

# استخراج مدل رقومی زمین از یک تصویر با استفاده از تکنیک Shape from Shading

لیلا هاشمی بنی

مدرس گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

علی عزیزی

استادیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمد حسن هاشمی بنی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی برق - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

فرهاد صمدزادگان

استادیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۰/۶/۲۸، تاریخ تصویب ۸۱/۹/۳۰)

## چکیده

تکنیک (SFS) <sup>۱</sup>، از جمله روشهایی است که جهت تولید DTM از مناطق با Texture ضعیف، مطرح می باشد که با در نظر گرفتن ارتباط درجات خاکستری تصویر، توپوگرافی سطح زمین و جهت تابش نور، امکان بازسازی DTM از یک تصویر را امکان پذیر می سازد.

در این تحقیق، جهت پیاده سازی این الگوریتم بر اساس مدل لامبرترین از دو نوع داده، شبیه سازی شده و واقعی، استفاده شده است. مدل رقومی زمین برای تصویر شبیه سازی شده از یک سطح Bilinear با دقت حدود ۳ سانتی متر و برای تصویر واقعی از یک منطقه تپه ماهوری، با دقت حدود ۴ متر، بازسازی شد. تفاوت نتایج فوق ناشی از آن است که درجات خاکستری تصویر علاوه بر توپوگرافی منطقه و جهت تابش خورشید، متاثر از عواملی است که در این تکنیک مد نظر قرار نگرفته است. همچنین با توجه به اینکه از اثر مخرب نویز بر روی نتایج حاصل از بازسازی DTM نمی توان صرف نظر نمود، در این تحقیق یک مرحله پیش پردازش رادیومتریکی جهت تقلیل این نوع از خطاها بر روی تصویر واقعی، صورت گرفت.

**واژه های کلیدی:** مدل رقومی زمین، Shape from Shading، فتوگرامتری رقومی، تناظریابی رقومی، بازسازی سطح

## مقدمه

تحقیقات فراوانی روی آن انجام داده و با موفقیت زیادی همراه بوده است.

در فتوگرامتری رقومی، تناظریابی تصاویر <sup>۲</sup> کاربرد وسیعی در استخراج مدل رقومی زمین (DTM) بر مبنای اندازه گیری اتوماتیک مختصات عکسی نقاط متناظر در حداقل دو تصویر دارد. از جمله پیش شرطهای لازم برای موفقیت این الگوریتم ها، غیرپریودیک و مناسب بودن texture منطقه می باشد و در صورت فقدان هریک از شرایط فوق، این تکنیک را در تولید نتایج صحیح و قابل اعتماد ناموفق می سازد. بعلاوه با داشتن تنها یک عکس از منطقه امکان

اخیرا پیشرفت شگرف تکنولوژی در زمینه کامپیوتر و بینایی ماشین بسیاری از تخصصها و مهارتهای موجود را متأثر ساخته و روشهای نوینی (متکی بر کامپیوتر یا تحت کنترل آن) جهت بهبود نتایج کمی و کیفی حاصل از روشهای سنتی را فراهم نموده است. در این بین، علم فتوگرامتری نیز مستثنی نبوده و هم سو با این تحولات گامهای بزرگی در جهت پردازش رقومی اطلاعات برداشته است.

استخراج اتوماتیک اطلاعات ارتفاعی عرصه نوینی است که جامعه فتوگرامتری رقومی در دهه اخیر

تصویر مورد بررسی قرار گرفته، سپس معادلات ریاضی SFS مطرح شده و پس از پیاده سازی این تکنیک، نتایج حاصل از بازسازی DTM مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### تشکیل تصویر

یک تصویر، عبارتست از تغییرات شدت نور که با  $I(x, y)$  نمایش داده می شود.  $x, y$  بیانگر موقعیت و  $I$  میزان شدت نور است. یک تصویر در واقع پراکندگی شدت نور در موقعیت مکانی را نشان می دهد. جهت بیان درجات خاکستری تصویر بعنوان تابعی از توپوگرافی سطح، در نظر گرفتن همه عوامل موثر در فضای شیء و فضای تصویر در فرآیند تشکیل تصویر ضروری است.

پرتوها از یک منبع نوری (مانند خورشید) به سطح زمین برخورد می کند و پس از انعکاس به سمت سنجنده باز می گردند (شکل ۱). میزان نور بازگشتی به سوی سنجنده

تابعی است از:

جهت تابش  $\vec{S}$

زاویه دید  $\vec{v}$

نرمال محلی سطح  $\vec{n}$

که زوایای زیر را در برمی گیرند:

زاویه تقاطع  $i$  (زاویه بین بردارهای  $\vec{S}, \vec{n}$ )

زاویه انتشار  $e$  (زاویه بین بردار  $\vec{v}, \vec{n}$ )

زاویه فاز  $g$

درجات خاکستری تصویر علاوه بر زوایای فوق (عوامل هندسی)، متأثر از عوامل دیگری نیز می باشند که عبارتند از:

تابش (طول موج، شدت، فاصله و ابعاد منبع نور)

اتمسفر (جذب، انتقال، انکسار)

سنجنده (حساسیت رادیومتریکی، توجیه خارجی)

سطح (خواص فیزیکی جهت انعکاس نور، توپوگرافی)

در این تحقیق فرض بر آن است که منبع نور یک منبع نورانی نقطه ای با خواص رادیومتریکی معلوم می باشد، تأثیرات اتمسفری ناچیز بوده و پارامترهای سنجنده جهت کالیبراسیون هندسی و رادیومتریکی معلوم است. بنابراین مجهولات تنها به سطح شیء بستگی پیدا می کنند.

