدید و فراگیر و سیلاب‌های متناظر
۳۹	۲-۳-۲- تعیین فصول وقوع طوفان‌های شدید و فراگیر
۳۹	۲-۳-۳- بررسی توزیع مکانی طوفان‌های شدید و فراگیر
۴۱	فصل سوم - انواع مدل بارش - رواناب و معیارهای انتخاب

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۳	۱-۳- انواع مدل‌های شبیه‌ساز
۴۴	۱-۱-۳- مدل‌های یکپارچه در مقابل مدل‌های توزیعی
۴۴	۱-۲-۳- مدل‌های تک‌واقعه‌ای در مقابل مدل‌های فرآیند پیوسته
۴۵	۲-۳- معیارهای انتخاب مدل
۴۷	۳-۳- مدل‌های پرکاربرد و سوابق کاربرد مدل‌ها در مطالعات PMF
۴۸	۴-۳- تشریح مدل HEC-HMS
۴۹	۱-۴-۳- اجزا مدل
۵۹	فصل چهارم - مطالعات فیزیوگرافی و تهیه اطلاعات مکانی
۶۱	۱-۴- تهیه اطلاعات رقومی مکانی در GIS
۶۱	۲-۴- پردازش نقشه‌های موضوعی
۶۱	۱-۲-۴- بررسی روش‌های درون‌یابی
۶۲	۲-۲-۴- رسم منحنی‌های هم‌بارش طوفان‌ها
۶۲	۳-۴- استخراج شاخص‌ها و نقشه‌های مطالعات فیزیوگرافی
۶۳	۴-۴- تهیه ورودی‌های مکانی مدل بارش - رواناب با پردازش‌های GIS
۶۳	۱-۴-۴- داده‌های فیزیوگرافی حوضه
۶۳	۲-۴-۴- داده‌های مکانی هواشناسی
۶۴	۳-۴-۴- داده‌های پایه حوضه آبریز
۶۴	۴-۴-۴- تهیه الگوی توزیع زمانی بارش‌ها
۶۵	فصل پنجم - مراحل واسنجی و اعتباریابی مدل بارش - رواناب
۶۷	۱-۵- کلیات
۶۷	۲-۵- تقسیم‌بندی به زیرحوضه‌ها
۶۹	۳-۵- الگوی شبیه‌سازی (زیر)حوضه(های) فاقد ایستگاه و دارای ایستگاه
۷۰	۴-۵- بررسی و آماده‌سازی سیلاب‌های واسنجی و اعتباریابی در حوضه‌های دارای ایستگاه
۷۰	۱-۴-۵- انتخاب سیلاب‌های واسنجی و اعتباریابی
۷۱	۲-۴-۵- آماده‌سازی داده‌های ورودی و پارامترهای مدل
۷۱	۳-۴-۵- نقش برف در طوفان‌های واسنجی و اعتباریابی

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۷۲	۴-۴-۵- جداسازی دبی پایه
۷۲	۵-۴-۵- زمان تمرکز و ضریب ذخیره حوضه‌ها
۷۴	۶-۴-۵- توزیع زمانی بارش
۷۴	۷-۴-۵- برآورد نفوذ
۷۶	۵-۵- واسنجی مدل
۷۹	۶-۵- اعتباریابی مدل
۷۹	۷-۵- شبیه‌سازی (زیر) حوضه(های) فاقد ایستگاه
۸۱	فصل ششم - تبدیل حداکثر بارش محتمل به حداکثر سیل محتمل
۸۳	۱-۶- کلیات
۸۳	۲-۶- اخذ ویژگی‌های حداکثر بارش محتمل و توزیع زمانی و مکانی آن
۸۴	۲-۲-۶- توزیع مکانی
۸۵	۳-۲-۶- توزیع زمانی PMP
۸۷	۳-۶- شرایط اولیه (پیشین) هواشناسی و هیدرولوژیکی
۸۷	۱-۳-۶- شرایط رطوبتی
۸۹	۲-۳-۶- بیلان برفی و توزیع دمای حوضه
۹۰	۳-۳-۶- دبی پایه
۹۰	۴-۳-۶- تراز اولیه مخزن
۹۱	۴-۶- تعدیل پارامترهای واسنجی برای شرایط PMF
۹۲	۵-۶- تبدیل حداکثر بارش محتمل به حداکثر سیل محتمل
۹۳	۶-۶- عدم قطعیت‌ها و تحلیل حساسیت
۹۴	۷-۶- اثر پدیده تغییر اقلیم بر حداکثر سیلاب محتمل
۹۴	۱-۷-۶- بیان مساله
۹۴	۲-۷-۶- مراحل کار
۹۷	۷-۶- ملاحظات عمومی
۹۹	فصل هفتم - مطالعه موردی
۱۰۱	۱-۷- کلیات

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۰۱	۲-۷- معرفی منطقه مورد مطالعه
۱۰۲	۳-۷- مطالعات پیشین
۱۰۳	۴-۷- جمع‌آوری آمار و انتخاب سیلاب‌های بحرانی
۱۰۳	۱-۴-۷- جمع‌آوری آمار دبی
۱۰۳	۲-۴-۷- شناسایی سیلاب‌های بحرانی
۱۰۶	۵-۷- مطالعات فیزیوگرافی و تهیه اطلاعات مکانی
۱۰۶	۱-۵-۷- محدوده منطقه مورد مطالعه
۱۰۶	۲-۵-۷- تقسیمات و مرزبندی حوضه‌ها
۱۰۹	۳-۵-۷- نمایه‌های فیزیوگرافی حوضه
۱۱۲	۴-۵-۷- نقشه‌های پایه
۱۱۶	۶-۷- آماده‌سازی و واسنجی مدل بارش - رواناب
۱۱۶	۱-۶-۷- مراحل اولیه
۱۱۶	۲-۶-۷- انتخاب وقایع مناسب برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی
۱۱۷	۳-۶-۷- توزیع زمانی و مکانی بارندگی
۱۱۷	۴-۶-۷- محاسبه تلفات اولیه و نفوذ
۱۱۸	۵-۶-۷- ذوب برف
۱۲۱	۶-۶-۷- آب معادل برف
۱۲۴	۷-۶-۷- تبدیل بارش به رواناب در سطح زیرحوضه‌ها
۱۲۷	۸-۶-۷- روندیابی سیلاب در شبکه رودخانه‌ها
۱۲۷	۷-۷- نتایج واسنجی
۱۲۹	۸-۷- نتایج اعتباریابی مدل
۱۳۰	۹-۷- برآورد PMF
۱۳۰	۱-۹-۷- خلاصه مطالعات PMP
۱۳۰	۲-۹-۷- تهیه داده‌ها
۱۳۶	۳-۹-۷- آنالیز حساسیت و تعیین حدود PMF
۱۴۴	۴-۹-۷- تعیین دامنه تغییرات PMF

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۴۷	پیوست ۱- تعاریف
۱۵۳	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶	جدول ۱- طبقه‌بندی سدها براساس اندازه سد در آمریکا
۷	جدول ۲- طبقه‌بندی خسارات و گزند بالقوه شکست سد بر نواحی پایاب در آمریکا
۷	جدول ۳- ضوابط استاندارد برای انتخاب سیلاب طراحی سدها در آمریکا
۸	جدول ۴- ویژگی سدهای با اضافه خسارت شدید در استرالیا
۲۹	جدول ۱-۲- مشخصات چند ایستگاه هیدرومتری موجود در حوضه دز و نواحی اطراف
۳۰	جدول ۲-۲- مشخصات چند ایستگاه هواشناسی موجود در حوضه آبریز رودخانه دز و نواحی اطراف
۳۰	جدول ۲-۳- مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهده‌ای چند ایستگاه هیدرومتری در حوضه دز در دوره آماری
۳۳	جدول ۲-۴- داده‌های ایستگاه باران‌نگاری و هیدروگراف سیل متناظر در یک رویداد به طور نمونه
۴۷	جدول ۳-۱- مقایسه برخی مدل‌های هیدرولوژیکی تک واقعه‌ای
۱۰۴	جدول ۷-۱- رتبه‌بندی سیل‌های بحرانی براساس دبی اوج رواناب مستقیم در محل ایستگاه تله‌زنگ
۱۰۵	جدول ۷-۲- فهرست سیلاب‌ها و طوفان‌های بحرانی
۱۰۵	جدول ۷-۳- فصل‌بندی وقوع سیلاب‌های بحرانی
۱۰۹	جدول ۷-۴- خلاصه مشخصات فیزیوگرافی و پایه حوضه‌ها و زیر حوضه‌های مورد مطالعه
۱۱۰	جدول ۷-۵- توزیع شیب (به درصد) با مساحت (km^2)
۱۱۱	جدول ۷-۶- خصوصیات شبکه و شیب پروفیل طولی رودخانه‌ها
۱۱۷	جدول ۷-۷- تاریخ بارش و سیلاب مربوط به طوفان‌های واسنجی و اعتباریابی
۱۱۷	جدول ۷-۸- عمق کل بارش (بر حسب میلی‌متر) زیر حوضه‌ها به ازای طوفان‌های کالیبراسیون و اعتباریابی
۱۱۸	جدول ۷-۹- عدد منحنی وزنی زیر حوضه‌ها مربوط به طوفان فروردین ۱۳۷۷
۱۱۹	جدول ۷-۱۰- ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی مورد استفاده برای تعیین دما
۱۲۳	جدول ۷-۱۱- مشخصات ایستگاه‌های برف‌سنجی حوضه آبریز دز و برآورد آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله
۱۲۵	جدول ۷-۱۲- مقادیر اولیه زمان تمرکز هر زیر حوضه

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۲۸	جدول ۷-۱۳- مقادیر نهایی زمان تمرکز و ضریب رواناب زیر حوضه‌ها پس از مرحله واسنجی مدل
۱۲۸	جدول ۷-۱۴- مقادیر نهایی K و تعداد بازه (N) ماسکینگام پس از مرحله واسنجی مدل
۱۲۹	جدول ۷-۱۵- مقادیر نهایی دمای آستانه و پتانسیل ظرفیت ذخیره آب در برف در مدل ذوب برف
۱۳۱	جدول ۷-۱۶- مقادیر شاخص RSS و کای اسکوئر تحلیل فراوانی ایستگاه میدانک
۱۳۱	جدول ۷-۱۷- ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه و آب معادل برف ماهانه با دوره بازگشت ۵۰ ساله (به میلی‌متر)
۱۳۴	جدول ۷-۱۸- میانگین آب معادل برف ۵۰ ساله (SWE) برای لایه‌های ارتفاعی مختلف در حوضه آبریز دز
۱۳۵	جدول ۷-۱۹- میانگین ایستگاهی دمای نقطه شبنم با تداوم ۱۲ ساعته و با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای دوره‌های ۱۰ روزه
۱۳۷	جدول ۷-۲۰- PMF های متناظر با تداوم‌های مختلف PMP
۱۳۸	جدول ۷-۲۱- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از توزیع زمانی مشاهده‌ای و توزیع تیپ
۱۳۹	جدول ۷-۲۲- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از رگبارهای با جهات مختلف حرکت جبهه
۱۴۰	جدول ۷-۲۳- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از طوفان‌های تولید کننده حداقل و حداکثر مقدار دبی اوج با توزیع مکانی بدون بعد
۱۴۱	جدول ۷-۲۴- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف دمای تفکیک برف و باران
۱۴۲	جدول ۷-۲۵- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف نرخ تنزیل دما
۱۴۲	جدول ۷-۲۶- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف سرعت حرکت موج
۱۴۳	جدول ۷-۲۷- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف ضریب پتانسیل ذخیره آب در برف
۱۴۴	جدول ۷-۲۸- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از شرایط رطوبت اولیه مختلف در حوضه
۱۴۵	جدول ۷-۲۹- مقادیر دبی اوج و حجم هیدروگراف‌های حد بالا PMF، حد پایین PMF و PMF نهایی با زمان پایه ۶ روزه
۱۴۵	جدول ۷-۳۰- مقادیر هیدروگراف نهایی PMF

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲۰	شکل ۱-۱- فلوچارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل
۲۷	شکل ۱-۲- نقشه توپوگرافی بخشی از حوضه آبریز رودخانه دز
۲۸	شکل ۲-۲- یک نمونه عکس هوایی ۱:۲۰۰۰۰ بخشی از حوضه آبریز

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳۱	شکل ۳-۲- نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوضه آبریز رودخانه دز و نواحی اطراف
۳۲	شکل ۴-۲- تصویر سنجش از دور منطقه‌ای مشتمل بر بخشی از حوضه آبریز دز
	شکل ۱-۳- شمای کلی مدل HEC-HMS و قسمت‌های مختلف آن برای مدل‌سازی بارش - رواناب در بالادست
۵۰	ایستگاه تله زنگ، حوضه آبریز رودخانه بختیاری
۵۲	شکل ۲-۳- منوی ورود اطلاعات زیر حوضه‌ها
۵۲	شکل ۳-۳- تفکیک جریان پایه در مدل فروکش نمایی
۵۳	شکل ۴-۳- منوی ورود اطلاعات در روش ماسکینگام- کانچ ۸ نقطه‌ای
۵۶	شکل ۵-۳- منوی ورود اطلاعات در روش وزن دهی باران‌سنج معکوس فاصله
۷۳	شکل ۱-۵- تغییر شکل هیدروگراف به ازای مقادیر مختلف نسبت $R/(T_C+R)$
۷۸	شکل ۲-۵- نمونه‌ای از خطوط هم‌تراز تابع هدف در مقادیر TC و R در فرآیند واسنجی خودکار
۸۴	شکل ۱-۶- نمونه‌ای از خطوط هم‌باران بیضوی
۸۵	شکل ۲-۶- منحنی‌های هم‌بارش تداوم یک روزه یک طوفان شدید در حوضه سد بختیاری
۸۶	شکل ۳-۶- منحنی‌های بی بعد توزیع زمانی برخی از طوفان‌های شدید ثبت شده و الگوی پوش در ایستگاه الیگودرز
۸۷	شکل ۴-۶- هیتوگراف بارندگی ۲۴ ساعته به روش بلوک‌های متناوب با استفاده از ضریب اوج‌گیری ۰.۶۷٪
۹۰	شکل ۵-۶- فراوانی ریزش برف و باران بر حسب دما
۹۲	شکل ۶-۶- محدوده انتخابی هیدروگراف سیل برای فرآیند واسنجی
۱۰۲	شکل ۱-۷- نقشه موقعیت حوضه بختیاری در حوضه رودخانه کارون بزرگ و حوضه‌های اصلی کشور
۱۰۷	شکل ۲-۷- مرز زیرحوضه‌ها تا محل ایستگاه تله‌زنگ
۱۰۸	شکل ۳-۷- مدل ارتفاعی رقومی براساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰
۱۱۰	شکل ۴-۷- نمودار هیپسومتری حوضه بختیاری
۱۱۱	شکل ۵-۷- نیم‌رخ طولی، شیب خالص و شیب ناخالص رودخانه اصلی حوضه بختیاری
۱۱۲	شکل ۶-۷- نقشه زمین‌شناسی حوضه
۱۱۳	شکل ۷-۷- نقشه کاربری اراضی حوضه
۱۱۴	شکل ۸-۷- طبقه‌بندی گروه‌های هیدرولوژیک خاک
۱۱۵	شکل ۹-۷- طبقه‌بندی عدد منحنی (CN-II) حوضه
۱۱۶	شکل ۱۰-۷- توپولوژی زیر حوضه‌ها و رودخانه‌های بالادست ایستگاه تله‌زنگ ساخته شده در محیط مدل HEC- HMS

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲۰	شکل ۷-۱۱- نمونه‌ای از نمودارهای سری زمانی دمای ۱۲ ساعته در طول وقوع طوفان هفتم تا بیستم فروردین ۱۳۷۷
۱۲۱	شکل ۷-۱۲- نمونه‌ای از رابطه تنزیل دما با ارتفاع برای طوفان فروردین ۱۳۷۷
۱۲۲	شکل ۷-۱۳- نقشه برآوردی سطح پوشش برف (رنگ تیره) برای حوضه دز در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۷۷
۱۲۶	شکل ۷-۱۴- نقشه طبقه‌بندی طول پیمایش تا خروجی هر زیرحوضه
۱۲۷	شکل ۷-۱۵- هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی طوفان فروردین ۱۳۷۷ در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ
۱۲۸	شکل ۷-۱۶- مقادیر دبی اوج و حجم رواناب مستقیم هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی طوفان فروردین ۱۳۷۷
۱۲۹	شکل ۷-۱۷- هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی طوفان دی ۱۳۷۱ در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ
۱۲۹	شکل ۷-۱۸- مقادیر دبی اوج و حجم رواناب مستقیم هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی طوفان دی ۱۳۷۱
۱۳۲	شکل ۷-۱۹- رابطه بین آب معادل برف دوره بازگشت ۵۰ ساله با ارتفاع برای حوضه آبریز دز
۱۳۳	شکل ۷-۲۰- نقشه توزیع آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای حوضه آبریز دز
۱۳۵	شکل ۷-۲۱- دمای حداکثر ۱، ۲، ۵ و ۱۰ روزه با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای ایستگاه خرم‌آباد
۱۳۶	شکل ۷-۲۲- تغییرات دما و بارش در طول تداوم PMP ۳ روزه در زیرحوضه شماره ۱
۱۳۷	شکل ۷-۲۳- هیدروگراف‌های PMF (بدون دبی پایه) متناظر با تداوم‌های مختلف PMP
۱۳۸	شکل ۷-۲۴- هیدروگراف PMF حاصل از توزیع مشاهده‌ای طوفان اسفند ۱۳۷۰ (بدون دبی پایه)
۱۳۸	شکل ۷-۲۵- هیدروگراف PMF حاصل از توزیع زمانی تیپ (بدون دبی پایه)
۱۳۹	شکل ۷-۲۶- هیدروگراف‌های PMF حاصل از رگبارهای با توزیع زمانی تیپ و با جهات مختلف حرکت جبهه
۱۳۹	شکل ۷-۲۷- هیدروگراف‌های PMF حاصل از توزیع مکانی بدون بعد طوفان‌های بحرانی با توزیع زمانی مشاهده‌ای
۱۴۰	شکل ۷-۲۸- هیدروگراف‌های PMF حاصل از توزیع مکانی بدون بعد طوفان‌های با حداقل و حداکثر دبی اوج
۱۴۰	در شکل (۷-۲۷) با توزیع زمانی تیپ
۱۴۱	شکل ۷-۲۹- هیدروگراف‌های PMF متناظر با مقادیر مختلف دمای تفکیک برف و باران
۱۴۱	شکل ۷-۳۰- هیدروگراف‌های PMF متناظر با مقادیر مختلف نرخ تنزیل دما با افزایش ارتفاع
۱۴۲	شکل ۷-۳۱- هیدروگراف‌های PMF حاصل از افزایش سرعت موج در رودخانه
۱۴۳	شکل ۷-۳۲- هیدروگراف‌های PM حاصل از مقادیر مختلف ضریب حداکثر ذخیره آب در برف
۱۴۳	شکل ۷-۳۳- هیدروگراف‌های PMF حاصل از شرایط رطوبت اولیه مختلف در حوضه
۱۴۴	شکل ۷-۳۴- حدود بالا، پایین و میانگین PMF حوضه سد بختیاری
۱۴۴	شکل ۷-۳۵- هیدروگراف PMF نهایی در محل سد بختیاری

مقدمه

کمیت سیلی که برای طراحی سازه‌های تحت تاثیر وقایع هیدرولوژیکی با توجه به عواملی چون ایمنی سازه، هزینه، طول عمر و خسارت محتمل به کار می‌رود، سیل طراحی نام دارد. سیل طراحی معمولاً در سه دسته سیل‌های بر پایه فراوانی^۱، حداکثر سیلاب محتمل^۲ و سیل استاندارد پروژه^۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. ابعاد خسارات حاصل از شکست سدها در مقابل منافع حاصل از ساخت و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها، حساسیت بسیار بالای انتخاب سیل طراحی به منظور حفظ پایداری سدها را نشان می‌دهد. روش‌های کمی تحلیل ریسک برای تعیین سیل طراحی، از یک طرف احتمالات وقایع هیدرولوژیک حدی و از طرف دیگر اثرات و خسارات حاصل از تجاوز سیل از سیلاب طراحی شامل خسارات افزایشی حاصل از شکست سد و تاخیر در بهره‌برداری را دخالت می‌دهد. تحلیل ریسک با هدف یافتن تعادل قابل قبول بین هزینه‌های بهبود و افزایش ایمنی در ازای کاهش خسارات مورد انتظار سیل انجام می‌گیرد. تحلیل ریسک اقتصادی هم‌چنین ابزار مناسبی برای ارزیابی انواع گزینه‌های بهسازی سرریز سدهای موجود و افزایش ایمنی آن‌ها محسوب می‌شود. اما به دلایل زیر استفاده از این روش با مشکل مواجه است.

۱- اطلاعات تجربی (و نه فرضی و ذهنی) درباره خسارات سیلاب‌های عظیم و مصیبت‌بار معمولاً وجود ندارد و در نتیجه توسل به مفروضات مختلف درباره خسارات مستقیم و غیرمستقیم ضروری است. تحقیقات نشان می‌دهد که نتایج محاسبات به این گونه مفروضات حساسیت زیادی نشان می‌دهند.

۲- ارزش‌گذاری جان انسان‌ها، خصوصاً در مواردی که شکست سد یک فاجعه اجتماعی به بار می‌آورد، کار فوق‌العاده دشوار و پیچیده‌ای تلقی می‌شود و کاربرد روش تحلیل ریسک را با مشکلات جدی مواجه می‌سازد.

۳- نتایج محاسبات تحلیل ریسک اقتصادی که براساس شرایط فعلی و در پایاب و سراب سد صورت می‌گیرد، نمی‌تواند معیار خوبی برای تصمیم‌گیری درباره سیلاب طراحی بهینه باشد، زیرا در بسیاری موارد پس از احداث سد، توسعه عمرانی چشمگیری خصوصاً در نواحی پایاب سد صورت می‌گیرد. پیش‌بینی این توسعه برای افق‌های بلندمدت دشوار است.

سدها و مخازن بزرگی که در پایاب آن‌ها کانون‌های مهم جمعیتی و یا مراکز پراهمیت صنعتی وجود دارد، سازه‌های پرخطر محسوب می‌شوند که شکست آن‌ها غالباً به فاجعه‌ای منطقه‌ای و ملی منجر می‌شود. روگذری از سد که عمدتاً به علت وقوع سیلابی بزرگ‌تر از ظرفیت تعدیل مخزن و افزون بر قدرت تخلیه سرریز حادث می‌شود، یکی از رایج‌ترین علل شکست سدها است. برخی از گزارشات حاکی از آنست که ۴۱ درصد از سوانح شکست سدها ناشی از کمبود ظرفیت سرریز سدها و ۷ درصد ناشی از خطا و اشتباه در بهره‌برداری از سد و مابقی به علت اندرکنش آب و سازه و زلزله بوده

1- Frequency Based Floods (FBF)

2- Probable Maximum Flood (PMF)

3- Standard Project Flood (SPF)

است. بدین ترتیب نزدیک به نیمی از سوانح شکست سدها را می‌توان ناشی از روگذری از سد دانست. گزارشات و مقالات متعدد دیگری نیز خطر شکست سد بر اثر روگذری را حداقل ۳۰ درصد و غالباً بین ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل شکست‌های گزارش‌شده سدها عنوان کرده‌اند. به‌طور کلی از تعداد ۱۰۰ سانحه شکست سد در بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ میلادی، ۴۰ مورد مربوط به روگذری از سدها بوده است.

کارشناسان آب در برخی کشورها، حداکثر سیلاب محتمل (PMF) را به عنوان سیلاب ایمنی سدهای بزرگ که در پایین‌دست آن‌ها خطرات جانی قابل توجهی وجود دارد و هیچ‌گونه ریسک تلفات قابل پذیرش نیست، محسوب می‌نمایند. از جمله از حدود ۵۰ سال قبل در آمریکا، PMF از مقبولیت عام به عنوان سیلاب ایمنی سدهای با تهدید خطر بالا برای جامعه پایین‌دست برخوردار بوده است. در ایران نیز مطالعات PMF به عنوان سیلاب ایمنی سدهای بزرگ اهمیت و حساسیت فراوانی دارد.

– تاریخچه معیار سیل طراحی

توسعه روش‌های برآورد PMF به‌طور عمده در کشور آمریکا پیشنهاد و عملیاتی شد، به‌نحوی که روند تکمیل روش‌های پیشنهادی از تاریخچه حدود ۵۰ ساله بهره می‌برد. یک گروه کاری در زمینه سیل‌های طراحی سرریز توسط جامعه مهندسين عمران آمریکا (ASCE) در سال ۱۹۵۶ تاسیس شد. در مقاله‌ای که توسط یک عضو گروه کاری در نشست هیدرولوژی سال ۱۹۶۲ ارائه شد، چنین نتیجه‌گیری شده بود: «برای سازه‌های بزرگ که در معرض خطر شکست قرار دارند، اگر سیلی واقع شود که از ظرفیت انتخابی آن‌ها عبور نماید، هیچ معیاری به اندازه حداکثر سیل محتمل توجیه‌پذیر نیست»^۱.

در سال ۱۹۷۰ گزارشی تحت عنوان «معیارها و کارهای عملی تعیین ظرفیت موردنیاز سرریزها» در US COLD تهیه شد. مولفین این گزارش پاسخ پرسشنامه‌های ارسالی به سازندگان سدهای فدرال، بهره‌برداران سدها و مالکین و همچنین شرکت‌های مهندسی خصوصی را جمع‌آوری کردند. پاسخ‌ها مبین این بود که سدهای مرتفعی که دارای احجام بزرگ مخزن می‌باشند، باید به گونه‌ای طراحی شوند که مجموعه تخلیه‌کننده‌های سد و سرریز آن‌ها آنقدر بزرگ باشند که اطمینان از عبور ایمن جریان‌های بزرگ‌تر از حداکثر سیل محتمل، بدون روگذری از سد وجود داشته باشد. این گزارش همچنین بیان کرد که سیاست‌های زمان حاضر (۱۹۷۰) به طور بنیادی با سیاست‌های دنبال شده در ۲۰ سال گذشته و قبل از آن توسط سازمان‌های مسوول متفاوت نیستند.

یک کمیته کاری ASCE در سال ۱۹۷۳ در زمینه ارزیابی مجدد کافی بودن اندازه سرریز سدهای موجود، روش دیگری را در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی مجدد کفایت ظرفیت سرریز سدهای موجود» ارائه کرد. این مقاله از نظر ارائه پیشنهاداتی متفاوت با تفکر معمول آن زمان، برجسته محسوب می‌شود. کمیته کاری پیشنهاد کرد که کفایت ظرفیت

سرریز سدهای موجود باید براساس یک تحلیل اقتصادی کامل از هزینه‌های ریسک (شکست سد) در مقابل هزینه‌های سرمایه‌گذاری سرریز سد، بنا شود. هزینه‌های ریسک از جمله تعیین ارزش اقتصادی برای مرگ هر انسان را نیز در بر می‌گیرد. به PMF احتمال رویداد سالانه یک در ۱۰۰۰۰ داده شد. کمیته اذعان داشت که شهروندان از طریق هزاران عامل مختلف می‌توانند در معرض ریسک مرگ قرار گیرند. جالب توجه است که اعضای کمیته توانستند رضایت عمومی را نسبت به توصیه‌هایشان جلب نمایند. کار کمیته طوفانی از بحث را ایجاد کرد به نحوی که میزان پذیرش توصیه‌های آن‌ها به وسیله جامعه مهندسين کم بود. بعضی از نقد کنندگان توصیه‌های کمیته، با اختصاص دادن یک احتمال وقوع به PMF موافق نبودند. در حالی که برخی با تعیین ارزش اقتصادی برای جان انسان‌ها مخالفت کردند. شاید زمان انتشار نتایج کار کمیته تحت تاثیر شکست سد در دو ایالت آمریکا در ۱۹۷۲ یعنی اندکی قبل از انتشار نتایج قرار گرفته باشد. یکی از اعضای کمیته سال ۱۹۷۳ بعدها چنین نوشت: «بعد از همه این سال‌ها، من هنوز فکر می‌کنم که گزارش کمیته استحقاق توجه عمیقی را داشت»^۱.

در سال ۱۹۷۹ «راهنمای فدرال برای ایمنی سد» در پایان دهه‌ای که تعداد زیادی شکست سد در ایالات متحده تجربه شد، منتشر گردید. در این راهنما چنین آمده است که «زمانی که سیلاب بتواند خطرهای مهمی برای جان انسان‌ها یا خسارت‌های عمده مالی ایجاد کند، برای وقوع سیلی بزرگ‌تر از سیل انتخاب شده طراحی نباید شانس وجود داشته باشد». این توصیه صریح برای انتخاب PMF، استفاده از روش تحلیل ریسک را در چنین شرایطی مردود دانست.

انجمن تحقیق ملی آمریکا گزارش معیارهای سیل و زمین‌لرزه را در سال ۱۹۸۵ منتشر کرد. این گزارش چنین بیان داشت که یک روش رضایت‌بخش جهانی برای تعیین معیار ظرفیت سرریز برای سدهای پرخطر وجود ندارد. برای بعضی از سدها، جایی که خسارات جانی و مالی مازاد حاصل از شکست سد به خاطر روگذری وجود دارد، حفاظت در مقابل حداکثر سیل محتمل توجیه‌پذیر است. در سایر موارد ممکن است حفاظت در مقابل PMF مطلوب باشد، اما اندکی مسامحه نیز می‌تواند صورت گیرد.

در سال ۱۹۸۶، یک گروه کاری در کمیته میانجی‌گری راهنمای فدرال ایمنی سد، انتخاب و اصلاح سیل‌های طراحی ورودی به سدها را بررسی کردند. برای سدهای موجود جایی که شکست باعث خسارات جانی و مالی سنگین یا ضربه‌های شدید اجتماعی می‌شود، PMF به عنوان سیل طراحی ورودی توصیه می‌شود. این راهنما همچنین پیشنهاد کرد که آژانس‌های فدرال می‌توانند معیارهای خاص دیگری را نیز توسعه دهند. بدین صورت راه‌حلی پیش پای آژانس‌ها در استفاده از روش‌های دیگری از جمله روش تحلیل ریسک قرار داده شد.

کمیته دیگری از ASCE در سال ۱۹۸۸ در زمینه انتخاب سیل طراحی سرریز مقاله‌ای با عنوان «روش‌های ارزیابی ایمنی هیدرولوژیکی سدها» تهیه کرد. کمیته چنین پیشنهاد کرد که در شرایطی که تعداد ۱۰۰ نفر یا بیش‌تر، در سطوح سیل‌زده طی ۴ ساعت اول بعد از شکست سد، در معرض خطر قرار می‌گیرند، PMF باید به عنوان سیل طراحی انتخاب

شود. روش ارزیابی کمی ریسک برای سدهای با خطر کم‌تر پیشنهاد شد که در آن وزن‌دهی نسبی به خسارات غیرمادی و مقایسه آن‌ها با ذخایر مادی فرض می‌شود. در نتیجه هیچ معیار واحدی برای اتخاذ یک تصمیم نهایی برای طراحی ایمن توصیه نگردد.

در اکتبر ۱۹۹۸، «راهنمای فدرال برای انتخاب و اصلاح سیل طراحی ورودی سدها» مجدداً منتشر شد «پیامدهای افزایشی قابل قبول» به عنوان پایه‌ای برای تعیین سیل طراحی ورودی مناسب معرفی شد. اختلاف در میزان خطر مالی و جانی حاصل از سیل، با و بدون شکست سد، به عنوان پیامدهای افزایشی تعریف می‌شوند. راهنما یک روش تکرارشونده را برای تحلیل جریان‌های سیل افزایشی، تا زمانی که جریان سیل قابل قبول مشخص شود یا کل PMF حاصل شود، توصیه می‌کند. همچنین اگر وقوع PMF باعث شکست سد شده و پیامدهای مازاد غیر قابل قبولی را ایجاد کند، PMF باید به عنوان سیل طراحی ورودی پذیرفته شود. راهنما همچنین بیان می‌کند که «مواقعی وجود دارد که روش انتخاب سیل طراحی با استفاده از روش خطر افزایشی پیچیده می‌شود و ممکن است اجرای تحلیل‌های بیش‌تر با یک روش براساس ریسک ضروری باشد.»

- کاربردهای PMF

برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های تحت تاثیر پدیده‌های هیدرولوژیکی اغلب نیازمند ارزیابی پتانسیل ایجاد سیلاب در حوضه‌های آبریز است. برآورد پتانسیل حداکثر سیلاب معمولاً برای سه کاربرد مهندسی زیر انجام می‌گردد.

۱- طراحی سدهای با خطر بالا در مناطق جمعیتی به نحوی که شکست سد تلفات انسانی قابل توجهی را به همراه داشته باشد.

۲- برنامه‌ریزی بهره‌برداری و منحنی فرمان سدها در زمان سیلاب

۳- مناطق سیلابی و سیلاب‌دشت‌هایی که نیروگاه‌های هسته‌ای در آن ساخته می‌شوند.

از PMP برای تخمین حداکثر سیل محتمل استفاده می‌شود. PMF به اختصار به عنوان بزرگ‌ترین سیلی که می‌تواند به طور معقول در یک منطقه مورد انتظار باشد، تعریف شده است. تعیین حداکثر سیل محتمل براساس یک ارزیابی منطقی از وقوع رخداد‌های همزمان چندین شرایط حدی یا عوامل موثر در ایجاد سیل استوار است^۱. این مقدار به عنوان «بیش‌ترین امکان معقول» سیل که ممکن است در یک محل رخ دهد، توصیف شده است^۲.

مقدار PMF یا درصدی از آن در برخی کشورها به عنوان سیل طراحی سازه‌های پرخطر به ویژه سرریز سدهایی که شکست آن‌ها از طریق روگذری، خسارات جانی و مالی زیادی را در پی دارد پذیرفته شده است^۳. استخراج هیدروگراف PMF را می‌توان به دو مرحله اصلی تقسیم نمود:

۱- تبدیل بارش PMP به رواناب سطحی

1- USBR, 1977

2- Corps of Engineers, 1966

3- Cluckie and Pessoa, 1990

۲- روندیابی هیدروگراف تا محل مخزن و عبور آن از سرریز

محاسبه PMF به نوعی متاثر از مجموعه‌ای از احتمالات ناچیز و در عین حال پرهیز از ترکیب‌های غیرفیزیکی است. در نظر گرفتن شرایط بحرانی برای کلیه عوامل در مطالعات PMF تابع درجه محافظه‌کاری مطالعات می‌باشد و در مورد برخی عوامل دستورالعمل واحدی وجود ندارد. در مجموع، باید تلاش شود که عوامل بحرانی ولی محتمل و فیزیکی در نظر گرفته شوند. بنابراین دوره بازگشت‌های عواملی چون ذخیره اولیه برف و تغییرات درجه حرارت در زمان وقوع PMF بین ۱۰ تا حداکثر ۱۰۰ سال معمول است.

علاوه بر این برآورد PMF طبق استاندارد برخی کشورها به تدقیق برآوردهای حاصل از تحلیل فراوانی سیل (و یا انجام محاسبات تحلیل ریسک اقتصادی) کمک می‌کند. علت استفاده از PMF در تدقیق نتایج تحلیل فراوانی سیلاب، عدم دقت برآورد آماری سیلاب‌های حدی بالا می‌باشد. در این روش‌ها که براساس برازش توزیع آماری بر داده‌های مشاهده‌ای استوار است، در محدوده سیلاب‌های مشاهده‌ای که محدوده سیلاب‌های معینی را پوشش می‌دهند، دقت برآورد قابل قبول است. اما برای سیلاب‌های بزرگ از برون‌یابی توزیع آماری استفاده می‌شود که می‌تواند خطای زیادی در برداشته باشد. بنابراین به منظور برآورد سیلاب‌های حدی بالا، اصلاح نتایج تحلیل فراوانی با استفاده از PMF توسط برخی استانداردهای بین‌المللی توصیه شده است. به عنوان مثال طبق دستورالعمل رسمی رایج در پرتغال، هرگاه سیلاب طراحی سد مورد نظر دارای دوره برگشتی بیش‌تر از هزار سال باشد، مقایسه نتایج تحلیل فراوانی با سیلاب حداکثر محتمل توصیه می‌شود، زیرا محدوده اعتبار نمودار فراوانی وقوع سیلاب‌ها را غالباً تا هزار سال می‌دانند^۱ در آفریقای جنوبی نیز سیلاب حداکثر محتمل را به عنوان یک نقطه کمکی برای توسعه نمودار فراوانی وقوع سیل‌ها مورد استفاده قرار می‌دهند^۲. دفتر عمران ایالات متحده^۳ و شورای پژوهش‌های ملی آمریکا^۴ نیز روش‌های مشابهی را برای برون‌یابی نمودار فراوانی وقوع به کمک سیلاب حداکثر محتمل توصیه می‌کنند^۵ انجمن مهندسين استرالیا (AE) نیز روش ویژه‌ای را برای گسترش نمودار توزیع آماری سیلاب‌ها به کمک PMF و برآورد مقادیر سیلاب‌های با دوره برگشت بیش از صد سال ابداع کرده‌اند^۶.

در آمریکا PMF به عنوان سیلاب طراحی سدهای بزرگ شناخته می‌شود. در صورت انتخاب سیلاب طراحی کوچک‌تر و در هنگام تخریب سد، طراح به طور قانونی مورد پیگرد قرار می‌گیرد. بنابراین بسیاری از مهندسين مشاور با توجه به شهرت حرفه‌ای و ملاحظات مالی، هیچ‌گونه ریسکی را قبول نمی‌کنند^۷. با توجه به گزارشات ICOLD کشور آمریکا تا

1- Ribeiro, 1992

2- SANCOLD, 1986

3- US Bureau of Reclamation

4- National Research Council

5- USNRC, 1985

6- Pilgrim et al., 1988

سال ۱۹۹۱ دارای بیش‌ترین سانحه منجر به شکست سد بوده است. یکی از علل استفاده از استاندارد بالای سیلاب طراحی PMF در این کشور همین تجربه‌های تلخ ناشی از فراوانی شکست سد می‌باشد. در سایر کشورها این تجربه با فراوانی اندک همراه است و میزان ریسک پذیری افکار عمومی، کارفرمایان، مشاورین و طراحان سدها بیش‌تر می‌باشد. لذا استاندارد پایین‌تر از PMF مانند سیلاب‌های با دوره برگشت‌های ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ساله با توجه به اهمیت سد در برخی کشورها رایج است.^۱

بر اساس طبقه‌بندی رسته مهندسین ارتش آمریکا، که رایج‌ترین ضابطه در سراسر آمریکا می‌باشد، سدها از نظر اندازه به سه طبقه کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم می‌شوند. سدهای هر طبقه از نظر گزند بالقوه شکست به سه گروه با خسارات کم، متوسط و قابل توجه یا شدید طبقه‌بندی می‌شوند. ضوابط استاندارد سیلاب طراحی برای هر یک از این طبقات در جداول شماره ۱ تا ۳ خلاصه گردیده است.^۲

در انگلستان سدها بر اساس خسارات و گزند بالقوه ناشی از شکست آن‌ها در چهار طبقه ایمنی A تا D قرار می‌گیرند. بر این اساس چنانچه سد در کلاس A (در صورت تخریب سد جان بیش از ۱۰ نفر از ساکنین در پایین‌دست در یک محل به خطر می‌افتد) قرار گیرد، استاندارد عمومی سیلاب طراحی حداکثر سیلاب محتمل (PMF) می‌باشد.^۳

در هندوستان برای سدهایی که در رده سدهای بزرگ قرار می‌گیرند (ارتفاع بیش از ۳۰ متر و یا حجم مخزن بیش از ۶۰ میلیون متر مکعب)، PMF به عنوان سیلاب طراحی استاندارد شناخته می‌شود. بعد از آمریکا، بیش‌ترین سدهای تخریب شده در اثر سیلاب مربوط به کشور هندوستان می‌باشد. بنابراین جای تعجب نیست که ضوابط محافظه‌کارانه‌ای در این کشور اعمال گردد. البته این نکته را نیز باید در نظر گرفت که به علت توپوگرافی ویژه کشور هند، قسمت عمده سدهای این کشور کوتاه‌تر از ۳۰ متر و با حجم مخزن کم‌تر از ۶۰ میلیون مترمکعب می‌باشند. در نتیجه PMF برای درصد کمی از سدهای این کشور به کار گرفته شده است.^۴

جدول ۱- طبقه‌بندی سدها بر اساس اندازه سد در آمریکا [۳]

ارتفاع سد (متر)	گنجایش مخزن (میلیون متر مکعب)	اندازه سد
۷/۶ - ۱۲/۲	۰/۶۲ - ۱/۲۳	کوچک
۱۲/۲ - ۳۰/۵	۱/۲۳ - ۶۱/۵	متوسط
بیش‌تر از ۳۰/۵	بیش‌تر از ۶۱/۵	بزرگ

۱- غروی، ۱۳۸۰

۲- بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵

۳- فدائی‌فرد، ۱۳۸۰

۴- همان

جدول ۲- طبقه‌بندی خسارات و گزند بالقوه شکست سد بر نواحی پایاب در آمریکا [۳]

میزان عمران و آبادی در نواحی پایاب		خسارات بالقوه شکست
خسارات اقتصادی	تلفات جانی	
خسارات در حداقل ممکن است (اراضی بایر یا چند سازه پراکنده و یا توسعه موضعی اراضی برای کشاورزی در نواحی پایاب سد وجود دارد)	انتظار نمی‌رود تلفات جانی پدید آید (هیچ‌گونه ساختمانی مسکونی در پایاب سد وجود ندارد)	کم
خسارات قابل توجه است (عمران و توسعه کشاورزی و صنعتی و یا تعداد ساختمان‌های مسکونی در پایاب سد قابل توجه است)	تلفات جانی معدود است (هیچ‌گونه توسعه شهری و روستایی وجود ندارد و صرفاً چند ساختمان مسکونی در پایاب سد وجود دارد)	قابل توجه (متوسط)
خسارات شدید است (نواحی صنعتی و کشاورزی در پایاب سد گسترده است و یا کانون‌های جمعیتی مهم و پرتراکم در پایاب وجود دارد)	تعداد تلفات جانی بیش‌تر از چند نفر خواهد بود	زیاد

جدول ۳- ضوابط استاندارد برای انتخاب سیلاب طراحی سدها در آمریکا [۳]

اندازه سد	گزند بالقوه ناشی از شکست سد	سیلاب طراحی سرریز
کوچک	کم	سیل ۵۰ تا ۱۰۰ ساله
	متوسط	۱۰۰ ساله تا PMF ۰/۵۰
	زیاد	PMF - PMF ۰/۵۰
متوسط	کم	۱۰۰ ساله تا PMF ۰/۵۰
	متوسط	PMF - PMF ۰/۵۰
	زیاد	PMF
بزرگ	کم	PMF - PMF ۰/۵۰
	متوسط	PMF
	زیاد	PMF

در کانادا برای سدهای طبقه یک (با شدت خسارات شکست سد زیاد) صرف‌نظر از اندازه سد (کوچک، متوسط و یا بزرگ) از PMF به عنوان سیلاب طراحی سرریز استفاده می‌گردد [۳]. بانک جهانی در رابطه با پروژه‌هایی که در آن سرمایه‌گذاری می‌کند به انتخاب سیلاب PMF اصرار و ظرفیت اضافی برای عبور سیلاب به عنوان ضریب اطمینان اصرار می‌ورزد. در این رابطه سرریزهای اضطراری بیش‌تر مورد توجه هستند [۱].

در استرالیا معیار اساسی برای طبقه‌بندی ایمنی سدها در برابر سیل، خسارات و ضایعات ناشی از شکست سد می‌باشد و اندازه سد و گنجایش مخزن یک ضابطه فرعی و کمکی برای انتخاب سیلاب طراحی سدها تلقی می‌گردد. طبق ضوابط استرالیا سه نوع اصلی از خسارات و ضایعات زیر را باید برای تعیین و ارزیابی اضافه تبعات حاصل از شکست سد در نظر گرفت [۳]:

۱- تلفات جانی و تنش‌های اجتماعی مرتبط با سانحه شکست سد

۲- خسارات مستقیم اقتصادی از جمله خسارات ناشی از تخریب جزئی و یا کلی سد

۳- خسارات غیرمستقیم از جمله قطع آب شرب شهرها و صنایع، توقف تولید برق، اختلال در خدمات عمومی و همگانی و تاثیر شکست سد بر فعالیت‌های اقتصادی ناحیه تاثیرپذیر که معمولاً باعث رکود و وقفه در تولید می‌شود.

طبقه‌بندی سدها بر اساس اضافه خسارات شکست سد در استرالیا در سه رده شدید، متوسط و کم می‌باشد. برای سدهایی که از لحاظ اضافه خسارات شکست در رده شدید قرار می‌گیرند، سیل ۱۰۰۰۰ ساله تا PMF مبنای طراحی است. ویژگی سد با اضافه خسارت شدید در جدول (۴) ارائه گردیده است.

جدول ۴- ویژگی سدهای با اضافه خسارت شدید در استرالیا [۳]

تلفات جانی	خسارات مستقیم اقتصادی	خسارات غیر مستقیم
به علت وجود مراکز جمعیتی یا سایر انواع توسعه در نواحی پایاب سد، می‌توان انتظار داشت که شکست سد تلفات جانی به بار آورد.	خسارات اقتصادی وارد بر کانون‌های جمعیتی، صنعتی و تجاری و یا تاسیسات کشاورزی بسیار زیاد و شدید است. خسارات وارد بر خود سد و یا مخازن دیگر واقع در پایاب آن بسیار زیاد و شدید است.	وجود سد برای ارائه خدمات مربوطه ضروری و الزامی است (جایگزین ندارد). همچنین بازسازی و مرمت سد نیز عملی و امکان‌پذیر نیست.

سیلاب طراحی سدهای بزرگ برزیل بر اساس خطرات پایین دست تعیین می‌شود و برای سدهای طبقه اول سیلاب PMF مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبقه اول سدها در این کشور شامل موارد زیر می‌باشد:

- سدهایی که بالادست جوامع انسانی قرار دارند.
- سدهایی با حجم مخزن بزرگ
- سدهای بزرگی که در سیستم چند سدی قرار دارند.

در نروژ از PMF به عنوان سیلاب طراحی سدهای خاکی و همچنین به عنوان سیلاب آزمون پایداری سدهای خاکی و بتنی استفاده می‌گردد.^۱

در کره جنوبی PMF برای سدهای با کلاس اول خطرپذیری سیلاب پیشنهاد شده است. همچنین PMF به عنوان سیلاب طراحی سدهای خاکی و همچنین به عنوان سیلاب آزمون پایداری سدهای خاکی و بتنی استفاده می‌گردد [۶].

در چین سیلاب ایمنی سدهای خاکی حداکثر سیلاب محتمل (PMF) می‌باشد [۶].

در تایلند سدها بر اساس عواقب ناشی از تخریب سد در چهار رده (بسیار زیاد، زیاد، کم و خیلی کم) طبقه‌بندی می‌شوند. برای سدهایی که در طبقه سدهای با خسارات شدید و بسیار شدید قرار می‌گیرند، PMF به عنوان سیلاب طراحی پیشنهاد گردیده است [۶].

- سیل باستانی

با توجه به مطرح بودن مفهوم سیل باستانی^۲ به عنوان گزینه‌ای برای انتخاب یا مقایسه با سیل طراحی در این بخش به بیان مطالبی در این موضوع می‌پردازیم. مطالب زیر به طور کامل برگرفته از مقاله غروی و همکاران (۱۳۸۳) در مورد سیل باستانی می‌باشد که با توجه به جامع بودن آن با اندکی تغییر و تلخیص در این بخش گنجانده می‌شود.

جریان سیلابی رخ داده در گذشته که با عوارض هیدرومرفولوژیک بر جای مانده از آن قابل شناسایی و تخمین باشد را سیل تاریخی یا باستانی می‌نامند. روش دیرینه‌شناسی رسوبات یا روش سن‌یابی رسوبات دشت سیلابی به منظور تعیین حداکثر سیلاب واقع شده در ادوار تاریخی گذشته (۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ ساله) یک روش ژئوتکنیکی محسوب می‌شود. در این روش با توجه به اینکه همواره سیلاب‌های بزرگ تاریخی باعث تغییر مسیرهای رودهای بزرگ و نیز مدفون شدن دره‌های رودخانه‌ها می‌شود، می‌توان با برداشت و حفاری گمانه در دشت‌های رسوبی و تعیین سن رسوبات و برداشت پروفیل عرضی دشت سیلابی در عرض رسوبات هم‌سن، نسبت به تخمین حداکثر سیلاب به‌وقوع پیوسته در گذشته اقدام نمود. در این روش جنبه‌هایی مانند هیدرولوژی رودخانه، زمین‌شناسی دشت سیلابی، ژئومورفولوژی، هیدرولیک رودخانه، عارضه‌یابی در دره رود و دشت سیلابی با سن‌یابی رسوبات مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش از سال ۱۹۹۶ تاکنون توسط گروه‌های مختلف تحقیقاتی و سدسازی در آمریکا مورد توجه قرار گرفته است.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت روش سیل باستانی دانش بازسازی و تخمین مقدار و زمان وقوع سیل‌های بزرگ در گذشته با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی و مرفولوژیک می‌باشد که توان موجود در زمینه تخمین سیل‌های با دوره بازگشت بالا را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. سیل باستانی دارای مشخصه‌های زیر است:

- حادثه سیلابی واقعی بوده و به‌وقوع پیوسته است.
- حادثه دارای تاریخی واقعی در گذشته است.
- حادثه از خود عوارضی بر جای گذاشته که با مطالعات زمین‌شناسی و مرفولوژیک قابل تشخیص است.
- تاریخ حادثه با سن‌یابی عوارض طبیعی با خطای چند ده و یا چند صد سال قابل تخمین است.
- عوارض بر جای مانده از سیل تخمینی از مقدار، حداکثر و یا حداقل تراز آب در زمان وقوع سیل را ارائه می‌دهد. آثار بر جای مانده از وقوع سیل‌های گذشته را اصطلاحاً عارضه‌های سیل باستانی می‌نامند. عارضه سیل باستانی لزوماً باید دارای دو مشخصه مهم باشد. اول اینکه با استفاده از آن بتوان تخمینی از مقدار، حداکثر یا حداقل تراز سیلاب ارائه نمود. دوم، باید بتوان با استفاده از روش‌های سن‌یابی عوارضی مانند رسوبات، سن مشخصی به آن نسبت داد. مهم‌ترین عوارض قابل استفاده در سیل باستانی عبارتند از: رسوبات بر جای مانده جریان آب راکد شده و تراس‌ها. در مرتبه دوم اهمیت، عارضه‌های گیاهی، اثرات و داغ آب‌های روی درختان و فرو رفتگی‌های فرسایشی در بدنه رودخانه می‌باشد. از سایر عوارض سیل باستانی می‌توان الوار و خاشاک و تخته سنگ‌های حمل شده توسط سیل را نام برد.

در طول چند میلیون سال گذشته سیل‌های متعددی در کره زمین رخ داده‌اند. ولی شناسایی و تخمین مقدار بسیاری از این سیل‌ها با روش‌های کنونی مطالعات سیل باستانی امکان‌پذیر نمی‌باشد. چرا که آثار بسیاری از سیل‌ها به علت وقایع مختلف طبیعی از بین رفته است. به عنوان مثال آثار سیل‌ها در دوره‌های یخبندان از بین می‌رود. بنابراین با توجه به سن دوره یخبندان اخیر سن سیل‌های باستانی به حدود ۱۰،۰۰۰ سال محدود می‌شود. از طرف دیگر عوامل طبیعی مختلفی مانند زلزله، حرکت گسل‌ها و فرسایش بادی یا آبی آثار سیل‌ها را محو می‌سازند. بنابراین طبیعی است که انتظار می‌رود

کمیت سیل‌های باستانی در غالب موارد بسیار بزرگ باشد، چرا که آثار سیل‌های متوسط و کوچک به راحتی از بین رفته و محو می‌گردد.

نتایج مطالعات روش سیل باستانی شامل زوج دبی و سن برای هر سیل است. این داده‌ها به همراه خطاهای دامنه‌ای محتمل ارائه می‌گردند. هم‌اکنون روش‌های آماری پیشرفته امکان استفاده از داده‌های آماری متناسب با ارزش آن‌ها را فراهم می‌آورند.

برای سن‌یابی عارضه‌های سیل باستانی نیز روش‌های متعددی از جمله، روش کربن ۱۴ و روش ترمولومینسانس وجود دارد. این نوع روش‌ها مزایا و ویژگی‌های متفاوتی دارند و بسته به شرایط به عنوان گزینه برتر انتخاب و به کار گرفته می‌شوند. سن عارضه‌های سیل باستانی به دو منظور تعیین می‌گردد، اول اینکه عارضه‌های مربوط به یک سیل مشخص در طول بازه شناسایی و تفکیک می‌شود و دوم استفاده از این سن به عنوان داده ورودی در محاسبات آماری سیل باستانی می‌باشد.

در مطالعات هیدرولوژیک سدها روش سیل باستانی به عنوان مکمل مطالعات هیدرولوژیک تخمین سیلاب طراحی به کار می‌رود و استفاده از آن به عنوان گزینه‌ای جدا و به تنهایی در مقابل مطالعات هیدرولوژیک استاندارد معمول نمی‌باشد. در حقیقت پیشرفت‌های مطالعه سیل باستانی اگر چه روشی مفید و قابل اطمینان را توسعه داده است، اما این روش تنها به عنوان تکمیل‌کننده مطالعات هیدرولوژیک استاندارد می‌تواند مطرح باشد و تاکنون به عنوان گزینه جداگانه به کار نرفته است.

- هدف

تهیه و تدوین استانداردها، ضوابط، راهنما و آیین‌نامه‌های فنی یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای ایجاد یکنواختی در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با سدها به‌شمار می‌آید. هدف از تهیه این دستورالعمل ارائه روش‌ها و مراحل محاسبه حداکثر سیل محتمل است. دستورالعمل تعیین حداکثر سیل محتمل با هدف ایجاد یکنواختی در روش محاسبه این معیار ارائه می‌گردد، هر چند که اتخاذ برخی تصمیم‌های کارشناسی در طی مراحل برآورد و با توجه به شرایط داده‌ها و ویژگی‌های منطقه همچنان به عهده طراح خواهد بود.

- دامنه کاربرد

روش‌های ارائه شده در این دستورالعمل برای برآورد سیل ایمنی سدهای بزرگ که در پایین‌دست آن‌ها خطرات جانی قابل توجهی وجود دارد و هیچ‌گونه ریسک تلفات قابل پذیرش نیست، به کار می‌رود. علاوه بر آن برآورد PMF برای تدقیق برآوردهای حاصل از تحلیل فراوانی سیل استفاده می‌گردد.

این دستورالعمل یک متن جامع برای آموزش کلیه جزییات برآورد سیل‌های حدی نیست. بنابراین کاربران باید با مباحث پایه‌ای در علوم آب و مهندسی هیدرولوژی مانند هواشناسی، هیدرولوژی سیل، هیدرولیک مجاری و روندیابی آشنایی کافی داشته باشند. همچنین باید توجه داشت که هیدرولوژی یک علم دقیق نیست. داده‌ها و عوامل بسیار متعددی بر روی ایجاد سیلاب نقش دارند و لذا مهندس طراح باید همچنان از تجربه و قضاوت خود بهره گیرد.

اخطار: هدایت و اجرای عملی و دقیق این دستورالعمل در صلاحیت یک کارشناس (یا بالاتر) با تجربه رشته مهندسی عمران - آب می‌باشد. مهندس طراح یا مدیر پروژه برآورد PMF باید سوابق کافی در مطالعات هیدرولوژی آب‌های سطحی داشته باشد و با مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به طور عملی کار کرده باشد. با این حال چنانچه چند طراح با صلاحیت، به صورت منفرد مطالب این دستورالعمل را به کار گیرند، اخذ نتایج تا حدودی متفاوت دور از انتظار نیست.

با وجود بیان مطالبی در زمینه مفاهیم اولیه و کاربرد حداکثر سیل محتمل در «مقدمه» و فصل اول، این دستورالعمل انتخاب سیل طراحی را مورد بحث قرار نمی‌دهد و فرض می‌شود که معیار PMF برای سد مورد نظر انتخاب شده و در اینجا هدف برآورد آن می‌باشد. انتخاب سیل طراحی در سایر استانداردها مورد بحث قرار گرفته است.

لازم به ذکر است مطالب ارائه شده در این دستورالعمل جهت استفاده در مطالعات فاز یک و تکمیلی (فاز دو) طراحی سازه‌ها ارائه گردیده است. چنانچه در نظر باشد در مطالعات مرحله شناخت یک تخمین سریع و تقریبی از حداکثر سیلاب محتمل به عمل آید، می‌توان از اعمال ضریبی در نتایج تحلیل فراوانی سیلاب منطقه‌ای استفاده نمود. با اینکه نمی‌توان دوره بازگشت مشخصی را به حداکثر سیلاب محتمل منتسب کرد، با این حال حداقل دو برابر سیلاب ده‌هزار ساله را می‌توان به عنوان تخمین تقریبی حداکثر سیلاب محتمل در فاز شناخت منظور داشت. البته ضرورت دارد که این برآورد در فاز بعدی طراحی بر اساس روش‌های این دستورالعمل تدقیق گردد.

مسائل و مشکلات برآورد حداکثر سیلاب محتمل از قبیل کمبود و نقص آمار و اطلاعات مورد نیاز، واسنجی مدل بارش - رواناب و مانند آنها در ادامه فصول این دستورالعمل با توضیحات کافی مورد توجه قرار گرفته است.

یادآور می‌شود که روش‌های توصیه شده در این متن باید به عنوان دستورالعمل‌های مهندسی تلقی شوند و ویژگی‌های «استاندارد» را ندارند.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مسایل کلیدی و نکات مهم در برآورد حداکثر سیل محتمل

PMF یک احتمال وقوع مشخص ندارد، هر چند برخی مانند ICOLD دوره بازگشت یک در یک میلیون سال و یک در ده میلیون سال را برای آن قایل هستند. اگر کلیه فاکتورهای دخیل به طور مجزا پیشینه شود، مقادیر PMF اغلب به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از مقداری که در حالت معمول محاسبه می‌شود، به دست می‌آید. در شرایطی که PMF براساس PMP برآورد شود، تعیین شرایط پیشین بارندگی، جریان، رطوبت خاک و مانند آن باید توسط مهندس هیدرولوژیست به طور منطقی قبل از آغاز PMP تعیین شوند. واضح است که اگر PMP که خود احتمال وقوع فوق‌العاده اندکی دارد، با شرایط پیشین مبتنی بر نفوذ صفر که آن نیز احتمال وقوع خیلی کمی دارد ترکیب شود، برآورد PMF حاصل به طور غیرمعقولی می‌تواند بالا باشد.

برخی از سوالات اساسی در برآورد PMF را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی نمود.

- علل و زمان وقوع:

آیا ایجاد PMF حاصل از باران تنها است یا ذوب برف یا هر دو؟

آیا در مناطق کوهستانی تمام PMP به بارش موثر تبدیل می‌شود یا بخشی از آن به صورت بارش برف است؟

در طی چه فصول یا ماه‌هایی PMF می‌تواند رخ دهد؟

- شرایط پیشین:

شرایط قابل قبول برای باران، جریان و رطوبت خاک قبل از PMP و یا ذوب برف بحرانی چیست؟

میزان ذخیره برفی حوضه در زمان وقوع PMP حداکثر چقدر می‌تواند باشد؟

آیا سطوح قابل توجهی از حوضه وجود دارد که در رواناب مستقیم شرکت نکند؟

آیا تغییرات مکانی نفوذ در سطح حوضه وجود دارد؟

- مدل‌سازی هیدرولوژیکی:

کدام بسته‌های نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی مناسب هستند؟

چگونه حوضه باید به واحدهای کوچک تفکیک شود؟

آیا الگوریتم مدل انتخاب شده از پارامترهای فیزیکی استفاده می‌کند به نحوی که تعیین مقادیر آن‌ها به واسنجی نیاز

نداشته باشد؟

کدام واقعه تاریخی برای واسنجی و یا اعتباریابی مناسب است؟

آیا برون‌یابی کردن یک مدل واسنجی شده به شرایط حدی فرضی، خصوصاً اگر دامنه وقایع واسنجی به مراتب

کوچک‌تر از شرایط واقعه حدی باشد، قابل قبول است؟

- روندیابی:

آیا اثرات روندیابی (مانند خاکریزهای کنار رودخانه و ذخیره آب در پشت آن‌ها) وجود دارد که فقط در طی سیل‌های حدی عمل می‌کنند؟

آیا امکان تغییر شکل مسیر رودخانه در طی سیل‌های حدی به یک مخزن طولانی کم‌عمق با اثرات روندیابی بالا وجود دارد؟

آیا می‌توان روش روندیابی دینامیکی، اگر مهم است، را با اطمینان‌پذیری بالا به کار برد؟

سوالاتی از این دست نشان می‌دهد که تجربه و قضاوت، از جمله ابزار مهم در تعیین PMF هستند. نکته مهمی که در این دستورالعمل نیز باید به آن توجه نمود این است که تخمین‌های PMF به دست آمده توسط هیدرولوژیست‌های مختلف، حتی در صورت استفاده از داده‌های یکسان، ممکن است بعضی اوقات به اندازه $\pm 15\%$ درصد یا حتی بیشتر با یکدیگر اختلاف داشته باشد (Guidelines on extreme flood analysis, 2004). همچنین وقوع سیل‌های جدید نیز می‌تواند اعداد متفاوتی را نسبت به قبل نتیجه دهد یا مقادیر نهایی PMP و PMF را تحت تاثیر قرار دهد.

چون مقدار بارندگی در طول PMP معمولاً به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از مقدار بارندگی در طوفان‌های عمده رخ داده در منطقه می‌باشد و چون شرایط رطوبتی پیشین اغلب مرطوب فرض می‌شود، ضریب رواناب PMF (جدای از سهم ذوب برف) غالباً تا حدود ۷۰ درصد یا حتی بیشتر است. در مقابل، ضریب رواناب در وقایع حداکثر سالانه یا سیل‌های تاریخی معمول، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ممکن است فقط ۲۰ درصد یا حتی کم‌تر باشد. بنابراین انتظار می‌رود برخی برآوردهای PMF به طور ناباورانه‌ای بزرگ‌تر از وقایع تاریخی باشند. این مساله ضرورتاً به معنای این نیست که این مقادیر به عنوان پارامترهای ورودی در طراحی سدهای جدید و یا ارزیابی عملکرد سدهای موجود غیر قابل قبول هستند.

