

تبدیلات مختصات دقیق بین سیستم محلی و UTM با استفاده از درونیابی ارتفاعی حاصل از نقاط لیدار

(مطالعه موردی: شهر اصفهان)^۱

میلاذ صالحی^۲ جمال عسگری^۳

علیرضا امیری سیمکویی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱۱/۲۸

چکیده

از آنجا که امروزه بحث تبدیلات بین سیستم‌های مختصات در فعالیت‌های نقشه برداری و ژئودزی و علوم مرتبط با اطلاعات مکانی کاربرد ویژه‌ای دارد، به منظور افزایش دقت در انتقال بین این سیستم‌ها، استفاده از روش‌های جدید و کارآمد مورد اهمیت است. هدف اصلی این مقاله در بخش اول بررسی تبدیل مختصات محلی شهر اصفهان به مختصات UTM و بالعکس با استفاده از روش ضریب مقیاس ترکیبی است. لذا از مختصات ۵۰۰ ایستگاه GPS موجود در شهر اصفهان با پراکندگی مناسب استفاده شد و با پیاده سازی روابط تبدیل فواصل از روی سطح زمین به صفحه نقشه، مختصات این نقاط در سیستم محلی بدست آمد. بررسی تغییرات ضریب مقیاس ترکیبی برای نقاط GPS شهر اصفهان نشان داد که اگر از یک ضریب مقیاس واحد برای کل شهر استفاده شود اختلافی در حدود چند دسیمتر در طول‌های بلند ایجاد می‌شود که مناسب تهیه نقشه دقیق نیست. از آنجا که در تبدیل معکوس از سیستم محلی به سیستم UTM با کمک مدل‌های جدیدی همچون مدل توابع گویا، علاوه بر موقعیت مسطحاتی در سیستم محلی نیاز به دانستن مؤلفه‌ی ارتفاعی نقاط می‌باشد، در بخش دوم مقاله به ارائه الگوریتمی جهت درونیابی ارتفاع نقاط معابر شهر اصفهان با استفاده از داده‌های لیدار پرداخته شد. ارزیابی نتایج این درونیابی با تست بر روی ارتفاع نقاط GPS شهر اصفهان، نشان‌دهنده‌ی کشف یک بایاس ۳۰ سانتیمتری در نقاط ارتفاعی لیدار شهر اصفهان است. پس از حذف این بایاس، مقدار RMSE برابر ۴۳ سانتیمتر، جهت درونیابی ارتفاع نقاط داخل معابر شهر اصفهان در دیتوم WGS-84 بدست می‌آید.

واژه‌های کلیدی: سیستم مختصات محلی، سیستم تصویر، ضریب مقیاس ترکیبی، مدل توابع گویا، درونیابی نقاط ارتفاعی.

۱- این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت حمایت شهرداری اصفهان می‌باشد.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - mi_salehi@yahoo.com

۳- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان - jamal.asgari@surv.ui.ac.ir

۴- دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - ar.amirisimkooei@surv.ui.ac.ir

۱- مقدمه

همانند UTM برقرار شود. این تبدیل سیستم مختصات ها بین مختصات زمینی سنتی و سیستم های نوین با مشاهدات ماهواره ای همانند سیستم تعیین موقعیت جهانی به علت ناهمگونی داده ها معمولاً فرایندی مشکل است، که در ابعاد محدود و با سطح دقت مورد قبول، می توان روابطی برای این تبدیلات ارائه کرد. (Zeng, 2010) و (Palancz et al., 2011)

از روش های متداول در تبدیلات بین سیستم های مختصات، می توان به تبدیلات هلمرت و افاین اشاره کرد که البته به وسیله این روش های سنتی هرگز نمی توان یک تبدیل یکنواخت و همگون برای مناطق بزرگ انجام داد. به دلیل اینکه دقت حاصل از این روش ها به اندازه کافی مناسب نیست. هرچند که از طریق تبدیل مختصات با استفاده از مدل چندجمله ای ها و مدل توابع رشنال می توان نتایج و دقت بهتری را حاصل کرد. (Zaletnyik, 2004)

از آنجا که امروزه مدل های سه بعدی شهری از بنیادی ترین اطلاعات مورد نیاز در بسیاری از کاربردهای مهندسی نظیر مدیریت شهری، طراحی جاده ها و بزرگراه ها می باشند؛ تلاش های گسترده ای در راستای بهینه سازی در روند تولید اطلاعات از سطح زمین و پردازش آنها انجام پذیرفته است. از جمله لیدار یک منبع مستقیم برای اخذ ابر نقاط متراکم سه بعدی است و به عنوان یک منبع عمده و اصلی در زمینه بازسازی مدل های سه بعدی و جهت استفاده از مؤلفه ی ارتفاعی نقاط برای انجام ترانسفر ماسیون ها است. در ادامه پس از آشنایی با مفاهیم مورد نیاز، در مورد نحوه انتقال بین سیستم های مختصات محلی و سیستم تصویر UTM در شهر اصفهان و نحوه درون یابی و بدست آوردن مؤلفه ی ارتفاعی نقاط داخل معابر با استفاده از داده های لیدار، جهت استفاده در مدل هایی نظیر مدل توابع گویا به تفصیل پرداخته می شود.

۲- مفاهیم و مبانی نظری

از آنجا که در هر تعیین موقعیتی به یک سیستم مختصات برای ارجاع موقعیت نقاط نیاز است و در بحث تهیه نقشه های

از گذشته های دور، تهیه نقشه در یک سیستم مختصات واحد همیشه مدنظر مهندسان نقشه بردار و متخصصین سایر علوم مرتبط با نقشه و اطلاعات مکانی بوده است. وجود یک سیستم مختصات واحد برای نقشه برداری سبب همخوانی نقشه ها در زمان ها و مکان های مختلف می شود. از لحاظ مکانی، نقشه های تولید شده در مکان های مختلف همخوانی خواهند داشت و نیاز به انجام تبدیلاتی که نقشه ها را دچار تغییر می کند وجود ندارد و از نظر زمانی، بروزرسانی یک نقشه در زمان های مختلف به درستی امکان پذیر می شود. لزوم تعریف سیستم مختصات یکپارچه از قرن هجدهم میلادی و همزمان با گسترش نقشه های نظامی و کاداستر در اروپا مورد توجه بوده و از همان زمان تلاش های زیادی برای تعریف سطوح مرجع مسطحاتی و ارتفاعی انجام شده است. بیضوی های محلی و جهانی برای دیتوم های مسطحاتی و ژئوئیدهای محلی و جهانی برای دیتوم ارتفاعی تعیین و تعریف شده است.

