

ارائه روشی نوین به منظور بهینه‌سازی تخصیص ضریب مقیاس ترکیبی در پروژه‌های نقشه‌برداری

مهدی رضایی^{۱*}، علیرضا وفایی‌نژاد^۲، رضا راستی^۲

^۱ دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و GIS - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات - تهران
mehdi_rezaei87@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست - دانشگاه شهید بهشتی
{a_vafaei, r_rasti}@sbu.ac.ir

(تاریخ دریافت آبان ۱۳۹۸، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۸)

چکیده

امروزه با توجه به فراگیر شدن استفاده از سیستم‌های تصویر جهانی مانند سیستم تصویر UTM در پروژه‌های نقشه‌برداری با تکیه بر بیضوی‌های مراجعه، یافتن ضریب مقیاس ترکیبی مناسب هر پروژه، جهت اجرای پروژه‌های عمرانی با استفاده از تجهیزات نقشه برداری مانند دستگاه‌های توتال استیشن، امری ضروری می‌باشد. متأسفانه امروزه نحوه محاسبه و تخصیص ضریب مقیاس ترکیبی متوسط در پروژه‌های نقشه‌برداری به صورت کاملاً علمی صورت نمی‌پذیرد و معمولاً ضریب مقیاس‌های ترکیبی نامناسبی محاسبه و اعمال می‌گردد که باعث ایجاد خطاهای غیرقابل قبول در پروژه می‌گردد. در این پژوهش یک پروژه اجرایی مورد بررسی قرار گرفت و به چند روش ضریب مقیاس‌هایی برای آن محاسبه شد. نتایج نشان داد، روشی که ضریب مقیاس را با در نظر گرفتن کل محدوده پروژه در سه بعد محاسبه کرد، دقیق‌ترین حالت ممکن را در پی داشت. ارزیابی دقت کار نشان داد که بیشترین خطای مربوط به ضریب مقیاس متوسط در یک طول هزار متری، مربوط به منتهی‌الیه شرق و غرب پروژه به میزان ۰،۰۴۸ متر و کمترین آن مربوط به مرکز پروژه با میزان ۰،۰۰۲ متر می‌باشد. همچنین مشخص گردید در صورتی که خطای مجاز اعمال ضریب مقیاس متوسط، ۵ میلیمتر در نظر گرفته‌شود، حدود ۱۲۶۶ متر می‌توان از مرکز پروژه به سمت شرق و غرب با همان ضریب مقیاس متوسط فعالیت نقشه‌برداری انجام داد و اگر خواسته‌شود که بیشتر از آن محدوده فعالیت نقشه برداری انجام شود، یا باید خطای بیشتر را پذیرفت و یا اینکه یک ضریب مقیاس متوسط دیگری نیز برای محدوده جدید محاسبه گردد.

واژگان کلیدی: پروژه‌های نقشه برداری، سیستم تصویر UTM، ضریب مقیاس ترکیبی، بهینه‌سازی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

نقشه همواره بستری جهت نمایش عوارض طبیعی یا مصنوعی بوده است. حال آنکه شکل و فرم عوارض در تصویر شدن آنها بر روی نقشه نقش بسزایی داشته‌است. عوارض لبه‌دار (polygonal) یا به عبارتی عوارضی که دارای یک یا چند صفحه صاف و بدون انحنا می‌باشند (مکعب‌ها) را می‌توان به سادگی بر روی صفحات کاغذ با اعمال مقیاس تصویر نمود. اما عوارضی که به صورت کره یا بیضوی یا مشابه آنها هستند را نمی‌توان به آسانی بر روی یک صفحه دو بعدی (نقشه) تصویر نمود. کره زمین نیز یکی از این اشکال می‌باشد و جهت تصویرنمودن کل کره زمین یا بخشی از آن بر روی نقشه تا به امروز روش‌ها و ابزارهای متعددی ایجاد شده‌اند که به آنها سیستم تصاویر گفته می‌شود. سیستم تصویری که در ایران بیشترین استفاده را دارد سیستم تصویر UTM^۱ می‌باشد. سیستم تصویر UTM عرض جغرافیایی بین مدار ۸۰ درجه جنوبی تا مدار ۸۴ درجه شمالی را به ۶۰ قاچ (Zone) تقسیم می‌کند که هر قاچ ۶ درجه طول جغرافیایی است. برای عرض‌های جغرافیایی خارج از این محدوده از سیستم تصویر UPS^۲ استفاده می‌شود. اولین قاچ طول جغرافیایی ۱۸۰ درجه تا ۱۷۴ درجه غربی را پوشش می‌دهد. به همین ترتیب شماره قاچ‌ها به سمت شرق افزایش می‌یابد و سرانجام قاچ ۶۰ طول جغرافیایی ۱۷۴ درجه تا ۱۸۰ درجه شرقی را پوشش می‌دهد. کشور ایران در محدوده قاچ‌های ۳۸ الی ۴۱ قرار دارد. مبدا سیستم مختصات در هر قاچ رابا مختصات X=500000m و Y=1000000 در نظر گرفته‌اند تا مختصات منفی در قاچ‌ها وجود نداشته‌باشد. در سیستم تصویر UTM صفحه استوانه‌ای روی دو نصف‌النهار کناری مرکزی هر قاچ بر کره زمین مماس می‌شود. محاسبات این سیستم تصویر برای هر قاچ کاملاً مشابه است.