۱-۲- کلیات روش‌شناسی

مراحل و روش‌های برآورد PMF را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود. (در فصول بعد جزئیات مراحل به‌طور کامل بیان می‌گردد).

۱- شناسایی و تهیه داده‌های اولیه

۲- بررسی وضعیت و کنترل کیفیت داده‌ها

۳- شناسایی طوفان‌های شدید و فراگیر و سیلاب‌های متناظر

۴- مطالعات فیزیوگرافی و تهیه ورودی‌های مکانی مدل شبیه‌سازی بارش - رواناب

۵- شناسایی و انتخاب یک مدل مناسب بارش - رواناب

مدل مذکور باید ویژگی‌ها و قابلیت‌های شبیه‌سازی فرآیندهای متعددی را به شرح زیر داشته باشد:

- فرآیند تلفات اولیه و نفوذ ناشی از بارندگی

مهم‌ترین مدل‌های نفوذ در این رابطه شامل گرین - امپت، عدد منحنی (CN) و تلفات اولیه - نفوذ یکنواخت است.

- فرآیند ذوب برف

شبیه‌سازی فرآیند بارش و ذوب برف همزمان با وقوع بارش در بسیاری از حوضه‌های کوهستانی ایران اهمیت دارد. مدل‌های مطرح ذوب برف شامل درجه - روز و بیلان انرژی است که عموماً به علت وضعیت و محدودیت خاص داده‌های در دسترس، مدل درجه - روز به کار گرفته می‌شود.

- امکان شبیه‌سازی حوضه به روش نیمه توزیعی

مدل مورد نظر باید بتواند حوضه‌ای که به اجزا زیرحوضه‌ای تقسیم می‌شود را شبیه‌سازی نماید. بنابراین مدل‌های کاملاً یکپارچه (Lumped) با توجه به وسعت و تغییرات مکانی عوامل هیدرولوژیکی در سطح حوضه سدهای بزرگ برای این منظور مناسب نیست.

- تبدیل بارش - رواناب در سطح زیرحوضه

روش‌های متعددی برای تبدیل بارش - رواناب وجود دارد. عام‌ترین روشی که در تبدیل PMP به PMF استفاده می‌شود، هیدروگراف‌های واحد مصنوعی است. هیدروگراف کلارک در میان هیدروگراف‌های واحد کاربرد وسیع‌تری دارد. روش‌های جدید توسعه یافته مبتنی بر GIS برای استخراج منحنی‌های زمان - مساحت در روش کلارک اصلاح شده باعث سهولت کاربرد و محبوبیت هرچه بیشتر روش کلارک شده است. فرض صادق بودن مکانیزم رواناب نوع هورتونی در کلیه روش‌های هیدروگراف واحد پنهان است.

- روندیابی سیلاب در رودخانه

روندیابی سیلاب برای شبیه‌سازی حرکت موج سیلاب در شبکه رودخانه‌ها از محل خروجی زیرحوضه‌ها تا خروجی کل حوضه به کار گرفته می‌شود. معادلات حاکم عموماً ترکیبی از معادله پیوستگی و نوعی رابطه بین جریان با ذخیره یا عمق آب می‌باشد. از جمله روش‌های مرسوم در مطالعات PMF، روش روندیابی ماسکینگام است که با توجه به تعداد نسبتاً کم پارامتر و عدم نیاز مستقیم به برداشت مقاطع عرضی رودخانه (هر چند وجود مقاطع به برآورد پارامترها کمک می‌کند) محبوبیت بیشتری دارد. روش ماسکینگام - کانج و روش موج سینماتیک روش‌های دقیقتری هستند که نیاز صریح به مقاطع عرضی رودخانه و برآورد ضریب زبری دارند.

- روندیابی در مخزن

این قابلیت نیز به منظور روندیابی هیدروگراف سیلاب در سدهای بالادست و نیز در سد اصلی باید در مدل انتخابی وجود داشته باشد. برخی روش‌های روندیابی مخزن با روش‌های روندیابی سیلاب از نظر معادلات حاکم شباهت دارند.

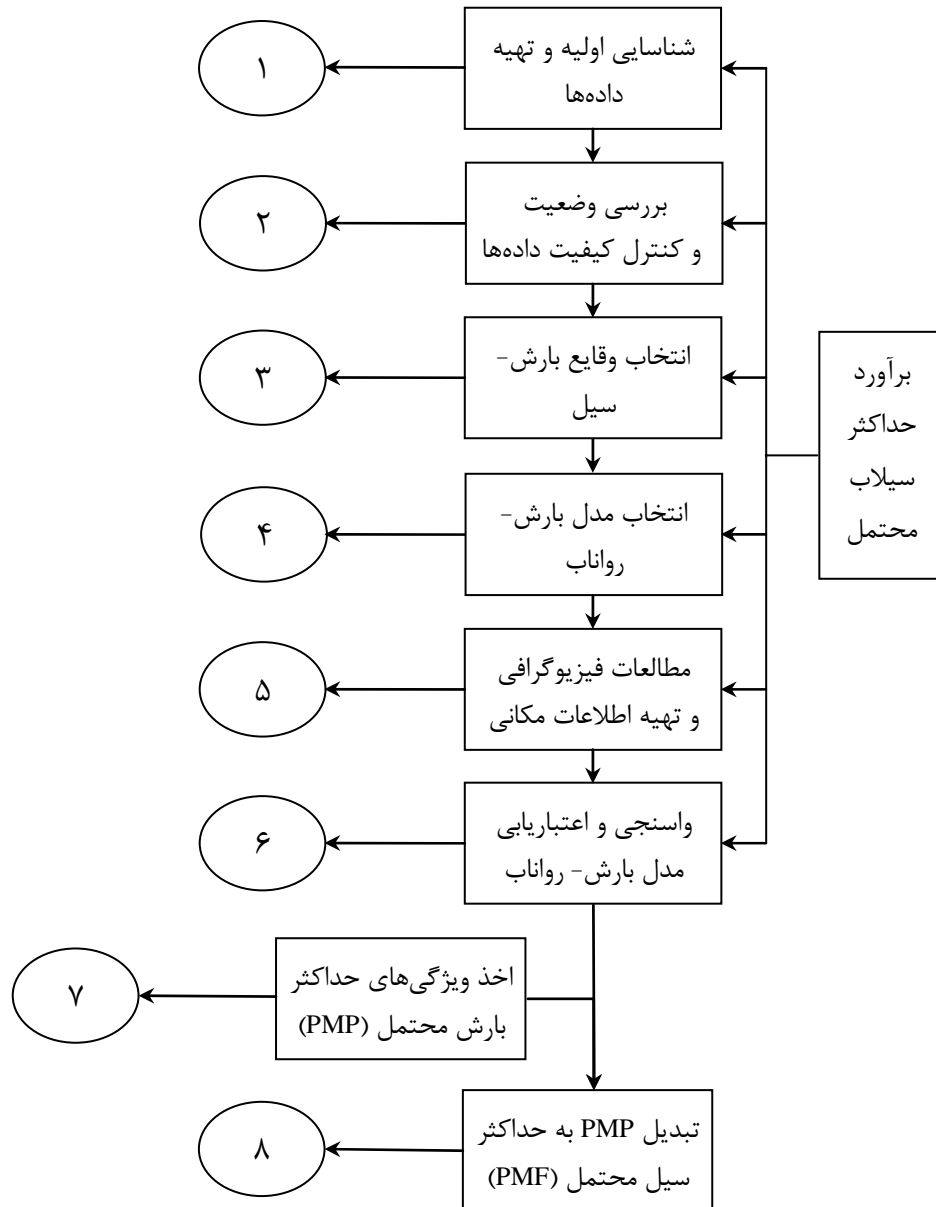
مدل‌های پایه فیزیکی به علت نیاز بسیار گسترده به داده‌ها در مطالعات PMF کاربرد عملی ندارد. با عنایت به کاربرد وسیع مدل HEC-1 و نسخه جدید آن HEC-HMS در مطالعات سیلاب و به‌ویژه PMF، این مدل که از انتخاب‌های مختلف برای فرآیندهای هیدرولوژیکی برخوردار است، در اولویت انتخاب خواهد بود.

۶- واسنجی و اعتباریابی مدل انتخابی بارش - رواناب

مراحل جزئی واسنجی و اعتباریابی عبارتند از:

- شناسایی و انتخاب تعدادی (حداقل سه) طوفان‌های بحرانی
 - اخذ داده‌های (چند) ساعتی و روزانه بارش و دما در محل ایستگاه‌های هواشناسی داخل و اطراف حوضه مورد نظر
 - اخذ داده‌های هیدروگراف سیلاب‌های متناظر با طوفان‌های اصلی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه
 - انتخاب نهایی طوفان‌های مورد نیاز برای واسنجی با توجه به در دسترس بودن و کامل بودن داده‌ها و تقسیم آن‌ها به دو دسته برای واسنجی و اعتباریابی
 - استخراج توزیع مکانی و زمانی بارش و دما در سطح حوضه به اضافه شرایط اولیه بودجه برفی حوضه
 - تقسیم حوضه به تعدادی زیرحوضه با توجه به تغییرات مکانی عوامل حوضه‌ای، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در داخل حوضه، موقعیت نقاط مهم پیش‌بینی هیدروگراف و شبکه رودخانه‌ها
 - استخراج خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها در محیط GIS شامل موارد لازم برای شبیه‌سازی مدل بارش - رواناب و ورود اطلاعات و آماده‌سازی مدل
 - انتخاب روش‌های شبیه‌سازی نفوذ، تبدیل بارش - رواناب در زیرحوضه‌ها و روندیابی در شبکه رودخانه‌ها. پس از آن تعداد و نوع پارامترهای مورد واسنجی تعیین می‌شود. در این رابطه باید سعی شود برخی پارامترهای متناظر با عوامل فیزیکی حوضه از طریق مستقیم و بدون نیاز به واسنجی برآورد گردند.
 - بررسی امکان برآورد اولیه مقادیر پارامترهای واسنجی (در سطح زیرحوضه‌ها و شبکه رودخانه‌ها)
 - انجام مرحله واسنجی با کمک روش‌های سعی و خطا (دستی) یا اتوماتیک به ازای طوفان‌های واسنجی
 - برآورد نهایی پارامترهای واسنجی با توجه به نتایج واسنجی در طوفان‌های مختلف
 - اعتباریابی مدل واسنجی شده در برابر وقایع (طوفان‌های) مرحله اعتباریابی
 - چگونگی انتقال نتایج از حوضه بسته شده در محل ایستگاه هیدرومتری به محل سد
- ۷- شبیه‌سازی و تبدیل PMP به PMF
- آماده‌سازی مدل واسنجی برای شبیه‌سازی PMF
 - شناسایی و معرفی ویژگی‌های PMP شامل مقدار و ویژگی‌های زمانی - مکانی آن (در قالب حداکثر رگبار محتمل یا PMS) با تداوم‌های مختلف به منظور شبیه‌سازی و تبدیل به PMF
 - تعیین دبی پایه (متناسب با فصل یا ماه)
 - تعیین شرایط بحرانی بودجه برفی

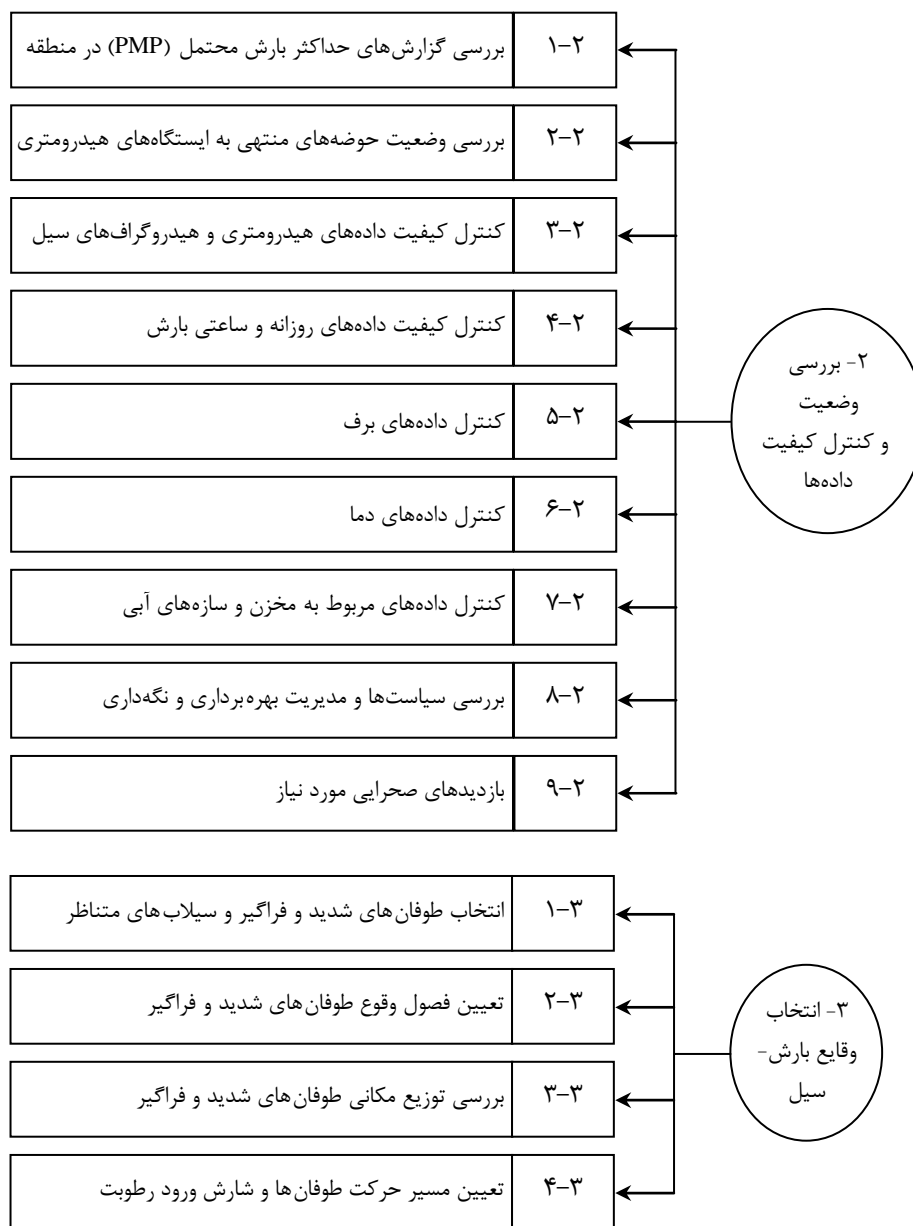
- استخراج توالی بحرانی دما براساس آنالیز فراوانی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی حوضه و انتقال آن به طبقات ارتفاعی زیرحوضه‌ها
 - انتقال مقادیر PMP و خصوصیات زمانی و مکانی آن بر مدل
 - بررسی کاهش یا تعدیل مقادیر واسنجی شده زمان اوج هیدروگراف واحد و زمان حرکت موج در رودخانه‌ها در زمان وقوع PMF بر مبنای توصیه منابع موجود
 - تعیین شرایط بحرانی و محتمل نفوذ حوضه
 - شبیه‌سازی تبدیل PMP به PMF با کمک مدل بارش - رواناب
 - آنالیز حساسیت نتایج به ویژه در اثر توزیع مکانی بارش، توزیع زمانی بارش، توالی ضرایب ذوب برف و درجه حرارت بحرانی و سایر عوامل
 - روندیابی هیدروگراف PMF در مخزن سد مورد نظر
- شکل (۱-۱) فلوچارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل از حداکثر بارش محتمل را با جزییات مراحل نشان می‌دهد. در بخش‌های بعدی هر یک از مراحل کار به تفصیل تشریح خواهد شد.



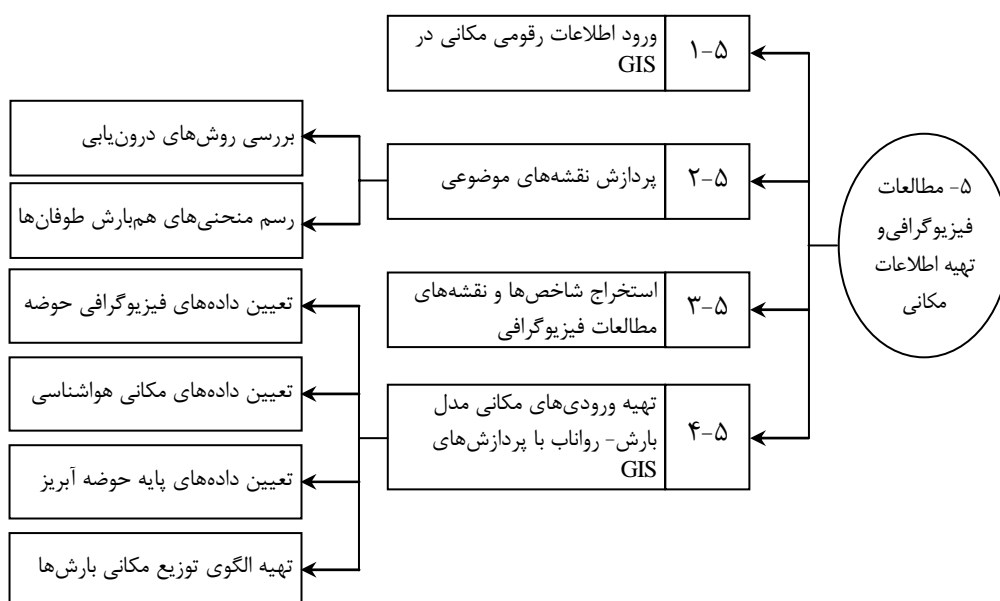
شکل ۱-۱- فلوچارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل



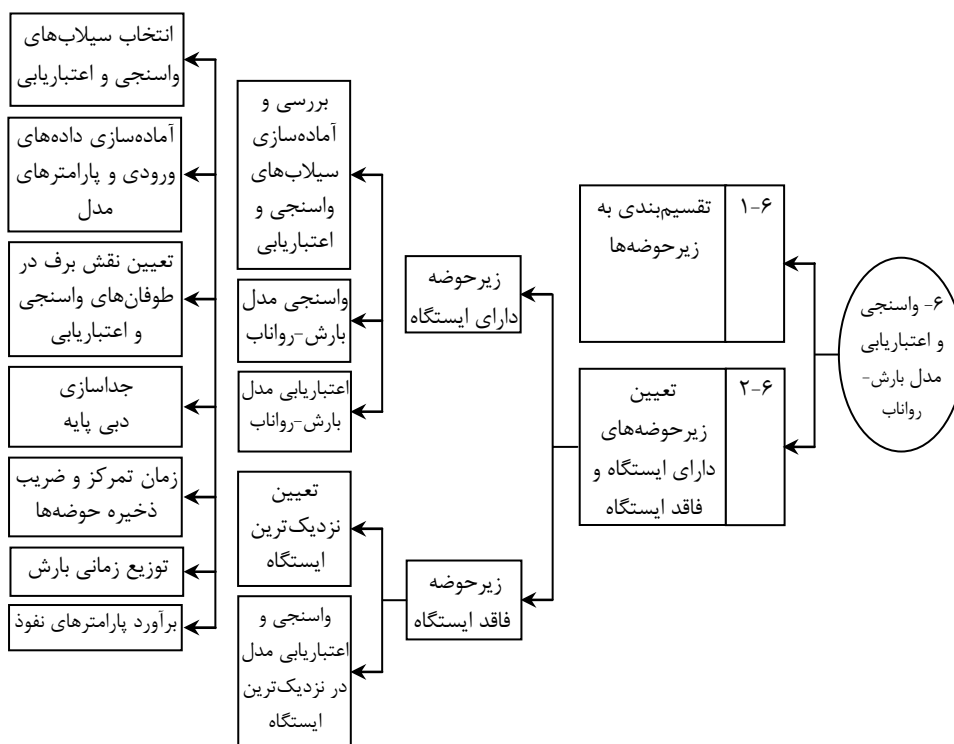
ادامه شکل ۱-۱- فلوجارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل



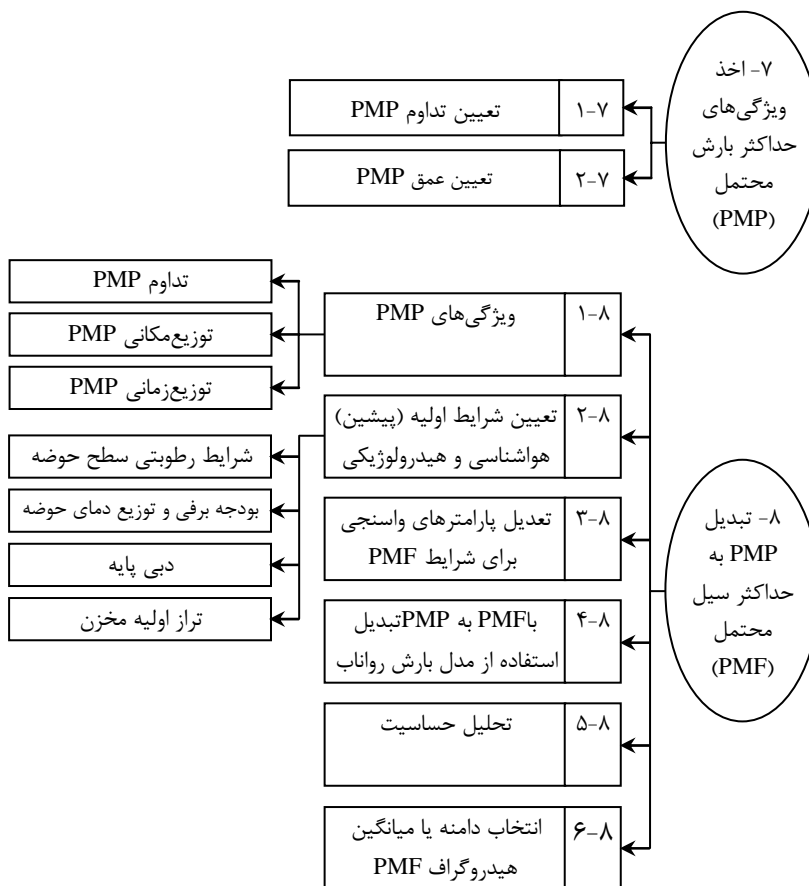
ادامه شکل ۱-۱- فلوچارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل



ادامه شکل ۱-۱- فلوجارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل



ادامه شکل ۱-۱- فلوچارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل



ادامه شکل ۱-۱- فلوچارت مراحل برآورد حداکثر سیلاب محتمل

فصل ۲

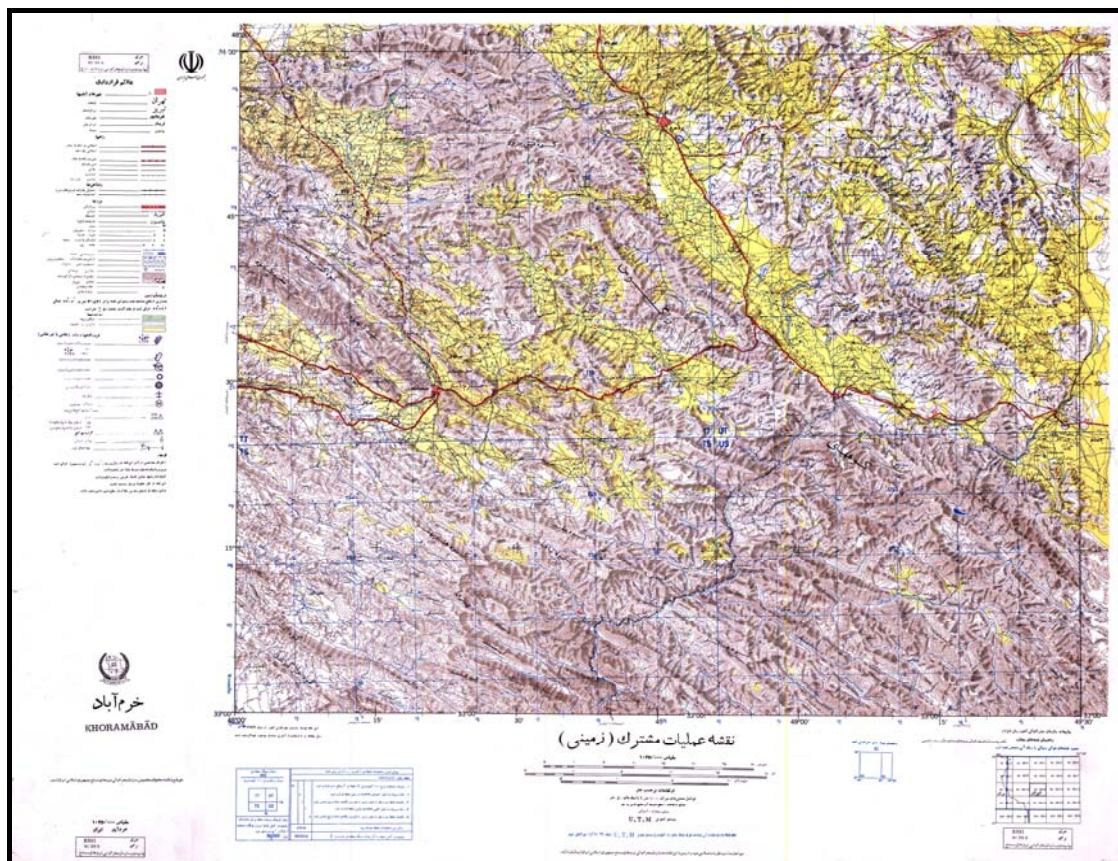
مقدمات تهیه داده‌های مورد نیاز

۱-۲- شناسایی و به‌دست آوردن داده‌های اولیه

قبل از برنامه‌ریزی و انجام بازدیدهای صحرائی باید با بررسی مجموعه‌ای از اطلاعات اولیه و نقشه‌های عمومی از منطقه با محدوده مطالعاتی آشنایی پیدا کرد. شناسایی داده‌های مورد نیاز و یا داده‌های که باید از بازدیدهای مقدماتی به‌دست آید، کار جمع‌آوری اطلاعات را در مراحل بعدی آسان‌تر می‌سازد. هرچه داده‌های بیشتری در دسترس قرار گیرد، اعتماد بیشتری به محاسبات و تحلیل‌های نهایی برای برآورد حداکثر سیل محتمل وجود خواهد داشت. نمودار مراحل تهیه آمار و اطلاعات و بررسی‌های اولیه آن‌ها در شکل (۱-۱) آمده است. این مراحل شامل موارد زیر می‌باشد.

۱-۱-۲- نقشه‌های توپوگرافی و یا محلی

نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ از منطقه و در موارد خاص نقشه‌های با مقیاس بزرگ‌تر، مانند ۱:۲۵۰۰۰، باید جمع‌آوری شود. این نقشه‌ها باید موقعیت پروژه، جاده‌های دسترسی، جانمایی سد و محدوده حوضه را نشان دهند. نقشه‌های توپوگرافی ویژه از قبیل نقشه‌هایی که در طی طراحی سدها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اغلب از سازمان‌های ذیربط و یا از شرکت‌های مهندسی مشاور قابل دسترس هستند. شکل (۱-۲) برای نمونه نقشه بخشی از حوضه آبریز رودخانه بختیاری را نشان می‌دهد که با استفاده از کلیه نقشه‌های هم‌جوار آن می‌توان حوضه رودخانه بختیاری را تا محل مورد نظر برای پروژه مشخص (مثلاً محل ساختگاه سد بختیاری) مرزبندی نمود.



شکل ۱-۲- نقشه توپوگرافی بخشی از حوضه آبریز رودخانه دز

۲-۱-۲- عکس‌های هوایی حوضه آبریز

عکس‌های هوایی با مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ از منطقه و محدوده طرح و در صورت امکان با فواصل مناسب زمانی برای بررسی تغییرات به وجود آمده در اثر اجرای پروژه‌های مختلف در منطقه بسیار مفید می‌باشد. این عکس‌ها اغلب در اختیار سازمان جغرافیایی ارتش و سازمان نقشه‌برداری کشور است و در بسیاری از موارد ممکن است، بتوان آن‌ها را از شرکت‌های مهندسی مشاور، که در منطقه برای مطالعات طرح‌های مختلف از جمله توسعه منابع آب و سدسازی، آبخیزداری و توسعه کشاورزی فعالیت داشته‌اند، دریافت نمود. شکل (۲-۲) برای نمونه عکس هوایی ۱:۲۰۰۰۰ بخشی از حوضه آبریز رودخانه دز را نشان می‌دهد. با استفاده از این گونه عکس‌ها می‌توان خط‌الراس‌ها را مشخص و مرز حوضه‌ها را با دقت بالایی تفکیک کرد.



شکل ۲-۲- یک نمونه عکس هوایی ۱:۲۰۰۰۰ بخشی از حوضه آبریز

۲-۱-۳- اطلاعات زمین‌شناسی و خاک‌شناسی

اطلاعات و نقشه‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه آبریز برای تخمین مقادیر نفوذ به کار می‌روند. اطلاعات و نقشه‌های زمین‌شناسی در اختیار سازمان زمین‌شناسی و نقشه‌های خاک‌شناسی را معمولاً موسسه تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی و یا شرکت‌های مهندسی مشاور تهیه می‌کنند. این نقشه‌ها را ممکن است شرکت‌های آب منطقه‌ای و یا مدیریت‌های کشاورزی در اختیار داشته باشند.

۲-۱-۴- موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان و داده‌های دبی

ایستگاه‌های هیدرومتری توسط دفتر مطالعات پایه منابع آب که از زیر مجموعه‌های شرکت مدیریت منابع ایران است، تاسیس و مدیریت می‌شوند. با مراجعه به این دفتر می‌توان موقعیت ایستگاه‌ها و مقادیر دبی با فواصل زمانی کوتاه‌مدت را اخذ و به دقت کنترل نمود. ایستگاه‌های هیدرومتری باید از نظر موقعیت و دوره ثبت داده‌ها و اطلاعات بررسی شوند. این داده‌ها برای رسم هیدروگراف سیل پیوسته و استخراج دبی‌های حداکثر به وقوع پیوسته لازم است. جدول (۱-۲) مشخصات ایستگاه‌های موجود و تجهیزات آن را در یک حوضه نمونه نشان می‌دهد. با استفاده از این اطلاعات نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه مطالعاتی تهیه می‌شود. برای هر یک از این ایستگاه‌ها نیز مطابق جدول (۲-۲) داده‌های مقادیر دبی حداکثر در طول دوره آماری موجود توسط دفتر مطالعات پایه منابع آب ارائه می‌شود. اطلاعات این جدول نیز در تجزیه و تحلیل‌های بعدی استفاده می‌شود.

۲-۱-۵- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های اقلیمی

موقعیت و داده‌های اقلیمی ایستگاه‌هایی که داخل یا نزدیک حوضه مورد مطالعه قرار دارند باید جمع‌آوری و کنترل شوند. داده‌های بارندگی (ساعتی و روزانه)، ذخیره برف و یا آب معادل برف و همچنین داده‌های اقلیمی مورد نیاز شامل، دما، سرعت باد و تابش خورشید عموماً از سازمان هواشناسی کشور و دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران و یا از شرکت‌های آب منطقه‌ای و یا از مطالعات سدهای بالادست قابل دستیابی می‌باشند. جدول (۱-۲) نمونه‌ای از مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی شامل موقعیت و نوع آن‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با استفاده از این اطلاعات نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مطالعاتی تهیه می‌شود. شکل (۲-۳) برای نمونه نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در حوضه‌های آبریز دز را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- مشخصات چند ایستگاه هیدرومتری موجود در حوضه دز و نواحی اطراف

ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	سال تاسیس	مشخصات جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت حوزه آبریز (کیلومتر مربع)	تجهیزات			درجه ایستگاه
				طول	عرض			اشل	لیمینوگراف	پل تلفریک	
۱	دز	تله‌زنگ	۱۳۳۴	۴۸-۴۶	۳۲-۴۹	۴۴۰	۱۶۲۱۳	+		+	۲
۲	بختیاری	تنگ‌پنج	۱۳۳۴	۴۸-۴۶	۳۲-۵۶	۵۲۳	۶۵۰۷	+		+	۲
۳	سزار	تنگ‌پنج	۱۳۵۶	۴۸-۴۵	۳۲-۵۶	۶۰۰	۹۴۱۰	+		+	۲
۴	سزار	سپیددشت	۱۳۳۴	۴۸-۵۳-۲۰	۳۳-۱۲-۴۹	۹۷۰	۷۱۷۴	+	+	+	۱

ادامه جدول ۱-۲-۱- مشخصات چند ایستگاه هیدرومتری موجود در حوضه دز و نواحی اطراف

ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	سال تاسیس	مشخصات جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت حوزه آبریز (کیلومتر مربع)	تجهیزات			درجه ایستگاه
				طول	عرض			اشل	لیمینوگراف	پل تلفریک	
۵	زاز	سپیددشت	۱۳۳۴	۴۸-۵۳-۳۵	۳۳-۱۲-۴۷	۹۷۰	۶۸۰	+	+	+	۱
۶	وهرگان	زرد فهره	۱۳۶۱	۴۹-۴۸	۳۳-۰۰	۲۰۰۰	۷۴۴	+	+	+	۱
۷	قلیان	قلیان	۱۳۶۰	۴۹-۳۴	۳۳-۰۴	۱۸۷۳	۴۱۴	+	+	+	۱
۸	کاکلستان	کاظم‌آباد	۱۳۶۰	۴۹-۴۱	۳۳-۰۸	۱۹۲۰	۴۳۸	+		+	۲

جدول ۲-۲-۲- مشخصات چند ایستگاه هواشناسی موجود در حوضه آبریز رودخانه دز و نواحی اطراف

ردیف	نوع ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)
۱	الیگودرز	سینوپتیک	۳۳-۲۴	۴۹-۴۱	۱۹۷۲
۲	سد کوه‌رنگ	سینوپتیک	۳۲-۲۸	۵۰-۰۲	۲۲۸۵
۳	شهرکرد	سینوپتیک	۳۲-۱۹	۵۱-۵۰	۲۰۵۱
۴	دزفول	سینوپتیک	۳۲-۲۴	۴۸-۲۳	۱۴۳
۵	خرم‌آباد	سینوپتیک	۳۳-۳۰	۴۸-۱۸	۱۱۳۴
۶	فریدون‌شهر	کلیماتولوژی	۳۲-۵۶	۴۹-۱۰	۲۴۹۰
۷	ناصرالدین	کلیماتولوژی	۳۲-۲۰	۴۹-۰۷	۱۱۸۲
۸	تله‌زنگ	تبخیرسنجی	۳۲-۴۹	۴۷-۴۶	۴۴۰
۹	تنگ‌پنج	تبخیرسنجی	۳۲-۵۶	۴۸-۴۶	۶۰۰
۱۰	سد دز	تبخیرسنجی	۳۳-۳۲	۵۰-۱۰	۲۲۰۰

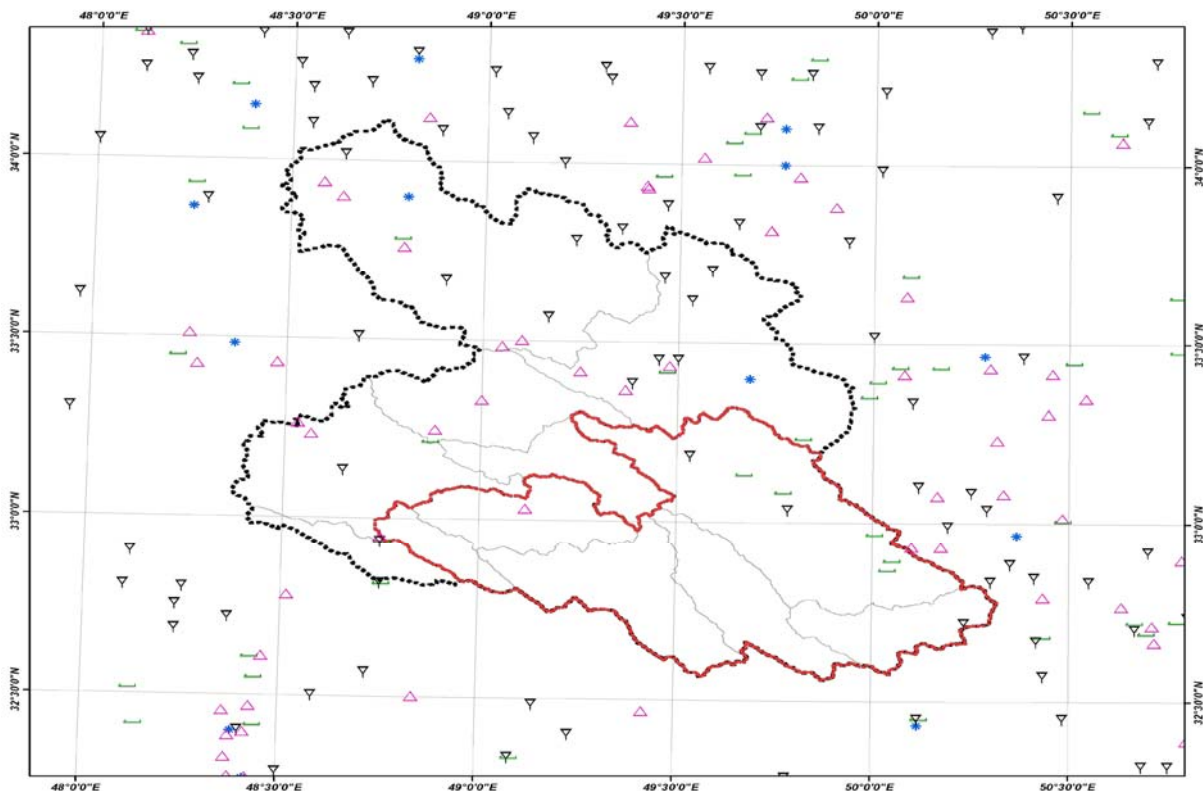
جدول ۲-۲-۳- مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهده‌ای چند ایستگاه هیدرومتری در حوضه دز در دوره آماری

(دبی بر حسب مترمکعب در ثانیه)

سال آبی	کد ایستگاه‌های هیدرومتری											
۱۳۴۸-۴۹		۶۵				۹۲		۱۱۱/۵	۱۵	۷۹/۱	۱۹۲	۸۹
۱۳۴۹-۵۰		۳۰/۷				۳۳۶		۱۱۳/۵	۷۱/۴	۲۸۰	۱۶۰	۸۹/۴
۱۳۵۰-۵۱		۶۶/۵				۱۳۵		۶۸/۲۲	۱۶/۹	۶۸	۹۹/۴	۲۳۱/۵
۱۳۵۱-۵۲		۶۶/۲				۱۵۵	۱۱/۲	۵۹/۶		۸۳/۵		۱۴۹/۳
۱۳۵۲-۵۳		۱۸۸				۷۰	۱۲۹	۱۸۹		۵۰/۷	۲۰۲۵	۵۷۳
۱۳۵۳-۵۴	۱۶۸	۸۹/۷	۴۳/۲		۴/۶۷	۶۷/۷	۳۴/۲	۲۶/۱۲	۶/۶۸	۱۶۴	۱۳۷	۵۳/۴۱
۱۳۵۴-۵۵	۳۰۲	۷۴	۲۷	۳۱۰		۹۸/۹۱	۸۸/۳	۱۸۱/۵	۲۲/۱		۵۰۰	۲۱۱/۶
۱۳۵۵-۵۶	۹۶/۴	۴۰/۱	۳۵/۱	۱۲۸	۳/۶۹	۵۶/۳۸	۱۹	۲۷/۱۶	۶/۴۵		۵۰/۲	۱۳۴/۶
۱۳۵۶-۵۷	۸۴/۴	۱۰۸	۳۱/۳	۲۲۳	۴/۷۲	۱۰۰/۵۲	۳۴/۳	۴۰/۲۲	۹/۵۸		۱۱۹	۷۰/۴۶
۱۳۵۷-۵۸	۵۶/۱	۲۷/۷	۱۱/۳	۱۳۸	۱/۷	۶۵/۶۴	۱۳/۸		۳/۶۲		۶۰/۱	۱۱۰/۸
۱۳۵۸-۵۹	۱۸۲	۲۰۳	۸۴/۸	۵۰۲								
۱۳۵۹-۶۰	۹۴/۹	۵۱/۲	۶۲/۴	۱۸۲			۲۵					
۱۳۶۰-۶۱	۱۶۷	۱۱۱	۲۵	۳۷۰		۷۲/۴۴	۲۹/۶			۱۹۰	۱۸۹	
۱۳۶۱-۶۲	۱۷۵	۶۰	۱۰۱	۳۷۴	۷/۱۶	۱۰۴/۹۳	۲۱/۵	۵۸/۴۶	۸/۷۶	۱۱۳	۱۳۷	
۱۳۶۲-۶۳	۷۰/۵	۸۴/۷	۳۲/۱	۴۰۸	۱۱/۵		۱۳/۴				۹۰/۵	
۱۳۶۳-۶۴	۲۳۱	۵۷/۳	۷۳		۱۵/۲		۳۶/۸		۲۹	۲۸۰	۳۰۵	۱۲۷/۳
۱۳۶۳-۶۴	۲۳۱	۵۷/۳	۷۳		۱۵/۲		۳۶/۸		۲۹	۲۸۰	۳۰۵	۹۰/۳۲

ادامه جدول ۲-۳- مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهده‌ای چند ایستگاه هیدرومتری در حوضه دز در دوره آماری (دبی بر حسب مترمکعب در ثانیه)

سال آبی	کد ایستگاه‌های هیدرومتری											
۱۳۶۵-۶۶	۸۰/۴	۱۰۷	۱۳/۵	۱۹۳	۱۲/۲		۲۰/۸	۳۸/۳۱		۹۱/۱	۱۵۴	۹۲/۴۴
۱۳۶۶-۶۷	۲۶۱		۱۱۴	۷۲۷	۱۴/۳		۴۰/۲	۱۷۷/۳	۱۹/۴	۷۳۷	۳۸۱	۲۷۴/۳
۱۳۶۷-۶۸	۱۰۷	۸۵	۲۲	۲۸۱	۷/۴۲	۱۱۱/۴	۱۹/۷	۱۷/۹۴	۸/۳۵	۶۸	۸۶/۱	۵۲/۳۵
۱۳۶۸-۶۹	۹۰	۴۲	۱۰/۸	۱۸۷	۸/۲۹	۷۹/۸۵	۱۷/۲	۴۱/۷۶	۲/۸۶	۱۴۴	۱۰۶	۹۷/۵۲
۱۳۶۹-۷۰	۲۲۲	۳۹/۹	۳۶	۲۷۱	۱۰/۲	۵۰/۱۵	۲۹/۵	۵۶/۳۸	۵/۹۷	۱۵۴	۱۳۲	۹۶/۱۴
۱۳۷۰-۷۱	۲۵۶	۱۹۸	۳۸/۳	۵۴۵	۲۹/۲	۱۷۱/۵۴		۱۰۲/۳		۱۸۴	۲۰۹	۱۱۵/۱
۱۳۷۱-۷۲	۱۷۵	۳۱/۹	۳۵/۶	۲۳۶	۶/۳۵	۴۵/۲۷	۱۵/۱	۳۷/۱۱	۸/۵۶	۲۱۲	۶۴/۵	۱۶۲/۷
۱۳۷۲-۷۳	۲۰۷	۵۳/۴	۵۶	۲۳۰	۱۰/۴		۲۹/۵	۶۳/۵۶	۲۲/۷	۲۵۹	۱۰۴	۸۵/۲۹
۱۳۷۳-۷۴	۳۰۳	۲۹۹	۱۲۹	۷۴۶	۱۷	۱۵۴/۱۵	۳۹/۳	۵۲/۶۳	۹/۶۴	۲۹۳	۱۲۹	۷۳/۳۷
۱۳۷۴-۷۵	۵۷۰	۲۵۵	۲۱۲	۹۵۰	۳۳/۵	۱۳۸/۰۸	۹۵/۴	۱۷۴/۲	۱۴/۵	۵۳۷	۱۶۷	۷۴/۴۲
۱۳۷۵-۷۶		۹۶	۴۶/۷	۲۴۸	۱۲/۵	۹۰/۰۴	۲۸/۲	۶۶/۷۹	۳/۸۳	۲۰۴	۱۸۱	۵۵/۵۹
۱۳۷۶-۷۷		۲۲۰	۵۲/۵	۷۰۲	۱۹/۷	۲۸۳/۵۱	۶۲/۵	۱۸۶	۱۷/۴			۵۶/۴
۱۳۷۷-۷۸		۱۱/۳	۱۲/۴	۶۶/۶	۰/۲۶					۶۸۹	۶۶۴	۱۵/۳۲

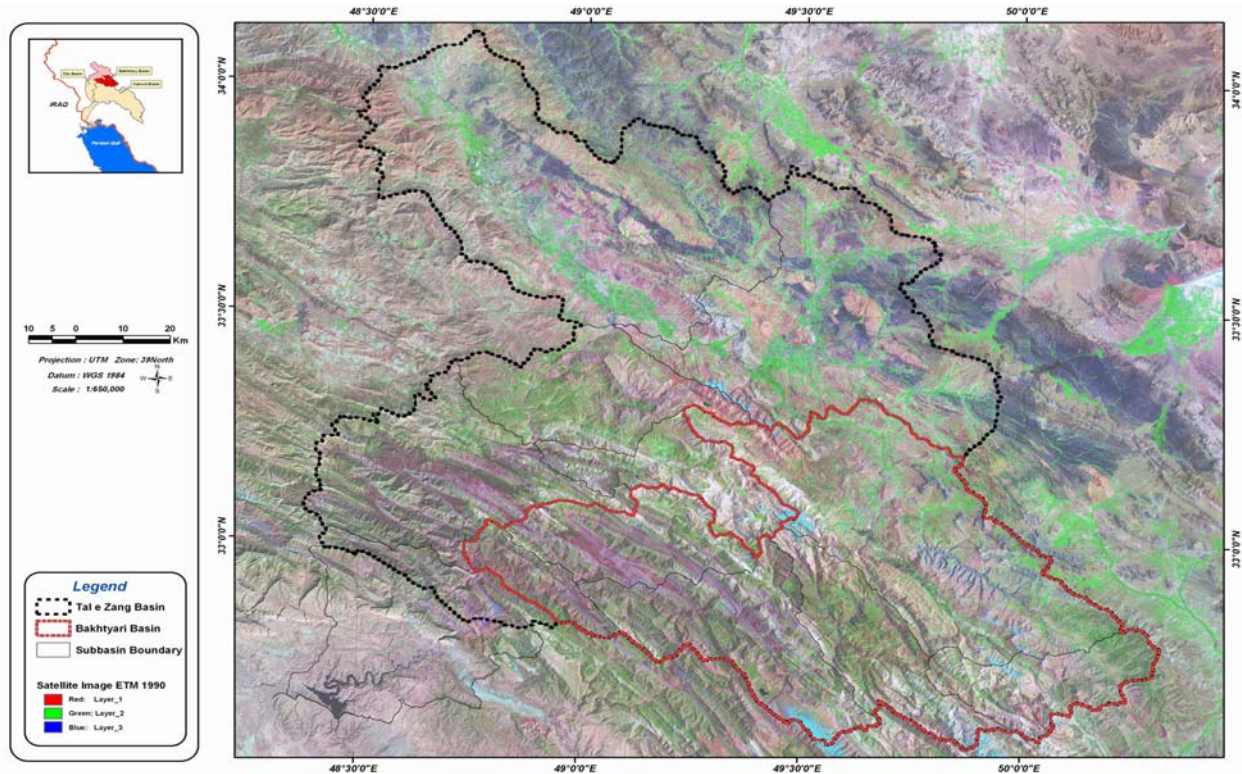


شکل ۲-۳- نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوضه آبریز رودخانه دز و نواحی اطراف

۲-۱-۶- داده‌های سنجش از دور

داده‌های سنجش از دور می‌توانند به عنوان یک منبع تکمیلی اطلاعات توپوگرافی و یا عکس‌های هوایی به منظور تهیه داده‌های ورودی برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال این داده‌ها می‌توانند برای تعیین

کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه که روی میزان نفوذ تاثیر می‌گذارد، به کار روند. داده‌های سنجش از دور را می‌توان از سازمان فضایی کشور به صورت فایل رقومی دریافت نمود. شکل (۲-۴) برای نمونه تصویر سنجش از دور منطقه‌ای را نشان می‌دهد که بخشی از حوضه آبریز رودخانه دز را در بر می‌گیرد.



شکل ۲-۴- تصویر سنجش از دور منطقه‌ای مشتمل بر بخشی از حوضه آبریز دز

۲-۱-۷- داده‌های هیدرولوژیکی طوفان‌ها و سیل‌های تاریخی

طوفان‌های تاریخی و سیل‌های حاصل از آن‌ها باید شناسایی شده و داده‌های آن‌ها جمع‌آوری گردد. این داده‌ها شامل داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی (مخصوصاً ایستگاه‌های دارای آمار کوتاه‌مدت برای استخراج توزیع زمانی بارش) در داخل و نزدیک حوضه آبریز و هیدروگراف‌های سیل‌های متناظر با آن‌ها است. جدول (۲-۴) به طور نمونه داده‌های باران‌نگاری ایستگاه هواشناسی و داده‌های هیدروگراف سیل متناظر در یک رویداد سیل را نشان می‌دهد. این داده‌ها را می‌توان افزودن بر سازمان‌های ذی‌ربط نظیر سازمان هواشناسی، دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت‌های مهندسی مشاور که قبلاً مطالعات سیل منطقه را انجام داده‌اند، دریافت کرد. روزنامه‌های محلی و دیگر منابع نوشتاری و تصویری نیز بعضی اوقات اطلاعات مفیدی در این ارتباط منتشر می‌کنند. در هر صورت این اطلاعات باید مورد بازبینی دقیق قرار گیرد و سپس به کار گرفته شوند.

جدول ۲-۴- داده‌های ایستگاه باران‌نگاری و هیدروگراف سیل متناظر در یک رویداد به طور نمونه

هیدروگراف بارش در نزدیک‌ترین ایستگاه به حوضه و متناظر با سیلاب مورد مطالعه (میلی‌متر)		هیدروگراف جریان سیلابی خروجی از حوضه (مترمکعب در ثانیه)	
تاریخ وقوع	فواصل زمانی ۱۵ دقیقه از ساعت شروع بارش در روز اول	تاریخ وقوع	فواصل زمانی ۳۰ دقیقه از ساعت شروع جریان سیلاب در روز اول
۱۳۸۰/۱۲/۱۴، ۱۵	ساعت شروع ۲۰:۰۰ - ۱۹:۴۵	۱۳۸۰/۱۲/۱۵	ساعت شروع ۰:۱۵ - ۰
۰/۵	۱	۱/۷۲	۱
۱/۴	۲	۲/۸۶	۲
۰/۷	۳	۴/۴	۳
۰/۵	۴	۶/۵۸	۴
۰/۵	۵	۲۷/۳	۵
۰/۵	۶	۱۸/۵	۶
۰/۵	۷	۱۲	۷
۰/۵	۸	۶/۲۴	۸
۰/۳	۹	۲/۸۶	۹
۰/۲	۱۰	۰/۹۲	۱۰
۰/۴	۱۱	۰/۵۵	۱۱
۰/۳	۱۲	۰/۳	۱۲
۰/۵	۱۳	۰/۱۴	۱۳
۰/۱	۱۴	۶/۴۹	متوسط دبی
۰/۱	۱۵	۲۷/۳	حداکثر دبی
۰/۷	۱۶	۴۷	بارش رامیان
۱/۳	۱۷	۲۸	بارش فاضل‌آباد

۲-۱-۸- گزارش‌های مطالعات قبلی

گزارش‌های مطالعات قبلی مهندسين مشاور که شامل اطلاعات پایه و مواردی از قبیل مطالعات هواشناسی منطقه، مطالعات هیدرولوژی منطقه، نوع و ارتفاع سد، ارتفاع و ظرفیت مخزن سد، نوع سرریز، نوع دریچه‌های خروجی سد و ظرفیت آن‌ها است، می‌تواند راهنمای خوبی در مطالعات حداکثر سیل محتمل باشد. شرکت آب و نیرو، شرکت‌های آب منطقه‌ای و یا شرکت‌های مهندسين مشاور معمولاً بهترین منبع برای این نوع اطلاعات هستند.

۲-۱-۹- مقاطع عرضی در امتداد مسیر رودخانه

در طول رودخانه‌هایی که موج هیدروگراف PMF روندیابی می‌شود، باید اطلاعات مقاطع عرضی در امتداد مسیر رودخانه و به خصوص در مناطق بحرانی برداشت گردد. این اطلاعات را می‌توان از مراکزی که مطالعات سیل و پهنه‌بندی را برای بازه مورد نظر انجام داده‌اند، مانند شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت‌های مهندسين مشاور به‌دست آورد یا بر مبنای نیازهای مطالعاتی، سفارش تهیه آن‌ها از طریق کارفرمایان ارائه گردد.

۲-۱-۱۰- اطلاعات کاربری اراضی

این قبیل اطلاعات را می‌توان از نقشه‌های توپوگرافی یا کاربری اراضی محلی به دست آورد. عکس‌های هوایی نیز برای این منظور می‌توانند بسیار مفید باشند. هزینه تحلیل تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج نقشه کاربری با توجه به ارزش آن‌ها باید مد نظر قرار گیرد. مشاهدات میدانی نیز برای اصلاح نقشه‌ها بسیار مفید است. اطلاعات در مورد کاربری اراضی در آینده نیز می‌تواند در شناخت وضعیت منطقه و توسعه سریع سطوح شهری و شرایط رواناب در آینده مفید باشد.

۲-۱-۱۱- اطلاعات سدهای بالادست

در صورتی که سد یا سدهایی در بالادست محدوده مطالعاتی وجود داشته باشد باید اطلاعات مورد نیاز از قبیل:

- نوع و ارتفاع سد، نوع خروجی‌های سد یا سرریزها، مقطع عرضی و پروفیل تاج سد
 - منحنی‌های سنجه و جداول و منحنی‌های سطح - حجم - ارتفاع مخزن
 - نحوه مدیریت و بهره‌برداری از سد
 - فرامین و دستورالعمل‌های بهره‌برداری از مخزن
 - سوابق تاریخی از وقوع سیل‌های شدید
- را از طریق بررسی مدارک موجود و بازدیدهای محلی و مصاحبه با پرسنل عامل جمع‌آوری کرد.

۲-۲- بررسی و تکمیل داده‌های مورد نیاز

۲-۲-۱- بررسی گزارش‌های حداکثر بارش محتمل (PMP) در منطقه

به منظور اخذ مقادیر میانگین حداکثر بارش محتمل در منطقه باید کلیه گزارش‌های مطالعات PMP سدهای موجود، در دست اجرا و یا مطالعه و همچنین گزارش‌های حداکثر بارش محتمل سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گیرد. از نتایج این بررسی‌ها می‌توان در انتخاب طوفان‌های شدید و فراگیر برای واسنجی مدل بارش - رواناب استفاده نمود.

معمولاً گزارش‌های هواشناسی و هیدرولوژی به تجزیه و تحلیل داده‌های ماهانه و سالانه پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی می‌پردازد. از نتایج آن‌ها می‌توان در شناخت سال‌های پرباران که احتمال وقوع بارش‌های شدید و فراگیر در آن‌ها بیش‌تر است، استفاده نمود. با توجه به تاریخ وقوع طوفان‌های شدید و فراگیر در طول دوره آماری، می‌توان دوره و یا فصل وقوع شدیدترین طوفان‌ها و همچنین فراوانی وقوع آن‌ها را تعیین کرد.

لازم به ذکر است روش محاسبه PMP، طی دستورالعمل دیگری توسط طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور در دست تهیه است و علاقه‌مندان برای اطلاع از فرآیند محاسبه PMP، می‌توانند به دستورالعمل مذکور مراجعه نمایند.

۲-۲-۲- بررسی وضعیت حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌های هیدرومتری

هرگونه تغییر مکان ایستگاه‌های هیدرومتری در طول دوره بهره‌برداری به هر دلیل باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین بررسی مجدد حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌ها در هر یک از دوره‌های آماربرداری ضرورت دارد. امروزه با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و راداری، عکس‌های هوایی جدید و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ که معمولاً برای بیش‌تر قسمت‌های کشور وجود دارد، می‌توان محدوده حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌ها را با دقت بالایی کنترل نمود و پارامترهای فیزیوگرافی آن‌ها را نظیر مساحت، محیط، ارتفاع، جهت و شیب حوضه و شیب آبراهه‌ها و ضرایب شکل حوضه را با دقت مناسب محاسبه کرد. علاوه بر بررسی‌های دفتری، انجام بازدیدهای صحرایی از محل ایستگاه‌های هیدرومتری و شرایط حوضه برای تایید صحت پارامترهای کمی برآورد شده از مطالعات قبلی ضروری است. همچنین بازدید از کاربری‌های فعلی اراضی و یا اطلاع از برنامه‌های عمرانی و توسعه مناطق شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی در سطح حوضه می‌تواند در شناخت ویژگی‌های فرآیندهای هیدرولوژیکی موثر باشد و بر دقت برآوردها بیفزاید. بازدیدهای صحرایی و کنترل ویژگی‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و نوع کاربری‌ها و به‌خصوص کنترل اطلاعات حاصله از بررسی‌های دفتری می‌تواند در برآورد مقدار نفوذپذیری حوضه، که در مدل‌های هیدرولوژیکی برای تبدیل بارش به رواناب برای تخمین PMF به کار می‌رود، مفید باشد. اطلاعات مربوط به برف پشته و ویژگی‌هایی مانند دانسیته و یا آب معادل برف و کنترل داده‌های دما در محدوده‌های برف‌گیر در حوضه‌های کوهستانی بسیار ضروری است. بررسی محل ایستگاه‌های برف‌سنجی و نوع و تجهیزات آن‌ها با توجه به شرایط حوضه می‌تواند در تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج محاسبات موثر باشد. بررسی پروژه‌های توسعه منابع آب و کشاورزی که در سطح حوضه اجرا شده و یا در حال اجرا می‌باشند و کسب اطلاعات و داده‌های مربوط به مخازن، سرریزها و حتی برنامه‌های بهره‌برداری از آن‌ها و به‌خصوص منحنی‌های فرمان می‌تواند در تحلیل و تفسیر نتایج محاسبات PMF کمک کند.

۲-۲-۳- کنترل کیفیت داده‌های هیدرومتری و هیدروگراف‌های سیل

همانگونه که اشاره شد اطمینان از داده‌های تاریخی وقوع طوفان‌ها و سیلاب‌های شدید ناشی از آن‌ها بسیار مهم می‌باشد. بررسی زمان واقعی وقوع آن‌ها اولین گام و هم‌زمانی یا عدم هم‌زمانی آن با زمان وقوع بارش‌های حداکثر، یکی از ضروریاتی است که باید با بررسی رویدادهای تاریخی و داده‌های جمع‌آوری شده در دسترس انجام گیرد. این بررسی می‌تواند وقوع حداکثر سیل‌های محتمل (PMF) ناشی از باران و یا ذوب برف را از یکدیگر تفکیک نماید. پس از جمع‌آوری داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای از ایستگاه‌های هیدرومتری باید رویدادهایی را که ناشی از عوامل غیرطبیعی نظیر شکست سدها یا سیل‌بندها و یا جریان‌ها واریزه‌ای و نظایر آن بوده و روی محاسبات اثر می‌گذارند، شناسایی کرد و احتمال وقوع آن‌ها را برآورد نمود. یکی از راه‌های بررسی درستی هیدروگراف‌های مورد استفاده در تعیین حداکثر دبی لحظه‌ای از طریق ترسیم و کنترل آن‌ها است. از آنجا که اغلب دبی از داده‌های تراز سطح آب با اعمال منحنی‌های دبی -

اشل به دست می‌آید، کنترل داده‌های سطح آب از نظر تغییرات ناشی از رسوب‌گذاری و فرسایش بستر و یا جابجایی محل ایستگاه و حتی تغییرات در ویژگی‌های حوضه باید صورت گیرد و صحت آن‌ها بررسی شود.

۲-۲-۴- کنترل کیفیت داده‌های روزانه و ساعتی بارش

۲-۲-۴-۱- کنترل داده‌های بارش

اصولا داده‌های ساعتی بارش از گراف بارن‌نگارهای ثبات و یا داده‌های رقومی دیتالاگرا استخراج می‌شود. این اطلاعات باید به صورت منحنی‌های تجمعی ترسیم شوند و از نظر ایستایی، پیوستگی و کامل بودن بررسی شوند. برای بررسی ایستایی این‌گونه داده‌ها، معمولا هیتوگراف‌های همزمان کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در یک صفحه مختصات ترسیم و با یکدیگر مقایسه می‌شود. در صورت مشاهده تغییرات ناگهانی در داده‌های هر ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های دیگر منطقه می‌توان عدم ایستایی را برای آن داده به راحتی تشخیص داد. با استفاده از روش‌هایی مانند همبستگی و رگرسیون بین ایستگاه‌ها و در برخی موارد از منحنی‌های جرم مضاعف و یا روش نسبت‌ها می‌توان داده‌های مشکوک، گم شده و یا ناقص را برای ایستگاه برآورد نمود. ترسیم نقشه‌های هم‌بارش برای رگبارهای معین و یا با احتمالات مختلف و به‌خصوص با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله می‌تواند در بررسی درستی داده‌ها و یا تشخیص اثرات پدیده کوهستانی روی مقدار بارش مفید باشد. ترسیم هیتوگراف بارش‌ها و هیدروگراف سیل‌های ناشی از آن در یک صفحه مختصات می‌تواند در تشخیص هماهنگی داده‌های بارش و یا سیلاب و تعیین زمان شروع، اوج و خاتمه باران و سیلاب موثر باشد. برخی موارد که ممکن است، در این بررسی‌ها مشاهده شود عبارتند از:

۱- اگر اختلاف زیادی بین زمان‌های بارش و سیلاب دیده شود، باید داده‌های اولیه بررسی و کنترل مجدد شود و سپس با اطلاعات ایستگاه‌های مجاور آن مقایسه گردد، زیرا ممکن است اختلاف مربوط به خطای زمانی در ساعت باران نگار باشد.

۲- داده‌های بارش باید از نظر روند تغییرات^۱ به دلیل تغییر در شرایط اقلیمی و یا اطراف آن و یا جابجایی بررسی شوند. در چنین موارد با ترسیم منحنی جرم مضاعف و یا رگرسیون بین داده‌های آن ایستگاه و ایستگاه‌های هم‌جوار می‌توان آن‌ها را تصحیح نمود.