در نقشه برداری از سیستم های تصویر استفاده های زیادی می شود. سیستم های تصویر در علوم نقشه برداری برای تبدیل از سطح ریاضی بیضوی به سطح ریاضی نقشه مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین در این مورد انتقال مشاهدات از سطح زمین به سطح بیضوی هم دارای اهمیت است. در برخی از موارد نیز نیاز به تبدیل مشاهدات توتال استیشن ها به مختصات در سیستم تصویر پیش می آید و گاهی اوقات هم نیاز به استفاده از مختصات نقشه در پروژه های عمرانی است که الزام به برخی تبدیلات را ایجاب می کند. تبدیلات بین سیستم های مختصات سه بعدی مسئله ای است که در ژئودزی، فتوگرامتری، سیستم های اطلاعات مکانمند و سایر علوم با آن مواجه هستیم و نقش مهمی در بحث تعیین موقعیت ایفا می کند. از آنجا که برخی ارگان ها به صورت سنتی علاقمند به استفاده از یک سیستم مختصات محلی شبیه آنچه در نقشه برداری مستوی تعریف می شود، هستند؛ باید ارتباط این گونه سیستم ها با سیستم های تصویر

نقشه از سیستم‌های تصویر متشابه استفاده می‌شود. در این سیستم‌ها زوایا و جهت زوایا در صفحه تصویر و صفحه بیضوی مساوی هستند و ضریب مقیاس در هر نقطه وابسته به جهت نیست. سیستم تصویر مرکاتور جانبی جهانی UTM توسط USACE^۳ در دهه ۴۰ میلادی توسعه داده شد. در واقع این سیستم حالت خاصی از TM است که توسط Kruger در اوایل قرن بیستم ابداع شده است. پس از جنگ جهانی دوم سیستم UTM/UPS^۴ توسط ناتو استفاده و به مرور زمان فراگیر شد. بخش استروگرافیک آن، UPS برای نواحی قطبی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ایران از زمان تهیه نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ پوششی از این سیستم تصویر استفاده شده و در حال حاضر تقریباً تنها سیستم تصویری است که در کشور استفاده می‌شود و اکثر ارگان‌ها آن را به عنوان سیستم تصویر استاندارد پذیرفته‌اند.
(<http://www.iogp.org>)



نگاره ۱: تعبیر هندسی سیستم تصویر UTM

بخش UTM این سیستم تصویر متشابه دارای شرایط زیر است:

۱. سیستم دارای ۶۰ زون است که هر زون ۶ درجه طول جغرافیایی را در برمی‌گیرد و زون ۱ از ۱۷۷ درجه غربی

پوششی و سیستم‌های اطلاعات مکانمند نیز مبحث سطوح مینا حائز اهمیت است، امروزه سیستم‌های مختصات یکی از اساسی‌ترین مطالب حوزه مهندسی ژئوماتیک است. نکته بسیار مهم در استفاده از سیستم‌های مختصات، آشنایی با برخی مفاهیم مرتبط با علوم ژئودتیک است. در ریاضیات معمولاً تحقق عملی یک سیستم مختصات مهم نیست و مفاهیمی مانند چارچوب، سطح مینا و تغییرات زمانی چارچوب‌ها اهمیتی ندارد ولی در ژئودزی این مفاهیم دارای معانی خاص خود هستند.

۲-۱- سیستم ژئودتیک جهانی ۸۴ (WGS84)

سیستم WGS84 یک چارچوب زمین مرکز جهانی است که توسط ارتش آمریکا تعریف و تبیین شده است و به عنوان مبنای اندازه‌گیری‌ها و مختصات سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS استفاده می‌شود. این سیستم شامل یک چارچوب جهانی مختصات، بیضوی مینا با دیتوم مسطحاتی و یک سطح مرجع ارتفاعی است. آخرین تحقق این سیستم مربوط به سال ۲۰۰۴ است و دقت ارائه شده برای آن در حد چند سانتیمتر است. مبداء سیستم WGS84 مرکز جرم زمین است که با دقت حدود ۲ سانتیمتر برآورد شده است. نکته دیگر در مورد WGS84 نصف‌النهار مرجع آن است که منطبق بر نصف‌النهار IERS^۱ است که حدود ۵/۳۱ ثانیه کمانی در شرق نصف‌النهار گرینویچ است. قطر اطول، قطر اقصر و فشردگی بیضوی WGS84 برابر است با:

$$a = 6378137 \text{ m} \quad (۱)$$

$$f = 1/298.257223563 \quad (۲)$$

$$b = a(1-f) = 6356752.31425 \text{ m} \quad (۳)$$

۲-۲- سیستم تصویر UTM^۲

سیستم‌های تصویر در ژئودزی برای تبدیل سطح منحنی-الخط بیضوی به سیستم صفحه‌ای است. غالباً برای تهیه

3- United States Army Corps of Engineers

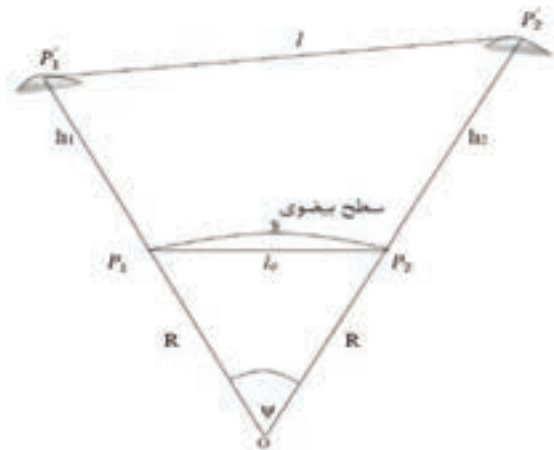
4- Universal Transverse Mercator / Universal Polar Stereographic

1- International Earth Rotation and Reference Systems Service

2- Universal Transverse Mercator

۲-۳-۱ ضریب مقیاس ارتفاعی و تبدیل فواصل از روی سطح زمین به روی بیضوی

در اینجا منظور از تصحیح فواصل، تبدیل فاصله بین دو نقطه بر روی سطح زمین (فاصله فضایی) به سطح بیضوی است. برای انجام این تبدیل به روش زیر عمل می‌شود. (Krakiwsky et al., 1974)



نگاره ۳: تبدیل طول فضایی به روی بیضوی

که در آن R_1 و R_2 شعاع‌های انحنای اولیری (برابر \sqrt{MN}) در هر نقطه) می‌باشد.

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (4)$$

$$l_0 = \left(\frac{l^2 - \Delta h^2}{(1 + \frac{h_1}{R})(1 + \frac{h_2}{R})} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$s = R\psi = 2R \sin^{-1} \left(\frac{l_0}{2R} \right) \quad (6)$$

l_0 طول وتر و s طول کمان برای کره به شعاع R است. که بادر نظر گرفتن $\Delta h = 0$ و $l = 1$ برای هر نقطه، ضریب مقیاس ارتفاعی به شکل زیر بدست می‌آید:

$$EF = 2R \sin^{-1} \left(\frac{1}{2(R+h)} \right) \quad (7)$$

۲-۳-۲ ضریب مقیاس تصویر در سیستم UTM:

در سیستم تصویر UTM، ضریب مقیاس در طول نصف‌النهار مرکزی برابر ۰/۹۹۹۶ است و هرچه فاصله نقطه از مرکز بیشتر شود مقدار ضریب نیز فزونی خواهد یافت و

شروع می‌شود.

۲. ضریب مقیاس در طول نصف‌النهار مرکزی هر زون برابر ۰/۹۹۹۶ است.