نور با شدت اولیه  $I_0$  در جهت  $\vec{S}$  ( $|\vec{S}| = 1$ ) به سمت

بازسازی سطح سه بعدی شیء با استفاده از این الگوریتم ها غیر ممکن است. بنابراین روشهایی توسعه داده شده اند که با در نظر گرفتن ارتباط بین مقادیر درجات خاکستری تصویر و توپوگرافی منطقه، تخمین سطح سه بعدی با استفاده از یک تصویر امکان پذیر می سازد. این روش تکنیک (SFS) نامیده می شود.

فرض اساسی برای همه الگوریتم های SFS این است که نواحی مختلف سطح که توجیه متفاوتی نسبت به منبع نور دارند با درجات خاکستری متفاوتی تصویر می شوند. این تفاوت در روشنایی Shading نامیده می شود که به طور محلی شیب سطح را بازسازی می کند. از آنجاییکه معمولاً فرض می شود سطح دارای خاصیت انعکاسی یکنواختی است بنابراین تنها SFS در مناطق Low Texture خوب عمل می کند و می تواند در این مناطق به عنوان روشی جهت بهبود DTM تولید شده با استفاده از تناظر یابی رقومی مطرح شود.

تکنیک SFS اولین بار توسط (۱۹۶۶) Rindfleisch و (۱۹۷۰) Horn مطرح شد [۱] و در علوم مختلفی از جمله بینایی ماشین، فتوگرامتری و علوم سیاره ای مورد توجه و بررسی واقع گردید.

طیف گسترده تحقیقات SFS در حوزه بینایی ماشین بر روی تصاویر برد کوتاه صورت گرفته است [۹]. در حوزه فتوگرامتری کارایی این تکنیک در بازسازی DTM از تصاویر هوایی بررسی شده است [۲]، [۴]، [۵] و [۶] و بدلیل در دسترس نبودن تصاویر استرسکویی از سطح سیارات، تکنیک SFS در بازسازی سطوح سیارات، نقش مهمی ایفا می کند [۹-۱۱].

با توجه به اینکه تکنیک SFS بصورت جدی در حیطه فتوگرامتری مطرح نبوده و تنها به چند تحقیق محدود در این زمینه بسنده شده است، این تحقیق سعی بر آن دارد با بررسی تئوری و عملی، کارایی تکنیک SFS در بازسازی DTM از یک منطقه LowTexture را مورد ارزیابی قرار دهد.

از آنجاییکه ارتباط خواص انعکاس سطح و درجات خاکستری تصویر اساس مدل ریاضی SFS می باشد، بررسی و مطالعه فرآیند تشکیل تصویر از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین در این مقاله ابتدا نحوه تشکیل

امتداد دید با روشنایی یکسان به نظر می رسد. در اکثر الگوریتم های SFS از قانون لامبرترین بدلیل سادگی مدل استفاده شده است، هر چند در واقعیت سطوح کاملاً از این قانون پیروی نمی کنند.

به منظور استخراج تابعی عمومی تر Seeliger در سال ۱۸۸۷مدلی برای انعکاس امواج الکترومغناطیس ارائه داد. در این مدل فرض می شود تفرق شعاع نور در هر یک از اجزاء کوچک سطح و در مرز بین دو ناحیه اتفاق می افتد و رادیانس دریافت شده توسط سنسور شامل تمام شعاعهای تفرق اجزاء سطح که در دید سنسور است، می باشد. بنابراین قانون Lommel-Seeliger نه تنها شامل زاویه تقاطع  $i$ ، بلکه شامل زاویه انتشار  $e$  نیز می باشد:

$$r_{i,s} = A_{is} \frac{\text{Cosi}}{\text{Cosi} + \text{Cose}} \quad (5)$$

این مدل در مقایسه با مدل لامبرترین بیان بهتری از رفتار پراکندگی نور برای سطوح با  $\text{albedo}$  کوچک را ارائه می دهد [۲].

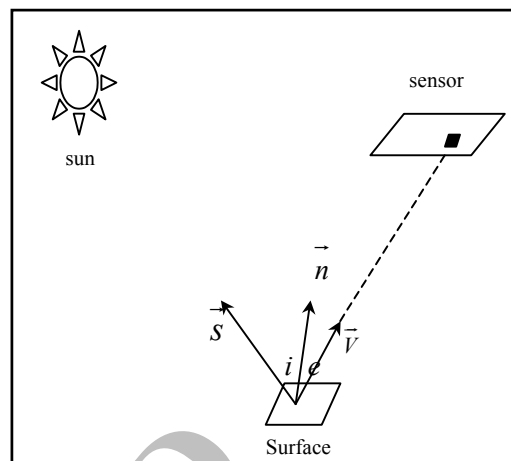
در شکل (۲) دو مدل انعکاسی لامبرترین و Lommel-Seeliger به صورت گرافیکی نمایش داده شده است. با توجه به شکلها و معادلات مشاهده می گردد که در مدل Lommel-Seeliger برای یک عکس قائم ( $e = 0$ ) با زاویه  $i = 0$  (منبع نور در امتداد نرمال سطح) دارای  $r_{i,s}$  نصف مقدار  $r_l$  است. به همین دلیل در مدل های ترکیبی مانند Lunar-Lamber (McEwen, ۱۹۹۱)، عبارت Lommel-Seeliger با ضریب ۲ در مقایسه با عبارت لامبرترین آورده شده است.

