

## تعیین عمق سطوح و استخراج نقشه اختلاف در تصاویر هوایی با استفاده از بینایی دوگانه

محسن فلاحی دریاکناری<sup>۱</sup>، پیمان کبیری<sup>۲</sup>، سید علی حسینی<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر هوش مصنوعی و رباتیک، دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکده کامپیوتر؛
- ۲- عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکده کامپیوتر؛
- ۳- دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی کامپیوتر هوش مصنوعی و رباتیک، دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکده کامپیوتر.

### چکیده :

تطابق دوگانه در تصاویر بویژه تصاویر هوایی یکی از مسایل مهم در بینایی ماشین و بدست آوردن مدل‌های ارتفاعی رقومی (DEM) است که پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد آن انجام گرفته و این پژوهش‌ها در سال‌های اخیر بیشتر شده است. هدف اصلی از تطابق تصاویر دوگانه که بعنوان مهمترین زیر شاخه بینایی دوگانه، تعیین فاصله اشیا موجود در صحنه یا به عبارتی بدست آوردن اطلاعات عمق است. کاربردهایی نظیر، مدل کردن سه‌بعدی تصاویر، شناسایی موانع بکمک ربات و مسیریابی، مراقبت در محیط‌های امنیتی و تحلیل تصاویر پزشکی به اطلاعات عمق صحنه نیاز دارد. با گسترش روزافزون کاربرد تصاویر سه‌بعدی به منظور مکان‌یابی از حسگرهای مختلفی استفاده می‌شود تا بتوان اطلاعات دیداری را با کیفیتی بالا شبیه‌سازی نمود. بینایی دوگانه، یکی از حسگرهای بینایی است که با داشتن دست‌کم دو تصویر از یک صحنه و بر پایه تطابق دوگانه به استخراج عمق می‌پردازد. در این روش برای یافتن مختصات سه‌بعدی یک نقطه در فضا با دست‌کم دو دوربین (یا یک دوربین که به گونه‌ای پشت سرهم عکسبرداری انجام دهد)، باید نقطه مورد نظر را در یک تصویر مشخص کرد و متناظر این نقطه را در تصویر دیگر یافت. توسط این تناظر و خط مبنای دو دوربین می‌توان مختصات سه‌بعدی و الگوی رقومی ارتفاع را بدست آورد. یافتن همه نقاط متناظر هزینه محاسباتی بالایی به سامانه تحمیل می‌کند، اما با اجرای همزمان و ترکیب روش‌ها هزینه محاسباتی تا مقدار قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. در این راستا مهمترین کار، افزایش سرعت اجراء، دقت و نیز کاهش پیچیدگی محاسباتی است. بنابراین از تصاویر دوگانه رقومی هوایی با وضوح تصویر بالا برای افزایش دقت استفاده می‌شود. این مقاله به معرفی هندسه سامانه بینایی دوگانه و روابط حاکم بر آن و نیز بازسازی سه‌بعدی تصاویر می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی : بینایی دوگانه، مدل ارتفاعی رقومی، تطابق دوگانه، نقاط متناظر، الگوریتم‌های تطابق نقطه به نقطه.



## ۱- مقدمه

برای تولید مدل سه‌بعدی زمین راه‌های زیادی وجود دارد، مانند استفاده از روش‌های نقشه‌برداری، استفاده از اطلاعات بدست از GPS، استفاده از رادار، استفاده از فاصله‌سنج لیزری، بینایی دوگانه از میان منابع مورد استفاده در استخراج مدل سه‌بعدی عوارض زمین، تصاویر ماهواره‌ای نسبت به منابع دیگر مزایایی دارد. یک تصویر ماهواره‌ای منطقه وسیعی را پوشش می‌دهد و تهیه تصاویر در بازه‌های مناسب آسان‌تر است [۱]. روش مورد بررسی برای بازسازی اطلاعات سه‌بعدی تصاویر در این مقاله، جز میان روش‌های بینایی دوگانه است و از مسایل مهم در بینایی ماشین به حساب می‌آید. پرهزینه‌ترین قسمت بینایی دوگانه تناظریابی است.

با این‌که مساله بینایی دوگانه یکی از چالش‌های قدیمی است ولی همچنان مورد پژوهش قرار دارد و از نظر سرعت و دقت بهبود داده می‌شود. در ادامه این مقاله ابتدا مساله بینایی دوگانه و تناظریابی که مهمترین بخش آن است تشریح شده سپس کارهای انجام شده در این رابطه بررسی شده است. در ادامه از نتایج تجربی بدست آمده ارائه شده و میزان افزایش دقت اعلام شده است. در انتها نتیجه‌گیری و کارهای آینده بیان گردیده است.