۳. مختصات مبدا ۵۰۰۰۰۰۰ برای مؤلفه شرقی و ۰ برای مؤلفه شمالی در نیمکره شمالی و ۱۰۰۰۰۰۰۰ در نیمکره جنوبی است.

۴. بیضوی مبنا WGS84 است

۵. واحد طول متر SI است.

نکته مهم در مورد سیستم تصویر UTM وجود رابطه ریاضی بین سطح بیضوی و صفحه UTM است. بنابراین مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها ابتدا به سطح بیضوی منتقل می‌شوند و سپس این مشاهدات به روی صفحه نقشه تصویر می‌شوند.

۲-۳-۳ تبدیل فواصل از روی سطح زمین به روی صفحه نقشه

به منظور تصویر کردن فاصله بین دو نقطه از روی سطح زمین به سطح تصویر نقشه باید از ترکیب دو ضریب مقیاس به شرح زیر استفاده کرد:

۱. ضریب مقیاس ارتفاعی (EF)

۲. ضریب مقیاس تصویر (SF)

و ضریب مقیاس ترکیبی حاصل ضرب دو ضریب بالا است.



نگاره ۲: تفسیر هندسی اعمال ضریب مقیاس

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (... / ۷۱
تبدیلات مختصات دقیق بین سیستم محلی و UTM

معادلات همراستایی دقیق و مدل‌های سنسور تعمیم یافته از جمله مدل‌های چند جمله‌ای یک بعدی، دوی بعدی، و سه بعدی، مدل تبدیل پروژکتیو و مدل تبدیل خطی مستقیم (DLT) می‌باشد (Liu et al., 2007).

شکل کلی مدل توابع گویا به صورت زیر است که به طور مثال در فتوگرامتری رابطه هندسی بین فضای شیئی (زمین) با مختصات (X, Y, Z) و فضای عکس، با مختصات (x, y) را با نسبت بین چند جمله‌ای های P_n نشان می‌دهد و به

$$x = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)} \quad (14)$$

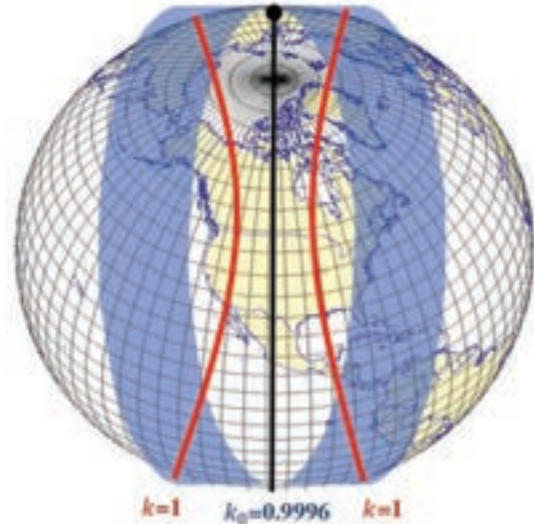
$$y = \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)} \quad (15)$$

البته عیوبی نیز برای روش مدل گویا وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به دشواری در تفسیر پارامترها و احتمال وابستگی بین ضرایب مدل اشاره کرد. (Liu et al., 2007) ضرایب مجهول مدل گویا می‌تواند به وسیله روش سرشکنی کمترین مربعات بدست آید. (Hu et al., 2004)

۲-۵- استفاده از داده لیدار

یکی از بهترین منابع ایجاد و بروزرسانی نقشه‌های سه بعدی شهری استفاده از داده های سنجنده لیدار می‌باشد. این سنجنده در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک عمل می‌کند. (Yunfei et al., 2008) و اشعه‌ی لیزری را به سمت منطقه هدف گسیل می‌دهد. سپس به کمک GPS و IMU تعبیه شده بر روی سکو، موقعیت هر نقطه ارسالی توسط سنجنده ثبت می‌شود. فاصله رفت و برگشت پالس لیزر از سنجنده تا زمین هم اندازه‌گیری می‌شود و با انتقال مختصات، نقاط زمینی هم دارای مختصات مشخص می‌گردند. با این توصیف، ابر سه بعدی از سطح زمین تهیه می‌شود که هرکدام از نقاط آن حداقل دارای مختصات سه بعدی در سیستم مختصات جهانی WGS-84 می‌باشد و در نتیجه محصول، یک شبکه متراکم از نقاط ارتفاعی ژئورفرنس با دقت بالاست. این روش به عنوان تکنیکی جهت جهت جمع‌آوری بسیار

به تدریج به عدد ۱ رسیده و از آن بزرگتر می‌شود.



نگاره ۴: ضریب مقیاس UTM

مقدار دقیق ضریب مقیاس برای هر نقطه در سیستم تصویر UTM از رابطه زیر بدست می‌آید. (Snyder et al., 1987)

$$k = k_0 + \left[1 + \frac{(1+C)A^2}{2} + (5 - 4T + 42C + 13C^2 - 28\epsilon^2) \frac{A^4}{24} + (61 - 148T + 16T^2) \frac{A^6}{720} \right] \quad (8)$$

که در آن k_0 ضریب مقیاس در طول نصف‌النهار مرکزی

برابر ۰/۹۹۹۶ است و

$$\epsilon^2 = \frac{e^2}{(1-e^2)} \quad (9)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)}} \quad (10)$$

$$T = \tan^2 \varphi \quad (11)$$

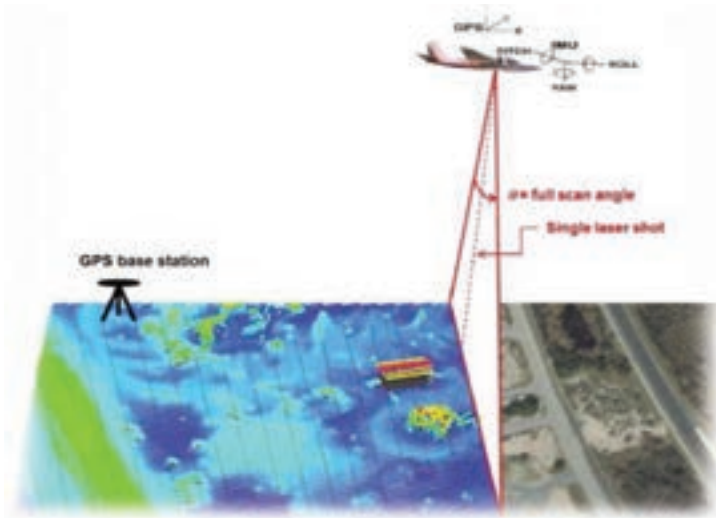
$$C = \epsilon^2 \cos^2 \varphi \quad (12)$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cos \varphi \quad (13)$$

۲-۴- مدل توابع گویا (RFM)

مدل توابع گویا (رشنال) نسبت دو چندجمله‌ای است که اخیراً توجه قابل ملاحظه‌ای را در بحث تبدیل بین سیستم‌های مختصات، در جامعه سنجنش از دوری به خود جلب کرده است. مدل توابع گویا یک شکل عمومی از

