دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده نقشه برداری ژئودزی و ژئوماتیک
گروه فتوگرامتری و سنجش از دور

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد-گرایش سنجش از دور

عنوان:

ارزیابی عملکرد مدل‌های پارامتری و غیرپارامتری در بازسازی هندسه اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم

اساتید راهنما:

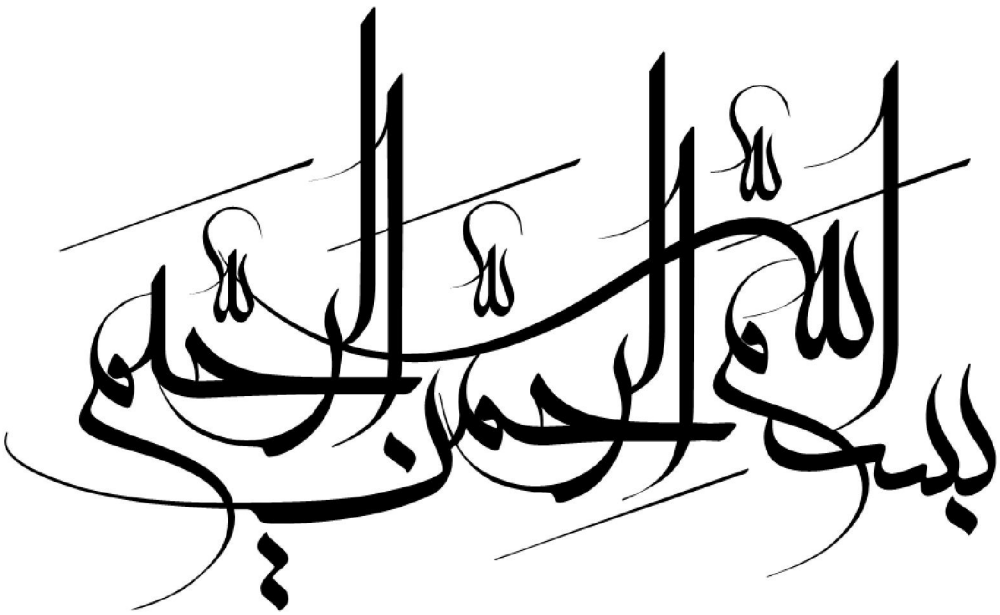
دکتر محمدجواد ولدان‌زوج

دکتر علی محمدزاده

نگارش:

مجتبی جنتی

تابستان ۱۳۹۱


بسم الله الرحمن الرحيم

به پاس سال‌ها مهربانی و ایثار

تقدیم به والدین عزیزم

بسمه تعالی

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**تأییدیه هیأت داوران**	شماره: تاریخ:

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان :

" ارزیابی عملکرد مدل های پارامتریک و غیرپارامتریک در بازسازی هندسه اپی پلار تصاویر با هندسه خطی پوش بروم "

توسط آقای **مجتبی جنتی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته گرایش **سنجش از دور** در تاریخ **۹۱/۶/۲۹** مورد تأیید قرار می‌دهند.

۱- استاد راهنمای اول	جناب آقای دکتر محمدجواد ولدان زوج	امضاء
۲- استاد راهنمای دوم	جناب آقای دکتر علی محمدزاده	امضاء
۳- استاد مشاور	-	امضاء
۴- ممتحن داخلی	جناب آقای دکتر مهدی مختارزاده	امضاء
۵- ممتحن خارجی	جناب آقای دکتر فرشید فرنود احمدی	امضاء
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	جناب آقای دکتر محمد کریمی بنظر اینجانب دکتر مهدی مختارزاده	امضاء

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**اظهارنامه دانشجو**	**شماره:** **تاریخ:**

اینجانب مجتبی حبیبی **دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته** مهندسی عمران

گرایش سازه‌های دریایی **دانشکده** مهندسی و علوم زمین دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان

ارزیابی عملکرد دال‌های پایه‌بتنی و غیرپایه‌بتنی در بازه‌ی هدف این پایان‌نامه تقاضای بالاتری را پاسخ دهد

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای / سرکار خانم دکتر محمدجواد ولدان زوج و دکتر علی محمدزاده توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ: ۱۳۹۱/۷/۳

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده عمران دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمنا متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

با لطف و عنایت الهی، این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صورت پذیرفته است. بدینوسیله مراتب سپاس خود را از اساتید راهنمای فرهیخته آقایان دکتر ولدان‌زوج و دکتر محمدزاده، که با نیک‌اندیشی خویش پیمودن راه را برایم هموار نمودند، ابراز نموده و از درگاه خداوند متعال بهروزی و سعادت روزافزون ایشان را خواهانم.