## ۲- کارهای گذشته

کارهای بسیاری برای بازسازی سه‌بعدی الگوی رقومی سطح زمین<sup>۱</sup> (DSM) از تصاویر هوایی انجام شده است. به دلیل آن‌که پردازش سه‌بعدی هوایی به صورت دستی کار زمان‌بری است بنابراین پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه خودکار یا نیمه خودکار کردن این پردازش انجام شده و در حال انجام است که البته این موضوع بسیار مهم و لازم است.

جهت خودکار کردن پردازش تصاویر هوایی باید از تصاویری که توسط هواپیما یا حسگرهای هوایی تصویربرداری شده برای تولید الگوی رقومی سطح زمین استفاده شود [۲].

الگوریتم‌های بسیاری برای تولید الگوی رقومی سطح زمین، با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره توسعه و معرفی شده‌اند [۳]. یکی از روش‌ها، استفاده از دو تصویر در یک لحظه برای بازسازی سه‌بعدی الگوی دوگانه است که می‌توان اطلاعات قابل توجهی از آن استخراج نمود [۴]. الگوهای سه‌بعدی می‌توانند از جفت تصاویر دوگانه توسط هواپیما و یا ماهواره‌های GeoEye، QuickBird و Iko-nos بدست آیند [۵، ۶].

عملکرد انطباق تصویر برای تولید الگوی رقومی سطح زمین و استخراج ویژگی نیازمند تصاویر هوایی با وضوح تصویر بالا است تا بتوان به عنوان نمونه نقشه اختلاف سطح برای یک منطقه شهری را با دقت بیشتری محاسبه نمود [۷]. همچنین در پژوهش دیگری در این زمینه [۸]، از روش برنامه‌نویسی پویا و الگوریتم تقریق دودویی استخراج عمق به صورت بلوکی انجام شده است.

## ۳- تناظریابی

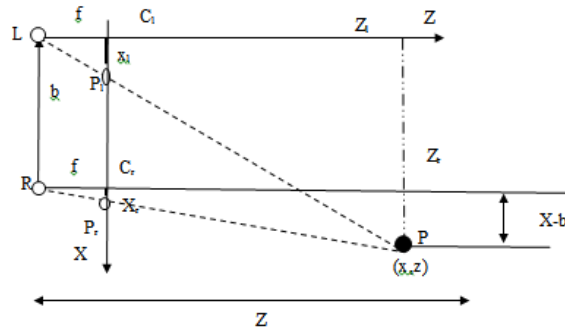
هنگام تصویربرداری تنها دویعد از سه‌بعد نقاط صحنه ثبت می‌شود و بعد سوم از بین می‌رود. این بعد سوم را می‌توان با مقایسه دو عکس که از دو زاویه مختلف از یک صحنه گرفته شده برای تعداد زیادی از نقاط بازیابی کرد. اساس این کار تشخیص نقاط متناظر در دو تصویر و اندازه‌گیری مقدار جایجایی آن‌ها و دانستن اینکه نقاط نزدیکتر به دوربین بیشتر از نقاط دور جابجا می‌شوند است. یک نقطه از صحنه دارای مختصات متفاوتی در هر یک زوج تصویر دوگانه است. این اختلاف مختصات که به آن جایجایی گفته می‌شود متناسب با فاصله آن نقطه از دوربین است. یعنی نقاط دورتر از دوربین تغییر مختصات کمتری نسبت به نقاط نزدیکتر به دوربین دارند.

<sup>1</sup> Digital Surface Model (DSM)



در شکل ۱ با استفاده از تشابه مثلث‌های  $LP_1C_1$  با  $LP_2C_2$  و تشابه مثلث‌های  $RP_1C_1$  با  $RP_2C_2$  رابطه (۱) بدست می‌آید. با استفاده از این رابطه فاصله نقاط از دوربین محاسبه می‌شود.

$$Z = \frac{fb}{x_l - x_r} \quad (1)$$



شکل ۱: روش تصویرشدن یک نقطه در دو تصویر دوگانه

در این رابطه  $f$  فاصله کانونی دوربین،  $x_l$  مکان نقطه در تصویر چپ و  $x_r$  مکان نقطه در تصویر راست است. با دانستن مشخصات دوربین و محل‌های تصویربرداری، تنها متغیر مجهول مکان نقطه در تصویر چپ و راست است. برای محاسبه این تغییر مختصات باید نقطه متناظر با نقطه مورد نظر در تصویر چپ، در تصویر راست پیدا شود. این کار تناظریابی نام دارد.

