تولید و محاسبه مدل ریاضی سه بعدی تصاویر اپی پولار ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا با استفاده از مدل های رشنال

فرزانه دادرس جوان*'، آلاله فلاح'، حميد محمدى'

۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری- گروه مهندسی نقشه برداری- پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران fdadrasjavan@ut.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور-گروه مهندسی نقشه برداری-پردیس دانشکده های فنی- دانشگاه تهران {alaleh.fallah, hamid.mohammadi}}@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۱، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۲)

چکیدہ

مدلسازی و تولید تصاویر اپی پولار با هدف تولید تصاویر نرمالی که در آنها نقاط متناظر در امتداد سطرهای یکسان قرار گرفته اند، در کاربردهایی که به تناظریابی تصاویر وابسته می باشند، نقشی کلیدی داشته و موجب افزایش کارایی، دقت و سرعت آنهامی گردد. از مهمترین این کاربردها می توان به مثلث بندی هوایی، تولید تصاویر متناظر، تولید مدل رقومی و تصاویر اورتو اشاره نمود. در مورد دو مثال آخر و به ویژه تولید مدلهای رقومی در سالهای اخیر با مطرح شدن روش های تولید مدل های رقومی متراکم و تناظریابی متراکم تصاویر و به ویژه تولید تصاویر اپی پولار جایگاه ویژهای خواهد داشت.

در این میان تصاویر ماهوارهای دارای ساختار آرایه ای به عنوان یکی از مهمترین منابع تولید مدلهای رقومی مطرح میباشند. با توجه به پیچیدگی هندسه این تصاویر، تولید تصاویر اپیپولار آنها با مشکلاتی همراه می باشد و در حقیقت می توان گفت هندسه مطرح در این سنجنده ها به جای خط مستقیم، منحنی اپیپولار تولید می کند. در این تحقیق روشی مبتنی بر تولید منحنی های اپی پولار به صورت تکه ای^۱ با استفاده از ضرایب رشنال ^۲در تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان از بالا بودن دقت حاصل از این روش در تولید تصاویر اپی پولار دارند. هم چنین ضرایب رشنال برای تصویر تولید شده با استفاده از گرید زمینی تخمین زده شد که ارزیابی های انجام شده دقت بالای روش ارائه شده را تایید می نماید.

واژگان کلیدی: تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا، هندسه اپی پولار، ضرایب رشنال

^{*} نویسنده رابط

Piecewise Epipolar resampling

r Rational Polynomial coefficients

تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا بدون شک یکی از منابع مهم تولید مدل رقومی زمین هستند. با توجه به قدرت تفکیک بالای این تصاویر، تولید مدلهای رقومی متراکم از آنها در سال های اخیر به شدت مطرح شده و مورد استفاده و توجه جامعه فتوگرامتری قرارگرفته است.

در تولید مدل های رقومی متراکم، تناظر یابی متراکم نقاط بسیار ضروری بوده و می توان آن را از مهمترین مراحل در تولید این مدلها دانست. از سوی دیگر تولید تصاویر اپی پولار به عنوان یکی از عمده مراحل در تناظریابی اتوماتیک و متراکم تصاویر بوده که با کاهش فضای جستجو کمک شایانی به سرعت و دقت الگوریتم های تناظریابی می نماید.

از آن جا که در اکثر ماهواره های با قدرت تفکیک بالا هندسه تصویربرداری از نوع آرایه خطی است و با هندسه تصویربرداری دوربینهای هوایی که بر مبنای فریم هستند، بسیار متفاوت است، این تفاوت بر قراری هندسه اپی پولار در تصاویر ماهوارهای را با مشکل مواجه میسازد [۱]. شکل (۱) تفاوت هندسه تصاویر در دوربینهای بر مبنای فریم و دوربین های آرایه خطی را نشان می دهد. بر این اساس مشاهده می شود که معادلات مورد نیاز در برقراری هندسه اپی پولار آرایه خطی ماهوارهای با روش های معمول و مرسوم در سیستم های هوایی فریم متفاوت می باشد.



شکل ۱- هندسه تولید تصویر از عوارض زمینی برمبنای دوربین فریم (سمت چپ) در مقایسه با دوربین آرایه خطی (سمت راست)

همانطور که از شکل (۱) پیداست، در دوربینهای دارای ساختار فریم هر تصویر، تنها یک مرکز تصویر دارد، در حالی که در دوربین های آرایه خطی، هر آرایه تصویر مرکز تصویر مجزا دارد.

از طرف دیگر امروزه در ارتباط با بیشتر تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا اطلاعاتی از ویژگی ها و پارامترهای هندسی این سنجنده ها موجود نبوده و در نتیجه محدودیت در مدلسازی فیزیکی آنها از دیگر عوامل مشکل ساز در مسیر ایجاد تصاویر اپی پولار از این سنجنده ها می باشد.