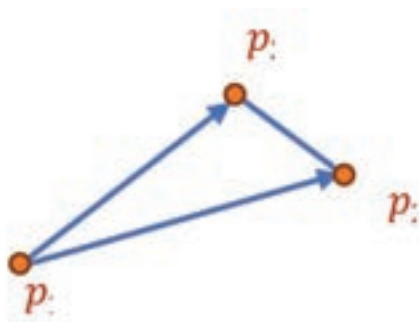
نگاره ۵: جمع‌آوری نقاط ارتفاعی با لیدار



۲-۶ - مثلث‌بندی دلونی و معادله صفحه
 برای مجموعه نقاط S در صفحه، مثلث‌بندی دلونی
 مثلث‌بندی منحصر به فردی است که در آن دوایر محیطی
 گذرنده از رأس‌های هر مثلث، هیچ یک از نقاط دیگر را
 شامل نمی‌شود. (Ledoux et al., 2006)

جهت بدست‌آوردن معادله صفحه هر کدام از این
 مثلث‌های دلونی در فضا، با تشکیل معادله صفحه فضایی
 گذرنده از سه نقطه‌ی رأس مثلث از رابطه زیر، استفاده
 می‌شود. (Thomas et al., 1988)

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (16)$$



نگاره ۷: معادله صفحه فضایی گذرنده از سه نقطه

و ضرایب مجهول چهارگانه از روابط زیر بدست می‌آید.

$$(a, b, c) = [\Delta x_{12}, \Delta y_{12}, \Delta z_{12}] \odot [\Delta x_{13}, \Delta y_{13}, \Delta z_{13}]$$

$$(d) = -[a, b, c] \odot [x_1, y_1, z_1] \quad (17)$$

متراکم و دقیق داده‌های ارتفاعی از مناطق زمینی می‌باشد که
 توسط سنجنده‌های اکتیو سنسجش از دوری و به وسیله‌ی
 هواپیماهایی با سرعت زیاد که برفراز ناحیه مورد نظر پرواز
 می‌کنند، با نرخ نمونه برداری ۱۵۰۰۰۰ پالس بر دقیقه
 جمع‌آوری می‌شود. (Jamie et al., 2012)

مجموعه داده‌های ارتفاعی جمع‌آوری شده توسط لیدار،
 مزایای متعددی نسبت به سایر تکنیک‌های فتوگرامتری
 دارد، که از میان آنها می‌توان به رزولوشن مکانی بالاتر،
 دقت سانتی‌متری و تشخیص حد پوشش گیاهی در مناطق
 جنگلی اشاره کرد. به طور معمول دقت مسطحاتی داده‌های
 ارتفاعی بدست‌آمده از تکنیک لیدار در حال حاضر حدود
 ۱۰ الی ۲۰ سانتی‌متر است، هر چند که دقت نسبی بین نقاط
 ارتفاعی از این مقدار بیشتر است. (Jamie et al., 2012)



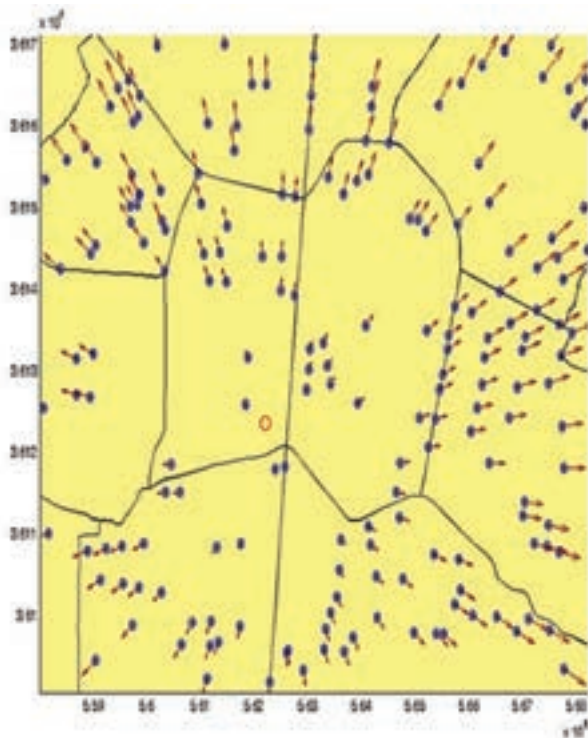
نگاره ۶: مثلث‌بندی دلونی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
 تبدیلات مختصات دقیق بین سیستم محلی و UTM ... / ۷۳

شهر اصفهان با استفاده از ضریب مقیاس ترکیبی متوسط بین ایستگاه مبدا که تقریباً در مرکز شهر است و نقطه مورد نظر، تعریف می‌شود.

جدول ۱: مشخصات مبدا سیستم محلی شهر اصفهان

نقطه مبدا (واقع بر پشت بام هتل کوثر اصفهان)	
ضریب مقیاس تصویر	۰/۹۹۹۶۴۸۰۰۱۶۹۷۵۶۲
ضریب مقیاس ارتفاعی	۰/۹۹۹۷۴۵۳۷۵۱۱۹۲۹
ضریب مقیاس ترکیبی	۰/۹۹۹۴۹۶۶۲۷۷۳۴۶۱

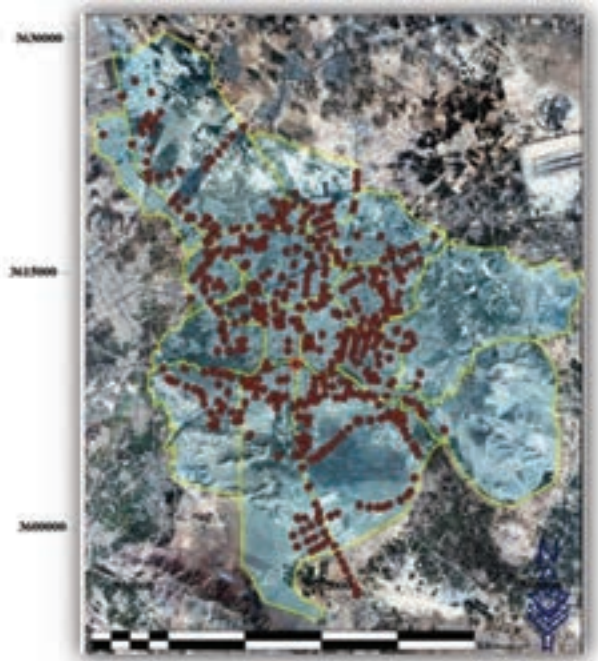


نگاره ۹: جابجایی شعاعی نقاط نسبت به نقطه مبدا

ضریب مقیاس ترکیبی برای نقطه‌ای که قصد داریم مختصات آن را محلی کنیم نیز محاسبه می‌شود سپس

۳- منطقه مطالعاتی و داده‌ها

برای پیاده‌سازی روش‌های مورد مطالعه در این پژوهش از داده‌های مربوط به ۵۰۰ ایستگاه GPS موجود متعلق به شهرداری اصفهان با پراکندگی مناسب در سطح شهر اصفهان، به همراه داده‌های ارتفاعی لیدار حاصل از عکس‌برداری دیجیتال سال ۹۲ شهر اصفهان استفاده شد. فایل داده‌ها شامل مختصات پردازش شده ایستگاه‌های GPS و مختصات نقاط لیدار در سیستم UTM می‌باشد.



