INSO
20046
1st.Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۰۴۶
چاپ اول
۱۳۹۴

هیدرومتری – روش‌های سرعت-مساحت مورد استفاده در جریان‌سنج‌ها – جمع آوری و پردازش داده‌ها برای تعیین عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری شارش

Hydrometry – Velocity-area methods using current-meters – Collection and processing of data for determination of uncertainties in flow measurement

ICS: 17.120.20

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۱۲۹۴

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج - شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: **standard@isiri.org.ir**

وبگاه: **http://www.isiri.org**

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد-کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« هیدرومتری – روش‌های سرعت-مساحت مورد استفاده در جریان‌سنج‌ها – جمع آوری و پردازش داده‌ها برای تعیین عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری شارش »

	سمت و/یا محل اشتغال:
رئیس:	
اکبری نسب، محمد (دکتری فیزیک دریا)	عضو هیئت علمی دانشگاه مازندران
دبیر:	
علی زاده، حمیدرضا (فوق لیسانس فیزیک دریا)	سازمان ملی استاندارد ایران
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آذری، سیاوش (لیسانس فیزیک)	مرکز اندازه شناسی – سازمان ملی استاندارد ایران
برقعی، سیدمحمد (دکتری فیزیک)	عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی کرج
حسن زاده، اسماعیل (دکتری فیزیک دریا)	عضو هیئت علمی دانشگاه اصفهان
زارع، حسین (لیسانس مهندسی برق)	سازمان ملی استاندارد ایران
سیوف جهرمی، مریم (دکتری فیزیک دریا)	عضو هیئت علمی دانشگاه هرمزگان
فخری گمچی، ابراهیم (فوق لیسانس فیزیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجانغربی
محمدی لیواری، احد (فوق لیسانس فیزیک)	مرکز اندازه شناسی – سازمان ملی استاندارد ایران
ویراستار:	
فخری گمچی، ابراهیم (فوق لیسانس فیزیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجانغربی

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ج
کمیسیون فنی تدوین استاندارد د
پیش‌گفتار ح
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ نمادها و اختصارات ۲
۴ انواع خطاها و روش‌های اجرایی برآورد عدم قطعیت‌ها در اندازه‌گیری جریان ۴
۴-۱ اصل ۴
۴-۲ بروز خطا ۴
۴-۳ منابع خطا ۶
۴-۴ تعیین یکایک اجزاء تشکیل دهنده عدم قطعیت ۷
۴-۴-۱ عدم قطعیت در عرض ۷
۴-۴-۲ عدم قطعیت در عمق ۷
۴-۴-۳ عدم قطعیت در تعیین سرعت میانگین ۸
۴-۵ عدم قعطیت کل در دبی ۹
۵ جمع آوری و پردازش داده‌ها برای بررسی عدم قطعیت‌های تشکیل دهنده – ارزیابی نـوع (A) عدم قطعیت ۱۱
۵-۱ داده‌های سرعت نقطه‌ای مکانی ۱۱
۵-۲ داده‌های مربوط به سرعت متوسط ۱۲
۵-۲-۱ کلیات ۱۲
۵-۲-۲ محل مقاطع قائم ۱۲
۵-۲-۳ توزیع نقاط اندازه‌گیری در مقاطع قائم ۱۲
۵-۲-۴ دوره اندازه‌گیری سرعت‌های نقطه‌ای مکانی ۱۳
۵-۲-۵ تعداد اندازه‌گیری‌ها ۱۳
۵-۲-۶ ارائه داده‌ها ۱۳

عنوان **صفحه**

۵-۳ داده‌های‌های روش سرعت-مساحت ۱۳
۵-۳-۱ کلیات ۱۳
۵-۳-۲ اندازه‌گیری در ۰٫۶ عمق ۱۳
۵-۳-۳ روش سرعت-توزیع ۱۴
۵-۳-۴ ارائه داده‌ها ۱۴
۵-۳-۵ داده‌های کلی ۱۴
۵-۴ روش یکپارچگی ۱۵
۵-۵ منحنی‌های کالیبراسیون ۱۵
۵-۶ اندازه‌گیری‌های فاصله ۱۵
۵-۷ اندازه‌گیری‌های عمق ۱۵
۶ پردازش داده‌ها ۱۶
۶-۱ کلیات ۱۶
۶-۲ خطای نوع اول ۱۷
۶-۲-۱ زمان اندازه‌گیری محدود و توزیع نتایج ۱۷
۶-۲-۲ تصحیح شرایط غیریکنواخت ۱۷
۶-۲-۳ انحراف معیار نوسانات سرعت ۱۸
۶-۲-۴ تابع خود همبستگی ۱۸
۶-۲-۵ اثر زمان اندازه‌گیری بر انحراف معیار (۱) ۱۸
۶-۲-۶ اثر زمان اندازه‌گیری بر انحراف معیار (۲) ۱۹
۶-۲-۷ تلفیق نتایج ۱۹
۶-۳ خطا نوع دوم – تخمین سرعت میانگین در مقطع قائم ۲۰
۶-۳-۱ کلیات ۲۰
۶-۳-۲ تعیین سرعت میانگین استاندارد در مقطع قائم ۲۰
۶-۳-۳ روش‌های محاسبه ۲۰
۶-۳-۴ خطای نمونه‌برداری ناشی از نوسانات سرعت و قاعده محاسبات ۲۱
۶-۳-۵ خطا نمونه‌برداری ناشی از قاعده محاسبات ۲۱
۶-۴ خطای نوع سوم – تعداد محدود مقطع قائم ۲۲
۶-۴-۱ کلیات ۲۲

عنوان **صفحه**

۶-۴-۲ دبی واقعی ۲۲
۶-۴-۳ حذف مقاطع‌های قائم ۲۲
۶-۴-۴ میانگین و انحراف معیارهای خطا ۲۳
۶-۴-۵ معیارهای مورد عمل در انتخاب مقاطع قائم ۲۳
پیوست الف (اطلاعاتی) خصوصیات رودها ازنظر داده‌های جمع آوری شده ۲۶
پیوست ب (الزامی) اثر اضافه شدن زمان اندازه‌گیری بر عدم قطعیت ۳۱
پیوست پ (الزامی) اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای مکانی – فرم گزارش ۳۲
پیوست ت (الزامی) اندازه‌گیری‌های سرعت متوسط – فرم گزارش ۳۶
پیوست ث (الزامی) روش سرعت-مساحت – فرم گزارش ۴۰
پیوست ج (اطلاعاتی) بررسی خطاهای نوع اول، دوم و سوم ۴۴
پیوست چ (اطلاعاتی) عدم قطعیت در اجزاء اندازه‌گیری سرعت-مساحت ۴۸
پیوست ح (اطلاعاتی) محاسبه عدم قطعیت در اندازه‌گیری توسط جریان‌سنج ۵۳
کتابنامه ۵۷

پیش‌گفتار

استاندارد «هیدرومتری – روش‌های سرعت-مساحت مورد استفاده در جریان‌سنج‌ها – جمع آوری و پردازش داده‌ها برای تعیین عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری شارش» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در دویست و شصت و هفتمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۱۳۹۴/۱۱/۱۸ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منبع و مأخذی (منابع و مآخذی) که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

1- ISO 1088: 2007, Hydrometry – Velocity-area methods using current-meters – Collection and processing of data for determination of uncertainties in flow measurement

هیدرومتری – روش‌های سرعت-مساحت مورد استفاده در جریان‌سنج‌ها – جمع آوری و پردازش داده‌ها برای تعیین عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری شارش

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری دبی کانال‌های باز با جمع آوری و پردازش داده‌ها با روش‌های سرعت – مساحت با استفاده از جریان‌سنج[1] است.

برای تعیین دبِی کانال‌های باز با روش سرعت-مساحت، لازم است اجزای شارش یعنی سرعت، عمق، و پهنا[2] اندازه‌گیری شوند. برای محاسبه کل دبی، اندازه‌گیری‌ها ترکیب می‌شوند. عدم قطعیت کل در دبی محاسبه شده، عدم قطعیت‌هایی است که در اجزای اندازه‌گیری شده وجود دارد.

بند ۴ این استاندارد به انواع خطاها و عدم قطعیت‌های وابسته می‌پردازد. در بندهای ۵ و ۶ برای برآورد عدم قطعیت‌های اجزاء از طریق جمع آوری و پردازش داده‌های لازم، یک روش اجرایی استاندارد ارائه می‌شود.

این استاندارد برای روش‌های سرعت – مساحت که در آنها اندازه‌گیری سرعت‌های نقطه‌ای[3] به تعداد نسبتاً کوچکی از عمق‌های مجزا و وضعیت‌های عرضی در مقطع جریان (مطابق با ISO 748) وجود دارد، به کار برده می‌شود. این استاندارد در مورد اندازه‌گیری‌هایی که با (ADVP)[4] یا سایر دستگاه‌هایی که پروفایل‌های[5] سرعت پیوسته میدان شارش[6] ایجاد می‌کنند کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

1- Current-meter
2- Breath
3- Point Velocities
4- Acoustic Doppler Velocity Profilers (ADVP)
5- Profile
6- Flow field

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 748, Measurement of liquid flow in open channels — Velocity-area methods

2-2 ISO 4363, Measurement of liquid flow in open channels — Methods for measurement of characteristics of suspended sediment

2-3 ISO 4364, Measurement of liquid flow in open channels — Bed material sampling

۳ نمادها و اختصارات

A	ضریب رگرسیون خطی، شیب یا روند
b_i	پهنای (عرض) بخش i
d_i	عمق در مقطع قائم[1] بخش i
L	تعداد مجموعه‌های اندازه‌گیری (خطای نوع دوم)
J	تعداد اندازه‌گیری‌ها در مجموعه (خطای نوع دوم و سوم)
k'	جابه‌جایی زمان در تابع خود همبستگی (در فاصله زمانی و غیره)
k	فاکتور پوشش برای عدم قطعیت گسترده (برابر ۲، سطح اطمینان تقریباً ٪۹۵)
m	تعداد مقاطع قائم یا مقاطع در سطح مقطع اندازه‌گیری
n	مضرب زمان در معرض قرارگیری اصلی برای اندازه‌گیری سرعت (خطای نوع اول)
n_i	تعداد عمق‌ها در مقطع قائم i در اندازه‌گیری‌های انجام شده سرعت
Q	دبی
Q_j	دبی اندازه‌گیری j در یک سری از اندازه‌گیری (خطای نوع سوم)
S_{rel}	انحراف معیار از سرعت‌های میانگین نسبی
S_F	انحراف معیار میانگین تمام اندازه‌گیری‌های مجموعه به علت نوسانات سرعت (خطای نوع دوم)
$S_{F,i}$	انحراف معیار خطای نمونه‌برداری[2] در اندازه‌گیری سری i (خطای نوع دوم)
S_S	انحراف معیار خطای نمونه‌برداری به علت قواعد محاسباتی (خطای نوع دوم)
S_i	خطای نمونه‌برداری تصادفی[3] از سرعت میانگین در مقطع قائم i (خطای نوع دوم)

1- Vertical
2- Sampling error
3- Stochastic

$S_{\bar{v},i}$ خطای نمونه‌برداری تصادفی[1] غیرقابل توجه از سرعت میانگین در مقطع قائم i (خطای نوع دوم)

$S_{S,(nd)m}$ انحراف معیار خطای نسبی هنگام به کار بردن m مقطع قائم

t_i زمان لحظهٔ[2] مشاهده i (خطای نوع اول)

t_0 زمان اندازه‌گیری اولیه (فواصل زمانی اصلی)

$\bar{t}$ میانگین زمان‌های مشاهده t_i در یک بخش روند خطای (خطای نوع اول)

u_i عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) در جزء iام عدم قطعت

u عدم قطعیت ترکیبی نسبی استاندارد (درصد) اندازه‌گیری

U عدم قطعیت نسبی گسترده (درصد) با ضریب پوشش k

u_c عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) ناشی از پاسخ[3] جریان‌سنج

u_b عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) در اندازه‌گیری عرض

u_d عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) در اندازه‌گیری عمق

u_e عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) به علت نوسانات سرعت

u_m عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) به علت تعداد محدود مقاطع قائم

u_p عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) به علت تعداد محدود عمق که در آن سرعت اندازه‌گیری‌می‌شود.

u_S عدم قطعیت نسبی استاندارد (درصد) به علت خطاهای کالیبراسیون دستگاه

v_i سرعت در زمان t_i در مقطع قائم i

V_i سرعت واقعی[4] در زمان t_i یا مقطع قائم

v_i' سرعت تصحیح شده ناشی از روند حذف شده (خطای نوع اول)

$\hat{v}(t)$ روند خطی سرعت (خطای نوع اول)

$\bar{v}_i$ سرعت میانگین در مقطع قائم i یا در نقطه i

$\bar{V}_{rel}$ میانگین سرعت‌های میانگین نسبی (خطای نوع دوم)

1- Random
2- Instant
3- Responsiveness
4- Actual

$\bar{V}_{\mathrm{rel},j}$ سرعت نسبی میانگین در پروفایل j ام (خطای نوع دوم)

$\hat{\mu}_{\mathrm{s}}$ خطای نمونه‌برداری میانگین برای سری‌های کامل از مجموعه‌های اندازه‌گیری (خطای نوع دوم)

$\mu_{\mathrm{s},i}$ خطای نمونه‌برداری میانگین در اندازه‌گیری مجموعه i (خطای نوع دوم)

$\hat{\mu}(m)$ خطای نسبی میانگین هنگام به کار بردن m مقطع قائم (خطای نوع سوم)

σ_{F} انحراف معیار نوسانات سرعت (خطای نوع اول)

نمادهای اضافی دیگر در متن تعریف شده‌اند.

به علت ویژگی آماری این استاندارد، نمادهای مقادیر مورد مطالعه نشان داده شده و مقادیر واقعی[1] متغیرها ضروری است. نمادها ممکن است با ISO 772 مطابقت نداشته باشد.

۴ انواع خطاها و روش‌های اجرایی برآورد عدم قطعیت‌ها در اندازه‌گیری جریان

۴-۱ اصل

اصل روش سرعت – مساحت عبارت از تعیین اندازه‌های توزیع سرعت شارش در سطح مقطع و مساحت سطح مقطع، و استفاده از این مشاهدات در محاسبه دبی است.

اندازه‌گیری‌های سرعت در تعدادی از مقاطع قائم انجام می‌گیرد. با اندازه‌گیری سرعت در چندین نقطه انتخابی، میانگین سرعت در هر نقطه عمودی تعیین می‌شود. با ضرب کردن سرعت میانگین در عمق قائم درنظر گرفته شده می‌توان دبی در واحد پهنا را پیدا کرد.

بنابه فرض، هر مقطع قائم، نمایانگر قسمتی از سطح مقطع است. انتخاب تعداد و محل مقاطع قائم، تعیین کننده پهنای این بخش‌ها است. در قسمت پ زیربند ۴-۴-۳، در رابطه با تعداد مقاطع قائم توصیه‌هایی شده است.

با فرض این که در خلال مدت اندازه‌گیری‌ها، دبی ثابت بماند حاصل جمع دبی در بخش‌های مختلف، دبی کلی بخش را نشان می‌دهد.

۴-۲ بروز خطا

به‌طورکلی، نتیجه اندازه‌گیری فقط یک برآورد از مقدار واقعی کمیت اندازه‌گیری است. اختلاف بین مقادیر واقعی و اندازه‌گیری شده، در خطای اندازه‌گیری است که نمی‌توان به آن پی برد و موجب می‌شود در مورد درستی نتیجه اندازه‌گیری، یک عدم قطعیت وجود داشته باشد.

1- True

خطای اندازه‌گیری، ترکیبی است از خطاهای جزء[1] دبی یعنی خطاهایی که در خلال پردازش اندازه‌گیری در اجرای عملیات مقدماتی مختلف بروز می‌کند. برای اندازه‌گیری کمیت‌های ترکیبی، کل خطای اندازه‌گیری عبارت از ترکیب خطاها در تمام کمیت‌های اجزاء تشکیل دهنده کل است. تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری، شناسایی و مشخص کردن تمام اجزاء تشکیل دهنده خطا و تعریف و ترکیب عدم قطعیت‌های مربوطه است.

ISO/IEC Guide 98 با استفاده از مفاهیم و فرمول‌های توزیع احتمال، مقادیر مورد انتظار، انحراف‌های استاندارد و همبستگی متغیرهای تصادفی، به عدم قطعیت اندازه‌گیری می‌پردازد.