افزون بر این، از تمامی اساتید دوره کارشناسی‌ارشد که آموزه‌هایشان روشنگر راهم بود، از جمله آقایان دکتر صاحبی، دکتر مباشری، دکتر آبکار، دکتر مختارزاده، دکتر طالعی و سرکار خانم دکتر دهقانی تشکر نموده و به رسم قدردانی دست ایشان را به گرمی می‌فشارم.

در پایان از پدر و مادر عزیزم به خاطر حمایت‌های بی‌دریغ مادی و معنوی که امکان تحصیل را برایم فراهم نموده‌اند، تشکر نموده و بر دستان پر مهرشان بوسه می‌زنم.

چکیده

هندسه اپی‌پلار یکی از کارآمدترین ابزارهای پردازش تصاویر پوشش‌دار به حساب می‌آید، و به طور گسترده‌ای در علوم مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هندسه اپی‌پلار وابستگی آن به مدل سنجنده است، که این ویژگی سبب تفاوت نحوه بکارگیری هندسه اپی‌پلار برای انواع سیستم‌های تصویربرداری می‌گردد. به عنوان مثال در جوامع دید ماشینی و برای تصاویر برد کوتاه، هندسه اپی‌پلار در قالب ماتریس اساسی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ و در جوامع فتوگرامتری و برای تصاویر هوایی، هندسه اپی‌پلار براساس معادلات شرط هم‌خطی به کار گرفته می‌شود. هرچند هندسه اپی‌پلار در پردازش تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده توسط سنجنده‌های خطی پوش‌بروم نیز می‌تواند بسیار مفید واقع شود، اما با این وجود هیچ گاه استقبال از هندسه اپی‌پلار در پردازش این تصاویر به گستردگی تصاویر فریم نبوده است؛ که مهم‌ترین دلیل این امر را باید در عدم وجود شناختی عمیق و دقیق از هندسه اپی‌پلار در تصویربرداری خطی پوش‌بروم جستجو کرد. با توجه به اینکه اکثر تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه هندسه اپی‌پلار تصاویر خطی به برآورد و ارزیابی منحنی‌های اپی‌پلار معطوف بوده، و همچنین با توجه به نارسایی این شیوه در ارزیابی مدل‌های اپی‌پلاریتی، عملکرد مدل‌های ریاضی مختلف در تولید تصاویر نرمال، مبنای مقایسه آنها در بازسازی هندسه اپی‌پلار قرار گرفت. تا کنون بر مبنای مدل‌های غیرفیزیکی چندین روش برای بازنمونه‌برداری اپی‌پلار تصاویر خطی پیشنهاد گردیده است؛ اما از آنجا که هنوز روشی بر مبنای مدل‌های فیزیکی برای این منظور پیشنهاد نشده، امکان‌سنجی و توسعه چنین روشی به عنوان یکی از اهداف این پژوهش مورد توجه قرار گرفت. نتیجه این بخش از پژوهش، توسعه مدلی برای بازآرایی اپی‌پلار تصاویر خطی بر مبنای تصحیح مسیر سنجنده بود. از سوی دیگر، برای مقایسه منصفانه عملکرد مدل‌های فیزیکی و غیرفیزیکی، لازم است شرایط انجام آزمایش برای هر دو نوع مدل تا حد امکان یکسان در نظر گرفته شود. در نتیجه، روش پیشنهادی برای بازآرایی اپی‌پلار تصاویر خطی به گونه‌ای تغییر داده شد تا با استفاده از هر دو نوع مدل‌های فیزیکی و غیرفیزیکی قابل پیاده‌سازی باشد؛ که نتیجه این بخش از پژوهش، توسعه مدلی برای بازآرایی اپی‌پلار تصاویر خطی بر مبنای تصحیح