تولید تصاویر اپی پولار با هدف تولید تصاویر تصحیح شده که در آن ها پارالاکس x در جهت محور تصویر برداری و متناسب با ارتفاع زمینی و پارالاکس y برابر صفر است، شرایط مفیدی را در تناظر یابی اتوماتیک تصاویر، تولید مدل رقومی زمین و اندازهگیری های استریو ایجاد می کند[۲]، [۳]، [۴]، [۵]، [۶]، [۷]. [۸].

در سال های اخیر تحقیقات مختلفی در راستای تولید و مدلسازی تصاویر اپی پولار انجام شده است. در این میان از جمله ایده های مطرح و پیش رو استفاده از تبدیل نگاشت موازی^۱ است [۹]،[۱۰]، همچنین مدل سازی و تولید تصاویر اپی پولار مبتنی بر تبدیل نگاشت موازی برای اپی پولار کردن همراه با تولید مدل رقومی ارتفاعی از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در تعدادی از تحقیقات مورد بررسی قرارگرفته است (۲]،[۲]. در این روش با توجه به ساختار سیستم های خطی ماهواره و با اعمال تصحیحاتی، هندسه تصاویر را به مطرح برای این سیستم ها، هندسه اپی پولار ایجاد می گردد. مشکل مطرح در ارتباط با این روش، پیچیدگی های مدلسازی هندسی و هم چنین وابستگی دقت به

در تحقیق پیش رو روشی در مدلسازی اپی پولار تصاویر ماهوارهای با قدرت تفکیک بالا بر اساس استفاده از ضرایب رشنال مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از ضرایب رشنال برای این موضوع بر این اساس است که این ضرایب در عین حال که محدودیت وابستگی به اطلاعات

Parallel Projection Trajectory

۲ Parallel Geometry

$u = \begin{bmatrix} 1 & V & W & VU & VW & UW & V^2 \\ U^2 W^2 & UVW & V^3 & VU^2 & VW^2 \\ V^2 U & U^3 UW^2 V^2 W & U^2 W & W^3 \end{bmatrix}^T$	(۳)
$a = [a_1 a_2 \dots a_{20}]$	(۴)
$b = \begin{bmatrix} 1 & b_2 & \dots & b_{20} \end{bmatrix}$	(۵)
$c = [c_1 c_2 \dots c_{20}]$	(۶)
$d = \begin{bmatrix} 1 & d_2 & \dots & d_{20} \end{bmatrix}$	(Y)
:لونا	که در آ
ختصات عکسی نرمال شدہ	X,Y د مـ
: مختصات نرمال شده نقطه زمینی	IJ ,V,W
عرض جغرافیایی، λ طول جغرافیایی و h ارتفاع $arphi$	φ, λ, h
ی مربوط به نقطه زمینی	از بيضو

جنرافیایی، ارتفاع، سطر تصویر وستون تصویر $\varphi_0, \lambda_0, h_0, L_0, S_0$: شـیفت عـرض جغرافیایی، طـول جغرافیایی، ارتفاع، سطر تصویر وستون تصویر $\varphi_s, \lambda_s, h_s, L_s, S_s$ جغرافیایی، ارتفاع، سطر تصویر وستون تصویر [۱۳]

۲-۲- معادلات معکوس رشنال

این فرم معادلات انتقال از فضای تصویری (s, l, s) به فضای زمین با ارتفاع مشخص (h) را بیان می کند.با توجه به فرم غیر خطی معادلات رشنال برای حل این معادلات باید از روشهای خطی سازی مانند بسط معادلات به سری تیلور استفاده نمود. همچنین برای برآورد مقادیر اولیه مختصات مسطحاتی زمینی میتوان از ترم های درجه یک با در نظر نگرفتن ترم های با درجه بالاتر در معادلات رشنال استفاده نمود (روابط ۸و ۹)[۱۳].

$$\begin{cases} Y = \frac{a_1 + a_2 V^0 + a_3 U^0 + a_4 W}{b_1 + b_2 V^0 + b_3 U^0 + b_4 W} \\ \\ X = \frac{c_1 + c_2 V^0 + c_3 U^0 + c_4 W}{d_1 + d_2 V^0 + d_3 U^0 + d_4 W} \end{cases}$$
(λ)

سنجنده ماهواره را ندارند، در محدوده ارتفاعی معین، تفاوت ناچیزی میان مدل های فیزیکی^۱ و مدل توابع رشنال^۲ وجود دارد و می توانند جایگزین دقیقی برای این مدل ها باشند. در عین حال اکثر سنجنده ها امروزه همراه با ضرایب رشنال ارائه شده و مورد استفاده قرار می گیرند.

