

نگاهی متفاوت به مدل سازی ریاضی خطاهای سیستماتیک در ترازیبی (مطالعه موردی: شبکه ترازیبی درجه یک ایران)

یحیی جمور

دانشیار آموزشکده نقشه برداری - سازمان نقشه برداری کشور - تهران - ایران
djamour@ncc.org.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۲، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۳)

چکیده

در مشاهدات ترازیبی همیشه خطاهای سیستماتیک وجود دارد. این خطاها یکی از عوامل محدود کننده دقت در کارهای ترازیبی دقیق می باشد. بنابراین ضرورت بکارگیری روش های مختلف برای حذف یا تا حد امکان کاهش این خطاها امری بدیهی است. هدف اصلی از انجام این تحقیق یافتن یک راه حل مبتنی بر مدلسازی ریاضی رفتار اختلافات رفت و برگشت هر قطعه ترازیبی برای کاهش یا حذف برآیند خطاهای سیستماتیک مؤثر بر مشاهدات ترازیبی است. در این پژوهش سعی شده است، بدون در نظر گرفتن داده های فیزیکی مورد نیاز برای تصحیح خطاهای سیستماتیک و تنها توجه به ضرورت تصادفی بودن خطاهای باقیمانده قبل از سرشکنی، مدلسازی ریاضی خطاهای سیستماتیک برای پنج لوپ از شبکه ترازیبی دقیق کشور انجام شود و با نتایج فیزیکی حاصل از مدلسازی مورد مقایسه قرار گیرند. آنچه از مقایسه نتایج به دست آمده است حاکی از آن است که نتایج سرشکنی اختلاف ارتفاعات خام (بدون هیچ نوع تصحیحی) با نتایج حاصل از سرشکنی اختلاف ارتفاعات تصحیح شده به روش فیزیکی (تصحیح انکسار) بسیار به هم نزدیک بوده و عملاً تفاوت معنی داری بین آنها وجود ندارد.

واژگان کلیدی: ترازیبی دقیق، خطاهای سیستماتیک، مدلسازی ریاضی، تصحیحات داده های ترازیبی.

۱- مقدمه

که حجم قابل توجهی از مشاهدات ترازیبی دقیق شبکه های ارتفاعی، بصورت خاص تمام مشاهدات ترازیبی دقیق در تکرار اول، فاقد این داده های کمی هستند و امکان استفاده از مدل های فیزیکی و اعمال تصحیحات مربوط را نداریم. از این رو به نظر می رسد یکی از بهترین روش های برآورد خطاهای سیستماتیک و حذف یا کاهش آن، بکارگیری تئوری تقریب و مدلسازی ریاضی خطاهای سیستماتیک براساس رفتار باقیمانده های رفت و برگشت هر قطعه و خط ترازیبی باشد.

۲- داده های ترازیبی مورد استفاده

شبکه ترازیبی درجه یک کشور جمهوری اسلامی ایران تاکنون دوبار مورد اندازه گیری قرار گرفته است. اولین بار توسط سازمان نقشه برداری کشور (NCC) به یک ترازیب N3-Wild و شاخص انوار اندازه گیری شد. این شبکه مشتمل بر ۹۸ لوپ، ۲۳۷ خط ترازیبی به طول تقریبی ۳۰۰۰۰ کیلومتر، حدود ۱۳۰۰۰ نقطه ارتفاعی و بیش از یک میلیون دهانه است. شبکه ترازیبی درجه یک کشور از سال ها پیش مجدداً به کمک یک ترازیب رقومی جدید Ziess DINI-12 و شاخص بارکدی مورد اندازه گیری قرار گرفته اند.

تمام خطوط ترازیبی بصورت مستقل مطابق با قواعد تعبیه شده از سوی انجمن بین المللی ژئودزی (IAG) به شکل رفت و برگشت و دقیق ترازیبی شده اند. به موجب قواعد پذیرفته شده توسط IAG در سال ۱۹۴۸، اختلاف بین اندازه گیری های رفت و برگشت برای شبکه درجه یک نباید از ۳ mm/km تجاوز کند. این قاعده تا زمانی معتبر است که طول خط ترازیبی کمتر از چندین ده کیلومتر باشد [۱]. دقت متوسط خطوط ترازیبی ایران بوسیله معمارزاده [۷] $1/43 \text{ mm/km}$ برآورد شده است که نشان از دقت بالای مشاهدات دارد. از آنجاکه تعداد خطوط و لوپ های ترازیبی موجود در شبکه ترازیبی دقیق کشور خیلی زیاد هستند و از حوصله یک تحقیق خارج هستند، تعداد پنج لوپ شامل ۲۷ خط در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱). به عنوان نمونه مشخصات یک لوپ از آنها در جدول ۱ نمایش داده شده است. در انتخاب این لوپ ها و خطوط سعی شده است تا حد امکان مشاهدات ترازیبی در هر دو تکرار موجود و