۳- کلیه داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده در محاسبات PMF را باید حتی‌المقدور به صورتی گرافیکی نمایش داد. ۴- تعیین زمان تاخیر بین مرکز ثقل هیتوگراف بارش و هیدروگراف سیل می‌تواند در کنترل و اصلاح داده‌هایی که از نظر زمانی اختلاف دارند، به کار گرفته شود.

۵- بررسی بارش‌های روزانه در ایستگاه‌های هم‌جوار نیز می‌تواند شواهدی در تعیین زمان شروع و خاتمه بارش‌های مورد مطالعه را ارائه نماید.

۲-۲-۴-۲- کنترل داده‌های برف

از آنجا که ممکن است در بعضی مواقع سیلاب تحت تاثیر ذوب برف باشد، بنابراین باید مشخصات برف پشته مانند سطح پوشش برف، آب معادل برف، حداقل و حداکثر دمای روزانه و سرعت باد نیز بررسی و کنترل شود. بررسی دقت داده‌های مربوط به آب معادل برف از طریق ترسیم آب معادل برف در مقابل ارتفاع صورت می‌گیرد. در صورت کافی بودن داده‌ها می‌توان یک رابطه قابل قبول به دست آورد و از طریق آن نسبت به بازسازی و تکمیل داده‌های ناقص اقدام نمود. در غیر این صورت می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

- ۱- در صورتی که فقط داده‌های یک ایستگاه برف‌سنجی در اختیار باشد، باید از داده‌های ایستگاه‌های منطقه که دارای شرایط مشابهی از نظر ارتفاع و جهت ورود توده‌های بارانزا باشند، استفاده شود.
 - ۲- در صورتی که داده‌های ایستگاهی با مشخصات بالا در دست نباشد و یا داده‌های کافی وجود نداشته باشد، می‌توان با استفاده از روش نسبت‌های بارش سالانه بین ایستگاه‌هایی که در ارتفاع یکسان قرار دارند، اقدام به بازسازی داده‌های برف نمود.
 - ۳- در صورتی که هیچ یک از موارد بالا وجود نداشته باشد می‌توان به کمک مدل‌های هیدرولوژیکی و با استفاده از داده‌های سیل داده‌های برف را شبیه‌سازی کرد.
- همچنین کنترل داده‌های برف و وضعیت پوشش برفی را می‌توان از عکس‌های ماهواره‌ای و سنجش از دوره مورد بررسی قرار داد.

۲-۲-۴-۳- کنترل داده‌های دما

داده‌های دمای متوسط، حداقل، حداکثر و روزانه در برآورد آب ناشی از ذوب برف به کار می‌رود. بنابراین پارامترهای دما باید از جنبه دقت و قابل استفاده بودن در روابط مربوط به ذوب برف کنترل شوند.

۲-۲-۴-۴- کنترل داده‌های مربوط به مخزن و سازه‌های آبی

داده‌های مربوط به مدیریت و عملکرد سرریزها و سایر خروجی‌ها و مخزن به هنگام وقوع سیلاب‌های استثنایی اهمیت بسیاری دارد. تاثیر جریان‌های واریزه‌ای روی عملکرد سرریزها و احتمال کاهش دبی خروجی از سد و تغییر در تراز سطح مخزن و تاثیر آن در روندیابی نیز مهم بوده و باید مورد توجه قرار گیرد.

گزارشات حفاظت و بهره‌برداری که معمولاً توسط ادارات مربوطه تهیه می‌شود، باید بررسی و موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- روش‌ها و قوانین بهره‌برداری در شرایط نرمال و اضطراری دریاچه‌ها در طی سیل‌های شدید

- ارزیابی از قابلیت اطمینان نحوه بهره‌برداری از دریچه‌های سرریز و فیوز پلاگ‌ها^۱، مخصوصاً در شرایطی که کنترل از راه دور صورت می‌گیرد.
- بررسی و کنترل منحنی‌های فرمان برای بهره‌برداری فصلی از مخزن
- اطلاعات در مورد سیل‌های تاریخی. این قبیل اطلاعات شامل دبی‌های اوج سیل و هیدروگراف‌ها، سطوح مخزن، مقادیر ماکزیمم فراز مخزن و عمق بارندگی و توزیع زمانی آن می‌باشد.
- بررسی داغاب سیل‌های گذشته
- بررسی نتایج آزمایشات مربوط به عملکرد سرریز و دریچه‌های تخلیه
- در صورتی که اطلاعات کافی در مورد سد یا سدهای بالادست محدوده مطالعاتی در دست نباشد، باید در بازدیدهایی که صورت می‌گیرد اطلاعاتی مانند موارد زیر هم جمع‌آوری شود.
- نوع و ارتفاع سد، نوع خروجی‌های سد یا سرریزها، مقطع عرضی و پروفیل تاج سد
- منحنی‌های سنجه و جداول و منحنی‌های سطح - حجم - ارتفاع مخزن
- نحوه مدیریت و بهره‌برداری از سد
- قوانین و دستورالعمل‌های بهره‌برداری از مخزن
- سوابق تاریخی از وقوع سیل‌های شدید

۲-۲-۴-۵- بازدیدهای صحرائی مورد نیاز

- پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه و پردازش اولیه آن‌ها، بازدید از منطقه طرح از ضروریات طراحی دقیق‌تر PMF می‌باشد. بخشی از نکاتی که در این بازدیدها می‌تواند مد نظر باشد شامل موارد زیر هستند:
- کنترل اطلاعات مشکوک و تکمیل اطلاعات سیلاب‌ها و طوفان‌های ثبت شده، مصاحبه با پرسنل مسوول منطقه در این رابطه، کنترل اطلاعات حاصله از بررسی‌های دفتری مانند میزان نفوذپذیری حوضه.
 - ارزیابی و بررسی داغاب‌ها و صحبت با شاهدان عینی وقایع سیل و افرادی که مدتی طولانی ساکن منطقه بوده‌اند.
 - انجام بازدیدهای صحرائی از محل ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی و نیز شرایط حوضه برای تایید صحت پارامترهای کمی برآورد شده.
 - بازدید مناطق ویژه داخل حوضه مانند تالاب‌ها، دریاچه‌ها و حوضه‌های بسته‌ای که ممکن است بر میزان رواناب از طریق دریافت بخشی از جریان تاثیر داشته باشند.
 - بازدید از کاربری‌های فعلی اراضی، ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی، نوع خاک، شرایط زمین‌شناسی حوضه و بررسی تفاوت‌های موجود و میزان ناهمگنی در آن‌ها.

- کنترل نتایج حاصله از بررسی‌های دفتری در برآورد مقدار نفوذپذیری حوضه، که در مدل‌های هیدرولوژیکی برای تبدیل بارش به رواناب برای تخمین PMF به کار می‌رود، موثر خواهد بود.
- بررسی و کنترل اطلاعات سد و سازه‌های آبی بالادست شامل نحوه مدیریت و فرامین و دستورالعمل‌های بهره‌برداری از مخزن سد.

۲-۳- نحوه انتخاب وقایع بارش - سیلاب

۲-۳-۱- انتخاب طوفان‌های شدید و فراگیر و سیلاب‌های متناظر

انتخاب طوفان‌های شدید و فراگیر بر اساس نتایج بررسی‌های قبلی و همچنین داده‌های ثبت شده دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و روزانه و داده‌های حداکثر بارش‌های روزانه با تداوم‌های از یک تا چندروزه طی دوره آماری بلند مدت (دوره شاخص) انجام می‌گیرد. معمولاً انتخاب اولیه بر پایه میانگین حسابی بارش در کلیه ایستگاه‌های داخل و اطراف حوضه صورت می‌گیرد. برای این منظور بارش با تداوم‌های مختلف که مربوط به تاریخ‌های متفاوت می‌باشند به ترتیب نزولی مرتب شده و با تطبیق با رویدادهای شدید سیل، تعدادی از بزرگ‌ترین‌های طوفان‌ها با تداوم‌های مختلف انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است به منظور انتخاب نهایی وقایع بارش - سیلاب، تعامل با تهیه‌کننده PMP بسیار مهم می‌باشد.

۲-۳-۲- تعیین فصول وقوع طوفان‌های شدید و فراگیر

تاریخ وقوع رویداد طوفان‌های شدید و فراگیر در طول دوره آماری باید مورد مطالعه قرار گیرد. در بیش‌تر نقاط کشور به‌ویژه مناطق جنوب غربی، شدیدترین طوفان‌ها معمولاً در فصل زمستان و ماه بهمن اتفاق می‌افتد. در برخی نقاط پاییز و آذرماه نیز بیش‌ترین فراوانی وقوع بارش‌های شدید و فراگیر را دارد. در هر صورت این بررسی برای هر منطقه مطالعاتی باید به‌طور مستقل انجام شود. در اواخر اسفند ماه و شروع فصل بهار وقوع سیلاب‌های شدید ناشی از ذوب برف در بسیاری از حوضه‌ای کشور ملاحظه شده است.

۲-۳-۳- بررسی توزیع مکانی طوفان‌های شدید و فراگیر

به منظور کنترل داده‌های بارش در قالب توزیع مکانی آن‌ها در سطح حوضه، ابتدا مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) ایستگاه‌های موجود در منطقه اعم از ایستگاه‌های متعلق به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو با استفاده از GIS و سوابق مطالعات منطقه باید کنترل شود. پس از اطمینان از صحت موقعیت ایستگاه‌ها، با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده از هر ایستگاه، ابتدا برای مجموع عمق بارش چندروزه طوفان و سپس هر یک از روزهای طوفان نقشه‌های نقطه‌ای با مشخص بودن کد ایستگاه و مقادیر بارش به‌طور مجزا تهیه شود. با بررسی مقادیر نقطه‌ای بارش در ایستگاه‌های همجوار در هر روز از طوفان و در مجموع طوفان می‌توان خطای احتمالی داده‌ها را تشخیص داد. برای اصلاح مقادیر بارش از مقادیر نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک و در مواردی ایستگاه‌های تبخیرسنجی وزارت نیرو با توجه به ارتفاع و جهت شارش رطوبتی استفاده می‌شود.

فصل ۳

انواع مدل بارش – رواناب و

معیارهای انتخاب

۳-۱- انواع مدل‌های شبیه‌ساز

مدل‌های شبیه‌سازی به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: مدل‌های فیزیکی^۱ و مدل‌های ریاضی^۲. مدل فیزیکی، یک ارائه فیزیکی از دنیای واقعی^۳ است به نحوی که در ساختار، ساده‌تر ولی خصوصیات مشابه با دنیای واقعی دارد. یک مثال از مدل‌های فیزیکی حوضه‌های آبخیز، شبیه‌سازهای باران و حوضه‌های آزمایشگاهی است. مدل ریاضی (حاوی) یک نگرش یا برداشت ذهنی از دنیای واقعی است که خصوصیات مهم ساختاری واقعیت را حفظ می‌کند. از آنجا که مدل‌های فیزیکی در اصل تغییرناپذیرند، در مقایسه با مدل‌های ریاضی از انعطاف کم‌تری برخوردارند. مدل‌های ریاضی اغلب توسط کامپیوتر اجرا می‌شوند و مدل‌های کامپیوتری نامیده می‌شوند. بیش‌تر مدل‌های کامپیوتری در سه دهه اخیر توسعه یافته‌اند. ساخت مدل‌های فیزیکی حوضه‌ها گران است و از کارایی محدودی برخوردارند. در حالی که مدل‌های ریاضی به آسانی در دسترس قرار می‌گیرند، از نظر تغییر ورودی‌ها به راحتی انعطاف‌پذیرند و نسبتاً گران نیستند. بنابراین عجیب نیست که مدل‌های ریاضی برای حل مسایل حوضه‌ها بیش‌تر مورد استفاده قرار گیرد.

مدل‌های ریاضی انواع گوناگونی دارند. آگاهی از دسته‌بندی مدل‌ها به انتخاب مدل در کاربرد مورد نظر کمک می‌کند. معمولاً یک مدل ریاضی حوضه آبخیز از چندین بخش تشکیل می‌شود. هر بخش اصلی، جزیی از فرآیندهای سیکل هیدرولوژیک را توصیف می‌کند. یک مدل ریاضی می‌تواند یکی از سه نوع نظری^۴، مفهومی^۵ و یا تجربی^۶ باشد. مدل‌های نظری و تجربی در معنی متضاد یکدیگرند و مدل مفهومی در بین این دو قرار می‌گیرد. علاوه بر این مدل ریاضی می‌تواند قطعی^۷ یا احتمالاتی^۸ باشد. انواع دیگر طبقه‌بندی مدل‌های ریاضی شامل خطی^۹ یا غیرخطی^{۱۰}، ایستا^{۱۱} یا غیرایستا^{۱۲}، یکپارچه^{۱۳} یا توزیعی^{۱۴}، پیوسته^{۱۵} یا گسسته^{۱۶}، تحلیلی^{۱۷} یا عددی^{۱۸} و تک‌واقع‌های^{۱۹} یا فرآیند پیوسته^{۲۰} می‌باشند.

-
- 1- Material or Physical
 - 2- Formal or Mathematical
 - 3- Prototype
 - 4- Theoretical
 - 5- Conceptual
 - 6- Empirical
 - 7- Deterministic
 - 8- Probabilistic
 - 9- Linear
 - 10- Nonlinear
 - 11- Time-invariant
 - 12- Time-variant
 - 13- Lumped
 - 14- Distributed
 - 15- Continuous
 - 16- Discrete
 - 17- Analytical
 - 18- Numerical
 - 19- Event-Driven
 - 20- Continuous-Process

۳-۱-۱- مدل‌های یکپارچه در مقابل مدل‌های توزیعی

اصطلاح مدل پارامتر یکپارچه^۱ که به اختصار مدل یکپارچه^۲ نامیده می‌شود، به مدلی اشاره دارد که در آن پارامترها در همه نقاط داخل حوضه یکسان در نظر گرفته می‌شود. به عبارتی، کل حوضه به عنوان یک واحد یکپارچه و با پارامترهای یکنواخت شبیه‌سازی می‌شود، بنابراین پاسخ حوضه، تنها در خروجی حوضه برآورد می‌شود بدون آن که پاسخ در واحدهای کوچک‌تر داخل حوضه به صورت صریح به دست آید. هیدروگراف واحد نوعی از مدل‌های پارامتر یکپارچه است.

اصطلاح مدل با پارامتر توزیعی^۳ که به اختصار مدل توزیعی خوانده می‌شود، به مدلی اختصاص دارد که در آن پارامترها می‌توانند در فضای داخل حوضه متغیر باشند. به عبارت دیگر در این مدل می‌توان تغییرات مکانی پارامترها را در داخل حوضه در نظر گرفت. بنابراین یک مدل توزیعی می‌تواند پاسخ‌ها را در واحدهای داخل حوضه نیز محاسبه کند. در نتیجه یک مدل توزیعی، نسبت به یک مدل یکپارچه می‌تواند جزئیات بیش‌تری از فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه آبریز را شبیه‌سازی کند و در اختیار کاربر قرار دهد. مدل‌های توزیعی امکان شبیه‌سازی تغییرات مکانی بارش و تغییرات مکانی سایر عوامل هیدرولوژیکی را فراهم می‌کنند. با این حال برای آنکه شبیه‌سازی توزیعی معنی‌دار باشد، باید کیفیت و کمیت داده‌های در دسترس متناسب با توانایی مدل در شبیه‌سازی جزئیات باشد.

با وجود آنکه مفاهیم مدل یکپارچه و مدل توزیعی در معنی متضاد یکدیگرند، اما لازم نیست که این مدل‌ها حتما جدا از هم استفاده شوند. مدل‌های یکپارچه می‌توانند به عنوان اجزای مدل‌های بزرگ توزیعی مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان یک مثال، یک مدل یکپارچه (مثلا هیدروگراف واحد) برای تولید هیدروگراف یک زیرحوضه به‌کار می‌رود. ترکیبی از هیدروگراف‌های زیرحوضه‌ها با روندیابی در شبکه آبراهه‌ها و مخازن، هیدروگراف خروجی حوضه را تشکیل می‌دهد. از آنجا که پارامترها از یک زیرحوضه به زیرحوضه دیگر تغییر می‌کنند و هیدروگراف‌ها در نقاط مشخصی از شبکه آبراهه با هم ترکیب می‌شوند، مدل شبکه ضرورتاً یک ساختار نیمه توزیعی دارد. اصولاً سطح شکست حوضه به اجزای مکانی، تعیین‌کننده نوع مدل خواهد بود. در سطح شکست به تعدادی زیرحوضه، مدل حاصل نیمه توزیعی است. ولی با شکست حوضه به‌وسیله یک شبکه سلولی مدل حاصل از نوع کاملاً توزیعی می‌باشد.

۳-۱-۲- مدل‌های تک‌واقعه‌ای در مقابل مدل‌های فرآیند پیوسته

مدل‌های حوضه می‌توانند، تک‌واقعه‌ای یا فرآیند پیوسته باشند. در این طبقه‌بندی مدل‌های تک‌واقعه‌ای، کوتاه مدت^۴ هستند و برای شبیه‌سازی وقایع منفرد بارش - رواناب طراحی شده‌اند. هدف مدل‌های تک‌واقعه‌ای برآورد رواناب مستقیم است و تأکید این مدل‌ها بر نفوذ^۵ و رواناب سطحی^۶ می‌باشد. مدل‌های تک‌واقعه‌ای در محاسبه جریان سیلاب به کار

-
- 1- Lumped- Parameter Model
 - 2- Lumped Model
 - 3- Distributed Parameter Model
 - 4- Short -Term
 - 5- Infiltration
 - 6- Surface Runoff

می‌روند، به‌خصوص در مواردی که سهم عمده رواناب کل، مربوط به رواناب مستقیم باشد. طراحی مدل‌های تک‌واقعه‌ای به گونه‌ای نیست که بتوانند انتقال رطوبت بین دو بارش منفرد را در نظر بگیرند. بنابراین برای شبیه‌سازی جریان در مواقعی که بارش اتفاق نمی‌افتد (مانند جریان روزانه در کل سال)، مناسب نیستند.

برخلاف مدل‌های تک‌واقعه‌ای، مدل‌های فرآیند پیوسته مولفه‌های جریان شامل رواناب مستقیم (رواناب سطحی) و جریان غیرمستقیم شامل جریان زیرسطحی^۱ و جریان آب‌های زیرزمینی^۲ را به صورت صریح محاسبه می‌کنند. مدل‌های فرآیند پیوسته، فرآیند درازمدت^۳ هیدرولوژیکی، مانند تبخیر و تعرق که در زمان‌های بدون بارش بر روی انتقال رطوبت و موازنه رطوبت موثرند را در نظر می‌گیرند. هدف از مدل‌های فرآیند پیوسته، محاسبه موازنه آب و رطوبت^۴ در کل حوضه در یک دوره طولانی مدت است. مدل‌های فرآیند پیوسته، برای شبیه‌سازی جریان‌های روزانه، ماهانه و فصلی مناسبند.

برای تبدیل PMP به PMF به‌کارگیری مدل‌های پیوسته و یا کاربرد مدل تک‌واقعه‌ای هیدروگراف واحد مطرح می‌باشد. در کشور استرالیا از مدل‌های پیوسته بیش‌تر استفاده می‌گردد که دلایل آن را چنین عنوان کرده‌اند: ۱- امکان شبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده و غیرخطی تولید رواناب، ۲- امکان در نظر گرفتن تغییرات مکانی خصوصیات حوضه و فرآیندهای تبدیل بارش به رواناب و ۳- امکان شبیه‌سازی تغییرات طبیعی یا مصنوعی در حوضه. ولی در کشور آمریکا به طور وسیعی از مدل‌های تک‌واقعه‌ای یا رویدادی^۵ مبتنی بر مدل هیدروگراف واحد برای تبدیل PMP به PMF استفاده می‌شود. مدل‌های جدیدتر هیدروگراف واحد مصنوعی مانند مدل توزیعی کلارک اصلاح شده، پس از واسنجی و اعتباریابی می‌تواند عمده مزایای بر شمرده بالا را که در مورد کلیه مدل‌های پیوسته مصداق ندارد، ارضا نماید. علاوه بر این، کاربرد گام زمانی کوچک برای شبیه‌سازی سیلاب‌ها همواره در مدل‌های پیوسته که براساس ذخیره بنا شده‌اند با دشواری روبرو است. مدل‌های تک‌واقعه‌ای این مزیت را دارند که روابط بین پارامترهای قابل اندازه‌گیری مستقیم را با رواناب برقرار کنند و یا پارامترهای کم‌تری به‌ویژه در فرآیند تلفات حوضه داشته باشند.

۳-۲ - معیارهای انتخاب مدل

کارایی هر مدل بستگی به روش‌های مورد استفاده در آن دارد ولی به‌طور کلی، اثبات برتری یک روش بر دیگری بدون انجام مراحل واسنجی و اعتباریابی در حوضه مورد مطالعه امکان‌پذیر نمی‌باشد. یکی از معیارهای مهم، سازگاری و انطباق مدل با اقلیم سیلابی حوضه از یک طرف و قابلیت واسنجی پارامترهای مدل از طرف دیگر می‌باشد. اقلیم سیلابی حوضه از لحاظ علل ایجاد سیل نظیر بارش باران، بارش و ذوب برف در مواقع سیلابی می‌تواند حایز اهمیت باشد. در حوضه‌های برف‌گیر، به‌کارگیری مدل‌هایی که قابلیت شبیه‌سازی بارش و ذوب برف را دارند بر سایر مدل‌ها ارجحیت

-
- 1- Interflow
 - 2- Groundwater Flow
 - 3- Long- Term
 - 4- Moisture Balance
 - 5- Event- based

دارند. در مدل‌های با قابلیت شبیه‌سازی بارش و ذوب برف که به صورت یکپارچه و رویدادی عمل می‌کنند، معمولاً محدوده زیرحوضه‌ها به تعدادی ناحیه ارتفاعی تقسیم و با توجه به دمای آن ناحیه و آستانه دما، شبیه‌سازی برای بارش و ذوب برف انجام می‌شود.

تمایل کاربران مدل‌های بارش - رواناب این است که با حداقل داده‌های موجود به بهترین جواب‌ها و تخمین‌ها نایل شوند. بنابراین در گزینش مدل مناسب تعداد و پیچیدگی بخش‌های مختلف لزوماً گویای مناسب بودن آن نیست. کاربرد چنین مدل‌هایی با تخمین پارامترهای بیش‌تری همراه می‌گردد که در صورت کم بودن تعداد وقایع مناسب برای واسنجی و ناقص بودن اندازه‌گیری مستقیم پارامترها می‌تواند موجب ایجاد خطا در برآوردها شود. پارامترهای مجهول به همراه محاسبات ساده‌تر دقت قابل قبولی را در مراحل واسنجی و اعتباریابی تامین می‌نماید.

عموماً مدل‌های جدید به صورت کاربرد دوست طراحی می‌شوند. در چنین حالتی امکان اشتباه در ورود و مدیریت داده‌ها به حداقل می‌رسد و نتایج به گویاترین شکل ممکن ارائه می‌گردد. علاوه بر آن محاسبات انجام شده در طول اجرای مدل به نحو مطلوب به کاربر منتقل می‌شود.

در بسیاری از موارد عامل اقتصادی نیز در گزینش مدل نقش دارد. این مساله به ویژه در مورد مدل‌های تجاری مطرح می‌شود. اهمیت پروژه و وجود پشتوانه‌های کاربری مدل از سوی توسعه‌دهندگان مدل، می‌تواند در موازنه سود هزینه پروژه کمک نماید.

به‌طور کلی، برخی معیارهای مهم انتخاب مدل‌های بارش - رواناب عبارتند از:

- ۱- مبانی تئوری
- ۲- داده‌های مورد نیاز مدل و داده‌های در دسترس و قابل اعتماد حوضه مورد مطالعه
- ۳- سهولت کاربری
- ۴- هزینه و دسترسی به مدل
- ۵- سوابق کاربرد مدل در برآورد PMF
- ۶- تجربه کاربر
- ۷- استحکام مدل
- ۸- اندازه حوضه

در مجموع با تلاش برای ارضای غالب معیارهای فوق و به‌ویژه با توجه به سوابق بسیار وسیع کاربرد مدل HEC-1 (نسخه جدید آن با عنوان HEC-HMS) در مطالعات PMF، به‌کارگیری این مدل کامپیوتری توصیه می‌شود. در ادامه به برخی سوابق کاربرد مدل‌ها در مطالعات PMF اشاره می‌شود و در انتهای فصل نیز ویژگی‌های اصلی مدل HEC-HMS ذکر می‌گردد.

۳-۳- مدل‌های پرکاربرد و سوابق کاربرد مدل‌ها در مطالعات PMF

در حال حاضر در ایالات متحده چندین مدل عمومی حوضه آبریز کاملاً شناخته شده استفاده می‌شود. مدل HEC-HMS در ایالات متحده به عنوان یک مدل پایه در بخش‌های دولتی و خصوصی برای شبیه‌سازی سیلاب استفاده می‌گردد. HSPF مدل معیار و استاندارد است که به وسیله موسسه حفاظت محیط زیست (EPA) پذیرفته شده است. مدل‌های UBC و WATFLOOD در کانادا به منظور شبیه‌سازی هیدرولوژیک عمومیت دارند. مدل RORB و WBM به طور عمده در پیش‌بینی وقوع سیلاب، طراحی زهکش‌ها و ارزیابی تاثیر تغییر کاربری اراضی در استرالیا به کار گرفته می‌شود. TOPMODEL و SHE مدل‌های استاندارد در آنالیز هیدرولوژیک در بسیاری از کشورهای اروپایی محسوب می‌شوند. در کشورهای اسکانداویجی مدل HBV، یک مدل معیار برای پیش‌بینی شناخته شده است. مدل‌های مخزنی^۱ در ژاپن مورد استفاده وسیع قرار دارد. مدل زیانگ جیانگ^۲ به طور عمده در چین استفاده می‌شود. در کشور فنلاند اکثر محاسبات سیلاب طراحی براساس روش آماری انجام می‌یابد ولی برای حوضه‌های آبریز بزرگ و پیچیده، از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیک (HEC-1) و مدل‌های دینامیکی جریان استفاده می‌گردد.

در کشور آمریکا هیدروگراف PMF حاصل از طوفان PMP با روش هیدروگراف واحد شبیه‌سازی می‌گردد. مدل HEC-HMS رایج‌ترین مدل مورد استفاده در آمریکا می‌باشد که توسط رشته مهندسی ارتش آمریکا تهیه شده است. علاوه بر FERC (2001)، اداره احیای آمریکا نیز استفاده از مدل HEC-1 را توصیه نموده است. در استانداردهای عمومی کانادا مدل خاصی توصیه نشده است. دستورالعمل‌های ایالت آلبرتا توصیه می‌کند یک مدل تک‌واقع‌های که پارامترها و مولفه‌های آن تا حد ممکن به شرایط فیزیکی فرآیندهای حوضه نزدیک است انتخاب گردد. در جدول زیر برخی از مدل‌های رایج با توجه به اولویت‌هایی مانند امکان دسترسی به مدل، داده‌های مورد نیاز و موجود، سهولت استفاده از مدل و قابلیت کالیبراسیون خودکار مقایسه شده‌اند.

جدول ۳-۱- مقایسه برخی مدل‌های هیدرولوژیک تک‌واقع‌های

HBV	TOPKAPI	LISFLOOD	HEC-HMS	وزن	
۵	۰	۰	۱۰	۱۰	سهولت دسترسی
۶	۵	۵	۶	۱۰	داده‌های مورد نیاز و موجود
۴	۳	۳	۵	۵	سهولت کاربرد
۰	۵	۱۰	۷	۱۰	کالیبراسیون خودکار
-	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	قابلیت‌های نرم افزاری
۱۰	۵	۲	۱۰	۱۰	کم بودن هزینه
۲۵	۲۸	۳۰	۴۸	۵۵	جمع

1- TANK Models

2- Xinanjiang

۳-۴- تشریح مدل HEC-HMS

سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (HEC-HMS) برای شبیه‌سازی فرآیندهای بارش - رواناب در سیستم حوضه‌های آبخیز دندریتی^۱ طراحی شده است. این مدل برای کاربرد در محدوده وسیعی از نواحی جغرافیایی جهت حل دامنه وسیعی از مسایل، شامل منابع آب و هیدرولوژی حوضه‌های بزرگ و رواناب و سیلاب حوضه‌های آبخیز طبیعی یا شهری کوچک، طراحی شده است. هیدروگراف‌های محاسبه شده توسط این مدل به‌طور مستقیم یا در تلفیق با نرم‌افزارهای دیگر برای اهداف مختلف مطالعات نظیر آبرسانی، زهکشی شهری، پیش‌بینی سیل و دبی جریان، تاثیر تغییر کاربری اراضی، طراحی سرریز سدها، مطالعات کنترل سیلاب و بهره‌برداری از سیستم مخازن به‌کار می‌رود.

مدل HEC-HMS نسخه توسعه یافته و تحت ویندوز مدل HEC-1 است. مدل HEC-1 ابتدا در سال ۱۹۶۷ توسط Leo R. Beard و دیگر اعضای مرکز هیدرولوژی مهندسی (HEC) توسعه یافت. اولین نسخه از این مدل در اکتبر ۱۹۶۸ منتشر گردید. مدل فوق در سال‌های ۱۹۶۹ و ۱۹۷۰ توسعه و مجدداً انتشار یافت. اولین نسخه نرم‌افزار، از مجموعه چند برنامه کوچک‌تر که قبلاً به‌طور مجزا مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفتند، تشکیل می‌شد.

برای ساده‌کردن ورودی‌های مورد نیاز و همچنین معنی‌دار کردن هر چه بیش‌تر خروجی‌های مدل، ساختار فرمت‌های ورودی و خروجی به‌طور کامل تغییر یافت تا اینکه از نسخه سال ۱۹۷۰، یک نسخه اصلی در سال ۱۹۷۳ حاصل گردید. در سال ۱۹۸۱ توانایی‌های محاسباتی ویژه نظیر شکست سد (HEC-1DB)، بهینه‌سازی پروژه (HEC-IGS) و موج سینماتیک با هم ترکیب شدند و به مدل اضافه شدند. این امر باعث تولید یک بسته نرم‌افزاری با روش استفاده آسان گردید. در اواخر سال ۱۹۸۴ یک نسخه میکرو کامپیوتری (نسخه مخصوص کامپیوترهای شخصی) از این نرم‌افزار توسعه یافت. این مدل قادر به بازسازی سیلاب‌ها با استفاده از اطلاعات هواشناسی بود. اصول محاسباتی بارش - رواناب این مدل روش یکپارچه و روش نیمه توزیعی موج سینماتیک بود. از نظر زمانی، مدل از نوع رویدادی و تنها قادر به شبیه‌سازی رواناب حوضه، فقط در صورت وقوع بارش و ایجاد سیل بود. به همین دلیل این مدل تحت عنوان نرم‌افزار سیل معروف است. برای محاسبه رواناب سطحی حوضه ناشی از بارش موثر، مدل HEC-1 از روش‌های شناخته شده هیدروگراف واحد استفاده می‌نمود.

آخرین نسخه HEC-1، نسخه ۴، (سپتامبر ۱۹۹۰) ارائه‌کننده پیشرفت‌ها و توسعه‌هایی در توانایی‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی همراه با interface ها و قابلیت ذخیره‌سازی داده در سیستم ذخیره داده‌ها (DSS)^۲ بود. توانایی DSS امکان ذخیره و بازیابی داده‌ها برای برنامه‌های کامپیوتری دیگر و همچنین ایجاد جداول و نمودارهای با کیفیت برای گزارشات را فراهم می‌کرد.

در سال ۱۹۹۴ مدل HEC-HMS جایگزین مدل HEC-1 گردید. امکانات جدیدی که برای مدل HEC-HMS تعبیه شد، عبارت از شبیه‌سازی پیوسته هیدروگراف در دوره‌های زمانی طولانی و محاسبه توزیعی رواناب بود. برنامه مشتمل بر،

1- Dendritic

2- Data Storage System

ارتباط گرافیکی با کاربر، اجزای تحلیل هیدرولوژیکی جامع، ابزار ذخیره و مدیریت داده‌ها و امکانات گرافیکی و تهیه گزارش بود. نسخه‌های اولیه مدل HEC-HMS فاقد قابلیت شبیه‌سازی ذوب برف بود که از نواقص عمده مدل به شمار می‌رفت. در نسخه‌های اخیر مدل علاوه بر اینکه این نقص برطرف گردیده است، از روش‌های غیرخطی برآورد ذوب برف نیز بهره گرفته شده است. تشریح مدل بر اساس نسخه در دسترس در زمان تهیه این نوشتار است.

۳-۴-۱- اجزا مدل

مدل HEC-HMS^۱ در واقع سیستم یا مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی تلفات، تبدیل بارش - رواناب در زیرحوضه‌ها و روندیابی جریان در رودخانه و مخازن و نیز سازه‌های آبی است. این بسته نرم‌افزاری مشتمل بر یک برنامه اصلی و پنج زیربرنامه^۲ می‌باشد. دو زیر برنامه وظیفه بهینه‌سازی هیدروگراف واحد، مقدار تلفات آب یا پارامترهای روندیابی جریان سطحی را در مرحله واسنجی اتوماتیک به‌عهده دارند. سایر زیربرنامه‌ها محاسبه هیدروگراف واحد، روندیابی و ترکیب هیدروگراف‌ها را انجام می‌دهند. در این مدل، شبیه‌سازی بارش - رواناب به‌صورت سیستمی از اجزای دارای ارتباطات درونی صورت می‌گیرد که هر جز یک جنبه از فرآیند بارش - رواناب را در یک زیرحوضه یا زیر ناحیه شبیه‌سازی می‌کند. به‌طور کلی این مدل دارای چهار بخش اصلی می‌باشد که عبارتند از:

۱- بخش شبیه‌سازی اجزای حوضه

۲- بخش تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی

۳- بخش ویژگی‌های کنترلی

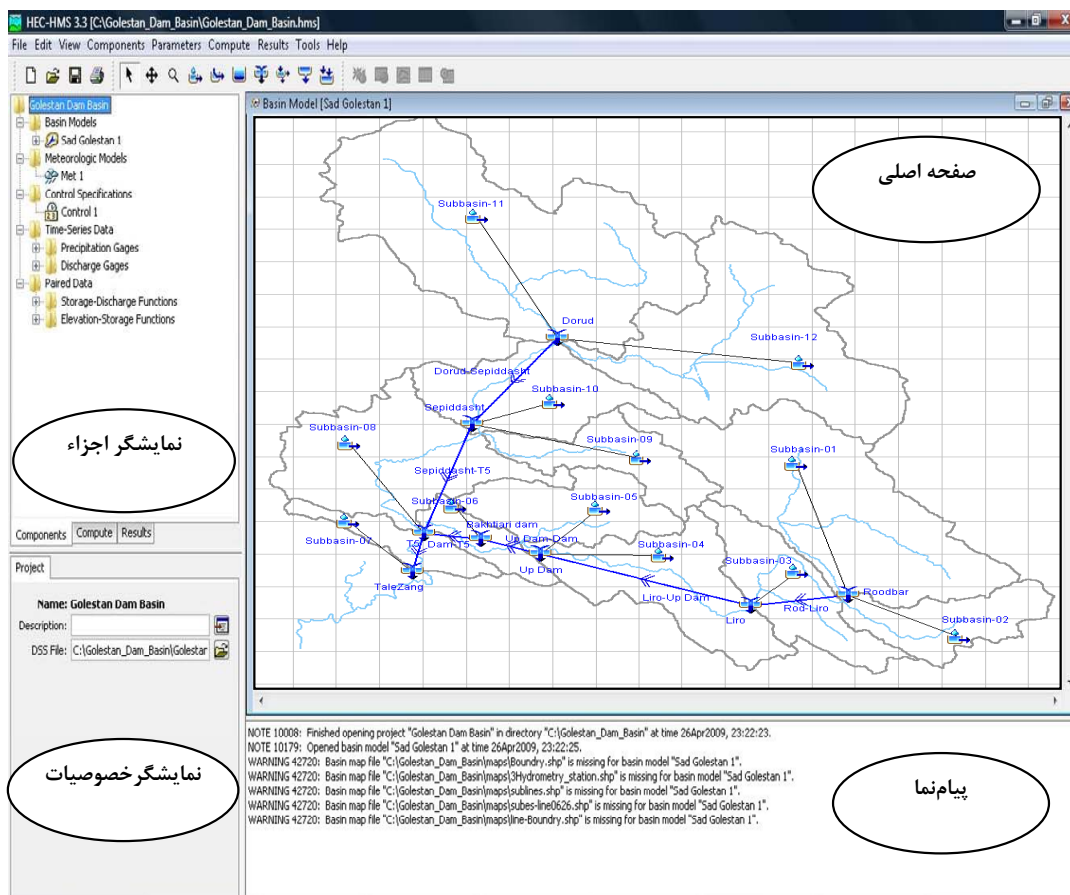
۴- بخش تخمین پارامترها

هر کدام از این بخش‌ها نیز خود دارای اجزای دیگری هستند که شرح مختصر آن‌ها در ادامه ارائه می‌گردد. در شکل (۳-۱) شمای کلی مدل HEC-HMS نشان داده شده است.

۱- آخرین نسخه این مدل را می‌توان از آدرس اینترنتی زیر دانلود نمود:

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/download.html>

2- Subroutine



شکل ۳-۱-۳- شمای کلی مدل HEC-HMS و قسمت‌های مختلف آن برای مدل‌سازی بارش - رواناب در بالادست ایستگاه تله زنگ، حوضه آبریز رودخانه بختیاری

۳-۱-۱-۴- بخش شبیه‌سازی اجزای حوضه

در این بخش عناصر هیدرولوژیکی حوضه و نحوه ارتباطات این عناصر با یکدیگر تعریف می‌شوند. عناصر هیدرولوژیکی شامل زیرحوضه‌ها^۱، آبراهه‌ها (بازه‌ها)^۲، مخازن^۳، اتصالات (تقاطع‌ها)^۴، سازه‌های انحراف^۵ آب، چشمه‌ها^۶ و فروبرنده (چاه‌ها)^۷ می‌باشند که در این بخش باید تعداد، مشخصات و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر مشخص گردد.

الف- زیرحوضه‌ها

هر حوضه به تعدادی زیرحوضه تقسیم می‌گردد که توپولوژی و نحوه ارتباط مکانی آن‌ها در محیط گرافیکی مدل ساخته می‌شود. ترکیب هیدروگراف خروجی زیرحوضه‌ها پس از روندیابی در آبراهه‌ها، هیدروگراف کل حوضه را به وجود

- 1- Subbasin
- 2- Reach
- 3- Reservoir
- 4- Junction
- 5- Diversion
- 6- Sources
- 7- Sinks

می‌آورد. هر زیرحوضه که به‌نوبه خود یک حوضه کامل محسوب می‌شود، فرآیندهای تلفات، تبدیل بارش خالص به رواناب و جریان پایه را در بر می‌گیرد. در هر زیرحوضه تنها می‌توان یک روش تلفات، یک روش تبدیل بارش خالص به رواناب و یک روش جریان پایه را فعال نمود.

- روش‌های محاسبه تلفات زیرحوضه‌ها

در مدل HMS سطح یک حوضه به دو قسمت نفوذناپذیر پیوسته مستقیم و نفوذپذیر تقسیم می‌شود. سطح نفوذناپذیر پیوسته مستقیم عبارتست از بخشی از حوضه که در آن کل بارش بدون هیچگونه نفوذ، گیرش گیاهی (برگاب)، تبخیر و یا سایر تلفات به رواناب تبدیل می‌شود. مقدار سطح نفوذناپذیر پیوسته یک زیرحوضه به‌صورت درصد نفوذناپذیری مشخص می‌شود. بارش در سطوح نفوذپذیر در معرض تلفات قرار دارد.

انواع روش‌های مختلف در مدل HEC-HMS برای محاسبه تلفات بارش موجود است که عبارتند از

- روش کمبود و ثابت (Deficit and Constant)
- روش کمبود و ثابت شبکه‌ای (Girded Deficit and Constant)
- روش گرین - امپت (Green and Ampt)
- روش اولیه و ثابت (Initial and Constant)
- روش عدد منحنی SCS (SCS Curve Number)
- روش محاسبه رطوبت خاک (Soil Moisture Accounting)
- روش عدد منحنی SCS شبکه‌ای (Girded SCS Curve Number)
- روش محاسبه رطوبت خاک شبکه‌ای (Girded Soil Moisture Accounting)
- روش نفوذنمایی (Exponential)
- روش Smith-Parlange

بیش‌ترین کاربرد در شبیه‌سازی سیلاب‌ها مانند سیلاب PMF به روش‌های گرین - امپت، عدد منحنی یکنواخت، عدد منحنی شبکه‌ای و نفوذ نمایی اختصاص دارد.

- روش‌های تبدیل بارش خالص به رواناب

رواناب مستقیم هر زیرحوضه پس از کسر تلفات را می‌توان توسط یکی از شش روش زیر در مدل شبیه‌سازی نمود.

- روش هیدروگراف واحد کلارک
- روش هیدروگراف واحد اشنايدر
- روش هیدروگراف واحد SCS
- روش هیدروگراف واحد معرفی شده توسط کاربر
- روش موج سینماتیک

• روش توزیعی کلارک اصلاح شده

از میان روش‌های فوق، هیدروگراف واحد کلارک، کلارک اصلاح شده و SCS از جمله روش‌های انتخابی در تبدیل بارش خالص به رواناب در سیلاب PMF به شمار می‌روند. در شکل (۲-۳) منوی ورود اطلاعات زیرحوضه‌ها نشان داده شده است.

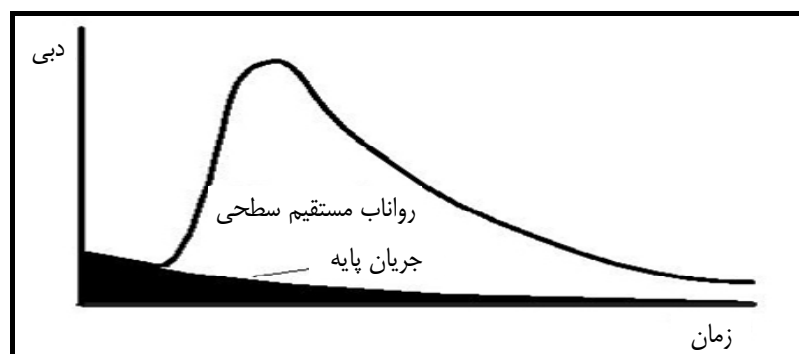
شکل ۲-۳- منوی ورود اطلاعات زیر حوضه‌ها

ب- جریان پایه

دو مولفه هیدروگراف جریان عبارتند از رواناب مستقیم سریع حاصل از بارش و جریان پایه. جریان پایه عبارت از رواناب پایدار حاصل از بارش‌های قبلی که به صورت موقت در حوضه ذخیره شده، به اضافه رواناب تاخیری زیرقشری حاصل از بارش (رگبار) کنونی است. در مدل HEC-HMS برای جریان پایه سه گزینه مختلف وجود دارد که عبارتند از:

- مقدار ثابت ماهانه
- مدل فروکش نمایی
- مدل حجم مخزن خطی

در صورتی که هیچ کدام از گزینه‌ها مورد استفاده قرار نگیرند، جریان پایه معادل صفر در نظر گرفته می‌شود. عموماً در مطالعات PMF یک مقدار ثابت دبی پایه به هیدروگراف رواناب مستقیم اضافه می‌گردد. در شکل (۳-۳) روش تفکیک جریان پایه در مدل فروکش نمایی نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- تفکیک جریان پایه در مدل فروکش نمایی

پ - آبراهه‌ها

گزینه‌هایی که در مدل HEC-HMS جهت روندیابی رودخانه‌ای (آبراهه‌ای) وجود دارند عبارتند از:

- روش تاخیری (Lag)
- روش ماسکینگام
- روش پالس اصلاح شده (Modified Puls)
- روش ماسکینگام - کانج استاندارد
- روش ماسکینگام - کانج هشت نقطه‌ای
- روش موج سینماتیک
- روش متداول استگر (Straddle Stagger)

یک گزینه None نیز موجود است که با انتخاب آن هیچگونه روندیابی در آبراهه صورت نگرفته و هیدروگراف جریان ورودی به آبراهه همانند هیدروگراف جریان خروجی از آن می‌باشد. در مطالعات PMF، توصیه می‌شود از روش ماسکینگام - کانج در صورت وجود مقاطع عرضی رودخانه‌ها و یا روش ماسکینگام در صورت عدم وجود مقاطع عرضی استفاده گردد. شکل (۳-۴) منوی ورود اطلاعات در روش ماسکینگام - کانج هشت نقطه‌ای را نشان می‌دهد.

	Station (m)	Elevation (m)
1	0	10.7
2	6.1	4.6
3	36.6	4.6
4	41.1	0
5	62.5	0
6	67.1	4.6
7	97.5	4.6
8	103.6	

شکل ۳-۴ - منوی ورود اطلاعات در روش ماسکینگام - کانج ۸ نقطه‌ای

ت - مخازن یا حوضچه‌های ذخیره

بسیاری از حوضه‌ها در بردارنده گودال‌های طبیعی مانند دریاچه‌ها، حوضچه‌ها و تالاب‌ها هستند که آب در آن‌ها ذخیره می‌گردد. همچنین ممکن است در آن‌ها تاسیساتی چون مخازن و حوضچه‌های ذخیره وجود داشته باشد. برای

شبیه‌سازی رفتار یک مخزن یا سازه ذخیره‌کننده آب در مدل HEC-HMS، باید رابطه ذخیره با جریان خروجی شناسایی گردد. این رابطه را می‌توان توسط یکی از سه روش زیر در مدل تعیین نمود:

- ذخیره - جریان خروجی
- ارتفاع - ذخیره - جریان خروجی
- ارتفاع - مساحت - جریان خروجی

بسط این رابطه بستگی به خصوصیات حوضچه یا مخزن، سازه خروجی و سرریز دارد. از مدل HEC-RAS یا سایر نرم‌افزارهای هیدرولیکی نیز در این امر می‌توان استفاده نمود.

ث- سازه‌های انحراف

سازه‌های انحراف، المان‌هایی هستند با دو جریان خروجی که می‌توانند یک یا چند جریان ورودی داشته باشند. یکی از جریان‌های خروجی را اصلی و دیگری را انحرافی می‌نامند. یک سازه انحراف معرف یک انشعاب با یک منحنی جریان ورودی - انحراف می‌باشد. شبیه‌سازی انحراف آب نیازمند این است که جریان کانال انحرافی به صورت تابعی از جریان کانال اصلی در بالادست سازه انحراف تعریف گردد. تنها پارامتر مورد نیاز جهت ورود به مدل، منحنی جریان - انحراف است. از المان انحراف معمولاً جهت معرفی سرریزهای جانبی که قسمتی از مسیر اصلی را به کانال‌ها و فلوم‌ها منحرف می‌کنند، استفاده می‌شود.

ج- منبع (چشمه)

المان منبع یا چشمه، المان‌هایی هستند که فاقد جریان ورودی بوده و دارای یک جریان خروجی می‌باشند. چشمه‌ها در برخی از حوضه‌ها مشاهده می‌شوند. از یک عنصر منبع (چشمه) می‌توان برای نمایش نقطه‌ای که شبکه رودخانه را تغذیه می‌کند، استفاده نمود. دو روش جریان ثابت و جریان متغیر جهت تعیین جریان منبع (چشمه) وجود دارد. داده‌های جریان باید به صورت یک ایستگاه هیدرومتری، قبل از اینکه بتوان از آن به عنوان یک جریان متغیر برای یک منبع استفاده نمود، به پروژه افزوده شوند.

چ- فروبرنده (چاه)

المان چاه، المانی است که می‌تواند دارای یک یا چند جریان ورودی بوده، ولی فاقد هرگونه جریان خروجی باشد. عنصر فروبرنده را می‌توان برای شبیه‌سازی نقاطی که آب در آن‌ها فرو می‌رود و جریان خروجی سطحی ندارند، به کار برد. این عنصر مانند یک عنصر انتهایی ساده در یک مدل حوضه است. هر فروبرنده تنها یک نام دارد و فاقد هرگونه پارامتری می‌باشد. از این المان جهت شبیه‌سازی نقاط پست موجود در سطح زهکش داخلی یا جریان خروجی از مدل حوضه استفاده می‌شود.

۳-۴-۱-۲- بخش تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی

الف- بارش

تبدیل بارش به رواناب از طریق هیدروگراف‌های واحد یا موج سینماتیک صورت می‌گیرد. در کلیه روش‌ها فرض می‌شود که بارش در هر گام زمانی، بر روی سطح زیرحوضه به صورت یکنواخت برای یک زمان تداوم مشخص توزیع شده باشد. خصوصیات بارش هر زیرحوضه عبارتند از عمق کل بارش و توزیع زمانی آن. روش‌های محاسبه میانگین مکانی بارش زیرحوضه در مدل، شامل این موارد هستند:

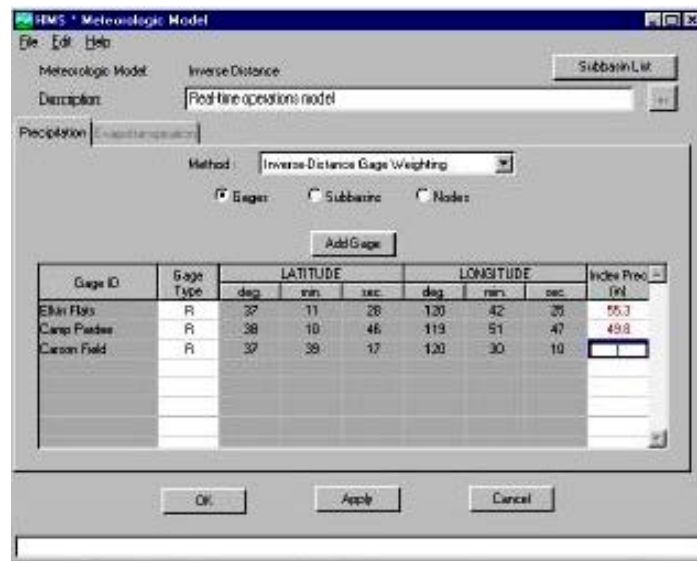
- روش میانگین حسابی
- روش چندضلعی‌های تیسن
- روش خطوط همباران
- روش عکس مجذور فاصله

همچنین توزیع زمانی میانگین مکانی بارندگی نیز توسط الگوهای از پیش تعیین‌شده یا الگوهای حاصل از بارش‌های ثبت شده منطقه به مدل معرفی می‌گردد.

گزینه‌های متفاوتی جهت تعریف پراکنش زمانی و مکانی بارش در مدل HEC-HMS وجود دارد. این گزینه‌ها عبارتند از:

- هیتوگراف تعریف شده کاربر (User Hyetograph)
- تعیین وزن هر باران‌سنج توسط کاربر (User Gauge Weighting)
- وزن‌دهی به روش عکس فاصله (Inverse Distance Weighting)
- بارش شبکه‌ای (Girded Precipitation)
- رگبار با دوره بازگشت (Frequency Storm)
- رگبار استاندارد پروژه (Standard Project)
- رگبار فرضی SCS (SCS Hypothetical Storm)

داده‌های بارش را با انتخاب یکی از روش‌های فوق می‌توان به مدل وارد نمود تا MAP منطقه به دست آید (یا MAP به‌طور مستقیم وارد مدل شود) و در تبدیل بارش به رواناب مورد استفاده قرار گیرد. در شکل (۳-۵) منوی ورود اطلاعات در روش وزن‌دهی باران‌سنج معکوس فاصله نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- منوی ورود اطلاعات در روش وزن دهی باران سنج معکوس فاصله

ب- بارش و ذوب برف

مدل‌سازی ذوب برف برای حوضه‌های برف‌گیر و مناطقی که بارش برف و یا ترکیب توام برف و باران وجود دارد، ضروری می‌باشد. روش‌های ذوب برف علاوه بر اینکه نوع بارش را از نظر باران و برف تعیین می‌کنند، میزان ذوب برف و انباشت بیلان برفی را به صورت تجمعی محاسبه می‌کنند. دو روش یکپارچه و شبکه‌ای برای مدل‌سازی بارش و ذوب برف در HEC-HMS موجود است. در صورتی که از روش شبکه‌ای مادکلارک برای محاسبه رواناب سطحی استفاده شود، باید روش شبکه‌ای ذوب برف مورد استفاده قرار گیرد. در سایر روش‌ها، روش یکپارچه ذوب برف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش یکپارچه، زیرحوضه به نواحی ارتفاعی تقسیم می‌گردد و در این نواحی گرادیان دما ثابت در نظر گرفته می‌شود. همچنین جهت تعیین سری زمانی دمای هر ناحیه، گرادیان دما در هر زیرحوضه به مدل معرفی می‌شود. روش محاسباتی به کار رفته برای تعیین ذوب برف، روش شاخص حرارت می‌باشد. این روش توسعه یافته روش درجه - روز است و نسبت به این روش نیاز به پارامترهای متعددی برای شبیه‌سازی دارد.

پ- تبخیر و تعرق

در کاربردهای معمول شبیه‌سازی سیلاب از محاسبه مولفه تبخیر و تعرق با توجه به ناچیز بودن این مولفه صرف‌نظر می‌شود. اما به‌طور کلی با توجه به قابلیت شبیه‌سازی پیوسته در مدل HEC-HMS، امکان محاسبه مولفه تبخیر و تعرق در کنار رطوبت خاک به‌طور پیوسته در زمان وجود دارد.

تنها گزینه موجود جهت شبیه‌سازی مجموع تبخیر و تعرق در مدل HEC-HMS، به‌صورت میانگین ماهانه است. از روش میانگین ماهانه می‌توان برای محاسبه تبخیر و تعرق برای هر ماه از سال استفاده نمود. یک ضریب تبخیر نیز برای تصحیح داده‌های تبخیر از طشتک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۱-۴-۳- تشریح بخش ویژگی‌های کنترلی

ویژگی‌های کنترلی به همراه اجزای حوضه و هواشناسی برای مدیریت اجرای مدل فعال می‌شود. تاریخ و زمان شروع اجرای مدل و تاریخ و زمان پایان اجرای مدل در بخش مربوط به ویژگی‌های کنترلی تنظیم می‌شوند. تاریخ و ساعت شروع و اتمام یک پروژه، هم‌چنین دسته‌بندی زمان محاسبات یا گام زمانی^۱ در این بخش معرفی می‌شود. داده‌های ایستگاه‌ها (آب‌سنجی و باران‌سنجی) با توجه به گام زمانی انتخاب شده، درون‌یابی می‌گردند. اگرچه برخی روش‌ها یک گام زمانی داخلی را به کار می‌برند، بیش‌تر روش‌ها با استفاده از گام زمانی تعیین‌شده در ویژگی‌های کنترلی محاسبات خود را انجام می‌دهند. در صورت نیاز، گزارش نتایج اجرای عناصر مجزای مدل نیز براساس گام زمانی ویژگی‌های کنترلی به صورت خطی درون‌یابی می‌شوند.

۳-۱-۴-۳- تشریح بخش برآورد پارامترها و بهینه‌سازی

مرحله واسنجی، از داده‌های بارش - رواناب مشاهده‌ای، در یک جستجوی نظام یافته برای برآورد پارامترهای مدل استفاده می‌کند. به نحوی که بهترین برازش بین نتایج شبیه‌سازی و مشاهده‌ای حاصل گردد. این جستجو اغلب به عنوان بهینه‌یابی خوانده می‌شود. بهینه‌یابی خود مشتمل بر تابع هدف (شاخص نیکویی برازش) و روش جستجو است و هر یک دارای گزینه‌های متفاوتی هستند.

برای مقایسه میزان تطابق هیدروگراف محاسباتی با هیدروگراف مشاهده‌ای، مدل HEC-HMS مقدار یک شاخص نیکویی برازش یا تابع هدف را محاسبه می‌کند. الگوریتم‌های جستجوکننده، پارامترهایی را که بهترین مقدار شاخص (کم‌ترین خطا) را حاصل کنند، به عنوان مقادیر پارامترهای واسنجی شده معرفی می‌نمایند.

در مدل HEC-HMS شش تابع هدف وجود دارد که عبارتند از:

- مجموع خطاهای مطلق
- مجموع مجذور باقیمانده‌ها
- درصد خطا در دبی اوج
- خطای وزنی RMS دبی اوج
- درصد خطا در حجم
- خطای وزنی RMS زمان

روش‌های جستجوی موجود در مدل HEC-HMS عبارتند از:

- الگوریتم جستجوی شیب یک متغیره^۲

1- Time Travel

2- Univariate-Gradient Search Algorithm

- الگوریتم ندلر و مید^۱

در حین جستجو با هر کدام از الگوریتم‌های فوق، مدل HEC-HMS در هر تکرار برای اطمینان از اینکه مقادیر آزمون پارامترها در دامنه قابل قبول باشند، کنترل می‌شود. اگر پارامترها در دامنه قابل قبول قرار نگیرند، مدل HEC-HMS مقادیر آزمون را تا رسیدن به حداقل افزایش داده و یا تا رسیدن به مقدار حداکثر کاهش می‌دهد و سپس جستجو ادامه می‌یابد. از بین دو روش فوق روش اول، که روش پیش فرض مدل می‌باشد. این روش قادر به ارزیابی و تصحیح یک پارامتر در یک زمان می‌باشد، لذا سایر پارامترها در آن زمان ثابت فرض می‌شود. در روش ندلر و مید، تمامی پارامترها به‌طور هم‌زمان ارزیابی و تصحیح می‌شوند.

مدل HEC-HMS علاوه بر این قیود غیر قابل تخلف، قیود نرم^۲ تعریف شده توسط کاربر را نیز در نظر می‌گیرد. این قیود، حدود مطلوب پارامترها را تعریف می‌کنند. پس از آن اگر حاصل جستجو پارامتری خارج از دامنه قید نرم باشد، تابع هدف در یک عامل جریمه ضرب خواهد شد. این عامل الگوریتم جستجو را ترغیب می‌کند تا پارامترهایی را انتخاب کند که به دامنه قید نرم نزدیک‌تر باشند.

1- Nedler and Mead Algorithm

2- Soft

فصل ۴

مطالعات فیزیوگرافی و تهیه اطلاعات

مکانی

۴-۱- تهیه اطلاعات رقومی مکانی در GIS

تعیین مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها و استخراج داده‌های مورد نیاز در برآورد PMF را می‌توان با استفاده از یکی از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) استاندارد و روش‌های شناخته شده از جمله روش‌های درون‌یابی با دقت و سرعت بیش‌تری نسبت به روش‌های سنتی دستی انجام داد. اطلاعات مکانی حوضه مورد مطالعه را می‌توان در محیط GIS به صورت رقومی ذخیره و مدیریت نمود.

پس از تعیین محدوده منطقه مورد مطالعه و انتخاب نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب (یکی از مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰، ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰) باید حدود طول و عرض جغرافیایی منطقه را روی نقشه اندکس مربوطه مشخص و پس از تعیین شماره نقشه‌ها نسبت به تهیه آن‌ها از طریق سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و یا سازمان نقشه‌برداری کشور اقدام نمود. تهیه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای از محدوده مطالعاتی و حتی منطقه می‌تواند در شناخت بیش‌تر ویژگی‌های حوضه کمک نماید.

براساس نقشه‌های پایه توپوگرافی مراحل زیر انجام می‌گیرد:

- موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه بر روی نقشه‌های پایه توپوگرافی به‌دقت پیاده می‌شود.
- شبکه رودخانه‌ای حوضه مشخص و مرز حوضه تا موقعیت سد و نیز تا محل ایستگاه‌های آب‌سنجی مربوطه بسته می‌شود. کنترل این مرحله در مراحل بعدی توسط GIS امکان‌پذیر است.
- خطوط تراز داخل و حاشیه حوضه منتهی به محل سد را به صورت رقومی وارد GIS نموده و از آن مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حوضه استخراج می‌شود.
- خطاهای رقومی نقشه DEM مانند گودال‌های مصنوعی با استفاده از روش‌های موجود در GIS اصلاح می‌گردد.
- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه، اعم از ایستگاه‌های متعلق به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو، به صورت لایه‌های جداگانه در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه می‌شود.
- نقشه‌های نقطه‌ای مقادیر بارش ایستگاه‌ها که در طوفان‌های انتخابی برای مراحل واسنجی و اعتباریابی مدل ثبت شده‌اند، به تفکیک طوفان‌ها در محیط (GIS) جهت طی مراحل بعدی تهیه نقشه‌های هم‌بارش آماده می‌گردد.

۴-۲- پردازش نقشه‌های موضوعی

۴-۲-۱- بررسی روش‌های درون‌یابی

برای درون‌یابی یک متغیر از یک رابطه عمومی، برای محاسبه مقادیر متغیر در نقاط مجهول استفاده می‌شود. اختلاف میان روش‌ها در محاسبه فاکتور وزنی λ است که به نقاط اطراف نقطه مورد نظر داده می‌شود. رابطه کلی به شرح زیر بیان می‌گردد.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (1-4)$$

که در آن: $Z^*(x)$ مقدار برآورد شده متغیر در موقعیت x ، λ_i وزن نقاط دارای متغیر مشاهده‌ای و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر مورد بررسی در موقعیت x_i و n تعداد نقاط مشاهده‌ای است. شرط اساسی در این رابطه این است که باید مجموع وزن‌ها در برآورد یک نقطه برابر واحد باشد.

روش میانگین متحرک وزنی (WMA) براساس تعداد نقاط همسایگی و فاصله آن‌ها تا نقطه مجهول و همچنین توانی که بیانگر تاثیر هر ایستگاه می‌باشد، به برآورد متغیر در نقاط مجهول می‌پردازد. در این روش مقدار وزن نقاط از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\lambda_i = \frac{d_i^{-u}}{\sum_{d_i \leq R} d_i^{-u}} \quad (2-4)$$

که در آن: d_i فاصله داده مشاهده شده i ام تا نقطه مورد تخمین، u توان و R شعاع تاثیر می‌باشد. روش‌های دیگر مانند کریجینگ و اسپلاین‌ها نیز وجود دارند که در دستورالعمل «روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای» به تفصیل مورد بحث قرار گرفته‌اند و در آن نحوه مقایسه روش‌ها نیز آمده است.