ISO/IEC Guide 98، از تقسیم‌بندی سنتی خطاها به تصادفی و سیستماتیک استفاده نمی‌کند. این تقسیم‌بندی در عمل می‌تواند مشکل باشد. مثلاً خطایی که در یک فرآیند اندازه‌گیری، سیستماتیک است ممکن است در یک فرآیند دیگر، تصادفی باشد. خصوصیات اساسی خطاهای سیستماتیک این است که آنها با معدل گرفتن از اندازه‌گیی‌های تکراری، کاهش نمی‌یابند. این راهنما روشن می‌کند که توصیف درست فرآیند اندازه‌گیری و فرمول سازی درست ریاضی معادلات عدم قطعیت، برای بیان این حقیقت است که پاره‌ای از منابع عدم قطعیت با معدل گیری از اندازه‌گیری‌های مختلف کاهش نمی‌یابند در حالی که پاره‌ای دیگر کاهش می‌یابند. توصیف درست فرآیند اندازه‌گیری و فرمول صحیح ریاضی معادلات عدم قطعیت کافی است. اجزای عدم قطعیت، با برآورد انحراف‌های استاندارد که عدم قطعیت استاندارد نامگذاری می‌شود، مشخص می‌گردد. برای آن، علامت u_i توصیه شده که در آن، اندیس i، جزء موردنظر است که برابر جذر مثبت پراکندگی (واریانس) برآوردی u_i^2 است. اجزاء عدم قطعیت، با استفاده از فرمول‌های ترکیب انحراف‌های استاندارد متغیرهای تصادفی احتمالاً همبسته[2]، ترکیب می‌شوند. عدم قطعیت حاصله که در آن، تمام منابع و اجزاء عدم قطعیت درنظر گرفته شده، عدم قطعیت ترکیبی نامیده می‌شود و به u نشان داده می‌شود.

برای تمایز قائل شدن بین برآورد عدم قطعیت به وسیله تحلیل آماری اندازه‌گیری تکرارپذیر و برآورد ارزیابی با سایر وسایل (شاید نظری یا قضاوتی)، ISO/IEC Guide 98 مفاهیم روش‌های نوع (الف) و نوع (ب) برآورد عدم قطعیت را معرفی می‌کند. در برآورد نوع (الف) عدم قطعیت، برای پیدا کردن برآوردهای آماری انحراف‌های استاندارد مشاهدات، از تحلیل آماری مشاهدات تکرارپذیر استفاده می‌شود. این ارزیابی می‌تواند به طور خودکار در خلال فرآیند اندازه‌گیری با دیتا لاگر[3] یا سایر دستگاه‌ها، انجام گیرد. ارزیابی نوع (B)، از طریق محاسبه انحراف معیار یک توزیع فرضی احتمال که مبتنی بر قضاوت علمی و ملاحظه تمام اطلاعات موجود است، انجام می‌گیرد و ممکن است شامل داده‌های اندازه‌گیری و کالیبراسیون قبلی و تجربه دانش کلی در زمینه رفتار و خواص وسایل مربوطه نیز باشد. با درنظر گرفتن درستی همبستگی‌ها، می‌توان از روش نوع (الف) یا روش نوع (ب) برآورد، برای برآورد اجزاء سیستماتیک یا تصادفی عدم قطعیت استفاده کرد.

1- Component error
2- Possibly correlated random variables
3- Data loggers

در این استاندارد، تمام عدم قطعیت‌ها به صورت درصد و به عدد نشان داده شده‌اند. بنابراین، مقادیر عدم قطعیت استاندارد با ضرایب درصدی ضریب واریانس[1] (انحراف معیار تقسیم بر میانگین) مطابقت دارند. عدم قطعیت گسترده، به طور صریح بدین گونه شناسایی می‌شود و ضریب پوشش ۲ که با سطح اطمینان تقریباً ۹۵ درصد همراه است، محسوب می‌شود.

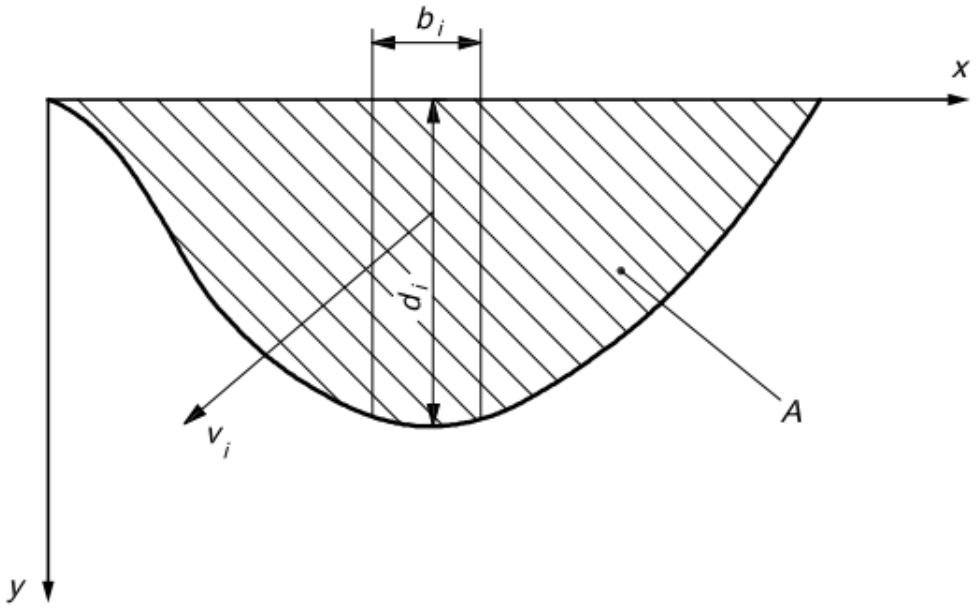
۳-۴ منابع خطا

$$Q = \iint v(x,y)\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y \qquad (۱)$$

که در آن:

Q دبی واقعی است؛

$v(x,y)$ میدان سرعت در عرض x و عمق y از سطح مقطع است.



شکل ۱- نمای کلی

1- Coefficient of variance

در عمل انتگرال با جمع زیر تقریباً برابر است.

$$Q = \sum_{i=1}^{m} (b_i d_i \bar{v}_i) \cdot F \qquad (۲)$$

که در آن:

Q دبی محاسبه شده است؛

b_i عرض مقطع iام است؛

d_i عمق مقطع قائم iام است؛

$\bar{v}_i$ سرعت میانگین در مقطع قائم iام است؛

F ضریبی است که به عنوان یکایی فرض می‌شود که جمع مجزای تعداد متناهی مقاطع قائم را به انتگرال تابع پیوسته در سطح مقطع مربوط می‌کند (به ISO 748 مراجعه شود)؛

m تعداد مقاطع قائم است.

خطاهای Q از موارد زیر ناشی می‌شود:

الف- خطا در اندازه‌گیری مقادیر b_i و d_i و یکایک اندازه‌گیری‌های سرعت که برای تعیین سرعت متوسط، $\bar{v}_i$، لازم است و

ب- خطا در تخمین معادلات انتگرال (به معادله ۱رجوع شود) با معادله جمع (به معادله ۲ رجوع شود).

۴-۴ تعیین یکایک اجزاء تشکیل دهنده عدم قطعیت

۴-۴-۱ عدم قطعیت در عرض

اندازه‌گیری عرض بین مقاطع قائم معمولاً با اندازه‌گیری فواصل از یک نقطه مرجع که در ساحل قرار دارد انجام می‌گیرد. وقتی از نوار یا خط نشانه استفاده می‌شود یا حرکت یک سیم متصل به یک قرقره مشاهده می‌شود عدم قطعیت به فاصله بستگی دارد ولی معمولاً قابل چشم پوشی است. وقتی از وسائل نوری استفاده می‌شود نیز عدم قطعیت به فاصله اندازه‌گیری شده بستگی دارد اما می‌تواند بزرگ‌تر باشد.

وقتی فاصله با وسائل الکترونیکی اندازه‌گیری می‌شود یک عدم قطعیت ثابت و یک عدم قطعیت وابسته به فاصله اندازه‌گیری شده، وجود دارد.

به طور عمده عدم قطعیت‌ها از خطاهای اندازه‌گیری ناشی می‌شوند.

۴-۴-۲ عدم قطعیت در عمق

پاره‌ای از عدم قطعیت‌ها به نوع دستگاه مورد استفاده و نحوه استفاده از آنها بستگی دارد. این عدم قطعیت‌ها در این استاندارد درنظر گرفته نشده‌اند.

عدم قطعیت‌ها هم‌چنین می‌تواند از درون‌یابی[1] عمق بین مقاطع قائمی که در آنها عمق‌ها اندازه‌گیری می‌شود ناشی شود.

۳-۴-۴ عدم قطعیت در تعیین سرعت میانگین

گذشته از خطاهای کالیبراسیون دستگاه، خطا در سرعت میانگین جریان را می‌توان ترکیبی از سه نوع خطای مستقل درنظر گرفت.

الف- خطای نوع اول – ضربان[2] – عبارت از عدم قطعیت ناشی از زمان محدود اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای مکانی[3] مقطع قائم است. به علت جریان متلاطم، در سطح مقطع همواره نوسان پیوسته سرعت وجود دارد. سرعت میانگین در هر نقطه که با اندازه‌گیری در یک فاصله زمانی معین تعیین می‌شود، تخمینی از سرعت میانگین واقعی در آن نقطه معین است.

در این استاندارد، این نوع عدم قطعیت‌ها "خطای نوع اول" نامیده می‌شود. ضربان‌ها در جریان، مستقل از یکدیگر نیستند. سرعت در زمان t_2 تحت تأثیر سرعت در زمان t_1 قرار دارد. هرچه فاصله زمانی این دو زمان یعنی t_1-t_2 بیشتر شود اثر مزبور کمتر می‌شود. اثر افزایش زمان اندازه‌گیری بر عدم قطعیت، در پیوست ب آمده است.

ب- خطای نوع دوم – تعداد نقاط در مقاطع قائم – عبارت از عدم قطعیت ناشی از زمان استفاده از تعداد محدودی نقطه نمونه‌برداری در یک مقطع قائم است. محاسبه سرعت میانگین در یک مقطع قائم به عنوان میانگین یا میانگین وزنی تعداد سرعت‌های نقطه‌ای، به تخمین سرعت میانگین واقعی در مقطع قائم مورد بررسی می‌انجامد. در این استاندارد، این نوع عدم قطعیت‌ها "خطای نوع دوم" نامیده می‌شود.

پ- خطای نوع سوم – تعداد مقاطع قائم – عبارت است از عدم قطعیت ناشی از زمان استفاده از محدود بودن تعداد مقاطع قائمی که در آنها، سرعت اندازه‌گیری می‌شود. پروفایل افقی سرعت و پروفایل بستر بین دو مقطع قائم باید با درون‌یابی که خود با عدم قطعیت همراه است، تعیین می‌شود (به پیوست و رجوع شود). در این استاندارد، این نوع عدم قطعیت‌ها "خطای نوع سوم" نامیده می‌شود.

یادآوری – انواع خطاهای مورد اشاره در این استاندارد، ربطی به خطاهای نوع اول و خطای نوع دوم آماری ندارد.

برای تعیین اثر توزیع سرعت افقی و عمق بین مقاطع قائم، بر عدم قطعیت کل، لازم است سطح مقطع به طور دقیق اندازه‌گیری شود و مقاطع قائم برای اندازه‌گیری سرعت، در فواصلی که از ۰٫۲۵ متر یا یک پنجاهم پهنای کل (هر کدام که بزرگتر باشد) بیشتر نباشد، قرار داشته باشند.

1- Interpolation
2- Pulsation
3- Local point velocity

مقادیر عمق عمق d_i، زمان کوتاه bi و سرعت میانگین $\bar{v}_i$ در مقطع قائم برای تعیین دبی در واحد پهنا و دبی در بخش i به کار می‌روند. جمع دبی‌های هر بخش طبق معادله ۲ به تخمین جمع دبی واقعی می‌انجامد.

۵-۴ عدم قطعیت کل در دبی

عدم قطعیت‌های یکایک اجزای تشکیل دهنده دبی، به صورت درصدی از عدم قطعیت‌های استاندارد نسبی که با ضرایب درصدی تغییر (انحراف معیار خطا تقسیم بر میزان موردانتظار مقدار اندازه‌گیری شده) مطابق است بیان می‌شود.

عدم قطعیت استاندارد ترکیبی نسبی (درصد) در اندازه‌گیری، با معادلات زیر نشان داده می‌شود (به ISO 748 رجوع شود).

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^{m}\left((b_i d_i \bar{v}_i)^2\left(u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{\bar{v},i}^2\right)\right)}{\left(\sum_{i=1}^{m} b_i d_i \bar{v}_i\right)^2} \qquad (۳)$$

که در آن:

u(Q) عدم قطعیت استاندارد ترکیبی (درصد) نسبی در دبی است.

$u_{b,i}$, $u_{d,i}$, $u_{v,I}$ عدم قطعیت‌های استاندارد (درصد) نسبی در پهنا، عمق، و سرعت متوسط اندازه‌گیری شده در مقطع قائم i هستند.

u_s عدم قطعیت نسبی ناشی از خطاهای کالیبراسیون در جریان‌سنج، دستگاه اندازه‌گیری پهنا، و دستگاه عمق سنجی است.

u_m عدم قطعیت نسبی ناشی از تعداد محدود مقاطع قائم است.

m تعداد محدود مقاطع قائم است.

عدم قطعیت ناشی از خطاهای کالیبراسیون، u_s، را می‌توان به صورت $u_s = (u_{cm}^2 + u_{bm}^2 + u_{ds}^2)^{1/2}$ بیان کرد. در این معادله، u_{cm}، u_{bm} و u_{ds} به ترتیب عدم قطعیت نسبی ناشی از خطاهای کالیبراسیون جریان‌سنج، دستگاه اندازه‌گیری پهنا، و دستگاع عمق سنجی هستند. برای مقدار u_s می‌توان مقدار تخمینی عملی ۱٪ درنظر گرفت.

سرعت میانگین $\bar{v}_i$ در مقطع قائم i، متوسط اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای سرعت در عمق‌های مختلف مقطع قائم انجام گرفته می‌باشد. عدم قطعیت در $\bar{v}_i$ با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$u(\bar{v}_i)^2 = u_{p,i}^2 + \left(\frac{1}{n_i}\right)\left(u_{c,i}^2 + u_{e,i}^2\right) \qquad (۴)$$

که در آن:

$u_{p,i}$ عدم قطعیت در سرعت میانگین $\bar{v}_i$ است که از محدود کردن تعداد عمق‌هایی که در آنها اندازه‌گیری سرعت در مقطع قائم i انجام گرفته، ناشی می‌شود.

n_i تعداد عمق‌ها در مقطع قائم i است که در آنها اندازه‌گیری سرعت انجام می‌گیرد.

$u_{c,i}$ عدم قطعیت در سرعت نقطه‌ای یک عمق معین در مقطع قائم i است که از واکنش جریان‌سنج ناشی می‌شود.

$u_{e,i}$ عدم قطعیت در سرعت نقطه‌ای یک عمق معین در مقطع قائم i است که از نوسانات سرعت جریان (ضربان) ناشی می‌شود.

با ترکیب معادلات ۳ و ۴، معادله زیر به دست می‌آید:

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^{m}\left((b_i d_i \bar{v}_i)^2\left(u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{p,i}^2 + \left(\frac{1}{n_i}\right)\left(u_{c,i}^2 + u_{e,i}^2\right)\right)\right)}{\left(\sum_{i=1}^{m} b_i d_i \bar{v}_i\right)^2} \qquad (۵)$$

اگر مقاطع قائم اندازه را طوری درنظر بگیریم که دبی‌های بخش[1] $(b_i\, d_i\, \bar{v}_i)$ تقریباً مساوی شوند و اگر عدم قطعیت‌های تشکیل دهنده، از یک مقطع قائم به مقطع قائم دیگر مساوی باشند در آن صورت، معادله ۵ ساده می‌شود و به صورت زیر در می‌آید:

$$u(Q) = \left[u_m^2 + u_s^2 + \left(\frac{1}{m}\right)\left(u_b^2 + u_d^2 + u_p^2 + \left(\frac{1}{n}\right)\left(u_c^2 + u_e^2\right)\right)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۶)$$

اگر دبی‌های بخش $(b_i\, d_i\, \bar{v}_i)$ و عدم قطعیت‌های تشکیل دهنده، از یک مقطع عمودی به مقطع عمودی دیگر تقریباً مساوی باشند از معادله (۶) می‌توان برای محاسبه عدم قطعیت در یک اندازه‌گیری معین استفاده کرد. با این حال، به طور کلی‌تر، معادله (۶) برای ایجاد درک کیفی از چگونگی نقشی که عدم قطعیت‌های مختلف تشکیل دهنده در عدم قطعیت کل دارند مفید است. معادله (۵) برای درک صحیح اثرات توزیع نابرابر جریان در بخش‌ها موردنیاز است.

از معادلات فوق چنین استنباط می‌شود که می‌توان از طریق افزایش تعداد مقاطع قائم یا بهبود اندازه‌گیری یکایک اجزا، یا هر دو، کل عدم قطعیت استاندارد را کاهش داد.