پوشش زمینی تصاویر پوشش‌دار بود. به این ترتیب، با فراهم آمدن ابزاری مناسب برای ارزیابی عملکرد مدل‌های فیزیکی و غیرفیزیکی در بازسازی هندسه اپی‌پلار تصاویر خطی، عملکرد مدل پارامترهای مداری ولدان‌زوج و مدل مراکز تصویر چندگانه به عنوان دو مدل فیزیکی، و مدل توابع کسری به عنوان یک مدل غیرفیزیکی، از سه دیدگاه دقت تصحیح هندسی، دقت تصاویر شبه نرمال تولید شده، و کارآیی مدل ریاضی مورد استفاده با یکدیگر مقایسه گردید. بر اساس نتایج تحقیق، مدل پارامترهای مداری ولدان‌زوج از نظر دقت تصحیح هندسی و دقت تصاویر شبه نرمال تولید شده به عنوان دقیق‌ترین مدل، و مدل مراکز تصویر چندگانه با ارزیابی پارامترهایی نظیر سهولت، سرعت و انعطاف‌پذیری مدل برای انطباق با شرایط مفروض در فرآیند تولید تصاویر شبه نرمال، به عنوان کارآمدترین مدل شناخته شد. در پایان باید اذعان نمود هرچند روش پیشنهادی برای بازآرایی اپی‌پلار تصاویر خطی بر مبنای تصحیح پوشش زمینی تصاویر برای مقایسه عملکرد مدل‌های فیزیکی و غیرفیزیکی در بازسازی هندسه اپی‌پلار تصاویر خطی مناسب به نظر می‌رسد، اما با توجه به ماهیت غیرفیزیکی بخشی از این فرآیند، نمی‌توان با استفاده از آن به شناخت هندسه اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم از نقطه‌نظر هندسی و فیزیکی پرداخت. از این روی، در ادامه سعی شد با شناسایی عوامل تخریب کننده ماهیت فیزیکی مدل و ارائه راه‌کارهایی برای مرتفع ساختن آنها، مدلی برای بازنمونه‌برداری اپی‌پلار تصاویر خطی پیشنهاد شود. نتیجه این بخش از پژوهش توسعه مدلی برای بازنمونه‌برداری اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم بر مبنای تصحیح مسیر سنجنده در فضای تصاویر پوشش‌دار بود.

کلیدواژه: سنجش از دور، فتوگرامتری، هندسه اپی‌پلار، تصویربرداری خطی پوش‌بروم، تصاویر نرمال، بازنمونه‌برداری اپی‌پلار، بازآرایی اپی‌پلار

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	**الف**
فهرست مطالب	**ت**
فهرست اشکال	**ج**
فهرست جداول	**د**
فصل اول: پیشگفتار	**۱**
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- ضرورت و انگیزه‌های تحقیق	۳
۱-۳- اهداف و روش تحقیق	۵
۱-۴- مجموعه داده‌های مورد استفاده	۶
۱-۵- ساختار پایان‌نامه	۷
فصل دوم: مبانی تئوری هندسه اپی‌پلار و پیشنه تحقیق	**۹**
۲-۱- مقدمه	۹
۲-۲- هندسه تصاویر فریم	۹
۲-۲-۱- هندسه اپی‌پلار تصاویر فریم	۱۱
۲-۲-۲- برآورد خطوط اپی‌پلار در تصاویر فریم	۱۳
۲-۲-۳- بازنمونه‌برداری اپی‌پلار تصاویر فریم	۱۷
۲-۳- تصاویر خطی پوش‌بروم	۲۱
۲-۳-۱- مدلسازی هندسی تصاویر خطی پوش‌بروم	۲۴
۲-۳-۲- هندسه اپی‌پلار در تصاویر خطی پوش‌بروم	۳۱
۲-۳-۳- برآورد منحنی‌های اپی‌پلار در تصاویر خطی	۳۳
۲-۴- بحث و نتیجه‌گیری	۴۳