۲- معادلات چند جملهای رشنال

استفاده از معادلات رشنال سه بعدی در مدلسازی تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا از چند دهه اخیر مطرح شده و مورد استقبال شدید قرار گرفته است. به طوریکه امروزه کمتر تصویر ماهواره ای با اطلاعات ریگورس سنجنده ارائه شده و اغلب تصاویر به همراه فایل ضرایب رشنال در اختیار مصرف کنندگان قرار داده می شود. علت این امر را می توان در سادگی استفاده از این مدل ها و در عین حال کمک به حفظ اطلاعات فیزیکی سنجنده ها دانست که برای تولیدکنندگان بسیار حائز اهمیت می باشد. با توجه به آنکه در روند پیشنهاد شده برای تولید تصاویر اپی پولار فرض بر در اختیار داشتن و استفاده از ضرایب رشنال می باشد، در ادامه به مرور مختصری از این مدلها و نحوه مدلسازی تصاویر به کمک

۲-۱- معادلات مستقیم رشنال

فرم مستقیم معادلات رشنال که انتقال از فضای زمینی به تصویر را بیان می کند به صورت رابطه (۱) می باشد.

$$Y = \frac{a^T u}{b^T u}, X = \frac{c^T u}{d^T u} \tag{1}$$

اجزای این معادله طبق روابط (۲) تا (۷) تعیین می-شوند.

$$\begin{cases} U = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_s}, V = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_s}, W = \\ \frac{h - h_0}{h_s} \\ Y = \frac{l - L_0}{L_s}, X = \frac{s - S_0}{S_s} \end{cases}$$
(7)

۱ rigorous

۲ Rational Functional Model

$$\begin{bmatrix} V^{0} \\ U^{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (Yb_{2} - a_{2}) & (Yb_{3} - a_{3}) \\ (Xd_{2} - c_{2}) & (Xd_{3} - c_{3}) \end{bmatrix}^{-1} *$$

$$\begin{bmatrix} a_{1} + (a_{4} - Yb_{4})W - Yb_{1} \\ c_{1} + (c_{4} - Xd_{4})W - Xd_{1} \end{bmatrix}$$
(9)

در نهایت و با محاسبه مقادیر اولیه مختصات مسطحاتی زمینی، خطی سازی معادلات رشنال با در نظر گرفتن مختصات زمینی نرمال شده (*V*, *U*) طبق معادلات رابطه (۱۰) امکان پذیر است[۱۳].

$$\begin{cases} Y = Y^{0} + \frac{\partial Y}{\partial V} |^{0} dV + \frac{\partial Y}{\partial U} |^{0} dU \\ X = X^{0} + \frac{\partial X}{\partial V} |^{0} dV + \frac{\partial X}{\partial U} |^{0} dU \end{cases}$$
(1.)

که در آن داریم:

$$Y^{0} = \frac{a^{T}u^{0}}{b^{T}u^{0}}, X^{0} = \frac{c^{T}u^{0}}{d^{T}u^{0}}$$
(11)

$$u^{0} = \begin{bmatrix} 1 & V^{0}U^{0} & W & V^{0}U^{0} \\ V^{0}W & U^{0}W & (V^{0})^{2}(U^{0})^{2} \\ W^{2}U^{0}V^{0}W & (V^{0})^{3} \\ V^{0}(U^{0})^{2}V^{0}W^{2}(V^{0})^{2}W \\ (U^{0})^{2}W & W^{3}\end{bmatrix}^{T}$$
(17)

$$\begin{bmatrix} dV\\ dU \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial Y}{\partial v} |_{V=V^0} & \frac{\partial Y}{\partial u} |_{U=U^0} \\ \frac{\partial X}{\partial v} |_{V=V^0} & \frac{\partial X}{\partial u} |_{U=U^0} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y-Y^0\\ X-X^0 \end{bmatrix} \quad (1\%)$$

$$\begin{bmatrix} V\\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V^0\\ U^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dV\\ dU \end{bmatrix} \tag{14}$$

همانطور که پیشتر اشاره شد، تصاویر آرایه خطی بر خلاف تصاویر دارای ساختار فریم دارای هندسه داینامیک

بوده و بر این اساس نمی توان فرم واضحی برای منحنی اپی پولار تولید شده برای آن ها در نظر گرفت. در ادامه نگاه مختصری به تفاوت موجود میان هندسه اپی پولار تصاویر فریم و خطی داشته و روشی پیشنهادی در تولید آن ها مطرح می گردد.

۳-۱- منحنیهای اپی پولار در تصاویر آرایه خطی در قیاس با تصاویر فریم

برای تولید منحنی اپی پولار از یک زوج تصویر می توان از معادلات مستقیم^۱ و معکوس^۲ رشنال با تغییر ارتفاع زمینی استفاده نمود. چنانکه در شکل (۲) نشان داده شده است، نقطه qدر تصویر چپ با معادلات معکوس رشنال به نقطه زمینی با ارتفاعی مشخص منتقل میشود. سپس نقطه زمینی حاصل با استفاده از معادلات مستقیم رشنال به تصویر راست انتقال می یابد. با تغییر ارتفاع زمینی و تکرار پروسه قبل نقاط عکسی متفاوتی حاصل می شود. نقاط حاصل میان q_1 و $_2$ در تصویر راست، می شود. نقاط حاصل میان ا q_1 و $_2$ در تصویر راست، نقطه q_1 در تصویر راست تعیین شده اند و نقاط میان q_2 نقطه q_1 زنقطه $_2$ در تصویر راست ایجاد شده اند.