توصیه می‌شود که تا حد امکان، کاربر باید مقادیر عدم قطعیت‌های تشکیل دهنده را در معادلات فوق مستقلاً تعیین کند. با این وجود، برای سنجش‌های معمول، مقادیر در پیوست E در ISO 748: 1997 داده شده‌اند. مقادیر

1- Segment discharge

داده شده در پیوست مذکور، نتیجه تحقیقات بسیاری است که در زمان انتشار اولین نسخه ایزو ۷۴۸ در سال ۱۹۶۸ تا به حال انجام شده است. در اجرای راهنمای ISO/IEC Guide 98 نتایج مزبور، ولی به صورت عدم قطعیت‌های استاندارد، در پیوست چ گنجانده شده‌اند (با سطح اطمینان تقریباً ۶۸ درصد).

باید یادآوری کرد که چون یکایک اجزاء عدم قطعیت ارائه شده در پیوست چ بر تحلیل آماری پخش اندازه‌گیری‌های تکرارپذیر بر مشاهدات قبلی مبتنی است و نه بر مشاهدات تکراری در جریان عملی اندازه‌گیری دبی، آنها را باید ارزیابی نوع (B) عدم قطعیت درنظر گرفت (به زیر بند ۴-۲ رجوع شود).

در پیوست ح، یک مثال ساده شده محاسبه عدم قطعیت در سنجش سرعت-مساحت، با استفاده از معادله (۶) و عدم قطعیت‌های نسبی تشکیل دهنده ارائه شده در پیوست چ، آورده شده است.

۵ جمع آوری و پردازش داده‌ها برای بررسی عدم قطعیت‌های تشکیل دهنده – ارزیابی نوع (A) عدم قطعیت

۵-۱ داده‌های سرعت نقطه‌ای مکانی

برای داوری درباره عدم قطعیت یک اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای واحد، روش زیر در هر سه مقطع قائم لازم است.

در هر نقطه اندازه‌گیری در مقطع قائم، در دوره ۲۰۰۰ ثانیه یا به مدتی که طی آن، دبی بیش از ۵ درصد مقدار اولیه تغییر نکند (هر کدام که کمتر باشد)، با استفاده از یک جریان‌سنج، مشاهده پیوسته انجام گیرد. بهتر است در هر ۱۰ ثانیه، دستگاه قرائت شود. به این ترتیب جمعاً ۲۰۰ قرائت داریم و هنگامی که جریان‌سنج، پالس ارسال می‌کند تعداد پالس‌ها بهتر است در هر ۱۰ ثانیه، یا وقتی زمان در تعداد ثابتی از پالس‌ها اندازه‌گیری می‌شود (توصیه می‌شود که این فاصله زمانی باید به طور متوسط ۱۰ ثانیه باشد) ثبت شود. وقتی یک ثبت پیوسته به دست آمد بهتر است ثبت کامل تهیه شود و مشخصات واکنش دستگاه الکترونیکی ذکر شود.

مقاطع قائمی که برای این اندازه‌گیری انتخاب می‌شود بهتر است مقاطع قائمی باشند که در عمیق‌ترین نقطه قرار دارند و مقاطع قائمی که در محل‌هایی که عمق آنها ۰٫۶ و ۰٫۳ حداکثر عمق است و هر یک، در طرفین بخش بزرگ‌تر پهنای عمیق‌ترین نقطه قرار داشته باشند.

در هر مقطع قائم بهتر است این روش در عمق ۰٫۲، ۰٫۶ و ۰٫۸ عمق و در هر مورد که امکان داشته باشد در ۰٫۹ عمق انجام گیرد و تمام اندازه‌گیری‌ها از سطح صورت پذیرد. در هر مورد که امکان داشته باشد داده‌ها باید در طی همان دوره ۲۰۰۰ ثانیه‌ای به دست آیند.

داده‌هایی که به این طریق به دست می‌آیند باید به صورتی که در پیوست پ نشان داده شده گزارش شود. در مورد ثبت پیوسته، مقادیر در فواصل زمانی ۱۰ ثانیه‌ای باید داده شوند که به روش تعیین[1]، اشاره دارد.

1- Method of determination

۵-۲ داده‌های مربوط به سرعت متوسط

۵-۲-۱ کلیات

سرعت متوسط در یک مقطع قائم را با راه‌های مختلف می‌توان به دست آورد. برای مقایسه با نتایج سایر روش‌هایی که به طور کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد یا روش‌های ویژه‌ای که به علت شرایط ویژه انتخاب می‌شود روش توزیع سرعت مبنا گرفته می‌شود.

برای تحقیق در زمینه سرعت متوسط در هر یک از سه مقطع قائم، روش اجرایی زیر لازم است.

۵-۲-۲ محل مقاطع قائم

محل مقاطع قائم برای این اندازه‌گیری باید معمولاً از توزیع شناخته شده سرعت در سطح مقطع سنجش، تعیین شود تا سرعت‌هایی که نمایانگر تمام سطح مقطع هستند ارائه شود.

وقتی توزیع‌های سرعت در سطح مقطع، معلوم نباشند مقاطع قائمی که برای این اندازه‌گیری درنظر گرفته می‌شوند باید در بیشینه عمق در سطح مقطع و در محل‌هایی که عمق آنها به ترتیب ۰٫۶ و ۰٫۳ بیشینه عمق است و در طرفین قطعه بزرگتر و نه خیلی نزدیک به ساحل، باشند.

۵-۲-۳ توزیع نقاط اندازه‌گیری در مقطع قائم

۱- درست زیر سطح

۲- در ۰٫۲ عمق

۳- در ۰٫۳ عمق

۴- در ۰٫۴ عمق

۵- در ۰٫۵ عمق

۶- در ۰٫۶ عمق

۷- در ۰٫۷ عمق

۸- در ۰٫۸ عمق

۹- در ۰٫۹ عمق

۱۰- نزدیک بستر

در کانال‌هایی که در آنها علف رشد می‌کند باید نهایت مراقبت به عمل آید که اندازه‌گیری‌هایی که در مجاورت عمق انجام می‌گیرد تحت تأثیر علف‌هایی که جلوی جریان‌سنج را می‌گیرند قرار نگیرد.

۵-۲-۴ دوره اندازه‌گیری سرعت‌های نقطه‌ای مکانی

دوره اندازه‌گیری سرعت‌های نقطه‌ای مکانی، بهتر است در هر نقطه ۶۰ ثانیه باشد یا تعداد پالس‌ها به مدت ۶۰ ثانیه در نقطه‌ای که در ۰٫۶ عمق قرار دارد مشاهده شود.

۵-۲-۵ تعداد اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری‌های هر مقطع قائم بهتر است حداقل پنج بار (که ترجیحاً پیاپی باشند) انجام گیرد.

اندازه‌گیری‌هایی که تحت تأثیر ناوبری قرار دارند باید مشخص شوند.

این ترتیب مشاهدات، بهتر است برای تمام دبی‌های مختلف مراعات شود.

۵-۲-۶ ارائه داده‌ها

تلفیق داده‌ها بهتر است به صورتی که در پیوست ت نشان داده شده انجام گیرد.

سرعت میانگین بهتر است با استفاده از یک پهنه‌سنج[1] در یک طرح گرافیکی به اندازه کافی بزرگ (ترجیحاً از $۳۰۰\,cm^۲$ کوچکتر نباشد) تعیین شود. بهتر است نوع و درستی پهنه‌سنج و نیز مقیاس دبی داده شود. درستی کاغذ نمودار بهتر است کنترل شود.

پروفایل‌های سرعت بهتر است با مقیاسی نشان داده شود که سرعت بیشینه و عمق به ترتیب با $۰٫۱۰\,m$ و $۰٫۲۰\,m$ رسم شوند.

۵-۳ داده‌های روش سرعت - مساحت

۵-۳-۱ کلیات

برای تعیین عدم قطعیت روش سرعت-مساحت، دو راه ممکن وجود دارد. یکی از این دو روش به اندازه‌گیری‌های ویژه احتیاج دارد و در دیگری، عمدتاً اندازه‌گیری‌های معمول انجام می‌گیرد.

در هر جا که ممکن باشد داده‌های هر دو روش بهتر است به دست آید و ارائه شود.

۵-۳-۲ اندازه‌گیری در ۰٫۶ عمق

در این روش سرعت، پروفایل پیوسته سطح مقطع در محل اندازه‌گیری موردنیاز است. به وسیله اندازه‌گیری‌های عمق‌سنج صوتی[2] یا اندازه‌گیری عمق توسط میله مدرج در فواصلی که از ۰٫۲۵ متر یا یک پنجاهم کل پهنا (هر کدام که بزرگ‌تر است) بیشتر نباشد می‌توان پروفایل را به دست آورد.

1- Planimeter
2- Echo-sounder

توزیع سرعت افقی باید با قرائت سرعت در ۰٫۶ عمق، در فواصلی که از ۰٫۲۵m یا یک پنجاهم کل پهنا (هر کدام که بزرگ‌تر است) بیشتر نباشد مشاهده شود. قرائت جریان‌سنج باید در یک دوره ۱۲۰ ثانیه‌ای انجام گیرد.

به‌علاوه، باید جریان‌سنج مرجع که در نقطه ثابتی (ترجیحاً در ۰٫۶ عمق در مقطع قائم بیشینه عمق) قرار دارد خوانده شود. این قراءت، باید هر ۶۰ ثانیه یک بار انجام شود.

۵-۳-۳ روش سرعت - توزیع

در این روش، می‌توان از روش اجرایی معمولی اندازه‌گیری دبی استفاده کرد مشروط بر این که برای تعیین سرعت متوسط در سطح مقطع، از روش سرعت – توزیع یا روش یکپارچگی[1] استفاده شود.

هر ۶ ثانیه یک بار باید جریان‌سنج مرجع که در نقطه ثابتی (ترجیحاً در ۰٫۶ عمق در مقطع قائم بیشینه عمق) قرار دارد خوانده شود.

علاوه بر داده‌های عمق که با اندازه‌گیری معمولی دبی به دست می‌آید همان‌طور که در زیربند ۵-۳-۵ ذکر شده، پروفایل پیوسته در محل اندازه‌گیری نیز باید تأمین شود.

۵-۳-۴ ارائه داده‌ها

تلفیق داده‌ها باید به صورتی که در پیوست ث نشان داده شده است، باشد.

در جدول سرعت در نقطه مرجع، ضرایب تصحیح به بهترین وجه می‌توانند بر مقدار متوسط سرعت در نقطه مرجع استوار باشند. در این جدول، ضرایب به صورت تابعی از زمان هستند. برای دست یافتن به سرعت تصحیح شده در جدول "سرعت میانگین در مقاطع قائم" باید ستون سرعت در این ضریب تصحیح ضرب شود.

نمایش گرافیکی سطح مقطع باید با یک مقیاس مناسب رسم شود. پهنای رود در نقشه باید کمتر از ۰٫۵ متر نباشد. در صورتی که از میله مدرج استفاده شده باشد این نمایش، باید مقادیر عددی عمق در نقاط اندازه‌گیری و نیز محل مقاطع قائم و جریان‌سنج مرجع را نشان دهد.

نمایش گرافیکی پروفایل‌های سرعت اندازه‌گیری شده نیز بهتر است داده شود. هم‌چنین توصیه می‌شود مقادیر عددی سرعت‌ها در نقاط اندازه‌گیری نشان داده شود.

۵-۳-۵ داده‌های کلی

برای تسهیل تفسیر مقادیر انحراف از الگوی نرمال خطاهای مختلف، اطلاعات مربوط به هندسه و ریخت شناسی رود موردنظر (مثلاً نقشه به مقیاس یک ده هزارم رود تقریباً ۵۰ برابر پهنای پایین دست و بالادست رود در محل اندازه‌گیری) و یک پروفایل پیوسته سطح مقطع در محل اندازه‌گیری، لازم است.

1- Integration

۵-۴ روش یکپارچگی

برای تعیین خطای استاندارد در سرعت میانگین در مقاطع قائم با روش یکپارچگی، بهتر است در سکوی پایداری در سه مقطع قائم، به تعداد کافی (مثلاً ۵۰ بار) اندازه‌گیری بعمل آید و نتایج جدول بندی شوند.

مقاطع قائمی که برای اندازه‌گیری انتخاب می‌شوند بهتر است یک مقطع قائم که در بیشینه عمق قرار دارد و مقاطع قائمی که در محل‌های دارای ۰٫۶ و ۰٫۳ بیشینه عمق قرار دارند و هر دو، در طرف بخش بزرگ‌تر پهنا از عمیق‌ترین نقطه واقعند، باشند.

توصیه می‌شود اندازه‌گیری‌ها برای دبی‌های مختلف تکرار شود. داده‌های دارای یک خصلت کلی را می‌توان در یک فرم گزارش شبیه آن چه در پیوست پ آمده است، ارائه داد.

۵-۵ منحنی‌های کالیبراسیون

در رابطه با بررسی خطای دستگاه، منحنی‌های کالیبراسیون بهتر است همراه با نقاط کالیبراسیون به ویژه، داده‌های کالیبراسیون پیاپی یک جریان‌سنج با ذکر تاریخ و سال‌های کالیبراسیون و دفعات استفاده، داده شوند.

۵-۶ اندازه‌گیری‌های فاصله

در حال حاضر نمی‌توان هیچ روش قابل اعمالی به طور کل برای تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری‌های فاصله ارائه داد. بهتر است برای بررسی نظری، روش اندازه‌گیری فاصله همراه با فواصل مربوطه و عوامل وابسته دیگر به طور کامل شرح داده شود.

وسیله‌های الکترونیکی اندازه‌گیری فاصله، یک استاندارد مقایسه‌ای که تقریباً به طور کامل درست است ارائه می‌دهد. در هرجا که این دستگاه‌ها موجود باشد برنامه‌های مستقل پژوهشی درباره عدم قطعیت روش‌های مختلف اندازه‌گیری فاصله می‌تواند اجرا و نتایج بیان شود.

شرایطی که در آن شرایط، مطالعه انجام می‌شود بهتر است شبیه شرایط عملیات میدانی عادی باشد.

۵-۷ اندازه‌گیری‌های عمق

عدم قطعیت اندازه‌گیری عمق، به شرایط کانال و روش اندازه‌گیری بستگی دارد. در صورتی که کانال، آستردار باشد شرایط بستر احتمالاً بر عدم قطعیت اندازه‌گیری اثر ندارد.

در کانال‌های طبیعی، مثلاً در رودها، پیکربندی بستر، تحت تأثیر جهت طولی و جهت عرضی تغییر می‌کند.

در رابطه با روش اجرایی اندازه‌گیری، مهم است بدانیم که اندازه‌گیری از موقعیت مستحکم انجام می‌گیرد یا از جایگاهی که مهار شده است. در صورتی که از جایگاه مهار شده باشد اثر نامنظم بودن بستر می‌تواند سهم بیشتری در عدم قطعیت کل اندازه‌گیری عمق داشته باشد.

به علت ماهیت پیچیده اندازه‌گیری‌های عمق، نمی‌توان دستورالعمل‌های کلی ارائه داد. در انجام مطالعه، ملاحظات زیر، راهنما است.

الف- رودی که بستر تغییر کننده دارد باید از اندازه‌گیری‌های پیاپی در یک نقطه اجتناب کرد.

ب- بهتر است با تعیین مقاطع طولی و عرضی، ریخت شناسی بستر در مجاورت نقاط واقعی اندازه‌گیری مطالعه شود.

ج- در مورد دستگاه‌ها، عدم مطابقت قرائت‌ها، در رابطه با فواصل مقیاس، باید تعیین شود.

د- میله‌های عمق سنجی[1] به علل زیر با خطا همراه هستند:

۱) نفوذ در بستر؛
۲) انحراف از وضعیت عمودی؛
۳) انباشتگی اضافی ناشی از سرعت[2] ثابت.

هـ- عمق‌سنج‌ها[3] (از جمله جریان‌سنج‌های معلق شده) به علل زیر با خطا همراهند:

۱) نفوذ در بستر؛
۲) انحراف از شرایط ایده‌آل که برای آن شرایط تصحیح رانش پایین دست[4] محاسبه شده است؛
۳) شکل و نقطه تعلیق دستگاه عمق سنج.

و عمق‌سنج‌های صوتی[5] به علل زیر با خطا همراهند:

۱) پهنای پخش پالس‌های ارسالی در انتها؛
۲) نفوذ پالس به بستر که تابعی از فرکانس پالس و چگالی بستر است.

۶ پردازش داده‌ها

۶-۱ کلیات

روش پردازش داده‌ها در ارزیابی نوع A عدم قطعیت اجزا و کل در اندازه‌گیری دبی با روش‌های سرعت-مساحت[6]، ارائه شده است. با فرض این که کامپیوتر در دسترس نباشد، می‌توان با وسائل کمتر پیشرفته هم، پردازش داده‌ها را انجام داد. بعضی از این گزینه‌های دیگر نشان داده شده‌اند.