نگاره ۸: محدوده شهر اصفهان و پراکندگی نقاط GPS

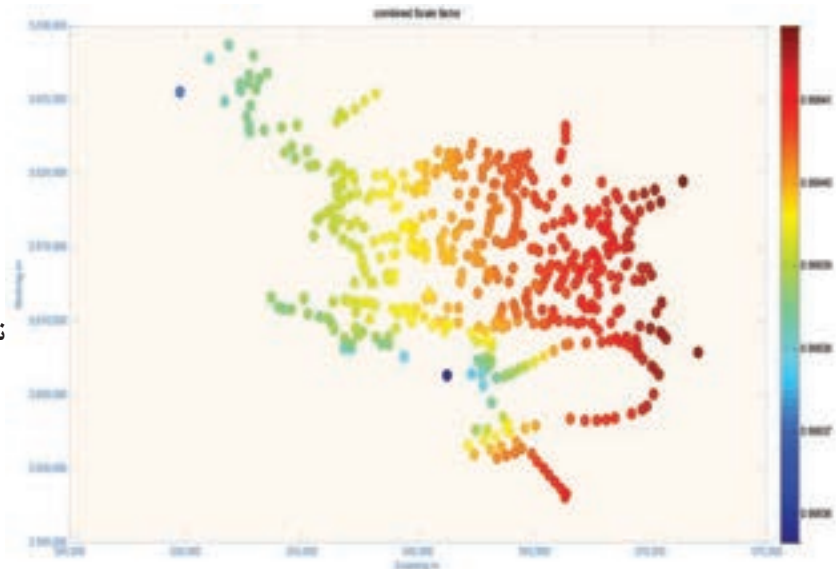
۴- پیاده‌سازی بر روی داده‌ها و تحلیل نتایج

در این بخش ابتدا با پیاده‌سازی روابط تبدیل فواصل از روی سطح بیضوی به روی نقشه، مختصات نقاط GPS شهر اصفهان در سیستم محلی محاسبه و نتایج ارائه شده است و در بخش دوم به ارائه مدل درونیابی ارتفاعی به وسیله داده‌های ارتفاعی لیدار شهر اصفهان و ارائه نتایج اشاره شده است.

۴-۱- تبدیل مختصات UTM به مختصات محلی با

استفاده از ضریب مقیاس

در این روش سیستم مختصات محلی مورد استفاده در



نگاره ۱۰: تغییرات ضریب مقیاس ترکیبی
برای نقاط GPS شهر اصفهان

دو سیستم برقرار شود و با به دست آوردن ضرایب مجهول به روش کمترین مربعات، مدلی جهت ترانسفورماسیون بین دو سیستم حاصل شود. نکته مهم آنجاست که در تبدیل مختصات از سیستم UTM به محلی هر سه مختصه‌ی نقطه در دیتوم WGS-84 موجود است و مختصات دو بعدی در سیستم محلی به راحتی بدست می‌آید، اما در تبدیل عکس از سیستم مختصات محلی به UTM که بیشتر مورد نیاز کاربران نقشه برداری است، نیاز به دانستن ارتفاع نقطه می‌باشد. در ادامه مراحل روش پیشنهادی جهت محاسبه ارتفاع هر نقطه در معابر شهر اصفهان با دقت مناسب جهت انجام ترانسفورماسیون، و با استفاده از داده های لیدار به همراه ارائه نتایج می‌آید.

۴-۲ درونیابی ارتفاع نقاط معابر سطح شهر اصفهان با استفاده از دیتای نقاط ارتفاعی لیدار

در سال ۱۳۹۲ جهت تهیه ابر نقاط ارتفاعی شهر اصفهان، پروازی با ارتفاع حدود ۸۰۰ متری از سطح زمین انجام و تعداد ۹۰۰ میلیون نقطه ارتفاعی در سطح شهر اصفهان با تراکم تقریبی ۱/۵ نقطه در مترمربع و فاصله تقریبی ۵۰ سانتی متری نقاط نسبت به همدیگر بدست آمده است. از آنجا که این حجم دیتا بسیار زیاد است و جهت انجام ترانسفورماسیون به ارتفاع نقاط در معابر شهر اصفهان نیاز بود پردازش هایی بر

متوسط ضریب مقیاس این دو نقطه محاسبه می‌گردد و طول بین نقطه مبدا و نقطه مورد نظر در سیستم UTM محاسبه شده و مقدار آن بر ضریب مقیاس متوسط تقسیم می‌گردد. نقطه مبدا در سیستم محلی ثابت می‌ماند و نقطه دوم در راستای آزیموت قبلی شبکه جابجا می‌شود تا طول آن برابر طول محاسبه شده جدید شود.

در سطح شهر اصفهان و روی نقاط GPS ضرایب مقیاس تصویر، ارتفاعی و ترکیبی محاسبه شده است که دامنه این نوسانات، نشانگر تغییرات در سطح شهر است به طوری که در بخشی از جنوب شهر و شمال غربی شهر اعمال ضریب مقیاس ترکیبی کمترین مقدار است به نحوی که یک طول افق ۱۰۰۰ متری روی زمین به روی صفحه تصویر به ۹۹۹/۳۶ متر تبدیل می‌شود در حالی که در قسمت شرقی شهر ضریب مقیاس ترکیبی بیشترین مقدار را دارد و یک طول افق ۱۰۰۰ متری روی زمین به روی صفحه تصویر به ۹۹۹/۴۲ متر تبدیل می‌شود. این مسئله بدان معنی است که اگر از یک ضریب مقیاس برای کل شهر استفاده شود اختلافی در حدود چند دسیمتر در طول‌های بلند ایجاد می‌شود که مناسب مسائل تهیه نقشه دقیق نیست. با بدست آمدن مختصات دقیق نقاط GPS شهر اصفهان در دو سیستم مختصات UTM و محلی، با در نظر گرفتن روابط توابع گویا می‌تواند ارتباط بین این

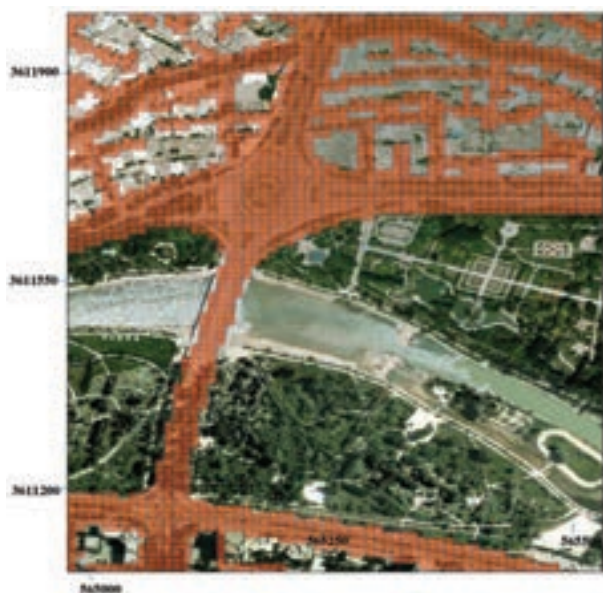
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
 تبدیلات مختصات دقیق بین سیستم محلی و UTM ... / ۷۵

۴-۲-۱ در نظر گرفتن یک شبکه منظم جهت شهر اصفهان

گام اول ایجاد یک گرید منظم با پیکسل‌های ۱۰ متر در ۱۰ متر برای مساحت ۵۵۰ کیلومتر مربعی کل شهر اصفهان و هدف نهایی بدست آوردن یک نقطه ارتفاعی برای مرکز هر کدام از این پیکسل‌ها که در معابر شهر واقع می‌شدند بود.