فصل سوم: بازآرایی اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم برمبنای تصحیح مسیر حرکت سنجنده **۴۶**

۳-۱- مقدمه ۴۶

۳-۲- هندسه اپی‌پلار تصویر اخذشده توسط سنجنده‌ای با سرعت و وضعیت ثابت ۴۷

۳-۳- روش پیشنهادی ۵۰

۳-۴- پیاده‌سازی و نتایج ۵۶

۳-۵- بحث و نتیجه‌گیری ۶۱

فصل چهارم: بازآرایی اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم برمبنای تصحیح پوشش زمینی تصاویر پوشش‌دار **۶۴**

۴-۱- مقدمه ۶۴

۴-۲- اپی‌پلاریتی بر مبنای تصحیح پوشش زمینی تصاویر ۶۴

۴-۳- روش پیشنهادی ۶۶

۴-۴- پیاده‌سازی و نتایج ۶۹

۴-۴-۱- مدل مراکز تصویر چندگانه ۶۹

۴-۴-۲- مدل پارامترهای مداری ولدان‌زوج ۷۲

۴-۴-۳- مدل توابع کسری ۷۶

۴-۵- بحث و نتیجه‌گیری ۸۴

فصل پنجم: بازنمونه‌برداری اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم برمبنای تصحیح مسیر حرکت سنجنده در فضای تصویر **۸۹**

۵-۱- مقدمه ۸۹

۵-۲- نقش پارامترهای موقعیتی و وضعیتی سنجنده در تولید تصاویر شبه نرمال ۹۰

۵-۳- روش پیشنهادی ۹۱

۵-۴- پیاده‌سازی و نتایج ۹۹

۵-۵- بحث و نتیجه‌گیری ۱۰۳

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۱۰۵**

۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۵

۶-۲- پیشنهادات ۱۱۲

منابع و مراجع **۱۱۵**

فهرست اشکال

شکل	صفحه
شکل ۱-۱: نمایش شماتیک منطقه تحت پوشش تصاویر پوشش‌دار مورد استفاده	۷
شکل ۱-۲: نحوه توزیع نقاط کنترل	۷
شکل ۲-۱: هندسه تصویربرداری پرسپکتیو	۱۱
شکل ۲-۲: هندسه اپی‌پلار تصاویر فریم	۱۲
شکل ۲-۳: تصاویر پوشش‌دار نرمال	۱۳
شکل ۲-۴: برآورد خطوط اپی‌پلار بر مبنای شرط هم‌خطی	۱۵
شکل ۲-۵: برآورد خطوط اپی‌پلار بر مبنای شرط هم‌صفحه‌ای	۱۷
شکل ۲-۶: مفهوم تصاویر نرمال و بازنمونه‌برداری اپی‌پلار تصاویر فریم	۱۹
شکل ۲-۷: محاسبه موقعیت پیکسل در تصویر اصلی	۲۰
شکل ۲-۸: انتقال از تصویر اصلی به زمین و سپس به تصویر نرمال	۲۱
شکل ۲-۹: هندسه تصویربرداری سنجنده‌های خطی پوش‌بروم	۲۳
شکل ۲-۱۰: پارامترهای کپلری مدار ماهواره و موقعیت لحظه‌ای سنجده در سیستم C.I.	۲۷
شکل ۲-۱۱: هندسه اپی‌پلار در تصاویر خطی پوش‌بروم	۳۱
شکل ۲-۱۲: نمایش شماتیک نحوه برآورد منحنی‌های شبه اپی‌پلار با استفاده از مدل توابع کسری	۳۹
شکل ۲-۱۳: منحنی‌های شبه اپی‌پلار متناظر محلی برمبنای مدل توابع کسری	۴۰
شکل ۲-۱۴: مدل اپی‌پلاریتی مبتنی بر صفحه افقی مجازی	۴۱
شکل ۲-۱۵: تعیین راستای خط اپی‌پلار روی صفحه افقی مجازی	۴۲
شکل ۳-۱: هندسه اپی‌پلار در تصاویر خطی پوش‌بروم	۴۹
شکل ۳-۲: شرایط لازم جهت اخذ تصاویر خطی اپی‌پلار	۵۰

