نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره سوم، شماره ۴، اردیبهشت ماه ۱۳۹۳

نگاهی متفاوت به مدل‌سازی ریاضی خطاهای سیستماتیک در ترازیابی (مطالعه موردی: شبکه ترازیابی 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 ترازیابی همیشه خطاهای سیستماتیک وجود دارد.این خطاها یکی از عوامل محدود کننده دقت در کارهای ترازیابی 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 ترازیابی برای کاهش یا حذف برآیند خطا های سیستماتیک مؤثر بر مشاهدات ترازیابی 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 ترازیابی 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 عملا تفاوت معنی داری بین آنها وجود ندارد.

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

۱- مقدمه

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 ترازیابی دقیق در ایجاد و گسترش شبکه های مبنایی ارتفاعی از مشاهدات تکراری آن در برآورد و مدلسازی های تغییرشکل ارتفاعی نیز استفاده می شود. ترازیابی 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 درترازیابی های دقیق وجود منابع مختلف و بعضا 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 ترازیابی 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 داده‌های کمکی 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 صحرایی و محاسبات دفتری بوجود خواهد آمد. حتی اگر روش جاری در جمع آوری داده های کمکی نظیر تغییرات ارتفاعی دما را بپذیریم، باید متوجه باشیم که حجم قابل توجهی از مشاهدات ترازیابی دقیق شبکه های ارتفاعی، بصورت خاص تمام مشاهدات ترازیابی دقیق در تکرار اول، فاقد این داده های کمکی 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 باقیمانده‌های رفت و برگشت هر قطعه و خط ترازیابی باشد.

۲- داده‌های ترازیابی مورد استفاده

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

تمام خطوط ترازیابی بصورت مستقل مطابق با قواعد تعبیه شده از سوی انجمن بین‌المللی ژئودزی (IAG) به شکل رفت و برگشت و دقیق ترازیابی شده‌اند. به موجب قواعد پذیرفته شده توسط IAG در سال ۱۹۴۸، اختلاف بین اندازه‌گیری‌های رفت و برگشت برای شبکه درجه یک نباید از ۳ mm/km تجـــاوز کنـد. این قاعده تا زمانی معتبر است که طول خط ترازیابی کمتر از چندین ده کیلومتر باشد [۱]. دقت متوسط خطوط ترازیابی ایران بوسیله معمارزاده [۷] ۱/۴۳mm/km برآورد شده است که نشان از دقت بالای مشاهدات دارد. از آنجاکه تعداد خطوط و لوپ‌های ترازیابی موجود در شبکه ترازیابی 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 ترازیابی در هر دو تکرار موجود و

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 (%)	$\Delta\overline{H}$ (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 می گیرند. 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 میلی متر و ۳۶،۸ میلی متر بدست آمده است.

جدول۲- اثر تصحیحات فیزیکی (انکسار) و ارتومتریک برای لوپ ترازیابی CK

Line Name	$\Delta\overline{H}$ (m)	Phy. Corr. $\Delta\overline{H}$ (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**

۴- مدلسازی ریاضی و تصحیح خطاهای سیستماتیک

برای رفع یا به حداقل رساندن این خطاها روش های متفاوتی توسط افراد مختلف معرفی شده است [۱،۳،۲،۴،۵،۹،۱۰].

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 می-کنیم. 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.

$$\Delta_i^c = \Delta_i - S_i \qquad (۱)$$

که در آن S_i خطای سیستماتیک قطعه i ام بر حسب میلی متر بازای مسافت l_i بر حسب کیلومتر از مدل خطی برازش شده به دست می آید.

یادآوری می شود 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 می شوند.

$$\Delta H_f^c = \Delta H_f - e_f$$
$$\Delta H_b^c = \Delta H_b - e_{bi} \qquad (۲)$$

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

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

$$\overline{\Delta H}^{c} = \frac{\Delta H_f^c + \Delta H_b^c}{2}$$
$$\overline{\Delta H}^{c} = \overline{\Delta H} - E_i \qquad (۳)$$

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.

$$E = \frac{e_f + e_b}{2} \qquad (۴)$$

چنانچه رابطه ساده اختلاف رفت و برگشت مشاهدات ترازیابی (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.

$$\Delta = (\Delta H_f^c + e_f) - (\Delta H_b^c + e_b) = \Delta_r + S_i \qquad (۵)$$

بنابراین پس از حذف بخش سیستماتیک از اختلاف رفت و برگشت مشاهدات ترازیابی، فقط بخش تصادفی باقی می ماند 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 می یابد. مطابق [۴] با اعمال تصحیح زیر درستی یا صحت اختلاف ارتفاعات بین نقاط و نهایتا ارتفاعات نقاط نیز بهبود می یابد.

$$\Delta H_i^c = \Delta H_i - \frac{1}{2} S_i \qquad (۶)$$

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 میلی متر و ۲۳,۹- میلی متر بدست آمده است.