مدلهای انعکاسی دیگری نیز مطرح شده اند که برای مطالعه آن می توان از مرجع [۳] استفاده نمود.

از تمام مدل های ارائه شده، مدل لامبرترین بدلیل سادگی کاربرد زیادی دارد و بعنوان تقریب ضعیفی از انتشار یک سطح ناهموار مطرح است.

### معادلات ریاضی SFS

معادلات ریاضی SFS متشکل از دو مدل هندسی و رادیومتریکی می باشد.



شکل ۱: ارتباط بین جهت دید  $\vec{V}$ ، جهت تابش  $\vec{S}$  و نرمال سطح  $\vec{n}$ .

شیء از اتمسفر می گذرد و پس از برخورد مقداری جذب و متفرق و مقداری منعکس می شود و سنجنده در جهت  $\vec{V}$  پرتوهای انعکاسی  $I_e$  را با شدت  $I$  در مختصات تصویری  $x', y'$  ثبت می کند.

$$I(x', y') = I_e(i, e, g) \quad (1)$$

انعکاس جهتی Bidirectional Refraction توسط  $r(i, e, g)$  با رابطه زیر بیان می شود:

$$r(i, e, g) = \frac{I_e(i, e, g)}{I_o} \quad (2)$$

برای سطوح لامبرترین میزان انعکاس  $I_l$  به عنوان تابعی از منبع نور ( $I_o$ )،  $\text{albedo}$  سطح ( $A$ ) و کسینوس زاویه  $i$  عبارتست از:

$$I_l = R = I_o A \text{Cosi} \quad (3)$$

به عبارت دیگر:

$$I_l = I_o A \vec{n} \cdot \vec{s} \quad (4)$$

قانون انعکاس لامبرترین بر این اساس می باشد که میزان انعکاس سطح تنها به زاویه تقاطع  $i$  بستگی دارد و مستقل از زاویه پخش  $e$  می باشد یعنی سطح در هر

با فرض معلوم بودن پارامترهای توجیه خارجی، می توان به هر گراندل با هریک از روابط زیر درجه خاکستری تخصیص داد:

$$G_L = r_L = A \cos(\vec{n}(Z_{k,l}), \vec{s}) \quad (۶)$$

$$G_{LS} = r_{LS} = 2A \frac{\cos(\vec{n}(Z_{k,l}), \vec{s})}{\cos(\vec{n}(Z_{k,l}), \vec{s}) + \cos(\vec{n}(Z_{k,l}), \vec{v})} \quad (۷)$$

در رابطه بالا  $G_L$  و  $G_{LS}$  همان انعکاس جهتی مدلهای لامبرتین و Lommel-Seeliger است که مرتبط با albedo (A)، نرمال سطح ( $\vec{n}$ )، ارتفاع DEM ( $Z_{k,l}$ ) و جهت تابش ( $\vec{s}$ ) می باشد. علاوه بر آن  $G_{LS}$  با جهت زاویه دید سنسور ( $\vec{v}$ ) نیز ارتباط دارد. با فرض معلوم بودن جهت تابش تنها مجهولات مدل یعنی ارتفاع نقاط و albedo خواهد بود.

#### معادلات مشاهداتی SFS

معادلات مشاهداتی تکنیک SFS بصورت زیر است:

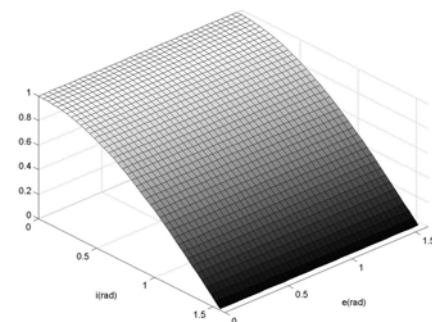
$$v_j = G_j(A, Z_{k,l}) - g_j(Z_{k,l}) \quad (۸)$$

در رابطه بالا  $G_j$  درجه خاکستری محاسباتی برای گراندل زام است که بر اساس مدل رادیومتریکی (یا لامبرتین) بدست می آید (روابط (۶) و (۷))،  $g_j$  درجه خاکستری مشاهداتی بر روی تصویر  $v_j$  بردار باقیمانده است. برای هر المان سطح (گراندل) یک معادله مشاهداتی طبق رابطه (۸) نوشته می شود.

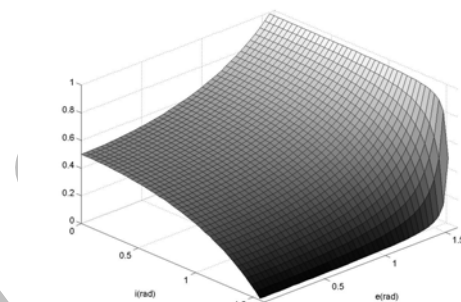
از آنجاییکه معادله (۸) نسبت به  $Z_{k,l}$  غیرخطی است، حل تکراری بکار برده می شود بنابراین وجود مقادیر اولیه برای پارامترهای مجهول ضروری است. معادلات فوق پس از خطی شدن به صورت زیر نوشته می شوند:

$$v_j = \left( \frac{\partial G}{\partial Z_{k,l}} - \frac{\partial g}{\partial Z_{k,l}} \right) \Delta Z_{k,l} + \frac{\partial G}{\partial A} \Delta A - (g_j - G_j) \quad (۹)$$