۴-۲-۲- رسم منحنی‌های هم‌بارش طوفان‌ها

داده‌های عمق بارش در ایستگاه‌های هم‌جوار، در هر گام زمانی، در محیط GIS باید کنترل چشمی شوند. توصیه می‌شود داده‌های مشکوک حذف گردند. سپس روش درون‌یابی منتخب برای تهیه منحنی‌های هم‌بارش در گام‌های متوالی (ساعتی یا چند ساعتی برای ایستگاه‌های ثابت و روزانه برای ایستگاه‌های روزانه) برای طوفان‌های منتخب ترسیم می‌گردد.

۴-۳- استخراج شاخص‌ها و نقشه‌های مطالعات فیزیوگرافی

بارزترین ویژگی‌های حوضه، مساحت، محیط، شکل و خصوصیات شبکه رودخانه‌ها شامل مجموع طول رودخانه‌ها، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب و همچنین طول جریان تا نقطه خروجی است. این ویژگی‌ها براساس نقشه DEM در محیط GIS برای هر یک از زیرحوضه‌ها تعیین و در جداولی تنظیم می‌شود. مراحل انجام کار به شرح زیر است:

- زیرحوضه‌بندی کل حوضه سد با توجه به نقاط تقاطع رودخانه‌ها، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و موقعیت نقاط مطلوب برای برآورد سیلاب، بر روی نقشه کاغذی انجام می‌شود و سپس در محیط GIS رقمی می‌گردد.
- مساحت، محیط و مجموع طول رودخانه‌ها و طول جریان تا نقطه خروجی زیرحوضه‌ها به وسیله GIS محاسبه می‌گردد. هیستوگرام‌های طول جریان - مساحت زیرحوضه‌ها نیز براساس نقشه‌های طول جریان ترسیم می‌شود.
- تراکم شبکه رودخانه‌ها از مجموع طول کلیه رودخانه‌ها بر مساحت، برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع، به دست آورده می‌شود.

• نسبت انشعاب^۱ حوضه به روش زیر محاسبه می‌گردد:

اگر در حوضه‌های $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ به ترتیب تعداد رودخانه‌های رتبه ۱، ۲، ۳ و i باشد، بر حسب تعریف نسبت انشعاب رودخانه‌های این حوضه برابر است با:

$$BR = \left(\frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_3} + \frac{n_3}{n_4} + \dots + \frac{n_{i-1}}{n_i} \right) \frac{1}{i-1} \quad (3-4)$$

که در آن، BR، نسبت انشعاب رودخانه‌ها در حوضه و i ، شماره رده رودخانه اصلی حوضه می‌باشد.

- نقشه شیب، براساس مدل ارتفاعی رقومی (DEM) در محیط نرم افزار GIS ساخته می‌شود و توزیع فراوانی شیب با مساحت در کلیه زیرحوضه‌ها و کل حوضه محاسبه و در جدول ارائه می‌گردد.
- هیستوگرام‌های آلتی‌متری و منحنی هیپسومتری نیز براساس DEM ترسیم می‌شوند.
- برای محاسبه شیب ناخالص آبراهه اصلی نقطه ابتدا و انتهای پروفیل طولی مسیر رودخانه را به وسیله خطی بهم وصل کرده و شیب خط مستقیم حاصله، به عنوان شیب ناخالص در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه شیب خالص آبراهه اصلی، از بالاترین نقطه شروع پروفیل طولی رودخانه اصلی، خط مستقیم زاویه‌داری رسم می‌گردد به طوری که سطح ایجاد شده بین این خط و دو محور ارتفاع و فاصله با سطح زیر منحنی پروفیل طولی رودخانه برابر باشد. ضریب زاویه این خط معرف شیب خالص رودخانه اصلی در بازه مورد نظر است. اعداد شیب خالص و ناخالص پروفیل طولی در جدولی تنظیم می‌شود.

۴-۴- تهیه ورودی‌های مکانی مدل بارش - رواناب با پردازش‌های GIS

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای مدل بارش - رواناب را می‌توان به سه دسته کلی زیر تقسیم کرد.

۴-۴-۱- داده‌های فیزیوگرافی حوضه

در بند ۳-۴ به آن پرداخته شد.

۴-۴-۲- داده‌های مکانی هواشناسی

داده‌های هواشناسی در دوره‌های واسنجی - اعتباریابی و مرحله تبدیل PMP به PMF مورد نیاز است. تهیه نقشه‌های هم‌بارش طوفان‌های منتخب برای واسنجی - اعتباریابی مدل بارش - رواناب در بخش قبل تشریح شد. مراحل تهیه نقشه‌های عوامل هواشناسی ورودی به مدل تبدیل PMP به PMF در بخش بعدی ارائه خواهد شد.

۴-۴-۳- داده‌های پایه حوضه آبریز

نفوذپذیری یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حوضه آبریز از نظر عوامل موثر بر سیلاب‌ها می‌باشد. به کمک نقشه‌های زمین‌شناسی (تهیه شده از سازمان زمین‌شناسی) و خاک‌شناسی (تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب)، حدود وضعیت نفوذپذیری سطح زمین مشخص می‌گردد. گروه‌های هیدرولوژیک خاک را می‌توان براساس اطلاعات نقشه خاک‌شناسی، به‌ویژه وضعیت نفوذپذیری تعیین نمود.

همچنین با استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی و کاربری اراضی، درصد مساحت با کاربری‌های مختلف اراضی برای گروه‌های هیدرولوژیک خاک معین در هر زیرحوضه، محاسبه می‌شود. با ترکیب نقشه‌های خاک و کاربری اراضی، نقشه عدد منحنی^۱ برای شرایط رطوبتی متوسط (II) براساس جداول استاندارد عدد منحنی تهیه می‌شود. لازم به ذکر است که درجه شیب حوضه در نفوذپذیری موثر می‌باشد، ولی به علت عدم وجود دستورالعمل مشخصی در مورد لحاظ تاثیر شیب بر CN، معمولاً از آن صرف‌نظر می‌شود. میانگین عدد منحنی هر زیرحوضه در محیط GIS برای ورود به مدل بارش - رواناب محاسبه می‌گردد.

عدد منحنی هر زیرحوضه به عنوان حدس اولیه در مرحله واسنجی به‌کار می‌رود و می‌توان آن را دقیق نمود. در صورتی که از فرمول‌های دیگر نفوذ استفاده شود، معمولاً باید در مرحله واسنجی اقدام به برآورد پارامترهای فرمول مورد نظر در سطح هر زیرحوضه نمود که در بخش واسنجی به آن اشاره می‌شود.

۴-۴-۴- تهیه الگوی توزیع زمانی بارش‌ها

توزیع زمانی بارندگی طوفان‌های منتخب براساس مقادیر بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ثبات با گام زمانی ثبت شده ترسیم می‌گردد. با استفاده از موقعیت این ایستگاه‌ها و ترسیم چندضلعی‌های تیسن، محدوده تحت پوشش هر ایستگاه از نظر توزیع زمانی مشخص می‌شود. در صورت وجود تعداد کافی ایستگاه ثبات در منطقه، می‌توان با استفاده از روش درون‌یابی منتخب به تهیه نقشه‌های توزیع زمانی بدون بعد طوفان‌ها اقدام نمود.

فصل ۵

مراحل واسنجی و اعتباریابی مدل

بارش - رواناب

۵-۱- کلیات

عوامل اقلیمی و وضعیت پوشش گیاهی، نوع خاک، الگوی شبکه آبراه‌های و سایر عوامل موثر بر رژیم سیلابی در سطح حوضه‌های آبریز متغیر است. از طرف دیگر، مولفه‌های شبیه‌سازی فرآیندها در مدل‌های هیدرولوژیکی نیز پارامترهای متفاوتی دارند که اغلب مقدار آن‌ها مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیست و باید به‌نحوی برآورد گردد. بنابراین واسنجی و اعتباریابی پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی بارش - رواناب حوضه مورد بررسی ضروری است. در این رابطه، روش‌های مختلف برآورد نفوذ به‌همراه روش‌های هیدروگراف واحد و شبیه‌سازی ذوب برف مشتمل بر پارامترهایی می‌باشند که برآورد و تایید آن‌ها از طریق واسنجی و اعتباریابی صورت می‌گیرد.

ولی قبل از هر اقدام دیگری حوضه مورد نظر تا محل سد که از این به بعد تنها با کلمه حوضه از آن یاد می‌شود، باید براساس وضعیت فیزیوگرافی به تعدادی زیرحوضه تقسیم‌بندی شود. در شرایط واقعی، کلیه یا اغلب زیرحوضه‌ها فاقد ایستگاه هیدرومتری در خروجی هستند. لذا توسعه هیدروگراف واحد طبیعی هر زیرحوضه براساس مشاهدات امکان‌پذیر نیست و باید از هیدروگراف واحد مصنوعی استفاده گردد. روندیابی هیدروگراف‌های زیرحوضه در شبکه رودخانه‌ها نیز برای انتقال جریان سیل به خروجی کل حوضه مد نظر قرار می‌گیرد.

۵-۲- تقسیم‌بندی به زیرحوضه‌ها

تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز بزرگ که از لحاظ هیدرولوژیکی همگن نیستند و یا زهکشی آب‌های سطحی آن‌ها با بیش از یک شاخه اصلی انجام می‌شود، به زیرحوضه‌ها ضرورت دارد. همچنین اگر مقادیر ثبت شده سیل‌های تاریخی برای بیش از یک ایستگاه هیدرومتری در حوضه موجود باشد، تقسیم‌بندی حوضه توصیه می‌شود. اگر سطح مخزن سد در مقایسه با سطح حوضه بزرگ باشد، باید یک زیرحوضه مجزا برای در نظر گرفتن حجم بارندگی مستقیم روی سطح مخزن در نظر گرفته شود. پس از تقسیم حوضه، باید پارامترهای هیدرولوژیکی و فیزیکی هر یک از زیرحوضه‌ها مطابق روش‌های انتخابی برای تلفات بارش و هیدروگراف واحد استخراج شود. تقسیم‌بندی حوضه‌های بزرگ همچنین از نظر شبیه‌سازی دقیق اثرات توزیع مکانی بارندگی نیز ضروری می‌باشد.

به‌طور کلی تقسیم‌بندی حوضه در شرایط زیر انجام می‌گیرد:

- خصوصیات هیدرولوژیکی مناطق حوضه با میانگین خصوصیات کل حوضه متفاوت است. این قبیل خصوصیات شامل شکل، مناطق بزرگ شهری در مقایسه با سطح کل حوضه، سطوحی با ظرفیت‌های نفوذپذیری بالا ولی غیرمعمول مانند بازالت متخلخل، زیرحوضه‌های محصور و سطوح بزرگی از جنگل‌های متراکم یا حفاظت شده در بخشی از یک حوضه آبریز کم‌پوشش می‌باشد. این قبیل تغییرات مکانی هیدرولوژیکی با بررسی نقشه‌های خاک، زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی و نقشه‌های کاربری اراضی و بازدیدهای منطقه‌ای مشخص می‌شوند.

- مناطقی که در ایجاد یا تاخیر عبور سیل سهمیم باشند از قبیل مناطق نفوذناپذیر، مرداب‌ها، دریاچه‌ها، یا چمنزارهای مرتفع.
 - مناطقی که بارندگی‌های بسیار بیش‌تر یا کم‌تر از میانگین بارندگی حوضه به علت اثرات کوهستانی یا خصوصیات مکانی طوفان‌های محلی داشته باشند. این چنین مناطقی از طریق بررسی نقشه‌های همباران برای طوفان‌های منفرد و نقشه‌های بارندگی میانگین سالیانه شناسایی می‌شوند. اصولاً این‌گونه تغییرات در غالب حوضه‌های کشور که از سلسله جبال زاگرس و البرز سرچشمه می‌گیرند، مصداق دارد.
 - مناطق بالادست سدهای دارای حجم ذخیره قابل توجه و اثرگذار بر دبی و زمان اوج سیل در نقطه پایین‌دست باید جداگانه در قالب یک زیرحوضه یا زیرحوضه‌های متعدد تفکیک شوند. سپس زیرحوضه‌بندی باید تا محل مورد مطالعه ادامه یابد. در مورد مخازن موجود یا در دست مطالعه نیز می‌توان با تعریف سناریوهای شبیه‌سازی PMF، تاثیر آن‌ها را بر هیدروگراف PMF بررسی نمود. در این صورت جریان ورودی به مخزن و اثرات روندیابی مخزن تعیین می‌گردد.
 - حوضه‌های بزرگی که ممکن است به وسیله یک طوفان منفرد پوشانده نشود.
 - در صورتی که مناطقی از حوضه در رواناب خروجی حوضه مشارکت نکنند.
 - مناطقی که شیب‌های بسیار تندتر یا ملایم‌تر از شیب میانگین حوضه داشته باشند.
 - زمانی که ایستگاه‌های هیدرومتری با اطلاعات تاریخی مناسب در داخل حوضه سد مورد مطالعه وجود داشته باشد.
 - مناطقی که حاوی سطوح پوشیده از برف باشند به‌نحوی که ذوب برف عامل مهمی در حجم سیلاب‌های تاریخی و PMF باشد.
 - باتوجه به تاثیر کوهستان بر الگوی زمانی شدت طوفان، جداسازی مناطق مرتفع از مناطق پست در حوضه توصیه می‌شود.
 - شکل حوضه در اندازه و زمان هیدروگراف تاثیر دارد. از آنجا که روش‌های هیدروگراف واحد نظیر کلارک تابع هندسه و شکل حوضه هستند، لذا حوضه‌های نامنظم هندسی باید به زیرحوضه‌های با اشکال نسبتاً یکسان تقسیم‌بندی شوند. به عنوان مثال حوضه‌ای که مرکب از یک منطقه عریض و یک منطقه طولانی و باریک است، باید به دو منطقه عریض و باریک تقسیم شود.
 - چنانچه منطقه‌ای از حوضه تحت تاثیر ساخت و ساز شهری بوده و یا توسعه شهری برای آن پیش‌بینی می‌شود، بهتر است این منطقه در مدل‌سازی تفکیک گردد تا امکان بازنگری پارامترهای حوضه جهت تعیین اثرات کاربری اراضی فراهم شود.
- تقریباً در کلیه سدهای بزرگ در ایران، مساحت حوضه بالادست سد که سیلاب ایمنی آن براساس سیلاب PMF تعیین می‌شود، قابل توجه است و بسیاری از شرایط فوق‌الذکر در آن‌ها مصداق دارد. لذا تقسیم‌بندی حوضه به زیرحوضه‌های همگن هیدرولوژیکی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

۵-۳- الگوی شبیه‌سازی (زیر) حوضه(های) فاقد ایستگاه و دارای ایستگاه

ابتدا باید به منظور تعیین اینکه یک حوضه دارای ایستگاه یا فاقد ایستگاه است، داده‌های موجود مورد بررسی قرار گیرند تا روش مناسب برای محاسبه هیدروگراف PMF تعیین گردد. یک حوضه (یا زیرحوضه) دارای ایستگاه به صورت زیر تعریف می‌شود:

حوضه‌ای دارای ایستگاه است که دارای داده‌های جریان (ثبت شده در حداقل یک ایستگاه هیدرومتری) و داده‌های بارندگی در دسترس و مناسب از نظر کمیت و کیفیت برای توسعه هیدروگراف واحد در مراحل واسنجی و اعتباریابی با طوفان‌های بزرگ تاریخی باشد. یک حوضه دارای ایستگاه باید دارای مجموعه اطلاعات زیر باشد.

- باید حداقل یک ایستگاه اندازه‌گیری جریان با گزارشات سیل در دسترس در داخل حوضه (ترجیحاً در محل ورودی مخزن سد مورد مطالعه) وجود داشته باشد. اگر ایستگاه هیدرومتری در پایین‌دست سد تحت طراحی قرار داشته باشد، توصیه می‌شود که پس از تعیین محل ورود به مخزن سد به عنوان یکی از گره‌های روندیابی رودخانه، مدل در محل ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست واسنجی شود. در این صورت پارامترهای زیرحوضه‌های بالادست سد نیز خودبخود در مرحله واسنجی تعیین مقدار می‌شوند.

- حداقل یک ایستگاه باران سنجی، ترجیحاً یک باران سنج ثابت با داده‌های کامل و صحیح، در داخل حوضه واقع شده باشد. در صورت نداشتن ایستگاه باران سنج در داخل حوضه، ایستگاه‌های خارج از حوضه سد مورد مطالعه ممکن است اطلاعات ارزشمندی را در مناطقی که تحت تاثیر بارندگی کوهستانی نیستند، ارائه دهند. اگر داده‌های ثبت شده فقط برای یک ایستگاه موجود باشد، مقادیر حاصل از آن ایستگاه باید نماینده بارندگی متوسط حوضه باشند.

- گزارشات بارندگی و رواناب همزمان حوضه برای حداقل سه طوفان تاریخی شدید در دسترس باشد. طوفان‌های تاریخی حتی‌الامکان در فصل وقوع PMP اتفاق افتاده و دارای خصوصیات زیر باشند:

۱- کلیه بخش‌های تولیدکننده رواناب حوضه آبریز در تولید رواناب دخالت داشته باشند.

۲- تاثیر ذوب برف سهم کمتری در سیل داشته باشد مگر اینکه در فصل وقوع PMP، تاثیر ذوب برف نیز در بزرگی PMF حوضه قابل توجه باشد.

۳- طوفان‌های تاریخی باید رواناب قابل توجهی را تولید کنند، به نحوی که حتی‌الامکان با توجه به شرایط مورفولوژی رودخانه‌ها، شرایط غرقابی مناطق سیلاب‌دشت (در صورت وجود) در آن سیل گزارش شده باشد.

از طرف دیگر، یک حوضه یا زیرحوضه فاقد ایستگاه نامیده می‌شود که فاقد معیارهای ذکرشده در بالا باشد. با این وجود تمامی داده‌های در دسترس طوفان‌ها و هیدروگراف‌های هم‌زمان سیل متناظر حوضه تا حد ممکن باید جهت واسنجی مدل بارش - رواناب به کار گرفته شوند. داده‌های حوضه‌های آبریز مجاور نیز در صورت لزوم می‌توانند برای تعمیم پارامترهای واسنجی شده در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرند. اگر هیچ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه موجود نباشد، اما داده‌های

سیل موجود باشند داده‌های بارندگی ایستگاه‌های مجاور مشروط بر اینکه از نظر مقدار بارش و توزیع آن انطباق مناسبی با هیدروگراف سیل ثبت شده داشته باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. قاعده کلی این است که تمام داده‌های محلی به طور بالقوه دارای ارزش هستند و باید برای کاربرد در مراحل واسنجی و اعتباریابی مورد بررسی قرار گیرند.

اگر یک حوضه معیارهای لازم برای حوضه‌های دارای ایستگاه را نداشته باشد، ممکن است بعضی زیرحوضه‌های مجزای آن دارای این معیارها باشند. برای این گونه زیرحوضه‌ها، روش‌های متناسب با حوضه‌های دارای ایستگاه و برای سایر زیرحوضه‌ها، روش‌های حوضه‌های فاقد ایستگاه به کار برده می‌شود. در عمل برای اجتناب از افزایش تعداد حوضه‌های فاقد ایستگاه، معمولاً با در نظر گرفتن حوضه منتهی به اولین ایستگاه هیدرومتری در پایین‌دست محل سد و واسنجی با داده‌های آن ایستگاه، می‌توان پارامترهای حوضه سد را نیز تعیین نمود.

با تعیین اینکه حوضه به عنوان «حوضه دارای ایستگاه» و یا «حوضه فاقد ایستگاه» است، متدولوژی مطالعات برای تعیین هیدروگراف PMF مشخص خواهد شد. در ادامه این بخش الگوی مطالعات بسته به داده‌های در دسترس به طور اجمال توصیف می‌شود:

- داده‌های کافی بارندگی و جریان با کیفیت رضایت‌بخش برای تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی در داخل یا پایین‌دست حوضه سد در دسترس هستند (حوضه دارای ایستگاه). شرح جزییات روش در بخش‌های بعدی آمده است.
- داده‌های ایستگاه هیدرومتری در سیل‌های تاریخی قابل دسترس است، اما داده‌های بارندگی موجود برای واسنجی مدل بارش - رواناب کافی نمی‌باشد. در این صورت، داده‌های بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی مجاور حوضه تحت مطالعه که مربوط به همان طوفان است، برای کاربرد در واسنجی مدل با هیدروگراف‌های سیل‌های تاریخی بررسی می‌گردد.
- داده‌ها برای واسنجی مدل بارش - رواناب کافی نیست. در این مورد مراحل کار برای «حوضه‌های فاقد ایستگاه» مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر هرگونه اطلاعات دیگری برای سیل‌های تاریخی عمده در حوضه قابل دسترس باشد (مانند داغاب و گزارشات غیر رسمی سیل)، از آن‌ها در اعتباریابی نتایج مدل بارش-رواناب استفاده می‌شود.

۴-۵- بررسی و آماده‌سازی سیلاب‌های واسنجی و اعتباریابی در حوضه‌های دارای ایستگاه

۴-۵-۱- انتخاب سیلاب‌های واسنجی و اعتباریابی

داده‌های ثبت شده بارندگی طوفان‌های شدید تاریخی و سیلاب‌های ناشی از آن‌ها برای واسنجی مدل بارش - رواناب باید مورد بررسی قرار گیرند. هیدروگراف‌های سیل ناشی از بارندگی‌های شدید با توزیع نسبتاً یکنواخت مکانی و ثابت زمانی بهترین موارد برای واسنجی مدل محسوب می‌شوند. اگر فقط دبی اوج و زمان رسیدن به اوج موجود باشند،

می‌توان هیدروگراف سیل را با فرض هیدروگراف مثلثی تولید نمود. اگر حداقل داده‌های سه سیل تاریخی در دسترس باشند، دو مورد برای واسنجی و یک مورد برای اعتباریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه براساس سیلاب‌های تاریخی تا زمانی ادامه می‌یابد که بهترین تطبیق یا کم‌ترین خطا بین هیدروگراف شبیه‌سازی شده و هیدروگراف مشاهده‌ای سیل به‌وجود آید. شبیه‌سازی سیل در مرحله اعتباریابی بدون تغییر پارامترهای واسنجی انجام می‌گیرد تا اعتبار مدل واسنجی شده ارزیابی شود.

در حالت ایده‌آل، واسنجی مدل باید در برابر طوفان‌های ثبت شده در فصلی که PMP اتفاق می‌افتد، انجام گیرد. بنابراین در انتخاب سیل‌هایی که برای واسنجی و اعتباریابی به کار می‌روند نقش بارندگی روی ذوب یا انباشت برف باید مورد توجه قرار گیرد. یک سیل همراه با باران روی برف، زمان تاخیر طولانی‌تری نسبت به سیل معادل تولیدشده به‌وسیله باران تنها خواهد داشت. اگر PMP در فصلی اتفاق بیفتد که بیلان برفی قابل توجهی در حوضه وجود داشته و ذوب برف به دلیل افزایش دما اتفاق بیافتد، سیل‌های واسنجی باید شامل سیل‌هایی که به‌وسیله بارش باران و ذوب برف توام به‌وجود آمده‌اند، نیز باشد. در صورتی که PMP در طول فصل تابستان که بیلان برفی تاثیرگذار نیست اتفاق بیافتد، از سیل‌های ناشی از بارش باران به تنهایی استفاده می‌شوند.

۵-۴-۲- آماده‌سازی داده‌های ورودی و پارامترهای مدل

تعیین بارندگی میانگین زیرحوضه‌ها از جمله مراحل اولیه واسنجی و اعتباریابی محسوب می‌گردد. مراحل تهیه نقشه‌های همباران به تفصیل در دستورالعمل «روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای» مورد بحث قرار گرفته است. پس از استخراج نقشه‌های همباران در گام‌های زمانی متوالی در طول تداوم طوفان، به راحتی می‌توان از طریق نرم‌افزارهای GIS نسبت به محاسبه میانگین بارندگی در سطح هر زیرحوضه یا کل حوضه و در هر گام زمانی اقدام نمود.

روش دیگری در مدل HEC-HMS برای محاسبه بارندگی میانگین زیرحوضه‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاهی وجود دارد. در این روش با اختصاص وزن برای هر ایستگاه باران‌سنجی و براساس عمق بارندگی ثبت شده در هر ایستگاه، میانگین بارندگی زیرحوضه توسط مدل محاسبه می‌شود. وزن ایستگاه‌ها از نتایج تحلیل چند ضلعی‌های تیسسن یا روش‌های گرادیان ارتفاع و یا از نتایج واسنجی به‌دست می‌آید.

۵-۴-۳- نقش برف در طوفان‌های واسنجی و اعتباریابی

اگر سیل‌های انتخاب شده در مرحله واسنجی و مرحله اعتباریابی تحت تاثیر بارش و ذوب برف باشند، شبیه‌سازی بارش و ذوب برف در هر گام زمانی بایستی در مدل انجام شود. مساحت و عمق اولیه پوشش برف در ابتدای طوفان‌ها باید معلوم باشد. امروزه یکی از روش‌های معمول در برآورد سطح برف، به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و استخراج سطح برف از آن‌ها می‌باشد.

به منظور فعال‌سازی فرآیند شبیه‌سازی بارش و ذوب برف در مدل HEC-HMS، سری زمانی دمای یک نقطه پایه در حوضه به همراه ارتفاع آن و همچنین گرادیان دما با ارتفاع مورد نیاز است. ملاحظات زیر در این زمینه بایستی مورد توجه قرار گیرد:

- روش درجه - روز برای محاسبات ذوب برف توصیه شده است. در این رابطه، معمولاً ضریب درجه روز باید واسنجی و سپس اعتباریابی گردد.
- پیش فرض مدل HEC-HMS این است که بارش در مناطق ارتفاعی متناظر با دمای حدود یک درجه سانتی‌گراد یا بیش‌تر به صورت باران و در ارتفاعات بالاتر به صورت برف خواهد بود. در این رابطه، مطالعات معدودی نشان می‌دهد که دمای $2/4$ درجه سانتی‌گراد در زاگرس غربی برای دمای آستانه مناسب است. ولی دمای آستانه تفکیک ریزش باران و برف را حتی می‌توان واسنجی کرد.

۵-۴-۴- جداسازی دبی پایه

جداسازی دبی پایه از هیدروگراف‌های سیل‌های واسنجی و اعتباریابی به چند روش متفاوت انجام می‌گیرد که هیچکدام از آن‌ها دقیق نمی‌باشند. در روش‌های موجود در مدل HEC-HMS عوامل یا پارامترهایی دخالت دارند که باید از داده‌های سیل‌های ثبت شده استخراج شوند و به صورت ورودی جهت جداسازی رواناب مستقیم و جریان پایه مورد استفاده قرار گیرند. این عوامل و پارامترها عبارتند از:

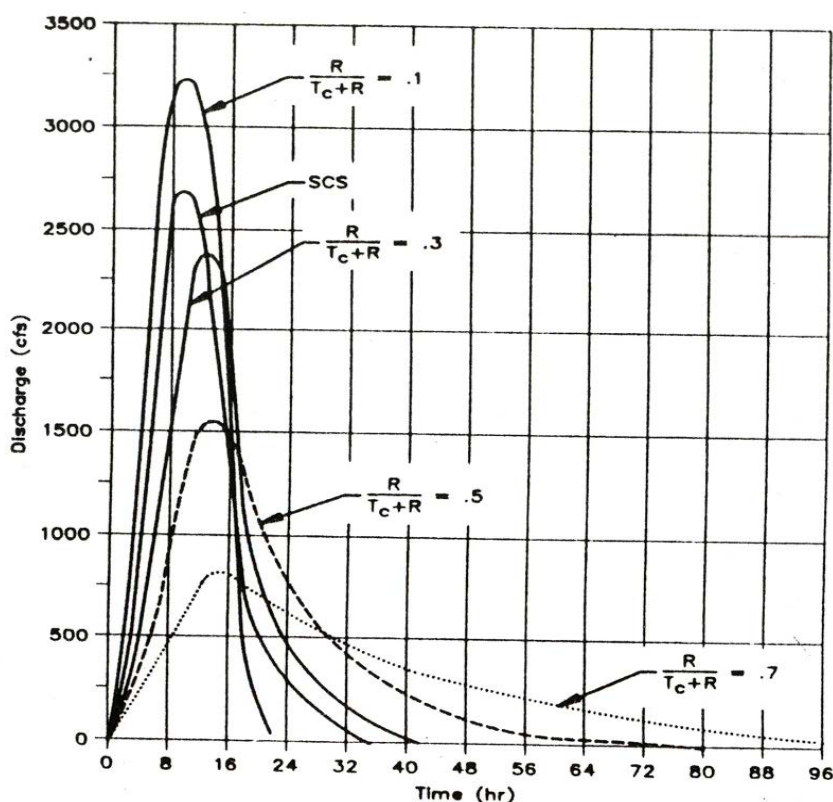
- دبی در ابتدای هیدروگراف رواناب (STRTQ : Starting Flow)
- دبی در زمان توقف رواناب مستقیم یا به عبارتی دبی در نقطه عطف شاخه نزولی هیدروگراف (QRCSN: Recession Threshold)
- ضریب فروکش (RTIOR: Recession Constant)

دو مورد اول براساس شکل هیدروگراف مشاهده‌ای تعیین می‌شود و تنها پارامتر سوم (RTIOR) را می‌توان طی مراحل سعی و خطا با مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسبه‌ای تعیین کرد و یا به روش زیر برآورد نمود. ابتدا لگاریتم دبی‌های ثبت شده در بخش پایین‌رونده هیدروگراف در مقابل زمان با گام زمانی یک ساعته ترسیم می‌گردد (منحنی نیمه لگاریتمی). QRCSN معادل دبی در نقطه شکست نمودار قسمت پایین رونده است و RTIOR برابر شیب بخش انتهایی نمودار در نظر گرفته می‌شود. باید توجه داشت که انتخاب QRCSN و RTIOR می‌تواند نقش مهمی در مشخصات هیدروگراف واحد و پارامترهای نفوذ حوضه به‌ویژه برای پارامترهای نفوذ رواناب ناشی از ذوب برف داشته باشد.

۵-۴-۵- زمان تمرکز و ضریب ذخیره حوضه‌ها

از نظر تئوری، زمان تمرکز معادل زمانی است که کل سطح حوضه در تولید رواناب خروجی مشارکت می‌نماید. زمان تمرکز (T_c) به صورت گرافیکی، معادل زمان بین پایان بارندگی خالص و نقطه عطف قسمت پایین‌رونده هیدروگراف رواناب

مستقیم می‌باشد. ضریب ذخیره (R) ضریبی است که تاثیر ذخیره در حوضه را بر روی کاهش دبی اوج (مشابه تاثیر یک مخزن) منعکس می‌کند. مقدار R را از روش گرافیکی می‌توان با تقسیم مقدار دبی بر نرخ تغییرات دبی با زمان $[Q/(dQ/dt)]$ در نقطه عطف شاخه پایین‌رونده هیدروگراف رواناب مستقیم به دست آورد. نسبت $R/(T_c+R)$ مقدار تقریباً ثابتی را برای حوضه‌های آبریز مشابه به لحاظ هیدرولوژیکی در یک منطقه به خود اختصاص می‌دهد. مقادیر R و T_c را می‌توان از روش‌های تجربی یا هیدرولیکی برآورد نمود و جهت شبیه‌سازی‌های بعدی توسط مدل HEC-HMS به کار گرفت. از طرف دیگر می‌توان با توجه به مشاهدات ثبت شده بارش و سیل، مقادیر $R/(T_c+R)$ و T_c را واسنجی کرد. مدل HEC-HMS همچنین می‌تواند مقادیر جداگانه R و T_c را برای زیرحوضه‌ها واسنجی کند که باید آن مقادیر بعد از واسنجی با مشخصات زیرحوضه‌ها تطابق داده شوند. اگر بین مقادیر واسنجی شده و مقادیر حاصل از فرمول‌های تجربی یا هیدرولیکی تطابق خوبی وجود داشته باشد، مقدار $R/(T_c+R)$ در شبیه‌سازی‌های بعدی هیدروگراف، ثابت در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۱-۵) تغییر شکل هیدروگراف سیلاب با تغییر نسبت فوق نشان داده شده است.



شکل ۱-۵ - تغییر شکل هیدروگراف به ازای مقادیر مختلف نسبت $R/(T_c+R)$

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی مقادیر واسنجی شده T_c توسط مدل HEC-HMS، مقایسه آن با فاصله زمانی بین پایان بارندگی خالص و نقطه عطف شاخه پایین‌رونده هیدروگراف برای هیدروگراف سیل واسنجی می‌باشد. اگر مقدار T_c واسنجی شده به طور معناداری با مقادیر حاصل از هیدروگراف مشاهده‌ای تفاوت داشته باشد، هر دو مقدار مجدداً بازبینی

می‌شوند. به عنوان یک منبع احتمالی خطا در داده‌های بارش و سیل در کشور، تطابق زمانی داده‌های ثبت شده دبی و بارندگی باید به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی و قضاوت راجع به T_C واسنجی شده به کمک روابط نیمه هیدرولیکی نیز می‌تواند انجام شود. زمان تمرکز را می‌توان حاصل تقسیم طول در مسیر دورترین نقطه حوضه تا خروجی در امتداد حرکت جریان بر سرعت موج دانست. سرعت میانگین جریان در کانال‌ها را می‌توان به کمک معادله مانینگ برآورد نمود. مقادیر ضریب مانینگ (n) توسط USGS (1988) پیشنهاد شده است. زمان حرکت موج را می‌توان با تقسیم طول هر قسمت یکنواخت از نظر شیب و زبری به سرعت متوسط جریان ضربدر عدد $1/5$ به دست آورد. عدد $1/5$ نسبت تقریبی سرعت موج (سینماتیک) به سرعت متوسط جریان برای مقاطع عریض پیشنهاد شده است.

۵-۴-۶- توزیع زمانی بارش

توزیع زمانی بارندگی میانگین زیرحوضه‌ها به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل بارش - رواناب در مراحل واسنجی و اعتباریابی محسوب می‌شود. توزیع بارندگی میانگین زیرحوضه براساس توزیع زمانی نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنج ثبات انجام می‌گیرد. با ترسیم چندضلعی‌های تیسن می‌توان محدوده تاثیر هر ایستگاه ثبات در منطقه را تعیین نمود و برای هر زیرحوضه توزیع زمانی بارش‌ها را مشخص کرد.

حداکثر گام زمانی بارندگی معادل نباید از $T_L/5.5$ بزرگ‌تر باشد که T_L معرف زمان تاخیر زیرحوضه است. این محدودیت دقت کافی در تعیین هیدروگراف واحد و هیدروگراف سیل را منظور می‌کند.

۵-۴-۷- برآورد نفوذ

مدل HEC-HMS چندین روش تلفات را ارائه می‌دهد که مهم‌ترین آنها شامل عدد منحنی (CN)، تلفات اولیه و نرخ یکنواخت، معادله گرین - آمپت و تابع تلفات توانی می‌باشند. قدیمی‌ترین روش به کار گرفته در محاسبات PMF بر اساس تلفات اولیه و نرخ یکنواخت به صورت میانگین کل حوضه می‌باشد. ولی بسیاری از مطالعات اکنون از روش عدد منحنی یا معادله گرین - آمپت استفاده می‌کنند. معادله گرین - آمپت براساس کاهش نرخ نفوذ به یک نرخ نفوذ ثابت معادل هدایت هیدرولیکی خاک‌های اشباع عمل می‌نماید و پارامترهای تابع تلفات نمایی کاملاً براساس واسنجی تجربی بنا نهاده شده‌اند. اگر از روش عدد منحنی استفاده شود، شرایط رطوبت اولیه (AMC^1) براساس بارش‌های قبل از طوفان واسنجی به دست می‌آید. مقدار CN بر مبنای خصوصیات نوع خاک و کاربری زمین و شرایط هیدرولوژیکی تعیین می‌گردد. روش تلفات عدد منحنی می‌تواند برای هر دو حالت توزیعی یا میانگین زیرحوضه به کار گرفته شود.

باید توجه داشت که شرایط اولیه برای وقوع PMF، از شرایط اولیه‌ی زمان وقوع سیل‌های گذشته متفاوت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در سیل‌های واسنجی و اعتباریابی، نقش تلفات اولیه و تغییرات تدریجی نرخ نفوذ بارز خواهد بود. در این حالت به‌نظر می‌رسد روش عدد منحنی، برتری نسبی نسبت به روش تلفات اولیه و نرخ یکنواخت از نظر شرایط واقعی سیل‌های واسنجی و اعتباریابی داشته باشد. در روش عدد منحنی، رطوبت اولیه و تلفات اولیه را می‌توان با انعطاف کافی در مرحله شبیه‌سازی PMF مطابق آنچه در فصل بعدی به آن اشاره خواهد شد، تنظیم نمود. در برخی مطالعات PMF انجام شده در کشور از روش‌های تجربی دیگر نظیر روش نفوذنمایی نیز استفاده شده است. روش نفوذنمایی به دلیل دارا بودن پارامترهای بیش‌تر نسبت به روش عدد منحنی، ممکن است فرآیند نفوذ را در حوضه‌هایی که داده‌های مناسبی دارند، بهتر شبیه‌سازی کند. به دلیل ماهیت تجربی این روش، درک کامل کارشناسی از ترکیب مقادیر پارامترها با توجه به خصوصیات حوضه وجود ندارد. در هر حال همواره توصیه می‌شود حتی‌الامکان سیل‌های مراحل واسنجی و اعتباریابی بخش بزرگی از دشت سیلابی رودخانه‌ها را پر کرده باشند و یا در شرایط رطوبت اولیه بالا در بیش‌تر حوضه اتفاق افتاده باشند.

نرخ تلفات ثابت که براساس سیل‌های گذشته واسنجی می‌شود، باید با میزان نفوذ نهایی خاک زیرحوضه مقایسه گردد. این مقایسه سبب ایجاد اطمینان بیش‌تر به مقادیر واسنجی شده توسط مدل می‌شود. در ادامه نکاتی در زمینه برآورد نفوذ به روش‌های توزیعی بیان می‌گردد. استفاده از پارامترهای میانگین تلفات حوضه به‌ویژه برای حوضه‌های آبریز بزرگ با تغییرات مکانی زیاد می‌تواند نتایج غیر دقیقی را به دست دهد. با فراهم شدن هر چه بیش‌تر اطلاعات مکانی زمینی و پیشرفت تکنولوژی کامپیوتری، شبکه‌های گسسته‌سازی حوضه‌ها بیش‌تر از پیش در تحلیل‌های هیدرولوژیکی به‌کار گرفته می‌شود. استفاده از سیستم شبکه‌ها اجازه خواهد داد که یک مدل با جزئیات بیش‌تر از فرآیندهای هیدرولوژیکی نسبت به حالت با مقادیر میانگین عمل نماید. برنامه کامپیوتری HEC-GeoHMS با کمک اتصال به نرم‌افزار GIS می‌تواند داده‌های مکانی را به مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS انتقال دهد.

عواملی که در ایجاد رواناب حاصل از بارندگی در داخل یک حوضه آبریز تاثیر می‌گذارند شامل نوع و عمق خاک‌ها، پوشش زمین و میزان خاک‌های اشباع می‌باشند. تئوری «سطح جزئی» که در حال حاضر به صورت کلی به عنوان یک مکانیزم برای تولید رواناب در حوضه‌های آبریز طبیعی پذیرفته شده است، بیان می‌کند که تنها قسمتی از حوضه آبریز در ایجاد رواناب مستقیم در خلال طوفان‌های متوسط کوچک مشارکت می‌کند. بزرگی و موقعیت قسمت مولد رواناب یا «سطح مشارکت» در نتیجه تعیین وسعت و محل خاک‌های اشباع شده در حوضه، تغییر می‌نماید.

شرایط پیچیده فیزیکی حوضه آبریز استفاده از یک تابع ثابت زمانی و یکنواخت مکانی برای نرخ نفوذ در طول کلیه طوفان‌ها را با مشکل روبرو می‌کند. با توجه به این نکته، میانگین نرخ موثر تلفات حوضه برابر با میانگین نرخ واقعی تلفات حوضه خواهد بود. در صورتی که شدت بارندگی حداقل به بزرگی بیش‌ترین نرخ تلفات توزیعی واحدهای هیدرولوژیکی حوضه باشد، برای شدت بارندگی کم‌تر از بزرگ‌ترین نرخ تلفات توزیعی، نرخ موثر میانگین تلفات حوضه همیشه بزرگ‌تر از میانگین نرخ واقعی تلفات حوضه خواهد بود. بنابراین استفاده از میانگین نرخ تلفات حوضه که برای یک واقعه واسنجی شده باشد، ممکن است نرخ تلفات و در نتیجه میزان رواناب واقعه دیگری با شدت بارندگی متفاوت را نتواند به‌درستی پیش‌بینی نماید.

بعید است میانگین نرخ موثر تلفات حوضه برای یک طوفان متوسط (به عنوان مثال، یک طوفان ۵ یا ۱۰ ساله) شباهتی به طوفان ۱۰۰ ساله و یا PMP داشته باشد. توجه شود که مراجع استاندارد تخمین نرخ‌های تلفات با در دست داشتن مشخصات خاک برای رگبارهای معمولی آزمون شده‌اند و لذا برای رگبارهای مشابه از نظر شدت، جواب مناسب می‌دهند. اما ممکن است میزان رواناب طوفان‌های بزرگ‌تر، مانند PMP، را نتوانند به درستی پیش‌بینی نمایند.

به‌کارگیری روش تلفات توزیعی از مشکلات خاص مربوط به میانگین‌گیری مکانی اجتناب می‌کند. برخی فرضیات هنوز لازم است در این رابطه در نظر گرفته شوند: (۱) هر کلاس از خاک یک نرخ از تلفات را به عنوان نماینده دارد و (۲) نرخ‌های مناسب تلفات برای کلاس‌های ترکیب پوشش زمین و خاک می‌تواند از نقشه‌ها یا داده‌های منتشرشده به دست آید (مانند جدول CN). یک مشکل روش توزیعی این است که اگر یک مدل نرخ تلفات توزیعی به وسیله یک واقعه مشاهده‌ای اعتبارسنجی شود، ولی میزان پیش‌بینی شده در حدود دقت مجاز نباشد، هیچ پارامتر منفردی وجود ندارد که تغییر آن تطبیق بهتری را ایجاد نماید. در هر حال توصیه می‌شود در صورتی که نقشه‌های پوشش (کاربری اراضی) و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در دسترس باشند از روش توزیعی شماره منحنی در مراحل واسنجی و اعتباریابی مدل و سپس در پیش‌بینی PMF استفاده گردد.

۵-۵- واسنجی مدل

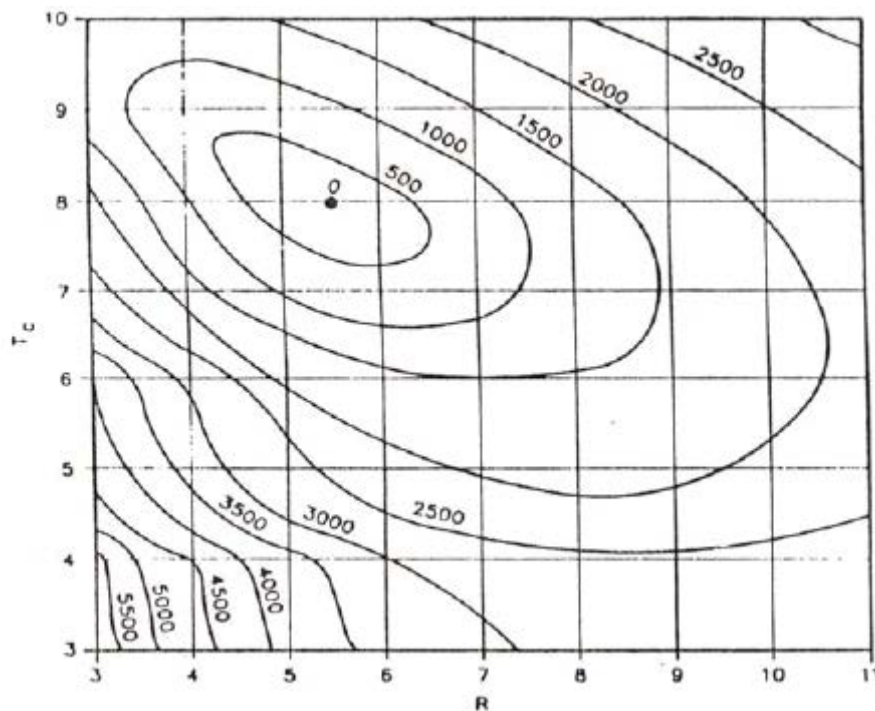
پارامترهای مدل بارش - رواناب باید برای هر سیل تاریخی انتخاب شده، واسنجی گردد. روش کار به نحوه تقسیم‌بندی حوضه و تعداد ایستگاه‌های ثبات هیدرومتری در حوضه بستگی دارد. تخمین دبی اوج سیل به مقدار زمان تمرکز بسیار حساس است. همچنین شکل هیدروگراف واحد بر مبنای بزرگی واقعه سیل می‌تواند تغییر کند. بنابراین برای حصول بهترین نتیجه، هیدروگراف واحد باید حتی‌الامکان برای سیل‌هایی که بخش اعظم دشت سیلابی رودخانه‌های حوضه را در بر گرفته است، واسنجی گردد. در حالت کلی، سیل‌های با دوره بازگشت ۲ سال یا کم‌تر غالباً در داخل مقطع عرضی آبراهه، سیل‌های ۱۰ تا ۲۰ ساله بخش‌هایی از دشت سیلابی و سیل‌های ۵۰ تا ۱۰۰ ساله قسمت‌های اعظمی از دشت‌های سیلابی یا ذخیره بالایی دره‌ها را اشغال می‌کند. باید در نظر داشت که هیدرولیک دبی عبوری از دشت سیلابی با دبی داخل مقطع عرضی آبراهه به دلیل افزایش زبری متفاوت می‌باشد.

منابع خطای متعددی بر هیدروگراف واحد واسنجی شده تاثیر دارند. نتیجه واسنجی به اعتبار روش برآورد بارندگی میانگین زیرحوضه، توزیع زمانی بارندگی زیرحوضه و انتخاب روش نفوذ بستگی دارد. توزیع زمانی و یا مکانی فرض شده بارندگی ممکن است به دلیل خطاهای تنظیم ساعت مابین ایستگاه‌ها یا به دلیل تعداد ناکافی ایستگاه‌های ثبات باران، دچار خطا باشد. به ازای یک توزیع زمانی معین بارندگی، میزان بارش خالص برای یک گام زمانی مشخص، به انتخاب روش نفوذ نیز بستگی دارد. بدیهی است که ساده‌سازی‌هایی که در فرآیند واسنجی در مورد توزیع زمانی و مکانی انجام می‌گیرد، شبیه‌سازی سیل‌های بزرگ بعدی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

چون به طور معمول حوضه آبریز به تعدادی زیرحوضه تقسیم می‌شود، هیدروگراف هر زیرحوضه محاسبه شده و روندیابی در شبکه رودخانه‌ها برای توسعه هیدروگراف خروجی کل حوضه انجام می‌پذیرد. برای زیرحوضه‌هایی که دارای وقایع ثبت شده بارش - رواناب در خروجی خود باشند، بهینه‌سازی پارامترهای هیدروگراف به شکل زیر انجام می‌گیرد. سری‌های ورودی بارندگی و هیدروگراف‌های نظیر آن‌ها برای واسنجی پارامترها به مدل وارد می‌شوند. مقدار $R/(T_c+R)$ از مقادیر T_c و R برآورد شده توسط روش‌های گرافیکی، تجربی یا نیمه‌هیدرولیکی به دست می‌آید و یا اینکه در این مرحله واسنجی می‌گردد. نسبت مورد نظر معمولاً ثابت فرض می‌شود. در صورت واسنجی این پارامترها، برای هر هیدروگراف مقادیر واسنجی شده T_c ، R و پارامترهای نفوذ باید با مقادیر تخمینی از سایر منابع مقایسه گردد.

اگر هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی با هیدروگراف‌های ثبت شده همخوانی خوبی داشته باشند، دیگر تغییری در پارامترهای مدل نیاز نخواهد بود. لیکن اگر دبی اوج شبیه‌سازی بسیار کم باشد و یا شکل هیدروگراف مناسب نباشد و یا مقادیر واسنجی شده R یا T_c تفاوت زیادی با تخمین‌های اولیه داشته باشند، باید پارامترهای ورودی مجدداً برآورد شوند و مدل مجدداً در مرحله واسنجی اجرا گردد. این عملیات تا زمانی که برازش بین هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و ثبت شده حاصل شود، ادامه می‌یابد. باید توجه داشت که به طور معمول بیش از یک دسته منحصر بفرد از پارامترهای مدل برای تطبیق هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی وجود دارد که ممکن است در مرحله واسنجی هر یک از این دسته پارامترها کشف گردد.

در مدل‌های بارش - رواناب که قابلیت واسنجی خودکار وجود دارد، از روش‌های بهینه‌سازی برای تخمین پارامترهای هیدروگراف واحد استفاده می‌شود. به عنوان مثال در مدل HEC-HMS، مقدار تابع هدف که حاصل اختلاف مقادیر دبی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای است، با دو پارامتر هیدروگراف واحد (یعنی R و T_c) تعیین می‌شود و ترکیب T_c و R که کم‌ترین خطای محاسباتی را داشته باشد، به عنوان نقطه بهینه انتخاب می‌شود. نمونه‌ای از خطوط هم تراز تابع هدف برای دو پارامتر هیدروگراف واحد در شکل (۵-۲) نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که در صورت تمایل به استفاده از واسنجی خودکار توصیه می‌شود، ابتدا محدوده اولیه پارامترها به روش دستی تعیین شوند و سپس واسنجی خودکار برای تعیین دقیق آن‌ها فعال گردد.



شکل ۵-۲- نمونه‌ای از خطوط هم‌تراز تابع هدف در مقادیر TC و R در فرآیند واسنجی خودکار

اگر مقادیر دبی ثبت شده در خروجی برخی یا کلیه زیرحوضه‌ها موجود نباشد، هیدروگراف‌های واحد این زیرحوضه‌ها از طریق روش حوضه‌های فاقد ایستگاه تخمین زده می‌شود و سپس واسنجی مجموعه آن‌ها در محل اولین ایستگاه پایین انجام می‌پذیرد. برای زیرحوضه‌های کوچک‌تر از حدود ۶۰ کیلومتر مربع، هیدروگراف مصنوعی بی‌بعد SCS که فقط نیاز به تخمین زمان تاخیر دارد، به کار گرفته می‌شود. برای زیرحوضه‌های بزرگ‌تر هیدروگراف واحد به روش بخش ۵-۶ توسعه می‌یابد.

روش روندیابی ماسکینگام - کانج، به صورتی که در مدل HEC-HMS آمده است، جهت روندیابی هیدروگراف خروجی زیرحوضه‌ها در طول شبکه آبراهه‌ها توصیه شده است. در این روش لازم است مقاطع عرضی آبراهه‌ها برداشت شده باشند. ضریب زبری مانینگ بر اساس مشاهدات میدانی تخمین زده می‌شود. دقت ویژه‌ای در انتخاب مقادیر مناسب ضریب زبری دشت سیلابی باید اعمال گردد. در روش روندیابی ماسکینگام - کانج، هر مقطع عرضی با حداکثر ۸ نقطه تعریف می‌گردد. این روش تاثیر پس‌زدگی آب را در نظر نمی‌گیرد و برای حالاتی که کاهش دبی در اثر پس‌زدگی اوج مورد انتظار است، نباید مورد استفاده قرار گیرد. مناسب‌ترین شرایط برای کاربرد این روش، هیدروگراف‌های با حداقل اثر کاهش دبی اوج در طول رودخانه‌ها می‌باشد. زمانی که هدف، شبیه‌سازی دقیق کاهش دبی اوج باشد، روندیابی موج دینامیک توصیه می‌شود (مثل زمانی که عرض رودخانه منبسط یا منقبض می‌شود و یا ذخیره طبیعی وجود دارد).

واسنجی مدل تا محل آخرین ایستگاه هیدرومتری موجود در امتداد شبکه رودخانه‌ها، که در نزدیکی محل سد وجود دارد، انجام می‌گیرد. تطبیق هیدروگراف‌های واسنجی شده با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای در صورت لزوم با تغییر پارامترهای روندیابی رودخانه‌ها و مهم‌تر از آن تغییر پارامترهای هیدروگراف‌های واحد زیرحوضه‌های فاقد ایستگاه صورت می‌پذیرد.

با توجه به اینکه در فرآیند واسنجی کلیه پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه نظیر پارامترهای نفوذ، هیدروگراف واحد و ذوب برف به صورت توأمان با توجه به طوفان‌های مشاهده‌ای باید تعیین گردند، معمولاً توصیه می‌شود که به صورت مرحله‌ای، یکی از پارامترهای مدل پس از هر مرحله واسنجی در طوفان‌های مختلف متغیر و سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شود. مراحل واسنجی تا زمانی که تمامی پارامترهای مدل بارش - رواناب ثابت در نظر گرفته شود، ادامه می‌یابد. تقدم و تاخر پارامترها در مدل‌های مختلف بارش - رواناب می‌تواند متفاوت باشد. توسعه‌دهندگان مدل‌ها معمولاً توصیه‌هایی برای این موضوع دارند. به طور معمول، ابتدا سعی می‌شود پارامترهای نفوذ برای تطبیق تقریبی حجم هیدروگراف تنظیم شوند و سپس پارامترهای هیدروگراف واحد و روندیابی رودخانه برای تطابق دبی و زمان واسنجی شوند. البته همواره شرایط در عمل به گونه‌ای است که رفت و برگشت بین مراحل واسنجی و بین طوفان‌های واسنجی اجتناب‌ناپذیر است.

۵-۶- اعتباریابی مدل

پس از پایان مرحله واسنجی، مدل با حداقل یک واقعه بارش - رواناب دیگر اعتباریابی می‌شود. در صورتی که مدل بدون تغییر در پارامترهای واسنجی شده بتواند با دقت قابل قبول هیدروگراف‌های مشاهده‌ای در محل ایستگاه‌های هیدرومتری را بازسازی نماید، مجموعه مدل قابل قبول است. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف اعتباریابی از طریق ترسیم یک نمودار ترسیمی جهت مقایسه همزمان هیدروگراف‌ها انجام می‌پذیرد. فرآیند اعتباریابی تا حصول بهترین برازش باید ادامه یابد. در صورت تطابق ضعیف در مرحله اعتباریابی، فرآیند واسنجی مجدداً با تغییر پارامترهای واسنجی تکرار می‌شود.

۵-۷- شبیه‌سازی (زیر) حوضه(های) فاقد ایستگاه

هیدروگراف‌های حوضه‌های فاقد ایستگاه با انتخاب یکی از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی شبیه‌سازی می‌گردد. در این رابطه، با توجه به اینکه در کشور مطالعات منطقه‌ای که در آن‌ها روابط بین پارامترهای هیدروگراف مصنوعی و خصوصیات حوضه‌ها توسعه یافته باشند وجود ندارد، تنها گزینه مناسب به کارگیری یکی از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی به‌ویژه اشنایدر، کلارک یا SCS است. برای حوضه‌های آبریز کوچک‌تر از حدود ۶۰ کیلومتر مربع، هیدروگراف واحد بدون بعد SCS قابل قبول است. برای حوضه‌های بزرگ‌تر، روش کلارک و یا نسخه‌های جدید آن تحت نام کلارک اصلاح شده در مدل HEC-HMS توصیه می‌گردد.

در این حالت مقادیر اولیه پارامترهای روش انتخابی بر مبنای تجارب حوضه‌های دیگر استخراج می‌گردد و در طی مراحل واسنجی برای اولین ایستگاه هیدرومتری که پایین دست زیرحوضه فاقد ایستگاه قرار دارد، بهینه‌سازی می‌گردند.

فصل ٦

تبدیل حداکثر بارش محتمل به

حداکثر سیل محتمل

۶-۱- کلیات

در بخش قبلی مراحل آماده‌سازی، واسنجی و اعتباریابی یک مدل بارش - رواناب تشریح گردید. مدل بارش - رواناب شامل یک هیدروگراف واحد معرف برای حوضه‌های ساده و برای حوضه‌های بزرگ، ترکیبی از هیدروگراف‌های واحد برای زیرحوضه‌ها و روندیابی در شبکه رودخانه‌ای می‌باشد. شبیه‌سازی سیکل هیدرولوژی نیازمند تعیین توزیع زمانی و مکانی بارش، تعیین ذخیره برفی حوضه قبل از بارش، نفوذ، رواناب ناشی از ذوب برف، رواناب سطحی ناشی از باران خالص بر نفوذ، اثر مخازن ذخیره سطحی و همچنین تخلیه از آب‌های زیرزمینی به رودخانه‌ها است. این بخش مجموعه توصیه‌های لازم جهت محاسبه PMF را ارائه می‌کند که شامل ویژگی‌های PMP، شرایط اولیه، محاسبه میزان ذوب برف، جریان پایه و روندیابی رودخانه می‌باشد. همچنین چگونگی تعدیل پارامترهای مدل واسنجی شده برای شرایط PMF و آنالیز حساسیت PMF در انتها ارائه گردیده است.

۶-۲- اخذ ویژگی‌های حداکثر بارش محتمل و توزیع زمانی و مکانی آن

تعیین مشخصات PMP در حوضه مورد مطالعه جهت محاسبه PMF ضروری می‌باشد. به همین منظور چهار مشخصه عمق، تداوم، توزیع مکانی و الگوی توزیع زمانی PMP در ذیل تشریح شده است. با تعیین الگوهای مکانی و زمانی PMP می‌توان طوفان طراحی PMS را استخراج نمود.

نکته مهم: توصیه شده که شرایط مختلف و ترکیبات متفاوتی برای تولید حداکثر دبی یا حجم PMF در نظر گرفته شود. بنابراین علاوه بر PMP بحرانی حاصل از بیشینه‌سازی طوفان‌ها در روش Project-Specific PMP، PMP‌های حاصل از تحلیل DAD‌های فصلی در روش موسوم به Generalized PMP باید حتی‌الامکان استخراج و شبیه‌سازی شوند.

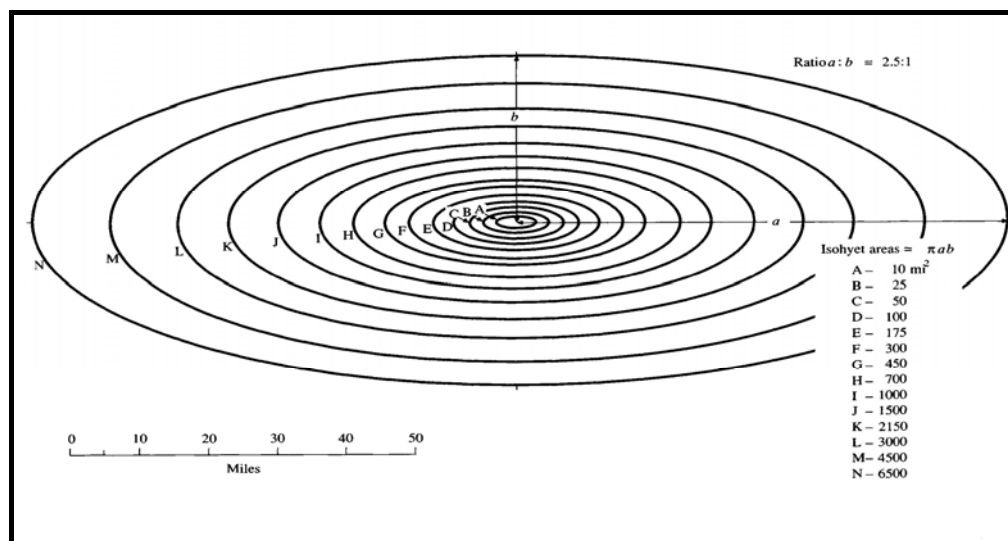
۶-۲-۱-۱- عمق و تداوم حداکثر بارش محتمل

در تخمین PMF باید PMP‌های حاصل از طوفان‌های محلی و منطقه‌ای به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. یک طوفان محلی، طوفانی است که منطقه نسبتاً کوچکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. طوفان‌های محلی با مدت زمان کوتاه و شدت زیاد می‌توانند یک PMF بحرانی برای سدهای واقع در حوضه‌های کوچک (تا حدود ۱۵۰۰ کیلومتر مربع)، یا در حالتی که سطح آب پشت سد در اواخر بهار و ماه‌های تابستان بالا باشد (به واسطه نصب فیوزپلاگ‌ها^۱، یا بستن دریچه‌های سرریز) تولید نمایند. علاوه بر این PMP محلی ممکن است برای حوضه‌های بزرگ‌تر با شکل‌های غیر معمول نیز حایز اهمیت باشد. معمولاً PMF تولید شده به وسیله یک طوفان با تداوم زیاد منطقه‌ای پس از روندیابی باعث افزایش سطح آب مخزن گردیده و بیش‌ترین جریان خروجی سرریز را تولید می‌نماید. تداوم بحرانی PMP بستگی به وسعت

حوضه آبریز دارد که در حوضه‌های آبریز بزرگ کشور این تداوم از ۱ تا ۷ روز شناسایی شده است. تداوم بحرانی پس از تبدیل PMP با تداوم‌های مختلف به PMF‌های نظیر و روندیابی سیل در مخزن و محاسبه حداکثر دبی خروجی از سرریز تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر عمق بارش در تداوم‌های مختلف از گزارش محاسبه حداکثر بارش محتمل در حوضه مورد مطالعه استخراج می‌گردد.