1- Sounding rod
2- Velocity-head
3- Sounding lines
4- Downstream drift
5- Echo-sounder
6- Velocity area

هنگام پردازش داده‌ها، شرایط جریان یکنواخت فرض می‌شوند. یعنی میانگین واقعی تمام مقادیر مختلف، در طول زمان ثابت می‌مانند. وجود شرایط غیریکنواخت باید از طریق رسم داده‌ها در برابر زمان، سنجیده شوند. هر روند غیریکنواختی باید قبل از پردازش داده‌ها حذف شود (به زیر بند ۶-۲-۲ رجوع شود).

۶-۲ خطای نوع اول

۶-۲-۱ زمان اندازه‌گیری محدود و توزیع نتایج

انحراف معیار خطای نوسان که علت آن اندازه‌گیری محدود است، محاسبه می‌شود.

چنین درنظر گرفته می‌شود که میانگین‌هایی که از اندازه‌گیری‌های واقعی به دست می‌آید با میانگین‌های فرضی زمان اندازه‌گیری نامحدود مساوی است و توزیع نتایج معمولاً ماهیت نرمال (گاوسی)[1] دارد.

۶-۲-۲ تصحیح شرایط غیریکنواخت

وقتی سرعت v در برابر زمان t رسم می‌شود می‌توان از نمودار متوجه شد که آیا مقدار v روندی داشته است که نشان دهد شرایط طی اندازه‌گیری‌ها، یکنواخت نبوده‌اند یا نه. اگر مقدار V نشان دهنده آن روند باشد سرعت‌های مشاهده شده را باید به وسیله حذف آن روند، به شرح زیر تصحیح کرد.

$$v'_i = v_i - \hat{v}(t_i) \qquad (۷)$$

که در آن v'_i، سرعت اصلاح شده، v_i مطابق سرعت مشاهده شده، و $\hat{v}(t_i)$ سرعت گرایش در زمان t_i است. بنابراین، سرعت اصلاح شده، نتیجه یا مشتق شده از سرعت مشاهده شده در خط روند است. اگر روندها از حذف شوند سرعت‌های تصحیح شده را بهتر است مورد پردازش‌های بعدی قرار داد یعنی در معادلاتی که در بخش‌های بعدی می‌آید v_i بهتر است جانشین v'_i شود اگر روند شامل یک یا چند بخش روند خطی باشد (یا بتوان روند را به آن بخش یا بخش‌ها نزدیک کرد)، خط گرایش هر بخش را می‌توان با کمترین مربعات[2] متناسب کرد که نتیجه به شرح زیر می‌شود:

$$\hat{v}(t) = \bar{v} + a \cdot (t - \bar{t}) \qquad (۸)$$

که در آن $\hat{v}(t)$ میانگین مشاهدات سرعت v_i در بخش روند خطی، $\bar{t}$ ، میانگین زمان‌های مربوطه مشاهده و شیب کمترین مربعات است و به شرح زیر بیان می‌شود:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i}{n} \qquad (۹)$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n} \qquad (۱۰)$$

1- Gaussian
2- Least squares

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(v_i \cdot \left(t_i - \bar{t}\right)\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(t_i - \bar{t}\right)^2} \qquad (۱۱)$$

که در آنها، جمع‌ها، نقاط داده‌های بخش روند خطی را دربر دارد و n، تعداد نقاط داده در یک قطعه است.

۶-۲-۳ انحراف معیار نوسانات سرعت

انحراف معیار نوسانات سرعت، با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - \bar{v}\right)^2}{n-1}} \qquad (۱۲)$$

که در آن، n، تعداد مشاهدات و $\bar{v}$ میانگین سرعت‌های مشاهده شده (یا تصحیح شده) v_i است و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i}{n}$$

می‌توان با استفاده از معادله زیر، روش اجرایی محاسبه را ساده کرد.

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 - n\bar{v}^2}{n-1}} \qquad (۱۳)$$

۶-۲-۴ تابع خود همبستگی[1]

تابع خود همبستگی را می‌توان از معادله زیر بدست آورد:

$$\rho\left(k'\right) = \frac{n}{n-k'} \frac{\sum_{i=1}^{n-k'}\left(v_i - \bar{v}\right)\left(v_{i+k'} - \bar{v}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - \bar{v}\right)^2} \qquad (۱۴)$$

در این معادله:

$\rho\left(k'\right)$ تابع خود همبستگی است؛

k' جابجایی زمان یا تأخیر است؛

$\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - \bar{v}\right)^2$ پیش از این معادلات قبلی معلوم شده است (معادله ۱۲ را ببینند).

تابع خود همبستگی، در محاسبه انحراف معیار، به طوری که در زیر بند ۶-۲-۶ شرح داده شده به کار می‌رود.

۶-۲-۵ اثر زمان اندازه‌گیری بر انحراف معیار (۱)

اگر کامپیوتر در دسترس نباشد اثر زمان اندازه‌گیری (زمان در معرض قرارگیری دستگاه) بر انحراف معیار نوسانات سرعت، σ_{F1}، را می‌توان به شرح زیر تعیین کرد. در مورد اندازه‌گیری‌های سرعت، اگر زمان اولیه در معرض قرارگیری t باشد (یعنی ۱۰ ثانیه که در زیربند ۵-۱ شرح داده شده است)، اندازه‌گیری‌هایی را که در

1- Autocorrelation function

آن‌ها زمان در معرض قرارگیری، nt است را می‌توان با معدل گیری از n مشاهده پیاپی سرعت به دست آورد. اگر سرعت‌ها به طور پیاپی معدل گیری شوند مقدار jام متوسط n قرائت پیاپی v_i، از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\bar{V}_{nj} = \frac{\sum_{i=1+(j-1)n}^{nj} v_i}{n} \qquad (۱۵)$$

مقدار $\bar{V}_{nj}$، در معادله ۱۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد (با جانشین کردن $\bar{V}_{nj}$ به جای v_i و انجام محاسبه j از ۱ تا کل تعداد $\bar{V}_{nj}$) تا انحراف معیار محاسبه شود. این روش، از روش اجرایی که در زیربند ۶-۲-۶ شرح داده شده، کمتر رایج است.

۶-۲-۶ اثر زمان اندازه‌گیری بر انحراف معیار (۲) – (به پیوست ب رجوع شود)

اگر انحراف معیار زمان اندازه‌گیری اولیه t_o (زمان در معرض قرارگیری) را به $\sigma_F(t_o)$ نشان دهیم (σ_F در زیر بند ۶-۲-۳ را ببینید) انحراف معیار نوسانات سرعت برای اندازه‌گیری‌های دارای زمان در معرض قرارگیری (nt_o) یعنی $\sigma_F(t_o)$ را می‌توان از معادله زیر محاسبه کرد:

$$\sigma_F^2(nt_0) = \frac{\sigma_F^2(t_0)}{n}\left[1 + 2\sum_{k'=1}^{n}\left(1 - \frac{k'}{n}\right)\rho(k')\right] \qquad (۱۶)$$

که در آن $\rho(k')$ ، تابع خود همبستگی در تأخیر k' است. این معادله، اثر زمان اندازه‌گیری بر درستی سرعت نقطه‌ای را مشخص می‌کند.

۶-۲-۷ تلفیق نتایج

این نتایج محاسبات را بهتر است در جدولی مانند جدول ۱ که از طریق مقایسه‌ای انحراف معیارهای مختلف، اثر زمان اندازه‌گیری بر عدم قطعیت سرعت‌های نقطه‌ای را به دست می‌دهد تلفیق کرد (در جدول، σ_{Frel} ، انحراف معیار نسبی است که به صورت درصدی از میانگین، $\bar{v}$ ، بیان شده است).

جدول ۱- جدول تلفیق نتایج – خطای نوع اول (نوسانات سرعت)

عمق نسبی، d_{rel}	ν m/s	σ_F m/s	σ_{Frel} %	ρ(1)	ρ(2)	…	ρ(k')	σ_{Frel} (t_0) %	σ_{Frel} ($2t_0$) %	…	σ_{Frel} (nt_0) %
۰٫۲											
۰٫۳											
۰٫۴											
۰٫۵											
۰٫۶											
۰٫۷											
۰٫۸											
۰٫۹											

۶-۳ خطای نوع دوم – تخمین سرعت میانگین در مقطع قائم

۶-۳-۱ کلیات

انحراف معیار نسبی ناشی از تخمین سرعت میانگین در مقطع قائم از اعمال تعداد محدودی از سرعت‌های نقطه-ای ناشی شده، محاسبه می‌شود.

۶-۳-۲ تعیین سرعت میانگین استاندارد در مقطع قائم

همان‌طور که در زیربند ۵-۲ شرح داده شد سرعت میانگین استاندارد در مقطع قائم، با تعیین مساحت پروفایل سرعت با استفاده از یک پهنه سنج و با وارد کردن عمق در محاسبه، معلوم می‌شود.

در موارد بسیار، اگر پروفایل سرعت نزدیک سطح، انحنای بسیار نداشته باشد سرعت متوسط را می‌توان با استفاده از یک قاعده ذوزنقه که بر ده سرعت نقطه‌ای دارای فواصل نامساوی مشخص شده در زیربند ۵-۲-۳ به کار می‌رود، محاسبه کرد.

$$\bar{V}_i = \left(2V_{\text{surf}} + 3V_{0,2} + 2V_{0,3} + 2V_{0,4} + 2V_{0,5} + 2V_{0,6} + 2V_{0,7} + 2V_{0,8} + 2V_{0,9} + V_{\text{bed}}\right)\frac{1}{20} \qquad (۱۷)$$

۶-۳-۳ روش‌های محاسبه

با استفاده از قواعد محاسبات، سرعت میانگین در مقطع قائم را می‌توان با محاسبه، تخمین زد.

مقایسه این سرعت میانگین تخمینی با سرعت میانگین استاندارد، تعیین خطای نمونه‌برداری در یکایک روش‌های محاسبه را ممکن می‌سازد. پاره‌ای از فرمول‌های رایج عبارتند از (به ISO 748 رجوع شود).

a) $\bar{v} = v_{0,6}$

b) $\bar{v} = 0,5\left(v_{0,2} + v_{0,8}\right)$

c) $\bar{v} = 0,25v_{0,2} + 0,5v_{0,6} + 0,25v_{0,8}$

d) $\bar{v} = \frac{1}{3}\left(v_{0,2} + v_{0,6} + v_{0,8}\right)$

e) $\bar{v} = 0,1v_{\text{surf}} + 0,3v_{0,2} + 0,3v_{0,6} + 0,2v_{0,8} + 0,1v_{\text{bed}}$

f) $\bar{v} = 0,1v_{\text{surf}} + 0,2v_{0,2} + 0,2v_{0,4} + 0,2v_{0,6} + 0,2v_{0,8} + 0,1v_{\text{bed}}$

سرعت میانگین محاسبه شده، با تقسیم کردن آن به سرعت میانگین استاندارد که طبق زیربند ۶-۳-۲ به دست آمده است، استاندارد می‌شود. نتیجه استاندارد شده را می‌توان سرعت میانگین استاندارد یا سرعت میانگین نسبی در مقطع قائم که به $\bar{V}_{rel,j}$ نشان داده می‌شود، بیان کرد.

۶-۳-۴ خطای نمونه‌برداری ناشی از نوسانات سرعت و قاعده محاسبات

از نتایج یک سری اندازه‌گیری‌های پروفایل سرعت در شرایط مساوی، میانگین و انحراف معیار سرعت‌های متوسط نسبی، با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{V}_{\text{rel}} = \frac{1}{J}\sum_{j=1}^{J}\bar{V}_{\text{rel},j} \qquad (۱۸)$$

و

$$S_{\text{rel}}^2 = \frac{1}{J-1}\sum_{j=1}^{J}\left(\bar{V}_{\text{rel},j} - \bar{V}_{\text{rel}}\right)^2 \qquad (۱۹)$$

که در آنها:

$\bar{V}_{\text{rel}}$ میانگین سرعت‌های نسبی است؛

J تعداد پروفایل‌های سرعت در مجموعه است؛

$\bar{V}_{\text{rel},j}$ سرعت میانگین نسبی در پروفایل jام است؛

S_{rel} انحراف معیار سرعت‌های میانگین نسبی است.

خطای نمونه‌برداری، $\hat{s}_j$، در پروفایل j ناشی ازقاعده محاسبات، مساوی $(\bar{V}_{rel,j} - 1)$ است. برای مجموعه j اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده در شرایط مساوی، اجزای سیستماتیک یک خطای نمونه‌برداری (اریب)[1] برابر $\mu_s = (\bar{V}_{rel,j} - 1)$ و انحراف معیار برابر S_{rel} است. انحراف معیار به S_F نشان داده می‌شود زیرا نمایانگر اثر نوسانات سرعت در شرایط جریان ثابت است.

۶-۳-۵ خطای نمونه‌برداری ناشی از قاعده محاسبات

عدم قطعیت نمونه‌برداری به علت محدود بودن تعداد نقاط اندازه‌گیری سرعت که در قاعده محاسبات به کار رفته‌اند از اثرات نوسانات سرعت به دور نگاه‌داشته می‌شود که این عمل با درنظر گرفتن تعدادی از مجموعه اندازه‌گیری‌های پروفایل سرعت انجام می‌گیرد. تمام مجموعه اندازه‌گیری‌ها در شرایط مساوی یکنواخت ثابت انجام می‌گیرند. مجموعه‌های مختلف پروفایل‌ها، در تاریخ‌های مختلف در دبی‌های متفاوت و احتمالاً در مقاطع قائم مختلف در سطح مقطع اندازه‌گیری، جمع آوری می‌شوند. اگر یک سری مرکب از L مجموعه اندازه‌گیری درنظر گرفته شود با هر مجموعه اندازه‌گیری i، یک خطا نمونه‌برداری متوسط $\mu_{s,i}$ و انحراف معیار $S_{F,i}$ همراه است. برای سری L مجموعه اندازه‌گیری، بخش سیستماتیک خطای نمونه‌برداری را می‌توان با معادله زیر برآورد کرد:

$$\hat{\mu}_{\text{s}} = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L}\mu_{\text{s},i} \qquad (۲۰)$$

که در آن $\bar{\mu}_s$ ، نمایانگر اریب ناشی از محدود بودن نقاط مشخص کننده پروفایل سرعت در مقطع قائم است که به تمام سری‌های مجموعه‌های پروفایل، تسری دارد.

1- Bias

انحراف معیار میانگین تمام مجموعه‌های اندازه‌گیری به علت نوسانات سرعت، از معادله زیر به دست می‌آید:

$$S_{\mathrm{F}}^2 = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L} S_{\mathrm{F},i}^2 \qquad (۲۱)$$

انحراف معیار خطای نمونه‌برداری ناشی از قاعده محاسبات را می‌توان از معادله زیر به دست آورد:

$$S_{\mathrm{sv}}^2 = \frac{1}{L-1}\sum_{i=1}^{L}\left(\mu_{\mathrm{s},i} - \hat{\mu}_{\mathrm{s}}\right)^2 - \frac{S_{\mathrm{F}}^2}{J} \qquad (۲۲)$$

که در آن:

S_{sv} انحراف معیار خطای نمونه‌برداری ناشی از قاعده محاسبات است؛

$\mu_{\mathrm{s},i}$ خطای نمونه‌برداری در سرعت میانگین در مقطع قائم به علت قاعده محاسبات در مجموعه اندازه‌گیری i است؛

$\hat{\mu}_{\mathrm{s}}$ خطای نمونه‌برداری میانگین برای کل سری‌های مجموعه‌های اندازه‌گیری است؛

L تعداد مجموعه اندازه‌گیری‌ها در سری‌ها است؛

S_{F} انحراف معیار میانگین تمام مجموعه‌های اندازه‌گیری با هم، به علت نوسانات سرعت است؛

J تعداد اندازه‌گیری‌ها در یک مجموعه است.

۶-۴ خطای نوع سوم – تعداد محدود مقاطع قائم

۶-۴-۱ کلیات

انحراف معیار در خطای دبی ناشی از اندازه‌گیری در تعداد محدودی از مقاطع قائم، محاسبه می‌شود.

۶-۴-۲ دبی واقعی

با استفاده از سرعت‌هایی که از آنها روندهای غیریکنواخت حذف شده، و عمق‌های مربوط و به کاربردن روش میان-بخش[1]، دبی یک سطح مقطع طبق ISO 748 ، محاسبه می‌شود.

برای مقاصد تعیین خطای نوع سوم، این دبی، دبی واقعی فرض می‌شود.

۶-۴-۳ حذف مقاطع‌های قائم

با حذف مقاطع قائم که دیگر در محاسبه دبی به کار گرفته نشوند خطای مطلق را می‌توان به وسیله مقایسه با دبی واقعی تعیین کرد.

محاسبه دبی به روش میان-بخش یا به روش میانگین-بخش[2]، بر نحوه تشریح شده در ISO 748 مبتنی خواهد بود. نتایج حاصله از به کار بردن این روش‌ها، تفاوت‌هایی نشان می‌دهد که قابل چشم پوشی است.