#### ۴- الگوریتم‌های استخراج ویژگی

برای پیدا کردن نقاطی حساس در تصویر باید دنبال ویژگی‌هایی بود که از آن بتوان برای یک تناظریابی ایده‌آل استفاده نمود. این نقاط می‌توانند گوشه‌ها، روشنایی یا تاریکی اشیاء داخل تصویر باشند به همین سبب باید از الگوریتم‌های مختلفی استفاده کرد تا بتوان بهترین ویژگی را استخراج نمود. تعدادی از مهمترین الگوریتم‌ها در ادامه شرح داده می‌شود.

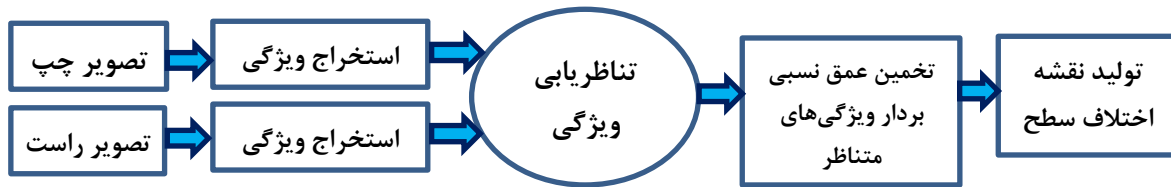
##### ۴-۱- الگوریتم Fast

الگوریتم Fast جز الگوریتم‌هایی است که سرعت بالایی برای تشخیص گوشه‌های تصویر دارد. در این الگوریتم یک نقطه به عنوان پیکسل کاندید مشخص می‌شود. برای این که بتوان این نقطه را به عنوان یک گوشه تصویر شناسایی شود ابتدا یک دایره دور پیکسل کاندید انتخاب می‌شود و اگر پیکسل‌های اطراف پیکسل کاندید از آن تاریکتر یا روشن‌تر بود پیکسل کاندید به عنوان یک پیکسل گوشه انتخاب می‌شود [۹].

##### ۴-۲- الگوریتم Brisk

این الگوریتم از الگوریتم‌های مقیاس‌پذیر ثابت و مقاوم دودویی است که در مسایل بینایی ماشین بسیار پرکاربرد است. در این الگوریتم بدون آنکه اطلاعات اولیه‌ای در مورد صحنه و دوربین وجود داشته باشد، اطلاعات قابل استفاده‌ای جهت توصیف و انطباق نقاط کلیدی تصویر به ما می‌دهد. برخلاف بسیاری از الگوریتم‌های معروف مانند Sift یا Surf که اجرای بالای آن‌ها ثابت شده است، این روش به طور چشمگیری در مقایسه با اجرای الگوریتم‌های دیگر سریعتر عمل می‌کند. الگوریتم Brisk متکی بر الگوی نمونه‌برداری دایروی قابل پیکربندی است که درخشانی تصویر را به صورت رشته توصیفی دودویی با هم مقایسه می‌کند. یکی از ویژگی‌های واحد الگوریتم Brisk آن است که برای

کاربردهای طیف‌های گسترده به ویژه برای کارهای زمان واقعی<sup>۲</sup> یا کارهایی قدرت محاسباتی آن محدود باشد، مناسب است [۱۰].



شکل ۲: نمودار جریان روش پیشنهادی

#### ۴-۳- الگوریتم Freak

این الگوریتم از نقاط کلیدی سریع شبکه چشم الهام گرفته است. Freak روشی است که از نمونه‌هایی که بصورت دایره شکل که از شدت بالاتری نسبت به نقاط نزدیکتر مرکز دارند استفاده می‌کند. هر نمونه برای اینکه حساسیت کمتری نسبت به نویز داشته باشد باید نیاز به صاف شدن دارد. برای انطباق الگوی شبکه چشم از اندازه هسته مختلف برای هر نمونه مانند الگوریتم Brisk استفاده می‌شود. تغییرات نمایی در اندازه و رشته‌هایی که با هم پوشانی دارد از تفاوت‌های این الگوریتم با الگوریتم Brisk است [۱۱].