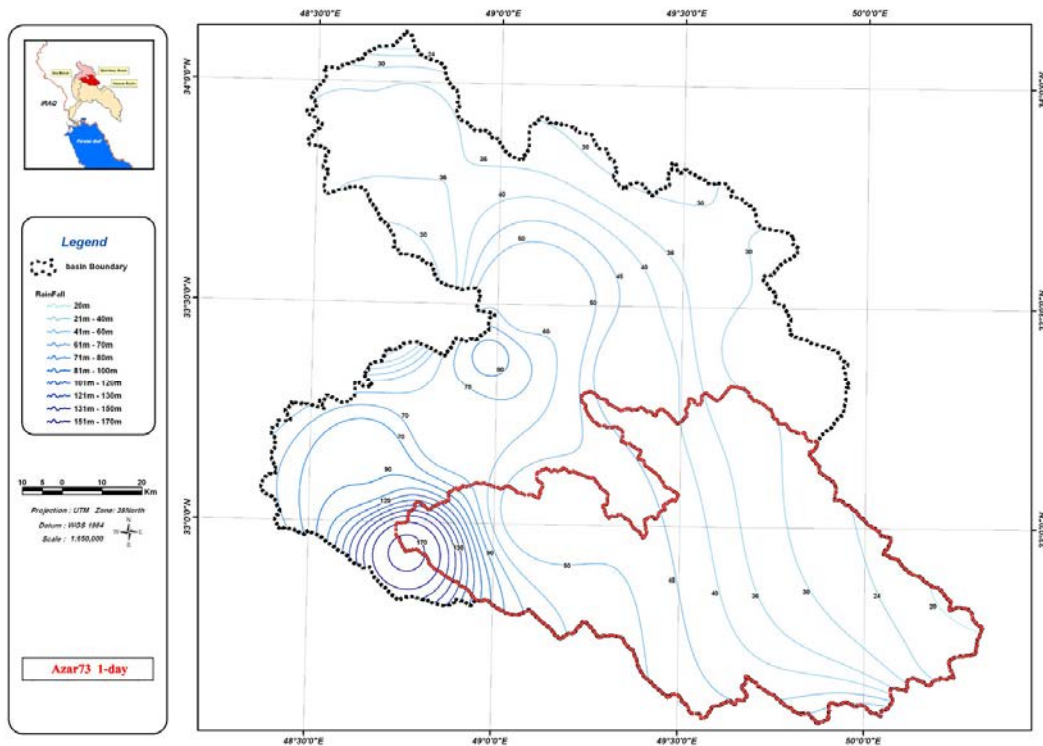
۶-۲-۲- توزیع مکانی

برای شبیه‌سازی PMF، میانگین بارش زیرحوضه‌ها باید برای مدل تعریف شود. این امر مستلزم تعیین توزیع مکانی PMP در حوضه است. امکان دارد به دلیل عدم وجود داده‌های کافی بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی، ترسیم نقشه‌های همباران برای برخی طوفان‌های مشاهداتی امکان‌پذیر نباشد. در هر حال اگر نقشه‌های همباران برای یکی از طوفان‌های حداکثر مشاهده‌ای موجود باشد می‌توان از الگوی بدون بعد آن جهت تعیین توزیع مکانی PMP، بر اساس حاصل ضرب نقشه بدون بعد در عمق PMP به دست آمده، استفاده نمود. ممکن است توزیع مکانی طوفان‌های خاص یا حدی به دلیل خصوصیات منحصر به فرد از الگوی طوفان‌های معمول تبعیت نمایند. به این دلیل برخی منابع مانند (FERC 2001) پیشنهاد می‌کنند که نقشه‌های همباران بیضوی تولیدشده توسط سازمان هواشناسی آمریکا در گزارش هیدرومتئورولوژی شماره ۵۲ (NWS, 1982) برای مناطق با اقلیم مشابه با مناطق شرقی نصف‌النهار ۱۰۵ درجه در آمریکا استفاده گردد. در شکل (۶-۱) خطوط همباران بیضوی نشان داده شده است. الگوی طوفان بر روی حوضه باید به نحوی تصحیح شود که حداکثر بارش بر روی حوضه اتفاق افتد. به طور کلی جهت تحقق این امر باید بیش‌ترین بارش (هسته طوفان) به طور تقریبی در مرکز حوضه قرار گیرد و الگوی بارش به نحوی در نظر گرفته شود که بزرگ‌ترین گستره ممکن از حوضه توسط خطوط همباران با بیش‌ترین عمق بارش تحت پوشش قرار گیرد. انجام آنالیز حساسیت جهت تعیین مرکز بحرانی PMS ضروری می‌باشد. عموماً یک طوفان در مرکز حوضه بیش‌ترین میزان PMF را تولید خواهد کرد.



شکل ۶-۱- نمونه‌ای از خطوط همباران بیضوی

توصیه: در ایران، به جای الگوی شکل (۶-۱)، توزیع مکانی PMP به‌ویژه در حوضه های مناطق کوهستانی براساس توزیع مکانی طوفان‌های شدید به‌وقوع پیوسته در منطقه در نظر گرفته شود. در حالت کلی بحرانی‌ترین توزیع مکانی PMP در طی فرآیند آنالیز حساسیت شناسایی می‌شود. در شکل (۶-۲) نمونه‌ای از توزیع مکانی یک روزه یک طوفان شدید در حوضه سد بختیاری نشان داده شده است. حتی می‌توان الگوی مکانی بارش سالانه را به‌کار گرفت. اگر داده کافی جهت تعیین الگوی همباران وجود نداشته باشد، ممکن است یک توزیع یکنواخت برای سرتاسر حوضه در نظر گرفته شود که در این زمینه روش توصیه شده USBR که کاهش پی‌درپی^۱ نامیده می‌شود می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از تکنیک کاهش پی‌درپی، که طوفان را بر روی حوضه متمرکز می‌کند، برای مناطق کوهستانی غرب آمریکا توصیه شده است.

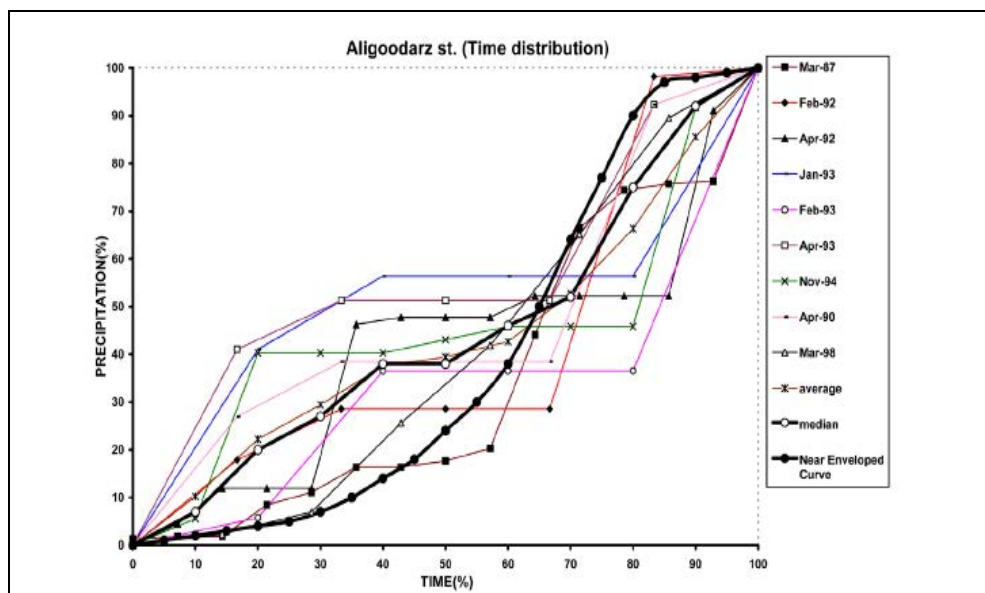


شکل ۶-۲- منحنی‌های همبارش تداوم یک روزه یک طوفان شدید در حوضه سد بختیاری

۶-۲-۳- توزیع زمانی PMP

در روند تبدیل PMP به PMF که با استفاده از مدل‌های بارش - رواناب انجام می‌گیرد، شناخت الگوی توزیع زمانی بارندگی، یکی از نیازهای مهم و اساسی می‌باشد. الگوی توزیع زمانی اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی شکل و مقدار دبی اوج هیدروگراف دارد. به‌طور کلی اگر بیش‌ترین مقدار بارش در ابتدای طوفان قرار گیرد، دبی اوج رواناب حداقل خواهد شد، زیرا بالاترین میزان نفوذ و تلفات اولیه در ابتدای بارش قرار دارد. روش‌های متفاوتی برای تعیین توزیع زمانی PMP

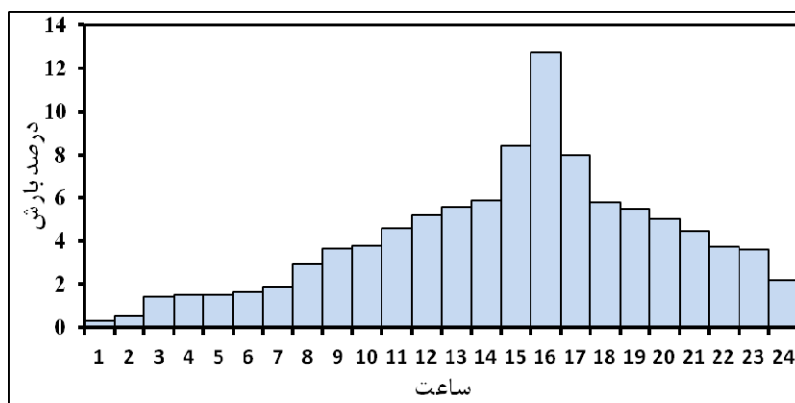
پیشنهاد شده است که در این بین روش منحنی پوش عمق - زمان کاربرد وسیعی دارد. در این روش داده‌های مشاهده‌ای بارش ثبت شده حوضه برای چندین طوفان که دارای تداومی نزدیک به تداوم PMP هستند، انتخاب و منحنی‌های بی بعد بارش تجمعی برای آن‌ها رسم می‌شود. منحنی پوش که در یک سوم ابتدا از پوش کمینه و در یک سوم انتها از پوش بیشینه عبور می‌کند، بر سری منحنی‌های بی بعد عبور داده می‌شود. این منحنی را می‌توان به عنوان الگوی توزیع زمانی بارش در نظر گرفت. در شکل (۳-۶) منحنی‌های بی بعد توزیع زمانی بارش طوفان‌های تاریخی و الگوی پوش در ایستگاه الیگودرز نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- منحنی‌های بی بعد توزیع زمانی برخی از طوفان‌های شدید ثبت شده و الگوی پوش در ایستگاه الیگودرز

یکی دیگر از روش‌های متداول برای تعیین الگوی زمانی PMP روش بلوک‌های متناوب می‌باشد که استفاده از آن در راهنمای (2001) FERC برای محاسبه PMF توصیه شده است. در این روش حداکثر بارش در گام‌های برداشت شده (مثلاً ۶ ساعته) در نسبت زمانی خاصی (ضریب اوج‌گیری) از تداوم موردنظر (۵۰ تا ۶۷ درصد تداوم PMP) قرار می‌گیرد و مقدار بارش در گام‌های باقیمانده در دو طرف حداکثر چیده می‌شود. این چیدمان به صورت تناوبی و کاهشی از گام زمانی ماقبل حداکثر شروع می‌شود. به این ترتیب هیتوگرافی به وجود خواهد آمد که حداکثر عمق بارش در نیمه دوم آن (بسته به ضریب اوج‌گیری مورد استفاده) رخ داده و در طرفین آن به تدریج کاهش می‌یابد.

ضریب اوج‌گیری باید بر اساس شرایط منطقه و تحلیل بارش‌های حداکثری به وقوع پیوسته تعیین گردد. مقادیر مختلفی برای ضریب اوج‌گیری توصیه گردیده است. به عنوان مثال (2001) FERC ضریب اوج‌گیری حدود ۶۷ درصد را پیشنهاد نموده است. مقادیر بارش در گام‌های کوتاه‌تر از گام برداشت شده باید به نحوی از منحنی پوش استخراج گردد که یک منحنی هموار به دست آید. در شکل (۴-۶) نمونه‌ای از هیتوگراف بارندگی ۲۴ ساعته ساخته شده به روش بلوک‌های متناوب با ضریب اوج‌گیری ۶۷٪ نشان داده شده است.



شکل ۶-۴- هیتوگراف بارندگی ۲۴ ساعته به روش بلوک‌های متناوب با استفاده از ضریب اوج‌گیری ۰/۶۷٪

۶-۳- شرایط اولیه (پیشین) هواشناسی و هیدرولوژیکی

مقادیر سیل‌های حداکثر تخمینی به طور قابل ملاحظه‌ای متاثر از فرض‌های در نظر گرفته شده در مورد شرایط رطوبتی خاک، ذخیره سطحی، بیلان برفی و دبی پایه است. به طور کلی برای یک سیل بزرگ، شرایط فرضی پیشین مربوط به واقعه متئورولوژیکی اصلی (PMP) باید شدید فرض شود اما نه ضرورتاً حداکثر. براساس مطالعات انجام شده در دره تنسی^۱، نیوتن (۱۹۸۳)^۲ روش به کار رفته را بدین صورت خلاصه نمود که طوفان پیشین (و همچنین بیلان برفی در بعضی از مناطق) بر اساس تحلیل فراوانی طوفان‌های گذشته انتخاب می‌شود. در روش پیشنهادی دیگر، شرایط هیدرولوژیکی، متئورولوژیکی و سطح مخزن براساس شرایط متوسط متناظر با فصل وقوع طوفان اصلی فرض می‌شود. راهنمای ایمنی سد در کانادا بیان می‌کند که در مطالعه PMF باید شدیدترین ترکیب «ممکن معقول» بارندگی، تجمع برف، مقدار ذوب، شرایط اولیه حوضه و طوفان پیشین در نظر گرفته شود. اما متأسفانه در این راهنما مفهوم «ممکن معقول» به طور واضح تشریح نگردیده است.

۶-۳-۱- شرایط رطوبتی

نتایج مطالعات انجام شده توسط BC Hydro در سال ۱۹۹۴ نشان می‌دهد که در نظر گرفتن بارندگی و بیلان برفی با دوره بازگشت صد سال، به عنوان شرایط رطوبتی پیش از وقوع PMP، فرض مناسبی برای محاسبه PMF می‌باشد. در حوضه‌های برف‌گیر در ابتدای بهار، فرض حالت اشباع منطقی به نظر می‌رسد، اما در طوفان‌های تابستانه، حتی وجود یک رگبار قبلی با فاصله چند روز نمی‌تواند با شرایط نفوذ صفر سازگار باشد. (Alberta Transportation (2004) توصیه می‌کند که یک طوفان ۱۰ ساله با تداوم ۴۸ ساعته به فاصله پنج روز قبل از وقوع PMP در نظر گرفته شود و تغییرات رطوبت تا شروع PMP با توجه به فصل وقوع برآورد گردد. در برخی مطالعات در حوضه‌های شرق کشور آمریکا، بارش با

1- Tennessee

2- Newton (1983)

دوره بازگشت ۱۰۰ سال با تداوم ۲۴ ساعته به فاصله ۳ روز قبل از PMP بر روی حوضه مورد نظر مد نظر قرار می‌گیرد. همچنین در برخی از مطالعات انجام شده، شرایط رطوبتی مرطوب در نظر گرفته شده است. نیوتن (۱۹۸۳) فرض‌های توصیه شده به‌وسیله برخی از سازمان‌های مرتبط با آب در کشور آمریکا را در انتخاب طوفان و رطوبت پیشین بر شمرد و خاطر نشان کرد که فرض طوفان (یا ذخیره برف) قبل از وقوع PMP باید براساس شرایط منطقه و خصوصیات متئورولوژیکی آن تعیین شود. فرضیات مربوط به شرایط اولیه رطوبت خاک یا مقادیر تلفات مطابق پیشنهاد آژانس‌های مختلف فدرال ایالت متحده به شرح ذیل می‌باشد:

- استاندارد اتمی آمریکا: میانگین رطوبت خاک
- رسته مهندسی ارتش آمریکا (COE): حداقل نفوذ
- سرویس حفاظت خاک SCS: شماره منحنی برای شرایط II رطوبت پیشین
- TVA: مقادیر متوسط مشاهداتی قبل از طوفان‌های ثبت شده
- اداره آبادانی آمریکا (UBBR): حداقل تلفات

طبق مطالعات انجام شده در دره تنسی، ۷۵ درصد سیل‌های بزرگ مشاهده شده‌ای در شرایط وقوع دو طوفان با فاصله زمانی ۳ روز از هم اتفاق افتاده است. بنابراین راهنمای TVA بسته به تداوم طوفان مورد نظر و همچنین موقعیت و مساحت حوضه، فرض طوفان پیشین با مقدار بین ۱۵ تا ۵۰ درصد PMP را به عنوان شرایط رطوبتی اولیه، توصیه نموده است. نیوتن (۱۹۸۳) توصیه می‌نماید که به دلیل تغییرات شدید شرایط منطقه‌ای، این معیارها نباید برای مناطق دیگر بدون مطالعات دقیق محلی به کار برده شوند. تعداد اندکی مطالعات محلی در مناطق دیگر تا سال ۲۰۰۴ انجام شده است. معیار اداره آبادانی (USBR) به صورت زیر است^۱:

۱- برای PMF ناشی از PMP منطقه‌ای در مناطق شرق نصف‌النهار ۱۰۳ درجه، سیل پیشین براساس بارندگی ۱۰۰ ساله و زمان بین بارندگی پیشین و شروع PMP، سه روز در نظر گرفته شود. در مناطق غربی، زمان به دو روز کاهش می‌یابد.

۲- برای PMF ناشی از PMP محلی در مناطق غرب نصف‌النهار ۱۰۳ درجه، هیچ واقعه پیشین خاصی استفاده نمی‌شود. چنین تفسیر می‌شود که طوفان قبلی تلفات نفوذ اولیه را ارضا کرده باشد و حداقل نرخ تلفات در شروع PMP حاکم باشد.

۳- برای PMF حاصل از وقوع PMP فصلی بر روی توده برفی، فرض می‌شود که رواناب ذوب برف با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در زمان وقوع PMP و کمی پیش از آن رخ می‌دهد.

توصیه این دستورالعمل بر اساس تجربیات مولفین و سایر توصیه‌های منطبق با کشور ایران است که فراوانی وقوع بارش‌های قبل از طوفان‌های بحرانی (به‌ویژه شامل طوفان‌های بیشینه‌سازی شده) را محاسبه کنید. سپس درصد‌های

وقوع حالت‌های سه‌گانه رطوبتی SCS را به‌دست آورید. اگر میانگین وزنی شرایط اولیه کم‌تر از حالت II بود، حالت II انتخاب شود. در غیر این صورت حالت III ملاک خواهد بود.

۶-۳-۲- بیلان برفی و توزیع دمای حوضه

توصیه شده که شرایط مختلف و ترکیبات متفاوتی برای تولید حداکثر دبی یا حجم PMF در نظر گرفته شود. بنابراین PMP های فصول مختلف باید حتی‌الامکان به تفکیک فصول استخراج و شبیه‌سازی شوند. به‌ویژه طوفان‌های بهاری که می‌توانند در هنگام وجود بیلان برفی قابل توجه در حوضه اتفاق بیفتند. در روش Generalized PMP بهتر است، DAD برای فصول مختلف استخراج شود و شرایط برفی بر اساس همان فصل اعمال گردد. در روش Project-Specific PMP چون هریک از طوفان‌ها بیشینه‌سازی می‌شوند، لذا خود به‌خود فصل طوفان بحرانی که پس از بیشینه‌سازی مبنای PMP قرار می‌گیرد. (Alberta Transportation (2004) یک شرایط با دوره بازگشت ۱۰ ساله در مورد آب معادل برف را توصیه می‌نماید. در مورد PMP روش Project-Specific، داده‌های برف دو هفته قبل از زمان وقوع طوفان بیشینه‌سازی شده ملاک است. در روش دیگر در ایالات متحده برای تخمین رواناب ذوب برف همزمان با PMP، فرک (۲۰۰۱)^۱ و کودورس (۱۹۸۹)^۲ به‌کاربردن حداکثر (بحرانی‌ترین) توالی دمای تاریخی (روی برف) با یک توده برف ۱۰۰ ساله را توصیه کرده‌اند. راهنمای ایمنی سد در کانادا، شدیدترین سناریوهای پیشنهادی PMF را به صورت زیر برای فصل ذوب برف معرفی می‌کند:

۱- حداکثر تجمع برف محتمل (PMSA)^۳ ترکیب شده با یک طوفان حداکثر ۱۰۰ ساله و توالی غالب دما

۲- PMP باران فصلی به همراه عمق برف حداکثر ۱۰۰ ساله

۳- ترکیب PMSA با یک توالی دما

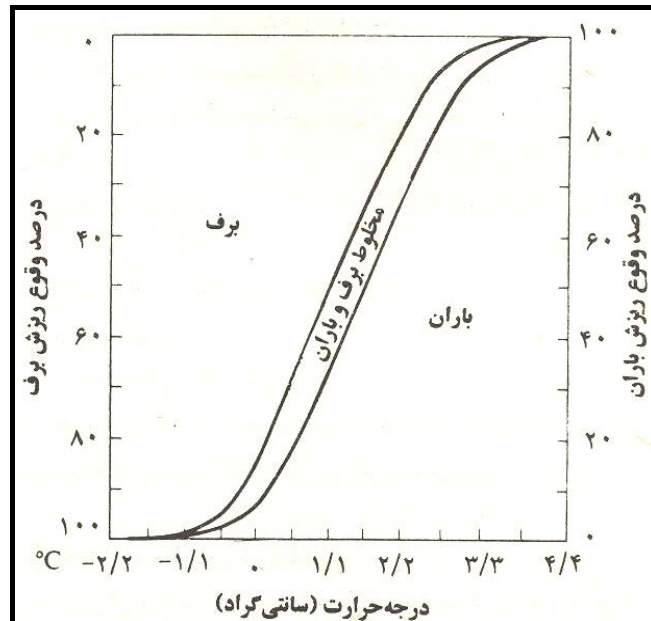
برای سناریوهای ۱ و ۲، توالی دما باید به‌گونه‌ای باشد که حداکثر دبی هیدروگراف به‌وجود آید. هیچ راهنمایی در مورد شرایط اولیه حوضه تعیین نشده است. با وجود اینکه برای PMSA تعریفی ارائه نشده، ولی به نظر می‌رسد حداکثر تجمع برف در انتهای فصل زمستان حاصل از حداقل ذوب در طول زمستان منظور باشد. در حوضه‌های آبریز کوهستانی که سیل‌های بحرانی در فصل سرد یا ابتدای بهار رخ می‌دهد، تفکیک سهم بارش باران و برف از کل PMP به همراه تعیین ذوب برف در محاسبه رواناب سطحی حوضه و مقدار دبی اوج PMF اهمیت دارد. در این خصوص سری زمانی دمای حدی و توزیع آن در ارتفاع با توجه به دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ ساله تعیین می‌گردد. احتمال ریزش باران یا برف و شکل و اندازه آن‌ها بستگی به شرایط محل و پروفیل حرارتی اتمسفر دارد. شکل (۵-۶) احتمال ریزش برف و باران را بر مبنای دمای مجاور زمین نشان می‌دهد. مطابق شکل فوق، درصد وقوع بارش برف و باران به درجه حرارت بستگی دارد که در دمای زیر

1- FERC (2001)

2- Cudworth (1989)

3- Probable Maximum Snow Accumulation

۲- درجه سانتی‌گراد بارش ۱۰۰٪ به صورت برف و در بالای ۴+ درجه سانتی‌گراد بارش ۱۰۰٪ به صورت باران خواهد بود. به عنوان آستانه متوسط می‌توان ۲ درجه سانتی‌گراد را به عنوان مرز وقوع بارش برف و باران در نظر گرفت.



شکل ۶-۵- فراوانی ریزش برف و باران بر حسب دما

توصیه: برای اعمال حداکثر توالی دمای تاریخی (روی برف) فصل PMP با یک توده برف متناظر با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله همان فصل، اگر داده‌های برف در منطقه موجود نیست، به ناچار مقدار اولیه نامحدود برای آب معادل در نظر گرفته شود که روی حجم PMF تاثیر قابل توجهی خواهد داشت.

۶-۳-۳- دبی پایه

تاثیر دبی پایه در هیدروگراف PMF معمولاً کم است. (Alberta Transportation (2004) و FERC (2001) توصیه می‌کنند که میانگین جریان ماه وقوع PMP به عنوان دبی پایه استفاده شود. ولی چون در میانگین جریان ماه اثر سیل‌ها نیز نهفته است، توصیه این دستورالعمل به قرار دادن حداکثر دبی پایه مشاهده شده در فصل وقوع PMP است. برای مناطق فاقد ایستگاه، میانگین جریان بر واحد مساحت یک ایستگاه مجاور را می‌توان برای محاسبه دبی پایه به کار برد.

۶-۳-۴- تراز اولیه مخزن

چه ارتفاع مخزنی به عنوان ارتفاع اولیه در روندیابی هیدروگراف PMF ورودی به مخزن با توجه به طوفان‌های گذشته معقول به نظر می‌رسد؟ بهتر است معلوم شود آیا مطالعات منطقه‌ای ویژه‌ای در رابطه با طوفان‌های قبلی انجام شده است. اگر پاسخ مثبت است نتایج باید مورد استفاده قرار گیرد. در غیر این صورت یکی از سه گزینه زیر می‌تواند به عنوان جایگزین‌های قابل قبول ارائه گردد.

۱- در ابتدای شروع سیل سطح مخزن در ارتفاع ماکزیمم سالیانه باشد. لازم است تا ماکزیمم سالانه سطح آب مخزن برای هر سد بر اساس خصوصیات سد، سرریز و خروجی‌های آن و برنامه‌های بهره‌برداری از سد، تعیین گردد. برای بیش‌تر پروژه‌ها ماکزیمم سالیانه تراز نرمال مخزن (FSL)^۱ باید به عنوان ماکزیمم سالیانه سطح مخزن در نظر گرفته شود. اگر به‌صورت معمول از فیوزپلاک^۲ در زمان وقوع PMF استفاده می‌شود، باید در تعیین ماکزیمم سالیانه سطح مخزن مد نظر قرار گیرد. روندیابی مخزن باید با این فرض انجام گردد که فیوزپلاک در بالاتر از سطح طراحی فرو می‌ریزد.

۲- با استفاده از منحنی بهره‌برداری موجود، سطح مخزن بر طبق حداکثر ذخیره در فصل کنترل PMP تعیین می‌گردد. باید فرض گردد که یک طوفان ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ سال سه روز قبل از وقوع PMP اتفاق افتاده است. هیدروگراف رواناب ناشی از طوفان با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با توجه به قوانین بهره‌برداری روندیابی شده و سطح مخزن در بالاترین سطح سالیانه در آن فصل در نظر گرفته می‌شود. در صورت وقوع یک طوفان جدید سطح مخزن بر اساس هیدروگراف ناشی از بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله تعیین می‌گردد. در صورتی که ارتفاع آب مخزن از ماکزیمم سالیانه سطح مخزن بیش‌تر باشد، ماکزیمم سالیانه سطح مخزن در نظر گرفته می‌شود.

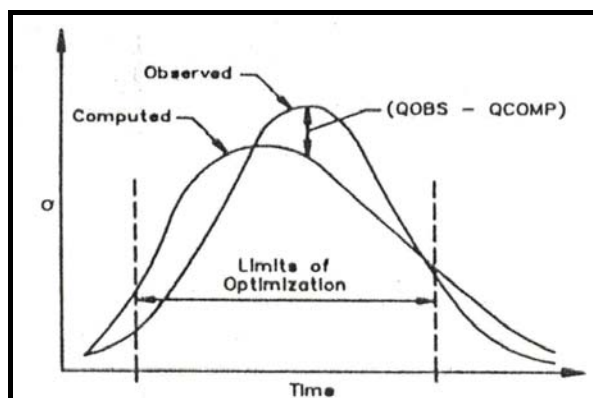
۳- از منحنی بهره‌برداری یک سال پر آب جهت تعیین ارتفاع مخزن در زمان وقوع سیلاب استفاده می‌شود. جهت تعیین این منحنی بهره‌برداری فرض می‌گردد که سطح مخزن برابر با میانگین ماکزیمم‌های سطح مخزن در فصل وقوع PMP در پنج سال پربابی می‌باشد. در صورتی که ارتفاع آب مخزن از حداکثر ماکزیمم سالیانه سطح مخزن بیش‌تر باشد، ماکزیمم سالیانه سطح مخزن در نظر گرفته می‌شود.

۶-۴- تعدیل پارامترهای واسنجی برای شرایط PMF

واسنجی مدل با داده‌های تاریخی یکی از بخش‌های ضروری آماده‌سازی مدل بارش - رواناب است. واسنجی روندی برای اصلاح پارامترهای مدل تا وقتی است که مدل فرآیندهای حاکم بر سیکل هیدرولوژیکی را به صورت رضایت بخش شبیه‌سازی کند. برای این منظور پارامترهای هیدروگراف واحد، نفوذ، ذوب برف و روندیابی با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای بارش و رواناب در سیلاب‌های تاریخی تخمین زده می‌شود. از آنجا که حجم و دبی اوج سیل اهمیت بیش‌تری در برآورد PMF دارند، انتخاب هیدروگراف‌های مستقل سیل و محدوده آن مطابق شکل (۶-۶) در فرآیند واسنجی حایز اهمیت است.

1- Full Supply Level

2- Flashboard



شکل ۶-۶- محدوده انتخابی هیدروگراف سیل برای فرآیند واسنجی

از آنجا که معمولاً سیل‌های استفاده شده در فرآیند واسنجی بسیار کوچک‌تر از سیلاب PMF می‌باشند، لذا شرایط حاکم در حوضه در زمان وقوع سیل PMF با شرایط حاکم در زمان وقوع سیل‌های کوچک‌تر متفاوت خواهد بود. این موضوع حاکی از ضرورت تعدیل پارامترهای مدل بارش - روناب حاصل از مرحله واسنجی برای کاهش اثرات برون‌یابی از سیل‌های عادی به سیلاب‌های استثنایی یا حدی می‌باشد. روش‌های برآورد سیل در انگلستان توصیه می‌کنند که زمان اوج هیدروگراف واحد به‌زای PMF در مقایسه با سیلاب‌های کوچک‌تر ۳۳ درصد کاهش یابد. برخی از منابع استرالیایی مانند IEA (1987) به افزایش دبی اوج به میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد توصیه نموده‌اند. فرک (۲۰۰۱)^۱ توصیه می‌کند زمان تاخیر باید برای شرایط بحرانی PMF کاهش داده شود، زیرا شدت‌های وقوع PMP بسیار بیش‌تر از رگبارهای ثبت شده در منطقه می‌باشد. ولی میزان کاهش به‌طور مشخص بیان نشده است.

توصیه این دستورالعمل بر کاهش زمان تمرکز (یا زمان تاخیر بستگی به آن که کدام هیدروگراف واحد مصنوعی استفاده شده باشد) به میزان ۳۳ درصد مقادیر واسنجی است. توجه شود که علاوه بر کاهش زمان تمرکز یا زمان تاخیر کلیه زیرحوضه‌ها، ضریب K روندیابی ماسکینگام نیز در صورت استفاده باید به همان نسبت کاهش یابد.

۶-۵- تبدیل حداکثر بارش محتمل به حداکثر سیل محتمل

پس از آنکه شرایط اولیه جریان، رطوبت و نفوذ، توده برفی و دمای متناسب با وضعیت قبل از وقوع PMF تعیین شد، مدل بارش - رواناب به ازای شرایط اولیه وارد شده و توزیع زمانی - مکانی PMP به اجرا در می‌آید. تعدیل پارامترهای واسنجی نیز مطابق با آنچه در بالا گفته شد، در مدل انجام می‌گیرد. شبیه‌سازی هیدروگراف PMF تا محل ورودی به مخزن و سپس در داخل مخزن صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه PMP‌های با تداوم مختلف باید به PMF‌های متناظر تبدیل شوند، PMF نهایی بحرانی‌ترین هیدروگراف از نظر دبی یا حجم خواهد بود. اینکه کدام PMF بحرانی‌تر است، پس از روندیابی در مخزن و تعیین تراز حداکثر معین می‌شود.

1- FERC (2001)

۶-۶- عدم قطعیت‌ها و تحلیل حساسیت

واضح است که مولفه‌های عدم قطعیت در اکثر مراحل تحلیل و شبیه‌سازی سیل‌های حدی وجود دارد. با این وجود ارائه عمق PMP و دبی اوج و حجم PMF به صورت مقادیر معین مرسوم شده است. بعضی از اوقات عدم قطعیت‌ها به‌وسیله نتایج تحلیل‌های حساسیت براساس مقادیر متفاوت پارامترهای مدل‌سازی بیان می‌شوند. از طرف دیگر در برون‌یابی نتایج تحلیل‌های فراوانی متداول عدم قطعیت اغلب به طور عددی در قالب حدود اطمینان یا حدود خطا بیان می‌شود. ولی عدم قطعیت یک تخمین PMF به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از عدم قطعیت در تخمین یک سیل ۱۰۰ ساله است. مهندس هیدرولوژیست معمولاً بر روی مقادیر مجزای پارامترها و ترکیب آن‌ها برای رسیدن به تخمین‌هایی که برای دستیابی به یک حداکثر محتمل پذیرفته شده‌اند، مصالحه می‌کند. بنابراین تخمین نهایی حاوی مولفه‌های مهمی از قضاوت و عدم قطعیت است که براساس آن تحلیل‌گرهای مختلف ممکن است نتایج متفاوتی را به‌دست آورند. منابع عدم قطعیت در محاسبه سیل حدی می‌تواند، شامل موارد زیر باشد:

- عمق میانگین بارندگی حوضه و توزیع زمانی و مکانی آن
- خطا در توزیع دمای حوضه و تفکیک سهم بارش باران و برف از PMP
- ذوب برف در جایی که وجود داشته باشد
- شرایط پیشین بارندگی و شرایط پیشین حوضه
- تلفات بارش در حوضه و توزیع زمانی و مکانی آن
- مولفه‌های ذخیره و کانال‌ها
- تفاوت در روش‌شناسی و مدل‌ها
- پارامترهای مدل هیدرولوژیکی در مرحله واسنجی

در تئوری، عدم قطعیت‌ها برای هر منبع و عدم قطعیت‌های حاصل از ترکیب آن‌ها در جریان‌های تولیدی را می‌توان در نظر گرفت. اما در عمل، کمی کردن عدم قطعیت در تخمین‌های سیل حداکثر مشکلات فنی و اجرایی را افزایش می‌دهد و به ندرت در این زمینه تلاشی گزارش شده است. با این حال عدم قطعیت رایج در سناریوهای فرض شده در فرآیند محاسبات باید شناسایی شود. در مجموع تحلیل حساسیت با توجه به مطالب بخش‌های بالا در ورودی‌ها و پارامترهای زیر انجام می‌گیرد:

- توزیع‌های مکانی طوفان‌های شدید بیشینه‌سازی شده (عموماً تاثیر قابل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهد)
- حداقل دو روش توزیع زمانی (پوش‌های یک سوم و روش بلوک متوالی)
- درجه حرارت تفکیک برف و باران به میزان یک درجه مثبت یا منفی نسبت به مقدار واسنجی شده

کاربر مختار خواهد بود که هریک از شرایط فوق که حالت بحرانی‌تری ایجاد می‌کند را به عنوان یک PMF محافظه‌کارانه انتخاب نماید. مرسوم این است که نتایج تحلیل حساسیت در جلساتی با کارشناسان کارفرما مورد بررسی

قرار گرفته و مجموع نظرات طرفین، منتهی به انتخاب PMF نهایی خواهد شد. روش‌های پیچیده‌تر تحلیل عدم قطعیت‌ها در دامنه کار این متن نمی‌گنجد.

۶-۷- اثر پدیده تغییر اقلیم بر حداکثر سیلاب محتمل

۶-۷-۱- بیان مساله

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم امروزه ذهن دانشمندان هواشناسی و منابع آب را به خود مشغول کرده است. مهم‌ترین اثر این افزایش بر روی درجه حرارت اتمسفر کره زمین می‌باشد که تحت عنوان گرمایش جهانی^۱ شناخته می‌شود. افزایش گازهای گلخانه‌ای علاوه بر افزایش درجه حرارت زمین، بر دیگر متغیرهای اقلیمی مانند بارش، تبخیر و تعرق و رطوبت هوا نیز تاثیر می‌گذارد که تحت عنوان تغییر اقلیم^۲ از آن یاد می‌شود. بر طبق گزارشات هیات بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC)^۳ به احتمال ۹۵ درصد تا سال ۲۱۰۰، افزایش دمای بین ۱/۷ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد را در سطح زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای شاهد خواهیم بود. این تغییرات تاثیرات متفاوتی را روی متغیرهای اقلیمی مناطق مختلف جهان خواهد گذاشت. تغییر اقلیم ممکن است باعث افزایش سیلاب‌های طراحی (از جمله PMF) شود. برای اطمینان از ایمنی و پایداری در طول عمر سدها، سیلاب طراحی باید با تاکید بر اثرات تغییر اقلیم در میان مدت و دراز برآورد شود.

۶-۷-۲- مراحل کار

مراحل کلی ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب به شرح زیر است:

- سناریوهای تغییر اقلیم خروجی مدل‌های اقلیمی جهانی (GCM) برای منطقه مورد مطالعه تهیه می‌شود.
- سناریوهای خروجی مدل‌های اقلیمی جهانی (که معمولاً در مقیاس بزرگ هستند) به مقیاس ایستگاهی ریزمقیاس می‌شود.
- با استفاده از سناریوهای اقلیم آینده، عوامل موثر بر سیلاب PMF (مانند دمای ریزش و ذوب برف) برای شرایط اقلیم آتی محاسبه می‌شود.
- هیدروگراف سیلاب PMF اقلیم آتی توسط مدل هیدرولوژیکی و با استفاده از ورودی‌های اقلیمی تغییر یافته، شبیه‌سازی می‌شود. نتایج با نتایج حالت بدون اعمال تاثیر تغییر اقلیم مقایسه و جمع بندی می‌گردد.

1- Global Warming

2- Climate Change

3- Intergovernmental Panel on Climate Change

توجه: تاثیر تغییر اقلیم بر حداکثر بارش محتمل (PMP) در دستورالعمل روش برآورد حداکثر بارش محتمل مورد بحث قرار می‌گیرد و از دامنه دستورالعمل حاضر خارج است. بدیهی است که مقدار PMP پس از اعمال تاثیر تغییر اقلیم به عنوان ورودی اصلی مرحله ۴ فوق استفاده می‌شود. در ادامه نحوه اجرای هر یک از مراحل تشریح می‌شود.

- آماده‌سازی سناریوهای اقلیم آینده

در حال حاضر معتبرترین وسیله برای شبیه‌سازی واکنش اقلیم جهانی به غلظت گازهای گلخانه‌ای و تولید سناریوهای اقلیم آینده، مدل‌های عددی جهانی اقلیم^۱ (GCM) هستند. این مدل‌ها تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای اجرا می‌شوند و سناریوهای اقلیمی را برای سراسر کره زمین شبیه‌سازی می‌کنند. به دلیل آنکه وضعیت غلظت گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آینده مشخص نیست، سناریوهای متعددی برای تخمین میزان انتشار و غلظت گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آتی پیشنهاد شده است. (IPCC (2000) دامنه وسیعی از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (شامل ۴۰ سناریو تحت عنوان SRES^۲) را برای استفاده در مطالعات تغییر اقلیم منتشر کرد ولی احتمالی برای وقوع هر یک از این سناریوها بیان نشده است. مدل‌های GCM تحت سناریوهای انتشار اجرا می‌شوند و سناریوهای اقلیمی آینده را شبیه‌سازی می‌کنند. به دلایلی از قبیل بالا بودن هزینه محاسباتی اجرای مدل‌های GCM، این مدل‌ها اغلب برای تعداد محدودی از سناریوهای انتشار اجرا شده‌اند، که در بر گیرنده حالت‌های زیاد، کم و میانه برای میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر PMF لازم است سناریوهای متفاوتی مورد استفاده قرار گیرد و بر مبنای نتایج سناریوهای انتشار مختلف، در خصوص انتخاب نهایی تصمیم‌گیری شود. توصیه می‌شود این سناریوها حالت‌های انتشار کم و زیاد گازهای گلخانه‌ای را شامل شود. علاوه بر این، مدل‌های GCM مختلفی وجود دارد. انتخاب مدل GCM مورد استفاده برای منطقه مورد مطالعه می‌تواند بر مبنای دقت شبیه‌سازی ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های منطقه در دوره پایه (دوره مشاهدات در ایستگاه) صورت گیرد. نمونه‌ای از سایت‌های آرشیو سناریوهای اقلیمی، سایت Canadian Climate Change Scenarios Network، با لینک زیر:

<http://www.cccsn.ec.gc.ca/>

و سایت Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis با لینک زیر:

<http://www.ccma.ec.gc.ca/data/data.shtml>

است.

– ریزمقیاسی داده‌های مدل‌های اقلیمی

وضوح^۱ مکانی مدل‌های اقلیمی کم است (عموما در مقیاس مکانی ۳۰۰ km ارایه می‌شود). لذا برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب‌ها، لازم است در ابتدا سناریوهای GCMs ریزمقیاسی شود (Reynard, 2003). روش‌های مختلفی برای ریزمقیاسی خروجی GCMs توسعه یافته است که قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های متفاوتی دارند. انتخاب روش ریزمقیاسی به عواملی از جمله هدف ریزمقیاسی (مقادیر حدی یا میانگین‌ها)، متغیرهای مورد نظر برای ریزمقیاسی، سناریوهای اقلیمی در دسترس، یک یا چند متغیره بودن، هزینه محاسباتی و تخصص موجود بستگی دارد.

ساده‌ترین و پرکاربردترین روش ریزمقیاسی که در مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است، روش عامل تغییرات (CFs)^۲ است. در روش عامل تغییرات، مقدار تغییرات میانگین‌های خروجی‌های GCM برای سناریوی اقلیم آینده نسبت به خروجی‌های GCM در دوره پایه، به مقادیر داده‌های مشاهداتی اعمال می‌شود تا داده‌های اقلیم آینده به دست آید. در روش CFs، برای دما از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\alpha_i^T = \overline{T_i^{GCMFut}} - \overline{T_i^{GCMCon}} \quad (۱-۶)$$

که در آن، $\overline{T_i^{GCMFut}}$ میانگین دمای ماه تقویمی i برای سناریوی آینده خروجی GCM و $\overline{T_i^{GCMCon}}$ میانگین دمای ماه تقویمی i برای خروجی GCM در دوره پایه برای منطقه مورد مطالعه است. سپس با استفاده از رابطه زیر، مقادیر دمای مشاهداتی ایستگاه‌ها در هر ماه از سال با عامل تغییرات همان ماه جمع می‌شود و به این ترتیب، سناریوی کاهش مقیاس یافته دمای آینده به دست می‌آید.

$$T_{i,j}^{Fut} = \alpha + T_{i,j}^{Obs} \quad (۲-۶)$$

که در آن، $T_{i,j}^{Obs}$ دمای مشاهداتی روز j در ماه i از سال است و $T_{i,j}^{Fut}$ دمای ریز مقیاس شده سناریوی آینده برای روز j در ماه i از سال است.

روش عامل تغییرات ساده است و می‌تواند به سرعت به تعداد زیادی از سناریوهای اقلیمی اعمال شود و دامنه وسیعی از سناریوهای ریز مقیاس اقلیمی را برای ایستگاه‌های حوضه مورد نظر تولید کند. اما محدودیت‌های این روش باید مورد توجه قرار گیرد. این روش تنها میانگین متغیرهای اقلیمی را تنظیم می‌کند و تغییرات در سایر ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی (از جمله واریانس) را اعمال نمی‌کند (Fowler et al. 2007). اگر چه استفاده از روش CFs در ریز مقیاسی از عدم قطعیت زیادی برخوردار است، در بسیاری از مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب از این روش استفاده شده است. مهم‌ترین علت آن را می‌توان سادگی استفاده و همچنین دسترسی به داده‌های مورد نیاز آن دانست. علت دیگر، عدم قطعیت‌هایی است که هنوز در نتایج چنین مطالعاتی، حتی با استفاده از روش‌های پیچیده‌تر وجود دارد.

1- Resolution

2- Change Factors

در استفاده از روش‌های پیچیده‌تر، روش انتخابی باید توانایی بازتولید صحیح مقادیر حدی را داشته باشد. همچنین در موارد نیاز به ریز مقیاسی به‌وسیله روش‌های چند متغیر، باید وابستگی طبیعی متغیرهای اقلیمی پس از ریز مقیاسی حفظ شود.

- عوامل موثر بر سیلاب تحت اثر تغییر اقلیم

عواملی مانند PMP، ذخیره اولیه برف، دمای ذوب برف، جریان پایه، شرایط اولیه رطوبت خاک، پوشش گیاهی حوضه، توزیع فصلی جریان ممکن است، تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار گیرند و موجب تغییر در PMF شوند. به دلیل محدودیت‌هایی از قبیل هزینه محاسباتی و زمان‌بر بودن مطالعات، دشواری دسترسی به داده‌های لازم، محدودیت دقت روش‌های موجود و عدم قطعیت‌های ناشی آن، معمولاً از تغییرات بعضی از عوامل موثر در مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب صرف نظر شده است. به عنوان نمونه، تاکنون در اغلب مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب، از تغییرات پوشش گیاهی در اقلیم آینده چشم پوشی شده است. در حالی که تغییرات بارش (حتی به تنهایی) به عنوان مهم‌ترین عامل، در کلیه مطالعات مورد نظر بوده است.

دقت و وسعت روش‌های ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب در حال افزایش است. لذا در هر مقطع زمانی، لازم است با جستجوی مطالعات جدید، امکان منظور نمودن تغییرات عوامل بیشتر در محاسبه سیلاب اقلیم آینده بررسی شود (با تاکید بر عوامل موثرتر بر تغییرات سیلاب آینده). در این خصوص لازم است ویژگی‌های منطقه‌ای مدنظر قرار گیرد. به عنوان نمونه، در صورتی که برف سهم مهمی در میزان PMF داشته باشد، اعمال تغییرات انباشت و ذوب برف در محاسبه PMF آینده می‌تواند اثر قابل توجهی بر نتایج داشته باشد. همانطور که گفته شد تاثیر تغییر اقلیم بر حداکثر بارش محتمل (PMP) در دستورالعمل روش برآورد حداکثر بارش محتمل مورد بحث قرار می‌گیرد و از دامنه دستورالعمل حاضر خارج است. بدیهی است که مقدار PMP پس از اعمال تاثیر تغییر اقلیم به عنوان ورودی اصلی مرحله ۴ استفاده می‌شود. در اینجا توجه بیشتر به دمای ذوب برف معطوف است.

- شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب PMF اقلیم آینده

در این مرحله، هیدروگراف سیلاب PMF اقلیم آتی توسط مدل هیدرولوژیکی و با استفاده از ورودی‌های اقلیمی تغییر یافته، شبیه‌سازی می‌شود. سناریوی منتخب PMF اقلیم آتی با PMF حالت بدون اعمال تاثیر تغییر اقلیم مقایسه شده و مبنای انتخاب هیدروگراف بحرانی‌تر خواهد بود.

۶-۸ - ملاحظات عمومی

- در مقایسه با سناریویی از PMF که حداکثر دبی را تولید می‌کند، حجم در مخازن بزرگ اهمیت بیش‌تری دارد. حجم حداکثر ممکن است در اثر PMP بهاره تولید شود. به طور معمول طراحی سرریز بر اساس روندیابی هیدروگراف PMF در مخزن به‌دست می‌آید. اما ممکن است طراحی بحرانی به این صورت نباشد.

جریان خروجی حداکثر در مخازن بزرگ ممکن است از ترکیب ذوب برف با یک باران با شدت کم‌تر اما تداوم و حجم قابل ملاحظه حاصل شود. در جایی که روندیابی هیدروگراف در سرتاسر مخزن باعث کاهش قابل توجه دبی اوج PMF ورودی می‌شود، ممکن است علاوه بر سناریوی PMP، در نظر گرفتن سایر سناریوها از قبیل بارندگی یا ذوب برف یا هر دو معقول‌تر باشد.

- ضریب رواناب ۷۵ درصد در حین وقوع PMF در برخی مطالعات گزارش شده است و غیرعادی محسوب نمی‌شود. این ضریب می‌تواند برای حوضه‌های دشتی و ذخیره‌های گودالی زیاد کم‌تر باشد. ولی در مناطق با بارش کم‌تر مانند ایران انتظار می‌رود ضریب رواناب مستقیم PMF حاصل (بدون اثر ذوب ذخیره برفی که در شرایط اولیه حوضه فرض شده است)، مگر در موارد بسیار محافظه کارانه، بین ۵۰ تا ۷۰ درصد به دست آید.
- در روندیابی مخزن باید عواملی مانند شرایط اولیه شامل تراز آب مخزن و وضعیت دریاچه‌ها، عملکرد دریاچه‌ها در طول سیلاب، رابطه تراز - حجم مخزن و رابطه تراز - دبی خروجی توجه گردد. همچنین شایان ذکر است که رابطه مخزن خطی می‌تواند استفاده شود مگر اینکه تراز اولیه مخزن بالا باشد به نحوی که خروجی قابل توجهی از مخزن خارج گردد. در این صورت رابطه مخزن خطی موجب کم برآورد شدن دبی خروجی می‌شود.

فصل ۷

مطالعه موردی

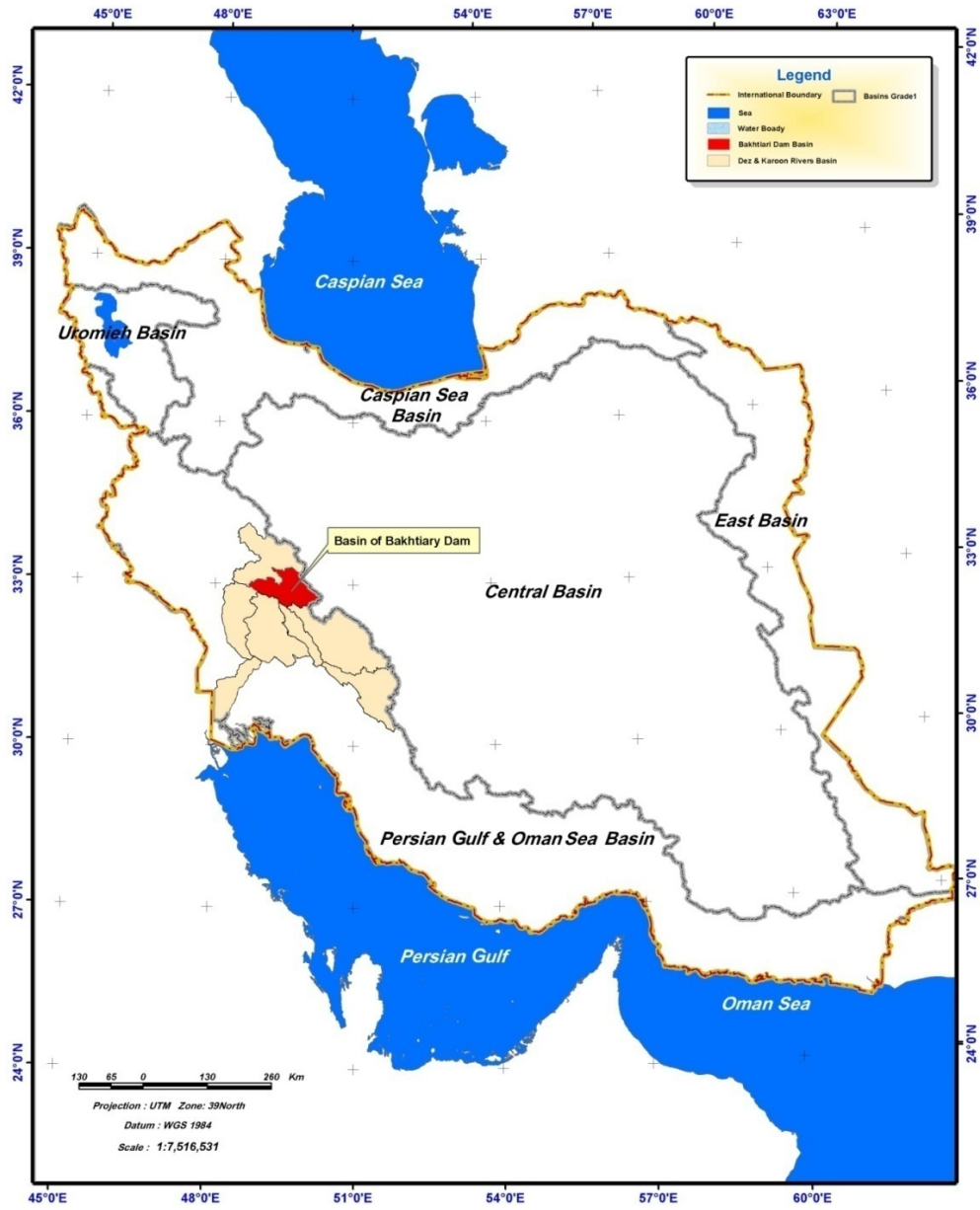
۷-۱- کلیات

در این فصل، مطالعه موردی برآورد حداکثر سیلاب محتمل برای حوضه سد بختیاری به عنوان یک الگو ارائه می‌گردد. لازم به یادآوری است که به علت رعایت اختصار، از ذکر برخی مطالب و توضیحات ابتدایی و غیرضروری خودداری شده است.

۷-۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه بختیاری در جنوب غرب کشور و در محدوده مختصات جغرافیایی $۴۸^{\circ}۱۵'$ تا $۵۰^{\circ}۲۰'$ طول شرقی و $۳۲^{\circ}۳۰'$ الی $۳۳^{\circ}۳۰'$ عرض شمالی قرار گرفته است. حوضه آبریز این رودخانه در محدوده حوضه آبریز رودخانه دز واقع است که خود زیر مجموعه‌ای از حوضه آبریز درجه دوم رودخانه کارون بزرگ و آبریز درجه یک خلیج فارس می‌باشد. مهم‌ترین ایستگاه آبسنجی رودخانه بختیاری تنگ‌پنج نام دارد که در نزدیکی محل تلاقی با رودخانه سزار واقع شده است. محل پیشنهادی سد مخزنی بختیاری حدود $۲/۸$ کیلومتر در بالادست ایستگاه آبسنجی تنگ پنج قرار دارد. شکل (۷-۱) موقعیت حوضه بختیاری را در ایران نشان می‌دهد.

رودخانه بختیاری از ارتفاعات جنوبی ترانکوه (ارتفاعات جنوبی شهرستان‌های الیگودرز و دورود) سرچشمه می‌گیرد. شاخه‌های اولیه آن شامل سه رودخانه کاکلستان، قلیان و وهرگان است. رودخانه پس از الحاق این سه شاخه، چندین شاخه کوچک را دریافت می‌نماید و به نام رودخانه زالکی نامیده می‌شود. رودخانه زالکی در ادامه با رودخانه‌های رودبار و آب‌الکن تلاقی می‌نماید و پس از دریافت شاخه سرکول، رودخانه بختیاری را تشکیل می‌دهد. دو شاخه سزار و بختیاری در نزدیکی ایستگاه راه‌آهن تنگ‌پنج به یکدیگر می‌پیوندند و رودخانه دز را به وجود می‌آورند. رودخانه دز پس از عبور از ایستگاه آبسنجی تله‌زنگ وارد دریاچه سد مخزنی دز می‌شود. سپس رودخانه مسیر خود را در منطقه کوهستانی ادامه می‌دهد و در کوهپایه به سد تنظیمی دزفول می‌رسد.



شکل ۷-۱- نقشه موقعیت حوضه بختیاری در حوضه رودخانه کارون بزرگ و حوضه‌های اصلی کشور

۷-۳- مطالعات پیشین

طبق برآوردهای مطالعات هیدرولوژی سد بختیاری، دبی‌های با دوره بازگشت ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله در محل سد بختیاری به ترتیب معادل ۶۸۵۷ و ۸۶۴۱ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمده است.

۷-۴- جمع آوری آمار و انتخاب سیلاب‌های بحرانی

۷-۴-۱- جمع آوری آمار دبی

کلیه داده‌های در دسترس ایستگاه‌های آب‌سنجی منتهی به حوضه ایستگاه تله‌زنگ جمع‌آوری گردید. با بررسی‌های دقیق بر روی هیدروگراف‌های ساعتی و روزانه در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری، داده‌های این ایستگاه دقت کافی برای استفاده در مرحله واسنجی مدل ریاضی هیدرولوژیکی را ندارد. از جمله موارد عدم دقت لازم داده‌های ثبت شده می‌توان به نحوه نامناسب آماربرداری در ایستگاه آب‌سنجی تنگ‌پنج و عدم همخوانی بالانس حجمی بین سه ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری، تنگ‌پنج سزار و تله‌زنگ اشاره کرد (به نقل از گزارش‌های هیدرولوژی طرح سد بختیاری). داده‌های سایر ایستگاه‌های داخل حوضه بختیاری به‌ویژه داده‌های ساعتی مورد نیاز برای واسنجی مدل در یک دوره کوتاه مدت برای سیلاب‌های کوچک ثبت شده‌اند و با توجه به طوفان‌های انتخابی قابل استفاده نیستند. بنابراین در ادامه داده‌های ایستگاه تله‌زنگ به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به محل مورد نظر، مبنای عمل قرار می‌گیرند و مدل بارش - رواناب نیز در محل این ایستگاه واسنجی می‌گردد.

۷-۴-۲- شناسایی سیلاب‌های بحرانی

شناسایی سیلاب‌های بحرانی ابتدا براساس داده‌های دبی روزانه ایستگاه تله‌زنگ انجام گرفت. داده‌های روزانه دوره ۱۳۸۲-۱۳۳۴ به ترتیب نزولی مرتب شدند و ۳۳ سیلاب بحرانی مطابق جدول (۷-۱) شناسایی گردید. سپس دبی پایه به روش فروکش‌نمایی از هیدروگراف ساعتی کسر گردید و دبی اوج حاصل از رواناب مستقیم مجدداً به ترتیب نزولی مرتب شد. رتبه سیلاب از نظر بزرگی دبی اوج نیز در این مرحله تعیین گردید (جدول ۷-۱). دبی‌های اوج رواناب مستقیم از ۱۰۰۶ تا ۶۴۱۸ مترمکعب در ثانیه برای ۳۳ سیلاب در محل ایستگاه تله‌زنگ، در تغییر بودند. همچنین در این مرحله حجم رواناب کل و مستقیم نیز محاسبه شد (جدول ۷-۱).

در مرحله بعدی نتایج شناسایی و رتبه‌بندی سیلاب‌ها با نتایج مشابه رتبه‌بندی طوفان‌های بحرانی (حاصل از مطالعات PMP) تلفیق گردید. وزن اصلی به طوفان‌ها داده شد، چون طوفان‌های انتخابی مبنای تعیین PMP هستند. نتیجه تلفیق سیلاب‌ها و طوفان‌ها منتهی به جدول (۷-۲) گردید. به منظور تفکیک سیلاب‌ها براساس فصل وقوع، جدول (۷-۳) تنظیم گردید. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، بیش‌ترین فراوانی سیلاب‌ها در ماه‌های فروردین و اسفند مشاهده می‌شود.