۱-۱- ضریب مقیاس مسطحاتی

ضریب مقیاسی که بر روی سطح بیضوی محاسبه شود را ضریب مقیاس مسطحاتی گویند (ارتفاع صفر از بیضوی) که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد: (Snyder et al., 1987)

$$K = K_0 \left[1 + \frac{(1+C)A^2}{2R^2} \right] + (5-4T+42C+13C^2 - 28\epsilon^2) \frac{A^4}{24} + (61-148T+16T^2) \frac{A^6}{24} \quad (1)$$

که در آن :

K_0 ضریب مقیاس در نصف النهار مرکزی (۰,۹۹۹۶)

$\epsilon^2 = \frac{e^2}{(1-e^2)}$ خروج از مرکزیت دوم بیضوی

$N = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)}}$ شعاع انحنای قائم اولیه

$T = \tan^2 \varphi$

φ عرض جغرافیایی نقطه

$C = \epsilon^2 \cos^2 \varphi$

$A = (\lambda - \lambda_0) \cos \varphi$

λ طول جغرافیایی نقطه

با توجه به اینکه سطح بیضوی بسیار نزدیک به سطح کره می‌باشد و همچنین برای راحتی در محاسبات با چشم‌پوشی از مختصر خطای ناشی از اعمال کره به جای بیضوی می‌توان ضریب مقیاس مسطحاتی را از روابط زیر که مبنای آن کره‌ایست محاسبه نمود:

(رستمی و امامی، ژئودزی و کارتوگرافی ریاضی، ۱۳۸۴)

$$K_p = K_0 \left(1 + \frac{L^2}{2R^2} \right) \quad (2)$$

که در این رابطه :

K_p ضریب مقیاس در نقطه مشاهداتی

K_0 ضریب مقیاس در نصف النهار مرکزی (۰,۹۹۹۶)

L فاصله نقطه مشاهداتی از نصف النهار مرکزی

یا به عبارتی :

$$L = |X_p - 500000|$$

X_p مقدار X نقطه مشاهداتی

R شعاع متوسط کره زمین (۶۳۷۱۰۰۰ متر)

ضریب مقیاس مسطحاتی (ضریب مقیاس در ارتفاع صفر از بیضوی) در نقاطی که روی نصف‌النهار مرکزی هستند برابر ۰,۹۹۹۶ می‌باشد و هر قدر که به شرق و غرب حرکت کنند مقدار آن به سمت عدد یک و مقداری بیشتر از آن میل می‌کنند.

^۱ Universal Transverse Mercator

^۲ Universal Polar Stereographic

۱-۲- ضریب مقیاس ارتفاعی

نقاط روی سطح زمین یا همان نقاط مشاهداتی، در یک فضای سه بعدی قرار دارند که می‌توانند هر ارتفاعی داشته‌باشند. هر قدر که نقاط مشاهداتی از سطح بیضوی دورتر شوند (در جهت نرمال بر بیضوی) یا به عبارتی نقاط مشاهداتی ارتفاعی غیر از صفر داشته‌باشند، ضریب مقیاس به دلیل خاصیت انحنا بیضوی مبنا تغییر پیدا می‌کند. در این حالت طول روی زمین و بیضوی اختلاف بیشتری پیدا می‌کنند. این تغییر ارتفاعی باعث تغییر در عدد ضریب مقیاس می‌گردد پس بایستی بعد از ضریب مقیاس مسطحاتی، ضریب مقیاس ارتفاعی را نیز محاسبه کنیم. در اینجا نیز جهت سهولت محاسبات از فرمول کره به جای بیضوی استفاده می‌کنیم. ضریب مقیاس ارتفاعی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

(رستمی و امامی، ژئودزی و کارتوگرافی ریاضی، ۱۳۸۴)

$$K_h = \left(\frac{R}{R+H} \right) \quad (۳)$$

که در این رابطه :

K_h	ضریب مقیاس ارتفاعی در نقطه مشاهداتی
H	ارتفاع از سطح بیضوی در نقطه مشاهداتی
R	شعاع متوسط کره زمین (۶۳۷۱۰۰۰ متر)

۱-۳- ضریب مقیاس ترکیبی

در بالا ضریب مقیاس مسطحاتی و ارتفاعی به صورت مستقل محاسبه شدند. این در حالی است که مولفه‌های XYZ در نقاط مشاهداتی، در فضایی سه بعدی قرار دارند و بایستی از هر دو ضریب مقیاس مسطحاتی و ارتفاعی جهت تبدیل طول واقعی به طول روی سیستم تصویر بهره‌گرفته شود. به همین دلیل باید از ضریب مقیاس ترکیبی که آن دو را با یکدیگر ترکیب می‌کند استفاده نمود. ضریب مقیاس ترکیبی از رابطه زیر بدست می‌آید:

(رستمی و امامی، ژئودزی و کارتوگرافی ریاضی، ۱۳۸۴)

$$K_G = K_H * K_P \quad (۴)$$

که در این رابطه :

K_G	ضریب مقیاس ترکیبی نقطه مشاهداتی
-------	---------------------------------

ضریب مقیاس ارتفاعی در نقطه مشاهداتی K_H

ضریب مقیاس مسطحاتی در نقطه مشاهداتی K_P

جر یو و هونگ کو در مقاله خود با عنوان ضریب مقیاس بهینه بر روی نصف‌النهار مرکزی یک سیستم تصویر نقشه TM دو درجه ای در بیضوی TWD97، جهت کمینه‌کردن اعوجاج سیستم تصویر ترانسورس مرکاتور در محدوده ۲ درجه طول جغرافیایی در بیضوی TWD97 مطالعه‌ای انجام دادند. آنها در ابتدا ضریب مقیاس بهینه را بر اساس تئوری بهینه آرایه ای اعوجاج، بدست آوردند. بعد تاثیر آن ضریب مقیاس را روی یک طول محلی و در یک محدوده مشخص مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مقدار ضریب مقیاس بهینه در نصف‌النهار مرکزی ۰.۹۹۹۹۴۲ می‌باشد که منجر به کاهش خطا در طول محلی و ناحیه‌ای در جزیره‌ای در تایوان شد. گاسوکی و آدوول در پژوهشی با نام تبدیل بین GPS Coordinates و Local Plane UTM coordinates با استفاده از نرم‌افزار اکسل، یک روش برای ایجاد سیستم مختصات UTM محلی، از مختصات‌های جی پی اس بر اساس بیضوی WGS84 بدست آوردند. این تبدیل را با مدل Bursawolf و با استفاده از ۷ پارامتر μ و θ_3 و θ_2 و θ_1 و Z_0 و Y_0 و X_0 انجام‌دادند. لوکاس در مقاله‌ای با عنوان تبدیل مختصات‌های محلی به UTM، از یک روش تبدیل مختصات محلی به UTM بر اساس معادله کانفورمال درجه دو که تناسب خوبی نسبت به روش‌های دیگر داشت استفاده نمود. بوکرانا و فایبوش در مطالعات خود با عنوان شبکه‌های ژئودتیک در نقشه‌های معتبر- یافته‌های جدید درباره مبداء سیستم مختصات UTM، با بررسی نقشه‌های موجود در بایگانی یک مرکز نظامی در فرایبورگ آلمان، سیستم مختصات UTM که پیش‌نیازی برای سیستم‌های تعیین موقعیت امروز مانند جی پی اس هست را متعلق به افسران آلمانی دانستند که برای اولین بار توسط آمریکا مورد استفاده قرارگرفت. گرافارند و اوککه در مطالعه‌ای با عنوان "تبدیل کانفورمال مختصات‌های مرکاتور از بیضوی جهانی WGS84 به مبنای محلی (منطقه ای، ملی)، به مشکل تبدیل مختصات‌های جهانی به مختصات‌های محلی پرداخته‌اند. آنها در مقاله خود یک معادله تبدیل مختصات با دیتوم منحنی به مختصات با دیتوم سطح ایجاد و تست کردند. پارامترهای مورد استفاده آنها در این تبدیل سه پارامتر دوران، مقیاس و دو پارامتر شکل که نیم قطر اطول بیضوی که دوری از مرکز