#### ۴-۴- الگوریتم Harris

الگوریتم تشخیص‌دهنده نقاط Harris براحتی می‌تواند نواحی که شبیه بهم هستند را بین تصاویری که دارای روشنایی خاصی هستند یا این که دارای تبدیل یا چرخشی هستند را شناسایی کنند. این الگوریتم حتی می‌تواند نواحی شبیه به هم را در تصاویری که در نقاط مختلفی گرفته شده‌اند یا زوایا و مقیاس‌های مختلفی داشته باشند را شناسایی و استخراج کند.

#### ۵- روش پیشنهادی

نمودار جریان روش پیشنهاد شده در شکل ۲ نمایش داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود ورودی الگوریتم دو تصویر بوده که میزان همپوشانی آن‌ها قابل ملاحظه است.

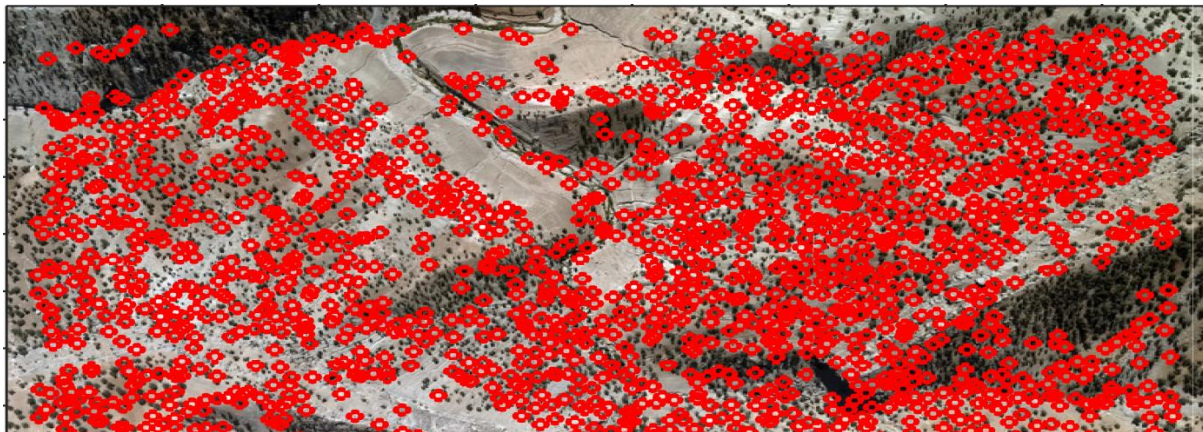
تصاویر هوایی دوگانه تهیه شده برای پروژه سدسازی که با وضوح تصویر بالا تهیه شده است که برای این کار به وضوح تصویر ۷۶۰×۵۰۰ کاهش داده شده است تا پردازش آن آسان‌تر و سریع‌تر صورت گیرد (شکل ۳). این مقاله برای الگوریتم بینایی دوگانه از تناظریابی نقطه‌ای استفاده شده است. در این روش که روشی بسیار دقیق‌تر از روش‌های بلوکی و محلی انجام می‌شود. ابتدا ویژگی‌ها در هر نقطه از تصویر استخراج می‌شود در گام بعد تناظریابی در سطح کلی بین دو تصویر انجام می‌شود.

<sup>2</sup> Real Time



شکل ۳: تصاویر هوایی دوگانه انتخاب شده

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می کنید ابتدا استخراج ویژگی بین تصاویر با بهترین الگوریتم های استخراج ویژگی انجام می پذیرد تا بهترین و بیشترین ویژگی از نقاط همپوشانی را استخراج و انتخاب می کند [۱۲]. در این شکل دایره های قرمز رنگ نشان دهنده مکان ویژگی یافت شده است.