که در رابطه فوق  $\Delta Z_{k,l}$ ،  $\Delta A$ ، تصحیحات مقادیر اولیه مجهولات است و  $(g_j - G_j)$  اختلاف بین مقادیر مشاهده و محاسبه شده درجه خاکستری با استفاده از مقادیر



(الف)



(ب)

شکل ۲: الف- مدل لامبرتین  
ب- مدل Lommel-Seeliger

#### مدل هندسی

مدل هندسی ارتباط ارتفاع نقاط DEM را بیان می کند. شبکه DEM با مجموعه ای از نقاط  $X_k, Y_l$  و ارتفاع  $Z_{k,l}$  معرفی می گردد. ارتفاع یک نقطه اختیاری در این شبکه بوسیله انتیپوله ارتفاعات نقاط همسایه قابل تخمین است. بنابراین بردار نرمال هر نقطه از شیء ( $\vec{n}$ ) می تواند تابعی از ارتفاع نقاط همسایه بیان گردد.

#### مدل رادیومتریکی

مدل رادیومتریکی ارتباط بین درجه خاکستری تصویر و ارتفاع المان متناظر بر روی سطح شی را بیان می کند. در مدل رادیومتریکی سطح شیء با albedo ثابت در نظر گرفته می شود. اندازه گراندل (کوچکترین واحد تشکیل دهنده شیء) بستگی به ناهمواری زمین دارد و تقریباً مساوی اندازه پیکسل در تصویر ضربدر مقیاس متوسط منطقه انتخاب می شود.

تقریبی است.

معادلات SFS سینگولار می شود. ولی با انتخاب زاویه بزرگ برای  $e$  (زاویه بین جهت سنسور و جهت نرمال) در هنگام استفاده از مدل Lommel-Seeliger، این مشکل قابل حل خواهد بود. بنابراین تکنیک SFS در صورت بزرگ بودن  $i$ ، نتایج مطلوبی ارائه می دهد.

• در صورت یکسان بودن زاویه  $i$  و  $e$  میزان انعکاس مدل Lommel-Seeliger مستقل از زاویه  $i$  و  $e$  بوده و دارای مقدار ثابت  $A_s/5$  می باشد (شکل ۲) و معادله (۷). بنابراین سعی شود زاویه  $i$  و  $e$  متفاوت باشد و هر چه زاویه  $e$  نسبت به زاویه  $i$  بزرگتر باشد، نتایج مطلوبتری از تکنیک SFS حاصل می گردد.

• پردازش های رادیومتریکی تصویر، نتایج متفاوتی در بازسازی سطح ارائه می دهد. تغییر در روشنایی تصویر (شیفت)، موجب تغییر در تخمین  $albedo$  و بردار نرمال سطح می شود. شیفت مثبت در روشنایی تصویر نسبت به شیفت منفی، تغییرات کمتری بر روی بردار نرمال ایجاد می کند. در صورتیکه بهبود کنتراست به صورت خطی<sup>۳</sup>، تأثیری بر روی نتایج بازسازی سطح نداشته و تنها در تخمین  $albedo$  موثر است.

• در تصاویر Low Texture، نویز عامل موثری در تخریب نتایج حاصل از بازسازی سطح به شمار می آید. بنابراین به منظور کاهش نویز استفاده از فیلتر LowPass توصیه می شود.

### تست عملی

الگوریتم SFS بر اساس مدل رادیومتریکی لامبرتین و مدل هندسی bilinear با استفاده از دو نوع تصویر، شبیه سازی شده و واقعی پیاده سازی شد.

### تولید DTM از تصویر شبیه سازی شده

به منظور اجرای الگوریتم SFS، یک تصویر مصنوعی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ از منطقه ای فرضی تولید شد. جهت شبیه سازی تصویر لازم بود اطلاعات دقیقی از DTM منطقه، پارامترهای توجیه داخلی و خارجی، جهت تابش و خاصیت انعکاسی سطح داشته باشیم. در این تحقیق ابتدا DTM منطقه ای به وسعت ۳۱۳۹ متر مربع با شیب ۵۰ درصد با استفاده از معادله Bilinear تولید

### آنالیز تئوری تکنیک SFS

در معادلات SFS گرادیان درجات خاکستری نقش مهمی را ایفا می کنند:

$$\frac{\partial g}{\partial Z_{k,l}} = \frac{\partial g}{\partial r} \cdot \frac{\partial r}{\partial Z_{k,l}} + \frac{\partial g}{\partial c} \cdot \frac{\partial c}{\partial Z_{k,l}} \quad (10)$$

که  $c, r$  مختصات رقومی پیکسل در فضای تصویر است. هر چه گرادیان درجات خاکستری بزرگتر باشد نتایج حاصل از تکنیک SFS در مناطق LowTexture مطلوبتر خواهد بود. بنابراین لازم است:

• تغییر در ارتفاعات DTM باعث شیفت قابل توجهی در مختصات پیکسل در تصویر شود. یعنی  $\frac{\partial r}{\partial Z}, \frac{\partial c}{\partial Z}$  باید قابل توجه باشد.

• تغییر در ارتفاعات DTM موجب تغییرات قابل توجهی در درجات خاکستری شود. یعنی  $\frac{\partial g}{\partial r}, \frac{\partial g}{\partial c}$  باید قابل توجه باشد.