نسبی بیضوی مرجع را گزارش می‌دهد بودند. استات در مقاله‌اش با عنوان، سیستم رفرنس شبکه UTM، ضمن معرفی سیستم مختصات UTM، کاربرد و چرایی استفاده از این سیستم تصویر را در پروژه‌های مختلف بیان نموده‌است. مانشوگ در مقاله‌ای با عنوان، تبدیل طول و عرض جغرافیایی به مختصات UTM، ضمن معرفی هر دو سیستم مختصات در نهایت برنامه‌ای برای تبدیل این دو به یکدیگر ایجاد نمود. وارگا نیز در پژوهشش با عنوان تبدیل بین سیستم مختصات جغرافیایی و سیستم مختصات ترانسورس مرکاتور (UTM) (GAUSS-KRUGER)، با استفاده از یک برنامه کامپیوتری زمان تبدیل این دو مختصات را کاهش و همچنین دقت انجام آن را افزایش داد. مسیب زاده در پژوهش خود با عنوان محاسبه ضریب مقیاس تبدیل طول بین سیستم تصویر UTM و طول واقعی با استفاده از مدل SRTM در ایران، یک راهکار عملی برای محاسبه ضریب مقیاس در پروژه‌های نقشه‌برداری ایجاد نموده‌است. او با استفاده از مدل SRTM برای منطقه ایران در فواصل ۳ ثانیه‌ای، ضریب مقیاس‌هایی محاسبه‌نمود و در هر یک از این شبکه‌ها میانگین ضریب مقیاس آن شبکه را نیز محاسبه نمود و نشان داد که در شبکه ۳ دقیقه‌ای برای طول‌های یک کیلومتری، حداکثر خطا ۱۵ میلیمتر بوده‌است. صالحی و همکارانش در مقاله‌ای با عنوان تبدیلات مختصات دقیق بین سیستم محلی و UTM با استفاده از درونیابی ارتفاعی حاصل از نقاط لیدار (مطالعه موردی: شهر اصفهان)، با استفاده از مختصات جی پی اسی، ۵۰۰ نقطه موجود در شهر اصفهان به بررسی تبدیل مختصات محلی شهر اصفهان به مختصات UTM و بلعکس از ضریب مقیاس ترکیبی پرداختند و برای کل شهر به خطای حدودچند دسی متر رسیدند. آنها در بخش دوم مقاله‌شان الگوریتمی جهت درونیابی ارتفاع نقاط معابر شهر اصفهان از داده‌های لیدار ارائه نمودند. ارزیابی نتایج کارشان نشان‌دهنده کشف یک بایاس ۳۰ سانتیمتری در نقاط ارتفاعی لیدار شهر اصفهان شد. پس از حذف آن بایاس، مقدار RMSE برابر ۴۳ سانتیمتر را جهت درونیابی ارتفاع نقاط داخل معابر شهر اصفهان در دیتوم WGS84 بدست آوردند.

۲- مواد و روشها

در پروژه‌های اجرایی نقشه‌برداری به دلیل اینکه با سطوحی با ارتفاع‌های متفاوت سر رو کار داریم (توپوگرافی

زمین و ...) می‌بایست جهت کار در سیستم مختصات UTM از ضریب مقیاس ترکیبی استفاده شود. از سوی دیگر در پروژه‌های اجرایی جهت کار با دستگاه‌های توتال استیشن معمولاً از یک عدد ثابت برای ضریب مقیاس ترکیبی استفاده می‌شود و استفاده از دو یا چند ضریب مقیاس کاری دشوار می‌باشد. حال مسئله این است که چگونه ضریب مقیاس ترکیبی مناسب یک پروژه را پیدا کنیم. یا اینکه برای به حداقل رساندن خطای ناشی از انتخاب ضریب مقیاس متوسط، در چه محدوده‌ای می‌توان کار کرد. بنابر این در این پژوهش دو هدف اصلی موارد زیر می‌باشند:

- چگونه یک ضریب مقیاس ترکیبی متوسط مناسب برای هر پروژه تعریف کنیم؟
- اگر حد اکثر خطای قابل قبول ناشی از اعمال ضریب مقیاس ترکیبی متوسط را داشته‌باشیم تا چه محدوده‌ای می‌توانیم با یک ضریب مقیاس ترکیبی متوسط کار کنیم؟

ابتدا به چند روشی که بین نقشه‌برداران برای انتخاب ضریب مقیاس ترکیبی متوسط وجود دارد پرداخته می‌شود:

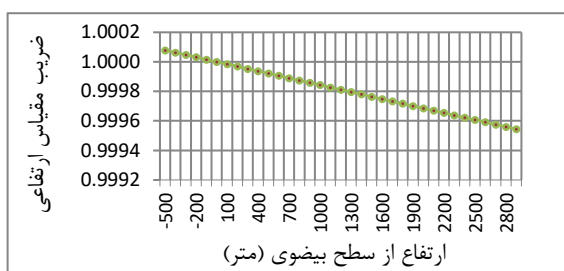
الف - انتخاب ضریب مقیاس نقطه‌ای که دوربین را در آنجا مستقر کرده‌اند با استفاده از فرمول یا نرم افزار و تعمیم دادن آن به کل پروژه. (انتخاب نقطه به صورت کاملاً تصادفی)

ب - طول افقی محلی، بین دو ایستگاه نقشه‌برداری و همچنین طول افقی آن دو ایستگاه از روی مختصات UTM محاسبه می‌شود و در نهایت با تقسیم طول استخراج شده از سیستم مختصات UTM بر طول محلی، عدد ضریب مقیاس ترکیبی محاسبه می‌گردد. (دو ایستگاه مجاور یکدیگر که انتخاب آن دو نیز به صورت تصادفی صورت می‌پذیرد)

ج - انتخاب ضریب مقیاس ترکیبی متوسط، از روی کل یا تعدادی از مختصات ایستگاه‌های نقشه‌برداری که معمولاً در نرم‌افزارهای پردازش اطلاعات گیرنده‌های ماهواره‌ای انجام می‌شود.

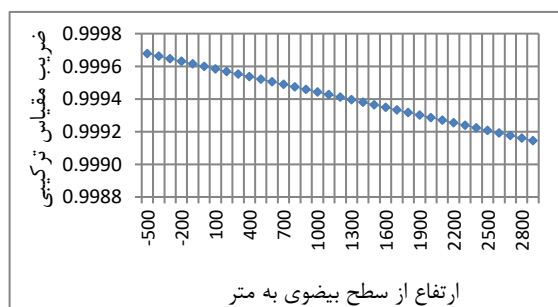
د - در بعضی مقالات محدوده طول جغرافیایی کشور را به چند قسمت مساوی تقسیم کرده و برای هر بخش آن یک ضریب مقیاس محاسبه نموده اند و می‌بایست در هرپروژه ای از ضریب مقیاس ترکیبی متوسط آن زون استفاده شود.

با فاصله گرفتن از سطح بیضوی به صورت نرمال بر بیضوی، (کم و زیاد شدن ارتفاع) به دلیل ماهیت منحنی-الخط بودن بیضوی، میزان ضریب تغییرات طول‌های محلی به طول‌های روی سیستم تصویر تغییر پیدا خواهد کرد. شکل ۳ مقادیر تغییرات ضریب مقیاس ارتفاعی در ارتفاعات متفاوت در سیستم تصویر UTM را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است ضریب مقیاس ارتفاعی در ارتفاع صفر برابر عدد یک می‌باشد. با منفی شدن ارتفاع ضریب مقیاس از یک بزرگتر می‌گردد و همچنین با مثبت شدن ارتفاع ضریب مقیاس از یک کمتر و کمتر می‌گردد.



شکل ۳- مقادیر تغییرات ضریب مقیاس ارتفاعی در ارتفاعات متفاوت

تغییرات ضریب مقیاس ارتفاعی وابسته به موقعیت مسطحاتی خاصی نیست. به عبارت دیگر ضریب مقیاس ارتفاعی مستقل از سطح دو بعدی عمل می‌کند و در تمام قاچ‌های UTM، بین عرض‌های جغرافیایی از $+84$ تا -80 درجه، طبق شکل ۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌ای از رفتار ضریب مقیاس ترکیبی در شرقی-ترین و غربی‌ترین نقطه از یک قاچ UTM، در شکل ۴ نشان داده می‌شود. شرقی‌ترین و غربی‌ترین نقاط به دلیل مشابه بودن عملکرد ضریب مقیاس در آنها در یک شکل نمایش داده می‌شود. شکل ۴ نشان می‌دهد که در منتهی‌الیه غرب و شرق هر قاچ UTM، ضریب مقیاس ترکیبی $1,0011$ و $1,0006$ برای ارتفاع 500 -متر و ضریب مقیاس ترکیبی $1,0006$ و $1,0005$ برای ارتفاع 2800 +متر می‌باشد.



شکل ۴- مقادیر ضریب مقیاس ترکیبی شرقی‌ترین و غربی‌ترین نقاط یک قاچ UTM در ارتفاعات مختلف

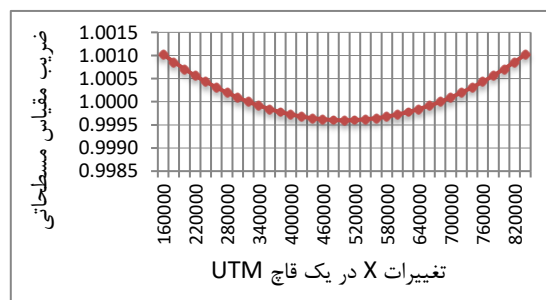
نکته‌ای که در چهار مورد بالا قابل ذکر است این است که تخصیص ضریب مقیاس ترکیبی در آنها بدون توجه به محدوده کامل پروژه مورد نظر محاسبه گردیده است و فقط یک یا چند نقطه خاص مد نظر قرار گرفته است و یا اینکه تقسیم بندی ناحیه‌ای نا متناسب با محدوده مورد نظر انجام شده است. همچنین در موارد بالا متغیر ارتفاع که ضریب مقیاس ارتفاعی و به طبع آن ضریب مقیاس ترکیبی را به دنبال دارد مربوط به نقاط خاصی در منطقه می‌باشد که معمولاً نمی‌تواند نماینده خوبی از ارتفاع متوسط پروژه باشد.

شکل ۱ موقعیت ایران را در قاچ‌های سیستم تصویر UTM نشان می‌دهد.