پاکسازی مشاهدات ژئودزی از وجود انواع خطاهای بزرگ و سیستماتیک بویژه در کارهای دقیق مانند ایجاد شبکه های مبنایی ارتفاعی و مطالعات تغییر شکل های ارتفاعی همواره مطرح بوده است. از آنجا که کشور ایران در یک منطقه فعال تکتونیکی و لرزه زا قرار گرفته است، لذا علاوه بر کاربرد مشاهدات ترازیبی دقیق در ایجاد و گسترش شبکه های مبنایی ارتفاعی از مشاهدات تکراری آن در برآورد و مدلسازی های تغییرشکل ارتفاعی نیز استفاده می شود. ترازیبی دقیق، علیرغم سادگی محاسبات آن، به دلیل وجود انواع خطاهای سیستماتیک به یکی از پیچیده ترین مباحث در ژئودزی تبدیل شده است. یکی از عوامل محدود کننده دقت در ترازیبی های دقیق وجود منابع مختلف و بعضاً ناشناخته خطاهای سیستماتیک است. بنابراین ضرورت بکارگیری روش های مختلف برای حذف یا تا حد مقدور کاهش این خطاها امری بدیهی است.

تا کنون تلاش های زیادی برای شناسایی و حذف یا کم کردن این نوع خطاها شده است. روش های بکار برده شده بر پایه شناخت فیزیکی و تجربی منبع خطا استوار بوده است. بنابراین با استفاده از مدل های فیزیکی و تجربی موجود اقدام به تصحیح خطاهای سیستماتیک ترازیبی و سپس سرشکنی شده است. در این طرح سعی شده است بدون در نظر گرفتن داده های فیزیکی مورد نیاز برای تصحیح خطاهای سیستماتیک و تنها توجه به ضرورت تصادفی بودن خطاهای باقیمانده قبل از سرشکنی، مدلسازی ریاضی خطاهای سیستماتیک تا حد امکان انجام می شود و با نتایج قبلی مورد مقایسه قرار گیرند.

ویژگی روش مورد نظر در این طرح عدم نیاز به داده های کمی و مدل های فیزیکی و تجربی است که نتیجه آن سادگی و سرعت در محاسبات تصحیحات مربوط می باشد. چنانچه نتیجه طرح بهتر یا حتی مشابه با نتایج روش جاری باشد، می توان گفت به لحاظ اقتصادی تحولی شگرف در کاهش هزینه های جاری عملیات صحرائی و محاسبات دفتری بوجود خواهد آمد. حتی اگر روش جاری در جمع آوری داده های کمی نظیر تغییرات ارتفاعی دما را بپذیریم، باید متوجه باشیم

۴- مدلسازی ریاضی و تصحیح خطاهای سیستماتیک

برای رفع یا به حداقل رساندن این خطاها روش های متفاوتی توسط افراد مختلف معرفی شده است [۱۰، ۱۱، ۳، ۲، ۴، ۵، ۹].

صرف نظر تصحیح ارتومتریک، به سراغ سایر منابع خطاهای سیستماتیک می‌رویم و برآیند آنها را با هم در اختلاف رفت و برگشت هر قطعه ترازیابی مدلسازی می‌کنیم. در این مرحله از تحقیق اختلافات رفت و برگشت در هر خط ترازیابی بر حسب میلی‌متر محاسبه (Δ_i) و با استفاده از تکنیک کمترین مربعات یک مدل خطی ساده به منحنی تجمعی آنها در طول خط برازش گردید. اساس این برازش مبتنی بر این است که اختلاف رفت و برگشت هر دهنه ترکیبی از دو بخش خطای سیستماتیک و اتفاقی است. با این برازش سعی می‌شود بخش سیستماتیک شناسایی و مدلسازی گردد. پس از تعیین مدل خطی خطای سیستماتیک، متناسب با مسافت هر قطعه، اختلاف رفت و برگشت تصحیح شده مربوط (Δ_i^c) به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\Delta_i^c = \Delta_i - S_i \quad (1)$$

که در آن S_i خطای سیستماتیک قطعه i ام بر حسب میلی‌متر برای مسافت l_i بر حسب کیلومتر از مدل خطی برازش شده به دست می‌آید.