با تقسیم کردن خطای مطلق به دبی واقعی، خطا استاندارد می‌شود. مقدار حاصله را خطای نسبی می‌نامند.

1- Mid-section method
2- Mean-section method

۶-۴-۴ میانگین و انحراف معیارهای خطا

خطای نسبی میانگین و انحراف معیار آن، با حذف مقاطع قائم، از تعدادی مجموعه اندازه‌گیری‌ها در همان سطح مقطع تعیین می‌شود. برای یک مجموعه تکی اندازه‌گیری‌ها داریم:

$$\hat{\mu}(m)=\frac{1}{J}\sum_{j=1}^{J}\left[\frac{Q_j(m)}{Q_j}-1\right] \quad (۲۳)$$

و

$$S_{s,hd}(m)=\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{J}\left[\frac{Q_j(m)}{Q_j}-1\right]^2}{J-1}} \quad (۲۴)$$

که در آن‌ها:

$\hat{\mu}(m)$ خطای نسبی میانگین در دبی به علت محدود بودن تعداد مقاطع قائم است؛

m تعداد مقاطع قائمی است که برای تعیین دبی درنظر گرفته شده‌اند؛

J تعداد اندازه‌گیری‌ها در مجموعه است؛

$Q_j(m)$ دبی محاسبه شده با m مقطع قائم با استفاده از اندازه‌گیری jام است؛

Q_j دبی واقعی تخمین زده شده با استفاده از اندازه‌گیری jام است؛

$S_{s,hd}(m)$ انحراف معیار خطای نسبی ناشی از نوع سوم خطا، با استفاده از m مقطع قائم است.

$S_{s,hd}(m)$ شامل اثرات خطای ناشی از محدود بودن تعداد مقاطع قائم در تعریف هر دو پروفایل عمق$(S^2_{s,d})$ و توزیع افقی سرعت $(S^2_{s,h})$: $S^2_{s,hd}=S^2_{s,h}+S^2_{s,d}$ است.

خطای میانگین یا انحراف معیار تمام مجموعه‌های اندازه‌گیری، در برابر تعدادی مقاطع قائم یا میانگین گروه‌های مقاطع قائم موردنظر رسم می‌شود. از این نمودارها، می‌توان رابطه بین عدم قطعیت و تعداد مقاطع قائم را نتیجه گیری کرد.

۶-۴-۵ معیارهای مورد عمل در انتخاب مقاطع قائم – (به پیوست ج رجوع شود)

در یک سطح مقطع، فاصله بین مقاطع قائم مجاور می‌تواند:

الف- مساوی باشد،

ب- تغییر کند تا مساحت تمام بخش‌ها مساوی شوند،

پ- تغییر کند تا دبی عبوری از تمام بخش‌ها مشابه شوند،

ت- تغییر کند تا اثر بر دبی در تغییرات سرعت و عمق به حداقل برسد.

بندهای (الف) و (ب) فوق احتیاج به توضیح ندارند.

در مورد بند (ج) می‌توان توضیحات زیر را ارائه داد: اگر دبی واقعی را ٪۱۰۰ بگیریم و تعداد بخش‌های مورد بررسی m باشد دبی هر بخش برابر ٪۱۰۰ خواهد بود. برای مشخص کردن موقعیت مقاطع قائم پیاپی، همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، دبی تجمعی در برابر درصد دبی کل، رسم شود.

به محض این که محل مقطع قائم iام تثبیت شد و تعداد مقاطع قائم که قرار است اعمال شود معلوم شد و نیز درصد دبی‌هایی که باید از هر بخش جاری شود تعیین گردید، محل مقطع قائم (i+1)ام را می‌توان پیدا کرد. در شکل ۲، برای یک دبی ٪۸٫۵، مثالی ارائه شده است.

بند (ت) را می‌توان به ترتیب زیر شرح داد:

$$Q = \sum_{i=1}^{m}\left(b_i\bar{v}_i d_i + \frac{b_i\bar{v}_i\Delta d_i}{2} + \frac{b_i d_i\Delta\bar{v}_i}{2} + \frac{b_i\Delta d_i\Delta\bar{v}_i}{2}\right) \qquad (۲۵)$$

که در این معادله:

Δd_i تفاوت عمق به ترتیب در مقطع قائم i و مقطع قائم i+1 است؛

$\Delta\bar{v}_i$ تفاوت سرعت به ترتیب در مقطع قائم i و مقطع قائم i+1 است.

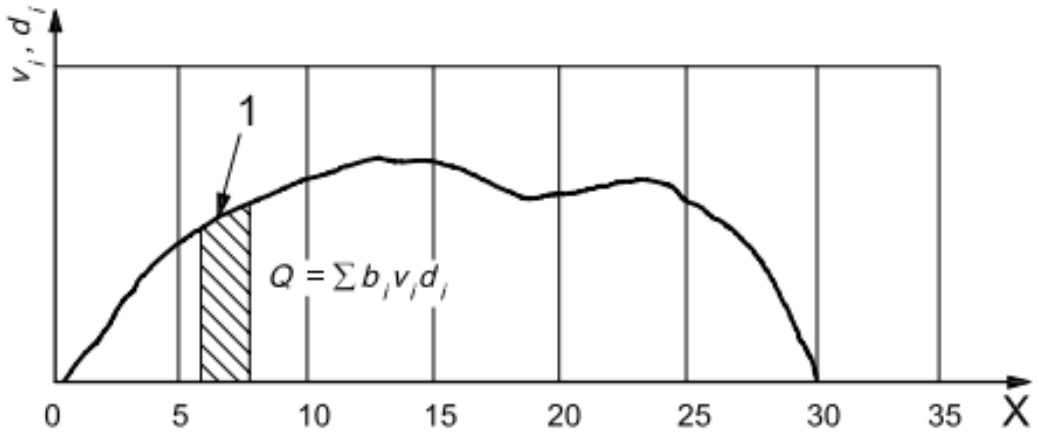
گزینه بهینه مقاطع قائم که تحت تأثیر تفاوت‌های سرعت قرار می‌گیرند، مبتنی است بر حاصلضرب $b_i d_i\Delta\bar{v},$

که از تفاوت‌های عمق در حاصل ضرب $b_i\bar{v}_i\Delta d_i$ هم متأثر است.

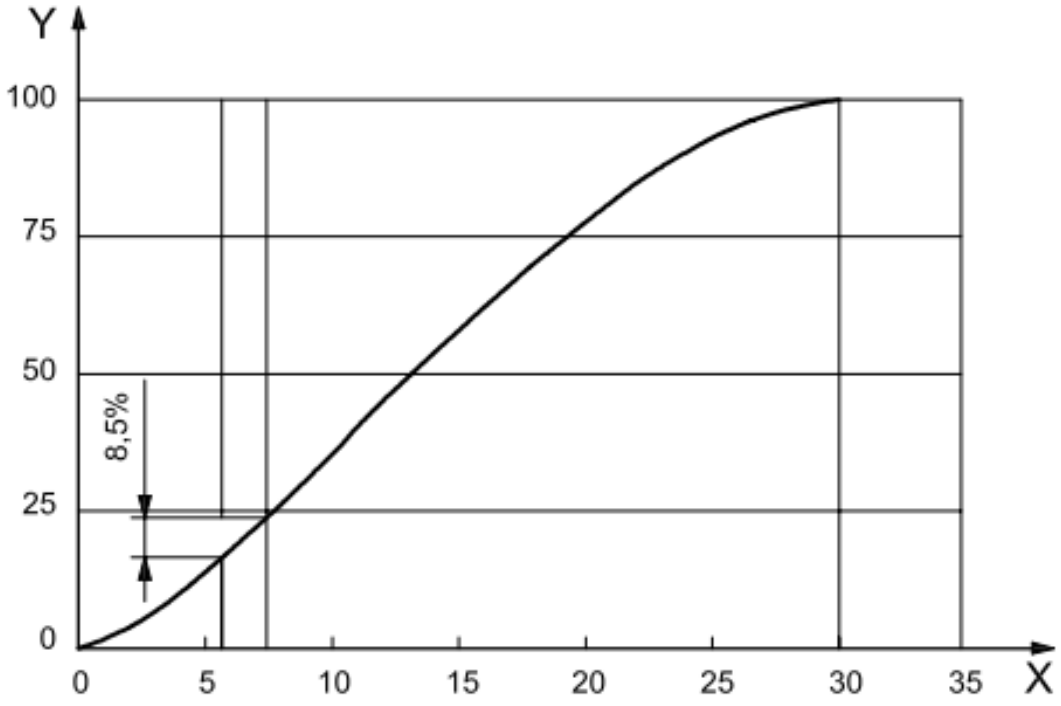
در حالت اول، عمق تمام مقاطع قائم در محاسبه دبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این ترتیب خطای ناشی از درون یابی سرعت بین مقاطع قائم را می‌توان برآورد کرد. در حالت دوم، خطای ناشی از درون یابی عمق بین مقاطع قائم را می‌توان تعیین کرد.

مقدار حاصل ضرب مزبور، اثر بر دبی کل تفاوت‌ها به ترتیب در سرعت و در عمق را نشان می‌دهد.

مقاطع قائم حذف می‌شوند که این حذف، بسته به مقدار حاصل ضرب، از کوچک‌ترین شروع می‌شود.



الف) منحنی $\overline{vd}$



ب) منحنی تجمعی دبی

کلید:

x **تعداد مقطع قائم از نقطه اولیه**

y **دبی کل، ٪**

1 **این بخش ٪۸٫۵ دبی کل را در بردارد.**

شکل ۲- محاسبه دبی

پیوست الف

(طلاعاتی)

خصوصیات رودها ازنظر داده‌های جمع‌آوری شده

جدول الف-۱- خصوصیات رودها بدست آمده از داده‌های جمع‌آوری شده

کشور	رود	محل	تاریخ اندازه‌گیری	نوع خطا[الف]	دبی m^3/s	عرض m	عمق میانگین m	سرعت میانگین m/s	ملاحظات
USA	Mississippi	Vicksburg	۱۹۶۳-۰۸-۱۳	دوم	۷ ۵۵۰	۵۹۰	۱۰٫۵۰	۱٫۲۲	
			۱۹۶۳-۰۸-۱۳	سوم	۷ ۵۴۰	۵۹۰	۱۰٫۵۰	۱٫۲۱	
			۱۹۶۳-۰۸-۱۵	اول	۷ ۳۱۰	۵۹۰	۱۰٫۳۰	۱٫۲۰	
USA	Columbia	Bidgepot, Washington	۱۹۶۳-۰۸-۲۱	دوم	۳ ۰۰۰	۲۶۸	۶٫۳۱	۱٫۷۸	
			۱۹۶۳-۰۸-۲۲	اول	۲ ۹۸۰	۲۶۸	۶٫۲۸	۱٫۷۷	
			۱۹۶۳-۰۸-۲۳	سوم	۲ ۹۷۰	۲۶۸	۶٫۲۷	۱٫۷۷	
USA	Mississippi	Vicksburg	۱۹۶۴-۰۹-۱۶	دوم	۵ ۷۹۰	۶۸۵	۸٫۵۸	۰٫۹۸	
			۱۹۶۴-۰۹-۱۷	اول	۵ ۷۵۰	۶۸۵	۸٫۵۸	۰٫۹۸	
India	Ganga	Varanasi	۱۹۶۶-۰۷-۲۳	دوم	۱ ۰۷۵	۴۷۷	۹٫۲۹	۰٫۲۴	
			۱۹۶۶-۰۷-۲۷	اول	۱ ۰۵۱	۴۸۱	۸٫۳۵	۰٫۲۶	
India	Ganga	Varanasi	۱۹۶۶-۰۹-۱۷	دوم	۳ ۸۰۷	۵۰۶	۱۰٫۱۷	۰٫۷۴	
India	Ganga	Varanasi	۱۹۶۶-۰۹-۲۰	دوم	۳ ۱۳۴	۵۰۶	۹٫۹۵	۰٫۶۲	
			۱۹۶۶-۰۹-۲۱	اول	۳ ۰۸۲	۵۰۵	۹٫۸۴	۰٫۶۲	
			۱۹۶۶-۱۰-۰۱	سوم	۱ ۶۵۲	۴۹۲	۹٫۲۲	۰٫۳۶	
India	Jalangi	Swarup Ganj (W.B.)	۱۹۶۶-۱۰-۱۰	اول	۲۲۴	۱۱۰	۳٫۴۰	۰٫۶۰	
			۱۹۶۶-۱۰-۱۰	دوم	۲۲۴	۱۱۰	۳٫۴۰	۰٫۶۰	
			۱۹۶۶-۱۰-۱۳	سوم	۲۲۴	۱۱۰	۳٫۴۰	۰٫۶۰	
India	Visvesvarays Canal	40 km from Krishnaragasgar	۱۹۶۷-۰۳-۰۱	اول	۴۲	۲۸	۲٫۴۴	۰٫۶۱	
			۱۹۶۷-۰۳-۰۱	دوم	۴۲	۲۸	۲٫۴۴	۰٫۶۱	
			۱۹۶۷-۰۳-۰۱	سوم	۴۲	۲۸	۲٫۴۴	۰٫۶۱	
United Kingdom	Ouse	Skelton	۱۹۶۷-۰۶-۲۶	اول					داده‌های عمومی در دسترس نیستند.
				دوم					

جدول الف-۱ (ادامه)

کشور	رود	محل	تاریخ اندازه‌گیری	نوع خطا[الف]	دبی m^3/s	عرض m	عمق میانگین m	سرعت میانگین m/s	ملاحظات
India	Yamuna	Partappur	۱۹۶۷-۰۹-۲۵	سوم	۴ ۶۱۰	۸۰۴	۷٫۸۵	۰٫۷۳	
			۱۹۶۷-۰۹-۲۶	اول	۴ ۹۴۱	۸۰۱	۷٫۲۶	۰٫۸۵	
India	Yamuna	Partappur	۱۹۶۷-۰۹-۲۷	سوم	۳ ۶۵۸	۷۹۷	۶٫۷۱	۰٫۶۸	
			۱۹۶۷-۰۹-۲۸	اول	۳ ۲۱۴	۷۹۳	۶٫۴۷	۰٫۶۳	
India	Krishna	Wadanapalli	۱۹۶۸-۰۴-۲۵ تا ۱۹۶۸-۰۵-۰۸	اول-دوم	۴۷۲ تا ۶۵۷	۴۷۹ تا ۴۸۸	۱٫۹۸ تا ۲٫۳۰	۰٫۵۰ تا ۰٫۵۸	داده‌های پردازش نشده
The Netherlands	lJssel	Doesburg km 902,603	۱۹۶۸-۱۰-۱۶	دوم	۵۳۵	۱۰۴	۴٫۷۴	۱٫۰۹	
			۱۹۶۸-۱۰-۱۷	اول	۴۶۶	۱۰۸	۴٫۶۲	۰٫۹۳	
			۱۹۶۸-۱۰-۱۸	سوم	۵۵۸	۱۱۵	۴٫۷۴	۱٫۰۲	
The Netherlands	Ljssel	Doesburg km 902,603	۱۹۶۸-۱۱-۰۴	دوم	۲۹۹	۹۸	۳٫۵۳	۰٫۸۶	
			۱۹۶۸-۱۱-۰۶	اول	۲۹۴	۹۸	۳٫۴۷	۰٫۸۷	
			۱۹۶۸-۱۱-۰۶	سوم	۲۷۱	۹۸	۳٫۴۷	۰٫۸۰	
The Netherlands	Ljssel	Doesburg km 902,603	۱۹۶۸-۱۲-۰۹	دوم	۱۹۵	۸۶	۳٫۱۵	۰٫۷۲	
			۱۹۶۸-۱۲-۱۰	اول	۱۶۳	۸۶	۲٫۷۹	۰٫۶۸	
			۱۹۶۸-۱۲-۱۱	سوم	۱۵۹	۸۶	۲٫۷۶	۰٫۶۶	
United Kingdom	Usk	Llandetty	۱۹۶۹-۰۲-۲۶	اول	۱۱	۳۱	۱٫۸۰	۰٫۳۳	
			۱۹۶۹-۰۲-۲۶	دوم					
			۱۹۶۹-۰۲-۲۶	سوم	۲۰	۳۱	۱٫۶۹	۰٫۳۶	
United Kingdom	Lambourn	Hunt’s Green	۱۹۶۹-۰۳-۲۱	اول	۳	۷	۰٫۵۰	۰٫۷۲	
United Kingdom	Lambourn	Hunt’s Green	۱۹۶۹-۰۳-۲۸	اول	۳	۷	۰٫۵۰	۰٫۷۱	
			۱۹۶۹-۰۳-۲۸	سوم	۳	۷	۰٫۵۰	۰٫۷۱	

جدول الف-۱ (ادامه)