در تحقیقات انجام شده [۲]، [۴] و [۶] نتایج زیر حاصل شده است:

• از آنجاییکه در سطوح صفحه ای، میزان انعکاس در مدل لامبرتین تنها به زاویه تابش خورشید ( $s$ ) و نرمال سطح ( $\vec{n}$ ) بستگی دارد و این مقدار برای تمام المانهای صفحه یکسان است ( $\frac{\partial g}{\partial c} = \frac{\partial g}{\partial r} = 0$ )، سطوح صفحه ای قابل بازسازی نمی باشند.

• با استفاده از تکنیک SFS بازسازی سطوح غیرصفحه ای، با استفاده از یک یا چند تصویر قابل انجام است. در مواردی که عکس قائم است یعنی محور اپتیکی با محور  $Z$  سیستم مختصات زمینی موازی است در مناطق نزدیک به نقطه نادیر تکنیک SFS با مشکل مواجه خواهد شد. زیرا مقدار  $\frac{\partial r}{\partial Z}, \frac{\partial c}{\partial Z}$  ناچیز است. این مشکل را می توان با دوران محورهای سیستم مختصات زمینی حل نمود.

• در صورت کوچک بودن زاویه  $i$  در مدل لامبرتین گرادیان درجات خاکستری ناچیز بوده و

در این جدول چنانچه  $a$  برابر یک در نظر گرفته شود مقادیر اولیه DTM به اندازه مقدار  $Z_o$  از مقادیر واقعی DTM متفاوت خواهد بود. این امر سبب جابجایی موقعیت هندسی نقاط در صفحه تصویر می گردد. در این حالت  $Z_o = \Delta Z_{\min} = \Delta Z_{\max}$  خواهد گردید. در حالی که  $Z_o = \alpha = 0$  در نظر گرفته شود، مقادیر تقریبی در واقع همان ارتفاع متوسط منطقه خواهد بود. در مرحله اجرا الگوریتم مطرح شده SFS در بخش های قبل پیاده سازی گردید و مقادیر تقریبی بدست آمده برای DTM بعنوان ورودی الگوریتم SFS در نظر گرفته شد و سپس مقادیر نهایی DTM در یک راه حل تکراری<sup>۴</sup> بدست آمد. برای برآورد دقت DTM بازسازی شده، اختلاف مقادیر DTM واقعی و DTM بازسازی شده محاسبه گردید. مقادیر RMS برای هر یک از حالت ها در جدول (۲) ارائه گردیده است. خطای ماکزیمم و مینیمم DTM بازسازی شده نیز در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲: نتایج بازسازی سطح برای پنج نوع مقادیر اولیه متفاوت برای DTM با استفاده از داده های شبیه سازی شده بدون نویز.

DTM	rms(m)	مینیمم خطا	ماکزیمم خطا
۱	۰/۰۲۶	-۰/۰۶۱	۰/۰۷۴
۲	۰/۰۲۴	-۰/۰۹۸	۰/۱۰۱
۳	۰/۰۳۱	-۰/۰۶۰	۰/۰۹۶
۴	۰/۰۳۲	-۰/۰۶۵	۰/۰۳۱
۵	عدم همگرایی	عدم همگرایی	عدم همگرایی

همانطور که جدول (۲) نشان می دهد برای داده های شبیه سازی شده بدون نویز دقت DTM بازسازی شده با استفاده از متد SFS تا حدودی مستقل از مقادیر تقریبی اولیه DTM است. همانطور که در جدول مشخص است در حالتی که مقادیر تقریبی DTM با استفاده از مقادیر  $Z_o = \alpha = 0$  بدست آمده است، معادلات SFS متقارب نگردیده است.

### بررسی رفتار نویز در نتایج بازسازی DTM

جهت بررسی رفتار نویز در نتایج بازسازی، بر

گردید، که در آن نقاط با فواصل منظم ۲/۸ متر از هم می باشند. حال برای هرگراندل طبق مدل لامبرتین (رابطه (۶))، درجه خاکستری محاسبه شده و با استفاده از روابط شرط هم خطی به پیکسل متناظر در تصویر انتقال یافته و تصویر تولید شد.

### نتایج تولید DTM با تکنیک SFS

از آنجاییکه در هنگام استفاده از داده های شبیه سازی شده، مقادیر خالص و عاری از خطای پارامترهای مطلوب در دسترس می باشد، می توان کارایی تکنیک SFS را در شرایط متفاوت بررسی نمود.

### بررسی همگرایی تکنیک SFS تحت شرایط ایده آل

از آنجاییکه مقادیر تقریبی اولیه مجهولات برای حل معادله خطی شده (۹) نقش مهمی را در همگرایی معادلات ایفا می کند، جهت بررسی همگرایی تکنیک SFS تحت شرایط ایده آل، مقادیر تقریبی متفاوت برای DTM در نظر گرفته شد (جدول ۱). مقادیر تقریبی DTM با استفاده از رابطه خطی زیر بدست آمد:

$$Z_{imi} = \bar{Z}_{ref} + Z_o + a(Z_{ref} - \bar{Z}_{ref})$$

(۱۱)

$\bar{Z}_{ref}$  ارتفاع متوسط DTM واقعی

$Z_{ref}$  ارتفاعات DTM واقعی

$Z_o$  شیفت (متر)

$a$  مقیاس

حال با تغییر مقدار  $a$  در رابطه (۱۱) می توان به مقادیر تقریبی متفاوتی برای DTM دست یافت. مینیمم و ماکزیمم اختلافات مقادیر تقریبی با مقادیر واقعی DTM (به ترتیب  $\Delta Z_{\min}$ ,  $\Delta Z_{\max}$ ) برای مقادیر  $a$  و  $Z_o$  در جدول (۱) ارائه گردیده است.