یادآوری می‌شود که در هر قطعه، دو اختلاف ارتفاع عاری از خطا در رفت (ΔH_f^c) و برگشت (ΔH_b^c) تابعی از اندازه گیری اختلاف ارتفاع در رفت (ΔH_f) و برگشت (ΔH_b) و برآیند دو خطای سیستماتیک و اتفاقی در رفت (e_f) و برگشت (e_b) است که به عنوان تصحیحات واقعی به مشاهدات رفت و برگشت در نظر گرفته می‌شوند.

$$\begin{aligned} \Delta H_f^c &= \Delta H_f - e_f \\ \Delta H_b^c &= \Delta H_b - e_b \end{aligned} \quad (2)$$

بنابراین میانگین اختلاف ارتفاع حاصل از اندازه گیری رفت و برگشت ($\overline{\Delta H}$) نیز متأثر از برآیند دو خطای سیستماتیک و اتفاقی در رفت (e_f) و برگشت (e_b)

اطلاعات کمکی نظیر داده های تفاضلی جوی و ثقل نقاط ارتفاعی در دسترس باشند.



شکل ۱- لوپ ها و خطوط ترازیابی دقیق مورد استفاده در این تحقیق

جدول ۱- مشخصات هندسی و آماری لوپ CK و خطوط ترازیابی مرتبط با آن

Line Name	Mean Length (km)	Mean Slope (%)	$\Delta \bar{H}$ (m)
CBCK	69.796	1.01	-427.82251
CCCK	486.328	2.55	-1115.96077
CJCK	92.524	0.17	-1.20932
CKCL	91.415	0.86	-256.38691
CKCQ	251.225	1.20	847.12600
CKCR	68.911	4.14	932.19811
CKCS	282.040	3.40	22.24205

۳- محاسبه تصحیحات فیزیکی

در حال حاضر در سازمان نقشه برداری کشور تنها با اتکا به خطای سیستماتیک انکسار و مدلسازی آن به کمک داده های فیزیکی (مقادیر تفاضلی دما و سایر اطلاعات جوی)، اختلاف ارتفاعات مورد تصحیح قرار می‌گیرند. در جدول ۲ مقادیر اختلاف ارتفاعات تصحیح شده با استفاده از این روش نمایش داده شده‌اند. بعد از اعمال تصحیح ارتومتریک، خطای بست لوپ CK قبل و پس از تصحیح فیزیکی به ترتیب برابر ۵۵،۴ میلی‌متر و ۳۶،۸ میلی‌متر بدست آمده است.

جدول ۲- اثر تصحیحات فیزیکی (انکسار) و ارتومتریک برای لوپ ترازیابی CK

Line Name	$\Delta \bar{H}$ (m)	Phy. Corr. $\Delta \bar{H}$ (m)	Orthometric Effect (mm)
CBCK	-427.82251	-427.82188	-8.9
CCCK	-1115.96077	-1115.95880	-2.8
CJCK	-1.20932	-1.206227	1.0
CKCL	-256.38691	-256.38693	-197.2
CKCQ	847.12600	847.1102978	80.5
CKCR	932.19811	932.188598	187.4
CKCS	22.24205	22.242992	-191.2
Result	0.18665	0.1680508	-131.2

جدول ۳- اثر تصحیحات ریاضی (انکسار و سایر منابع خطاها) و ارتومتریک برای لوپ ترازیبی CK

Line Name	$\Delta\bar{H}$ (m)	Corrected $\Delta\bar{H}$ (m)	Orthometric Effect (mm)
CBCK	-427.82251	-427.82533	-8.9
CCCK	-1115.96077	-1116.07925	-2.8
CJCK	-1.20932	-1.21916	1.0
CKCL	-256.38691	-256.38845	-197.2
CKCQ	847.12600	847.11619	80.5
CKCR	932.19811	932.21184	187.4
CKCS	22.24205	22.29140	-191.2
Result	0.18665	0.10724	-131.2