۴-۲-۲ استخراج شبکه داخل معابر شهر اصفهان

در گام دوم با استفاده از نقشه‌های شهر اصفهان و جداکردن کلاس معابر شامل بزرگراه‌ها، معابر اصلی و فرعی، کوچه‌ها و بن‌بست‌ها به استخراج Shp فایل معابر پرداخته شد. در ادامه پیکسل‌هایی از شبکه که با معابر شهر اصفهان تقاطع داشت انتخاب و نهایتاً از پیکسل‌هایی که مراکز آنها حتماً در کلاس معابر واقع می‌شدند خروجی گرفته شد.

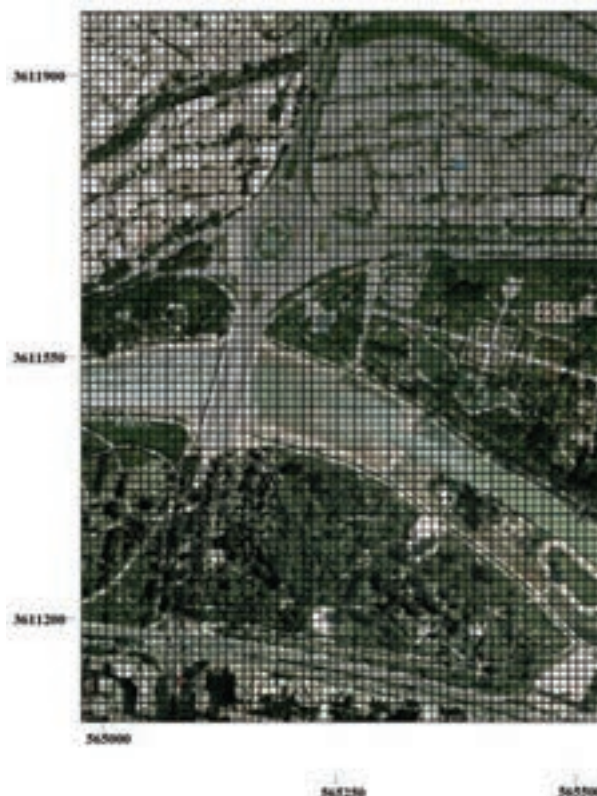


نگاره ۱۳: استخراج شبکه داخل معابر

۴-۲-۳ استخراج نقاط لیدار داخل معابر شهر اصفهان

گام سوم انتخاب نقاط لیدار واقع در معابر و حذف سایر نقاط ارتفاعی مانند نقاط واقع بر روی ساختمان‌ها بود که با توجه به حجم بالای دیتاها به صورت تکه به تکه در

روی کل دیتای لیدار شهر اصفهان در نرم‌افزار ARCMAP10.2 انجام شد که در ادامه به این موارد اشاره می‌شود.

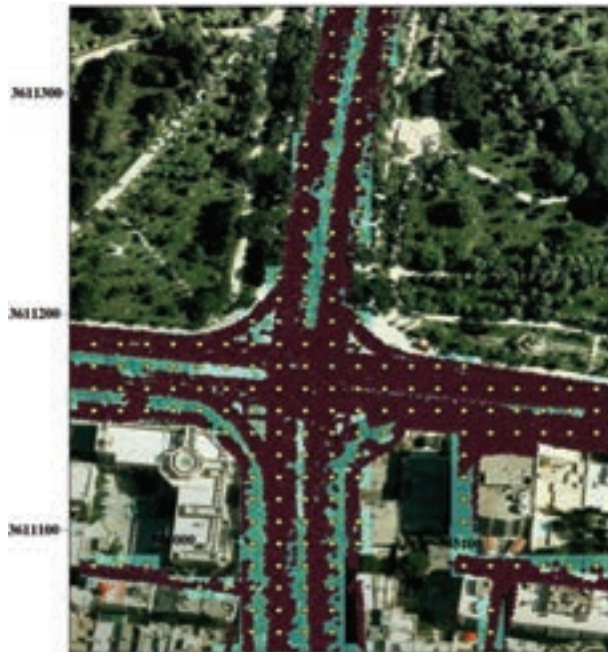


نگاره ۱۱: شبکه منظم با پیکسل‌های ۱۰*۱۰ متری



نگاره ۱۲: استخراج معابر شهر اصفهان

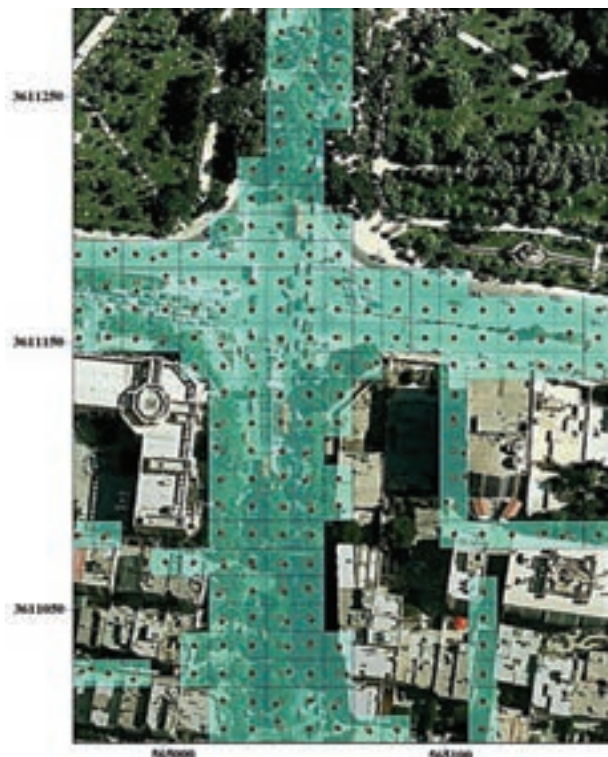
نرم افزار GlobalMapper انجام شد و دیتای لیدار واقع در معابر شهر اصفهان بدست آمد.