### جدول ۱: مقادیر تقریبی انتخابی برای بازسازی DTM از تصویر شبیه سازی شده.

DTM	$Z_o$ (m)	$a$	$\Delta Z_{\max}$ (m)	$\Delta Z_{\min}$ (m)
۱	۲/۵	۱	۲/۵	۲/۵
۲	۳/۵	۱	۳/۵	۳/۵
۳	۲/۵	۰/۵	۸/۴۵	-۶/۵۵
۴	۳/۵	۰/۵	۹/۱۲	-۵/۸۷
۵	۰	۰	۱۸/۰۱	-۱۸/۰۱

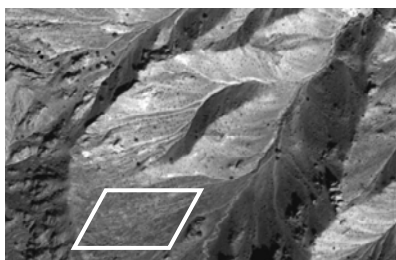
### تولید DTM از تصویر واقعی و بررسی نتایج

به منظور اجرای الگوریتم SFS بر روی تصویر واقعی پارامترهای زیر مدنظر قرار گرفت :

- وجود اطلاعات در مورد جهت دقیق تابش خورشید در هنگام عکسبرداری که خود مستلزم وجود اطلاعات دقیق در مورد زمان عکسبرداری و مختصات جغرافیایی منطقه موردنظر می باشد.

- وجود منطقه ای مناسب جهت تکنیک SFS (منطقه ای غیرمسطح، با texture ضعیف که ارتفاعات در آن بصورت اسموز تغییر کند).

با توجه به شرایط فوق یک عکس هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ از منطقه سبزواری انتخاب گردید که زمان دقیق عکسبرداری توسط GPS ثبت شده است. عکس فوق با قدرت تفکیک ۱۴ میکرون رقومی شد و در آن منطقه ای با ویژگی مورد نیاز جهت تست انتخاب گردید (شکل (۳)).



شکل ۳: قسمتی از تصویر منطقه سبزواری جهت بررسی تکنیک SFS با استفاده از داده های واقعی .

سپس جهت تابش خورشید با معلوم بودن زمان دقیق عکسبرداری و مختصات جغرافیایی محل محاسبه شد (جدول (۵)).

### پیش پردازش تصویر<sup>۵</sup>

با توجه به ساختار فیزیکی سنجنده های مورد استفاده در فتوگرامتری و عوامل فیزیکی محیط ، عموماً تصاویر تهیه شده دارای نارسائیهای گوناگون رادیومتریکی می باشند. این خطا می تواند با رابطه زیر بیان شود:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y)$$

(۱۲)

روی تصاویر تولید شده، مقادیر متفاوت نویز اعمال شد. پس از معرفی این تصاویر نویزدار به الگوریتم SFS، نتایج ارائه شده در جدول (۳) حاصل شد.

مقادیر نویز اعمال شده به تصاویر به تفکیک به صورت  $\sigma_{noise}$  در جدول (۳) ارائه گردیده است. با توجه به جدول (۳)، ملاحظه می شود که نویز، عامل موثری در تخریب نتایج حاصل از بازسازی سطح می باشد.

جدول ۳: نتایج بازسازی سطح با استفاده از داده های شبیه سازی شده نویزدار.

$\sigma_{noise}$ (gray value)	rms(m)	مینیم خطا	ماکزیمم خطا
۲	۰/۰۷۸	-۰/۲۷	۰/۱۴
۴	۰/۱۷۵	-۰/۵۵	۰/۳۵
۶	۰/۴۸	-۲/۲۳	۱/۲۰
۸	۰/۸۲	-۲/۷۰	۱/۳۳
۱۰	۱/۵۰۴	-۷/۰۰	۳/۸۹

### تاثیرهندسه عکسبرداری در نتایج بازسازی DTM

با تغییر پارامترهای توجیه خارجی دوربین فرضی، پنج نوع تصویر مصنوعی تولید شد. نتایج بازسازی DTM حاصل از این تصاویر با استفاده از مدل لامبرتین برای هر یک از مقادیر دوران دوربین حول محورهای  $x, y, z$  بصورت دورانه های  $\omega, \varphi, \kappa$  در جدول (۴) آورده شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول ملاحظه می گردد، در صورت استفاده از مدل لامبرتین، تیلت تصویر، تاثیری بر نتایج بازسازی DTM نمی گذارد.

جدول ۴: نتایج بازسازی سطح با استفاده از داده های شبیه سازی شده بدون نویز با زوایای عکسبرداری متفاوت.