۵- رفتار اختلافات رفت و برگشت در خطوط ترازیبی

صرف نظر از تصحیح ارتومتریک، از مجموعه خطاهای سیستماتیک مذکور در سازمان نقشه برداری کشور تنها به خطای انکسار پرداخته شده است و تصحیح این نوع خطا بر پایه داده‌های دماسنج‌های تفاضلی نصب شده بر روی شاخص‌های ترازیبی اعمال می‌شود. لذا اختلاف ارتفاعات مورد مقایسه در این تحقیق اختلاف ارتفاعات تصحیح شده حاصل از اعمال تصحیح انکسار با داده‌های فیزیکی می‌باشد. همانگونه که پیشتر نیز گفته شد، در این تحقیق به تشریح چگونگی اعمال تصحیحات خطاهای سیستماتیک مختلف صرف نظر از منبع آن می‌پردازیم که در واقع به هیچ داده فیزیکی نیاز نمی‌باشد و تنها بر اساس رفتار اختلافات رفت و برگشت در هر خط استوار است. برای نیل به این مقصود اختلاف بین اختلاف ارتفاع رفت و برگشت برای تمام خطوط مورد مطالعه به صورت تجمعی محاسبه و بر حسب فاصله از شروع هر خط ترسیم شدند. به عنوان نمونه در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب نیمرخ تغییرات ارتفاعی و اختلافات رفت و برگشت خطوط مربوط به لوپ CK به صورت تجمعی نمایش داده شده‌اند. در تمام اینگونه شکل‌ها متوجه می‌شویم که رفتار اختلافات رفت و برگشت مشاهدات ترازیبی در هر خط به صورت تجمعی دارای یک ترند است که ساده‌ترین مدل ریاضی موافق با آن یک مدل خطی است. با فرض مدل خطی ترند مذکور و برداشتن آن از روی اختلافات رفت و برگشت مشاهدات ترازیبی، باقیمانده‌های آنها نیز نمایش داده شده‌اند که رفتار آنها تا حدود قابل قبولی بیانگر یک

می‌باشد که بر اساس رابطه بالا می‌توان تصحیح مربوط را منظور و به اختلاف ارتفاع عاری از خطا رسید.

$$\overline{\Delta H}^c = \frac{\Delta H_f^c + \Delta H_b^c}{2} \quad (3)$$

$$\overline{\Delta H}^c = \overline{\Delta H} - E_i$$

در رابطه فوق $\overline{\Delta H}$ بیانگر میانگین اختلاف ارتفاع خام رفت و برگشت در هر قطعه و E بیانگر میانگین برآیند دو خطای سیستماتیک و اتفاقی در رفت (e_f) و برگشت (e_b) است که به صورت به دست می‌آید.

$$E = \frac{e_f + e_b}{2} \quad (4)$$

چنانچه رابطه ساده اختلاف رفت و برگشت مشاهدات ترازیبی (Δ) را در هر قطعه در نظر بگیریم به سادگی می‌توانیم این اختلاف را به دو بخش سیستماتیک (S) و اتفاقی (Δ_r) تجزیه نماییم.

$$\Delta = (\Delta H_f^c + e_f) - (\Delta H_b^c + e_b) = \Delta_r + S_i \quad (5)$$

بنابراین پس از حذف بخش سیستماتیک از اختلاف رفت و برگشت مشاهدات ترازیبی، فقط بخش تصادفی باقی می‌ماند و در این حالت است که پس از اعمال تصحیح ارتومتریک مجاز به سرشکنی مشاهدات می‌باشیم. به طور طبیعی و بر اساس روابط [۶] و [۱] کیفیت مشاهدات بالاتر رفته و دقت اختلاف ارتفاع بین نقاط افزایش می‌یابد. مطابق [۴] با اعمال تصحیح زیر درستی یا صحت اختلاف ارتفاعات بین نقاط و نهایتاً ارتفاعات نقاط نیز بهبود می‌یابد.

$$\Delta H_i^c = \Delta H_i - \frac{1}{2} S_i \quad (6)$$

بر پایه روابط فوق، در جدول ۳ اختلاف ارتفاعات تصحیح شده برای انکسار و سایر منابع خطاها و تصحیح ارتومتریک برای لوپ CK نمایش داده شده‌اند. بعد از اعمال تصحیح ارتومتریک، خطای بست لوپ CK قبل و پس از تصحیح ریاضی به ترتیب برابر ۵۵٫۴ میلی‌متر و ۲۳٫۹ میلی‌متر بدست آمده است.