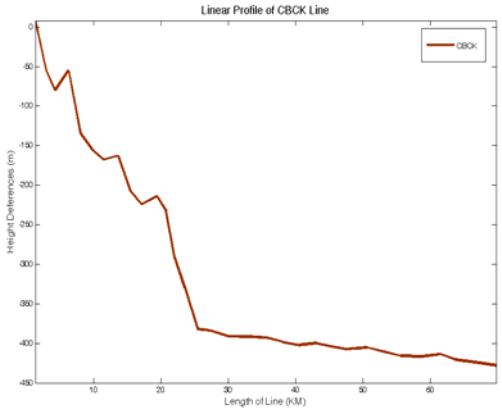
جدول۳- اثر تصحیحات ریاضی (انکسار و سایر منابع خطاها) و ارتومتریک برای لوپ ترازیابی CK

Line Name	$\Delta\overline{H}$ (m)	Corrected $\Delta\overline{H}$ (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**

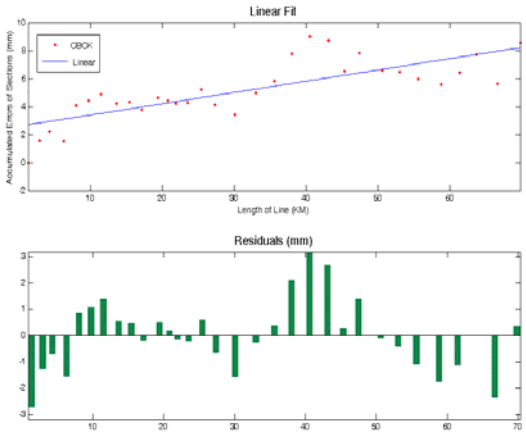
۵- رفتار اختلافات رفت و برگشت در خطوط ترازیابی

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 داده های دماسنج های تفاضلی نصب شده بر روی شاخص های ترازیابی اعمال می شود. لذا اختلاف ارتفاعات مورد مقایسه در این تحقیق اختلاف ارتفاعات تصحیح شده حاصل از اعمال تصحیح انکسار با داده های فیزیکی می باشد. همانگونه که پیشتر نیز گفته شد، در این تحقیق به تشریح چگونگی اعمال تصحیحات خطاهای سیستماتیک مختلف صرف نظر از منبع آن می پردازیم که در واقع به هیچ داده فیزیکی نیاز نمی باشد 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 ترازیابی در هر خط به صورت تجمعی دارای یک ترند است که ساده ترین 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 ترازیابی، باقیمانده‌های آنها نیز نمایش داده شده‌اند که رفتار آنها تا حدود قابل قبولی بیانگر یک

رفتار تصادفی می‌باشد. البته در برخی از نمودارها باقیمانده مزبور دارای رفتار تناوبی است که در این تحقیق از آن صرفنظر شده و تنها به مدل خطی بسنده شده‌است.



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 می‌پردازیم.

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 می‌یابیم 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 مدل‌های استاندارد انکسار بر پایه داده‌های جوی می‌باشد، و نتایج سرشکنی بدون اعمال هیچگونه

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 میلی متر با میانگین تقریبی ۳ میلی متر برای هر دو حالت قدر مطلق اختلافات و مقادیر اختلافات واقعی می باشد. بنابراین تاثیر ناشی از اعمال تصحیحات حداکثر تا ۱۲ میلی متر دیده می شود که با توجه به انحراف معیار ۳۰ میلی متری حاصل از سرشکنی برای ارتفاعات نقاط (به جداول موجود در پیوست ها مراجعه شود)، اختلافات مذکور معنی دار نمی باشد. این بدین معنی است که اعمال تصحیحات حاصل از مدلسازی فیزیکی (انکسار) تاثیر معنی داری بر روی نتایج سرشکنی ندارد و عملا 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 داده های جوی می باشد، می پردازیم. 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.

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 مجددا 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 بررسی ها و تحلیل های انجام گرفته بر روی داده های ترازیابی دقیق ۵ لوپ انتخابی، رفتار مشاهدات ترازیابی بر اساس اختلافات تجمعی رفت و برگشت مشاهدات خام در هر قطعه دارای یک انحراف سیستماتیک مشخص می باشد.

پس از مدلسازی خطی انحرافات به روش کمترین مربعات و اعمال تصحیح ناشی از آن به اختلاف ارتفاعات برای هر نوبت اندازه گیری (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 داده های جوی) به طور جداگانه مورد سرشکنی قرار گرفتند و نتایج حاصل از آنها دو به دو مورد

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 عملا 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 مولفه های جدی اثر گذار بر روی مشاهدات ترازیابی، باید پذیرفت که مدل فیزیکی تصحیح مربوط (روش جاری در سازمان نقشه برداری کشور) مناسب نیست و بهتر است روی یک مدل فیزیکی مناسب تر تحقیق شود. در غیر این صورت جمع آوری داده های کمکی جوی و اعمال تصحیحات برپایه 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 جمع آوری داده های کمکی جوی نیست و اعمال تصحیحات بسیار ضروری است. این موضوع بیانگر این مطلب نیز می باشد که در مواقعی که داده های کمکی اندازه گیری نشده است یا نمی شود (مانند تکرار اول شبکه ترازیابی دقیق و ترازیابی ایستگاه های 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 روش‌های فیزیکی و ریاضی مورد بحث در این تحقیق، پیشنهادات زیر ارایه می شود:

- ایجاد یک خط کالیبراسیون ترازیابی دقیق با ویژگی‌های منحصر به فرد که مجال توضیح آن در این تحقیق نمی‌باشد و انجام مشاهدات ترازیابی دقیق به روش‌های مختلف بر روی آن به منظور تحلیل خطاهای سیستماتیک و اتفاقی
- انتخاب تعداد لوپ‌های 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 ترازیاب‌ها و روش‌های موثرتر جمع‌آوری مشاهدات ترازیابی برای مقابله با منابع مختلف خطاهای سیستماتیک
- انتخاب مدل‌های غیرخطی برای مدل‌سازی خطاهای سیستماتیک به‌روش 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.

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 Californialeveling. 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. ToosiUniversity, Tehran, Iran.

[9] Reilinger R., and L. Brown (1981), Neotectonic deformation, near-surface movements and systematic errors in U.S.releveling 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.