جدول ۷-۱- رتبه‌بندی سیل‌های بحرانی براساس دبی اوج رواناب مستقیم در محل ایستگاه تله‌زنگ

سال آبی	تاریخ سیلاب (day)	مدت سیلاب (day)	حداکثر روزانه (m ³ /s)	عدد حداکثر روزانه	حداکثر ساعتی (m ³ /s)	عدد حداکثر ساعتی	حداکثر ماهانه	روز حداکثر	حجم کل (MCM)	حجم مستقیم (MCM)	عدد حجم مستقیم	حداکثر دبی پایه	حداکثر رواناب مستقیم (m ³ /s)	مقدار حداکثر رواناب مستقیم
۱۳۷۳-۷۴	۱-۱۸/۹/۷۳	۱۸	۴۵۲۹	۲	۶۸۰۴	۱	۹	۴	۲۱۳۸	۱۴۹۸	۱	۳۸۶	۶۴۱۸	۱
۱۳۶۸-۶۹	۱۲-۲۱/۱/۶۹	۱۰	۲۶۸۹	۱۶	۶۳۸۰	۳	۱	۱۳	۸۳۶	۴۲۶	۲۲	۵۳۹	۵۸۴۱	۲
۱۳۷۶-۷۷	۷-۲۰/۱/۷۷	۱۴	۵۵۲۵	۱	۶۵۶۰	۲	۱	۱۰	۲۰۴۰	۱۰۶۲	۴	۸۷۳	۵۶۸۰	۳
۱۳۷۰-۷۱	۴-۱۶/۱۲/۷۰	۱۳	۲۷۵۶	۱۴	۵۳۵۰	۵	۱۲	۵	۱۱۲۲	۷۵۱	۷	۲۵۰	۵۱۰۰	۴
۱۳۶۴-۶۵	۱۲-۲۶/۲/۶۵	۱۵	۳۱۸۱	۵	۵۴۱۰	۴	۲	۱۴	۱۵۱۳	۸۶۷	۶	۴۵۷	۳۹۵۳	۵
۱۳۵۷-۵۸	۱۸-۴/۱۰/۵۷	۱۷	۲۵۲۱	۱۸	۴۵۹۳	۷	۹	۲۱	۸۷۰	۴۶۶	۱۹	۳۳۶	۳۲۵۷	۶
۱۳۷۱-۷۲	۱۲-۱۷/۱۱/۷۱	۶	۲۷۴۴	۱۵	۴۵۳۴	۸	۱۱	۱۴	۶۲۴	۴۴۲	۲۱	۴۰۵	۴۱۲۹	۷
۱۳۷۱-۷۲	۱۶-۲۶/۱۲/۷۱	۱۱	۳۱۷۲	۶	۵۰۳۱	۶	۱۲	۱۷	۱۴۰۷	۶۰۲	۱۰	۹۹۵	۴۰۳۶	۸
۱۳۶۶-۶۷	۱۱-۲۹/۱۲/۶۷	۱۹	۲۸۳۲	۱۲	۴۴۴۰	۱۰	۱۲	۱۴	۲۲۷۴	۱۲۹۴	۲	۵۲۳	۳۹۱۷	۹
۱۳۷۳-۷۴	۱۴-۲۱/۸/۷۳	۸	۳۱۸۳	۳	۴۰۱۰	۱۳	۸	۱۶	۷۸۲	۶۲۱	۸	۱۳۰	۳۸۸۰	۱۰
۱۳۶۴-۶۵	۲۷-۱۱/۱۰/۶۴	۱۵	۲۰۳۹	۲۸	۳۹۱۴	۱۴	۹	۲۸	۵۲۱	۳۷۵	۲۶	۸۵	۳۸۲۹	۱۱
۱۳۴۷-۴۸	۲۹-۱۴/۱۱/۴۷	۱۶	۲۸۸۴	۱۱	۳۸۷۸	۱۵	۱۱	۳	۱۵۴۵	۱۱۹۶	۳	۳۱۱	۳۶۶۷	۱۲
۱۳۷۱-۷۲	۱۶-۲۶/۱۰/۷۱	۱۱	۲۸۱۳	۱۳	۴۰۲۲	۱۲	۱۰	۱۸	۱۰۰۲	۶۱۱	۹	۴۰۰	۳۶۲۱	۱۳
۱۳۴۴-۴۵	۱۳-۱۸/۱۱/۴۴	۶	۲۹۲۰	۹	۴۴۶۷	۹	۱۱	۱۴	۶۱۰	۲۸۳	۲۹	۹۴۳	۲۵۲۴	۱۴
۱۳۶۶-۶۷	۱-۱۶/۱۰/۶۶	۱۶	۲۴۱۶	۲۰	۳۷۳۳	۱۹	۱۰	۳	۹۳۵	۵۹۸	۱۱	۲۲۴	۳۵۰۹	۱۵
۱۳۵۹-۶۰	۶-۱۵/۱/۶۰	۱۰	۲۶۳۰	۱۷	۴۱۱۱	۱۱	۱	۷	۲۱۳۸	۱۴۹۸	۱۳	۶۵۲	۳۴۵۹	۱۶
۱۳۸۱-۸۲	۳۱-۱۰/۲/۸۲	۱۱	۲۹۴۱	۸	۳۸۱۵	۱۷	۲	۲	۸۳۶	۴۲۶	۱۴	۶۰۵	۳۲۱۰	۱۷
۱۳۷۸-۷۹	۴-۱۴/۱/۷۹	۱۱	۲۱۴۵	۲۴	۳۳۶۶	۲۲	۱	۶	۲۰۴۰	۱۰۶۲	۲۰	۱۹۳	۳۱۷۳	۱۸
۱۳۶۳-۶۴	۱۲-۱۹/۱۱/۶۳	۸	۱۹۴۴	۳۲	۳۳۳۰	۲۳	۱۱	۱۲	۳۷۰	۱۹۸	۳۱	۲۵۴	۳۰۷۶	۱۹
۱۳۶۵-۶۶	۱۰-۲۳/۱۲/۶۵	۱۴	۳۰۰۴	۷	۳۳۷۵	۲۱	۱۲	۱۳	۱۴۸۱	۹۸۰	۵	۳۸۴	۲۹۹۱	۲۰
۱۳۵۰-۵۱	۲۹-۸/۱/۵۱	۱۰	۲۰۱۲	۳۱	۳۴۴۲	۲۰	۱	۳	۱۰۰۳	۵۲۱	۱۷	۶۵۶	۲۷۸۷	۲۱
۱۳۷۱-۷۲	۵-۱۳/۲/۷۲	۹	۳۱۸۲	۴	۳۸۵۷	۱۶	۲	۶	۱۴۵۱	۵۷۰	۱۲	۱۱۷۲	۲۶۸۵	۲۲
۱۳۴۷-۴۸	۲۸-۸/۱/۴۸	۱۱	۲۸۹۱	۱۰	۳۷۶۲	۱۸	۱۲	۲۹	۱۴۱۰	۵۳۰	۱۵	۱۱۱۸	۲۶۴۴	۲۳
۱۳۳۹-۴۰	۱-۸/۱۱/۳۹	۸	۲۰۱۸	۳۰	۳۰۲۰	۲۴	۱۱	۲	۶۲۵	۳۹۲	۲۴	۴۰۷	۲۶۱۳	۲۴
۱۳۸۱-۸۲	۵-۱۲/۱/۸۲	۸	۲۲۹۴	۲۲	۲۶۸۹	۲۷	۱	۶	۶۳۹	۳۷۷	۲۵	۳۲۱	۲۳۶۸	۲۵
۱۳۴۹-۵۰	۲۳-۴/۱/۵۰	۱۲	۲۱۸۶	۲۳	۲۶۵۷	۲۸	۱۲	۲۴	۶۹۳	۴۰۵	۲۳	۳۲۴	۲۳۳۳	۲۶
۱۳۷۰-۷۱	۳-۱۴/۲/۷۱	۱۲	۲۴۴۵	۱۹	۲۹۶۵	۲۵	۲	۷	۱۳۹۸	۴۹۷	۱۸	۹۱۴	۲۰۵۱	۲۷
۱۳۷۱-۷۲	۱-۱۰/۱۲/۷۱	۱۰	۲۰۲۸	۲۹	۲۴۹۹	۳۰	۱۲	۲	۱۰۳۹	۵۲۳	۱۶	۴۸۶	۲۰۱۳	۲۸
۱۳۸۰-۸۱	۱۳-۲۰/۱/۸۱	۸	۲۰۵۸	۲۷	۲۵۳۲	۲۹	۱	۱۴	۶۸۶	۳۰۶	۲۷	۵۲۴	۲۰۰۸	۲۹
۱۳۷۳-۷۴	۲۵-۳۰/۸/۷۳	۶	۱۶۲۷	۳۳	۲۰۳۶	۳۳	۸	۲۶	۲۲۳	۱۲۱	۳۳	۳۶۰	۱۶۷۶	۳۰
۱۳۵۸-۵۹	۹-۱۳/۱/۵۹	۵	۲۳۴۵	۲۱	۲۶۹۴	۲۶	۱	۱۰	۷۹۲	۱۷۶	۳۲	۱۴۵۴	۱۲۲۰	۳۱
۱۳۴۷-۴۸	۲۲-۳۱/۱/۴۸	۱۰	۲۱۳۷	۲۵	۲۲۸۴	۳۱	۱	۲۴	۱۱۳۹	۳۰۲	۲۸	۱۰۷۶	۱۲۰۸	۳۲
۱۳۵۴-۵۵	۲۷-۵/۲/۵۵	۹	۲۰۶۹	۲۶	۲۰۶۹	۳۲	۱	۳۱	۱۰۹۰	۲۵۸	۳۰	۱۰۶۳	۱۰۰۶	۳۳

جدول ۷-۲- فهرست سیلاب‌ها و طوفان‌های بحرانی

تقویم میلادی		تقویم شمسی		عمق بارش کل در هر طوفان (mm)	رتبه از نظر عمق بارش کل	متوسط روزانه عمق بارش (mm)	رتبه از نظر متوسط روزانه	دبی اوج رواناب مستقیم (m3/s)	رتبه اوج سیلاب مستقیم
ماه و سال	روز	ماه و سال	روز						
Dec-85	۱۸-۲۰	AZR-1364	۲۷-۲۸	۲/۱۰۷	۸	۵۳/۶	۱	۳۸۲۹	۱۱
May-86	۳-۴	ORD-1365	۱۳-۱۴	۷/۸۸	۱۴	۴۴/۳	۲	۴۹۵۳	۵
Jan-93	۷-۸	DEY-1371	۱۷-۱۸	۶/۷۱	۱۸	۳۵/۸	۳	۳۶۲۱	۱۳
Mar-81	۲۶-۲۸	FAR-1360	۶-۸	۳/۱۰۱	۱۱	۳۳/۸	۴	۳۴۵۹	۱۶
Feb-92	۲۳-۲۶	ESF-1370	۴-۶	۶/۱۰۰	۱۲	۳۳/۵	۵	۵۰۹۸	۴
Nov-94	۱۹-۲۵	ABN-AZR1373	۲۸-۴	۱/۲۲۲	۱	۳۱/۷	۶	۶۴۱۸	۱
Jan-69	۱۹-۲۵	DEY-BAH 1347	۲۹-۵	۳/۲۱۸	۲	۳۱/۲	۷	۳۶۶۷	۱۲
Mar-00	۲۳-۲۵	FAR-1379	۴-۶	۲/۸۸	۱۵	۲۹	۸	۳۱۷۳	۱۸
Nov-94	۱۶-۱۷	ABN-1373	۲۵-۲۶	۷/۵۲	۲۲	۲۶/۴	۹	۱۶۷۶	۳۰
Mar-98	۲۷-۳۰	FAR-1377	۷-۱۰	۳/۱۰۳	۱۰	۲۵/۸	۱۰	۵۶۸۰	۳
Mar-05	۱۱-۱۳	ESF-1383	۱۹-۲۲	۵/۱۰۵	۹	۲۵/۶	۱۱	no data	no data
Apr-93	۲۶-۲۸	ORD-1372	۵-۷	۷۶	۱۷	۲۵/۳	۱۲	۲۶۸۵	۲۲
Feb-93	۱-۳	BAH-1371	۱۲-۱۴	۴/۷۱	۱۹	۲۳/۸	۱۳	۴۱۲۹	۷
Apr-90	۱-۳	FAR-1369	۱۲-۱۴	۴/۶۹	۲۰	۲۳/۱	۱۴	۵۸۴۱	۲
Apr-92	۲۴-۲۷	ORD-1371	۴-۷	۹/۹۱	۱۳	۲۳	۱۵	۲۰۵۱	۲۷
Mar-69	۱۹-۲۴	ESF-FAR1348	۲۸-۴	۷/۱۲۹	۶	۲۱/۶	۱۶	۲۶۴۴	۲۳
Feb-87	۲۶-۲	ESF-1365	۷-۱۳	۵/۱۴۵	۵	۲۰/۸	۱۷	۲۹۹۱	۲۰
Mar-72	۱۶-۲۲	ESF-FAR1351	۲۶-۳	۷/۱۵۳	۴	۱۹/۲	۱۸	۲۷۸۷	۲۱
Dec-78	۵-۱۳	AZR-1357	۱۴-۲۲	۱۶۵	۳	۱۸/۳	۱۹	۴۲۵۷	۶
Apr-69	۳-۶	FAR-1348	۱۴-۱۷	۲/۶۵	۲۱	۱۶/۳	۲۰	۱۲۰۸	۳۲
Mar-93	۵-۸	ESF-1371	۱۴-۱۸	۶/۸۰	۱۶	۱۶/۱	۲۱	۴۰۳۶	۸
Mar-80	۲-۸	FAR-1359	۸-۱۰	۲/۳۷	۲۴	۱۲/۴	۲۲	۱۲۴۰	۳۱
Apr-76	۱۷-۲۰	FAR-ORD1355	۲۸-۳۱	۹/۴۸	۲۳	۱۲/۲	۲۳	۱۰۰۶	۳۳

جدول ۷-۳- فصل‌بندی وقوع سیلاب‌های بحرانی

ماه وقوع سیلاب	تعداد سیلاب بحرانی	درصد وقوع
آبان	۱	۴
آذر	۳	۱۳
دی	۱	۴
بهمن	۲	۹
اسفند	۵	۲۲
فروردین	۸	۳۵
اردیبهشت	۳	۱۳

۷-۵- مطالعات فیزوگرافی و تهیه اطلاعات مکانی

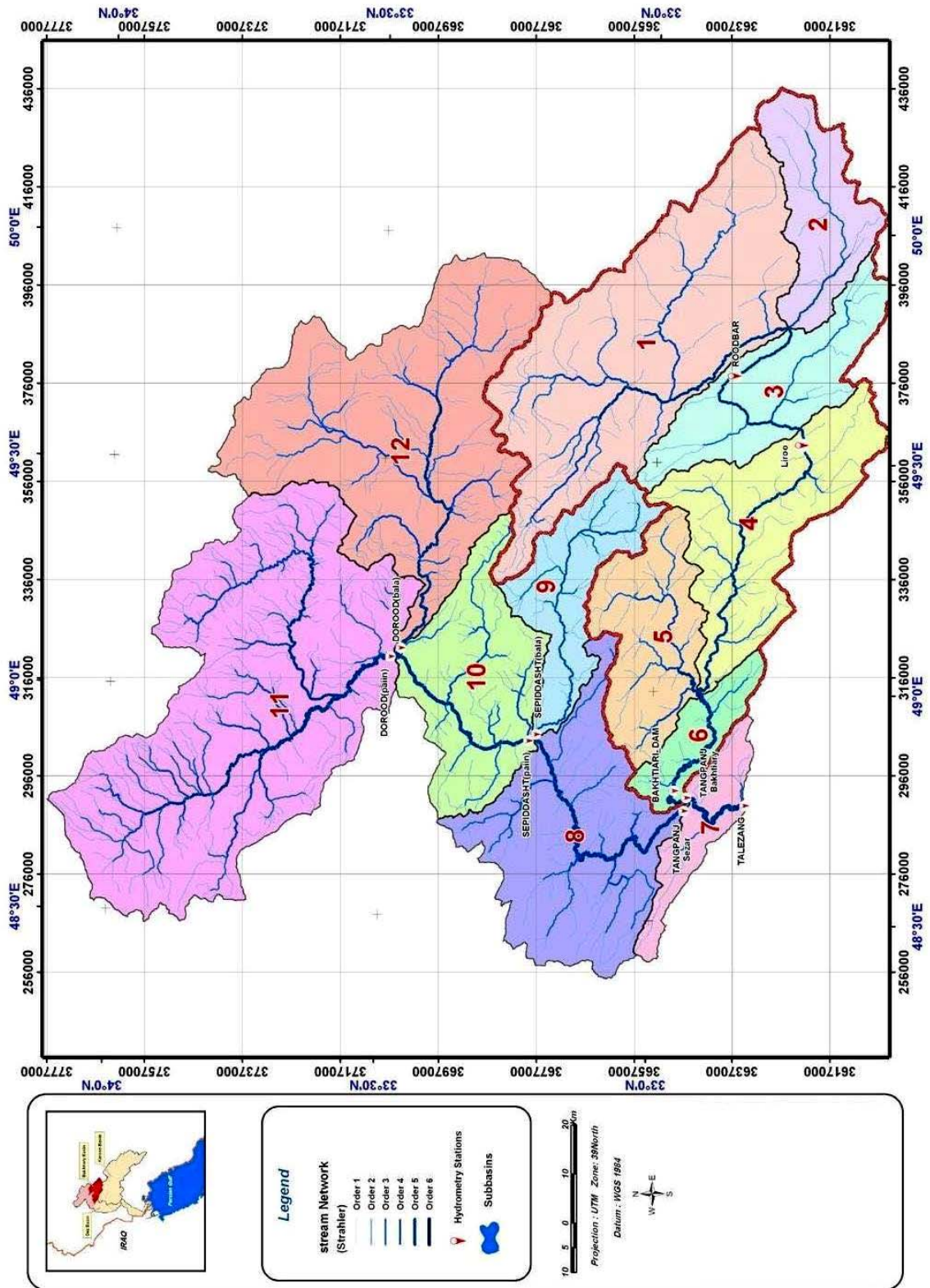
۷-۵-۱- محدوده منطقه مورد مطالعه

با توجه به بستن حوضه در محل ایستگاه تله‌زنگ در حوضه سد دز، بانک اطلاعات GIS برای محدوده حوضه آبریز تله‌زنگ، پایه‌گذاری شد. با توجه به دقت مورد نیاز، نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح به شماره‌های NI3905، NI3906، NI3909، NI3910، NI3913 و NI3914 تهیه و در محیط GIS رقومی شد.

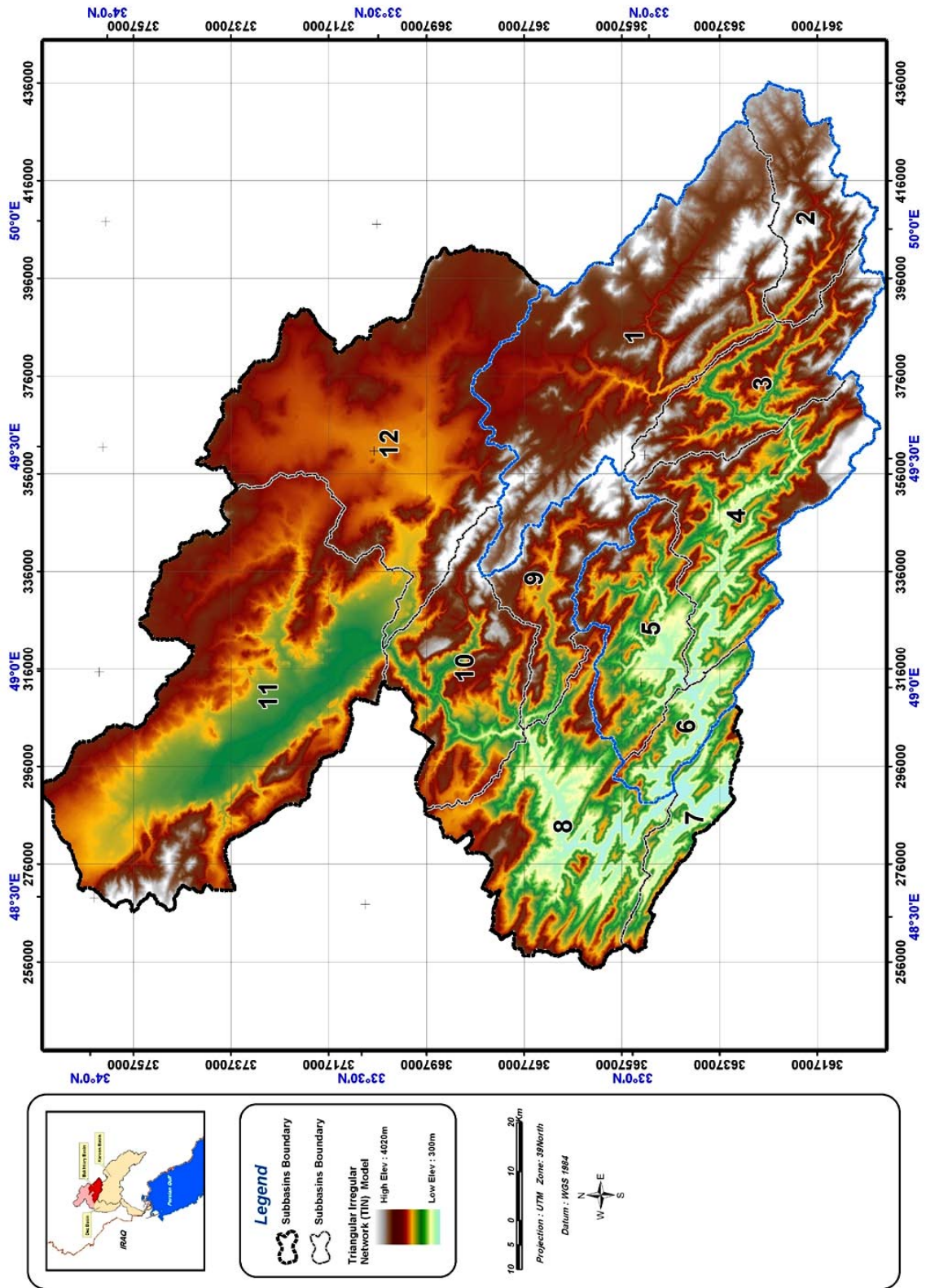
۷-۵-۲- تقسیمات و مرزبندی حوضه‌ها

براساس نقشه‌های پایه توپوگرافی، شبکه رودخانه‌ها و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی، مرز حوضه‌های رودخانه بختیاری و رودخانه سزار تا محل تلاقی دو رودخانه و همچنین حوضه آبریز ایستگاه آب‌سنجی تله‌زنگ بسته شدند. سپس هر یک از حوضه‌های بختیاری و سزار به تعدادی زیر حوضه تقسیم‌بندی شدند.

حوضه رودخانه بختیاری با توجه به محل تقاطع رودخانه‌ها و نقاط با اهمیت به شش زیرحوضه و حوضه رودخانه سزار با توجه به موقعیت برخی ایستگاه‌های آب‌سنجی به پنج زیرحوضه به اضافه یک زیرحوضه انتهایی (از محل تقاطع تنگ پنج تا محل تله زنگ) تقسیم شد. شکل (۷-۲) نقشه زیرحوضه‌بندی را بر مبنای نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد. نقشه‌های رقومی خطوط تراز توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مبنای تهیه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حوضه تا محل ایستگاه تله زنگ قرار گرفت. نقشه DEM اصلاح شده (پس از رفع خطاهای رقومی) در شکل (۷-۳) نشان داده شده است.



شکل ۷-۲- مرز زیرحوضه‌ها تا محل ایستگاه تلزننگ



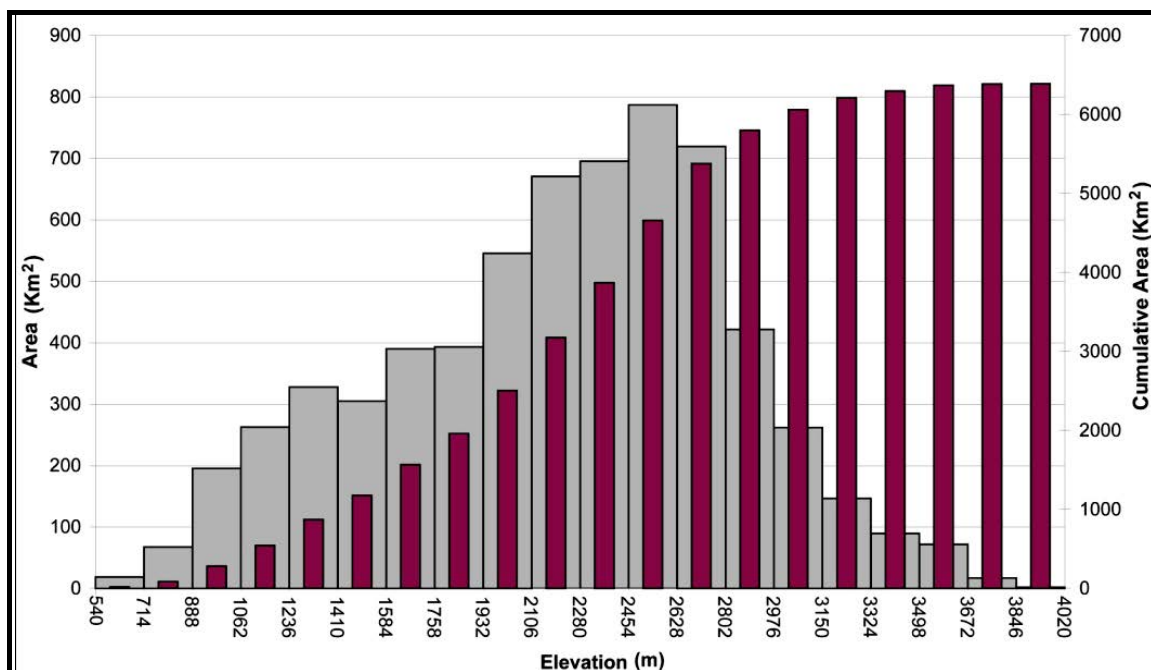
شکل ۷-۳- مدل ارتفاعی رقومی براساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰

۷-۵-۳- نمایه‌های فیزیوگرافی حوضه

در جدول (۷-۴) برخی مشخصه‌های فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها خلاصه شده‌اند. براساس نقشه DEM، توزیع و مشخصه‌های ارتفاعی زیرحوضه‌ها به شرح جدول مذکور استخراج شده‌اند. نحوه توزیع ارتفاعات حوضه بختیاری در شکل‌های (۷-۴) نمایش داده شده است. همچنین نقشه شیب حوضه از مدل ارتفاعی زمین DEM در محیط نرم‌افزارهای GIS ساخته شد. جدول (۷-۵) نیز توزیع شیب با مساحت را نشان می‌دهد. برخی خصوصیات شبکه رودخانه‌ها مانند مجموع طول رودخانه‌ها، تراکم زهکشی و نسبت انشعاب نیز در جدول (۷-۶) آمده‌اند. نیمرخ طولی، شیب خالص و شیب ناخالص رودخانه اصلی در حوضه بختیاری مطابق شکل (۷-۵) تعیین گردید. اعداد شیب خالص و ناخالص پروفیل طولی نیز در جدول (۷-۶) آمده است.

جدول ۷-۴- خلاصه مشخصات فیزیوگرافی و پایه حوضه‌ها و زیر حوضه‌های مورد مطالعه

زیر حوضه	مساحت (km ²)	محیط (km)	طول مستطیل معادل (km)	عرض مستطیل معادل (km)	ضریب گراولیوس	متوسط طول مسیر جریان (km)	حداکثر طول مسیر جریان (km)	CN (I)	CN (II)	CN (III)	ارتفاع حداقل (m)	ارتفاع حداکثر (m)	ارتفاع متوسط (m)
۱	۲۴۹۰	۳۹۳	۱۸۳	۱۴	۲/۲	۶۴	۱۱۳	۵۹	۷۶	۹۰	۱۵۱۴	۴۰۲۰	۲۵۵۲
۲	۶۷۱	۱۹۲	۸۸	۸	۲	۳۶	۶۳	۵۴	۷۲	۸۸	۱۵۱۳	۳۹۰۰	۲۶۷۲
۳	۸۶۶	۲۴۰	۱۱۳	۸	۲/۲	۲۸	۵۶	۵۹	۷۶	۹۰	۱۱۲۴	۳۷۱۰	۲۲۳۴
۴	۱۲۱۵	۲۸۵	۱۳۳	۹	۲/۲	۵۴	۹۴	۶۰	۷۷	۹۱	۶۸۹	۳۷۱۵	۱۸۵۷
۵	۸۱۹	۲۰۸	۹۶	۹	۲	۲۹	۵۶	۶۴	۸۰	۹۲	۶۹۴	۳۱۳۴	۱۶۷۹
۶	۳۲۷	۱۳۲	۶۱	۵	۲	۲۶	۵۰	۶۲	۷۸	۹۱	۵۳۹	۲۴۹۹	۱۲۷۹
۷	۳۶۶	۱۷۲	۸۲	۵	۲/۵	۲۲	۴۸	۶۲	۷۸	۹۱	۴۵۴	۲۵۱۵	۱۲۹۴
۸	۱۵۴۴	۳۲۴	۱۵۲	۱۰	۲/۳	۵۵	۱۰۱	۶۴	۸۰	۹۲	۵۳۹	۳۰۱۴	۱۵۴۸
۹	۶۸۷	۲۳۱	۱۰۹	۶	۲/۴	۴۷	۷۹	۶۶	۸۱	۹۳	۹۸۴	۴۰۱۶	۲۳۲۳
۱۰	۱۰۵۹	۲۲۸	۱۰۴	۱۰	۱/۹	۳۴	۷۷	۶۴	۸۰	۹۲	۹۸۴	۳۹۶۰	۲۰۷۳
۱۱	۳۴۹۹	۴۲۷	۱۹۶	۱۸	۲	۶۱	۱۱۰	۶۲	۷۸	۹۱	۱۴۰۰	۳۶۳۳	۱۹۵۲
۱۲	۲۵۶۴	۴۱۸	۱۹۶	۱۳	۲/۳	۷۴	۱۱۳	۶۲	۷۸	۹۱	۱۴۰۰	۳۹۶۶	۲۱۳۹
Cezar (8-9-10-11-12)	۹۳۵۴	۱۰۱۱	۴۸۶	۱۹	۲/۹	۱۴۵	۲۲۵	-	-	-	۵۳۹	۴۰۱۶	۱۹۷۷
Bakhtyari	۶۳۸۸	۷۱۲	۲۳۷	۱۹	۲/۴	۱۵۲	۲۷۰	۵۹	۷۶	۹۰	۵۳۹	۴۰۲۰	۲۲۱۲
Tal-e-Zang	۱۶۱۰۸	۱۰۷۹	۵۰۸	۳۲	۲/۳	۱۶۳	۲۸۸	۶۱	۷۸	۹۱	۴۵۴	۴۰۲۰	۲۰۵۵



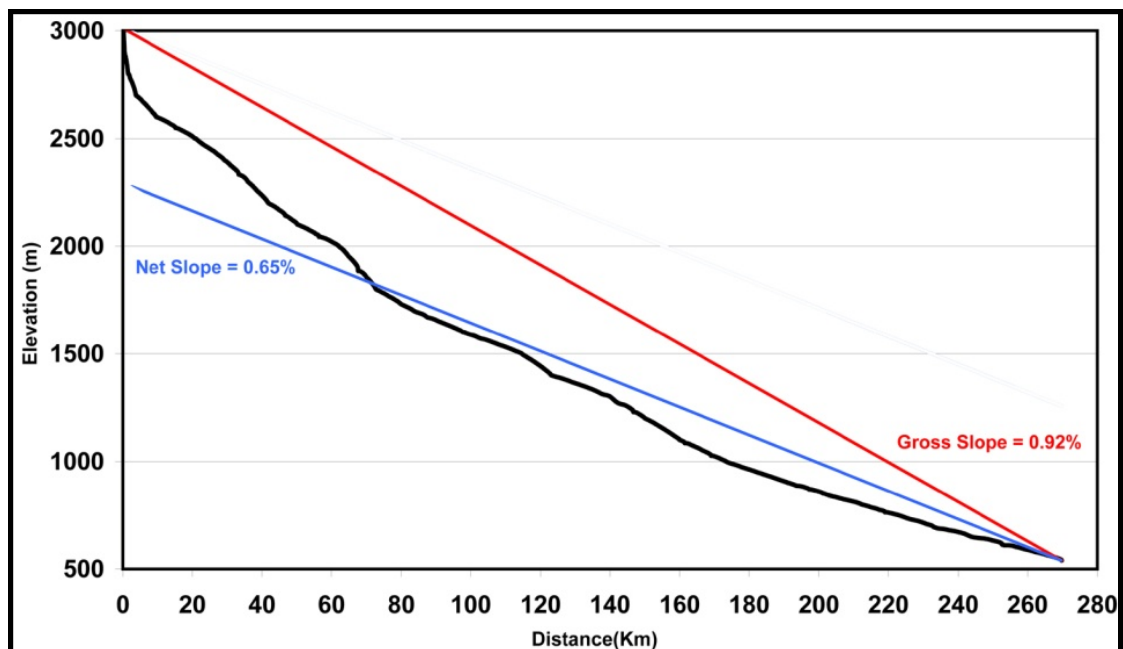
شکل ۷-۴- نمودار هیسومتری حوضه بختیاری

جدول ۷-۵- توزیع شیب (به درصد) با مساحت (km²)

زیر حوضه	شیب میانگین	شیب (درصد)							
		۲-۰	۵-۲	۸-۵	۱۲-۸	۲۰-۱۲	۳۰-۲۰	۶۰-۳۰	۶۰<
	۲۶/۶	۷۹	۲۲۷	۱۹۸	۲۲۶	۴۱۳	۳۵۰	۷۹۰	۲۰۵
۲	۳۵/۲	۳	۲۶	۲۶	۳۷	۹۶	۹۸	۲۸۴	۹۸
۳	۴۳/۸	۰	۴	۶	۱۳	۶۰	۱۰۶	۴۹۰	۱۸۳
۴	۴۲/۷	۳	۱۲	۲۱	۴۱	۱۱۵	۱۵۸	۵۸۳	۲۷۸
۵	۳۷/۱	۲	۱۲	۱۵	۳۵	۱۱۰	۱۲۹	۳۸۵	۱۲۷
۶	۴۵/۳	۰	۲	۵	۸	۳۰	۳۲	۱۶۱	۸۴
۷	۴۲/۹	۱	۶	۶	۱۰	۳۷	۴۸	۱۶۹	۸۶
۸	۳۳/۷	۱۱	۳۸	۴۰	۷۰	۳۴۰	۳۱۶	۶۴۱	۱۸۴
۹	۳۹/۳	۲	۸	۱۲	۲۷	۷۹	۹۴	۳۵۰	۱۱۲
۱۰	۳۳/۳	۶	۳۱	۳۵	۶۰	۱۶۴	۱۸۷	۴۶۰	۱۱۱
۱۱	۱۳/۱	۳۸۰	۸۶۲	۵۱۹	۴۶۵	۵۰۴	۳۰۶	۴۱۸	۴۲
۱۲	۱۰/۴	۴۶۳	۸۱۵	۳۹۳	۲۵۵	۲۴۰	۱۴۵	۲۱۲	۳۶
Cezar(8-9-10-11-12)	۱۹/۹	۸۶۴	۱۷۵۷	۱۰۰۱	۸۷۸	۱۲۲۹	۱۰۵۱	۲۰۸۴	۴۸۸
Bakhtyari	۳۵/۲	۸۸	۲۸۶	۲۷۲	۳۶۴	۸۲۷	۸۷۵	۲۶۹۶	۹۷۶
Tal-e-Zang	۲۶/۵	۹۵۲	۲۰۵۰	۱۲۸۰	۱۲۵۲	۲۰۹۵	۱۹۷۵	۴۹۵۰	۱۵۵۱

جدول ۷-۶- خصوصیات شبکه و شیب پروفیل طولی رودخانه‌ها

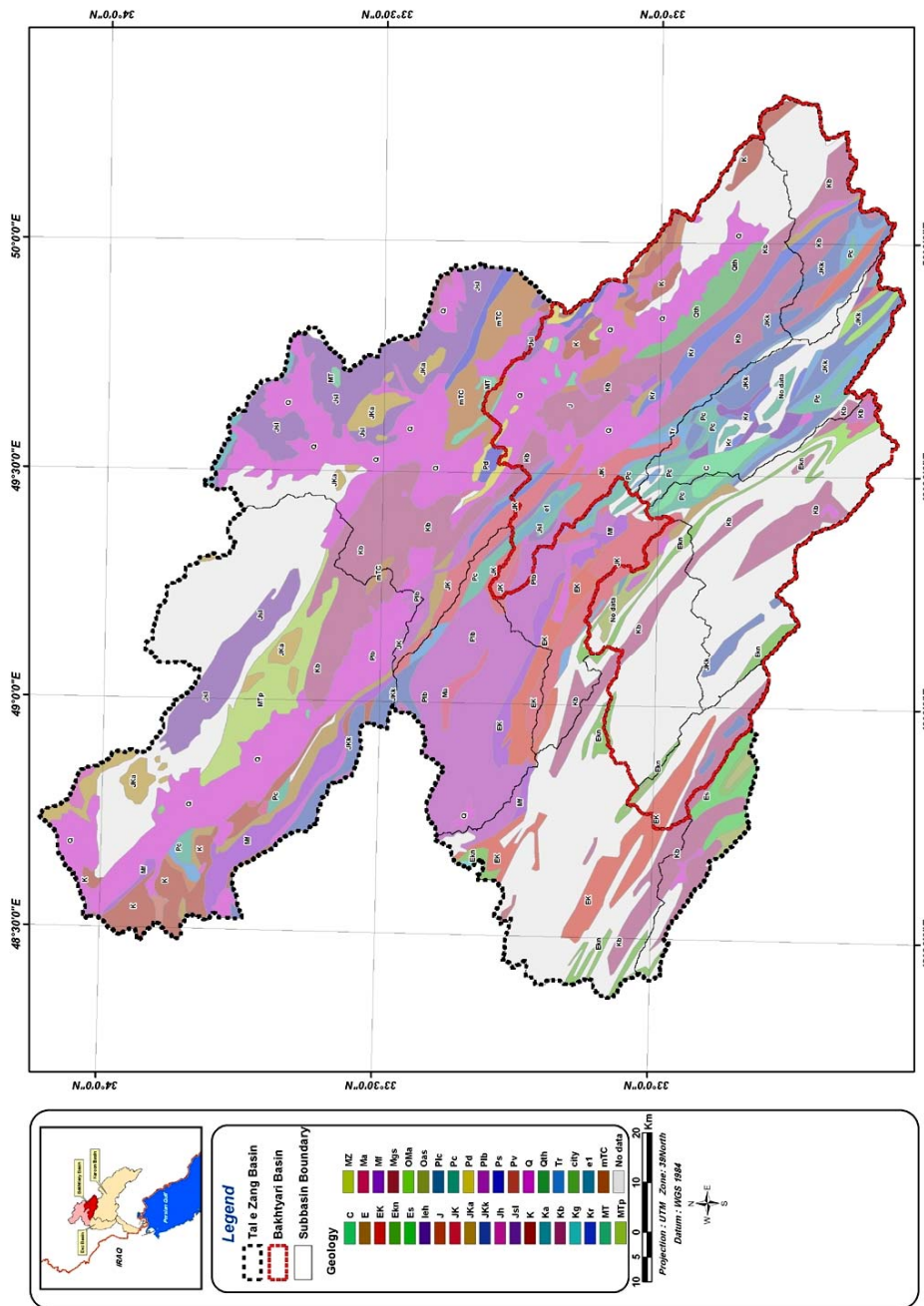
Subbasin	Summation of all Streams Length (km)	Drainage Density (km/km ²)	Bifurcation Ratio	Gross Slope (Percent)	Net Slope (Percent)
۱	۱۵۴۵	۰/۶۲	۳/۶	۱/۳۳	۰/۹۸
۲	۳۹۷	۰/۵۹	۵/۶	۲/۲۵	۱/۹
۳	۵۰۱	۰/۵۸	۳/۲	۴/۵۲	۲/۳۳
۴	۷۱۸	۰/۵۹	۳/۳	۲/۶۸	۱
۵	۵۰۳	۰/۶۱	۳/۷	۳/۹۶	۱/۹۳
۶	۱۹۸	۰/۶۱	۲/۵	۳/۰۹	۱/۰۱
۷	۲۰۹	۰/۵۷	۲/۴	۴/۰۷	۲/۰۲
۸	۹۳۳	۰/۶۰	۲/۹	۲/۱۵	۰/۹۹
۹	۴۰۵	۰/۵۹	۵/۳	۳/۰۲	۱/۸۸
۱۰	۶۱۷	۰/۵۸	۲/۸	۳/۶۴	۱/۸
۱۱	۲۳۹۲	۰/۶۸	۳/۸	۱/۰۱	۰/۶۴
۱۲	۱۸۱۷	۰/۷۱	۳/۸	۱/۳۳	۰/۸۶
Cezar(8-9-10-11-12)	۶۱۶۴	۰/۶۶	۳/۹	۱/۱۴	۰/۳
Bakhtyari	۳۸۶۳	۰/۶۰	۴/۳	۰/۸۹	۰/۶۳
Tal-e-Zang	۱۰۲۳۶	۰/۶۴	۴	۰/۹۲	۰/۶۵



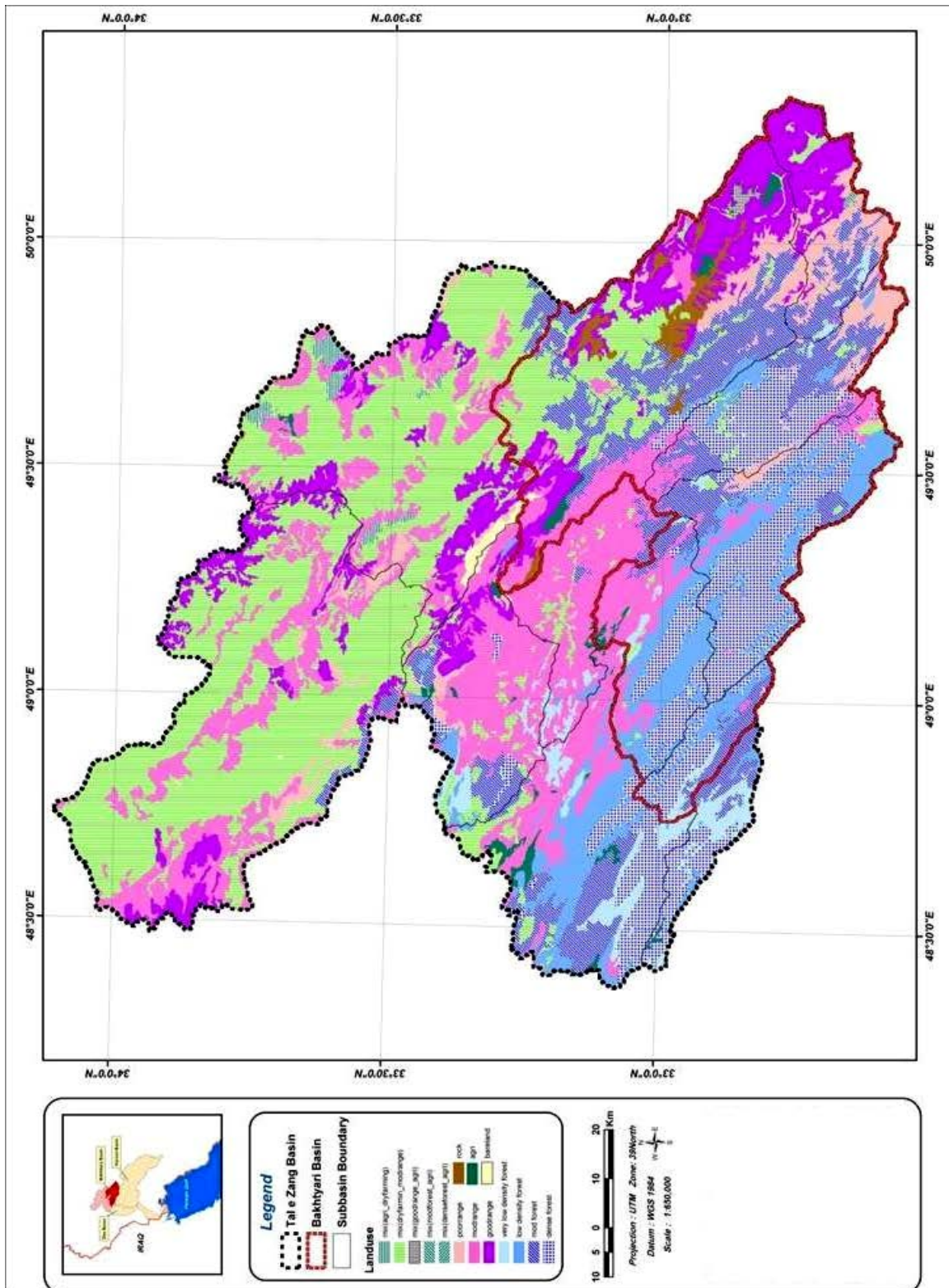
شکل ۷-۵- نیم‌رخ طولی، شیب خالص و شیب ناخالص رودخانه اصلی حوضه بختیاری

۷-۵-۴- نقشه‌های پایه

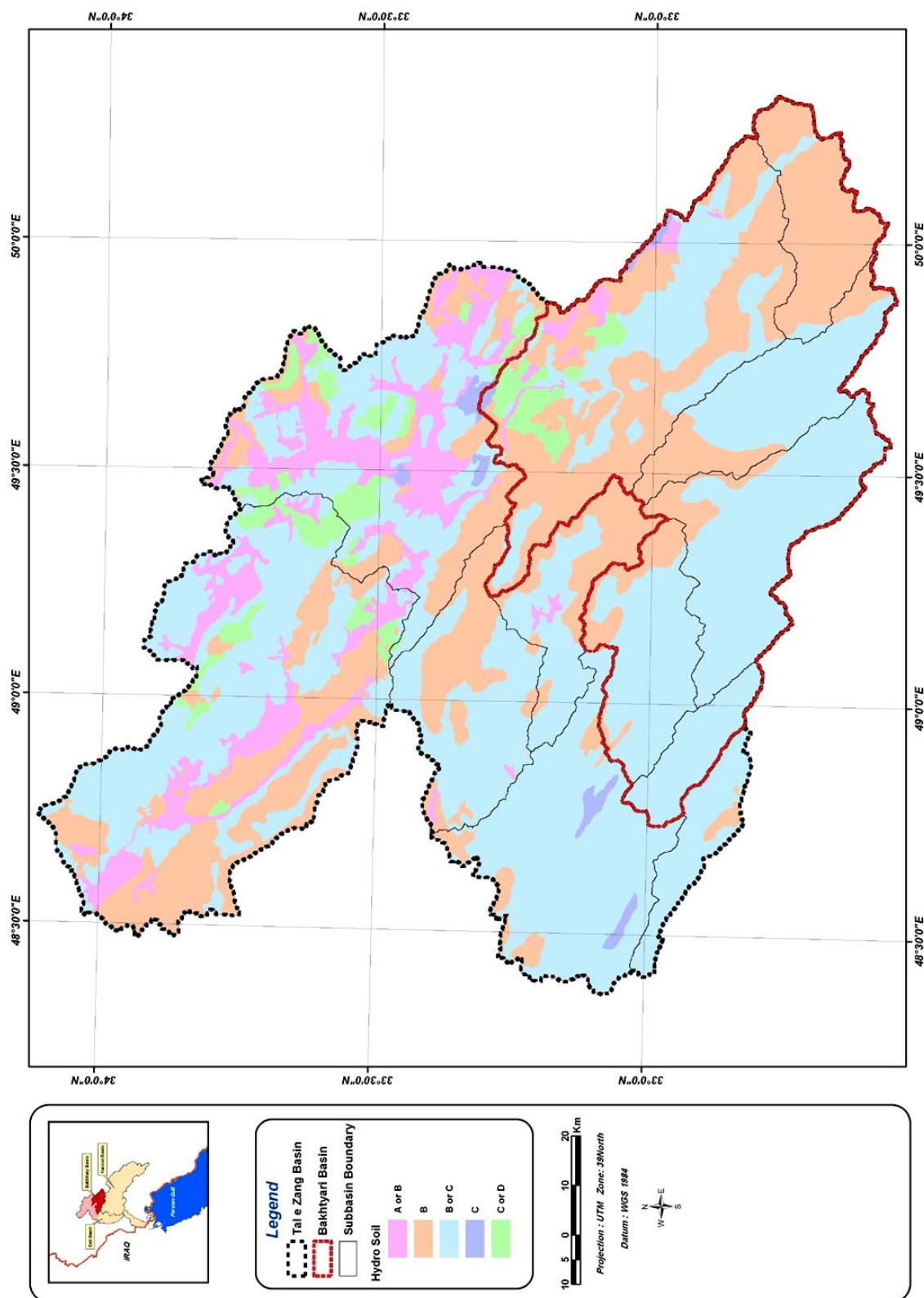
خصوصیات حوضه آبریز از نظر نفوذپذیری از عوامل موثر در شکل‌گیری سیلاب‌ها می‌باشد. شکل (۶-۷) نقشه زمین‌شناسی حوضه را در مقیاس موجود ۱:۲۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد. همچنین شکل (۷-۷) طبقه‌بندی کاربری اراضی در حوضه (از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ETM سال ۲۰۰۲) را نمایش می‌دهد. با کمک نقشه‌های زمین‌شناسی (سازمان زمین‌شناسی) و خاک‌شناسی (موسسه تحقیقات خاک و آب)، طبقه‌بندی اولیه گروه‌های هیدرولوژیک خاک انجام شد که در شکل (۷-۸) آمده است. با ترکیب نقشه خاک، کاربری اراضی، نقشه عدد منحنی (CN) برای شرایط رطوبتی II تهیه شد (شکل ۷-۹).



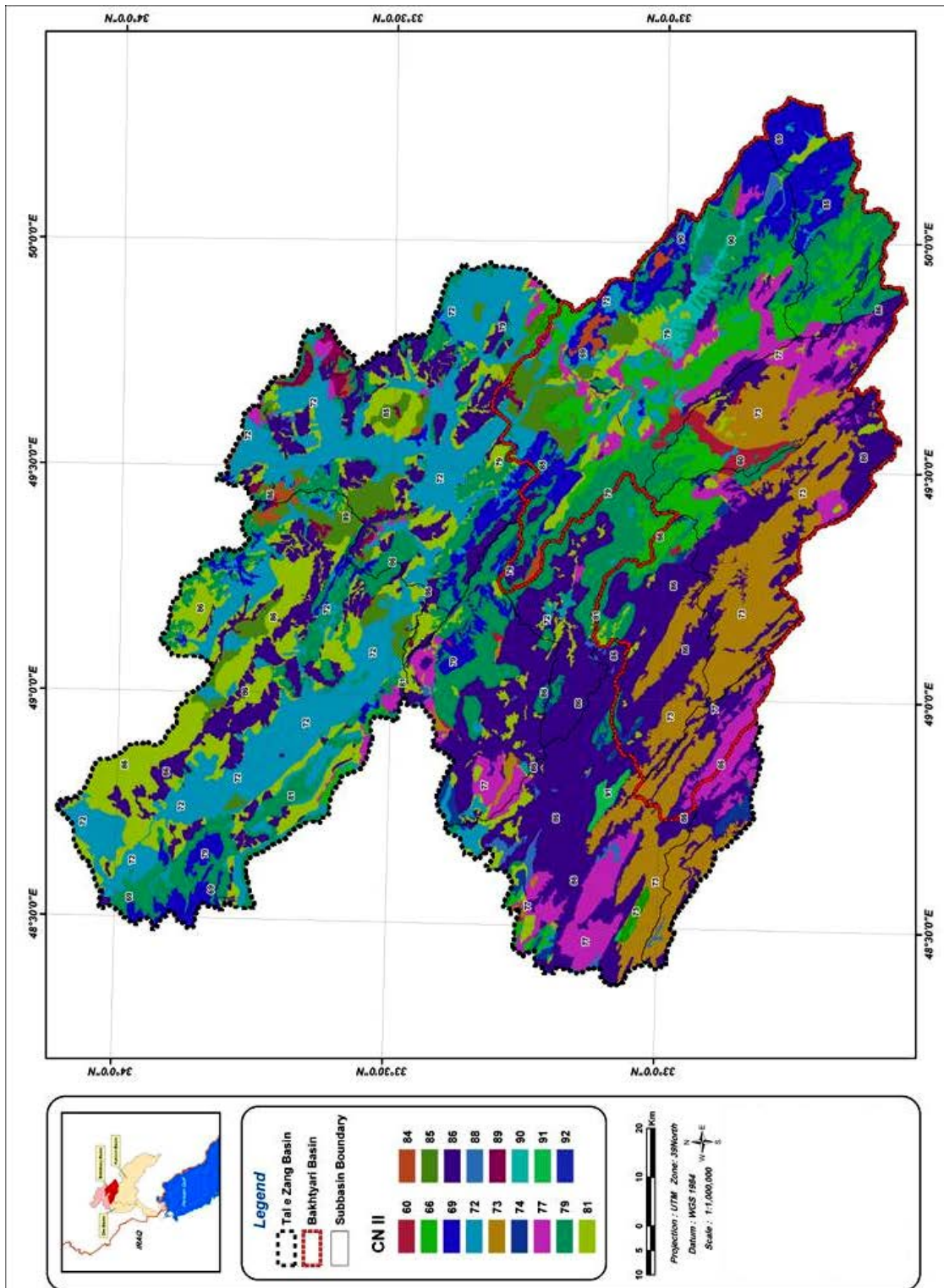
شکل ۷-۶- نقشه زمین‌شناسی حوضه



شکل ۷-۷- نقشه کاربری اراضی حوضه



شکل ۷-۸- طبقه‌بندی گروه‌های هیدرولوژیک خاک

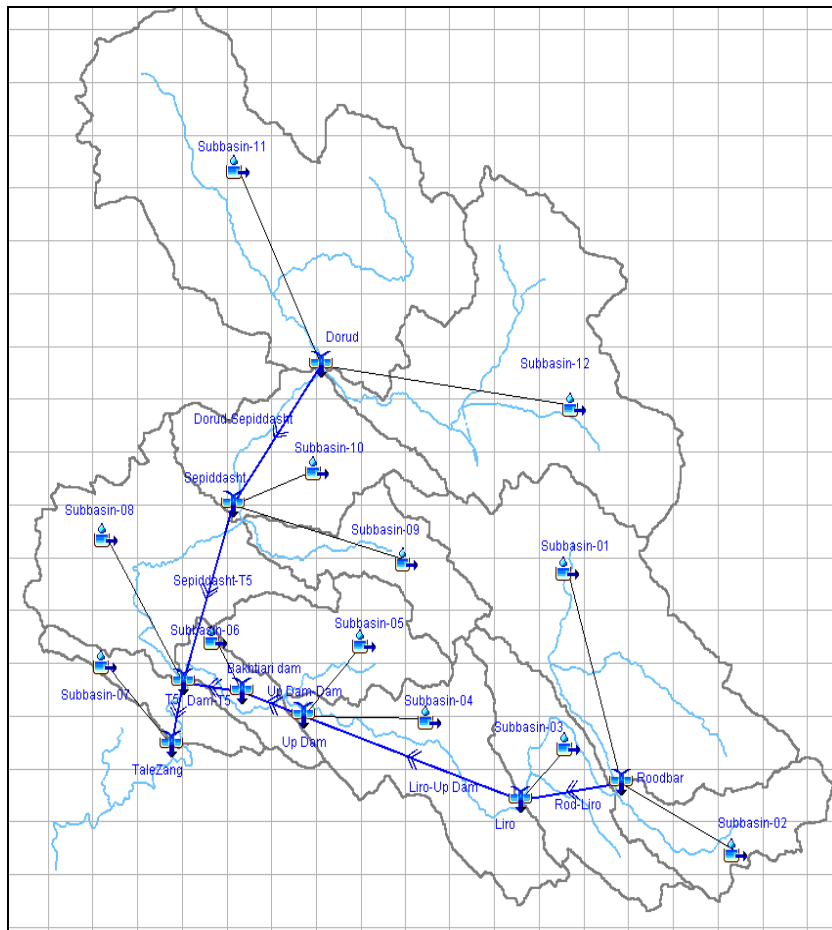


شکل ۷-۹- طبقه‌بندی عدد منحنی (CN-II) حوضه

۷-۶- آماده‌سازی و واسنجی مدل بارش - رواناب

۷-۶-۱- مراحل اولیه

مراحل آماده‌سازی مدل HEC-HMS بارش - رواناب برای حوضه تله‌زنگ به شرح زیر انجام گردید. ورود اطلاعات زیرحوضه‌ها و اتصال شبکه رودخانه‌ها (از محل خروجی زیرحوضه‌ها تا خروجی کل حوضه) در محیط مدول BASIN و ورود آمار و اطلاعات هواشناسی شامل بارندگی و دما و نیز برف از طریق مدول METEOROLOGY عملی شد. شکل (۷-۱۰) شماتیک توپولوژی زیرحوضه‌ها و رودخانه‌های بالادست ایستگاه تله‌زنگ ساخته شده در محیط گرافیکی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۰- توپولوژی زیر حوضه‌ها و رودخانه‌های بالادست ایستگاه تله‌زنگ ساخته شده در محیط مدل HEC- HMS

۷-۶-۲- انتخاب وقایع مناسب برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی

برای کالیبراسیون مدل HEC-HMS از بین طوفان‌های بحرانی، چند طوفان که از نظر کمیت و کیفیت اطلاعات داده‌های پایه نسبتاً کامل بودند، انتخاب شدند. جدول (۷-۷) تاریخ وقوع طوفان‌های انتخابی برای مراحل واسنجی و اعتباریابی و نیز تداوم سیلاب ثبت شده را نشان می‌دهد.

جدول ۷-۷- تاریخ بارش و سیلاب مربوط به طوفان‌های واسنجی و اعتباریابی

Event	Rainfall Date	Rainfall Duration ((days	Direct Runoff Peak ((m ³ /s	Flood Date	Stage
Far 1377	۷--۱۰	۴	۵۶۸۰	۷-۲۰/۱/۷۷	Calibration
Bah 1371	۱۲--۱۴	۳	۴۱۲۹	۱۲-۱۷/۱۱/۷۱	Calibration
Dey 1371	۱۶--۱۸	۳	۳۶۲۱	۱۶-۲۵/۱۰/۷۱	Validation

۷-۶-۳- توزیع زمانی و مکانی بارندگی

توزیع زمانی بارندگی هر طوفان در هر زیر حوضه براساس مقادیر بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی منطقه با فواصل زمانی ۶ ساعته تعیین گردید. با ترسیم چندضلعی‌های تیسن و با توجه به موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی، زیرحوضه‌های محدوده پوشش هر ایستگاه از نظر توزیع زمانی مشخص شد. لازم به ذکر است که کلیه ایستگاه‌ها برای همه واسنجی دارای آمار ثبت شده نبودند. مقدار کل بارندگی در هر زیرحوضه در هر طوفان از نقشه توزیع مکانی بارش در گزارش PMP به‌دست آمد. جدول (۷-۸) عمق کل بارش محاسبه شده برای هر زیر حوضه به ازای طوفان‌های واسنجی و اعتباریابی را نشان می‌دهد.

جدول ۷-۸- عمق کل بارش (بر حسب میلی‌متر) زیر حوضه‌ها به ازای طوفان‌های

کالیبراسیون و اعتباریابی (استخراج شده از مطالعات PMP)

Subbasin	Bah 1371	Far 1377	Dey 1371
۱	۶۸/۳	۱۳۲/۰	۷۱/۸
۲	۷۲/۰	۱۱۱/۶	۹۶/۴
۳	۷۳/۷	۱۲۰/۵	۸۰/۶
۴	۸۸/۰	۱۰۲/۵	۷۶/۹
۵	۸۷/۹	۱۰۰/۸	۷۴/۳
۶	۱۸۳/۵	۱۲۷/۷	۱۵۳/۱
۷	۲۰۹/۴	۱۱۶/۶	۱۴۶/۶
۸	۱۴۸/۲	۱۰۳/۲	۱۱۶/۹
۹	۷۹/۳	۱۰۶/۷	۷۳/۱
۱۰	۸۶/۰	۱۰۹/۱	۹۳/۴
۱۱	۶۰/۶	۹۷/۸	۵۵/۴
۱۲	۶۱/۱	۹۹/۵	۴۷/۷

۷-۶-۴- محاسبه تلفات اولیه و نفوذ

در این بخش، برای محاسبه تلفات نفوذ از روش نفوذ SCS استفاده شد. برای برآورد شماره منحنی (CN) در هر زیر حوضه ابتدا نقشه پوشش گیاهی و گروه هیدرولوژیک خاک تهیه و تلفیق شد. سپس CN میانگین هر زیرحوضه در شرایط رطوبتی متوسط (AMCII) به‌دست آمد. برای محاسبه شماره منحنی نفوذ CN در هر زیر حوضه در هر طوفان از

روش میانگین وزنی CN سطوح پوشیده از برف (حاصل از تصاویر ماهواره‌ای قبل از طوفان) و بدون برف در شرایط اولیه قبل از شروع بارش استفاده شد. CN سطوح پوشیده از برف برای شرایط AMC III و CN سطوح بدون برف برابر با CN شرایط موجود در نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنجی به زیرحوضه با توجه به مقدار بارش ۵ روز قبل از رگبار در نظر گرفته شد. در جدول (۷-۹)، CN مربوط به یکی از وقایع بارندگی در زیرحوضه‌های مختلف آورده شده است. همچنین مقدار تلفات اولیه در جدول مذکور برابر با ۱۰ درصد ظرفیت ذخیره پتانسیل هر زیر حوضه در نظر گرفته شد تا در مرحله واسنجی در صورت نیاز تغییرات لازم در آن داده شود.

جدول ۷-۹- عدد منحنی وزنی زیر حوضه‌ها مربوط به طوفان فروردین ۱۳۷۷

Sub basin	Subbasin area (km ²)	Snow coverd area (km ²)	Non-Snow coverd area (km ²)	Weighted CN	Potential maximum retention (mm)	Initial abstraction (mm)
۱	۲۴۹۰	۱۲۰۳	۱۲۸۷	۸۳	۵۲/۵	۵/۳
۲	۶۷۱	۳۹۸	۲۷۳	۸۱	۵۸/۳	۵/۸
۳	۸۶۶	۲۱۲	۶۵۴	۶۷	۱۲۷/۶	۱۲/۸
۴	۱۲۱۵	۱۶۹	۱۰۴۶	۶۵	۱۳۹/۸	۱۴/۰
۵	۸۱۹	۴۰	۷۷۹	۶۶	۱۳۲/۱	۱۳/۲
۶	۳۲۷	۰	۳۲۷	۶۲	۱۵۸/۲	۱۵/۸
۷	۳۶۶	۰	۳۶۶	۶۲	۱۵۸/۲	۱۵/۸
۸	۱۵۴۴	۱۸	۱۵۲۷	۶۵	۱۳۸/۵	۱۳/۸
۹	۶۸۷	۲۶۵	۴۲۳	۷۶	۷۸/۹	۷/۹
۱۰	۱۰۵۹	۱۳۷	۹۲۲	۶۸	۱۱۹/۳	۱۱/۹
۱۱	۳۴۹۹	۱۱۲	۳۳۸۷	۷۸	۶۹/۹	۷/۰
۱۲	۲۵۶۴	۱۷۱	۲۳۹۳	۶۴	۱۴۵/۴	۱۴/۵

۷-۶-۵- ذوب برف

در این مطالعه از روش شاخص دما^۱ یا درجه - روز برای محاسبه میزان ذوب برف استفاده شد. در این روش برای محاسبه میزان ذوب برف در هر گام زمانی به اطلاعات مربوط به سری زمانی دما و ارتفاع اولیه آب معادل برف نیاز می‌باشد. درجه حرارت آستانه ذوب برف برابر با صفر درجه سانتی‌گراد و مقدار اولیه ضریب ذوب برف با توجه به مطالعات قبلی در منطقه برابر با ۳/۵ میلی‌متر در هر درجه روز در نظر گرفته شد که در ادامه واسنجی می‌شود. مدل HEC-HMS اثر بارش را در ذوب برف در نظر می‌گیرد به این صورت که در هر گام محاسباتی که شدت بارش از یک شدت حد معرفی شده به

1- Temperature Index

مدل بیش تر باشد، ضریب ذوب برف ناشی از بارش در مدل ذوب برف در نظر گرفته می شود. در ادامه استخراج آمار دما و برآورد آب معادل برف تشریح می شود.

۷-۶-۵-۱- تعیین دمای دوره طوفان

به منظور تعیین دما در طول طوفان از دو سری آمار ساعتی دما استفاده شد. سری اول مربوط به ایستگاه های سینوپتیک می باشد که به صورت ۳ ساعته در ساعت های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۱ به وقت گرینویچ در دسترس می باشد. اما به دلیل تعداد کم این ایستگاه ها در منطقه و قرار گرفتن ایستگاه های سینوپتیک در دشت ها، این ایستگاه ها دامنه ارتفاعی مناسبی را پوشش نمی دهند. جدول (۷-۱۰) فهرست ایستگاه های سینوپتیک موجود در منطقه را به همراه ارتفاع آن ها را نشان می دهد.