$\omega$	$\varphi$	$\kappa$ (deg)	rms (m)	مینیم خطا	ماکزیمم خطا
۰	۰	۱۰	۰/۰۲۶	-۰/۰۶۱	۰/۰۷۴
۴	۴	۱۰	۰/۱۸	-۰/۱۰	۰/۰۴۷
۸	۸	۱۰	۰/۰۷۷	-۰/۱۷	۰/۰۵۰
۱۲	۱۲	۱۰	۰/۰۶۱	-۰/۰۷۶	۰/۰۲۵
۱۶	۱۶	۱۰	۰/۰۵۲	-۰/۰۱۸	۰/۰۳۳

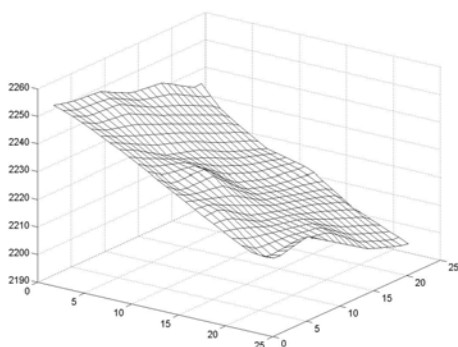
جدول ۵: جهت تابش خورشید در هنگام عکسبرداری هوایی.

آزیموت Az	زاویه ارتفاعی a	$\bar{S}$		
		S1	S2	S3
۱۳۳° ۲۱' ۴۱/۹۰"	۵۰° ۵۹' ۲۰/۴۴"	۰/۴۳۱	-۰/۴۵۷	۰/۷۷۸

جدول ۶: مقادیر تقریبی انتخابی برای بازسازی DTM از تصویر واقعی.

DTM	$Z_o(m)$	$a$	$rmse(m)$	$\Delta Z_{max}(m)$	$\Delta Z_{min}(m)$
۱	۱/۵	۱	۱/۵	-	-
۲	۳/۱	۱	۳/۱	-	-
۳	۴/۶	۱	۴/۶	-	-
۴	۶/۲	۱	۶/۲	-	-
۵	۷/۸	۱	۷/۸	-	-
۶	۹/۳	۱	۹/۳	-	-
۷	۳/۵	۰/۵	۷/۰۰	۱۶/۹	-۹/۷۱
۸	۷/۲	۰/۵	۹/۴۵	۲۰/۶۰	-۶/۰۱

با معلوم فرض کردن مقادیر DTM و درجات خاکستری تصویر، تنها مجهول باقیمانده در معادله (۶)، albedo خواهد بود که می توان با یک سرشکنی کمترین مربعات میزان albedo را محاسبه نمود. مقدار albedo متوسط برای منطقه مورد نظر، ۱۴۲/۸۹۸ بدست آمد.



شکل ۴: استخراج شده با دستگاه تبدیل رقومی

با استفاده از رابطه (۱۱) و با تغییر ضریب مقیاس و شیفت هشت نوع DTM (جدول ۶) به عنوان مقادیر تقریبی به برنامه معرفی شد. نتایج حاصل از مقایسه DTM بازسازی شده و DTM واقعی در جدول (۷) آورده شده است.

که در آن  $f$  بیانگر تصویر ایده آل،  $g$  تصویر موجود،  $h$  psf سیستم،  $n$  نویز و علامت \* نشان دهنده عمل کانولوشن است.

تصاویر تهیه شده در فتوگرامتری چه در مرحله ثبت و چه در مرحله اسکن دچار یک سری اغتشاشات تصادفی نیز میگردد. تستهای گوناگون انجام شده [۴] نقش مثبت فیلترهای پایین گذر را برای بهبود نتایج حاصل از SFS نشان داده است. از اینرو در این تحقیق بعنوان اولین مرحله از یک فیلتر پایین گذر گوسین برای حذف اینگونه اغتشاشات استفاده شده است. بدون استفاده فیلتر پایین گذر معادلات SFS بر روی داده های واقعی متقارب نگردد.

بعد از اعمال فیلتر به تصویر، با استفاده از دستگاه تبدیل رقومی به صورت نیمه اتوماتیک DTM منطقه که یک شبکه  $23 \times 23$  با فواصل نقاط  $2/8$  متر است به دو منظور استخراج شد (شکل ۴):

- وجود DTM واقعی بعنوان معیاری جهت سنجش دقت DTM بازسازی شده از تکنیک SFS.
- جهت تخمین albedo منطقه با استفاده از DTM و درجات خاکستری تصویر.



جدول ۷: نتایج بازسازی سطح با استفاده از داده های واقعی.

DTM	rmse(m)	مینیمم خطا	ماکزیمم خطا
۱	۴/۱۱	-۵/۰۰	۱۲/۶۱
۲	۴/۱۳	-۵/۰۱	۱۲/۶۷
۳	۴/۰۷	-۴/۹۹	۱۲/۷۷
۴	۴/۱۱	-۴/۹۹	۱۲/۷۸
۵	۴/۱۲	-۵/۱۴	۱۲/۷۴
۶	۴/۱۱	-۵/۰۵	۱۲/۵۹
۷	۴/۱۰	-۵/۰۸	۱۲/۶۹
۸	۴/۰۹	-۴/۹۸	۱۲/۸۱

### نتیجه گیری

در این تحقیق ، علاوه بر بررسی تئوری، تکنیک SFS پیاده سازی شد و نتایج با استفاده از دو نوع داده ، شبیه سازی شده و واقعی، مورد ارزیابی قرار گرفت. با اجرای الگوریتم فوق و بررسی نتایج آن می توان گفت:

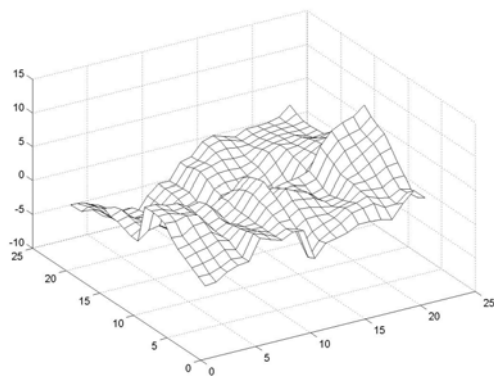
- در الگوریتم SFS فرض بر آن است که تصاویر در شرایط تابش یکسان منبع نورانی، از سطح پیوسته و اسموژ با خاصیت انعکاسی<sup>۷</sup> ثابت برداشته شده است ، بنابراین در صورت عدم وجود هر یک از شرایط فوق، این تکنیک در ارائه نتایج صحیح ناموفق می باشد.