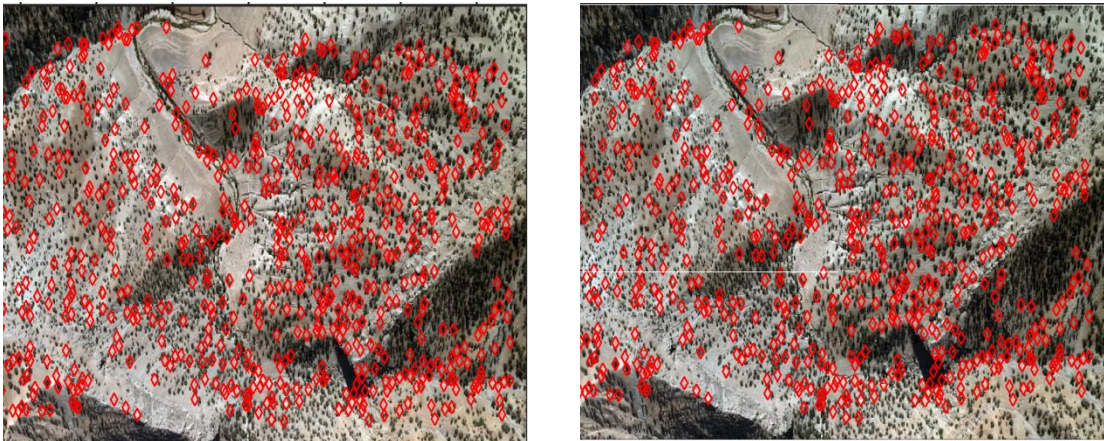
شکل ۴: نقاط ویژگی که به صورت دایره کوچک در تصویر نشان داده شده است.

هر چه تصویر مورد نظر دارای بافت بیشتری باشد الگوریتم پیشنهادی می تواند ویژگی های بیشتری را استخراج کند که این انطباق بین ویژگی های یافت شده انجام می پذیرد تا در نهایت نقاطی که بین دو تصویر به طور مشترک یافت شده استخراج کند و از نقاط مشترک برای گام بازسازی سه بعدی استفاده نماید (شکل ۵).

پس از تناظر یابی بین تصاویر از الگوریتم رانسک<sup>۳</sup> (مجموع نمونه های تصادفی) برای از بین بردن تناظرهای پرت موجود استفاده می شود. الگوریتم رانسک روشی نیرومند به منظور پردازش یک مدل هندسی به مجموعه ای از موقعیت های متناظر است که تعدادی متناظر اشتباه در میان آن ها وجود دارد. در این مرحله الگوریتم رانسک با شروع از یک مجموعه اولیه با استفاده از یک الگوریتم تکراری، روشی برای جداسازی زیرمجموعه تطبیق های مناسب و نامناسب از میان مجموعه تطبیق های ورودی ارائه می دهد. همچنین این الگوریتم، تخمینی از یک مدل مناسب با بیشترین احتمال درستی را نتیجه می دهد.

<sup>3</sup> Ransac (Random Sample Consensus)





شکل ۵: نقاط دایره قرمز رنگ نشان دهنده نقاط مشترک استخراج شده بین دو تصویر راست و چپ.

پس از مرحله تناظریابی بدست آوردن اختلاف نقشه یا اطلاعات عمق نقطه سه بعدی بسیار مهم است. روش‌های معمول برای بدست آوردن اختلاف به طور نمونه اگر نقطه‌ای به نام  $m_1=(u_1, v_1)$  در یک تصویر باشد و نقطه متناظر  $m_2=(u_2, v_2)$  در تصویر دوم با ارتفاع یکسان  $m_1$  (یعنی  $v_1=v_2$ ) که در این صورت اختلاف نقشه به صورت معادله ۲ تعریف می‌شود:

$$d=u_2-u_1 \quad (2)$$

اطلاعات عمق نقطه سه بعدی را می‌توان از این اختلاف نقشه محاسبه نمود [۱۳]. برای یافتن اختلاف نقشه از دو تصویر داده شده، ابتدا نقاط متناظر در دو تصویر را پیدا و سپس اختلاف  $d$  محاسبه می‌شود [۱۴].

اما در روش پیشنهادی که به دلیل این که نقاط متناظر با یکسوسازی تصحیح نمی‌شوند و جهت پیمایش خط در یک خط قرار نمی‌گیرند و به جای محاسبه اختلاف ستون‌ها در دو تصویر اختلاف سطرها نیز محاسبه و نرمال‌سازی می‌شوند (فاصله اقلیدسی). بنابراین برای محاسبه اختلاف نقشه از معادله فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود (نقطه  $m_1=(r_1, c_1)$  و  $m_2=(r_2, c_2)$ ).