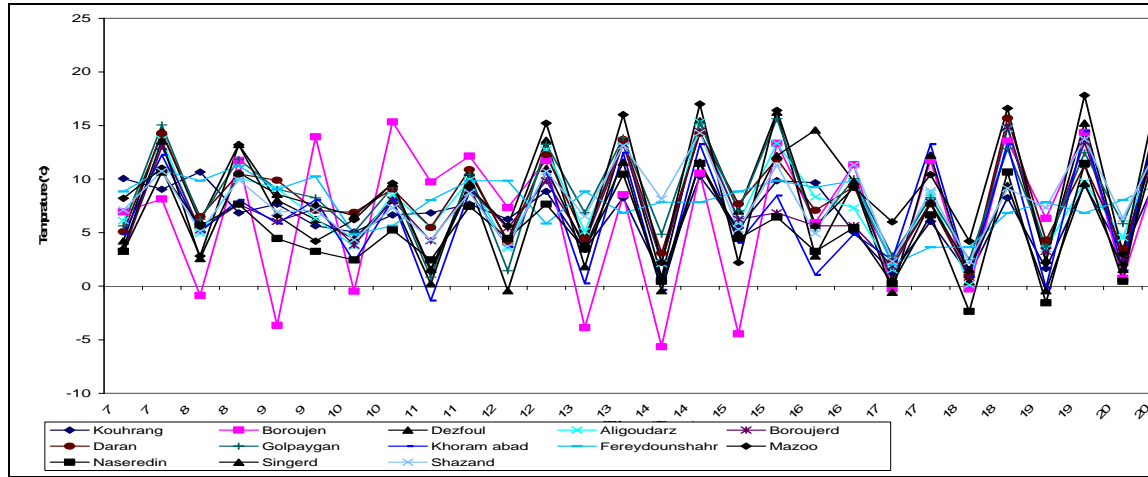
جدول ۷-۱۰- ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی مورد استفاده برای تعیین دما

Synoptic Station		Climatological Station	
Name	Elavation (m)	Name	Elevation(m)
Boroujerd	۱۶۲۹	Badanjan	۲۳۰۰
Aligoudarz	۲۰۲۲	Damaneh-e-faridan	۲۳۰۰
Arak	۱۷۰۸	Fereydounshahr	۲۴۹۰
Dezful	۱۴۳	Mazoo	۴۵۰
Khoramabad	۱۱۴۸	Singerd	۲۱۰۰
Kouhrang	۲۲۸۵	Shazand	۱۹۱۸
Borujen	۲۱۹۷	Pol-e-zamankhan	۱۸۱۰
Daran	۲۲۹۰	Naseredin	۱۱۸۲
Shar-e-kord	۲۰۴۹	Noujian	۱۹۸۴
Golpaygan	۱۸۷۰	Dareh Takht	۲۰۰۰

سری دیگر داده ها مربوط به ایستگاه های کلیماتولوژی سازمان هواشناسی است. برداشت دما در این ایستگاه ها توسط چهار دماسنج ماکزیمم، مینیمم، تر و خشک در ساعت های ۰۰، ۰۹ و ۱۶ به وقت گرینویچ انجام می گیرد. برای تلفیق داده های ایستگاه های کلیماتولوژی با ایستگاه های سینوپتیک از دماهای ۱۲ ساعته در ساعت های ۰۳ و ۱۵ هر روز (به وقت محلی ۶/۵ صبح و ۶/۵ عصر) استفاده گردید. فهرست ایستگاه های کلیماتولوژی نیز در جدول (۷-۱۰) آمده است. قابل ذکر است که آن دسته از ایستگاه های کلیماتولوژی منطقه که مجاور یک ایستگاه سینوپتیک قرار داشتند، در نظر گرفته نشدند. بنابراین در دوره وقوع هر طوفان، عامل دما برای هر یک از ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی در ساعت های ۶/۵ صبح و ۶/۵ عصر (۱۲ ساعته) استخراج گردید.

به منظور شناسایی داده های دارای خطای احتمالی، نمودارهای سری زمانی دما در طول طوفان به روی یک گراف رسم گردید و ایستگاه هایی که روند دمایی کاملاً متفاوتی نسبت به سایر ایستگاه ها نشان دادند، حذف شدند. سپس با استفاده از نرخ تنزیل دما ارتفاعی که در ذیل شرح داده می شود، دمای کلیه ایستگاه ها به یک ارتفاع مبنا (۲۰۰۰ متر)

تبدیل و مقایسه شد. شکل (۷-۱۱) نمونه‌ای از نمودارهای سری زمانی دمای وقوع طوفان را برای طوفان فروردین ۱۳۷۷ نشان می‌دهد.

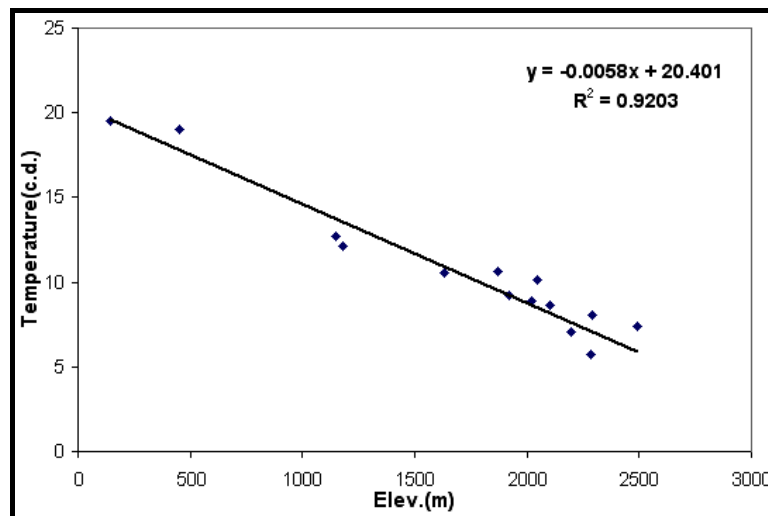


شکل ۷-۱۱- نمونه‌ای از نمودارهای سری زمانی دمای ۱۲ ساعته در طول وقوع طوفان هفتم تا بیستم فروردین ۱۳۷۷

در مرحله بعد برای به‌دست آوردن دما در خروجی هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از نرخ تنزیل دما ارتفاعی و سری دمایی نزدیک‌ترین ایستگاه، دما در محل خروجی زیرحوضه‌ها برآورد گردید.

۷-۶-۵-۲- تعیین نرخ تنزیل دما با ارتفاع

با بررسی روابط دما با ارتفاع در منطقه در دوره‌های سالانه، ماهانه و روزانه مشخص شد که نرخ تنزیل دما با افزایش ارتفاع در منطقه از $5/5$ درجه سانتی‌گراد در هوای مرطوب تا $7/5$ درجه سانتی‌گراد در هوای خشک به ازای هر کیلومتر ارتفاع، متغیر می‌باشد. به منظور افزایش دقت، نرخ تنزیل دما برای هر یک از طوفان‌ها به صورت جداگانه محاسبه گردید. رابطه میانگین دمای دوره طوفانی برای هر ایستگاه با ارتفاع تعیین شد. شکل (۷-۱۲) نمونه‌ای از برآورد نرخ تنزیل دما را برای طوفان فروردین ۱۳۷۷ نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که نرخ تنزیل دما $5/8$ درجه سانتی‌گراد برای هر کیلومتر ارتفاع با ضریب تعیین $0/92$ می‌باشد. همچنین نرخ تنزیل دما برای طوفان بهمن ۱۳۷۱ و طوفان دی ۱۳۷۱ به ترتیب برابر با $6/3$ و $8/2$ درجه سانتی‌گراد به ازای هر کیلومتر ارتفاع به‌دست آمد.



شکل ۷-۱۲ - نمونه‌ای از رابطه تنزیل دما با ارتفاع برای طوفان فروردین ۱۳۷۷

۷-۶-۵-۳- تعیین دمای آستانه ریزش برف

یکی از پارامترهایی که در مدل HMS-HEC مورد استفاده قرار می‌گیرد دمای آستانه ریزش برف است. بارش در دماهای پایین‌تر از دمای آستانه به صورت برف در نظر گرفته می‌شود. شرکت مهندسی مشاور جاماب در سال ۱۳۸۲ در پروژه «مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های برف‌سنجی و پایگاه اطلاعات برف حوضه‌های کرخه، دز، کارون و مارون» این پارامتر را برای حوضه دز مورد مطالعه قرار داد. در آن مطالعه با اخذ داده‌های بارش شش ساعته، نوع پدیده سه‌ساعته (برف یا باران) و متوسط دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی، مقدار دمای آستانه ریزش برف محاسبه گردید. دمای آستانه ریزش برف برای ایستگاه‌های بروجرد، خرم‌آباد، کوهرنگ، الیگودرز و شهرکرد به ترتیب برابر ۲/۳، ۲/۲، ۲/۶، ۲/۹ و ۲/۳ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (جاماب، ۱۳۸۲). مقدار منطقه‌ای دمای آستانه ۲/۴ درجه منظور شد، ولی در مرحله واسنجی مدل اجازه تغییر در این عامل داده شد.

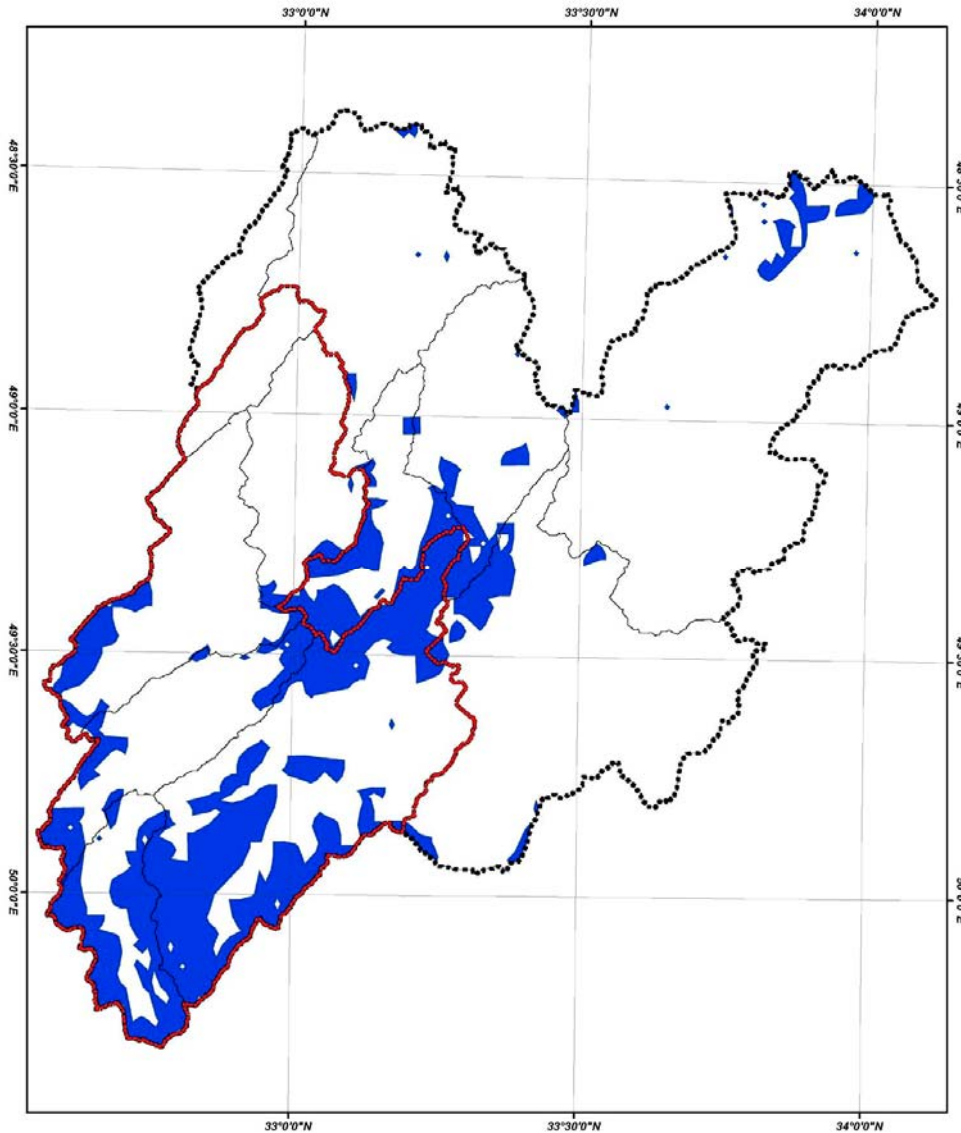
۷-۶-۶- آب معادل برف

۷-۶-۶-۱- تعیین سطح پوشش برف

یکی از مزایای این مطالعه، استفاده از سطوح پوشش برف مربوط به تصاویر ماهواره NOAA-AVHRR می‌باشد. تصاویر سطح پوشش برف مورد استفاده از مطالعات پروژه «مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های برف‌سنجی و پایگاه اطلاعات برف حوضه‌های کرخه، دز، کارون و مارون» اخذ شد (جاماب، ۱۳۸۲). در آن پروژه تصاویر NOAA-AVHRR مناسب برای دوره آماری ۱۳۶۸ الی ۱۳۸۲ استخراج و پردازش گردید.

علاوه بر تعیین آب معادل برف از مشاهدات زمینی، برای هر طوفان سطح پوشش برف نیز برای نزدیک‌ترین تاریخ قبل از شروع طوفان تعیین گردید. اما در پاره‌ای از موارد به دلیل عدم وجود سطح پوشش برف یا ناقص بودن سطح

پوشش برف به دلیل وجود ابر، سطح برف برآورد شد. شکل (۷-۱۳) نقشه سطح پوشش برف در تاریخ‌های ۵ فروردین ۱۳۷۷ برای حوضه دز را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۳- نقشه برآوردی سطح پوشش برف (رنگ تیره) برای حوضه دز در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۷۷

۷-۶-۲- عمق برف در ایستگاه‌های سینوپتیک

عمق برف به صورت روزانه در ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی برداشت می‌شود. هشت ایستگاه خرم‌آباد، کوهرنگ، بروجرد، الیگودرز، اراک، گلپایگان، بروجن و داران در داخل یا مجاور حوضه دز قرار دارند. عمق آب معادل برف از حاصل ضرب چگالی نسبی برف در عمق برف، برآورد می‌گردد. با توجه به آمار برف ایستگاه‌های سینوپتیک چگالی برف از حدود ۰/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب در اواخر بهمن تا حدود ۰/۴۵ در اواخر اسفند و اوایل فروردین متغیر است. مزیت داده‌های عمق برف ایستگاه‌های سینوپتیک آن است که به طور روزانه برداشت می‌شود و اطلاعات آن‌ها در تاریخ وقوع اغلب طوفان‌ها موجود است. اما نقص اساسی ایستگاه‌های سینوپتیک در این است که اکثریت ایستگاه‌ها در دشت‌ها

واقع شده و در برخی تاریخ‌های مربوط به طوفان‌های منتخب، فاقد برف بوده‌اند. بنابراین نمی‌توان با استفاده از آمار این ایستگاه‌ها توزیع مکانی آب معادل برف را در منطقه برآورد نمود. لذا در مرحله واسنجی تنها از این داده‌ها به‌منظور کنترل داده‌های آب معادل برف ایستگاه‌های برف‌سنجی سازمان آب و برق خوزستان (وزارت نیرو) استفاده گردید.

۷-۶-۳- داده‌های برف ایستگاه‌های برف‌سنجی وزارت نیرو

سری دیگر از داده‌های برف مربوط به اطلاعات برداشت شده در ایستگاه‌های برف‌سنجی وزارت نیرو می‌باشد. جدول (۷-۱۱) فهرست ایستگاه‌های برف‌سنجی حوضه دز را به همراه مختصات جغرافیایی آن‌ها نشان می‌دهد که در آن برای چهار ایستگاه ونایی، نوژیان، کیواره و بهرام‌آباد به‌دلیل عدم وجود طول دوره آماری مناسب و یا خلا آماری، امکان برآورد آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله (مورد نیاز در مرحله تبدیل PMP به PMF) وجود ندارد.

جدول ۷-۱۱- مشخصات ایستگاه‌های برف‌سنجی حوضه آبریز دز و برآورد آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله

Station	Latitude			Longitude			Elevation (m)	yr-۵۰ Snow Water Equivalent (mm)
	Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second		
Dom Sia	۳۳	۳۷	۵۳	۴۹	۴۱	۴۷	۲۱۱۰	۷۷
Hashtian	۳۳	۴۷	۱۱	۴۹	۵	۲۷	۲۰۸۰	۱۳۳
Razan	۳۳	۳۳	۹	۴۸	۵۰	۱۴	۲۱۵۰	۱۵۰
Aligodarz	۳۳	۲۲	۰۰	۴۹	۴۰	۰۰	۲۱۰۰	۱۷۲
Chahar Jeshem	۳۳	۱۸	۴۲	۴۹	۳۹	۴۷	۲۴۰۰	۱۹۷
Chahar Cherik	۳۳	۵۳	۲۷	۴۹	۶	۱۲	۲۲۱۵	۲۲۰
Gardaneh Khak	۳۳	۲۵	۳۳	۴۹	۴۹	۵۸	۲۴۹۰	۲۲۱
Khalileh	۳۳	۱۴	۲۴	۴۹	۵۲	۴۵	۲۵۷۸	۲۳۰
Marvar	۳۳	۴۴	۳۹	۴۹	۱۲	۲۳	۲۱۶۰	۲۳۳
Vazmeh Dar	۳۳	۲۳	۰۰	۴۹	۲۰	۴۴	۲۳۰۰	۲۴۰
Yazdgerd	۳۴	۶	۱۰	۴۸	۴۴	۵۹	۲۳۵۰	۲۵۹
AzizAbad	۳۳	۱۷	۴	۴۹	۳۰	۳۲	۲۳۳۰	۲۸۸
Vanayee	۳۳	۵۳	۵۰	۴۸	۳۳	۵۹	۲۲۵۰	۳۲۰
Farsesh	۳۳	۷	۵۹	۴۹	۵۰	۵۶	۲۷۰۰	۳۲۵
Daloni	۳۳	۱۰	۲۴	۴۹	۲۹	۴۵	۲۴۴۰	۳۴۰
Chaleghoo	۳۳	۱	۳۲	۴۹	۴۴	۳۸	۲۵۲۵	۳۹۴
Ghaleh Rostam	۳۳	۲۴	۱۶	۴۹	۱۵	۳۹	۲۳۰۰	۴۲۷
Meidanak	۳۲	۴۵	۶	۵۰	۱۱	۳۱	۲۶۳۰	۶۷۱
Fereidonshahr	۳۲	۵۸	۳	۵۰	۴	۹	۲۹۷۷	۸۲۵
Bahramabad	۳۲	۵۲	۵۰	۴۹	۴۸	۵۱	۲۶۴۰	-----
Kivareh	۳۳	۴۹	۰	۴۸	۴۳	۰۰	۱۵۵۵	-----
Gardaneh Tari	۳۳	۱۹	۲۷	۴۸	۳۹	۳۷	۲۰۱۰	-----
Nojiyan	۳۳	۱۵	۵۱	۴۸	۳۱	۳۵	۲۰۶۳	-----
Vanavi	۳۳	۴۲	۳۹	۴۹	۲۶	۲۶	۲۱۳۰	-----

در ایستگاه‌های برف‌سنجی سه پارامتر عمق، آب معادل و چگالی برف هر ساله یکبار در دوره انتهایی بهمن ماه تا اواسط اسفندماه برداشت می‌شود. از جمله مزیت این داده‌ها دارا بودن دامنه ارتفاعی مناسب به‌ویژه در مناطق مرتفع کوهستانی است. بنابراین می‌توان از آمار این ایستگاه‌ها برای برآورد توزیع مکانی آب معادل برف استفاده نمود. برای هر طوفان آمار ایستگاه‌هایی که نزدیک‌ترین فاصله زمانی را با تاریخ شروع طوفان داشتند، شناسایی شدند. با برقراری رابطه بین ارتفاع و آب معادل برف و انتقال این معادله به نقشه ارتفاع، نقشه توزیع آب معادل برف در کل منطقه محاسبه گردید. پس از برآورد آب معادل برف در هر طوفان دو نوع تصحیح بر روی آن اعمال گردید. تصحیح اول نواحی خارج از سطح پوشش برف تصاویر ماهواره‌ای از نقشه آب معادل بود. تصحیح دوم شامل تصحیح آب معادل برف ایستگاه‌های برف‌سنجی با توجه به داده‌های عمق برف ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد. میزان برآوردی آب معادل برف در منطقه نسبت به میزان عمق برف ایستگاه‌های سینوپتیک تصحیح گردید. در نهایت پس از برآورد نقشه توزیع آب معادل در منطقه میانگین این پارامتر در محیط GIS برای هر یک از لایه‌های ارتفاعی و در هر زیر حوضه محاسبه گردید. در مجموع توجه کنید که برآورد خصوصیات برف برای طوفان‌های واسنجی و نیز در مرحله تبدیل PMP به PMF به علت کمبود آمار از نظر پیوستگی زمانی و تغییرات مکانی با دشواری و تقریب زیادی همراه است و لذا در مرحله تحلیل حساسیت باید مورد توجه قرار گیرد.

۷-۶-۷- تبدیل بارش به رواناب در سطح زیر حوضه‌ها

برای تبدیل بارش به رواناب در سطح زیرحوضه‌ها، هیدروگراف خروجی براساس ترکیب هیدروگراف واحد هر زیرحوضه و توزیع زمانی بارش خالص به‌دست می‌آید. در این مطالعه از میان روش‌های موجود روندیابی زیرحوضه، از روش هیدروگراف واحد مصنوعی کلارک به‌عنوان متداول‌ترین روش برای روندیابی زیرحوضه‌ها استفاده شد. در این روش قابلیت خوبی برای انطباق هیدروگراف شبیه‌سازی با هیدروگراف مشاهده‌ای به علت استفاده از پارامترهای زمان تمرکز و ضریب ذخیره وجود دارد. چگونگی محاسبه مقادیر پارامترهای روش کلارک شامل زمان تمرکز و ضریب ذخیره در ادامه می‌آید.

۷-۶-۷-۱- زمان تمرکز و ضریب ذخیره کلارک

زمان تمرکز یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی در روندیابی زیرحوضه‌ها می‌باشد. مقدار اولیه زمان تمرکز زیرحوضه‌ها با تقسیم طول بلندترین رودخانه هر زیرحوضه به سرعت متوسط موج در رودخانه هر زیر حوضه براساس مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-RAS در انتهای حوضه بختیاری (که مقاطع عرضی آن موجود بود)، محاسبه شد. سرعت متوسط موج در رودخانه هر زیر حوضه از حاصل ضرب جذر نسبت شیب رودخانه هر زیر حوضه به شیب رودخانه در انتهای حوضه بختیاری در سرعت متوسط موج در رودخانه انتهایی حوضه بختیاری در نظر گرفته شد. جدول (۷-۱۲) مقادیر اولیه زمان تمرکز برای هر زیر حوضه به ازای سرعت متوسط موج برابر با ۳ متر در ثانیه در رودخانه انتهایی حوضه بختیاری را نشان می‌دهد. سرعت متوسط موج در روند واسنجی برای تطبیق بیش‌تر با هیدروگراف مشاهده‌ای در صورت نیاز تغییر داده شد.

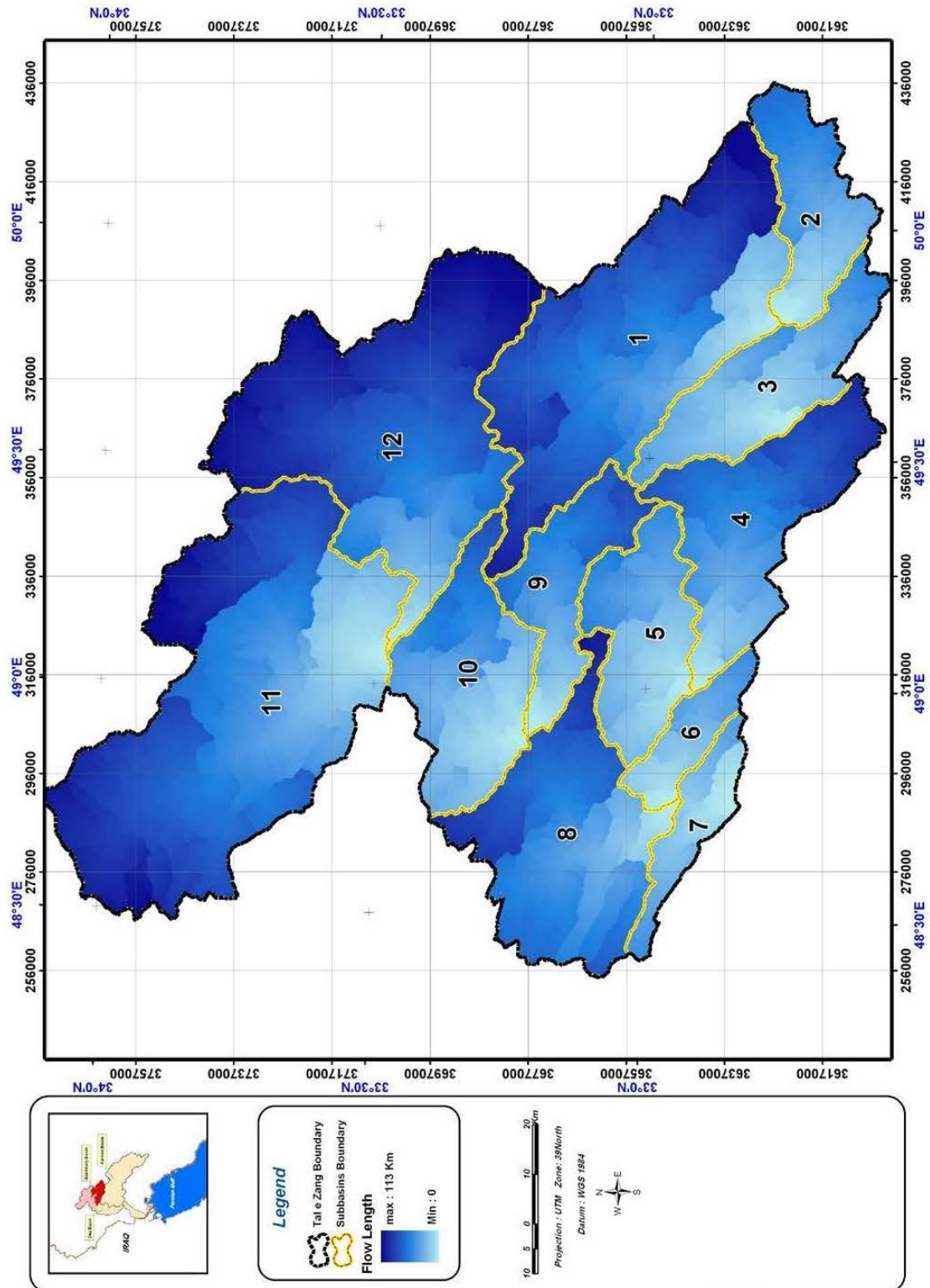
ضریب ذخیره یکی دیگر از پارامترهای واسنجی است که نمایانگر خصوصیات ذخیره شبکه رودخانه در هر زیر حوضه می‌باشد. در این مطالعه از تجربیات کشور استرالیا با رابطه $R = 0.7L^{0.57}$ ضریب ذخیره محاسبه شد، که در آن R ضریب ذخیره بر حسب ساعت و L طول بلندترین آبراهه درون زیر حوضه بر حسب کیلومتر می‌باشد.

جدول ۷-۱۲- مقادیر اولیه زمان تمرکز هر زیر حوضه

SubBasin	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
T_c (hr)	۱۰/۴	۵/۹	۵/۲	۸/۷	۵/۲	۴/۷	۴/۴	۹/۴	۳/۳	۷/۱	۱۰/۲	۱۰/۵

۷-۶-۷-۲- هیستوگرام زمان - مساحت

بر اساس روش توزیعی مادکلارک، زمان پیمایش هر نقطه تا خروجی متناسب با طول پیمایش همان نقطه تا خروجی است. نقشه طول پیمایش برای هر زیرحوضه تا خروجی همان زیرحوضه در محیط GIS استخراج شد (شکل ۷-۱۴). براساس این نقشه، هیستوگرام طول - مساحت برای کلیه زیرحوضه‌ها قابل استخراج است. با تغییر مقیاس طول (محور X) به زمان بر اساس نسبت زمان تمرکز به طول حداکثر، هیستوگرام زمان - مساحت حوضه به راحتی قابل محاسبه است.



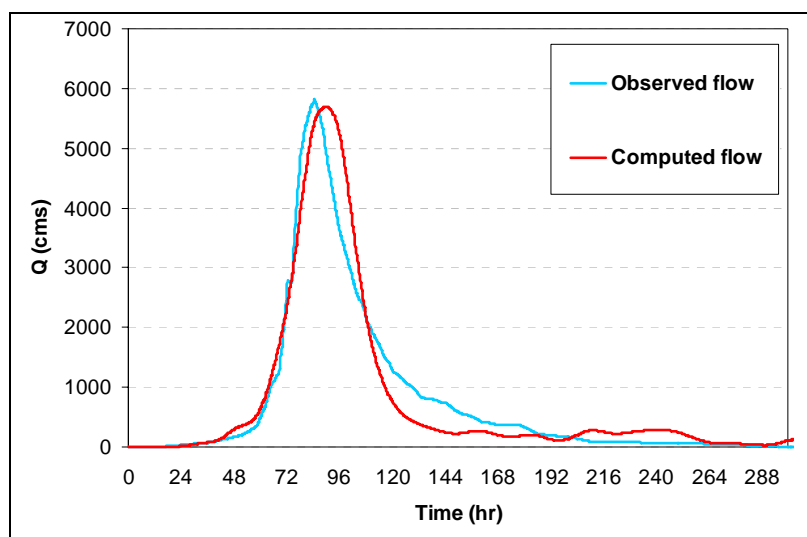
شکل ۷-۱۴- نقشه طبقه‌بندی طول پیمایش تا خروجی هر زیرحوضه

۷-۶-۸- روندیابی سیلاب در شبکه رودخانه‌ها

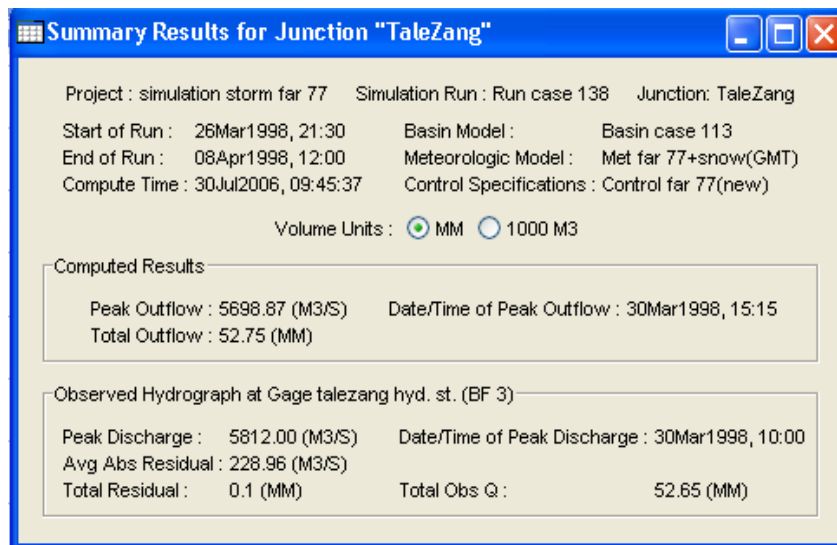
برای روندیابی جریان سیلاب در رودخانه‌ها از روش هیدرولوژیکی ماسکینگام^۱ استفاده گردید. در این روش، پارامتر بدون بعد X برای تمام رودخانه‌ها برابر با 0.2 در نظر گرفته شد. پارامتر K ماسکینگام به صورت زمان پیمایش موج سیلاب در هر رودخانه با تقسیم طول رودخانه بر سرعت متوسط موج جریان در رودخانه محاسبه شد. همچنین تعداد اولیه بازه‌های هر رودخانه N ، با تقسیم طول رودخانه به طولی که جریان در هر گام زمانی محاسباتی با توجه به سرعت موج طی می‌کند، تعیین شد.

۷-۷- نتایج واسنجی

با ساخت مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصات کنترلی برای هر یک از طوفان‌های واسنجی، شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب ابتدا با مقادیر اولیه انجام شد. عملکرد مدل در مقایسه هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ بررسی گردید. با ترکیب روش دستی سعی و خطا و اتوماتیک مدل HEC-HMS، فرآیند واسنجی برای هر یک از طوفان‌ها تکمیل شد. در شکل (۷-۱۵) هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ برای طوفان‌های واسنجی مقایسه شده‌اند. همچنین شکل (۷-۱۶) مقادیر دبی اوج و حجم رواناب مستقیم هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی و اختلاف حجم را نشان می‌دهد. مقایسه بین هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهده‌ای وجود دارد. جداول (۷-۱۳) الی (۷-۱۵) مقادیر پارامترهای نهایی حاصل از واسنجی مدل را نشان می‌دهند.



شکل ۷-۱۵- هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی طوفان فروردین ۱۳۷۷ در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ



شکل ۷-۱۶- مقادیر دبی اوج و حجم رواناب مستقیم هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسباتی طوفان فروردین ۱۳۷۷

جدول ۷-۱۳- مقادیر نهایی زمان تمرکز و ضریب رواناب زیر حوضه‌ها پس از مرحله واسنجی مدل

SubBasin	Tc (hr)	R (hr)
۱	۹/۸	۱۰/۳
۲	۴/۲	۷/۵
۳	۲/۶	۶/۹
۴	۵/۷	۹/۳
۵	۲/۸	۶/۹
۶	۲/۸	۶/۵
۷	۲/۳	۶/۳
۸	۶/۹	۹/۷
۹	۴/۵	۸/۵
۱۰	۳/۹	۸/۳
۱۱	۱۱/۰	۱۰/۲
۱۲	۹/۹	۱۰/۴

جدول ۷-۱۴- مقادیر نهایی K و تعداد بازه (N) ماسکینگام پس از مرحله واسنجی مدل

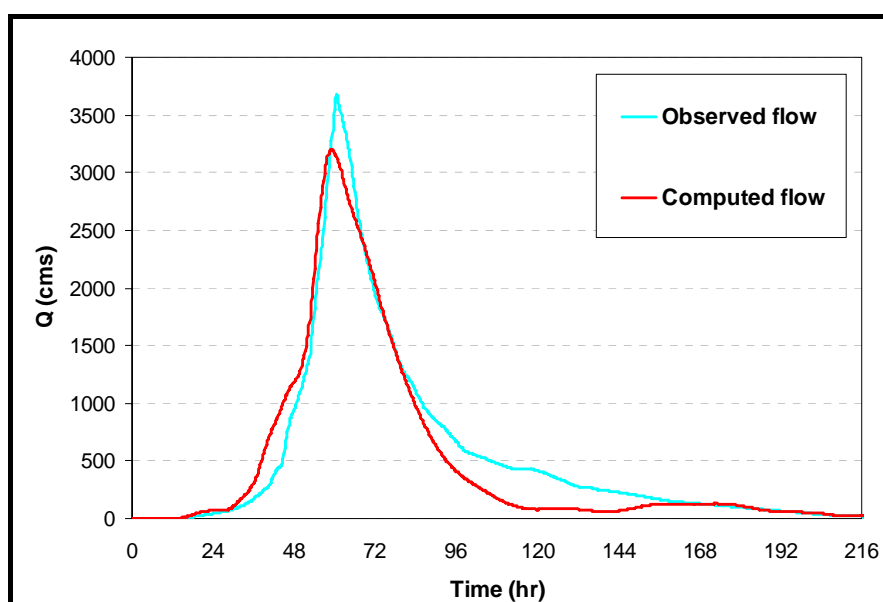
Reach	(K (hour	N sub reach
Dam-T5	۰/۲	۱
Dorud-Sepiddasht	۳/۹	۱۶
Liro-Up Dam	۵/۷	۲۳
Rod-Liro	۲/۶	۱۱
Sepiddasht-T5	۶/۹	۲۸
T5-Talezang	۲/۳	۱۰
Up Dam-Dam	۲/۶	۱۱

جدول ۷-۱۵- مقادیر نهایی دمای آستانه و پتانسیل ظرفیت ذخیره آب در برف در مدل ذوب برف

دمای آستانه (درجه سانتی‌گراد)	۲
پتانسیل ظرفیت ذخیره آب در برف (٪)	۵

۷-۸- نتایج اعتباریابی مدل

به منظور اعتباریابی مدل واسنجی شده، شبیه سازی بارش - رواناب برای طوفان دی ۱۳۷۱ انجام شد (شکل ۷-۱۷). همچنین شکل (۷-۱۸) مقادیر دبی اوج و حجم رواناب مستقیم هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی و اختلاف حجم برای طوفان دی ۱۳۷۱ را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۷- هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی طوفان دی ۱۳۷۱ در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ

Summary Results for Junction "TaleZang"		
Project : simulation storm dey 71	Simulation Run : Run case 100	Junction: TaleZang
Start of Run : 05Jan1993, 21:30	Basin Model :	Basin case 100
End of Run : 15Jan1993, 12:00	Meteorologic Model :	Met dey 71+snow(GMT)
Compute Time : 30Jul2006, 10:01:10	Control Specifications :	dey 71
Volume Units : <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3		
Computed Results		
Peak Outflow : 3196.82 (M3/S)	Date/Time of Peak Outflow : 08Jan1993, 08:30	
Total Outflow : 24.09 (MM)		
Observed Hydrograph at Gage talezang hyd. st(BF 3)		
Peak Discharge : 3677.00 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 08Jan1993, 10:00	
Avg Abs Residual : 126.73 (M3/S)		
Total Residual : -2.5 (MM)	Total Obs Q :	26.55 (MM)

شکل ۷-۱۸- مقادیر دبی اوج و حجم رواناب مستقیم هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی طوفان دی ۱۳۷۱

۷-۹- برآورد PMF

در این بخش، نحوه برآورد سیلاب حداکثر محتمل و نتایج آن تشریح می‌شود. روش کار در این دستورالعمل با هدف تعیین حدود بالا و پایین هیدروگراف PMF دنبال گردید. تعیین حدود بر مبنای ترکیب‌های بحرانی مختلف از نظر عواملی مانند توزیع زمانی و مکانی بارش، جهت حرکت طوفان، دمای تفکیک باران و برف، نرخ تنزیل دما و سرعت موج در شبکه رودخانه می‌باشد.

۷-۹-۱- خلاصه مطالعات PMP

مطالعات PMP پروژه سد بختیاری براساس روش سینوپتیکی در دستورالعمل حداکثر بارش محتمل انجام گرفته است. از میان طوفان‌های بیشینه‌سازی شده، طوفان فروردین ۱۳۷۹ (مارس ۲۰۰۰) به عنوان طوفان بحرانی یک روزه و طوفان اسفند ۱۳۷۰ (فوریه ۱۹۹۲) به عنوان طوفان بحرانی دو و سه‌روزه شناسایی شد. مقادیر بحرانی PMP تداوم‌های یک تا سه‌روزه به ترتیب ۱/۱۴۴، ۱/۲۱۸ و ۰/۲۷۳ میلی‌متر به دست آمد. مقدار تداوم ۴ روزه به دلیل کم‌تر شدن از تداوم سه روزه قابل قبول نبود. مقدار PMP تداوم‌های پنج، شش و هفت روزه به ترتیب ۲/۲۸۸، ۹/۳۱۰ و ۱/۳۲۸ میلی‌متر و بر اساس طوفان دی - بهمن ۱۳۴۷ (ژانویه ۱۹۶۹) به دست آمد.

۷-۹-۲- تهیه داده‌ها

۷-۹-۲-۱- آب معادل برف

استخراج آب معادل برف براساس داده‌های عمق برف روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی و داده‌های عمق، آب معادل و چگالی برف ایستگاه‌های برف‌سنجی وزارت نیرو تعیین گردید. ایستگاه‌های برف‌سنجی در دامنه ارتفاعی حدود ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر قرار دارند. در ایستگاه‌های سینوپتیک تنها پارامتر عمق برف اندازه‌گیری می‌شود و باید برای به دست آوردن پارامتر آب معادل برف، از چگالی نسبی استفاده نمود. برآورد پارامتر چگالی نسبی برف تقریبی است و معمولاً برای ماه‌های آذر تا فروردین بین ۰/۲ تا ۰/۴۵ در نظر گرفته می‌شود. در مجموع تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک کم است و اغلب آن‌ها (به استثنای دو ایستگاه الیگودرز و بروجرد) خارج از حوضه دز واقع شده‌اند. علی‌رغم کاستی‌های موجود، هر دوسری داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و برف‌سنجی جمع‌آوری گردید. در بخش‌های قبلی جدول مشخصات ایستگاه‌های برف‌سنجی و حداکثر آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای هر ایستگاه آمده است.

تحلیل فراوانی آب معادل با استفاده از نرم‌افزار SMADA انجام شد. داده‌های هر ایستگاه بر شش توزیع آماری نرمال، لوگ نرمال دو و سه پارامتری، پیرسون و لوگ پیرسون تیپ سه و گامبل تیپ یک برازش داده شد. انتخاب بهترین برازش با استفاده از دو روش گرافیکی و روش شاخص آماری بود.

جدول (۷-۱۶) مقادیر شاخص RSS و کای اسکوئر را برای هر تابع توزیع نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشخص می‌شود که روش گامبل تیپ یک، از نظر هر دو شاخص مناسب‌ترین تابع توزیع است. بنابراین برای این ایستگاه از توزیع گامبل تیپ یک استفاده شد. آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله این ایستگاه با روش منتخب ۶۷۱ میلی‌متر می‌باشد. در مرحله بعد به روش مشابهی، داده‌های عمق برف ایستگاه‌های سینوپتیک مورد تحلیل آماری قرار گرفت. با این تفاوت که برای ایستگاه‌های سینوپتیک در هر ماه یک مقدار حداکثر عمق برف (با تداوم یک روزه) به دست آمد و سپس تحلیل فراوانی بر روی این اعداد به صورت ماهانه انجام گرفت. جدول (۷-۱۷) فهرست ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در منطقه را به همراه مقدار آب معادل برف ماهانه با دوره بازگشت ۵۰ ساله نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک مجاور حوضه آبریز دز که از آمار طولانی مدت برخوردار بوده‌اند، تمامی داده‌های ۸ ایستگاه در تحلیل فراوانی مورد استفاده قرار گرفت. از ایستگاه‌های مورد نظر تنها دو ایستگاه بروجرد و الیگودرز داخل حوضه دز واقع شده است. به دلیل صفر بودن عمق برف ایستگاه‌های سینوپتیک در ماه‌های آوریل و نوامبر در اکثر سال‌ها، هیچ گونه توزیعی برای این ایستگاه‌ها به دست نیامد، که در جدول نشان داده شده است. تنها برای ایستگاه کوه‌رنگ در این دو ماه تحلیل فراوانی انجام گرفت.

جدول ۷-۱۶- مقادیر شاخص RSS و کای اسکوئر تحلیل فراوانی ایستگاه میدانک

Distribution	Number of Parameters	Chi-square	RSS
Normal	۲	۵۳	۳۴
Log Normal Parameter-۲	۲	۷۵	۳۴
Log Normal Parameter-۳	۳	۵۱	۳۲
Pearson III	۳	۶۴	۳۳
Log Pearson III	۳	۵۰	۳۳
Gumbel	۲	۴۷	۲۸

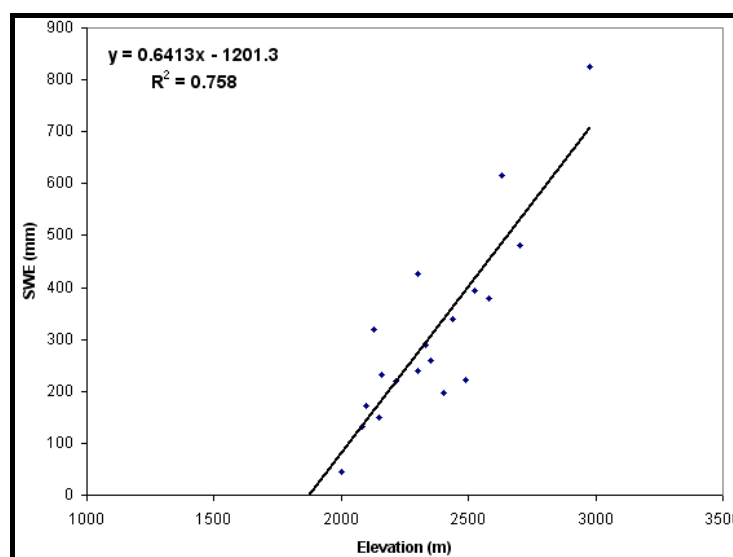
جدول ۷-۱۷- ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه و آب معادل برف ماهانه با دوره بازگشت ۵۰ ساله (به میلی‌متر)

Station	Elevation (m)	JAN	FEB	MAR	APR	NOV	DEC
Aligoudarz	۲۰۲۲	۷۵	۱۵۸/۴	۱۰۲/۵	-----	-----	۵۲/۴
Arak	۱۷۰۸	۱۲۸	۱۷۱	۱۲۲/۴	-----	-----	۴۴/۴
Boroujen	۲۱۹۷	۱۲۹/۷	۱۲۰/۳	۷۴/۳	-----	-----	۸۲/۲
Broujerd	۱۶۲۹	۱۳۹/۷	۱۲۹	۹۳/۶	-----	-----	۶۸/۴
Daran	۲۲۹۰	۱۲۲/۵	۱۸۲/۷	۱۰۶/۹	-----	-----	۶۹/۸
Golpaygan	۱۸۷۰	۱۱۴/۷	۷۷/۷	۷۹/۹	-----	-----	۲۴/۲
Khoramabad	۱۱۴۷	۳۷/۲	۳۲/۱	۶/۳	-----	-----	۲۶/۶
Kouhrang	۲۲۸۵	۵۸۸/۷	۹۷۱/۷	۱۱۴۰/۳	۱۱۳/۳	۴۷/۴	۲۴۹/۴

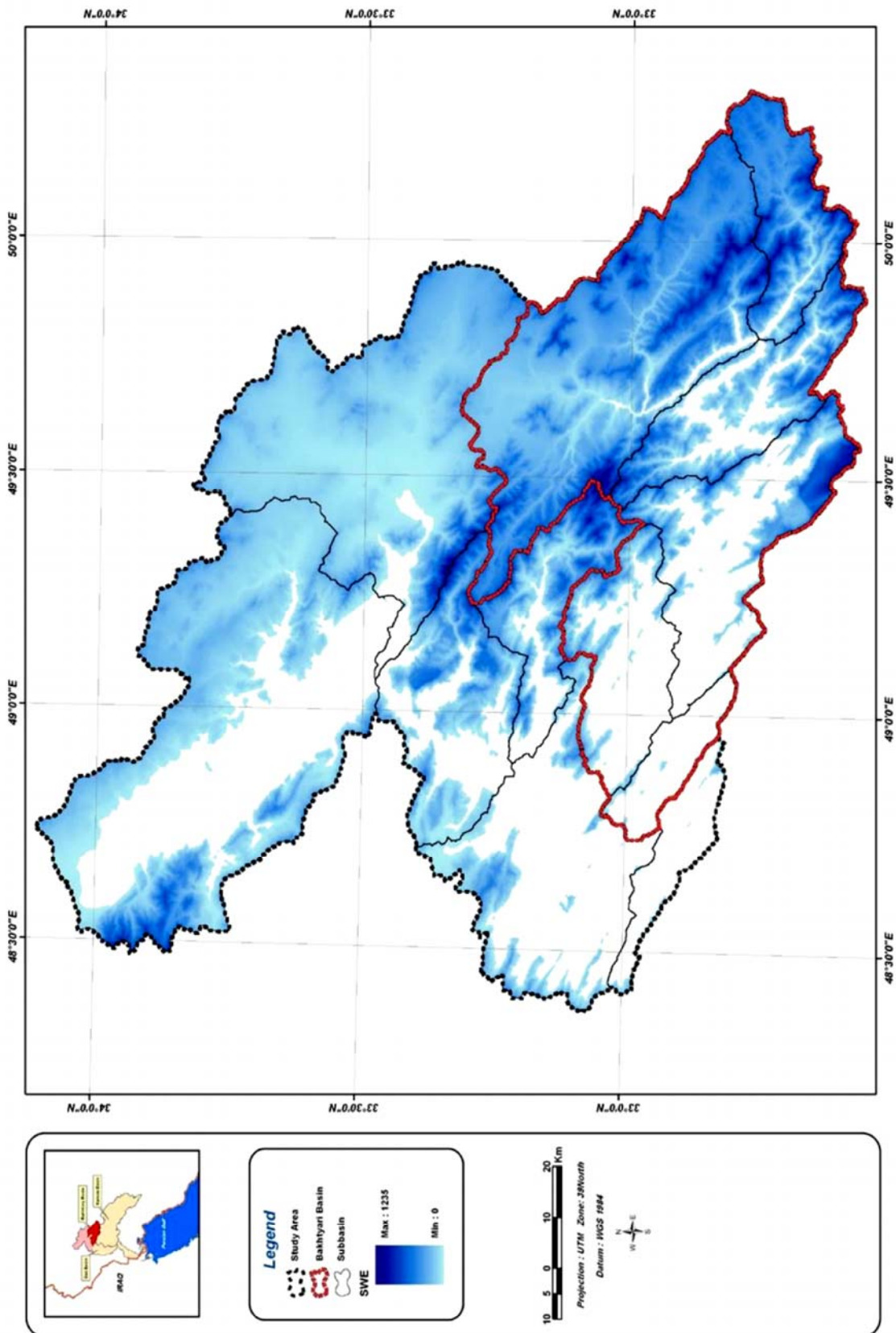
با توجه به اینکه آب معادل برف برای هر یک از لایه‌های ارتفاعی مورد نیاز است، باید توزیع آب معادل یا عمق برف به دست آید. به دلیل اینکه برف به شدت تحت تاثیر عامل ارتفاع قرار دارد، همبستگی عوامل برف با ارتفاع را می‌توان بررسی نمود. برای این منظور روابط همبستگی با ارتفاع برای عمق برف ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک و آب معادل برف سالانه ایستگاه‌های برف‌سنجی مورد بررسی قرار گرفت.

با بررسی این روابط مشخص شد که داده‌های عمق برف ایستگاه‌های سینوپتیک به دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌ها و ناکافی بودن دامنه ارتفاعی، از قابلیت خوبی برای برآورد توزیع مکانی برخوردار نیستند. اما ایستگاه‌های برف‌سنجی رابطه قابل قبولی را به دست می‌دهد. شکل (۷-۱۹) رابطه بین آب معادل برف دوره بازگشت ۵۰ ساله با ارتفاع را در حوضه آبریز دز نشان می‌دهد. در استخراج این رابطه از داده‌های ۱۹ ایستگاه برف‌سنجی استفاده شده است.

با اعمال رابطه آب معادل برف با ارتفاع بر روی نقشه DEM، نقشه توزیع آب معادل برف (حداکثر سالانه) با دوره بازگشت ۵۰ ساله به دست آمد. شکل (۷-۲۰) نقشه توزیع آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله را برای حوضه آبریز دز نشان می‌دهد. شایان ذکر است که سطح پوشش برف به دست آمده در این نقشه (مناطق دارای آب معادل برف بالای صفر) با بیش‌ترین سطح پوشش برف به دست آمده از نقشه‌های ماهواره‌ای مقایسه شد و نتایج مناسب تشخیص داده شد. جدول (۷-۱۸) میانگین آب معادل برف دوره بازگشت ۵۰ ساله برای لایه‌های ارتفاعی مختلف را در حوضه دز نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۹- رابطه بین آب معادل برف دوره بازگشت ۵۰ ساله با ارتفاع برای حوضه آبریز دز



شکل ۷-۲۰- نقشه توزیع آب معادل برف با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای حوضه آبریز دز

جدول ۷-۱۸- میانگین آب معادل برف ۵۰ ساله (SWE) برای لابه‌های ارتفاعی مختلف در حوضه آبریز دز

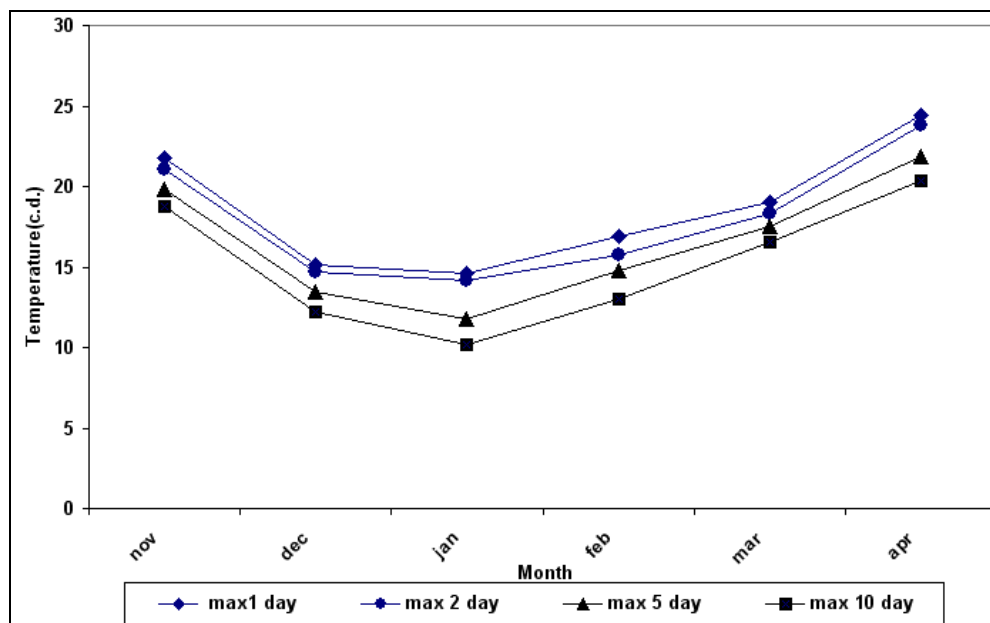
CLASS(m)	Area (km ²)	SWE (mm)
۳۰۰-۶۷۲	۶۳۵	۰
۶۷۲-۱۰۴۴	۸۱۶	۰
۱۰۴۴-۱۴۱۶	۱۴۶۱	۰
۱۴۱۶-۱۷۸۸	۲۸۱۴	۰
۱۷۸۸-۲۱۶۰	۵۰۲۸	۸۴
۲۱۶۰-۲۵۳۲	۳۵۹۲	۲۷۱
۲۵۳۲-۲۹۰۴	۱۹۸۸	۴۸۸
۲۹۰۴-۳۲۷۶	۶۷۸	۶۹۲
۳۲۷۶-۳۶۴۸	۲۶۲	۹۰۲
۳۶۴۸-۴۰۲۲	۳۳	۱۰۷۲

۷-۹-۲-۲- برآورد دمای بحرانی زمان وقوع PMF

تغییرات دما از جمله عوامل تاثیرگذار بر حجم سیلاب PMF است. این عامل می‌تواند همراه با بارش‌های گرم، ذوب برف را تشدید نماید. عامل دما در پنج مرحله زمانی متوالی برآورد می‌شود. مرحله اول مربوط به زمان شروع طوفان است. در این مرحله باید دما تا حد منطقی حداکثر باشد. در مرحله سوم و حین وقوع PMP فرض بر این است که هوا در حالت اشباع قرار دارد و دمای نقطه شبنم حاکم است. طبق توصیه‌های WMO، حداکثر دمای نقطه شبنم باید در حین وقوع PMP لحاظ گردد. مرحله دوم نیز مربوط به گذار دما از شرایط شروع طوفان تا مرحله اشباع هوا است. در این مرحله مقدار دما میانگینی از دمای شروع طوفان (مرحله اول) و دما در حین طوفان (مرحله سوم) است. توجه شود که تغییرات زمانی دما در مرحله چهارم و پنجم مشابه مراحل دوم و اول منظور می‌شود.

برای استخراج دمای بحرانی شروع PMP بر طبق توصیه‌های WMO، ابتدا حداکثر دمای ۱، ۲، ۵ و ۱۰ روزه در ماه‌های نوامبر تا آوریل برای ایستگاه‌های خرم آباد، بروجرد، کوهرنگ و دزفول محاسبه گردید. ایستگاه‌های مذکور از جمله ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشند و از طول دوره آماری و صحت آماری بیش‌تری برخوردارند. سپس داده‌های حداکثر دمای ۱، ۲، ۵ و ۱۰ روزه مورد تحلیل فراوانی قرار گرفتند و حداکثر دما با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای هر یک از این تداوم‌ها استخراج گردید. شکل (۷-۲۱) یک نمونه از این نمودارها را برای ایستگاه خرم آباد نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه ایستگاه خرم‌آباد با ۴۹ سال آمار (۲۰۰۴-۱۹۵۶) از بیش‌ترین طول دوره آماری برخوردار است و سایر ایستگاه‌ها دوره آماری کوتاه‌تر از ۲۵ سال دارند، حداکثر دمای این ایستگاه به‌عنوان مبنا مورد توجه قرار گرفت. دمای این ایستگاه به حداقل ارتفاع هر یک از زیرحوضه‌ها با فرض نرخ تنزیل دما ۶ درجه سانتی‌گراد برای ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع منتقل گردید. با توجه به بحرانی بودن طوفان اسفند ۷۰ برای PMP دو و سه‌روزه، حداکثر تداوم ۲ روزه ماه مارس که از دمای بیش‌تری برخوردار است، مبنا قرار گرفت.



شکل ۷-۲۱- دمای حداکثر ۱، ۲، ۵ و ۱۰ روزه با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای ایستگاه خرم‌آباد

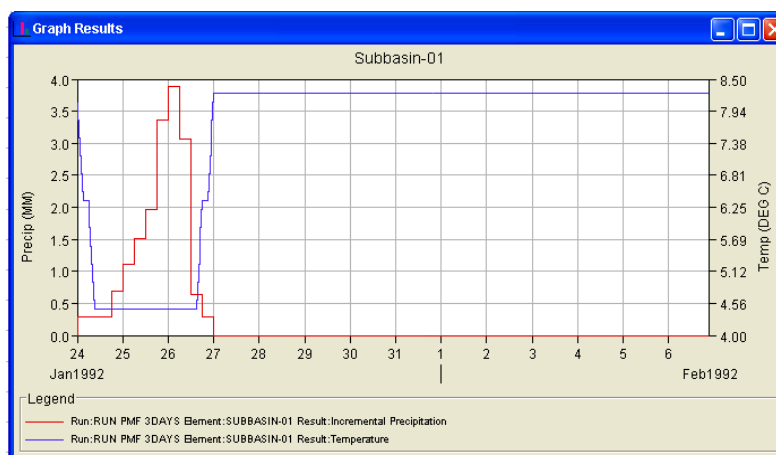
با توجه به توصیه‌های WMO، دمای زمان وقوع PMP معادل دمای نقطه شبنم تداوم ۱۲ ساعته در دوره‌های ۱۰ روزه است. روش استخراج دمای نقطه شبنم با تداوم ۱۲ ساعته در دوره‌های ۱۰ روزه و دوره بازگشت ۵۰ ساله در دستورالعمل PMP آمده است. به طور خلاصه روش کار به این صورت است که ابتدا دمای نقطه شبنم با تداوم ۱۲ ساعته در دوره‌های ۱۰ روزه و دوره بازگشت ۵۰ ساله برای ۷ ایستگاه اهواز، آبادان، دزفول، بوشهر، امیدیه، مسجد سلیمان و آغاچاری محاسبه گردید. دمای حاصل در هر ایستگاه با استفاده از نرخ تنزیل دما معادل ۶ درجه سانتی‌گراد در هر ۱۰۰۰ متر به ارتفاع مبنای ۲۰۰۰ متر تبدیل گردید و اعداد به دست آمده در ایستگاه‌های مختلف، میانگین‌گیری شد.

جدول (۷-۱۹) میانگین دمای نقطه شبنم با دوره بازگشت ۵۰ ساله را برای دوره‌های ۱۰ روزه در ماه‌های نوامبر تا آوریل نشان می‌دهد. کم‌ترین دمای نقطه شبنم در ماه ژانویه با ۶/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای مقایسه، در مطالعات سد گتوند (مشانیر، ۱۹۹۷) دمای حین وقوع طوفان ۶/۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع مبنای ۲۰۰۰ متر و در مطالعات سد کارون ۳ (مهاباد قدس، ۱۹۹۱) دمای مذکور ۶/۷ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در این مطالعه طوفان اسفند ۷۰ مبنای PMP دو و سه‌روزه است، از میانگین دمای نقطه شبنم دهه سوم فوریه و دو دهه اول و دوم ماه مارس استفاده شد. میانگین دمای نقطه شبنم این سه دهه ۷/۸ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۲۰۰۰ متر است.

جدول ۷-۱۹- میانگین ایستگاهی دمای نقطه شبنم با تداوم ۱۲ ساعته و با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای دوره‌های ۱۰ روزه

Month	April			March			February			January			December			November		
day Period-1۰	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
50-yr 12 hr Persisting Dew Point Temperature (°C)	۱۰/۹	۹/۵	۸/۶	۷/۴	۶/۱	۶/۲	۶/۰	۶/۱	۷/۴	۵/۹	۷/۰	۸/۲	۶/۸	۸/۴	۸/۶	۱۰/۱	۱۰/۴	۱۱/۲
Average (°C)	۶/۷			۶/۶			۶/۵			۷/۰			۷/۹			۱۰/۶		

منظور از دوره انتقالی (مرحله دوم) بازه زمانی از شروع طوفان تا رسیدن به نقطه شب‌نم در مرحله سوم است. این دما حاصل میانگین دما در ابتدای طوفان و وسط طوفان است. از وسط تا انتهای طوفان نیز همین تغییرات دما به صورت قرینه تکرار می‌شود. شکل (۷-۲۲) تغییرات دما و بارش در طول تداوم PMP ۳ روزه در زیرحوضه شماره ۱ را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲۲- تغییرات دما و بارش در طول تداوم PMP ۳ روزه در زیرحوضه شماره ۱

۷-۹-۲-۳- توزیع‌های زمانی و مکانی PMP

توزیع زمانی بارش PMP به دو صورت در قالب تحلیل حساسیت در نظر گرفته شد. در حالت اول توزیع زمانی PMP مشابه توزیع زمانی طوفان بیشینه‌سازی شده منظور گردید. به عنوان مثال، توزیع زمانی PMP سه روزه همان توزیع زمانی طوفان اسفند ۱۳۷۰ در نظر گرفته شد. در حالت دوم، الگوی توزیع زمانی تیپ منطقه در شبیه‌سازی‌ها مد نظر قرار گرفت. در مورد توزیع مکانی نیز در بخش‌های بعدی (آنالیز حساسیت) توضیح داده خواهد شد.

۷-۹-۲-۴- دبی پایه

از میان روش‌های مختلف برای برآورد دبی پایه در زمان وقوع PMP، حداکثر دبی پایه شروع طوفان‌های بحرانی (۲۳) طوفان) انتخاب گردید. بر اساس مطالعات هیدرولوژی سد بختیاری، مقدار دبی پایه در ایستگاه تله‌زنگ با نسبت ۶۰ درصد به شاخه بختیاری داده شد. این مقدار حدود ۹۰۰ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد.