۶- مقایسه نتایج سرشکنی با اعمال تصحیحات ریاضی و بدون اعمال تصحیحات

در این بخش به مقایسه نتایج سرشکنی با اعمال تصحیحات حاصل از مدلسازی ریاضی، که در واقع یک مدل ساده خطی می باشد، و نتایج سرشکنی بدون اعمال هیچگونه تصحیحات می پردازیم. این مقایسه با اختلاف گیری بین ارتفاعات حاصل از دو سرشکنی مذکور، یکبار با استفاده از قدر مطلق اختلافات و یکبار به صورت مقادیر اختلافات واقعی انجام شده است.

مطابق جدول ۴ در می یابیم که دامنه این اختلافات برای ۱۴۳۶ ارتفاع سرشکن شده در مجموعه ۵ لوپ مورد مطالعه از حدود صفر تا ۹ سانتی متر با میانگین تقریبی ۳ سانتی متر برای هر دو حالت قدر مطلق اختلافات و مقادیر اختلافات واقعی می باشد. بنابراین تاثیر ناشی از اعمال تصحیحات حداکثر تا ۹ سانتی متر هم دیده می شود. هر چند اکثر اختلافات در بازه ۲- تا ۴ سانتی متر قرار گرفته اند، لیکن با در نظر داشتن انحراف معیار ۳۰ میلی متری حاصل از سرشکنی، می توان تاثیر قابل ملاحظه این تصحیحات را به وضوح مشاهده نمود. در واقع ضرورت اعمال این تصحیحات با توجه به نتایج آماری مذکور امری بدیهی است.

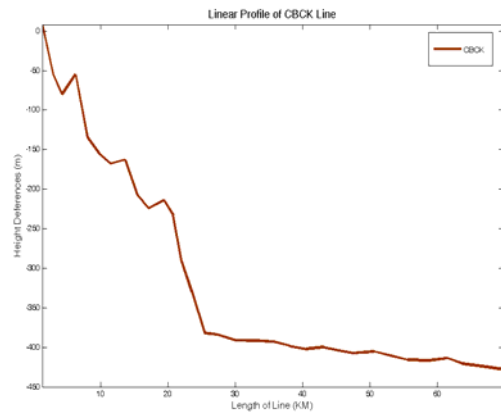
جدول ۴- مقادیر آماری مربوط به مقایسه نتایج سرشکنی ناشی از اعمال تصحیحات ریاضی و بدون اعمال تصحیحات

Statistical Results For Mathematical and Without Correction Comparison Data		
	Data	Abs (Data)
Num.	1436	1436
Max	0.092 (m)	0.092 (m)
Min	-0.016 (m)	0.000 (m)
Mean	0.026 (m)	0.029 (m)
SD	0.028 (m)	0.025 (m)
RMS	0.038 (m)	0.038 (m)
SUM	37.624 (m)	41.798 (m)

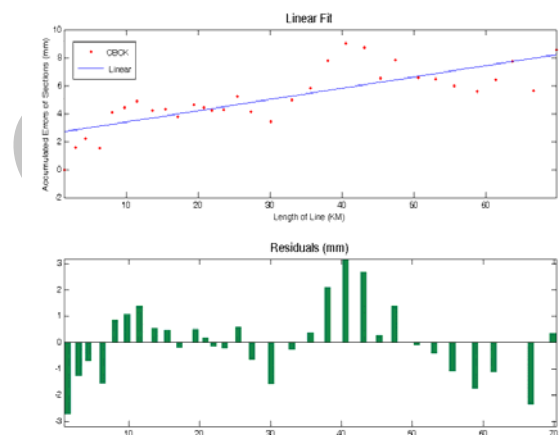
۷- مقایسه نتایج سرشکنی با اعمال تصحیحات فیزیکی و بدون اعمال تصحیحات

در این بخش به مقایسه نتایج سرشکنی با اعمال تصحیحات حاصل از مدلسازی فیزیکی، که در واقع استفاده از مدل های استاندارد انکسار بر پایه داده های جوی می باشد، و نتایج سرشکنی بدون اعمال هیچگونه

رفتار تصادفی می باشد. البته در برخی از نمودارها باقیمانده مزبور دارای رفتار تناوبی است که در این تحقیق از آن صرف نظر شده و تنها به مدل خطی بسنده شده است.