در مورد تصاویر آرایه خطی بر خلاف تصاویر دوربین-های برمبنای فریم، خطوط اپی پولار مستقیم نیستند و ممکن است برای کل تصویر موجود نباشند. در حقیقت می توان گفت برای این تصاویر به جای خط با منحنی های اپی پولار مواجه هستیم.

www.SID.ir

Y Forward Equations

۲ Inverse Equation

خط مستقیم گذرنده از نقاط $_{1}^{0}$ و $_{2}^{0}$ و ... در تصویر حاصل می شود. همچنین خطوط مستقیم همانندی از انتقال نقاط $_{1}^{0}$ و $_{2}^{0}$ و ... به تصویر چپ ایجاد می شود. این دو خط مستقیم روی هر دو تصویر یک زوج خط اپی پولار را تشکیل می دهند. این در حالیست که شکل (۳- ب) نشان می دهد که این ساختار برای سنجنده آرایه خطی برقرار نمی باشد. از انتقال نقطه $_{1}^{0}$ در تصویر چپ، به برقرار نمی باشد. از انتقال نقطه $_{1}^{0}$ در تصویر چپ، به روش مشابه، یک منحنی در تصویر راست ایجاد می شود (نه یک خط مستقیم) و همچنین نقاط $_{1}^{0}$ و $_{2}^{0}$ و ... در تصویر راست در امتداد منحنی، منحنی دیگری را در تصویر چپ تولید می نماید که معادل منحنی قبل نمی باشد. در حقیقت می توان گفت در این حالت زوج خط اپی پولار وجود ندارد.

از سوی دیگر منحنی های اپیپولار محلی که در محدوده ارتفاعی معینی (کمتر از حد آستانه مشخص) تعیین شدهاند را میتوان با خطوط مستقیم تقریب زد. در این حالت میتوان وجود زوج های اپی پولار برای نواحی محلی متصور شد. باید توجه داشت که منحنی های اپی-پولار به شرطی می توانند برای کل تصویر وجود داشته باشند که به صورت تکهای^۱ و یا محلی تولید شده باشند. شکل (۴) روش تولید منحنی اپی پولار به صورت تکه ای میدهد.

از آن جا که در روش تکه ای آرایه ای از نقاط تصویری در امتداد منحنی اپی پولار برای کل تصویر تولید میشود، نقاط حاصله برای برقراری شرایط تصویر اپیپولار و یافتن تبدیل بین تصویر اصلی و تصویر اپیپولار دوباره مرتب و بازسازی می شوند.

در ادامه هریک از مراحل بیان شده در تولید تصاویر اپی پولار توضیح داده خواهد شد.



شکل ۲- تولید منحنی اپی پولار در تصویر راست از یک نقطه در تصویر چپ برای سنجنده آرایه خطی

شکل (۳) دو ویژگی خطی بودن و وجود داشتن زوج اپی پولار را برای دوربین بر مبنای فریم و دوربین آرایه خطی با یکدیگر مقایسه می کند.







شکل ۳- مقایسه ویژگی های مهم اپی پولار در حالت الف) دوربین بر مبنای فریم و ب) دوربین آرایه خطی

شکل (۳- الف) ایجاد خطوط اپی پولار در دوربینهای فریم را نمایش می دهد. از تقاطع دادن نقطه p₁ در تصویر چپ با ارتفاعات مختلف و انتقال آنها به تصویر راست،

۱ piecewise



شکل ۴– تولید منحنی اپی پولار به روش تکه ای و تولید تصاویر اپی پولار با استفاده از ضرایب رشنال

۲-۳- تولید منحنی اپیپولار در تصاویر آرایه خطی

همانطور که بیان شد، زوج منحنی های اپی پولار برای نواحی محلی تعریف شده به وسیله محدوده ارتفاعی زمینی معینی وجود دارد، روشی برمبنای تولید منحنی اپی پولار به صورت تکه ای مطابق شکل (۵) ارائه شده است. با شروع از نقطه qدر تصویر چپ، برای مثال نقطه مرکزی، معادلات معکوس با در نظر گرفتن ماکزیمم و می نیمم ارتفاع روی زمین برای تعیین دو نقطه زمینی که متناظر با محل تقاطع خط مشکی پررنگ با دو صفحه زمینی در شکل (۵) است، حاصل می شوند. این محدوده ارتفاعات زمینی باید حداقل مساوی یا بزرگتر از محدوده ارتفاعی واقعی و به اندازه کافی کوچک برای تضمین وجود

زوج منحنی اپی پولار باشد. سپس این دو نقطه زمینی برای تعیین نقاط متناظر p_1 و p_2 با استفاده از معادلات مستقیم به تصویر راست منتقل میشوند. خط اپی پولار میان دو نقطه تصویری p_1 و p_2 با یک خط مستقیم تخمین زده می شود. حال با شروع از p_1 و p_2 و q_2 در تصویر راست دو نقطه متناظر 'q و ''q در تصویر چپ با همان روش گفته شده ایجاد می شوند. بنابراین منحنی اپی پولار میان 'q و ''q و منحنی اپی پولار میان p_1 و q_2 می-توانند نماینده ای از زوج منحنی اپی پولار در تصویری بر روی با ادامه این فرآیند آرایه ای از نقاط تصویری بر روی این نقاط زوج منحنی اپی پولار که جهت سنجنده را نشان می دهد، تشکیل می دهند. برای هر نقطه دیگری در یک تصویر، منحنی اپی پولار می تواند با روشی مشابه نشان می دهد، تشکیل می دهند. برای هر نقطه دیگری