کشور	رود	محل	تاریخ اندازه‌گیری	نوع خطا[الف]	دبی m^3/s	عرض m	عمق میانگین m	سرعت میانگین m/s	ملاحظات
The Netgerlands	lJssel	Doesburg km 902,630	۱۹۶۹-۰۳-۳۱	دوم	۳۷۰	۱۰۰	۳٫۸۴	۰٫۹۶	
			۱۹۶۹-۰۴-۰۱	اول	۳۷۷	۱۰۰	۳٫۹۲	۰٫۹۶	
			۱۹۶۹-۰۴-۰۲	سوم	۳۸۵	۱۰۳	۴٫۱۳	۰٫۷۸	
United Kingdom	Lambourn	Hunt's Green	۱۹۶۹-۰۴-۰۱	سوم	۳	۷	۰٫۵۴	۰٫۶۶	
			۱۹۶۹-۰۴-۰۳	اول	۳	۷	۰٫۵۴	۰٫۶۴	
			۱۹۶۹-۰۴-۰۳	دوم	۳	۷	۰٫۵۴	۰٫۶۴	
United Kingdom	Derwent	Draycott	۱۹۶۹-۰۴-۲۳	اول					داده‌های عمومی
			۱۹۶۹-۰۴-۲۳	دوم					در دسترس نیستند.
			۱۹۶۹-۰۴-۲۸	سوم	۳۲	۲۵	۰٫۹۷	۱٫۱۶	
The Netgerlands	lJssel	Doesburg km 902,630	۱۹۶۹-۰۴-۲۸	اول	۶۶۵	۱۱۴	۵٫۱۰	۱٫۱۴	
United Kingdom	Tyne	Bywell	۱۹۶۹-۰۵-۱۴	اول	۳۴	۶۵	۱٫۴۰	۰٫۳۷	
			۱۹۶۹-۰۵-۱۴	دوم	۳۴	۶۵	۱٫۴۰	۰٫۳۷	
United Kingdom	Eden	Sheepmount Carlisle	۱۹۶۹-۰۵-۱۵	اول	۳۹	۵۶	۱٫۲۳	۰٫۵۷	
			۱۹۶۹-۰۵-۱۵	دوم	۳۹	۵۶	۱٫۲۳	۰٫۵۷	
			۱۹۶۹-۰۵-۱۵	سوم	۳۹	۵۶	۱٫۲۳	۰٫۵۷	
United Kingdom	Tyne	Bywell	۱۹۶۹-۰۵-۱۹	دوم					داده‌های پردازش نشده
			۱۹۶۹-۰۵-۱۹	سوم	۳۸	۶۵	۱٫۴۵	۰٫۴۱	داده‌های پردازش نشده
			۱۹۶۹-۰۵-۲۰	اول	۵۰	۶۵	۱٫۳۵	۰٫۳۴	داده‌های پردازش نشده
India	Ganga	Varanasi	۱۹۶۹-۱۰-۰۹	اول	۴ ۸۴۵	۵۲۱	۱۳٫۵۸	۰٫۶۹	داده‌های پردازش نشده
			۱۹۶۹-۱۰-۱۱	دوم	۳ ۷۳۴	۵۱۳	۱۲٫۴۸	۰٫۵۸	داده‌های پردازش نشده
			۱۹۶۹-۱۰-۱۰	سوم	۳ ۴۲۲	۵۱۵	۱۳٫۰۷	۰٫۵۱	داده‌های پردازش نشده

جدول الف-۱ (ادامه)

کشور	رود	محل	تاریخ اندازه‌گیری	نوع خطا[الف]	دبی m^3/s	عرض m	عمق میانگین m	سرعت میانگین m/s	ملاحظات
United Kingdom	Gala Water	Galashiels	۱۹۶۹-۱۰-۳۰	اول	۰٫۷	۱۳٫۴	۰٫۵۰	۰٫۱۰	داده‌های پردازش نشده
United Kingdom	Yarrow Water	Philiphaugh	۱۹۶۹-۱۱-۰۷	اول	۵٫۶	۱۹٫۹	۰٫۴۵	۰٫۶۳	داده‌های پردازش نشده
United Kingdom	Clyde	Daldowie	۱۹۷۰-۰۳-۲۵	اول					داده‌های پردازش نشده
			۱۹۷۰-۰۳-۲۶	دوم		۵۱		۰٫۲۶	داده‌های پردازش نشده
			۱۹۷۰-۰۳-۲۶	سوم	۲۱				داده‌های پردازش نشده
United Kingdom	Ettrick Water	Lindean	۱۹۷۰-۰۵-۱۲	اول	۳٫۷	۳۶	۰٫۴۳	۰٫۲۴	داده‌های پردازش نشده
			۱۹۷۰-۰۵-۱۲	دوم	۳٫۹	۳۶	۰٫۴۴	۰٫۲۵	داده‌های پردازش نشده
			۱۹۷۰-۰۵-۱۲	سوم	۳٫۸	۳۶	۰٫۴۴	۰٫۲۵	داده‌های پردازش نشده
United Kingdom	Spey	Boat of Garten		اول					داده‌های پردازش نشده
United Kingdom	Tay	Pitnacree		اول					داده‌های پردازش نشده
United Kingdom	Tweed	Norham		اول					داده‌های پردازش نشده

الف- برای توضیح انواع خطای نوع اول، دوم و سوم به زیربند ۴-۴-۳ مراجعه شود.

پیوست ب

(الزامی)

اثر اضافه شدن زمان اندازه‌گیری بر عدم قطعیت

به علت جریان متلاطم، سرعت نقطه‌ای مکانی آنی، یک پدیده تصادفی است و می‌توان آن را یک فرآیند تصادفی محسوب کرد. مهم‌ترین پارامترهای این فرآیند عبارتند از میانگین، انحراف‌های استاندارد و تابع خود همبستگی که نشان می‌دهد وابستگی درونی[1] با چه سرعتی از یک سری اندازه‌گیری، متأثر می‌شوند.

چون انحراف معیار به خطای نوسان بستگی دارد با افزایش زمان اندازه‌گیری، آهسته‌تر از حالتی که بستگی وجود ندارد کاهش می‌یابد. اگر انحراف معیار σt_0 و تابع خود همبستگی $\rho_{(k)}$ برای زمان اندازه‌گیری t_o معلوم بودند انحراف معیار برای زمان اندازه‌گیری nt_o (که n بزرگتر از ۱ باشد) را می‌توان از معادله زیر محاسبه کرد:

$$\sigma^2_{nt_0} = \frac{\sigma^2_{t_0}}{n}\left\{1+2\sum_{k=1}^{n}\left(1-\frac{k}{n}\right)\rho(k)\right\} \qquad (ب-۱)$$

یعنی انحراف‌های استاندارد برای زمان‌های اندازه‌گیری که n بار طولانی‌تر باشد از مقدار معادله زیر بزرگتر خواهند بود.

$$\sigma_{nt_0} = \frac{\sigma_{t_0}}{\sqrt{n}} \qquad (ب-۲)$$

برای زمان‌های اندازه‌گیری بزرگ‌تر از t_o اما مساوی با nt_o انحراف معیار را می‌توان با درون‌یابی خطی تعیین کرد. برون‌یابی برای یک زمان اندازه‌گیری کوتاه‌تر از ۳۰ ثانیه ممکن نیست مگر این که تابع خود همبستگی سرعت‌های آنی معلوم باشد.

1- Interdependence

پیوست پ

(الزامی)

اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای مکانی – فرم گزارش

(به زیربند ۵-۱ مراجعه شود)

یادآوری- در صورت نیاز در جایی که مجاز است توصیه می‌شود تمام مقادیر به متر و ثانیه تبدیل شوند.

مسئول اندازه‌گیری‌های انجام شده: .....

آدرس: .....

ارجاع موارد نیاز به: .....

رود مورد نظر: .....

در (مکان): .....

کشور: .....

پ-۱ داده‌های عمومی رود طی دوره اندازه‌گیری

دبی	..... m^3/s
مساحت سطح مقطع جریان	..... m^2
سرعت متوسط	..... m/s
عرض سطح آب	..... m
عمق بیشینه	..... m
عمق متوسط (مساحت/عرض)	..... m
شیب منحنی اسمی (حساسیت در حالت یکنواختی)	..... $(m^3/s)/m$
دمای آب	..... ^oC

پ-۲ داده‌های عمومی در مقاطع قائم اندازه‌گیری

مقاطع قائم اندازه‌گیری	سرعت متوسط	عمق مقطع قائم	فاصله از ساحل طرف راست/چپ
	m/s	m	m
الف) بیشینه عمق			
ب) ۰٫۶ بیشینه عمق			
پ) ۰٫۳ بیشینه عمق			

پ-۳ روش اندازه‌گیری سرعت (در صورت مناسب بودن تیک بزنید)

- ☐ الف) تعداد پالس‌ها، شمارش شده در هر ۱۰ ثانیه
- ☐ ب) زمان (متوسط ۱۰ ثانیه) برای تعداد ثابت پالس چنین است:
  - ۱) ..... پالس
  - ۲) ..... پالس
  - ۳) ..... پالس
- ☐ پ) ثبت سرعت پیوسته

سرعت کاغذ ثبات: mm/s.....

مشخصات واکنش دستگاه‌های الکترونیکی

- ☐ ت) روش یکپارچگی

پ-۴ وسایل اندازه‌گیری

نوع جریان‌سنج (ارائه جزئیات مانند قطر پروانه، گام پروانه یا اندازه فنجان، فاصله فنجان و تعداد فنجان‌ها):

شماره سریال: .....

نوع تعلیق: .....

تاریخ کالیبراسیون (به همراه منحنی اسمی[1] و معادلات محاسبه سرعت و نشان دادن این که کالیبراسیون گروهی[2] یا کالیبراسیون مستقیم[3] نیاز دارد یا خیر). بررسی کنید که دمای آب هنگام کالیبراسیون در منحنی اسمی نشان داده شده باشد): .....

روش تنظیم وقت و عدم قطعیت وابسته: .....

1- Rating-curve
2- Group calibration
3- Direct calibration

پ-۵ اندازه‌گیری‌ها در مقاطع قائم

پ-۵-۱ مقطع قائم در بیشینه عمق

پ-۵-۱-۱ داده‌های عمومی

	عمق				یکاها
	۰٫۲	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۹	
تاریخ اندازه‌گیری					-
ساعت اندازه‌گیری (زمان محلی)					-
تراز آب در شروع کار (یکاهای محلی)					-
تراز آب در پایان کار (یکاهای محلی)					-
عمق آب هنگام اندازه‌گیری					m
عمق دستگاه زیرسطح					m
سرعت متوسط در دوره زمانی ۲۰۰۰s					m/s
سرعت کمینه					m/s
سرعت بیشینه					m/s
روش اندازه‌گیری سرعت: الف) یا پ)					
(به بند پ-۳ مراجعه شود)					
فاصله زمانی قرائت					s
روش پ)					
تعداد پالس‌ها					-
متوسط فاصله زمانی قرائت					s

پ-۵-۱-۲ توصیف شرایط بستر

مواد بستر (اندازه، شکل، چگالی) (به ISO 4363 و ISO 4364 مراجعه شود): .....

شکل بستر (صاف، موج‌دار، تپه‌های شنی): .....

انتقال رسوب: بلی/خیر؛ در صورتی که جواب بلی است، نوع انتقال – بار بستر/بار معلق): .....

ناهمواری بستر (بیان بهتر در ضریب چزی[1] C): .....

1- Chezy Coefficient

$$C = \frac{\overline{v}}{\sqrt{R_h S}}$$

که در آن:

C ضریب چزی است؛

$\overline{v}$ سرعت میانگین است؛

R_h میانگین عمق هیدرولیکی (مساحت سطح مقطع جریان تقسیم بر محیط خیس[1] است)؛

S شیب انرژی است.

ملاحظات:

پ-۵-۱-۳ مشاهدات سرعت

الف- سرعت در ۰٫۲ عمق در هر ۱۰ ثانیه.

شماره سریال	قرائت	سرعت	شماره سریال	قرائت	سرعت	شماره سریال	قرائت	سرعت	شماره سریال	قرائت	سرعت
۱ . . . . . . ۵۰			۵۱ . . . . . . ۱۰۰			۱۰۱ . . . . . . ۱۵۰			۱۵۱ . . . . . . ۲۰۰		
سرعت متوسط سرعت بیشینه سرعت کمینه			سرعت متوسط سرعت بیشینه سرعت کمینه			سرعت متوسط سرعت بیشینه سرعت کمینه			سرعت متوسط سرعت بیشینه سرعت کمینه		
یادآوری- شرایط خاص مؤثر بر اندازه‌گیری‌ها، مانند عبور کشتی‌ها را نشان دهید.											

ب- برای اندازه‌گیری‌ها در ۰٫۶، ۰٫۸ و ۰٫۹ عمق، جزئیات را در قالب نشان داده شده در الف) ارائه دهید.

پ-۵-۲ مقطع قائم در ۰٫۶ عمق بیشینه

جزئیات را در قالب نشان داده شده در زیربند پ-۵-۱ ارائه دهید.

پ-۵-۳ مقطع قائم در ۰٫۳ عمق بیشینه

جزئیات را در قالب نشان داده شده در زیربند پ-۵-۱ ارائه دهید.

1- Wetted Perimeter

پیوست ت

(الزامی)

اندازه‌گیری‌های سرعت متوسط – فرم گزارش

(به زیربند ۵-۲ مراجعه شود)

یادآوری- در صورت نیاز در جایی که مجاز است توصیه می‌شود تمام مقادیر به متر و ثانیه تبدیل شوند.

مسئول اندازه‌گیری‌های انجام شده: .....

آدرس: .....

ارجاع موارد نیاز به: .....

رود مورد نظر: .....

در (مکان): .....

کشور: .....

ت-۱ داده‌های عمومی رود طی دوره اندازه‌گیری

دبی	..... m^3/s
مساحت سطح مقطع جریان	..... m^2
سرعت متوسط	..... m/s
عرض سطح آب	..... m
عمق بیشینه	..... m
عمق متوسط (مساحت/عرض)	..... m
شیب منحنی اسمی (حساسیت در حالت یکنواختی)	..... $(m^3/s)/m$
عمق مقطع قائم	..... m
سرعت متوسط در مقطع قائم	..... m/s
فاصله مقطع قائم از ساحل سمت راست	..... m
دمای آب	..... ^oC

ت-۲ روش اندازه‌گیری سرعت (در صورت مناسب بودن تیک بزنید)

□ الف) تعداد پالس‌ها، شمارش شده در هر ۶۰ ثانیه

□ ب) زمان (متوسط ۶۰ ثانیه در ۰٫۶ عمق) برای تعداد ثابت پالس، یعنی ..... پالس

□ پ) ثبت سرعت پیوسته

سرعت کاغذ ثبات: ..... mm/s

مشخصات واکنش دستگاه‌های الکترونیکی

□ ت) روش یکپارچگی

ت-۳ وسایل اندازه‌گیری

نوع جریان‌سنج (ارائه جزئیات مانند قطر پروانه، گام پروانه یا اندازه فنجان، فاصله فنجان و تعداد فنجان‌ها):

شماره سریال: .....

نوع تعلیق: .....

تاریخ کالیبراسیون (به همراه منحنی اسمی و معادلات محاسبه سرعت و نشان دادن این که کالیبراسیون گروهی یا کالیبراسیون مستقیم نیاز دارد یا خیر). بررسی کنید که دمای آب هنگام کالیبراسیون در منحنی اسمی نشان داده شده باشد): .....

ت-۴ اندازه‌گیری‌ها در مقاطع قائم

ت-۴-۱ مقطع قائم در عمق بیشینه

ت-۴-۱-۱ داده‌های عمومی

	۱	۲	۳	۴	۵	یکاها
تاریخ اندازه‌گیری						-
ساعت اندازه‌گیری (زمان محلی)						-
تراز آب در شروع کار (یکاهای محلی)						-
تراز آب در پایان کار (یکاهای محلی)						-
عمق آب هنگام اندازه‌گیری						m
زمان اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای مکانی روش مورداستفاده الف)یا ب) (به بند ت-۲ مراجعه شود)	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	s
تعداد پالس‌های روش مورد استفاده ب) برمبنای زمان ۶۰ ثانیه در ۰٫۶ عمق اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای مکانی						-

ت-۴-۱-۲ توصیف شرایط بستر

مواد بستر (اندازه شکل، چگالی) (به ISO 4363 و ISO 4364 مراجعه شود): .....

شکل بستر (صاف، موج‌دار، تپه‌های شنی): .....

انتقال رسوب: بلی/خیر؛ در صورتی که جواب بلی است، نوع انتقال – بار بستر/بار معلق): .....

ناهمواری بستر (بیان بهتر در ضریب چزی C): .....

$$C = \frac{\overline{v}}{\sqrt{R_h S}}$$

که در آن:

C ضریب چزی است؛

$\overline{v}$ سرعت میانگین است؛

R_h میانگین عمق هیدرولیکی (مساحت سطح مقطع جریان تقسیم بر محیط خیس است)؛

S شیب انرژی است.