نگاره ۱۶: نقاط زمینی لیدار داخل معابر (نقاط قرمز) به همراه استخراج مراکز پیکسل های شبکه (نقاط زرد)



نگاره ۱۴: استخراج نقاط لیدار داخل معابر



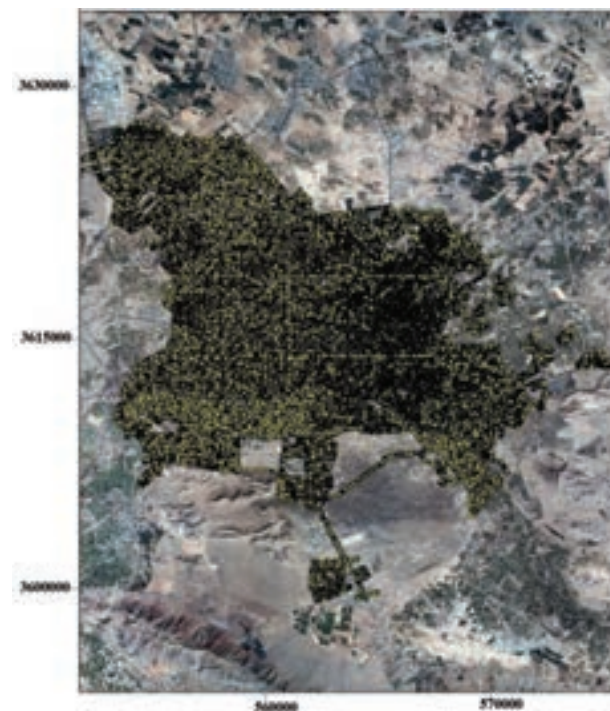
نگاره ۱۷: استخراج نزدیک ترین نقطه ارتفاعی (نقاط قرمز)، نسبت به مرکز هر پیکسل (نقاط زرد)

ptn	Name	LAYER	ELEVATION	RETURN	CLASS
2603	Point	LEDAI_Ground_Shat	1923.19 m (97)	2	Ground
2604	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192203.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2604	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192203.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2604	Point	LEDAI_Ground_Shat	192440.19 m (97)	2	Ground
2604	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192429.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2604	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192429.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2604	Point	LEDAI_Ground_Shat	192489.19 m (97)	2	Ground
2604	Point	LEDAI_Ground_Shat	192497.19 m (97)	2	Ground
2604	Point	LEDAI_Ground_Shat	192507.19 m (97)	2	Ground
2604	Point	LEDAI_Ground_Shat	192495.19 m (97)	2	Ground
2604	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192503.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2605	Point	LEDAI_Ground_Shat	192486.19 m (97)	2	Ground
2605	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192577.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2605	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192577.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2605	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192573.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2605	Point	LEDAI_Ground_Shat	192724.19 m (97)	2	Ground
2605	Point	LEDAI_Ground_Shat	192725.19 m (97)	2	Ground
2605	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2605	Point	LEDAI_Ground_Shat	192704.19 m (97)	2	Ground
2605	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2605	Point	LEDAI_Ground_Shat	192708.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192708.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192709.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Ground_Shat	192707.19 m (97)	2	Ground
2606	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192707.19 m (97)	4	Medium Vegetation
2606	Point	LEDAI_Vegetation_Medium	192709.19 m (97)	4	Medium Vegetation

نگاره ۱۵: جداکردن نقاط لیدار با کلاس زمینی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
تبدیلات مختصات دقیق بین سیستم محلی و UTM / ... ۷۷

در هر گزید به نقطه مرکز آن گزید، نزدیک ترین نقطه به نقطه‌ی مرکزی انتخاب شد و در کل شهر اصفهان یک شبکه منظم از نقاط ارتفاعی زمینی واقع در معابر حاصل از لیدار تشکیل شد. در مرحله‌ی آخر آماده سازی دیتاها به تمامی نقاط، مختصات مسطحاتی نقاط در سیستم UTM که دارای دقت برداشت شده توسط GPS لیدار است اضافه شد و تمامی نقاط ارتفاعی شبکه معابر شهر اصفهان دارای شناسنامه‌ی مختصاتی گشت.



نگاره ۱۹: تشکیل شبکه نهایی نقاط ارتفاعی واقع در معابر شهر اصفهان

نهایتاً با تعداد ۴۹۲۰۷۸ نقطه کل شبکه منظم نقاط ارتفاعی واقع در معابر شهر اصفهان تشکیل شد و جهت استفاده برای درونیابی ارتفاعی آماده شد.

۴-۲-۵ مثلث بندی دلونی و معادلات صفحات

در گام آخر پس از ورود مختصات دیتای تشکیل شده نقاط ارتفاعی به نرم افزار Matlab، و اعمال فیلتری جهت حذف نقاط احتمالی تکراری، به تشکیل مثلث بندی دلونی



نگاره ۱۸: نمونه‌ای از نقاط ارتفاعی نهایی

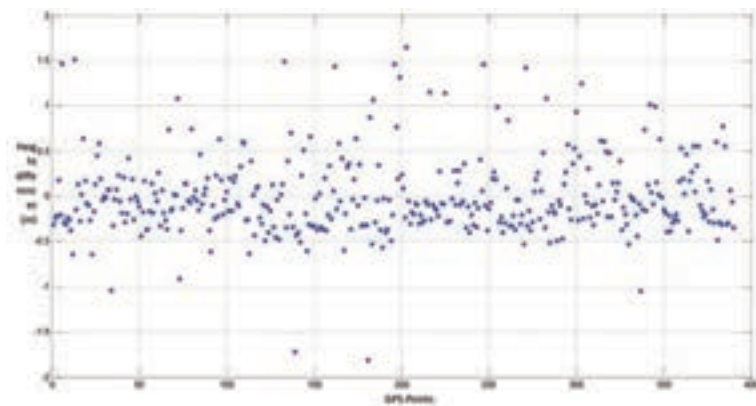
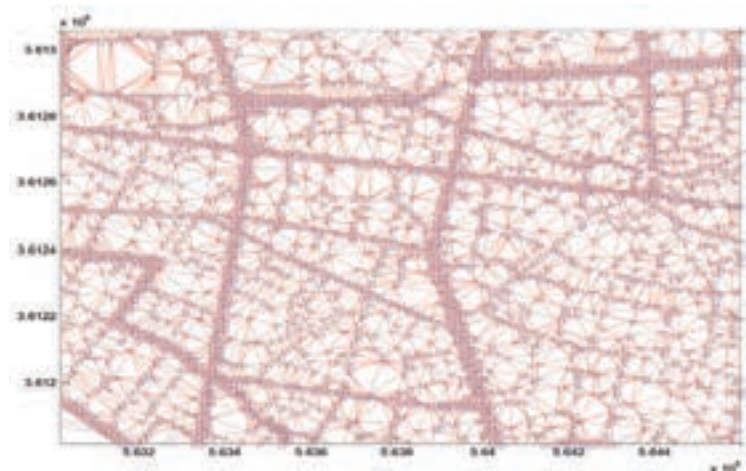
از آنجا که در داخل بعضی از معابر به خصوص معابر اصلی در سطح شهر اصفهان، رفوژهای فضای سبز زیادی موجود است باید از بین نقاط لیدار، نقاطی که دارای کلاس فضای سبز و تاج پوشش گیاهی (MediumVegetation) بود از بین آنها حذف می‌شد. این کار با استفاده از جدول اطلاعات توصیفی نقاط لیدار صورت پذیرفت و نقاطی که دارای کلاس زمینی (Ground) بودند انتخاب شدند. نهایتاً نقاط ارتفاعی لیدار با کلاس زمینی که داخل گزیده‌های واقع در معابر شهر اصفهان بودند مشخص شدند و باید از بین این نقاط، نزدیک ترین نقطه به مرکز گزید به عنوان نماینده نقاط ارتفاعی واقع در پیکسل ۱۰*۱۰ متری، انتخاب می‌شد.