شکل ۵- تولید زوج منحنی اپی پولار به روش تکه ای با استفاده از ضرایب رشنال (برای تک نقطه تصویری *q*)

۳-۳- نمونه برداری و بازسازی تصاویر اپی پولار

بر اساس ایده اشاره شده در قسمت قبل، تولید تصاویر اپی پولار را می توان شامل سه مرحله دانست: ۱) تولید نقاط منحنی اپی پولار روی کل تصویر ۲) مرتب کردن نقاط منحنی برای برقراری شرایط تصویر اپی پولار ۳) بازسازی تصاویر اپی پولار روشی که به عنوان روش تکهای در تولید منحنی اپی-پولار ارائه شد، باید برای تولید منحنی اپی پولار در سراسر تصویر مورد استفاده قرار گیرد. برای این منظور ابتدا منحنی اپیپولار مرکز تصویر چپ با در نظر گرفتن نقطه مرکز تصویر چپ به عنوان نقطه شروع، تولید و سپس در

www.SID.ir



شکل ۷- روش پیشنهادی برای اپی پولار کردن تصاویر با استفاده از نقاط منحنی های اپی پولار

نقاطی که بر اساس شرایط اپی پولار مرتب شدهاند و نقاط قبل از مرتب سازی می توانند نقاط متناظر میان تصویر اپی پولار شده و تصویر اولیه را تشکیل دهند. از آنجا که این نقاط به صورت یک گرید منظم در کل تصویر توزیع شده اند، به خوبی می توانند برای یافتن معادله تبدیل بین تصویر اصلی و تصویر اپی پولار شده مورد استفاده قرار گیرند. برای تبدیل منحنی اپیپولار در تصویر پلی نومیال های با مرتبه بالا (پلی نومیال مرتبه ۲ یا فاین نمی توانند برای تبدیل منحنی و خط مستقیم مورد استفاده قرار گیرند. ارتباط میان دو مجموعه نقطه با پلی نومیال درجه دو در رابطه (۱۵) و پلی نومیال درجه سه رابطه (۱۶) بیان شده است.

 $x' = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x^2 + a_5 xy + a_6 y^2$ $y' = b_1 + b_2 x + b_3 y + b_4 x^2 + b_5 xy + b_6 y^2$

$$\begin{aligned} x' &= a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x^2 + \\ a_5 xy + a_6 y^2 + a_7 x^3 + a_8 x^2 y + \\ a_9 xy^2 + a_{10} y^3 \end{aligned} \tag{17}$$

$$y' &= b_1 + b_2 x + b_3 y + b_4 x^2 + \\ b_5 xy + b_6 y^2 + b_7 x^3 + b_8 x^2 y + \\ b_9 xy^2 + b_{10} y^3 \end{aligned}$$

(10)

جهت عمود براین منحنی نقطه شروع بعدی با انتخاب فاصلهای معین تعیین می شود و زوج منحنی های اپی-پولار برای هر کدام از این نقاط شروع، به روشی که پیشتر توضیح داده شد، محاسبه می شوند. چیزی که این روش را ساده می کند آن است که مجموعه نقاط شروع روی خط عمود بر مسیر سنجنده قرار دارند و میتوانند به عنوان محور y در نظر گرفته شوند. شکل (۶) نحوه انتخاب نقاط شروع در تصویر چپ و نقاط متناظر در تصویر راست را نمایش می دهد.

پس از تولید منحنیهای اپیپولار، تصاویر جهت برقراری شرط و هندسه اپیپولار مدلسازی می شوند. برای این منظور ابتدا کلیه نقاط شروع در تصویر چپ و نقاط متناظر آن ها در تصویر راست در امتداد محور برقرار داده می شوند (شکل ۷).باید توجه داشت که منحنی های اپی پولار کاملا مستقیم نبوده و بنابراین پارالاکس لاکمی همچنان وجود خواهد داشت. حذف پارالاکس لامی تواند با تخصیص یک مختصات سطری (line) ثابت به هر زوج منحنی اپی پولار در دو تصویر صورت گیرد. این مقدار ثابت، می تواند مختصات سطر نقطه مرکزی تصویر چپ میان پارالاکس X و ارتفاع زمینی میتوان فاصله بین نقاط همسایه در منحنیهای اپی پولار را در هر دو تصویر ثابت و برابر میانگین کل فواصل نقاط همسایه در منحنی های ایی پولار تصاویر چپ و راست در نظر گرفت.