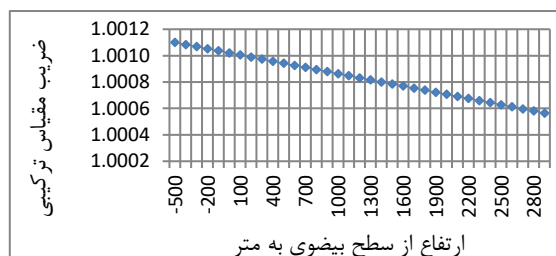
شکل ۱- کشور ایران در قاچ‌های یو تی ام سیستم مختصات UTM

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، جهت محاسبه ضریب مقیاس ترکیبی باید ابتدا ضریب مقیاس مسطحاتی و همچنین ضریب مقیاس ارتفاعی را محاسبه نمود و با استفاده از ترکیب آن‌دو با یکدیگر ضریب مقیاس ترکیبی محاسبه را محاسبه نمود. در محاسبه ضریب مقیاس مسطحاتی، ارتفاع از بیضوی صفر در نظر گرفته می‌شود. این در حالی است به ندرت اتفاق می‌افتد که ارتفاع مد-نظر برای محاسبه ضریب مقیاس در محلی با ارتفاع صفر باشد. شکل ۲ مقادیر تغییرات ضریب مقیاس مسطحاتی، از شرق به غرب هر قاچ، در سیستم تصویر UTM را نشان می‌دهد. (در ارتفاع صفر از بیضوی)



شکل ۲- مقادیر ضریب مقیاس مسطحاتی، از شرق تا غرب یک قاچ UTM

نمونه دیگری از رفتار ضریب مقیاس ترکیبی در محل مرکز نصف النهار مرکزی قاچ UTM در شکل ۵ نمایش داده شده‌است. همان‌طور که از شکل پیداست، در ارتفاع صفر، ضریب مقیاس ترکیبی برابر ۰,۹۹۹۶ (همان ضریب مقیاس مسطحاتی در مرکز قاچ UTM) می‌باشد.



شکل ۵- مقادیر ضریب مقیاس ترکیبی بر روی نصف النهار مرکزی یک زون در سیستم تصویر UTM در ارتفاعات مختلف

این اشکال نشان می‌دهند انتخاب نقطه ای که از مختصاتش جهت محاسبه ضریب مقیاس متوسط ترکیبی استفاده می‌شود، چه از لحاظ مسطحاتی و چه از لحاظ ارتفاعی بسیار مهم و کلیدی می‌باشد.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

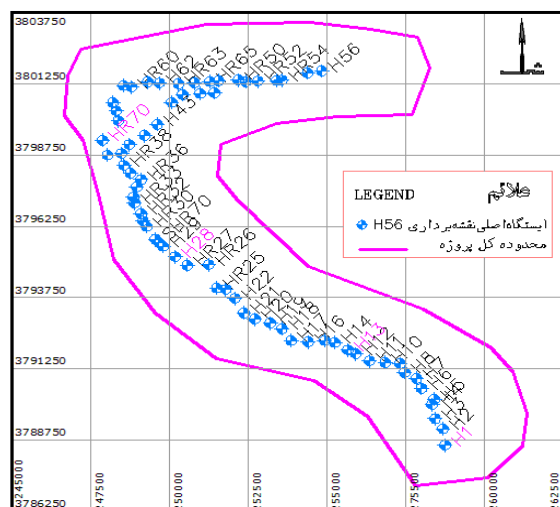
حال به تخصیص و تجزیه تحلیل ضریب مقیاس ترکیبی در یک پروژه اجرایی طبق شکل ۶ می‌پردازیم. این پروژه اجرایی تعداد ۶۷ ایستگاه اصلی نقشه‌برداری دارد. مرکز این پروژه در ۲۴۶,۶ کیلومتری غرب نصف‌النهار مرکزی در یک قاچ UTM قرار دارد. طول پروژه حدود ۱۸,۵ کیلومتر می‌باشد. اختلاف در مولفه E از شرق تا غرب پروژه ۱۲,۸۱ کیلومتر و این مقدار برای ایستگاه‌های نقشه‌برداری پروژه ۱۰,۸۹۳ کیلومتر می‌باشد. مقادیر E در این پروژه 246969m تا 259780m می‌باشد. بیشترین ارتفاع در پروژه حدود ۱۷۷۰ متر و کمترین ارتفاع در آن ۱۴۵۰ متر می‌باشد (اختلاف ارتفاع ۳۲۰ متر) و این در حالیهست که اختلاف ارتفاع در ایستگاه‌های نقشه‌برداری موجود در پروژه حدود ۱۵۵ متر می‌باشد.

همانطور که گفته شد جهت شروع عملیات اجرایی باید ضریب مقیاس متوسط ترکیبی محاسبه گردد. از روابط پیداست که برای یافتن ضریب مقیاس ترکیبی متوسط فقط باید مختصات سه بعدی یک نقطه به عنوان نماینده کل پروژه معرفی گردد. حال به معرفی چند حالت

انتخاب نقطه مورد نظر جهت محاسبه ضریب مقیاس متوسط در این پروژه می‌پردازیم:

۱. شرقی ترین ایستگاه نقشه برداری پروژه (ایستگاه نقشه برداری H1)
۲. بین شرق و مرکز پروژه (ایستگاه نقشه برداری H13)
۳. بین مرکز و غرب پروژه (ایستگاه نقشه برداری H28)
۴. غربی ترین ایستگاه نقشه برداری پروژه (ایستگاه نقشه برداری HR70)
۵. میانگین کل ایستگاه های نقشه برداری (میانگین E از تمام ۶۷ ایستگاه های نقشه برداری)
۶. میانگین بیشترین و کمترین مقدار E در کل ایستگاه های نقشه برداری