شکل ۲- نیمرخ اختلاف ارتفاع خط CBCK



شکل ۳- اختلافات رفت و برگشت قطعات به صورت تجمعی و برازش مدل خطی به آنها (بالا) و اختلافات رفت و برگشت قطعات به صورت تجمعی پس از اعمال مدل خطی (پایین)

با توجه به مطالب فوق، پنج لوپ مورد استفاده در این تحقیق سه مرتبه با اعمال تصحیحات ریاضی، اعمال تصحیحات فیزیکی (انکسار) و بدون اعمال تصحیحات توسط نرم افزار Geolab2001 سرشکنی گردیدند. شایان ذکر است در تمام سه حالت مذکور تصحیح ارتومتریک به صورت یکسان در نظر گرفته شده است. بنابراین اختلاف ارتفاعات سرشکن شده حاصل از این سه حالت استخراج و مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفتند. در ادامه به مقایسه دو به دوی این سه حالت می پردازیم.

مطابق جدول ۶ در می‌یابیم که دامنه این اختلافات برای ۱۴۳۶ ارتفاع سرشکن شده در مجموعه ۵ لوپ مورد مطالعه از حدود ۰ تا ۹ سانتی‌متر با میانگین تقریبی ۳ سانتی‌متر برای هر دو حالت قدر مطلق اختلافات و مقادیر اختلافات واقعی می‌باشد. نتایج مذکور بسیار به نتایج حاصل از مقایسه اعمال تصحیحات ریاضی و بدون اعمال تصحیحات نزدیک است. بنابراین اختلاف بین دو روش مدل‌سازی ریاضی و مدل‌سازی فیزیکی به صورت معنی‌داری مشاهده می‌گردد. با توجه به نتیجه قبل می‌توان مجدداً به ضرورت اعمال تصحیحات حاصل از مدل‌سازی ریاضی و امکان چشم پوشی از تصحیحات حاصل از مدل‌سازی فیزیکی (حداقل در این مطالعه موردی) اشاره نمود. تاکید می‌شود که مدل‌سازی خطی بدون توجه به نوع خطاهای سیستماتیک (مانند انکسار، نشست شاخص، فرونشست زمین و ...) بوده است در حالیکه در مدل‌سازی فیزیکی فقط به خطای انکسار توجه شده‌است.

جدول ۶ - مقادیر آماری مربوط به مقایسه نتایج سرشکنی ناشی از اعمال تصحیحات فیزیکی و اعمال تصحیحات ریاضی

Statistical Results For Mathematical and Physical Correction Comparison Data		
	Data	Abs (Data)
Num.	1436	1436
Max	0.094 (m)	0.094 (m)
Min	-0.014 (m)	0.000 (m)
Mean	0.029 (m)	0.031 (m)
SD	0.029 (m)	0.026 (m)
RMS	0.041 (m)	0.041 (m)
SUM	41.154 (m)	44.050 (m)

۹- نتیجه گیری و پیشنهادات

بر اساس بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام گرفته بر روی داده‌های ترازیبی دقیق ۵ لوپ انتخابی، رفتار مشاهدات ترازیبی بر اساس اختلافات تجمعی رفت و برگشت مشاهدات خام در هر قطعه دارای یک انحراف سیستماتیک مشخص می‌باشد.