ملاحظات:

ت-۴-۱-۳ مشاهدات سرعت

سرعت‌ها	۱		۲		۳		۴		۵	
	قرائت	سرعت	قرائت	سرعت	قرائت	سرعت	قرائت	سرعت	قرائت	سرعت
نزدیک سطح[الف]										
۰٫۲ عمق										
۰٫۳ عمق										
۰٫۴ عمق										
۰٫۵ عمق										
۰٫۶ عمق										
۰٫۷ عمق										
۰٫۸ عمق										
۰٫۹ عمق										
نزدیک بستر[ب]										
سرعت متوسط تعیین شده با نمودار										
یادآوری- شرایط خاص مؤثر بر اندازه‌گیری‌ها، مانند عبور کشتی‌ها را نشان دهید.										
الف- مشاهده نزدیک سطح در ... متر زیرسطح انجام شده است. ب- مشاهده نزدیک بستر در ... متر زیرسطح انجام شده است.										

ت-۴-۲ مقطع قائم در ۰٫۶ عمق بیشینه

جزئیات را در قالب نشان داده شده در زیربند ت-۴-۱ ارائه دهید.

ت-۴-۳ مقطع قائم در ۰٫۳ عمق بیشینه

جزئیات را در قالب نشان داده شده در زیربند ت-۴-۱ ارائه دهید.

پیوست ث

(الزامی)

روش سرعت - مساحت – فرم گزارش

(به زیربند ۵-۳ مراجعه شود)

یادآوری- در صورت نیاز در جایی که مجاز است توصیه می‌شود تمام مقادیر به متر و ثانیه تبدیل شوند.

مسئول اندازه‌گیری‌های انجام شده: .....

آدرس: .....

ارجاع موارد نیاز به: .....

رود مورد نظر: .....

در (مکان): .....

کشور: .....

ث-۱ داده‌های عمومی رود طی دوره اندازه‌گیری

دبی	..... m^3/s
مساحت سطح مقطع جریان	..... m^2
سرعت متوسط	..... m/s
عرض سطح آب	..... m
عمق بیشینه	..... m
عمق متوسط (مساحت/عرض)	..... m
شیب منحنی اسمی (حساسیت در حالت یکنواختی)	..... $(m^3/s)/m$
دمای آب	..... ^oC

ث-۲ روش اندازه‌گیری سرعت (در صورت مناسب بودن تیک بزنید)

☐ الف) تعداد پالس‌ها، شمارش شده در هر ۶۰ ثانیه

☐ ب) زمان (متوسط ۶۰ ثانیه یا ۱۲۰ ثانیه در ۰٫۶ عمق) برای تعداد ثابت پالس، یعنی ..... یا ..... پالس

□ پ) ثبت سرعت پیوسته

سرعت کاغذ ثبات: ..... mm/s

مشخصات واکنش دستگاه‌های الکترونیکی

□ ت) روش یکپارچگی

ث-۳ وسایل اندازه‌گیری

نوع جریان‌سنج (ارائه جزئیات مانند قطر پروانه، گام پروانه یا اندازه فنجان، فاصله فنجان و تعداد فنجان‌ها):

شماره سریال: .....

نوع تعلیق: .....

تاریخ کالیبراسیون (به همراه منحنی اسمی و معادلات محاسبه سرعت و نشان دادن این که کالیبراسیون گروهی یا کالیبراسیون مستقیم نیاز دارد یا خیر). بررسی کنید که دمای آب هنگام کالیبراسیون در منحنی اسمی نشان داده شده باشد): .....

ث-۴ اندازه‌گیری‌ها در مقاطع قائم

ث-۴-۱ مقطع قائم در عمق بیشینه

		یکاها
تاریخ اندازه‌گیری		-
تراز آب در شروع کار (یکاهای محلی)		-
تراز آب در پایان کار (یکاهای محلی)		-
تعداد مقاطع قائم		-
زمان اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای مکانی		-
روش مورد استفاده الف) یا پ) (به بند ث-۲ مراجعه شود):		
در ۰٫۶ عمق اندازه‌گیری	۱۲۰	s
در اندازه مرجع	۶۰	s
در نقطه مرجع با روش توزیع سرعت		s
تعداد پالس‌های روش مورد استفاده ب) برمبنای:		
زمان ۱۲۰ ثانیه برای اندازه‌گیری در ۰٫۶ عمق		-
زمان ۶۰ ثانیه برای نقطه مرجع		-
روش توزیع سرعت		-
پروفایل سطح مقطع اندازه‌گیری شده با عمق سنج صوتی/میله مدرج در فواصل:		m

ث-۴-۲ توصیف شرایط بستر

مواد بستر (اندازه شکل، چگالی) (به ISO 4363 و ISO 4364 مراجعه شود): .....

شکل بستر (صاف، موجدار، تپه‌های شنی): .....

انتقال رسوب: بلی/خیر؛ در صورتی که جواب بلی است، نوع انتقال – بار بستر/بار معلق): .....

ناهمواری بستر (بیان بهتر در ضریب چزی C): .....

$$C = \frac{\overline{v}}{\sqrt{R_h S}}$$

که در آن:

C ضریب چزی است؛

$\overline{v}$ سرعت میانگین است؛

R_h میانگین عمق هیدرولیکی (مساحت سطح مقطع جریان تقسیم بر محیط خیس است)؛

S شیب انرژی است.

ملاحظات:

ث-۵ روش اندازه‌گیری میانگین سرعت در مقاطع قائم (در صورت مناسب بودن تیک بزنید).

جزئیات را در قالب نشان داده شده در زیربند ت-۴-۱ ارائه دهید.

☐ ۰٫۶ عمق

(زمان اندازه‌گیری‌های مجزای سرعت ۱۲۰ ثانیه)

☐ روش توزیع سرعت

(شیوه معمول: روش اجرایی اضافه شود).

میانگین سرعت در مقطع قائم:

شماره سریال	زمان	سرعت	سرعت تصحیح شده	عمق	شماره سریال	زمان	سرعت	سرعت تصحیح شده	عمق
۱					۲۶				
.					.				
.					.				
.					.				
.					.				
.					.				
۲۵					۵۰				

یادآوری- هنگامی که روش توزیع سرعت به کار برده می‌شود، ستون عمق تکمیل شود.

سرعت در نقطه مرجع:

زمان[الف]	سرعت	فاکتور تصحیح[ب]	زمان	سرعت	فاکتور تصحیح	زمان	سرعت	فاکتور تصحیح

الف- فواصل زمانی ۶۰ ثانیه

ب- تصحیح ایجاد شده به واسطه سرعت در ..... ساعت.

پیوست ج

(اطلاعاتی)

بررسی خطاهای نوع اول، دوم و سوم

برای بررسی خطاهای نوع اول، دوم و سوم در داده‌های جمع‌آوری شده در پیوست (الف)، روش زیر مورد عمل قرار می‌گیرد.

معمولاً، سرعت متوسط در یک مقطع قائم، با استفاده از یکی از قواعد محاسباتی موجود محاسبه می‌شود. این قواعد، به یک تخمین سرعت میانگین "واقعی" در یک لحظه معین می‌انجامد.

خطای حاصله، خطای نوع دوم است. با فرض ثابت بودن شرایط جریان یکنواخت، و درنظر گرفتن پراکندگی تعداد سرعت‌های میانگین اندازه‌گیری شده با انحراف معیار آنها، این امکان وجود دارد که اثر خطای نوع اول را تعیین کرد.

در مورد داده‌هایی که تحت پیوست (الف) جمع آوری شده‌اند سرعت میانگین واقعی با استفاده از ۱۰ نقطه (به زیربند ۵-۲-۳ رجوع کنید) با زمان اندازه‌گیری ۶۰ ثانیه که ۵ بار تکرار شود محاسبه شده است. با استفاده از ۱۰ مشاهده، پروفایل در مقطع قائم را می‌توان رسم کرد و سرعت میانگین "واقعی" را با استفاده از پهنه سنج تعیین نمود.

سرعت‌های میانگین محاسبه شده با استفاده از قواعد محاسباتی، با این سرعت میانگین "واقعی" مقایسه شده‌اند. قواعد محاسباتی مورد استفاده به شرح زیر هستند:

$$\overline{v} = v_{0,6} \qquad \text{(ج-۱)}$$

$$\overline{v} = 0,96v_{0,6} \qquad \text{(ج-۲)}$$

$$\overline{v} = 0,5\left(v_{0,2} + v_{0,8}\right) \qquad \text{(ج-۳)}$$

$$\overline{v} = 0,25v_{0,2} + 0,5v_{0,6} + 0,25v_{0,8} \qquad \text{(ج-۴)}$$

$$\overline{v} = 0,4v_{0,2} + 0,3v_{0,6} + 0,25v_{0,8} \qquad \text{(ج-۵)}$$

$$\overline{v} = 1/3\left(v_{0,2} + v_{0,6} + v_{0,8}\right) \qquad \text{(ج-۶)}$$

$$\overline{v} = 1/4\left(v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,7} + v_{0,9}\right) \qquad \text{(ج-۷)}$$

$$\overline{v} = 0,1v_{\text{surf.}} + 0,3v_{0,2} + 0,3v_{0,6} + 0,2v_{0,8} + 0,1v_{\text{bed}} \qquad \text{(ج-۸)}$$

نتایج بررسی در جدول ج-۱ نشان داده شده است.

جدول ج-۱- نتایج بررسی

قاعده	تعداد نقاط	خطای میانگین نمونه‌برداری $\hat{\mu}_s$ %	انحراف معیار خطای نمونه‌برداری $\hat{\sigma}_{SV}$ %	خطای نمونه‌برداری ریشه مربعات میانگین[1] (RMS) $\sqrt{\hat{\mu}_s^2+\hat{\sigma}_{SV}{}^2}$ %	انحراف معیار خطای ترکیبی نمونه‌برداری و نوسان، خطاهای نوع اول و دوم ٪
(۱)	۱	۱٫۶	۷٫۵	۷٫۷	۸٫۲
(۲)	۱	۳٫۳	۴٫۸	۵٫۹	۶٫۵
(۳)	۲	۲٫۲	۳٫۴	۴٫۰	۴٫۹
(۴)	۳	۱٫۹	۴٫۴	۴٫۸	۴٫۸
(۵)	۳	-۰٫۸	۳٫۳	۳٫۴	۳٫۹
(۶)	۳	۲٫۰	۳٫۷	۴٫۲	۴٫۲
(۷)	۴	-۰٫۹	۲٫۲	۲٫۴	۳٫۰
(۸)	۵	۰٫۲	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۷
(۹)	۶	-۱٫۶	۲٫۵	۳٫۰	۲٫۸
(۱۰)	۶	۰٫۹	۲٫۱	۲٫۳	۲٫۴

ویژگی غیرسیستماتیک خطای میانگین نمونه‌برداری نسبت به صفر، با استفاده از خطای نمونه‌برداری ریشه مربعات میانگین به حساب آمده است که این، مقایسه انحراف معیار و نیز مقایسه متقابل با قواعد را ممکن می‌سازد.

نتایج زیر در مورد خطای نوع دوم به دست می‌آید:

الف- نتایج مربوط به یک قاعده، از رودخانه به رودخانه فرق می‌کند. قواعد برای رودهای بزرگتر (Q بزرگ‌تر از $۱۲۰m/s^3$) در مقایسه با رودهای کوچک‌تر (Q کوچک‌تر از $۱۲۰m/s^3$)، اعتبار کلی‌تری دارد. معیار $۱۲۰m/s^3$، طوری انتخاب شد که هر دو گروه با تعداد کافی رود نمایانده شوند.

ب- ماهیت پروفایل سرعت در مقطع قائم، به اندازه‌گیری کافی در چهار مقطع، (به قاعده ج-۷ رجوع شود) تثبیت شده است. با طولانی کردن کل زمان اندازه‌گیری یا با اندازه‌گیری در بیش از چهار نقطه، یا با طولانی کردن زمان اندازه‌گیری در هر کدام از چهار نقطه، نتیجه را می‌توان بهبود بخشید.

خطای نوع سوم از تخمین به وسیله درون‌یابی پروفایل بستر و توزیع سرعت افقی بین مقاطع قائم ناشی می‌شود.

1- Root-mean-square (RMS)

در عمل، هر دو هم‌زمان بروز می‌کنند. اندازه‌گیری سرعت و عمق در تعداد محدودی مقاطع قائم که در سطح مقطع قرار دارند انجام می‌گیرد. انتخاب تعداد و محل مقاطع قائم عمدتاً بر داوری شخصی مبتنی است و شکل پروفایل بستر در سطح مقطع درنظر گرفته می‌شود.

به طورکلی معلوم شده است که انتخاب تعداد بیش از کم مقاطع قائم، به خطای قابل ملاحظه در دبی منجر می‌شود اما دامنه تخمین‌ها و رابطه با خطاهای دارای منشأ مختلف، نامعلوم هستند.

در بررسی داده‌هایی که به موجب پیوست الف گردآوری شده‌اند تلاش شد مقایسه بین خطای موجود در اقدام نرمال (موضوعی[1]) اندازه‌گیری و خطایی که پس از انتخاب بهینه مقاطع قائم باقی ماند ممکن شود. به این منظور، تعدادی معیار (عینی[2]) درنظر گرفته شده است.

پروفایل پیوسته سطح مقطع اندازه‌گیری شده و توزیع سرعت افقی، با قرائت کردن سرعت در هر ۱۲۰ ثانیه در ۰٫۶ عمق در مقاطع قائمی که با فاصله کمتر از ٪۲ پهنای قرار دارند مشاهده شده است. پاره‌ای از معیارهایی که در انتخاب مقاطع قائم مورد استفاده قرار گرفته‌اند در زیر بند ۶-۴-۵ شرح داده شده است.

به منظور تعیین اثر تعداد مقاطع قائم بر درستی به دست آمده، از تعداد مقاطع قائم مورد استفاده در تعیین دبی، به طور پیاپی، بسته به معیار تحت بررسی، کاسته می‌شود. نتایج مربوط به سه معیار، در جدول ج-۲ نشان داده شده است. آنها انحراف معیار خطای نوع سوم را که از رگرسیون منحنی‌های رسم شده از نقاط تحت مشاهده، استنباط شده نشان می‌دهند.

جدول ج-۲- انحراف معیار نسبی خطا – نتیجه بررسی سه معیار

تعداد مقاطع قائم	انحراف معیار نسبی خطا، ٪		
	معیار ۱: پروفایل بستر در سطح مقطع	معیار ۲: هم فاصله با مقاطع قائم	معیار ۳: بخش‌های جریان مساوی
۵	۷٫۷۰		
۶	۷٫۰۰		۴٫۵۲
۱۰	۴٫۴۰	۲٫۶۰	۳٫۳۵
۱۵	۳٫۰۲	۱٫۹۸	۲٫۶۰
۲۰	۲٫۲۰	۱٫۶۵	۲٫۰۸
۲۵	۱٫۷۰	۱٫۴۵	۱٫۷۶
۳۰	۱٫۲۸	۱٫۳۰	۱٫۶۰
۳۵	۱٫۰۲		۱٫۵۵
۴۰	۰٫۸۰		
۴۵	۰٫۶۸		

1- Subjective
2- Objective

نتایج به دست آمده زیر که به خطای نوع سوم مربوط است.

الف- محاسبه دبی از تعداد محدودی مقاطع قائم، نتایجی به دست می‌دهد که ازنظر سیستماتیک، خیلی پایین هستند.

ب- در مورد رودهای بزرگ (به الف رجوع شود)، تفسیر پروفایل سرعت افقی بیشتر از درون‌یابی پروفایل بستر، بر دامنه خطا اثر می‌گذارد.

پ- ولی در مورد رودهای کوچک، تفسیر پروفایل بستر، بیشتر از درون‌یابی پروفایل سرعت افقی، بر خطا اثر می-گذارد.

ت- خطاها در دبی که به ترتیب از درون‌یابی عمق و پروفایل سرعت ناشی می‌شود به هم مربوطند. این رابطه، بر بستگی متقابل سرعت و عمق در مقطع قائم مبتنی هستند و

ث- می‌توان با اطلاع بر پروفایل پیوسته (نمودار صوتی[1]) در زمان تعیین دبی، به جای استفاده از عمق در مقاطع قائمی که در آنها سرعت مشاهده می‌شود خطا در دبی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

1- Echogram

پیوست چ

(اطلاعاتی)

عدم قطعیت در اجزاء اندازه‌گیری سرعت - مساحت

چ-۱ کلیات

مقادیر عدم قطعیت که در این پیوست داده شده، عدم قطعیت‌های استاندارد نسبی (مقادیر "یک انحراف معیار"، سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸) و به صورت درصد بیان شده‌اند. این مقادیر، نتیجه تحقیقاتی است که از زمان انتشار اولین نسخه ISO 748 در ۱۹۶۸ تا به امروز انجام شده است. با این وجود، توصیه می‌شود هر کاربر، با دنبال کردن شیوه‌هایی که در این استاندارد ارائه شده است، مستقلاً مقادیر عدم قطعیتی را که به یک مورد خاص مربوط می‌شود تعیین کند.