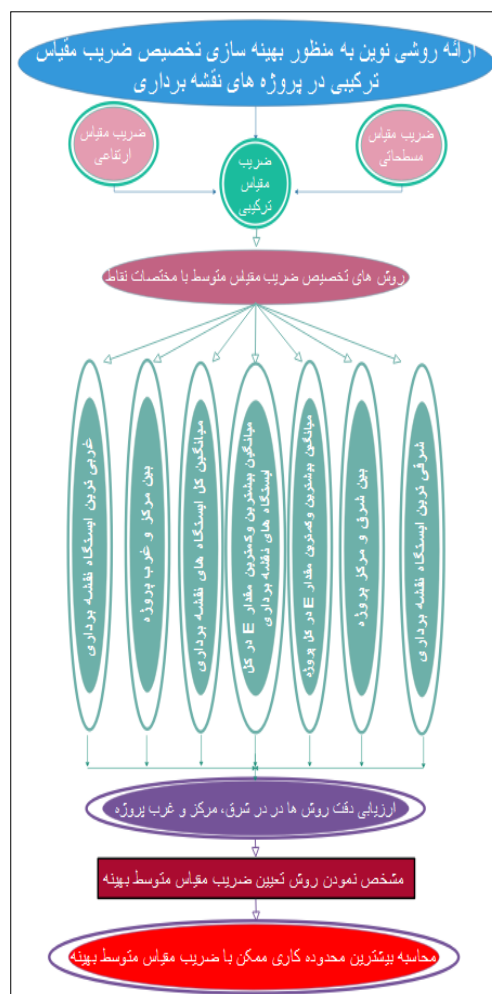
در روشهای فوق، گزینه‌های ۱ تا ۴ بیانگر نقاط انتخابی تصادفی می‌باشند. (چون نقشه‌برداران معمولاً به صورت تصادفی نقطه مد نظر را جهت محاسبه ضریب مقیاس انتخاب می‌کنند) در این تحقیق جهت توزیع مناسب نقاط انتخابی در کل پروژه، نقاط به صورت فوق انتخاب گردیده‌اند.



شکل ۶- محدوده منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های نقشه‌برداری آن

- در این پژوهش برای یافتن بهترین مختصات سه بعدی، جهت محاسبه ضریب مقیاس ترکیبی متوسط، روش جدیدی پیشنهاد می‌گردد که به عنوان روش ۷ ارائه می‌گردد:
۷. میانگین بیشترین و کمترین مقدار E در کل پروژه
- شکل ۷ مراحل اجرایی این پژوهش را در قالب یک فلویدیاگرام نشان می‌دهد.

داده شده است. در اولین ستون این جدول، موقعیت نقاطی که ضریب مقیاس ها از آنها استخراج شده اند آمده است. در ستون دوم مقادیر East یا همان X نقاط ستون اول، با واحد متر آمده است. سیستم تصویر مورد استفاده نیز قاعدتا UTM می باشد. در ستون سوم ارتفاع نقاط از سطح بیضوی مشخص شده است. واحد این ارتفاعات نیز متر می باشد. لازم به ذکر است که موقعیت سه بعدی ایستگاه های نقشه برداری توسط گیرنده ماهواره ای مولتی فرکانس، تعیین موقعیت گردیده است و مبنای مختصات ایستگاه ها، بیضوی WGS84 می باشد. در سه ستون بعدی به ترتیب ضریب مقیاس مسطحاتی، ضریب مقیاس ارتفاعی و ضریب مقیاس ترکیبی نقاط آمده است. در ستون هفتم مقادیر یک طول ۱۰۰۰ متری، با اعمال ضریب مقیاس ترکیبی متبوع خود آمده است. در این ستون مقدار ۱۰۰۰,۰۹۴۹ که از ضریب مقیاس ۱,۰۰۰۰۹۴۸ بدست آمده است به عنوان طول معیار در نظر گرفته شده است. دلیل این انتخاب این است که با کنترل های میدانی که توسط دستگاه توتال استیشن انجام شد از بین ضریب مقیاس های ترکیبی هفت گانه محاسبه شده، ضریب مقیاس ترکیبی که از روش میانگین بیشترین و کمترین میزان E در کل پروژه، بدست آمده است در کل پروژه بهترین جواب ها را می دهد. نهایتا در ستون هشتم اختلاف مقادیر ستون هفتم با طول معیار ۱۰۰۰,۰۹۴۹ متر محاسبه شده است. مقادیر این ستون نشان می دهد که بیشترین خطاهای حاصل از انتخاب ضریب مقیاس متوسط، مربوط به شرقی ترین (سطر ۱) ایستگاه (۰,۰۴۷ متر) و غربی ترین (سطر ۴) ایستگاه (۰,۰۴۱ متر) نقشه برداری می باشد.



شکل ۲: مراحل اجرایی تحقیق

جدول ۱ مقادیر ضریب مقیاس های مسطحاتی، ارتفاعی و ترکیبی در نقاط هفت گانه پروژه و همچنین تاثیر هر کدام از ضریب مقیاس های ترکیبی بر یک طول ۱۰۰۰ متری نمایش

جدول ۱ - مقادیر ضریب مقیاس های مسطحاتی، ارتفاعی و ترکیبی در نقاط هفت گانه پروژه تاثیرات آنها در طول هزار متری

موقعیت نقاط	مقدار E نقاط	مقدار ارتفاع نقاط	ضریب مقیاس مسطحاتی	ضریب مقیاس ارتفاعی	ضریب مقیاس ترکیبی	مقدار طول هزار متری با اعمال ضریب مقیاس ترکیبی	اختلاف مقادیر ستون قبل با مقدار ۱۰۰۰.۰۹۴۹
شرقی ترین ایستگاه (H1)	258750.531	1703.817	1.0003155	0.9997324	1.0000479	1000.0479	-0.047
بین شرق و مرکز پروژه (H13)	255669.308	1651.496	1.0003339	0.9997406	1.0000745	1000.0745	-0.0204
بین مرکز و غرب پروژه (H28)	250169.624	1589.078	1.000367	0.9997504	1.0001177	1000.1177	0.0228
غربی ترین ایستگاه (HR70)	247857.669	1562.195	1.0003816	0.9997546	1.0001362	1000.1362	0.0413
میانگین مختصات کل ایستگاه های نقشه برداری	252068.17	1612.201	1.0003557	0.9997467	1.0001024	1000.1025	0.0076
میانگین بیشترین و کمترین میزان E در ایستگاه های نقشه برداری	253111.783	1626.509	1.0003494	0.9997445	1.0000938	1000.0939	-0.001
میانگین بیشترین و کمترین میزان E در کل پروژه	253374.5	1610	1.0003478	0.9997471	1.0000948	1000.0949	0