پس از مدل‌سازی خطی انحرافات به روش کمترین مربعات و اعمال تصحیح ناشی از آن به اختلاف ارتفاعات برای هر نوبت اندازه‌گیری (مستقل)، اختلاف ارتفاعات خام، تصحیح شده در تحقیق حاضر و تصحیح شده به روش معمول در سازمان نقشه برداری کشور (تصحیح انکسار با استفاده از داده‌های جوی) به طور جداگانه مورد سرشکنی قرار گرفتند و نتایج حاصل از آنها دو به دو مورد

تصحیحات می‌پردازیم. این مقایسه با اختلاف‌گیری بین ارتفاعات حاصل از دو سرشکنی مذکور، یکبار با استفاده از قدر مطلق اختلافات و یکبار به صورت مقادیر اختلافات واقعی انجام شده است

مطابق جدول ۵ در می‌یابیم که دامنه این اختلافات برای ۱۴۳۶ ارتفاع سرشکن شده در مجموعه ۵ لوپ مورد مطالعه از حدود صفر تا ۱۲ میلی‌متر با میانگین تقریبی ۳ میلی‌متر برای هر دو حالت قدر مطلق اختلافات و مقادیر اختلافات واقعی می‌باشد. بنابراین تاثیر ناشی از اعمال تصحیحات حداکثر تا ۱۲ میلی‌متر دیده می‌شود که با توجه به انحراف معیار ۳۰ میلی‌متری حاصل از سرشکنی برای ارتفاعات نقاط (به جداول موجود در پیوست‌ها مراجعه شود)، اختلافات مذکور معنی‌دار نمی‌باشد. این بدین معنی است که اعمال تصحیحات حاصل از مدل‌سازی فیزیکی (انکسار) تاثیر معنی‌داری بر روی نتایج سرشکنی ندارد و عملاً می‌توان از این تصحیحات صرف نظر نمود.

جدول ۵ - مقادیر آماری مربوط به مقایسه نتایج سرشکنی ناشی از اعمال تصحیحات فیزیکی و بدون اعمال تصحیحات

Statistical Results For Physical and Without Correction Comparison Data		
	Data	Abs (Data)
Num.	1436	1436
Max	0.012 (m)	0.012 (m)
Min	-0.003 (m)	0.000 (m)
Mean	0.003 (m)	0.003 (m)
SD	0.003 (m)	0.003 (m)
RMS	0.004 (m)	0.004 (m)
SUM	3.530 (m)	4.092 (m)

۸- مقایسه نتایج سرشکنی با اعمال تصحیحات ریاضی و اعمال تصحیحات فیزیکی

در این بخش به مقایسه نتایج سرشکنی با اعمال تصحیحات حاصل از مدل‌سازی ریاضی، که در واقع یک مدل ساده خطی می‌باشد، و نتایج سرشکنی با اعمال تصحیحات حاصل از مدل‌سازی فیزیکی، که در واقع استفاده از مدل‌های استاندارد انکسار بر پایه داده‌های جوی می‌باشد، می‌پردازیم. این مقایسه با اختلاف‌گیری بین ارتفاعات حاصل از دو سرشکنی مذکور، یکبار با استفاده از قدر مطلق اختلافات و یکبار به صورت مقادیر اختلافات واقعی انجام شده‌است.

روش‌های فیزیکی و ریاضی مورد بحث در این تحقیق، پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

- ایجاد یک خط کالیبراسیون ترازبایی دقیق با ویژگی‌های منحصر به فرد که مجال توضیح آن در این تحقیق نمی‌باشد و انجام مشاهدات ترازبایی دقیق به روش‌های مختلف بر روی آن به منظور تحلیل خطاهای سیستماتیک و اتفاقی
- انتخاب تعداد لوب‌های بیشتر در مناطق دیگر کشور و انجام مطالعه حاضر بر روی آنها
- جستجوی مدل‌های فیزیکی انکسار مناسب‌تر بر پایه داده‌های جوی و انتخاب بهترین مدل
- مطالعه بر روی مدل‌سازی سایر منابع خطاها بویژه خطای کالیبراسیون شاخص‌ها و ترازبای‌ها و روش‌های موثرتر جمع‌آوری مشاهدات ترازبایی برای مقابله با منابع مختلف خطاهای سیستماتیک
- انتخاب مدل‌های غیرخطی برای مدل‌سازی خطاهای سیستماتیک به روش ریاضی و مقایسه آن با مطالعه حاضر

سپاسگزاری

بدینوسیله از سازمان نقشه برداری کشور به خاطر تامین داده‌های مورد نیاز و حمایت از انجام پژوهش حاضر قدردانی می‌گردد. همچنین بر خود لازم می‌دانم از آقایان مهندسین علیرضا منتظرین و سیاوش عربی، که سهم به‌سزایی در انجام این پژوهش داشته‌اند، صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