۴-۲-۶ تشکیل شبکه نهایی نقاط ارتفاعی واقع در

گزید معابر شهر اصفهان

در این مرحله با استفاده از الحاق مکانی دیتاهای ارتفاعی واقع

نگاره ۲۰: نمونه‌ای از تشکیل مثلث‌بندی دلونی بین نقاط ارتفاعی واقع در معابر شهر اصفهان



نگاره ۲۱: اختلاف ارتفاع ناشی از محاسبه ارتفاع نقاط GPS شهر اصفهان با استفاده از روش درونیابی داده‌های ارتفاعی لیدار پس از حذف بایاس

نشان از خطای برداشت ارتفاعی نقاط در هنگام پرواز توسط لیدار می‌باشد. پس از حذف این بایاس مقدار RMSE محاسبه شده برای این نقاط برابر با ۴۳ سانتیمتر می‌باشد.

بین هر سه نقطه ارتفاعی در سطح شهر اصفهان پرداخته شد. نهایتاً برای هر کدام از این مثلث‌ها، معادله صفحه تشکیل شده محاسبه شد و ضرایب مجهول بدست آمد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در بخش ابتدایی مقاله انتقال دقیق بین سیستم تصویر UTM و شبکه محلی شهرداری اصفهان با استفاده از نقاط GPS شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از آن بود که اختلافاتی در حد چند سانتی‌متر برای طول‌های حدود یک کیلومتر، با نتایج زمینی به وجود می‌آید. در این روش ارتفاع نقاط در محاسبه‌ی ضریب مقیاس ترکیبی استفاده شد و این ضریب برای همه نقاط شبکه محاسبه و تغییرات طول از مشاهدات زمینی به سیستم تصویر در کل شهر اصفهان مدل شد. از آنجا که مدل توابع گویا به عنوان تابعی از موقعیت و ارتفاع می‌تواند به عنوان یکی از

۴-۲-۶- آزمایش روش انجام شده

جهت درونیابی ارتفاعی هر نقطه در معابر سطح شهر اصفهان، ارتفاع نقطه بر اساس معادله صفحه‌ای که نقطه‌ی مورد نظر داخل آن قرار می‌گیرد محاسبه می‌شود. جهت تست این روش، ارتفاع تعداد ۴۱۲ نقطه GPS موجود در معابر سطح شهر اصفهان با استفاده از این روش، محاسبه و با ارتفاع واقعی نقاط بررسی شد. نتایج حاکی از این بود که خطای ارتفاعی ۹۵٪ نقاط در بازه‌ی $2 \pm$ متر بود و میانگین خطای مطلق ارتفاعی برای این نقاط برابر با $36 \pm$ سانتی‌متر محاسبه شد. از طرف دیگر یک بایاس ۳۰ سانتی‌متری در مقادیر این اختلافات ملاحظه شد که به احتمال فراوان

5- Ledoux, H., (2006), "Modeling Three-dimensional Fields in Geo-Science with the Voronoi Diagram and its Dual." Ph.D., School of Computing, University of Glamorgan.

6- Liu, S. J., et al. (2007), "Transformation between rational function model and rigorous sensor model for high resolution satellite imagery". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008 pp.873-875

7- Palancz, B., et al. (2011), "Computational study of the 3D affine transformation. In Computational Mathematics: Theory, Methods and Applications", ed. Peter Chareton, , Nova Science Publishers, New York. pp. 279-312

8- Snyder, J. P., & Geological Survey (U.S.), (1987), "Map projections-a working manual". Washington: U.S. G.P.O. "Surveying & Positioning Guidance Note 1". (2008) "Geodetic Awareness Guidance Note.". <http://www.iogp.org/pubs/373-01.pdf>.

9- Thomas, G. B., et al. (1988), "Calculus and Analytic Geometry". Addison-Wesley, Seventh Edition.

10- Yunfei, Bao et al. (2008), "Classification of LiDAR Point Cloud and Generation of DTM from LiDAR Height and Intensity Data in Forested Area. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, China, Vol. XXXVII, Part B3b.

11- Zaletnyik P. (2004) "Coordinate transformation with neural networks and with polynomials in Hungary" , International Symposium on Modern technologies, education, and professional practice in geodesy and related fields, 4-5 November 2004, Sofia, Bulgaria, pp.471-479.

12- Zeng, H. (2010), "A 3D coordinate transformation algorithm". The 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 195-198.

روش‌های نوین در انتقال مختصات بین سیستم‌های محلی و سیستم‌های تصویر استفاده شود، جهت انتقال معکوس از سیستم محلی به سیستم UTM به جز مختصات دو بعدی نیاز به مؤلفه ارتفاعی نقطه هم هست. لذا در بخش دوم مقاله جهت درون‌یابی ارتفاعی هر نقطه با استفاده از داده‌های ارتفاعی حاصل از پرواز لیدار شهر اصفهان، می‌توان با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و دقت مطلوب با میانگین خطای مطلق حدود ± 36 سانتی متر و RMSE برابر 43 سانتیمتر، به محاسبه ارتفاع نقاط در دیتوم WGS-84 پرداخت.

۶- تشکر و قدردانی

از شهرداری اصفهان، جهت در اختیار قرار دادن دیتاهای مورد نیاز و از حمایت‌های جناب آقای مهندس گلستان نژاد معاون سابق برنامه‌ریزی پژوهش و فناوری اطلاعات شهرداری اصفهان، جناب آقای مهندس ابراهیمی مدیر مطالعات و پژوهش شهرداری اصفهان، جناب آقای مهندس محلولی مدیر محترم منطقه ۶ شهرداری اصفهان و آقای مهندس عدیلی کارشناس اداره GIS شهرداری اصفهان به موجب همکاری‌های لازم تشکر و قدردانی می‌شود.

۷- منابع و مأخذ

1- Di, K., et al. (2003), "Rational functions and potential for rigorous sensor model recovery". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(1), pp. 33-41.

2- Hu, Y., et al. (2004), "Understanding the rational function model: methods and applications". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 3, pp. 1-6.

3- Jamie, C. et al. (2012), "Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications." (NOAA) Coastal Services Center., http://coast.noaa.gov/digitalcoast/_pdf/lidar101.pdf.

4- Krakiwsky, E.J. et al. (1974), "Geodetic position computations". Department of Geodesy and Geomatics Engineering. The University of New Brunswick, 39-42