در معادلات (۱۵) و (۱۶) پارامترها به صورت زیر تعریف می شوند: x,y : مختصات نقاط متناظر در تصویر اصلی x',y' : مختصات نقاط متناظر در تصویر اپی پولار a,b : ضرایب تبدیل پلی نومیال

۳-۳- مدلسازی هندسی تصاویر اپی پولار و تولید ضرایب رشنال

برای مدلسازی هندسی تصاویر اپی پولار شده جدید میبایست ضرایب رشنال آن ها برآورد شود. برای تعیین ضرایب رشنال مکعب زمینی شبکه بندی شدهای در منطقه پوشش تصاویر در نظر گرفته می شود. نقاط این گرید زمینی با استفاده از ضرایب خام رشنال به تصویر انتقال مییابند و نقاط تصویری با ضرایب پلی نومیال محاسبه شده بین تصویر اصلی و تصویر اپی پولار شده به فضای تصویر اپی پولار انتقال می یابند و بین نقاط مکعب زمینی و نقاط تصویر اپی پولار ضرایب رشنال محاسبه می شوند. در شکل (۸) نقاط کنترل زمینی در یکگرید زمینی و نقاط متناظر آن ها در فضای تصویر نشان داده شده است.



شکل ۸- نقاط کنترل زمینی در یک گرید زمینی و نقاط متناظر آن ها در فضای تصویر

برای محاسبه ضرایب رشنال و ترفیع آن ها باید از نقاط کنترلی که به خوبی توزیع شده اند، استفاده شود و ضرایب طی یک فرآیند تکراری محاسبه می شوند[۱۳].

۴- پیادہ سازی و ارزیابی نتایج

تصاویر سنجنده IRSP5 در منطقه گناوه ایران برای ارزیابی روش پیشنهادی در تولید تصاویر اپی پولار انتخاب شده است. در این حالت بر اساس روش تکه ای برای زوج تصاویر این مجموعه داده تصاویر اپی پولار تولید شدهاند.

در شکل (۹) مجموعه نقاط حاصل بر اساس روش بیان شده و برروی منحنی های اپی پولار برای تصویر چپ و در شکل (۱۰) این نقاط بر روی تصویر راست نمایش داده شده اند. در این دو شکل نقاط حاصل بر روی منحنی های اپی پولار با رنگ قرمز و نقاط شروع این منحنی ها در تصویر چپ با مثلث های رو به بالا و در تصویر راست این نقاط شروع با مثلث های رو به پایین نمایش داده شده اند.

پس از تولید نقاط و برای برقراری شرایط هندسه اپی-پولار مشابه آنچه که در قسمت ۳–۳ اشاره شد، نقاط روی منحنی های اپی پولار در تصویر چپ در شکل (۱۱) و نقاط تصویر راست در شکل (۱۲) نمایش داده شده اند. در هردو شکل (۱۱) و (۱۲) نقاط قرمز نقاط روی منحنی های اپی پولار هستند که به صورت خطوط مستقیم افقی با فاصله ثابت میان نقاط همسایه در هر خط مرتب شده اند.



شکل ۹- مجموعه نقاط حاصل بر روی منحنی های اپی پولار (نقاط قرمز) و نقاط شروع منحنی ها (مثلث های رو به بالا) برای تصویر چپ



با برقراری ارتباط میان مجموعه نقاط حاصل بر روی منحنی های اپی پولار قبل از مرتب سازی و مجموعه نقاط روی خطوط اپی پولار پس از مرتب سازی با استفاده از پلی نومیال های درجه ۳ می توان تمامی پیکسل های تصویر را به تصویر اپی پولار منتقل و تصاویر اپی پولار شده نهایی را تولید نمود. شکل های (۱۳) و (۱۴) به ترتیب تصاویر اپی پولار شده چپ و راست را نمایش می دهند.

جهت نمایش بهتر و ارزیابی تصویر اپی پولار تولید شده شکل (۱۵) صفر بودن مقدار پارالاکس yرا در تصاویر اپی پولار شده به صورت آناگلیف نمایش می دهد.



شکل ۱۴ - تصویر اپی پولار راست



شکل ۱۵- حذف پارالاکس y برای نقاط تصاویر اپی پولار شده چپ و راست

پس از تولید تصاویر اپی پولار همانطور که اشاره شد، ضرایب رشنال برای این تصاویر محاسبه میشود. برای ارزیابی نتایج حاصل و بررسی دقت ضرایب رشنال در تعیین مختصات زمینی و تصویری پنج مجموعه آزمایش پیاده سازی شده که در ادامه بیان می شود.

۴-۱- آزمایش اول

مراحل انجام این تست عباتند از:

a. تولید ضرایب رشنال برای تصویر اپی پولار مورد نظر(چپ یا راست) *d.* تعیین مکعبی از مختصات زمینی در محدوده پوشش تصویر و زمین و انتقال آن به تصویر مورد نظر با استفاده از ز ضرایب رشنالاولیه *c* انتقال تصویر اصلی به تصویر اپی پولار با استفاده از ضرایب مستقیم حاصل در پلی نومیال *b.* انتقال مکعب زمینی به تصویر اپی پولار مورد نظر با استفاده از ستفاده از ضرایب مستقیم حاصل در پلی نومیال *b.* انتقال مکعب زمینی به تصویر اپی پولار مورد نظر با مستفاده از ضرایب مستقیم حاصل در پلی نومیال *b.* انتقال محیب زمینی به تصویر اپی پولار مورد نظر با میاده از ضرایب رشنال محاسبه شده برای تصویر اپی پولار *i* مقایسه مقادیر مرحله *b* و مرحله *c* (محاسبه اختلاف مقادیر در این دو مرحله) *i* میانگین خطای حاصل از انجام این آزمایش در جدول میانگین خطای حاصل از انجام این آزمایش در جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول۱ – میانگین خطاها در فضای دو تصویر در آزمایش اول

	deltax	deltay
تصوير راست	4.29642E-12	1.24398E-12
	pixel	pixel
تصوير چپ	1.57447E-8	-1.415762E-8
	pixel	pixel