$$d = \sqrt{|c_2 - c_1|^2 + |r_2 - r_1|^2} \quad (3)$$

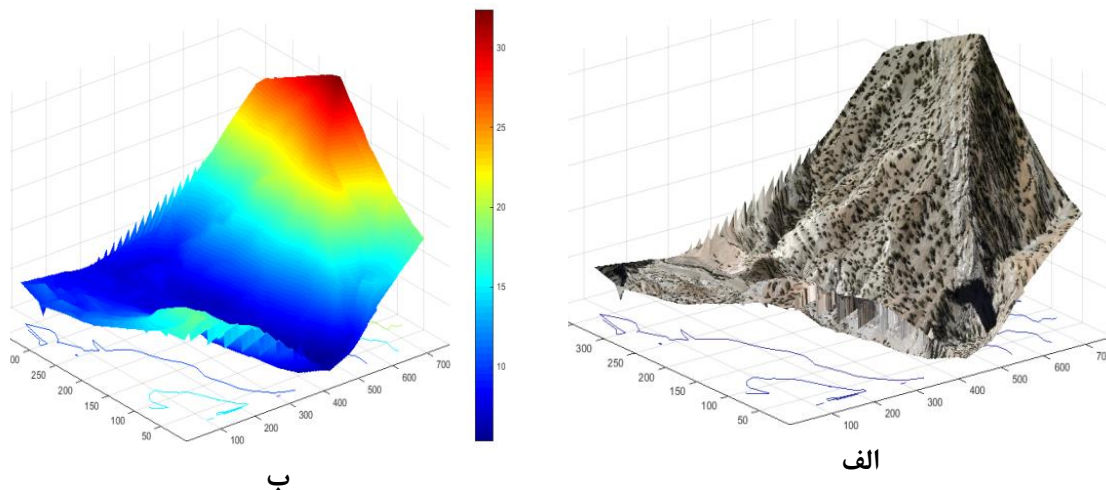
## ۶- نتایج تجربی

در شکل ۳ نمونه تصاویر دوگانه مورد استفاده در این مقاله نمایش داده شده است. تصاویر مورد نظر همانطور که در شکل ۲ نشان داده می‌شود طی مراحل اجرایی و پیاده‌سازی این نمودار قرار می‌گیرد. در شکل ۵(الف) تصویر سمت چپ از تصاویر هوایی دوگانه مورد نظر بر روی تصویر سه بعدی بدست آمده نگاشت شده است تا بتوان راحت‌تر جزئیات سه بعدی بدست آمده را درک کرد. خط‌های موجود در زیر تصویر بازسازی شده مورد نظر نشان‌دهنده نقاط هم‌ارتفاع هستند که به طور پیوسته درآمده‌اند.

در نهایت در شکل ۵(ب) نقشه اختلاف یا الگوی رقومی تصاویر یاد شده بدست می‌آید. در این شکل سطح‌ها با اختلاف ارتفاع‌های مختلف با رنگ‌های مختلف به صورت نمودار میله‌ای که در سمت راست این شکل هست به نمایش درآمده است. نقطه آبی در این نمودار میله‌ای نشان‌دهنده عمق بیشتر و رنگ قرمز در بالای نمودار نشان‌دهنده عمق کمتر است.



برای اینکه بتوان کارایی الگوریتم را ارزیابی کرد روش های استخراج ویژگی یا تطابق دوگانه تصاویر را با هم ترکیب نموده تا بتوان بهترین روش بین آن ها استخراج شود و میزان بهینه بودن این روش نسبت به روش های مشابه در زمان اجرا و خطای کمتری است. در جدول ۱ تعداد بالازدگی<sup>۴</sup> و زمان اجرا روش های مورد استفاده در این الگوریتم آمده است. این روش الگوریتم های مختلف استخراج ویژگی و بردار توصیفگر را باهم ترکیب کرده تا در نهایت بتوان روشی را انتخاب کرد که دارای تعداد بالازدگی کمتری در مدت زمان کمتری است. البته می توان تعداد بالازدگی را با فیلتر کردن به صورت محلی صاف کرد اما برای این که بهترین الگوریتم انتخاب شود تعداد بالازدگی هر منطقه یا پیکسل محاسبه و در جدول درج گردید. همانور که دیده می شود کمترین زمان اجرا مربوط به ردیف دوم در جدول می شود و کمترین تعداد بالازدگی مربوط به ردیف اول و پنجم است. البته این را باید در نظر داشت که برای عکس های مختلف با توجه به شرایط تصاویر ممکن است زمان اجرا و تعداد بالازدگی متفاوتی داشته باشد. زمان اجرا برحسب ثانیه است و سامانه رایانه ای که مورد استفاده قرار گرفته است دارای پردازشگر CoreI3-3220, 3.30GHz بوده و ظرفیت حافظه آن ۸ گیگابایت است.