در جدول ۲ جهت بررسی تاثیر تغییر ارتفاع در ضریب مقیاس متوسط و طول‌های مختلف، در نقطه مرکز پروژه ($E=253374.5$) برای بیشترین، متوسط و کمترین ارتفاع در پروژه ضریب مقیاس ترکیبی محاسبه و تاثیر آن در بازه‌های صد متری نمایش داده شده است. با توجه به موقعیت مسطحاتی مرکزپروژه، (فاصله از نصف‌النهار مرکزی قاچ UTM) مشاهده می‌شود که با کم شدن ارتفاع نقاط، عدد ضریب مقیاس بزرگتر می‌گردد و تاثیر بیشتری

در تغییرات طول‌ها دارد. روند این تغییرات در نقاط دیگر قاچ UTM متفاوت می‌باشد. با توجه به موضوعات گفته شده می‌توان گفت که برای پروژه‌های نقشه‌برداری با دقت بالا، نمی‌توان هیچ‌گونه تقسیم‌بندی کشوری یا منطقه‌ای را پذیرفت، زیرا باید محدوده پروژه در سه بعد مورد بررسی قرارگیرد. طبق جدول ۲، مشخص می‌گردد که انتخاب دقیق ارتفاع مورد استفاده برای محاسبه ضریب مقیاس ترکیبی متوسط، بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر تغییر طول در سه ارتفاع متفاوت پروژه در بازه های صد متری در مرکز پروژه ($E=253374.5$)

ارتفاع (m)	ضریب مقیاس ترکیبی	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
بیشترین ارتفاع (۱۷۰۳,۸۱۷) (m)	1.0000801	0.008	0.016	0.024	0.0321	0.0401	0.0481	0.0561	0.0641	0.0721	0.0801
ارتفاع متوسط در گل پروژه (۱۶۱۰) (m)	1.0000948	0.0095	0.019	0.0285	0.038	0.0474	0.0569	0.0664	0.0759	0.0854	0.0949
کمترین ارتفاع (۱۵۴۹,۲۰۱) (m)	1.0001044	0.0104	0.0209	0.0313	0.0418	0.0522	0.0627	0.0731	0.0835	0.094	0.1044

حال موضوع دیگر بررسی می‌گردد که اگر حداکثر خطای ناشی از اعمال ضریب مقیاس ترکیبی متوسط را داشته باشیم تا چه محدوده ای می‌توانیم با یک ضریب مقیاس ترکیبی متوسط کار کنیم؟ به عنوان مثال در پروژه فوق اگر خطای مجاز ناشی از اعمال ضریب مقیاس ترکیبی متوسط، ۵ میلیمتر باشد با فرض اینکه ارتفاع ثابت باشد $H_{original}=1610m$ تا چه طولی می‌توان از یک ضریب مقیاس ترکیبی متوسط استفاده نمود اگر $K_G=1.00009488$ باشد؟

($E_{original}=253374.5$) برای حل این مسئله با صرف نظر از بحث کرویت (به دلیل طول کم) می‌توان با استفاده از یک تناسب ساده ابتدا مقدار اصلاح ضریب مقیاس ترکیبی را با ضریب مقیاس موجود جمع یا تفریق نمود (اگر بخواهیم مقدار E افزایش یابد + و اگر بخواهیم کاهش یابد -). سپس با استفاده از مقدار $E_{original}$ مقدار E_{new} محاسبه و در نهایت تفاضل آن دو منجر به محاسبه تقریبی حداکثر طول قابل قبول جهت انجام کار نقشه برداری در آن پروژه با ضریب مقیاس ترکیبی مشخص می‌شود.

$$\frac{E_{original}}{K_G} = \frac{E_{new}}{K_G \pm 0.005} \rightarrow E_{new} = \frac{E_{original} * (K_G \pm 0.005)}{K_G} \quad (5)$$

$$L_{max} = |E_{original} - E_{new}|$$

$$L_{max} = |E_{original} - \frac{E_{original} * (K_G \pm 0.005)}{K_G}|$$

که در آن:

مقدار ایکس یو تی ام مورد استفاده جهت محاسبه ضریب مقیاس ترکیبی متوسط پروژه $E_{original}$

مقدار ایکس یو تی ام جدید محاسبه شده E_{new}
ضریب مقیاس ترکیبی متوسطی که از ایکس K_G
یو تی ام محاسبه شده است

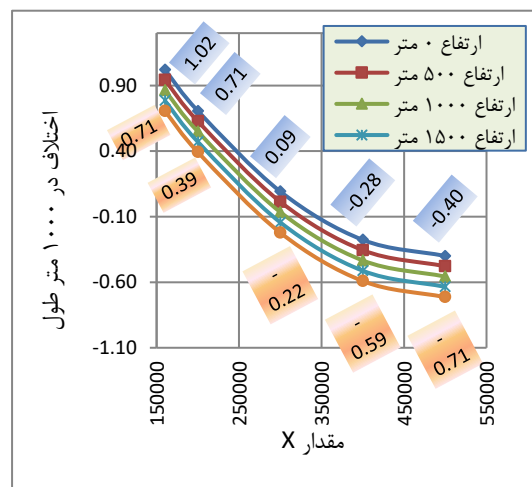
در مثال بالا خطای مجاز ناشی از اعمال ضریب مقیاس ترکیبی متوسط $0.0 \cdot 5$