مقایسه قرار گرفتند. آنچه از مقایسه نتایج فوق به دست آمد، حاکی از آن است که نتایج سرشکنی اختلاف ارتفاعات خام (بدون هیچ نوع تصحیحی) با نتایج حاصل از سرشکنی اختلاف ارتفاعات تصحیح شده به روش فیزیکی (تصحیح انکسار) بسیار به هم نزدیک بوده و عملاً تفاوت معنی داری بین آنها وجود ندارد. بنابراین با توجه به تحقیقات قبلی نظیر [۷] و [۸] و تاکید بر روی اهمیت خطای سیستماتیک انکسار به عنوان یکی از مولفه‌های جدی اثر گذار بر روی مشاهدات ترازبایی، باید پذیرفت که مدل فیزیکی تصحیح مربوط (روش جاری در سازمان نقشه برداری کشور) مناسب نیست و بهتر است روی یک مدل فیزیکی مناسب‌تر تحقیق شود. در غیر این صورت جمع‌آوری داده‌های کمکی جوی و اعمال تصحیحات بر پایه مدل موجود از کارایی لازم برخوردار نخواهد بود. اما مقایسه نتایج سرشکنی اختلاف ارتفاعات تصحیح شده به روش ریاضی با دو حالت دیگر نشان‌دهنده یک تفاوت معنی دار است. بنابراین چنانچه بپذیریم که روش ریاضی (روش مورد بحث در این تحقیق) روشی مناسب است، در آن صورت نیازی به جمع‌آوری داده‌های کمکی جوی نیست و اعمال تصحیحات بسیار ضروری است. این موضوع بیانگر این مطلب نیز می‌باشد که در مواقعی که داده‌های کمکی اندازه‌گیری نشده است یا نمی‌شود (مانند تکرار اول شبکه ترازبایی دقیق و ترازبایی ایستگاه‌های چند منظوره ژئودزی)، این روش می‌تواند به عنوان یک روش کارا مورد استفاده قرار گیرد. به منظور ارزیابی صحیح تر و اظهار نظر قطعی در مورد درستی و کارایی

مراجع

- [1] Bomford G. (1980), *Geodesy*. Oxford University Press, 4th edition, London, 731 p.
- [2] Craymer M. R., P. Vanicek, R. O. Castle (1995), Estimation in rod scale errors in geodetic levelling, *J. Geophys. Res.*, 100, B8, 15 129–15 145.
- [3] Fourniguet J. (1987), *Geodynamique actuelle dans le Nord-Est de la France*, Apport des comparaisons de nivellements, *Mem. BRGM*, 127, 173 p.
- [4] Giménez J., E. Surinach, J. Fleta, X. Goula (1996), Recent vertical movements from high precision levelling data in Northeast Spain. *Tectonophysics*, 263, 149–161.
- [5] Jackson D., B. Lee, L. Chi-Ching (1981), Height dependent errors in Southern California leveling. In: *Earthquake Prediction: An International Review*, A.G.U. Maurice Ewing Series no. 4, 457–472.

- [6] Lallemand C. (1889), Nivellement de haute précision. In: Durand, L. (Ed.), *Encycl. des Trav. Publ. extrait de: Traite des plans et nivellement, Pelleton et Lallemand.*
- [7] Memarzadeh Y. (1998), Refraction effect and statistical analysis of the Iranian first order precise levelling data. M.Sc. thesis, Dep. of Surveying Engineering, K. N. Toosi University, Tehran, Iran.
- [8] Mousavi-Alkazemi H. (1996), Testing the efficiency of levelling corrections in Iranian first order network. M.Sc. thesis, Dep. of Surveying Engineering, K. N. Toosi University, Tehran, Iran.
- [9] Reilinger R., and L. Brown (1981), Neotectonic deformation, near-surface movements and systematic errors in U.S. leveling measurements. Implications for earthquake prediction. In: *Earthquake Prediction: An International Review*, A.G.U. Maurice Ewing Series no. 4, 422–440.
- [10] Stein R. S. (1981), Discrimination of tectonic displacement from slope-dependent errors in geodetic leveling from southern California, 1953-1979, in *Maurice Ewing Series for Earthquake Prediction and International Review*, edited by D. W. Simpson and P. G. Richards, AGU, Washington D. C., 441-456.

Archive of SID