شکل ۵: الف) نمایش سه بعدی بدست آمده در روش تناظریابی نقطه ای (ب) نقشه اختلاف سطح سه بعدی.

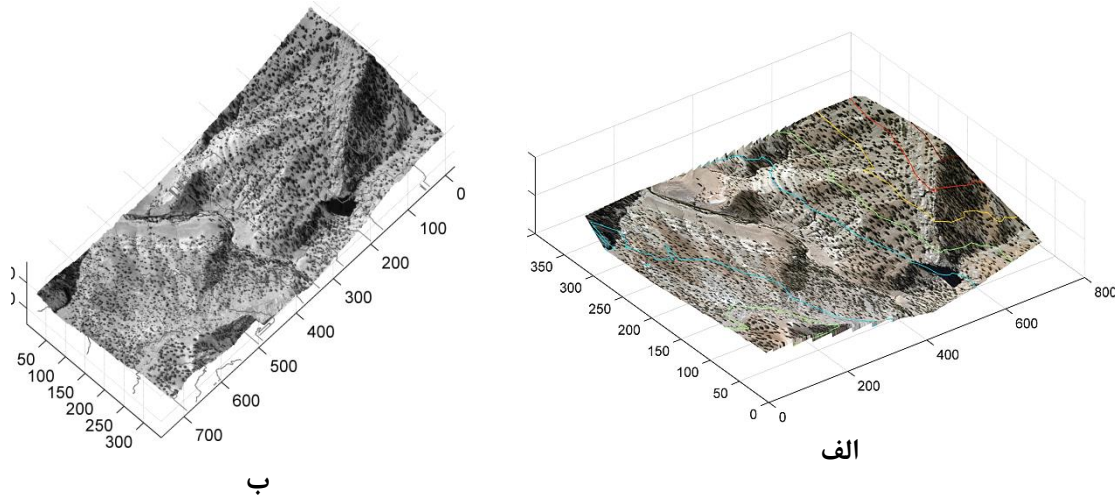
جدول ۱: زمان اجرا و تعداد بالازدگی (اشتباه زیاد در محاسبه عمق) بر حسب نوع الگوریتم تشخیص ویژگی و سازنده بردار توصیفگر.

تعداد بالازدگی	زمان اجرا (ثانیه)	الگوریتم تولید بردار ویژگی	روش تشخیص ویژگی	ردیف
۰	۴۵.۸۴	Brisk	Fast	۱
۹	۴۰.۶۰	Freak	Fast	۲
۱۶	۴۵.۸۷	Surf	Fast	۳
۸	۴۵.۵۱	Surf	Harris	۴
۰	۵۴.۴۶	Brisk	Surf	۵
۸	۵۱.۰۱	Freak	Surf	۶
۳	۵۵.۹۶	Surf	Surf	۷

<sup>4</sup> Overshooting



در شکل ۶ نتیجه بدست آمده با الگوریتم پیشنهادی در کار گزارش شده کبیری و امیرا قدم [۸] مقایسه شده است. در شکل ۶ (ب) از روش بلوکی [۱۵] بهره گرفته است. برای محاسبات ارتفاع بویژه در شیب‌ها تند الگوریتم برپایه بلوک در محاسبه عمق دچار مشکل می‌شود، اما در روش پیشنهادی که در آن از تناظر یابی نقطه‌ای استفاده شده است نه تنها عمق نقاط دقیقتر محاسبه شده بلکه مشکل محاسبه عمق در شیب تند نیز کاهش یافته است.



شکل ۶: الف) نمایش سه‌بعدی بدست آمده از روش پیشنهادی (تناظر یابی نقطه‌ای) ب) نمایش سه‌بعدی بدست آمده از روش بلوکی گزارش شده در پایان‌نامه آقای امیرا قدم [۱۵].