توجه داشته باشید که استفاده از عدم قطعیت استاندارد، یک تغییر از نسخه قبلی ISO 1088 (۱۹۹۷ و قبل از آن)، ISO/TR 7178 و ISO 748 است که عدم قطعیت را به عنوان مقادیر دو-سیگما (سطح اطمینان تقریباً ٪۹۵) گزارش می‌کرد. برای تطابق با ISO/IEC Guide 98، مقادیر دو-سیگما که در پیوست E نسخه ISO 748: 1997 ارائه شده بود دو قسمت شد تا عدم قطعیت‌های استاندارد (مقادیر یک-سیگما) که در این جا داده شده، به دست آید.

چ-۲ عدم قطعیت‌ها در عرض (u_b)

عدم قطعیت استاندارد در اندازه‌گیری عرض نباید از ٪۰٫۵ بیشتر باشد.

به عنوان مثال، عدم قطعیتی که برای یک مسافت یاب خاص که فاصله پایه آن ۸۰۰mm متر است تقریباً مطابق جدول چ-۱ داده شده، تغیر می‌کند.

جدول چ-۱- مثال عدم قطعیت برای یک مسافت یاب

(عدم قطعیت‌های استاندارد، سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸)

دامنه عرض (متر)	عدم قطعیت مطلق (متر)	عدم قطعیت نسبی (متر)
۰ تا ۱۰۰	۰ تا ۰٫۱۵	۰٫۱۵
۱۰۱ تا ۱۵۰	۰٫۱۵ تا ۰٫۲۵	۰٫۲
۱۵۱ تا ۲۵۰	۰٫۳ تا ۰٫۶	۰٫۲۵

چ-۳ عدم قطعیت‌ها در عمق (u_d)

در مورد عمق‌های تا ۰٫۳۰۰ متر، عدم قطعیت استاندارد بهتر است از ٪۱٫۵ و و در مورد عمق‌های بیش از ۰٫۳۰۰ متر، از ٪۰٫۵ تجاوز نکند.

به عنوان مثال، عدم قطعیت استاندارد در عمق یک رود آبرفتی[1] که عمق آن از ۲ متر تا ۷ متر تغییر می‌کند و سرعت تا ۱٫۵m/s بالاتر می‌رود، برای این شرایط با استفاده از کابل معلق، حدود ۰٫۰۵ متر اندازه‌گیری شده است.

مثال دیگر، اندازه‌گیری‌های عمق، در عمقی از ۶ متر با میله‌های عمق سنجی و در عمق بیشتر به وسیله لاگ لاین[2] و تصحیحات با ایر-لاین[3] استاندارد و وت-لاین[4] انجام گرفته است. این مشاهدات در سرعت m/s ۰٫۸۷ تا m/s ۱٫۳ انجام شده است. عدم قطعیت‌های مطلق (برحسب متر) تعیین شده و عدم قطعیت‌های نسبی براساس نیمه عمق محاسبه شده‌اند. نتایج در جدول چ-۲ ارائه شده است.

جدول چ-۲- مثال عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌های عمق

گستره عمق (متر)	عدم قطعیت مطلق (متر)	عدم قطعیت نسبی ٪	ملاحظات
۰٫۴ تا ۶	۰٫۰۲	۰٫۶۵	با میله مدرج عمق سنجی
۶ تا ۱۴	۰٫۰۲۵	۰٫۲۵	با تصحیحات لاگ لاین، ایر-لاین، وت-لاین
یادآوری- ستون سوم عدم قطعیت نسبی از ستون دوم عدم قطعیت مطلق با استفاده از عمق‌های میانه گستره ۳٫۲m و ۱۰m محاسبه می‌شود.			

چ-۴ عدم قطعیت‌ها در تعیین میانگین سرعت

چ-۴-۱ زمان‌های در معرض قرار گرفتن

عدم قطعیت استاندارد در اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای به دست آمده در زمان‌ها و نقاط مختلف در معرض قرار گرفتن در مقطع قائم که در جدول چ-۳ نشان داده شده است مانند یک راهنما است و توصیه می‌شود توسط کاربر تصدیق شود. مقادیر به صورت درصد عدم قطعیت‌های استاندارد، با سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸ ارائه شده است.

1- Alluvial river
2- Log line
3- Air-line
4- Wet-line

جدول چ-۳- عدم قطعیت‌های درصدی، در اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای به علت محدودیت زمان در معرض قرار گرفتن (عدم قطعیت‌های استاندارد، سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸)

سرعت m/s	نقطه در مقطع قائم							
	۰٫۲، ۰٫۴ یا ۰٫۶ عمق				۰٫۸ یا ۰٫۹ عمق			
	زمان در معرض قرار گرفتن دقیقه							
	۰/۵	۱	۲	۳	۰/۵	۱	۲	۳
۰٫۰۵۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۴۰	۳۰	۲۵	۲۰
۰٫۱۰۰	۱۴	۱۱	۸	۷	۱۷	۱۴	۱۰	۸
۰٫۲۰۰	۸	۶	۵	۴	۹	۷	۵	۴
۰٫۳۰۰	۵	۴	۳	۳	۵	۴	۳	۳
۰٫۴۰۰	۴	۳	۳	۳	۴	۳	۳	۳
۰٫۵۰۰	۴	۳	۳	۲	۴	۳	۳	۲
۱٫۰۰۰	۴	۳	۳	۲	۴	۳	۳	۲
بالای ۱٫۰۰۰	۴	۳	۳	۲	۴	۳	۳	۲

چ-۴-۲ تعداد نقاط در مقطع قائم (u_p)

مقادیر عدم قطعیت نشان داده شده در جدول چ-۴ از چند نمونه نامنظم منحنی سرعت مقطع قائم نتیجه شده است.

جدول چ-۴- عدم قطعیت‌های درصدی در اندازه‌گیری سرعت میانگین در یک مقطع قائم به علت تعداد محدود نقاط در مقطع قائم (عدم قطعیت‌های استاندارد، سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸)

روش اندازه گیری	عدم قطعیت‌ها ٪
توزیع سرعت	۰٫۵
۵ نقطه	۲٫۵
۲ نقطه (۰٫۲ عمق و ۰٫۸ عمق)	۳٫۵
۱ نقطه (۰٫۶ عمق)	۷٫۵
سطح	۱۵

چ-۴-۳ رتبه[1] قسمت چرخشی جریان‌سنج (u_c)

عدم قطعیت‌های نشان داده شده در جدول چ-۵ مانند یک راهنما است و مبتنی بر آزمایشات انجام شده در مخازن رتبه بندی[2] شده است.

جدول چ-۵- عدم قطعیت‌های درصدی در اندازه‌گیری سرعت نقطه به علت خطای رتبه کنتور[3]
(عدم قطعیت‌های استاندارد، سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸)

سرعت اندازه‌گیری m/s	عدم قطعیت ٪	
	رتبه اختصاصی[4]	رتبه گروهی یا استاندارد[5]
۰/۰۳	۱۰	۱۰
۰/۱۰	۲/۵	۵
۰/۱۵	۱/۲۵	۲/۵
۰/۲۵	۱/۰	۲/۰
۰/۵۰	۰/۵	۱/۵
بالای ۰/۵۰	۰/۵	۱/۰

چ-۴-۴ تعداد مقاطع قائم (u_m)

مقادیر عدم قطعیت نشان داده شده در جدول چ-۶ مانند یک راهنما است و توصیه می‌شود توسط کاربر تصدیق شود.

1- Rating
2- Rating tanks
3- Meter rating
4- Individual rating
5- Group or standard rating

جدول چ-۶- عدم قطعیت‌های درصدی در اندازه‌گیری سرعت میانگین به علت تعداد محدود مقطع قائم (عدم قطعیت‌های استاندارد، سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸)

تعداد مقاطع قائم	عدم قطعیت‌ها ٪
۵	۷/۵
۱۰	۴/۵
۱۵	۳/۰
۲۰	۲/۵
۲۵	۲/۰
۳۰	۱/۵
۳۵	۱
۴۰	۱
۴۵	۱

پیوست ح

(اطلاعاتی)

محاسبه عدم قطعیت در اندازه‌گیری توسط جریان‌سنج

ح-۱ کلیات

بررسی عدم قطعیت کلی اندازه‌گیری جریان در کانال باز با روش سرعت-مساحت به عنوان نمونه درنظر گرفته می‌شود.

این مثال محاسبه عدم قطعیت در یک اندازه‌گیری جریان (دبی) که با بررسی سرعت-مساحت بوسیله یک جریان‌سنج انجام شده است را نشان می‌دهد.

ح-۲ روش

به‌طور خلاصه روش اندازه‌گیری شامل تقسیم سطح مقطع کانال تحت بررسی به بخش‌های m مقطع قائم و اندازه‌گیری پهنا، عمق و میانگین سرعت است که به ترتیب با b_i، d_i و $\bar{v}_i$ مشخص می‌شوند و با هر مقطع قائم i در ارتباط است.

سرعت میانگین محاسبه شده از اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای در هر مقطع قائم، در هر یک از عمق‌های مقطع قائم بدست آمده است. جریان محاسبه شده به شرح زیر است:

$$Q = F\sum_{i=1}^{m} b_i d_i \bar{v}_i \qquad \text{(ح-۱)}$$

که در آن:

Q جریان (برحسب (m^3/s) است؛

F ضریبی است که به عنوان یکایی فرض می‌شود که جمع مجزای تعداد متناهی مقاطع قائم را به انتگرال تابع پیوسته در سطح مقطع مربوط می‌کند (به زیربند ۴-۳ مراجعه شود). عدم قطعیت ترکیبی نسبی استاندارد (درصد) در اندازه‌گیری با معادله زیر ارائه می‌شود:

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(\left(b_i d_i \bar{v}_i\right)^2\left(u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{v,i}^2\right)\right)}{\sum_{i=1}^{m}\left(b_i d_i \bar{v}_i\right)^2} \qquad \text{(ح-۲)}$$

که در آن:

$u(Q)$ عدم قطعیت ترکیبی نسبی استاندارد (درصد) دبی است؛

$u_{b,i}$, $u_{d,i}$, $u_{v,i}$ عدم قطعیت‌های استاندارد نسبی (درصد) در پهنا، عمق و سرعت میانگین اندازه‌گیری شده در مقطع قائم i هستند؛

u_s عدم قطعیت به علت خطاهای کالیبراسیون جریان‌سنج، دستگاه‌های اندازه‌گیری پهنا و دستگاه‌های عمق سنجی است:

$= \left(u_{cm}^2 + u_{bm}^2 + u_{ds}^2\right)^{1/2}$ مقدار تخمینی ۱٪ برای این عبارت درنظر گرفته شده است؛

u_m عدم قطعیت به علت تعداد محدود مقاطع قائم است؛

m تعداد مقاطع قائم است.

سرعت میانگین $\bar{v}_i$ در مقطع قائم i، متوسط اندازه‌گیری‌های سرعت در چند عمق مقطع قائم است.

عدم قطعیت $\bar{v}_i$ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$u\left(\bar{v}_i\right)^2 = u_{p,i}^2 + \left(\frac{1}{n_i}\right)\left(u_{c,i}^2 + u_{e,i}^2\right) \qquad \text{(ح-۳)}$$

که در آن:

$u_{p,i}$ عدم قطعیت سرعت میانگین $\bar{v}_i$ به علت تعداد محدود عمق‌ها در اندازه‌گیری‌های سرعت در مقطع قائم i است؛

n_i تعداد عمق‌ها در مقطع قائم i در اندازه‌گیری‌های سرعت است؛

$u_{c,i}$ عدم قطعیت سرعت نقطه‌ای در عمق خاص از مقطع قائم i به علت تغییر حساسیت جریان‌سنج است؛

$u_{e,i}$ عدم قطعیت سرعت نقطه‌ای در عمق خاص از مقطع قائم i به علت نوسانات (ضربان) جریان است.

و با ترکیب دو معادله ح-۲ و ح-۳ داریم:

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(\left(b_i d_i \bar{v}_i\right)^2\left(u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{p,i}^2 + \left(\frac{1}{n_i}\right)\left(u_{c,i}^2 + u_{e,i}^2\right)\right)\right)}{\left(\sum_{i=1}^{m} b_i d_i \bar{v}_i\right)^2} \qquad \text{(ح-۴)}$$

اگر اندازه‌گیری مقاطع قائم قرار گرفته طوری باشند که دبی‌های بخش (b_i d_i v_i) تقریباً برابر باشند و اگر عدم قطعیت‌های جزئی از مقطع قائمی به مقطع قائم دیگر برابر باشند، معادله ح-۴ ساده می‌شود:

$$u(Q) = \left[u_m^2 + u_s^2 + \left(\frac{1}{m}\right)\left(u_b^2 + u_d^2 + u_p^2 + \left(\frac{1}{n}\right)\left(u_c^2 + u_e^2\right)\right)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(ح-۵)}$$

ح-۳ مثال عملی

برای محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری جریان‌سنج به موارد زیر نیاز دارد:

- تعداد مقاطع قائم مورد استفاده در اندازه‌گیری ۲۰
- تعداد نقاط داده شده در مقطع قائم (۰/۲ عمق و ۰/۸ عمق) ۲
- سرعت متوسط در مقطع اندازه‌گیری بالای ۰/۳ms
- زمان در معرض قرار گرفتن جریان‌سنج در هر دو نقطه ۳ دقیقه
- رتبه جریان‌سنج رتبه اختصاصی

عدم قطعیت‌های جزئی به دست آمده برای این مثال از ISO 748: 1997 Annex E (به عنوان پیوست چ این استاندارد) به دست آمده است. مقادیر عدم قطعیت‌های جزئی به عنوان عدم قطعیت‌های نسبی استاندارد (سطح اطمینان تقریباً ٪۶۸) به صورت درصد بیان می‌شود.

توجه داشته باشید که در ویرایش‌های نسخه ISO 748: 1997 و قبل از آن، پیوست E عدم قطعیت‌ها به عنوان مقادیر "دو سیگما" (سطح اطمینان تقریباً ٪۹۵) بیان شده است. برای انطباق با راهنمای ISO/IEC Guide 98، مقادیر "دو سیگما" به دو عدم قطعیت استاندارد (مقادیر "یک سیگما") تقسیم شده است.

u_m ۲/۵ (به جدول چ-۲ مراجعه شود)

u_s ۱/۰ (به بالایی مراجعه شود)

u_b ۰/۵ (به جدول چ-۱ مراجعه شود)

u_d ۰/۵ (به جدول چ-۲ مراجعه شود)

u_p ۳/۵ (به جدول چ-۴ مراجعه شود)

u_c ۰/۹ (به جدول چ-۵ مراجعه شود)

u_e ۳/۰ (در ۰/۲ عمق) (به جدول چ-۳ مراجعه شود)

۳/۰ (در۰/۸ عمق) (به جدول چ-۳ مراجعه شود)

بنابراین از معادله ح-۵ داریم:

$$u(Q)=\left[u_m^2+u_s^2+\left(\frac{1}{m}\right)\left(u_b^2+u_d^2+u_p^2+\left(\frac{1}{n}\right)\left(u_c^2+u_e^2\right)\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$u(Q)=\left[2{,}5^2+1^2+\left(\frac{1}{20}\right)\left(0{,}5^2+0{,}5^2+3{,}5^2+\left(\frac{1}{2}\right)\left(0{,}9^2+4{,}2^2\right)\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

و داریم:

٪۲٫۸۹ = u(Q) که ٪۳ بیان می‌شود.

عدم قطعیت گسترده U، ضریب پوشش k، سطح اطمینان تقریباً ٪۹۵

$U_{(k=2)}(Q) = ku(Q)$

$= ۲ \times ۳٪$

$= ٪۶$

$U(Q) = ٪۶$

حال اگر جریان اندازه‌گیری، Qm^3/s باشد، نتیجه اندازه‌گیری چنین بیان می‌شود:

$Qm^3/s \pm ۶٪$ (عدم قطعیت گسترده، ضریب پوشش k=۲، سطح اطمینان تقریباً ٪۹۵)

یادآوری- محاسبه عدم قطعیت بالا، بررسی نوع "B" عدم قطعیت از عدم قطعیت‌های جزئی در ISO 747 برمبنای اندازه‌گیری‌های قبلی و داده‌های کالیبراسیون است.

کتابنامه

[1] ISO/IEC Guide 98, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*

[2] ISO 772, *Hydrometric determinations — Vocabulary and symbols*

[3] ISO 5168, *Measurement of fluid flow — Procedures for the evaluation of uncertainties*

[4] ISO/TR 7178:1983, *Liquid flow measurement in open channels — Velocity-area methods — Investigation of total error*