۲-۴- آزمایش دوم

مراحل انجام آزمایش دوم به صورت زیر است: *a.* تولید ضرایب رشنال برای تصویر اپی پولار مورد نظر(چپ یا راست) *b.* تعیین مکعبی از مختصات زمینی و انتقال آن به تصویر اپی پولار مورد نظر با استفاده از ضرایب رشنالمحاسبه شده برای تصویر اپی پولار *c.* انتقال تصویر اپی پولار به تصویر اصلی با استفاده از *d.* انتقال مکعبزمینی به تصویرمورد نظر با استفاده از *d.* انتقال مکعبزمینی به تصویرمورد نظر با استفاده از *d.* متقال مکعبزمینی به تصویرمورد نظر با استفاده از *d.* مقایسه مقادیر مرحله *b*و مرحله *c*(محاسبه اختلاف

مقادیر حاصل در این دو مرحله) میانگین خطای حاصل در این آزمایش در جدول (۲) نمایش داده شده است.

جدول۲- میانگین خطاها در فضای دو تصویر در آزمایش دوم

	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
	deltax	deltay	
تصوير راست	-1.27368E-5	-2.0608E-5	
	pixel	pixel	
تصوير چپ	1.45617E-5	7.24046E-6	
	pixel	pixel	
			_

۴-۳- آزمایش سوم

در انجام این آزمایش از هر دو تصویر چپ و راست استفاده شده و دقت مختصات زمینی محاسبه شده با استفاده از ضرایب رشنال اپی پولار مورد بررسی قرار گرفته است. مراحل این آزمایش به شرح زیر است: *a*. تعیین مکعب زمینی مشترک بین تصاویر چپ و راست و انتقال این مختصات با ضرایبرشنال محاسبه شده برای تصاویر اپی پولار به فضای اپیپولار چپ و راست *d*. تقاطع میان نقاط متناظر در تصاویر اپی پولار و رسیدن به مختصات زمینی مکعب با استفاده از ضرایب رشنال محاسبه شده برای تصاویر اپی پولار

www.**SID.ir**

میانگین خطای حاصل در مختصات زمینی محاسبه شده (اختلاف مختصات محاسبه شده برای نقاط گرید زمینی و مختصات اصلی نقاط گرید زمینی) در جدول (۳) نمایش داده شده است.

جدول۳- اختلاف مختصات محاسبه شده برای نقاط گرید زمینی و مختصات اصلی نقاط گرید زمینی در آزمایش سوم

deltaLambda	deltaPhi	deltaZ
-0- m	0 m	-2.68378E-
	-0- III	13m

۴-۴- آزمایش چهارم

در این آزمایش نیز همانند آزمایش شماره سه از هر دو تصویر چپ و راست استفاده شده و دقت مختصات زمینی محاسبه شده با استفاده از ضرایب رشنال اپیپولار مورد بررسی قرار گرفته است. مراحل این آزمایش عبارتند از:

م. تولید ضرایبرشنال برای تصاویر اپی پولار راست و چپ
 م. تعیین مکعب زمینی مشترک میان تصاویر چپ و
 راست و انتقال این مختصات با ضرایب رشنال تصحیح
 تصاویر به فضای تصاویر چپ و راست

c. انتقال مختصات تصویر به فضای تصویر اپی پولار با استفاده از ضرایب پلی نومیال حاصل در مرحله تولید تصویر اپی پولار

d. تقاطع بین نقاط متناظر در تصاویر اپی پولار و رسیدن به مختصات زمینی مکعب با استفاده از ضرایب رشنال محاسبه شده برای تصاویر اپی پولار

میانگین خطای حاصل روی مختصات زمینی محاسبه شده (اختلاف مختصات محاسبه شده برای نقاط گرید زمینی و مختصات اصلی نقاط گرید زمینی) در این آزمایش مطابق جدول (۴) می باشد.

جدول۴- میانگین اختلاف مختصات محاسبه شده برای نقاط گرید زمینی و مختصات اصلی نقاط گرید زمینی در آزمایش چهارم

	Degree	Meter
deltaLambda	3.24904E-7	0.032
deltaPhi	8.18952E-8	0.10
deltaZ	-	0.00817909

همچنین حداکثر خطا روی مختصات زمینی محاسبه شده مطابق مقادیر جدول(۵) است.