## ۷- پیشنهادها و کارهای آینده

روش ارائه شده برای تصاویر هوایی با بافت بالا بخوبی نتیجه قابل قبول و دقیقی را ارائه می‌دهد. یکی دیگر از مشکلات معمولاً در بدست آوردن اختلاف نقشه تصاویر دوگانه است پستی و بلندی‌های متوالی است. روش یاد شده کلیه نقاط مسطح و غیرمسطح اعم از متوالی و غیر متوالی را استخراج و عمق آن‌ها را محاسبه می‌کند. لازم به ذکر است شرایط عکس گرفتن با توجه به موقعیت هواپیما و این که هوا آفتابی باشد یا ابری تفاوت دارد و ممکن است در محاسبه عمق تاثیرگذار باشد. البته این مشکل شامل‌های همه روش‌های مشابه می‌شود که خروجی‌ها کمی متفاوت به نظر می‌آیند. روش یاد شده یک روش بر پایه نقطه است که خیلی دقیقتر از روش بر پایه ناحیه است به دلیل آن که اگر تناظر یابی که به صورت بلوکی انجام شود کل نواحی داخل یک بلوک انتخاب شده شامل ارتفاع یکسان است در حالی که در این روش که برپایه نقطه است هر نقطه ارتفاع مخصوص به خود را دارد که این کار به دقت نتیجه ارتقا می‌بخشد. در روش پیشنهاد شده بافت بالای تصویر تاثیر بسیاری در پیدا کردن ویژگی دارد پیشنهاد می‌شود در جاهایی که تصویر مورد نظر ترکیبی از بافت بالا و پایین داشته باشد از ترکیب روش‌های بر پایه نقطه و ناحیه برای محاسبه عمق و نقشه اختلاف استفاده شود.

## مراجع

- [1] Krupnik, Amnon, "Accuracy assessment of automatically derived digital elevation models from SPOT images", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66, Vol. 8, pp. 1017-1023, 2000.
- [2] [Abdelkader El Garouania](#), [Abdalla Alobeidb](#), [Said El Garouani](#), "Digital surface model based on aerial image stereo pairs for 3D building", Vol. 3, pp. 119-126, 2014.
- [3] Büyüksalih, G., K. Jacobsen, "Comparison of DEM generation by very high resolution optical satellites", EARSeL. Band "New Developments and Challenges in Remote Sensing", Rotterdam: Millpress, Warschau, pp. 627-637, 2007.





- [4] Toutin, T, "Generating DEM from Stereo Images with a Photogrammetric Approach: Examples with VIR and SAR Data", *EARSeL Journal "Advances in Remote Sensing"*, Vol. 4, pp. 110–117, 1995.
- [5] Alobeid A, Jacobsen K, Heipke, "Comparison of matching algorithms for DSM generation in urban areas from Ikonos imagery ", *Photogram. Eng. Remote Sensing* 76, Vol. 9, pp. 1041–1050, 2010.
- [6] Zhang, L, Pateraki, M, Baltsavias, E "Matching of IKONOS Stereo and Multitemporal Images for DSM Generation", *Asian Conf. on GIS, GPS Aerial Photography and Remote Sensing*, pp. 7–9, August, Bangkok, Thailand. 2002.
- [7] El Garouani A, "DEM/DSM generation from satellite images: Application in 3D City and urban modelling", *Scientific report of visitto Institute of Photogrammetry and Geo-Information, Hannover, Germany* 2012.

[۸] کبیری پ. امیرا قدم ع. "استخراج شکل سه بعدی زمین از تصاویر هوایی با استفاده از الگوریتم مقایسه تفریق باینری"، کنفرانس انجمن هوافضای ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۹.

- [9] Rosten, Edward, and Tom Drummond "Machine learning for high-speed corner detection", *Springer Berlin Heidelberg, Computer Vision (ECCV)*, pp. 430-443, 2006.
- [10] Harris, Chris and Mike Stephens "A combined corner and edge detector", *Alvey vision conference*, Vol. 15, pp. 50, 1988.
- [11] Alahi, Alexandre, Raphael Ortiz, and Pierre Vandergheynst "Freak: Fast retina keypoint", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Vol. 10, pp. 510-517, 2012.
- [12] Lowe, David G, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", *International journal of computer vision*, Vol. 2, pp. 91-110, 2004.
- [13] Banno, Atsuhiko, Katsushi Ikeuchi, "Disparity map refinement and 3D surface smoothing via directed anisotropic diffusion", *IEEE 12th international Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, pp. 1870-1877, 2009.
- [14] Nicolas Papadakis, Vicent Caselles, "Multi-label Depth Estimation for Graph Cuts Stereo Problems", *Journal of Mathematical Imaging Vision*, Vol. 38, No. 1, pp. 70-82, 2010.

[۱۵] امیرا قدم ع. "استخراج نقشه عمق از تصاویر هوایی با استفاده از Stereovision"، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی کامپیوتر، گرایش هوش مصنوعی و ریاتیک، ۱۳۸۹.