طول مجاز L_{max}

با استفاده از رابطه فوق L_{max} برابر ۱۲۶۶,۷۵ متر محاسبه گردید. به این ترتیب در پروژه فوق اگر کار نقشه برداری متوسط 1610 با ضریب مقیاس ترکیبی متوسط ۱,۰۰۰۰۹۴۸۸ انجام شود، خطای ضریب مقیاس ایجاد شده در منتهی الیه شرق و غرب آن حدود ۵ میلیمتر خواهد بود و هر قدر که به سمت نقطه مرکز پروژه برگردیم مقدار این خطا کم و کمتر خواهد شد. در شکل ۳ مقادیر تغییرات ۱۰۰۰ متر طول برای پنج ارتفاع مختلف و از غرب تا مرکز یک قاچ UTM آورده شده است. البته این تغییرات برای شرق تا مرکز یک قاچ UTM نیز به صورت قرینه قابل استفاده می‌باشد. در این جدول دامنه تغییرات برای ارتفاع

نتایج کنترل های میدانی مناسب ترین ضریب مقیاس ترکیبی متوسط برای پروژه به شمار می آید. هرگونه ضریب مقیاس متوسط (مسطحاتی، ارتفاعی و ترکیبی) حاصل از تقسیم بندی و زونبندی منطقه های کوچک، بزرگ یا کل کشور نمی تواند جوابگوی پروژه های نقشه برداری باشد، زیرا نقطه ای که در این تقسیمات، ضریب مقیاس برای آن محاسبه شده است، قطعا از مرکز پروژه (چه از لحاظ مسطحاتی و چه ارتفاعی) فاصله دارد. هرچه این فاصله در متغیر E و H بیشتر باشد عدم تطابق آن ضریب مقیاس با پروژه مد نظر بیشتر می باشد. در پروژه های نقشه برداری با توجه به دقت مورد نیاز دستگاه نظارت تا یک محدوده ای را می توان با یک ضریب مقیاس ترکیبی متوسط ثابت نقشه برداری نمود که این محدوده با توجه به متغیر E و H متفاوت می باشد. اگر دامنه پروژه در متغیر E و H بزرگتر از محدوده مد نظر در بند قبلی بود یا باید پروژه را به دو یا چند قسمت تقسیم نمود و برای هر قسمت یک ضریب مقیاس ترکیبی متوسط در نظر گرفت یا خطای ناشی از آن را پذیرفت. ضریب مقیاس مسطحاتی در نقاطی با فاصله تقریبی ۱۸۰۳۷۰ متر از نصف النهار مرکزی قاچ یو تی ام به سمت شرق و غرب (یعنی در مقادیر $E=319630$ و $E=680370$) برابر عدد ۱ می باشد، با زیاد شدن ارتفاع عدد ضریب مقیاس کوچکتر و با کم شدن ارتفاع عدد ضریب مقیاس بزرگتر می شود. طبق جدول ۱ چنانچه محدوده دقیق پروژه مشخص نباشد بهترین روش برای محاسبه ضریب مقیاس ترکیبی متوسط استفاده از میانگین کمینه و بیشینه مقادیر E و H ایستگاه های نقشه برداری می باشد.

صفر از ۱،۰۲ متر در غربی ترین نقطه شروع و به ۰،۴۰- در روی نصف النهار مرکزی قاچ UTM ختم می شود.



شکل ۳- مقادیر تغییرات یک کیلومتر طول افقی، در ارتفاعات متفاوت از غرب تا مرکز یک قاچ UTM

۳- نتیجه گیری

در پروژه های نقشه برداری که سیستم مختصات آنها UTM می باشد، جهت کار با دستگاه های توتال استیشن می بایست از ضریب مقیاس ترکیبی استفاده نمود و نه از ضریب مقیاس مسطحاتی، زیرا مولفه ارتفاع بر مولفه های مسطحاتی در سیستم تصویر UTM تاثیر دارد. جهت تخصیص ضریب مقیاس ترکیبی باید کل محدوده پروژه مد نظر باشد، نه ایستگاه های نقشه برداری و یا نقاط دیگر. از کمترین مقدار متغیر E و بیشترین مقدار آن در کل پروژه معدل گرفته شود ($E_{original}$) و همین کار نیز برای ارتفاع صورت بپذیرد ($H_{original}$) و برای نقطه محاسبه شده ضریب مقیاس ترکیبی متوسط محاسبه شود. این ضریب مقیاس با توجه

مراجع

- [1] Mossayyeb zadeh, M., (1396). "Calculation lenth convert of Scale factor between UTM coordinate system and real length using SRTM model in Iran." National Geomatics Conference. 2017.15.may, Tehran
- [2] Salehi, M., Asgari, M. and Simkoei, J. (1394). "Precise Coordinate Conversions between Local System and UTM Using Interpolation from Lidar Points (Case Study: Isfahan City)." Scientific – Research Quarterly of Geography Data(SEPEHR). Vol.25, No.97, PP. 67-79.
- [3] Rostami, g., Emami, H. (1394). "Geodesy and Mathematical Cartography." Marvi. Tehran.
- [4] Lucas, E. (2013). "Transformation from local to UTM coordinates." Survey Review. Vol.24, No.183, PP. 42-48.
- [5] You, J., Hung Ko, C. (2012). "Optimal scale factor on the central meridian for a 2°TM map projection in TWD97." Journal of the Chinese Institute of Engineers. Vol.37, No.1, PP. 103-109.
- [6] Manchuk, J. (2009). "Conversion of Latitude and Longitude to UTM Coordinates Geostatistics." Centre for Computational Geostatistics Annual Reports. Vol.11, No.409, PP. 1-4.

- [7] Gerafarend, E., Okeke, F. (2009). "Transformation of conformai coordinates of type Mercator from a global datum (WGS 84) to a local datum (Regional, national)." *Cartography and Geographic Information Science*. Vol.21, No.3, PP. 169-180.
- [8] Gacoki, T., Aduol, F. (2002). "Transformation between GPS coordinates and local plane UTM coordinates using the excel spreadsheet." *Survey Review*. Vol.36, No.284, PP. 449-462.
- [9] Stott, P. (1997). "The UTM Grid Refrence System." *The Journal of the Society for Industrial Archeology*. Vol.3, No.1, PP. 1-14.
- [10] Verga, J. (1983). "Conversion between geographical and transverse mercator (UTM, GAUSS-KRUGER) grid coordinates." *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. Vol.27, No.3-4, PP. 239-251.