شکل ۳-۳: مسیر ایده‌آل سنجنده برای بازآرایی اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم ۵۱

شکل ۳-۴: نمایش شماتیک مراحل موازی‌سازی مسیر صحنه‌های چپ و راست در صفحه XOY ۵۲

شکل ۳-۵: تاثیر تغییر و عدم‌تغییر مرکز تصویر در بازنمونه‌برداری تصویر به ازای تغییر ارتفاع در فضای شیئ ۵۵

شکل ۳-۶: نمایش شماتیک تصاویر شبه نرمال تولید شده براساس تصحیح مسیر حرکت سنجنده ۵۹

شکل ۳-۷: تصویر آناگلیف تولیدشده براساس تصحیح مسیر حرکت سنجنده ۵۹

شکل ۳-۸: بخشی‌هایی از تصویر آناگلیف تولیدشده با بزرگنمایی بیشتر ۶۰

شکل ۳-۹: اخلال در برجسته‌بینی به دلیل تغییر پوشش زمینی در تصاویر *Cross Track* ۶۱

شکل ۴-۱: تولید تصاویر شبه نرمال بر اساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر ۶۵

شکل ۴-۲: موازی‌سازی دو شبکه متعامد ۶۷

شکل ۴-۳: موازی‌سازی دو شبکه غیرمتعامد ۶۸

شکل ۴-۴: نمایش شماتیک تصاویر نرمال تولید شده بر اساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر با استفاده از مدل MPC ۷۱

شکل ۴-۵: تصویر آناگلیف تولیدشده براساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر با استفاده از مدل MPC ۷۲

شکل ۴-۶: تعریف صفحه مرجع در سیستم مختصات *CT* ۷۴

شکل ۴-۷: نمایش شماتیک تصاویر نرمال تولید شده بر اساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر با استفاده از مدل OPM ۷۵

شکل ۴-۸: تصویر آناگلیف تولیدشده براساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر با استفاده از مدل OPM ۷۵

شکل ۴-۹: روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی مدل توابع کسری براساس مفهوم اصلاح ژنتیکی ۷۸

شکل ۴-۱۰: نحوه تولید جواب‌های تاریخته براساس مفهوم اصلاح ژنتیکی ۷۹

شکل ۴-۱۱: نمایش شماتیک تصاویر نرمال تولید شده بر اساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر با استفاده از مدل RFM ۸۱

شکل ۴-۱۲: تصویر آناگلیف تولیدشده براساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر با استفاده از مدل RFM ۸۱

شکل ۴-۱۳: اثر دید غیر قائم سنجنده در ثبت تصاویر پوشش‌دار *Cross Track* ۸۲

شکل ۴-۱۴: اثر دید غیرقائم سنجنده در مدل برجسته تولید شده بر اساس تصحیح پوشش زمینی تصاویر با ۸۴

مدل RFM

شکل ۵-۱: باز هوایی در سیستم مختصات عکسی و زمینی در تصویربرداری خطی پوش‌بروم ۹۴

شکل ۵-۲: تولید تصاویر نرمال با مقیاس متغیر برای حالت *Cross Track* ۹۵

شکل ۵-۳: رویه در بر گیرنده تصاویر نرمال خطی برای حالت *Cross Track* ۹۶

شکل ۵-۴: تولید تصاویر نرمال با مقیاس ثابت برای حالت *Cross Track* ۹۸

شکل ۵-۵: تغییرات زمانی پارامترهای وضعیتی نرمال مورد استفاده در تولید تصاویر نرمال با مقیاس متغیر ۱۰۰

شکل ۵-۶: تصاویر نیمه نرمال تولید شده بر اساس تصحیح پارامترهای وضعیتی سنجنده ۱۰۱

شکل ۵-۷: تصویر آناگلیف تولیدشده بر اساس تصحیح پارامترهای وضعیتی سنجنده ۱۰۱

شکل ۵-۸: تصاویر نرمال تولید شده بر اساس تصحیح جداگانه پارامترهای وضعیتی و موقعیتی سنجنده ۱۰۲