نتایج استخراج DTM از تصویر شبیه سازی و تصویر واقعی نشان می دهد که در صورت عدم وجود نویز، بازسازی DTM مستقل از مقادیر تقریبی است (جدول ۲). با توجه به نتایج ، در تصاویر با Texture ضعیف، نویز عامل موثری در تخریب نتایج حاصل از بازسازی سطح می باشد. بنابراین استفاده از روشهای پیش پردازش رادیومتریکی برای حذف اینگونه اغتشاشات ضروری می باشد (جدول ۳).

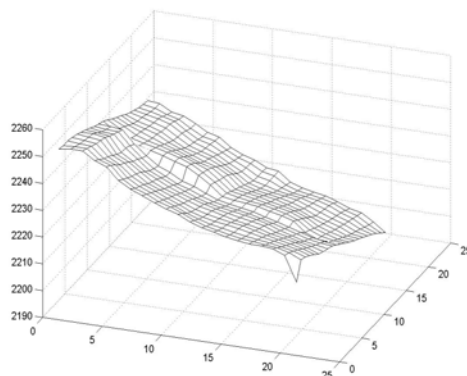
نتایج الگوریتم SFS نشان می دهد در صورت استفاده از مدل لامبرترین، دقت DTM تولید شده مستقل از عوامل توجیه خارجی می باشد (جدول ۴).

همانطور که از جدول (۷) مشخص است نتایج الگوریتم SFS در بازسازی DTM از تصویر واقعی همانند تصاویر شبیه سازی شده، مستقل از مقادیر تقریبی بوده و همگرایی تا حدود جابجایی به اندازه ۶ پیکسل در تصویر بدست آمده است.

نمایش گرافیکی DTM بازسازی شده در شکل (۵) آورده شده است. با مقایسه شکل های (۴) و (۵) مشاهده می شود که تکنیک SFS ، در بازسازی جزئیات سطح ، ناموفق است و به عنوان یک روش مستقل در تولید DTM نتایج دقیقی ارائه نمی دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۵: الف- DTM بازسازی شده توسط الگوریتم SFS  
ب- سطح خطای DTM تولید شده از الگوریتم SFS در مقایسه با DTM تولید شده با دستگاه تبدیل رقومی .

## تشکر و قدردانی

تهران صورت گرفته است که بدینوسیله نگارندگان این مقاله از بودجه ای که توسط این دانشگاه در اختیار آن قرار داده شده است صمیمانه تشکر می نمایند.

انجام این پروژه در قالب طرح تحقیقاتی مصوب شورای پژوهشی با شماره طرح ۶۲۱/۳/۱۰۰۶ دانشگاه

## مراجع

- 1- Horn, B. K. P. (1970). *Shape from shading : A method for obtaining the shape of a smooth opaque object from one view*, PhD Thesis , Department of Electrical Engineering , MIT.
  - 2 – Heipke, C. and Piechullek, C. (1996). “DTM refinement using multi image from shading.” *Int. Arch Ph Rs*, Vol. 31, B3/III, PP. 644-651.
  - 3 – Zhang, R. (1995). *Shape from photomotion*, PhD Thesis University of Central Florida.
  - 4 – Piechullek, C., Heipke, C. and Ebner, H. (1998). “Multi image shape from shading.” *Results Using Real Aerial Imagery*.
  - 5 – Heipke, C. and Piechullek, C. (1994). “Towards surface reconstruction using multi image shape from shading.” *Int. Arch PhRs.*, Vol. 30, No. 3/1, PP.361-369.
  - 6 – Heipke, C., Piechullek, C. and Ebner, H. (2000). “ Simulation studies and practical tests using multi image shape from shading.” *Int. Arch. PhRs.*, Vol. XXXIII, B3, PP. 724-729.
  - 7 – Zhang, R., Tsai, P. S., Cryer, J. E. and Shah, M. (1999). “Shape from Shading : A Survey.” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 21, No. 8, PP. 690-706.
  - 8 – Horn, B. K. P., Szeliski, R. S. and Yuille, A. L. (1993). “Impossible shaded images.” *IEEE Transactions on Attern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15 , No. 2, PP. X6-170.
  - 9 – McEwen, A. S. (1991). *Photometric Functions for Photoclinometry and Other Applictions*, *Icarus*, Vol. 92, PP. 298-311.
  - 10 - Davis, P. A. and Soderblom, L. A. (1984). “Modeling crater topography and albedo from monoscopic viking orbiter images; I. Methodology.” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, B11, PP. 9449-9457.
- ۱۲ - هاشمی بنی، ل. “بررسی تکنیک Shape from Shading در تصاویر برد کوتاه.” سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران (۱۳۷۹).

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 – Shape From Shading
- 2 – Digital Image Matching
- 3 – Gain
- 4 – Iterative
- 5 – Preprocessing
- 6 – Low Pass
- 7 - Albedo