۷-۹-۳- آنالیز حساسیت و تعیین حدود PMF

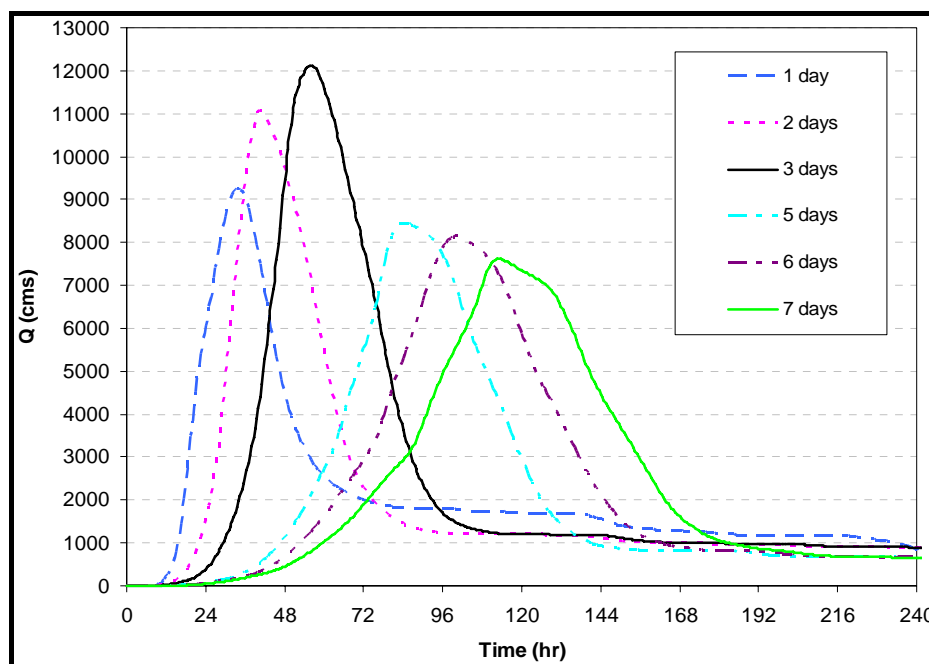
تعیین دامنه تغییرات PMF به ازای ترکیب‌های مختلف از شرایط بحرانی در زمان وقوع PMP در قالب آنالیز حساسیت انجام گرفت. عواملی که در آنالیز حساسیت مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از: تداوم بارش حداکثر محتمل، توزیع زمانی بارندگی، زمان تاخیر شروع بارندگی، توزیع مکانی بارندگی، ضریب حداکثر ذخیره آب در برف، دمای تفکیک برف و باران، نرخ تنزیل دما به ازای ارتفاع، سرعت حرکت موج در رودخانه و شرایط رطوبت اولیه حوضه که در زیر به نتایج تغییر هر یک از عوامل اشاره شده است.

۷-۹-۳-۱- تداوم بارش حداکثر محتمل

در جدول (۷-۲۰)، PMFهای متناظر با تداومهای مختلف PMP مشاهده می‌شود. توزیع مکانی نسبی مشابه طوفان بیشینه‌سازی شده در همان تداوم و توزیع زمانی از نوع تیپ منطقه‌ای است. شکل (۷-۲۳) هیدروگرافهای PMF با تداومهای مختلف PMP را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۷-۲۰) دبی اوج و حجم سیلاب PMF ۱۰ روزه حاصل از PMP تداوم سه روزه از سایر تداومها به‌طور قابل ملاحظه‌ای بحرانی‌تر است. لذا در ادامه PMP سه روزه مبنای قرار گرفت.

جدول ۷-۲۰-۲ PMFهای متناظر با تداومهای مختلف PMP

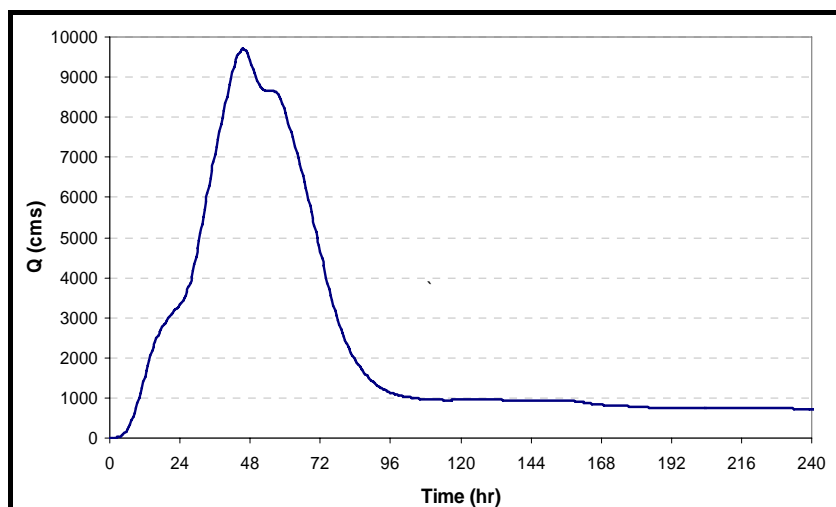
تداوم PMP (روز)	۱	۲	۳	۵	۶	۷
PMF (m^3/s)	۹۲۴۸	۱۱۰۸۷	۱۲۱۱۱	۸۴۶۱	۸۱۴۴	۷۶۲۲
حجم ($۱۰^۹ m^3$)	۱/۸۸	۱/۸۶	۲/۱۳	۱/۸۱	۱/۹۲	۱/۹۸



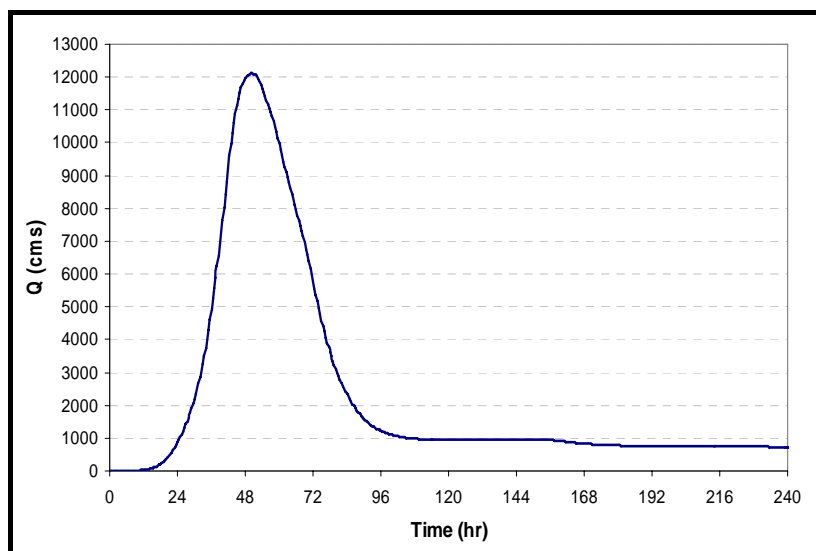
شکل ۷-۲۳- هیدروگرافهای PMF (بدون دبی پایه) متناظر با تداومهای مختلف PMP

۷-۹-۳-۲- توزیع زمانی بارندگی

نتایج توزیع مشاهده‌ای طوفان اسفند ۱۳۷۰ (به عنوان مبنای PMP سه روزه) و نیز توزیع تیپ مقایسه گردیدند. شکل‌های (۷-۲۴) و (۷-۲۵) به ترتیب هیدروگرافهای حاصل از توزیع مشاهده‌ای طوفان اسفند ۱۳۷۰ و توزیع تیپ را نشان می‌دهند. مقایسه هیدروگرافها نشان می‌دهد که توزیع تیپ بحرانی‌تر است. همچنین مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب حاصل از توزیع مشاهده‌ای و توزیع تیپ در جدول (۷-۲۱) آمده است.



شکل ۷-۲۴- هیدروگراف PMF حاصل از توزیع مشاهده‌ای طوفان اسفند ۱۳۷۰ (بدون دبی پایه)



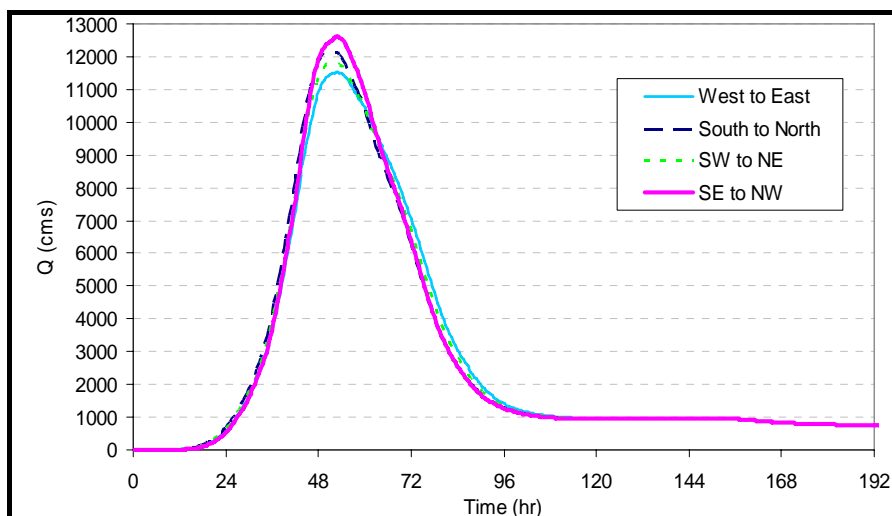
شکل ۷-۲۵- هیدروگراف PMF حاصل از توزیع زمانی تیب (بدون دبی پایه)

جدول ۷-۲۱- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از توزیع زمانی مشاهده‌ای و توزیع تیب

نوع توزیع	دبی اوج (m ³ /s)	ارتفاع رواناب (mm)
توزیع مشاهده‌ای	۹۷۴۷	۳۴۹/۷
توزیع تیب	۱۲۱۰۸	۳۴۹/۹

۷-۹-۳- زمان تاخیر شروع بارندگی

اثر تاخیر شروع بارش در زیرحوضه‌های مختلف بر مبنای جهات مختلف ممکن حرکت جبهه در نظر گرفته شد. شکل (۷-۲۶) هیدروگراف‌های PMF حاصل از رگبارهای با توزیع زمانی تیب و با جهات مختلف حرکت جبهه را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب حاصل از رگبارهای با جهات مختلف حرکت جبهه در جدول (۷-۲۲) آمده است. مقایسه هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که جهت حرکت جنوب شرق به شمال غرب بحرانی‌تر است ولی تفاوت مقادیر دبی اوج زیاد نیست.



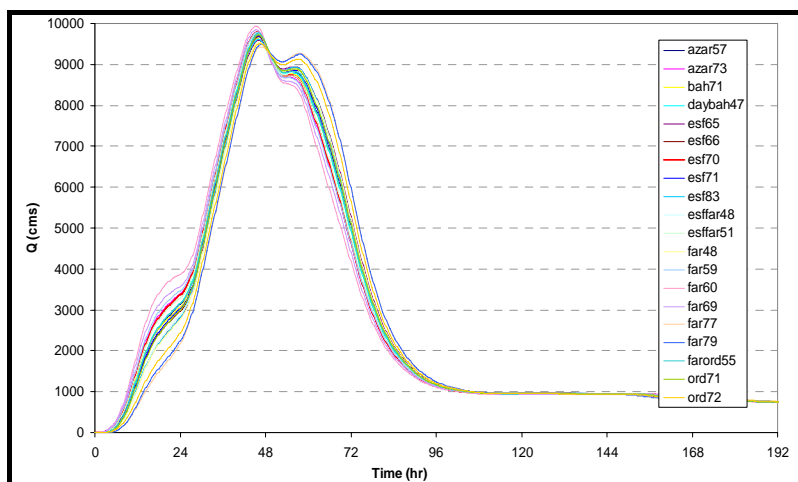
شکل ۷-۲۶- هیدروگرافهای PMF حاصل از رگبارهای با توزیع زمانی تیپ و با جهات مختلف حرکت جبهه

جدول ۷-۲۲- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از رگبارهای با جهات مختلف حرکت جبهه

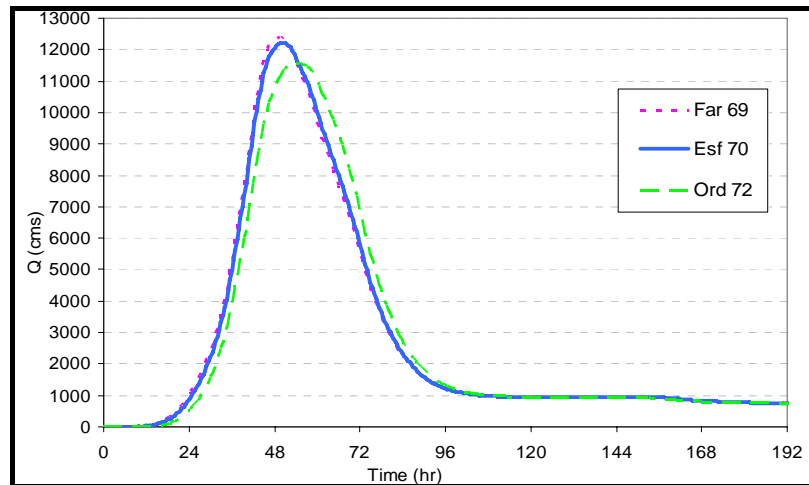
جهت حرکت جبهه	دبی اوج (m^3/s)	ارتفاع رواناب (mm)
West to East	۱۱۵۱۶	۳۵۰/۴
South to North	۱۲۱۵۹	۳۵۰
SW to NE	۱۱۷۹۴	۳۵۰/۱
SE to NW	۱۲۶۰۳	۳۵۰

۷-۹-۳-۴- توزیع مکانی بارندگی

شکل (۷-۲۷) هیدروگرافهای PMF حاصل از توزیع مکانی بدون بعد طوفانهای بحرانی با توزیع زمانی مشاهده شده را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۷-۲۸) هیدروگرافهای PMF حاصل از توزیع مکانی بدون بعد طوفانهای تولیدکننده حداقل و حداکثر مقدار دبی اوج در شکل (۷-۲۷) با توزیع زمانی تیپ را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب حاصل از طوفانهای تولیدکننده حداقل و حداکثر مقدار دبی اوج با توزیع مکانی بدون بعد در جدول (۷-۲۳) آمده است. مقایسه هیدروگرافها نشان می‌دهد که PMF حاصل حساسیت زیادی به توزیع مکانی بارش ندارد.



شکل ۷-۲۷- هیدروگرافهای PMF حاصل از توزیع مکانی بدون بعد طوفانهای بحرانی با توزیع زمانی مشاهده‌ای



شکل ۷-۲۸- هیدروگراف‌های PMF حاصل از توزیع مکانی بدون بعد طوفان‌های با حداقل و حداکثر دبی اوج در شکل (۷-۲۷) با توزیع زمانی تیپ

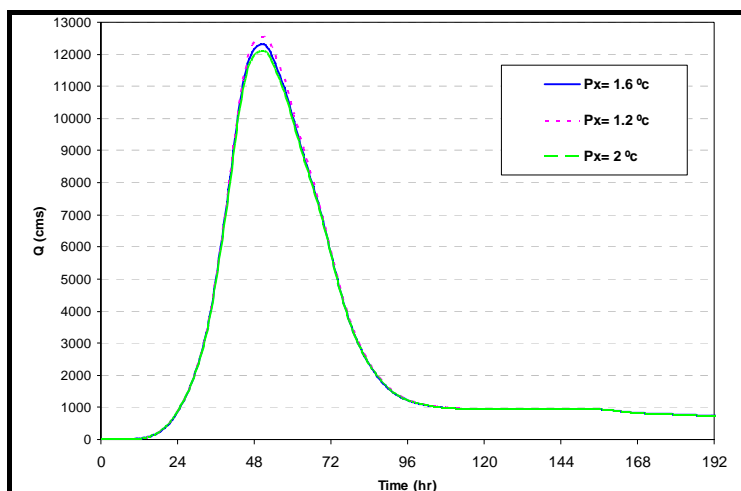
۷-۹-۳-۵- دمای تفکیک برف و باران

شکل (۷-۲۹) هیدروگراف‌های PMF متناظر با مقادیر مختلف دمای تفکیک برف و باران (پارامتر Px در مدل) را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب متناظر با مقادیر مختلف دمای تفکیک برف و باران در جدول (۷-۲۴) آمده است. مقایسه هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که با کاهش ۲۰ درصدی دمای تفکیک برف و باران از ۲ به ۱/۶ درجه سانتی‌گراد، دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF به ترتیب ۱/۷ درصد و ۰/۹ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش ۴۰ درصدی آن به ۱/۲ درجه سانتی‌گراد، دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF به ترتیب ۳/۶ درصد و ۲/۱ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین کاهش دمای تفکیک برف و باران موجب افزایش دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF خواهد شد، اما این افزایش چندان قابل توجه نیست.

جدول ۷-۲۳- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از طوفان‌های تولید کننده حداقل و حداکثر

مقدار دبی اوج با توزیع مکانی بدون بعد

تاریخ طوفان	دبی پیک (m^3/s)	ارتفاع رواناب (mm)
Far 69	۱۲۳۹۰	۳۵۲/۴
Esf 70	۱۲۲۱۷	۳۵۱/۸
Ord 72	۱۱۵۸۱	۳۴۹/۶



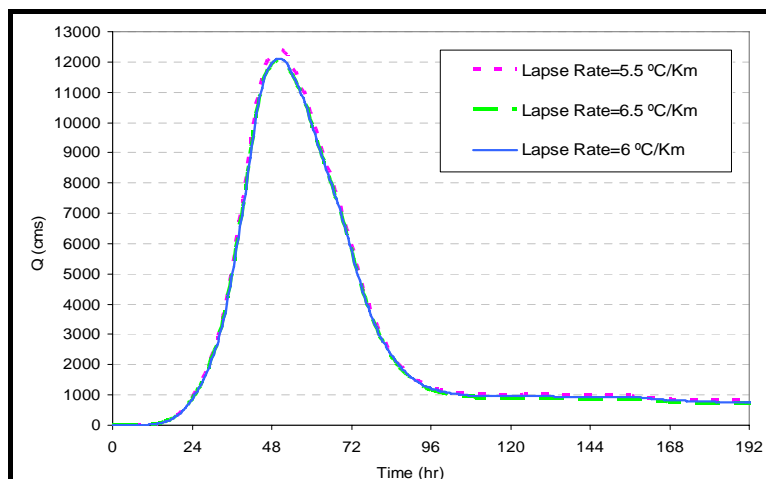
شکل ۷-۲۹- هیدروگراف‌های PMF متناظر با مقادیر مختلف دمای تفکیک برف و باران

جدول ۷-۲۴- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف دمای تفکیک برف و باران

دمای تفکیک برف و باران	دبی اوج (m^3/s)	ارتفاع رواناب (mm)
$P_x = 1/6 \text{ } ^\circ\text{C}$	۱۲۳۱۵	۳۵۳/۳
$P_x = 1/2 \text{ } ^\circ\text{C}$	۱۲۵۵۲	۳۵۷/۵
$P_x = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$	۱۲۱۱۰	۳۵۰/۰

۷-۹-۳-۶- نرخ تنزیل دما به ازای افزایش ارتفاع

شکل (۷-۳۰) هیدروگراف‌های PMF متناظر با مقادیر مختلف نرخ تنزیل دما را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب متناظر با مقادیر مختلف نرخ تنزیل دما در جدول (۷-۲۵) آمده است. مقایسه هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که با کاهش ۸ درصدی نرخ تنزیل دما از ۶ به ۵/۵ درجه سانتی‌گراد در هر کیلومتر ارتفاع، دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF به ترتیب ۲/۳ درصد و ۲/۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ۸ درصدی نرخ تنزیل دما از ۶ به ۶/۵، دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF به ترتیب ۰/۴ درصد و ۲/۴ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش نرخ تنزیل دما موجب افزایش دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF خواهد شد، اما این تغییر قابل ملاحظه نیست.



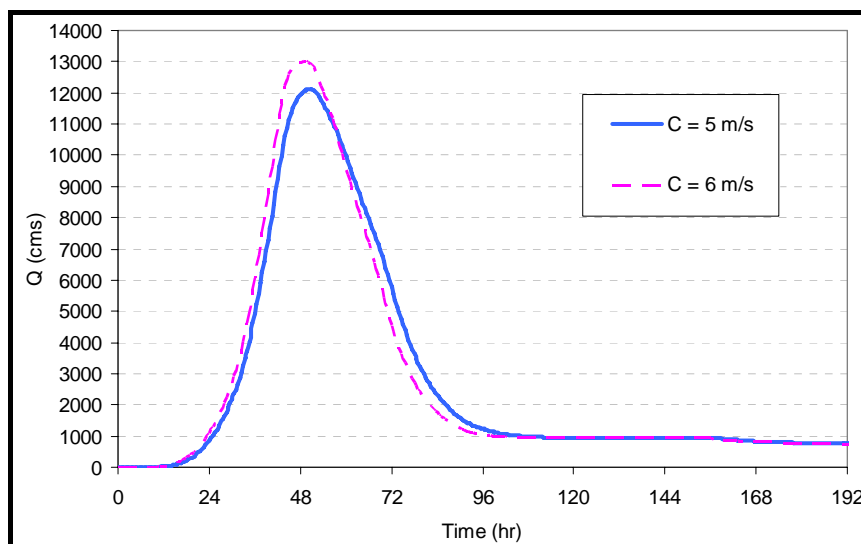
شکل ۷-۳۰- هیدروگراف‌های PMF متناظر با مقادیر مختلف نرخ تنزیل دما با افزایش ارتفاع

جدول ۷-۲۵- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف نرخ تنزیل دما

ارتفاع رواناب (mm)	دبی اوج (m^3/s)	نرخ تنزیل دما
۳۵۸/۸	۱۲۳۸۷	Lapse Rate=5.5 °C/km
۳۴۱/۶	۱۲۰۵۶	Lapse Rate=6/5 °C/km
۳۵۰/۰	۱۲۱۱۰	Lapse Rate=6 °C/km

۷-۹-۳-۷- سرعت حرکت موج در رودخانه

معمولا سرعت موج به ازای بارش‌های با شدت بالاتر (نظیر PMP) نسبت به شرایط واسنجی افزایش نشان می‌دهد. لذا با توجه به توصیه منابع (به ویژه منابع کشور انگلستان)، برای بررسی تغییرات احتمالی حاصل از افزایش سرعت موج، سرعت موج ۲۰ درصد افزایش داده شد و شبیه‌سازی PMF انجام گرفت. از شکل (۷-۳۱) ملاحظه می‌گردد که با افزایش ۲۰ درصدی سرعت موج از ۵ به ۶ متر در ثانیه، دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF به ترتیب $7/4$ و $3/0$ درصد افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب متناظر با مقادیر مختلف سرعت حرکت موج در رودخانه در جدول (۷-۲۶) آمده است.



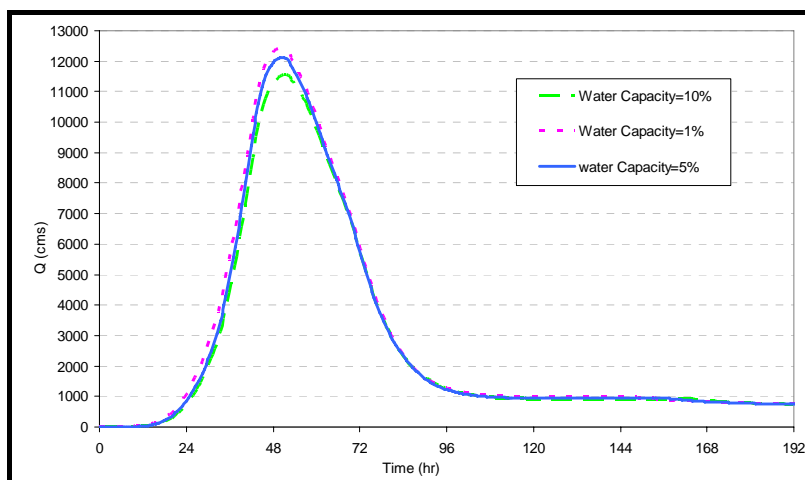
شکل ۷-۳۱- هیدروگراف‌های PMF حاصل از افزایش سرعت موج در رودخانه

جدول ۷-۲۶- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف سرعت حرکت موج

ارتفاع رواناب (mm)	دبی اوج (m^3/s)	سرعت حرکت موج
۳۵۰/۰	۱۲۱۱۰	C = 5 m/s
۳۵۱/۰	۱۳۰۰۲	C = 6 m/s

۷-۹-۳-۸- ضریب حداکثر ذخیره آب در برف

شکل (۷-۳۲) هیدروگراف‌های PMF حاصل از مقادیر مختلف ضریب پتانسیل ذخیره آب در برف را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب متناظر با مقادیر مختلف ضریب پتانسیل ذخیره آب در برف در جدول (۷-۲۷) آمده است. مقایسه هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که با کاهش ۸۰ درصدی ضریب پتانسیل ذخیره آب در برف از ۵ به ۱ درصد، دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF به ترتیب $4/2$ درصد و $5/2$ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ۱۰۰ درصدی آن از ۵ به ۱۰ درصد، دبی اوج و حجم هیدروگراف PMF به ترتیب $7/4$ و $3/3$ درصد کاهش می‌یابد.



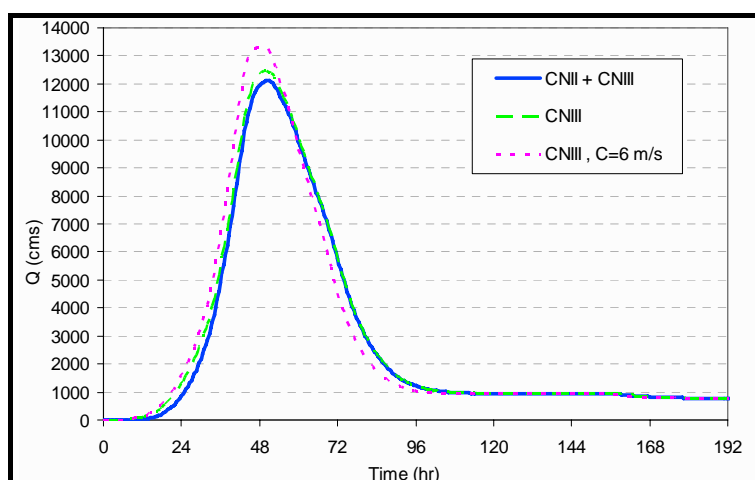
شکل ۳۲-۷- هیدروگراف‌های PMF حاصل از مقادیر مختلف ضریب حداکثر ذخیره آب در برف

جدول ۲۷-۷- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF متناظر با مقادیر مختلف ضریب پتانسیل ذخیره آب در برف

ضریب پتانسیل ذخیره آب در برف	دبی اوج (m^3/s)	ارتفاع رواناب (mm)
Water Capacity=10%	۱۱۵۴۱	۳۳۸/۴
Water Capacity=1%	۱۲۳۹۴	۳۵۸/۷
Water Capacity=5%	۱۲۱۱۰	۳۵۰/۰

۷-۹-۳-۹- رطوبت اولیه حوضه

برای بررسی تاثیر رطوبت اولیه حوضه بر هیدروگراف PMF دو حالت منظور شد. در حالت اول رطوبت در سطوح بدون برف و پوشیده از برف به ترتیب در شرایط CN(II) و CN(III) در نظر گرفته شد. در حالت دیگر رطوبت اولیه در تمام سطوح در شرایط CN(III) در نظر گرفته شد. همچنین هیدروگراف PMF در شرایط رطوبت CN(III) و سرعت موج ۶ متر در ثانیه به عنوان بحرانی‌ترین حالت نیز شبیه‌سازی شد. شکل (۳۳-۷) هیدروگراف‌های PMF حاصل از شرایط رطوبت اولیه مختلف در حوضه را نشان می‌دهد. مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب حاصل از شرایط رطوبت اولیه مختلف در حوضه در جدول (۲۸-۷) آمده است.



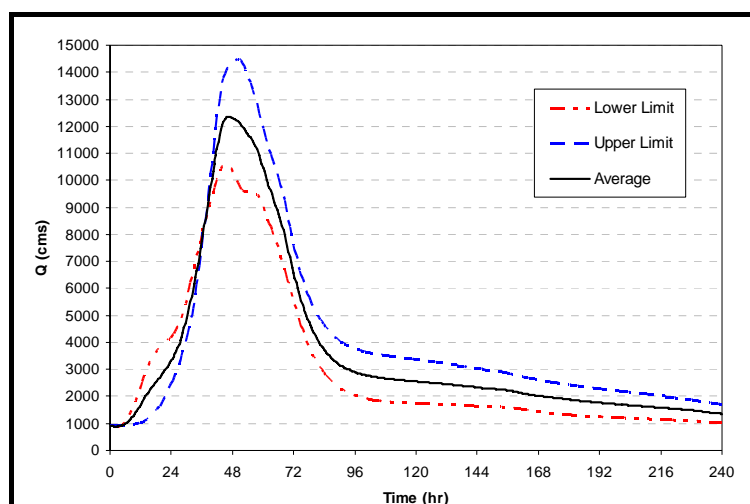
شکل ۳۳-۷- هیدروگراف‌های PMF حاصل از شرایط رطوبت اولیه مختلف در حوضه

جدول ۷-۲۸- مقادیر دبی اوج و ارتفاع رواناب PMF حاصل از شرایط رطوبت اولیه مختلف در حوضه

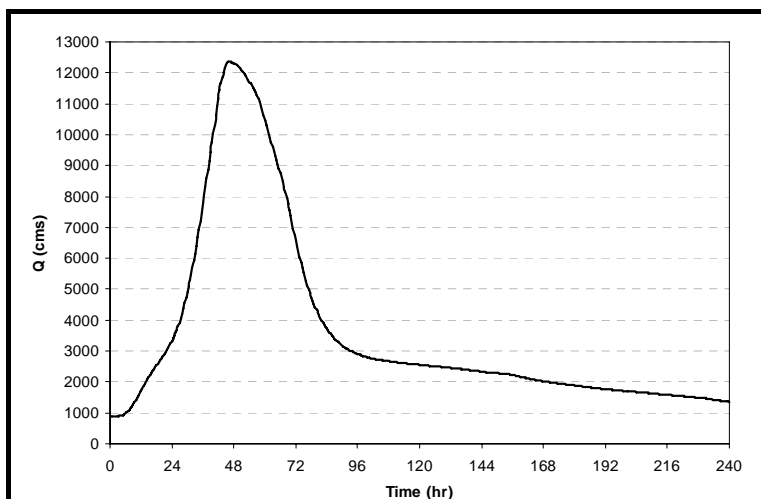
شرایط مختلف رطوبت اولیه	دبی اوج (m^3/s)	ارتفاع رواناب (mm)
CN II + CN III	۱۲۱۱۰	۳۵۰/۰
CN III	۱۲۴۴۶	۳۶۱/۴
CN III, C=6m/s	۱۳۳۲۵	۳۶۲/۴

۷-۹-۴- تعیین دامنه تغییرات PMF

در این مرحله، حدود بالا و پایین هیدروگراف‌های PMF شبیه‌سازی شده در مرحله آنالیز حساسیت به عنوان دامنه محتمل وقوع حداکثر سیلاب حوضه بختیاری شناسایی گردید. PMF شرایط بین دو حد بالایی و پایینی می‌تواند به عنوان PMF طرح استفاده شود. شکل (۷-۳۴) و جدول (۷-۳۰) هیدروگراف‌های حد بالا و پایین و میانگین PMF با دبی پایه را نشان می‌دهد. در شکل (۷-۳۵) هیدروگراف PMF نهایی در محل سد بختیاری شامل دبی پایه و رواناب ذوب برف آمده است. مقادیر دبی اوج و حجم هیدروگراف‌های حد بالا PMF، حد پایین PMF، PMF نهایی با زمان پایه ۶ روزه در جدول (۷-۲۹) آمده است.



شکل ۷-۳۴- حدود بالا، پایین و میانگین PMF حوضه سد بختیاری



شکل ۷-۳۵- هیدروگراف PMF نهایی در محل سد بختیاری

جدول ۷-۲۹- مقادیر دبی اوج و حجم هیدروگراف‌های حد بالا PMF، حد پایین PMF و PMF نهایی با زمان پایه ۶ روزه

	دبی اوج (m ³ /s)	حجم هیدروگراف (MCM)
هیدروگراف حد بالا PMF	۱۴۵۰۰	۲۸۰۰
هیدروگراف حد پایین PMF	۱۰۶۰۰	۲۲۰۰
هیدروگراف نهایی PMF	۱۲۴۰۰	۲۵۰۰

جدول ۷-۳۰- مقادیر هیدروگراف نهایی PMF

n	PMF with base flow	time (hr)	PMF with base flow	time (hr)	PMF with base flow	time (hr)	PMF with base flow
۰	۹۰۰	۶۱	۹۷۵۵	۱۲۱	۲۵۳۸	۱۸۱	۱۸۵۶
۱	۹۰۴	۶۲	۹۴۸۰	۱۲۲	۲۵۳۰	۱۸۲	۱۸۴۶
۲	۹۱۷	۶۳	۹۱۹۹	۱۲۳	۲۵۲۱	۱۸۳	۱۸۳۵
۳	۹۴۲	۶۴	۸۹۱۱	۱۲۴	۲۵۱۳	۱۸۴	۱۸۲۶
۴	۹۸۳	۶۵	۸۶۱۷	۱۲۵	۲۵۰۴	۱۸۵	۱۸۱۶
۵	۱۰۴۴	۶۶	۸۳۱۳	۱۲۶	۲۴۹۵	۱۸۶	۱۸۰۷
۶	۱۱۳۱	۶۷	۷۹۶۴	۱۲۷	۲۴۸۷	۱۸۷	۱۷۹۸
۷	۱۲۳۹	۶۸	۷۵۷۰	۱۲۸	۲۴۷۸	۱۸۸	۱۷۹۰
۸	۱۳۶۴	۶۹	۷۱۶۵	۱۲۹	۲۴۶۹	۱۸۹	۱۷۸۱
۹	۱۵۰۴	۷۰	۶۷۶۳	۱۳۰	۲۴۶۰	۱۹۰	۱۷۷۳
۱۰	۱۶۵۴	۷۱	۶۳۸۳	۱۳۱	۲۴۵۱	۱۹۱	۱۷۶۵
۱۱	۱۸۰۸	۷۲	۶۰۲۸	۱۳۲	۲۴۴۱	۱۹۲	۱۷۵۶
۱۲	۱۹۶۰	۷۳	۵۶۹۹	۱۳۳	۲۴۳۰	۱۹۳	۱۷۴۸
۱۳	۲۱۰۶	۷۴	۵۳۹۶	۱۳۴	۲۴۲۰	۱۹۴	۱۷۴۰
۱۴	۲۲۴۶	۷۵	۵۱۱۸	۱۳۵	۲۴۱۰	۱۹۵	۱۷۳۳
۱۵	۲۳۷۹	۷۶	۴۸۶۶	۱۳۶	۲۴۰۰	۱۹۶	۱۷۲۵
۱۶	۲۵۰۲	۷۷	۴۶۳۸	۱۳۷	۲۳۹۰	۱۹۷	۱۷۱۷
۱۷	۲۶۱۷	۷۸	۴۴۳۱	۱۳۸	۲۳۸۱	۱۹۸	۱۷۰۹
۱۸	۲۷۳۵	۷۹	۴۲۴۴	۱۳۹	۲۳۷۲	۱۹۹	۱۷۰۱
۱۹	۲۸۵۷	۸۰	۴۰۷۷	۱۴۰	۲۳۶۴	۲۰۰	۱۶۹۳
۲۰	۲۹۸۸	۸۱	۳۹۲۶	۱۴۱	۲۳۵۵	۲۰۱	۱۶۸۶
۲۱	۳۱۳۰	۸۲	۳۷۹۲	۱۴۲	۲۳۴۷	۲۰۲	۱۶۷۸
۲۲	۳۲۷۴	۸۳	۳۶۷۰	۱۴۳	۲۳۳۹	۲۰۳	۱۶۷۰
۲۳	۳۴۱۸	۸۴	۳۵۵۸	۱۴۴	۲۳۳۰	۲۰۴	۱۶۶۳
۲۴	۳۵۸۸	۸۵	۳۴۵۵	۱۴۵	۲۳۱۰	۲۰۵	۱۶۵۵
۲۵	۳۸۰۲	۸۶	۳۳۶۱	۱۴۶	۲۳۰۳	۲۰۶	۱۶۴۷
۲۶	۴۰۵۷	۸۷	۳۲۷۸	۱۴۷	۲۲۹۶	۲۰۷	۱۶۴۰
۲۷	۴۳۶۹	۸۸	۳۲۰۴	۱۴۸	۲۲۸۹	۲۰۸	۱۶۳۲
۲۸	۴۷۲۴	۸۹	۳۱۳۹	۱۴۹	۲۲۸۱	۲۰۹	۱۶۲۵
۲۹	۵۰۹۴	۹۰	۳۰۸۳	۱۵۰	۲۲۷۴	۲۱۰	۱۶۱۷
۳۰	۵۴۹۱	۹۱	۳۰۳۳	۱۵۱	۲۲۶۶	۲۱۱	۱۶۱۰
۳۱	۵۹۲۵	۹۲	۲۹۸۹	۱۵۲	۲۲۵۷	۲۱۲	۱۶۰۲
۳۲	۶۴۰۰	۹۳	۲۹۵۰	۱۵۳	۲۲۴۵	۲۱۳	۱۵۹۵
۳۳	۶۹۳۴	۹۴	۲۹۱۶	۱۵۴	۲۲۳۲	۲۱۴	۱۵۸۷
۳۴	۷۴۹۳	۹۵	۲۸۸۴	۱۵۵	۲۲۱۷	۲۱۵	۱۵۸۰

ادامه جدول ۷-۳۰- مقادیر هیدروگراف نهایی PMF

n	PMF with base flow	time (hr)	PMF with base flow	time (hr)	PMF with base flow	time (hr)	PMF with base flow
۳۵	۸۰۴۰	۹۶	۲۸۵۵	۱۵۶	۲۲۰۰	۲۱۶	۱۵۷۲
۳۶	۸۵۹۰	۹۷	۲۸۲۸	۱۵۷	۲۱۸۱	۲۱۷	۱۵۶۵
۳۷	۹۱۵۶	۹۸	۲۸۰۴	۱۵۸	۲۱۶۲	۲۱۸	۱۵۵۷
۳۸	۹۷۳۶	۹۹	۲۷۸۳	۱۵۹	۲۱۴۳	۲۱۹	۱۵۴۹
۳۹	۱۰۳۳۰	۱۰۰	۲۷۶۳	۱۶۰	۲۱۲۴	۲۲۰	۱۵۴۲
۴۰	۱۰۹۰۶	۱۰۱	۲۷۴۵	۱۶۱	۲۱۰۵	۲۲۱	۱۵۳۴
۴۱	۱۱۴۳۴	۱۰۲	۲۷۲۸	۱۶۲	۲۰۸۸	۲۲۲	۱۵۲۷
۴۲	۱۱۸۵۹	۱۰۳	۲۷۱۲	۱۶۳	۲۰۷۲	۲۲۳	۱۵۱۹
۴۳	۱۲۱۵۴	۱۰۴	۲۶۹۸	۱۶۴	۲۰۵۶	۲۲۴	۱۵۱۲
۴۴	۱۲۳۲۹	۱۰۵	۲۶۸۵	۱۶۵	۲۰۴۲	۲۲۵	۱۵۰۴
۴۵	۱۲۳۶۰	۱۰۶	۲۶۷۳	۱۶۶	۲۰۲۸	۲۲۶	۱۴۹۷
۴۶	۱۲۳۲۲	۱۰۷	۲۶۶۲	۱۶۷	۲۰۱۵	۲۲۷	۱۴۸۹
۴۷	۱۲۲۸۳	۱۰۸	۲۶۵۱	۱۶۸	۲۰۰۳	۲۲۸	۱۴۷۹
۴۸	۱۲۲۲۳	۱۰۹	۲۶۴۱	۱۶۹	۱۹۹۱	۲۲۹	۱۴۶۸
۴۹	۱۲۱۴۱	۱۱۰	۲۶۳۱	۱۷۰	۱۹۸۰	۲۳۰	۱۴۵۶
۵۰	۱۲۰۴۰	۱۱۱	۲۶۲۲	۱۷۱	۱۹۶۹	۲۳۱	۱۴۴۲
۵۱	۱۱۹۰۵	۱۱۲	۲۶۱۳	۱۷۲	۱۹۵۹	۲۳۲	۱۴۲۹
۵۲	۱۱۷۶۷	۱۱۳	۲۶۰۴	۱۷۳	۱۹۴۹	۲۳۳	۱۴۱۶
۵۳	۱۱۶۴۸	۱۱۴	۲۵۹۶	۱۷۴	۱۹۳۹	۲۳۴	۱۴۰۵
۵۴	۱۱۵۲۱	۱۱۵	۲۵۸۸	۱۷۵	۱۹۲۹	۲۳۵	۱۳۹۴
۵۵	۱۱۳۶۲	۱۱۶	۲۵۷۹	۱۷۶	۱۹۱۸	۲۳۶	۱۳۸۳
۵۶	۱۱۱۶۱	۱۱۷	۲۵۷۱	۱۷۷	۱۹۰۵	۲۳۷	۱۳۷۳
۵۷	۱۰۹۰۸	۱۱۸	۲۵۶۳	۱۷۸	۱۸۹۲	۲۳۸	۱۳۶۴
۵۸	۱۰۶۱۶	۱۱۹	۲۵۵۵	۱۷۹	۱۸۷۹	۲۴۰	۱۳۵۴
۵۹	۱۰۳۱۹	۱۲۰	۲۵۴۷	۱۸۰	۱۸۶۷		
۶۰	۱۰۰۳۲						

پیوست ۱

تعاریف

در این بخش لغات فنی و مفاهیم اولیه که به منظور فهم مراحل برآورد PMF مورد نیاز است، به اختصار تشریح می‌شوند.

حوضه زهکشی (Drainage Basin)

حوضه زهکشی شامل سطحی است که در تولید رواناب مستقیم ناشی از بارش بر روی حوضه در یک نقطه خروجی معین نقش دارد. لغات معادل در ادبیات خارجی شامل Watershed, Catchment و Basin می‌باشد.

هیتوگراف (Hyetograph)

نموداری از شدت بارندگی تجمعی، بارندگی خالص یا هر دو در مقابل زمان در یک ایستگاه باران‌نگار و یا تعمیم یافته برای کل یک حوضه.

هیدروگراف سیل (Flood Hydrograph)

تغییرات پیوسته جریان رودخانه در مقابل زمان برای یک سیل مشخص در یک موقعیت انتخاب شده روی رودخانه (FERC Hydropower PMF Guide, 2001).

هیدروگراف واحد (Unit Hydrograph)

هیدروگراف رواناب مستقیم از یک حوضه زهکشی مشخص است که ناشی از یک واحد (اینچ یا سانتی‌متر) عمق بارندگی خالص به صورت یکنواخت مکانی برای یک مدت زمان معین می‌باشد.

هیدروگراف واحد بدون بعد (Dimensionless Unit Hydrograph)

یک هیدروگراف واحد که مولفه‌های عمودی (دبی) و افقی (زمان) آن به ترتیب از تقسیم کردن بر دبی اوج هیدروگراف و زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف بدون بعد شده‌اند.

هیدروگراف واحد مصنوعی (Synthetic Unit Hydrograph)

هیدروگراف واحد برای یک حوضه فاقد آمار است که براساس مفهوم هیدروگراف واحد به عنوان تابعی از خصوصیات حوضه بیان می‌گردد.

سیل حدی (Extreme or Major Flood)

سیلی که دبی اوج آن به طور قابل ملاحظه‌ای از سایر سیل‌های تاریخی بزرگ‌تر باشد.

سیل طراحی (Design Flood)

هیدروگراف سیلی که براساس آن یک پروژه معین به همراه تاسیسات وابسته آن طراحی می‌شوند.

حداکثر بارش محتمل (Probable Maximum Precipitation)

سازمان جهانی هواشناسی^۱ در سال ۱۹۸۶، PMP را به صورت زیر تعریف کرد: از نظر تئوری، بزرگ‌ترین عمق بارش در یک مدت معین است که به طور فیزیکی امکان رخداد آن روی یک سطح مشخص حوضه در یک موقعیت جغرافیایی ویژه و در زمان معینی از سال وجود دارد (WMO, 1986).

حداکثر رگبار محتمل (Probable Maximum Storm)

حداکثر رگبار محتمل عبارن است از یک رگبار طراحی منشا گرفته از PMP که الگوی زمانی - مکانی آن به‌طور واقع‌گرایانه‌ای براساس طوفان‌های مشاهداتی برای ایجاد شرایط بحرانی تنظیم شده باشد. به مقدار عمق میانگین حوضه‌ای PMP در فاز طراحی یک الگوی زمانی و مکانی بر روی حوضه مورد نظر داده می‌شود، به نحوی که حداکثر سیلاب محتمل (PMF) را ایجاد نماید. به این بارش طراحی که PMF را تولید می‌کند، حداکثر رگبار محتمل گفته می‌شود.

حداکثر سیل محتمل (Probable Maximum Flood)

سیلی که به طور تئوریک از ترکیب شرایط هواشناسی بحرانی که معمولاً حداکثر بارش محتمل را تولید می‌کنند و شرایط هیدرولوژیکی بحرانی که به طور منطقی امکان وقوع آن‌ها در حوضه تحت مطالعه وجود دارد، مورد انتظار باشد. این سیل یک سیل تولید شده به‌وسیله PMP با فرض بحرانی بودن توزیع زمانی و مکانی بارندگی، همراه با سایر فرض‌های محافظه‌کارانه مربوط به شرایط اولیه حوضه در زمان وقوع سیل است. توجه کنید که با وجود کلمه «محتمل» در اصطلاحات PMP و PMF یک احتمال عبور یا دوره بازگشت را نمی‌توان به آن‌ها نسبت داد. حتی اگر بتوان چنین احتمالی را مطرح نمود، دوره بازگشت عدد بسیار بزرگی شاید در مرتبه ده‌ها هزار سال خواهد بود (Klemes, 1986; Foufoula, 1989; Pilgrim and Rowbottom, 1987) و در این صورت امکان تایید آن در عمل وجود نخواهد داشت.

سیل استاندارد پروژه (Standard Project Flood)

SPF سیلی است حاصل از رگبار استاندارد پروژه^۲ که در محدود حوضه و یا در حوضه‌های همسایه که خصوصیات مشابه اقلیمی و هیدرولوژیکی دارند امکان وقوع داشته باشد. رگبار استاندارد پروژه یک طوفان طراحی بحرانی است که اگر پیشینه‌سازی شود تبدیل به PMP می‌گردد.

حجم ذخیره سیل (Flood Storage)

آن قسمت از ذخیره مخزن که به طور صریح به منظور ذخیره‌سازی حجم سیل پیش‌بینی شده است.

1- World Meteorological Organization

2- Standard Project Storm

روندیابی سیل (Flood Routing)

فرآیند تعیین دبی در زمان‌های پیوسته در نقاط متوالی در طول یک رودخانه برای تخمین سیل خروجی در یک نقطه در پایین‌دست بر اساس سیل ورودی در بالادست رودخانه است. روش‌های روندیابی سیل می‌تواند به دو دسته روندیابی هیدرولوژیکی (روندیابی یکپارچه جریان) یا روندیابی هیدرولیکی (روندیابی توزیعی جریان) طبقه‌بندی شوند. برخی از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی شامل مخزن خطی و ماسکینگام و روش‌های هیدرولیکی شامل موج دینامیکی و ماسکینگام - کانچ می‌باشد.

روندیابی دینامیکی سیل در مخزن (Dynamic Reservoir Flood Routing)

روش‌های روندیابی سیل در یک مخزن با استفاده از معادلات پیوستگی و مومنتوم با در نظر گرفتن اثرات دینامیکی مانند عبور یک موج سیل عظیم از میان مخزن است.

جریان خروجی روندیابی شده (Routed Outflow)

هیدروگراف پایین‌دست که حاصل از روندیابی یک هیدروگراف سیل در مخزن با استفاده از ظرفیت‌های مناسب سرریز و خروجی‌ها می‌باشد.

متغیر (Variable)

متغیر عبارت است از یک مشخصه قابل اندازه‌گیری از یک سیستم که در زمان‌های مختلف ممکن است دارای مقادیر عددی مختلفی باشد. برای مثال، مقادیر بارندگی، رواناب، نفوذ، دما، و رطوبت خاک از جمله متغیرهای هیدرولوژیکی محسوب می‌شوند.

پارامتر (Parameter)

پارامترها در واقع مشخصه‌های کمی سیستم هیدرولوژیکی هستند که ممکن است با توجه به زمان تغییر کنند یا ثابت بمانند. هدایت هیدرولیکی، ضریب زبری مانینگ، زمان ضریب ذخیره، زمان تمرکز و ضرایب روش روندیابی ماسکینگام مثال‌هایی از پارامترها هستند.

شبیه‌سازی رواناب (Runoff Modeling)

فرآیند تحلیلی محاسبه بخشی از بارندگی یک طوفان و (یا) ذوب برف که روی زمین به صورت آب‌های سطحی جاری می‌شود. شبیه‌سازی در برگیرنده روابط ریاضی تبدیل بارش - رواناب^۱ است که روش اصلی آن، هیدروگراف واحد می‌باشد.

مدل شبیه‌سازی (Simulation Model)

یک سیستم شبیه‌سازی فرآیند فیزیکی است که خصوصیات اصلی شناخته شده فرآیند را از طریق ارتباط دادن ورودی‌های مشخص به خروجی‌ها محاسبه می‌کند. مدل، نمایش ساده یک سیستم پیچیده است که تعدادی از مشخصه‌های سیستم را شبیه‌سازی می‌کند و دربرگیرنده تشابه بدون عینیت است. یک مدل ریاضی به وسیله مجموعه‌ای از معادلات، یک سیستم را شبیه‌سازی می‌کند. این معادلات رابطه بین متغیرها و پارامترهای سیستم را بیان می‌کند. در مدل‌های ریاضی هیدرولوژیکی، رفتار سیستم با مجموعه‌ای از معادلات به منظور پیش‌بینی وقایع هیدرولوژیکی حاصل از ورودی‌های هیدرولوژیکی شبیه‌سازی می‌شود.

واسنجی مدل (Calibration)

فرآیند اصلاح پارامترهای یک مدل بارش - رواناب در یک محدوده فیزیکی یا منطقی که با استفاده از روش سعی و خطا یا اتوماتیک به‌گونه‌ای که خروجی هیدروگراف شبیه‌سازی شده با هیدروگراف مشاهداتی با بیش‌ترین دقت ممکن تطبیق داشته باشد.

اعتباریابی مدل (Validation)

فرآیند اثبات دقت و اعتبار پارامترهای واسنجی شده یک مدل هیدرولوژیک است. اعتباریابی از طریق مقایسه خروجی‌های شبیه‌سازی شده مدل، بدون تغییر پارامترهای حاصل از واسنجی، با مقادیر مشاهده‌ای که در مرحله واسنجی استفاده نشده‌اند، انجام می‌پذیرد.

تحلیل حساسیت (Sensitivity Analysis)

فرآیند تعیین تغییرات یک خروجی هیدرولوژیکی با توجه به تغییر در یک یا چند ورودی یا پارامتر است که به منظور تعیین اهمیت یا تاثیر آن ورودی یا پارامتر بر خروجی مورد نظر انجام می‌گیرد. به بیانی دیگر آنالیز حساسیت، تغییرات حل بهینه را نسبت به تغییر اجزای سیستم یعنی ورودی یا پارامترها بررسی می‌کند. همچنین تحلیل حساسیت شامل بررسی شدت تغییر یک عامل با توجه به تغییر در یک عامل دیگر نیز می‌شود. آنالیز حساسیت عمدتاً به دو قسمت تقسیم می‌شود: (۱) حساسیت پارامترها و (۲) حساسیت ورودی‌ها.

منابع و مراجع

- ۱- امامی، ک، ۱۳۷۷، ضوابط انتخاب سیلاب طراحی سدها، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی سیلاب طراحی، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، کمیته فنی سد و طغیان، دانشگاه تهران، مجتمع آموزش عالی ابوریحان.
- ۲- امامی، ک، ۱۳۸۰، ضوابط جامع گرایانه انتخاب سیلاب طراحی سدهای بزرگ، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی ضوابط سیلاب طراحی برای ایمنی سدها، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- ۳- بزرگ‌زاده، م، ۱۳۷۵، بررسی و پیشنهاد روابط انتخاب سیلاب طراحی سدهای بزرگ ایران، وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب ایران، نشریه شماره ۱۰۵.
- ۴- بوستانی، ف. و صدقی، ح، ۱۳۸۰، بررسی زمینه‌های بروز خطا در برآورد حداکثر سیلاب محتمل، کنفرانس بین‌المللی سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید باهنر کرمان
- ۵- فدائی فرد، م، ۱۳۸۰، بررسی معیارهای انتخاب سیلاب طراحی، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی ضوابط سیلاب طراحی برای ایمنی سدها، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- ۶- غروی، م، ۱۳۸۰، بررسی ضوابط موجود سیلاب طراحی سدها و ارائه پیشنهاد، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی ضوابط سیلاب طراحی برای ایمنی سدها، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- ۷- غروی، م، کیا، ع، ایزدوستدار، ا. و قدوسی، م، ۱۳۸۳، سیل باستانی در سدسازی: گزینه یا متمم؟ مجموعه مقالات اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران.
- 8- Ad Hoc Dam Safety Study Committee, 2006. Report of the Ad Hoc Dam Safety Study Committee to the Virginia Soil and Water Conservation Board.
- 9- Ad Hoc Interagency Committee on Dam Safety of the Federal Coordinating Council for Science, Engineering and Technology, 1979. Federal Guidelines for Dam Safety. Washington, D.C.
- 10- Alberta Transportation, Civil Projects Branch, 2004. Guidelines on Extreme Flood Analysis.
- 11- ASCE, 1973. ASCE Task Committee on the Reevaluation of the Adequacy of Spillways of Existing Dams of the Committee on Hydrometeorology of the Hydraulics Division. Reevaluating Spillway Capacity at Existing Dams. Journal of the Hydraulics Division, ASCE 99(HY2), pp. 337-372.
- 12- ASCE, 1988. ASCE Task Committee on Spillway Design Flood Selection of the Committee on Surface Water Hydrology of the Hydraulics Division, Evaluation Procedures for Hydrologic Safety of Dams. ASCE, New York, 95 pp.
- 13- B.C. Hydro 1994. PMP/PMF study guidelines. Report no. H2748, Hydroelectric Engineering Division
- 14- Bouvard, M., 1988. Design Flood and Operational Flood Control. ICOLD 16th Congress, San Francisco.
- 15- Buehler, Bob J., 1997. Hurrah for 'Risk Management', Readers Write. Civil Engineering, p.29.

- 16- CDA 1999. Dam safety guidelines. Canadian Dam Association/Association Canadienne des Barrages, Edmonton.
- 17- Clark, C.O., 1943. Storage and the Unit Hydrograph. Transactions of American Society of Civil Engineers, Vol. 108.
- 18- Cluckie, I.D., Pessoa, M.L., 1990. Dam safety: an evaluation of some procedures for design flood estimation. Water Resources Research Group, Department of Civil Engineering, University of Salford, M5 4WT, Salford.
- 19- Corps of Engineers, 1966. Policies and Procedures Pertaining to Determination of Spillway Capacities and Freeboard Allowances for Dams. Washington, USA.
- 20- Corps of Engineers, 1975. Recommended guidelines for safety inspection of dams. In: National Program of Inspection of Dams, Appendix D, Washington, USA.
- 21- Cudworth, A.G. 1989, Flood Hydrology Manual, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Federal Center, Denver, Colorado.
- 22- Cudworth, A. G., 1992, Flood Hydrology Manual, Bureau of Reclamation, U.S. Department of Interior, Denver, CO, 243 p.
- 23- FEMA, 1986. Federal Emergency Management Agency, State and Local Programs and Support Directorate, Interagency Committee on Dam Safety, January 1986. Federal Guidelines for Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams, FEMA94.
- 24- FEMA, 1990. Federal Emergency Management Agency, Proceedings of Probable Maximum Precipitation and Probable Maximum Flood Workshop, May 1990. Berkeley Springs, West Virginia, 25pp.
- 25- FEMA, 1998. Federal Emergency Management Agency, Mitigation Directorate, Interagency Committee on Dam Safety, October 1998. Federal Guidelines for Dam Safety: Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams, FEMA94.
- 26- FERC Hydropower PMF Guide, 2001. Determination of the Probable Maximum Flood. Chapter VIII.
- 27- Figliuzzi, Sal J., 1989. Estimation of Probable Maximum Floods in Alberta. In Proceedings of Dam Safety Seminar, Canadian Association of Dam Safety Officials, Edmonton, pp. 185-210.
- 28- Fofoula-Georgiou, E., 1989. A probabilistic storm transposition approach for estimating exceedance probabilities of extreme precipitation depths. Water Resour. Res. 25 (5), pp. 799–815.
- 29- Graham, Wayne J., 1999b. A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure. DSO-99-06, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, Denver, Colorado, 44pp.
- 30- Graham, Wayne J., 2000. Should Dams be Modified for the Probable Maximum Flood? Journal of the American Water Resources Association, Vol. 36, No. 5.
- 31- Guidelines on Extreme Flood Analysis, 2004. Alberta Transportation, Transportation and Civil Engineering Division, Civil Projects Branch.

- 32- Hagen, V.K., 1982. Re-evaluation of Design Floods and Dam Safety. ICOLD 14th congress, Paris.
- 33- ICOLD, Committee on costs, 1994. Cost of Temporary and Permanent Flood Control. First Draft, ICOLD, Paris.
- 34- Institute of Hydrology (IH), 1999, Flood Estimation Handbook: Restatement and Application of the FSR Rainfall-Runoff Method. Institute of Hydrology, Wallingford.
- 35- Jarred, R. D., Tomlison, E.M., 2000. Regional Interdisciplinary Paleoflood Approach to Assess Extreme Flood Potential. J. Water Resources Research, 36(10).
- 36- Klemes, V., 1993. Probability of extreme hydrometeorological events-a different approach. In: Kundzewicz, Z.W., Rosbjerg, D., Simonovic, S.P., Takeuchi, K. (Eds.), Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods, Droughts, IAHS Publ. No. 213, pp. 167-176.
- 37- Lave, Lester B. et al., 1990. Safety Goals for High- Hazard Dams: Are Dams Too Safe? Water Resources Research 26(7), pp. 1383-1391.
- 38- National Weather Service, 1982. Probable Maximum Application of Precipitation Estimates – United States East of the 105th Meridian, Hydrometeorological Report No. 52, United States Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C.
- 39- Newton, D. W., 1983. Realistic assessment of maximum flood potentials. ASCE 109(6), pp. 905-918.
- 40- NRC, 1985. National Research Council, Committee on Safety Criteria for Dams. Safety of Dams: Flood and Earthquake Criteria. National Academy Press, Washington, D.C.
- 41- Ostenna D.A., Levish, D.R., O’Connell, D.R.H., and Cohen E.A., 1997, Paleoflood study for Causey and Pineview Dams, Weber Basin and Ogden River Projects, Utah: Denver, Colorado, Bureau of Reclamation, Seismotectonic Report 96-6, 69 p., 3 appendices.
- 42- Pilgrim, D.H., Rowbottom, I.A., 1987. Estimation of large and extreme floods. In: Pilgrim, D.H. (Ed.), Third ed, Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation, vol. 1. Institute of Engineers Aust., Canberra, Chapter 13.
- 43- Pilgrim, D.H., Rowbottom, I.A., Wright, G.L., 1988. Estimation of Spillway Design Flood for Australian Dams. ICOLD 16th Congress, Q.63, R.16, pp. 205-229, ICOLD, Paris.
- 44- Ponce, V.M., 1989. Engineering Hydrology. Chapter 13, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 640 p.
- 45- Ribeiro, A.A., 1992. Design Flood-Regulations for the Safety of Dams-Portugal. International Symposium on dams and Extreme Floods, ICOLD, Granada, Spain. pp. 9-15.
- 46- Shaw, E.M., 1994, Hydrology in Practice, Chapman and Hall, London.
- 47- South African Committee on Large Dams (SANCOLD), 1986. Interim Guidelines on Dam Break Floods. Report No. 2, SANCOLD, Pretoria, South Africa.
- 48- Snyder, Franklin F., 1964. Hydrology of Spillway Design: Large Structures- Adequate Data. Journal of the Hydraulics Division, ASCE 90(HY3), pp. 239-259.

- 49- Stedinger, J.R., Heath, D.C., Thompson, K., 1996. Risk Analysis for Dam Safety Evaluation: Hydrologic Risk. Cornell University Ithaca, NY 14853-3501 For U.S.Army Corps of Engineers Institute for Water Resources .
- 50- US army Corps of Engineers, 2007. Hydrologic Modeling System, HEC-HMS technical manual, version 3.1.0, Institute for water resources- hydrologic engineering center.
- 51- US Bureau of Reclamation, 1977. Design of Small Dams. US Dept of the Interior Wat. Res.Tech. Publ., Washington, USA.
- 52- United States Geological Survey, 1988. Guide for Selecting Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. Water Supply Paper 2339, Washington, D.C.
- 53- USCOLD, 1970. Committee on "Failures and Accidents to Large Dams, Other Than in Connection With the Foundation." Criteria and Practices Utilized in Determining the Required Capacity of Spillways as Reported by 21 United States Engineering Organizations. U.S. Committee on Large Dams, New York.
- 54- US National Research Council, Committee on Safety Criteria for Dams, 1985. Safety of Dams- Flood and Earthquake Criteria. National Academy Press, Washington, D.C.
- 55- Woolhiser, D.A., 1982. Hydrology Modeling of Small Watersheds. Chapter 1 in Hydrologic Modeling of Small Watersheds, Hann, C.T., Johnson, H.P., Brakensiek, D.L., Eds., ASAE Monograph Number 5, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.
- 56- World Meteorological Organization, 1986. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Operational Hydrology Report No.1, WMO 332, Geneva, Switzerland, 269 pp.

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision

Instruction for Determination of Probable Maximum Flood

No.647

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 عنوان «دستورالعمل روش‌های محاسبه حداکثر سیل محتمل PMF» با هدف ایجاد یکنواختی در محاسبات مرتبط با سدهایی که به تخمین PMF برای طراحی نیاز دارند، تهیه گردیده است. در این نشریه روش‌ها و مراحل محاسبه حداکثر سیلاب محتمل با حفظ مبانی هیدرولوژیکی و توجه به تجربیات سایر کشورها ارائه شده است. این نکته شایان ذکر است که اتخاذ برخی تصمیم‌های کارشناسی در طی مراحل برآورد و با توجه به شرایط داده‌ها و ویژگی‌های منطقه همچنان به عهده کارشناس خواهد بود.