جدول۵- حداکثر اختلاف مختصات محاسبه شده برای نقاط گرید زمینی و مختصات اصلی نقاط گرید زمینی در آزمایش چهارم

	Degree	Meter
deltaLambda	4.95529E-6	0.483842
deltaPhi	1.19394E-6	0.12820
deltaZ	-	0.261714

۴-۵-آزمایش پنجم

در این آزمایش مقایسه ای بر روی مختصات زمینی محاسبه شده از زوج نقاط متناظر در تصاویر خام و با کمک ضرایب رشنال محاسبه شده برای آنها و مختصات محاسبه شده از زوج نقاط متناظر در تصاویر اپی پولار و ضرایب رشنال برآورد شده متناظر آنها انجام شده است. شکل (۱۶) پراکندگی ۱۲۲ نقطه انتخاب شده برای این آزمون در تصویر چپ را نشان می دهد و شکل (۱۷) میزان اختلاف میان مختصات محاسبه شده از ضرایب رشنال خام و مختصات محاسبه شده از ضرایب رشنال برآورد شده برای تصاویر اپی پولار را با ضریب اغراق نشان می دهد.



شکل ۱۶- محل نقاط چک بر روی تصویر چپ



شکل ۱۷- نمایش بردار خطاها با (اغراق) برای نقاط چک

در جدول (۶) میانگین و حد اکثر میزان اختلافات در سه راستای Phi ، Lambda و H برای این نقاط چک نشان داده شده است.

جدول۶- میانگین و حداکثر اختلاف در مختصات زمینی در آزمون پنجم		
	میانگین اختلاف	حد اكثر اختلاف
Lambda	0.4828m	0.5344 <i>m</i>
Phi	0.2465 m	0.2512 m
Н	0.5487 m	1.0259 m

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق روشی برای اپی پولار کردن تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا ارائه شد که به روش تکه ای موسوم بوده و در آن زوج منحنی های اپی پولار در بخش های کوچکی از تصویر ایجاد می شوند. همانگونه که آزمون های عملی نشان دادند، این روش در اپی پولار کردن تصاویر ماهواره ای بسیار موفق عمل کرده و تصاویر اپی پولار با دقت زیر پیکسل تولید می شوند. همچنین برای تصاویر اپی پولار ضرایب رشنال جدید محاسبه شدند که آزمون ها نشان از دقت این ضرایب در حد زیر متر در محاسبه مختصات زمینی بر اساس مختصات زوج تصویر اپی پولار دارند.

مراجع

- [1] Jaehong Oh, M.S., B.S, 2011, Novel Approach to Epipolar Resampling of HRSI and Satellite Stereo Imagery-based Georeferencing of Aerial Images, The Ohio State University
- [2] Cochran,S.D.,1995.Adaptive vergence for the stereo matching of oblique imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 50(4),21–28
- [3] Ono, T., Honmachi, Y., Ku, S., 1999. Epipolar resampling of high resolution satellite imagery. In: Proc. Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 Sensors and Mapping from Space, Hannover, Germany, 27–30 September.7p (onCDROM).
- [4] Hashimoto, T., 2000. DEMgeneration from stereo AVNIRimages. Advances in Space Research 25(5), 931–936.
- [5] Bang, K.I., Jeong, J.S., Kim, K., Cho, W., 2003. Automatic DEM generation using IKONOS stereo imagery. In: Proc. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'03, Toulouse, France, 21–25 July, vol. 7, pp.4289–4291.
- [6] Lee, H.Y., Kim, T., Park, W., Lee, H.K., 2003. Extraction of digital elevation models from satellite stereo images through stereo matching based on epipolarity and scene geometry. Image and Vision Computing 21(9),789–796.
- [7] Morgan, M., 2004. Epipolar Resampling of Linear Array Scanner Scenes. Ph.D. Dissertation, University of Calgary, Canada, 187p.
- [8] Kornus, W., Alamús, R., Ruiz, A., Talaya, J., 2006. DEM generation from SPOT-5 3-fold along track stereoscopic imagery using autocalibration. ISPRS Journal of PhotogrammetryandRemoteSensing60(3),147–159.

- [9] Morgan, M., Kim, K., Jeong, S., Habib, A., 2004a. Indirect epipolar resampling of scenes using parallel projection modeling of linear array scanners. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences35,(PartB3),508–513.
- [10] Morgan,M.,Kim,K.,Jeong,S.,Habib,A.,2004b. Epipolar geometry of linear array scanners moving with constant velocity and constant attitude. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences35,(PartB3),52–57.
- [11] Morgan, M., Kim, K., Jeong, S., Habib, A., 2006. Epipolar resampling of space-borne linear array scanner scenes using parallel projection. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 72(11),1255–1263
- [12] Habib, A.F., Kim, E.M., Morgan, M., Couloigner, I., 2004. DEM generation fromhigh resolution satellite imagery using parallel projection model. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences35,(PartB1),393–398
- [13] Dial, G., and J. Grodecki (2002): Block adjustment with rational polynomial camera models, Proceedings of the ACSM-ASPRS 2002 Annual Conference, 22-26 April, Washington DC (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland), unpaginated CD-ROM.