شکل ۵-۹: تصویر آناگلیف تولید شده بر اساس تصحیح جداگانه پارامترهای وضعیتی و موقعیتی سنجنده ۱۰۳

فهرست جداول

جدول | صفحه

جدول ۱-۱: مشخصات مجموعه تصاویر پوشش‌دار ۷

جدول ۳-۱: محاسبه پارامترهای توجیه خارجی ایده‌آل برای سیستم تصویربرداری *Cross Track* ۵۳

جدول ۳-۲: محاسبه پارامترهای توجیه خارجی ایده‌آل برای سیستم تصویربرداری *Along Track* ۵۳

جدول ۳-۳: دقت ترفیع فضایی تصویر چپ با استفاده از مدل Gupta و Hartly (۱۹۹۷) به ازای تعداد متفاوت نقاط کنترل ۵۶

جدول ۳-۴: دقت ترفیع فضایی تصویر راست با استفاده از مدل Gupta و Hartly (۱۹۹۷) به ازای تعداد متفاوت نقاط کنترل ۵۶

جدول ۳-۵: پارامترهای توجیه خارجی اصلی و ایده‌آل تصویر چپ ۵۷

جدول ۳-۶: پارامترهای توجیه خارجی اصلی و ایده‌آل تصویر راست ۵۷

جدول ۴-۱: دقت ترفیع فضایی تصویر چپ با استفاده از مدل Orun و Natarajan (۱۹۹۴) به ازای تعداد متفاوت نقاط کنترل ۷۰

جدول ۴-۲: دقت ترفیع فضایی تصویر راست با استفاده از مدل Orun و Natarajan (۱۹۹۴) به ازای تعداد متفاوت نقاط کنترل ۷۰

جدول ۴-۳: پارامترهای توجیه خارجی اصلی و ایده‌آل تصویر چپ برمبنای تصحیح پوشش زمینی با استفاده از مدل MPC ۷۱

جدول ۴-۴: پارامترهای توجیه خارجی اصلی و ایده‌آل تصویر راست برمبنای تصحیح پوشش زمینی با استفاده از مدل MPC ۷۱

جدول ۴-۵: نتایج ارزیابی دقت تقاطع فضایی تصاویر با استفاده از مدل پارامترهای مداری ولدان‌زوج به ازای تعداد مختلف نقاط کنترل ۷۳

جدول ۴-۶: مقایسه نتایج الگوریتم‌های ژنتیک پایه و ژنتیک اصلاح شده برای حل مدل توابع کسری تصویر ۸۰

چپ

جدول ۴-۷: مقایسه نتایج الگوریتم‌های ژنتیک پایه و ژنتیک اصلاح شده برای حل مدل توابع کسری تصویر ۸۰

راست

جدول ۵-۱: پارامترهای توجیه خارجی اصلی و نیمه نرمال تصویر چپ ۱۰۰

جدول ۵-۲: پارامترهای توجیه خارجی اصلی و نیمه نرمال تصویر راست ۱۰۰

پیشگفتار

فصل اول

در این فصل، بخش ۱-۱ به معرفی موضوع پژوهش اختصاص یافته و در بخش ۱-۲ لزوم انجام تحقیق در این رابطه تشریح می‌گردد. در بخش ۱-۳ پس از تشریح اهداف اصلی پژوهش، مرور مختصری نیز بر روش انجام تحقیق خواهد شد. در پایان، مجموعه داده‌های مورد استفاده نیز در بخش ۱-۴ معرفی می‌گردد.

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

ظهور سیستم‌های تصویربرداری رقومی و پیشرفت پیوسته ایستگاه‌های کاری فتوگرامتری رقومی، نمایش سه‌بعدی تصاویر پوشش‌دار را به نحو مطلوبی متاثر ساخته است. تجهیزات نوری مورد استفاده در دستگاه‌های نوری-مکانیکی فتوگرامتری نظیر استریوپلاترها برای استفاده یک کاربر طراحی شده‌اند و ایجاد تغییر در این تجهیزات به منظور افزودن یک سری عدسی چشمی اضافی اگر غیرممکن نباشد، بسیار دشوار و پرهزینه خواهد بود (Mikhail et al., 2001). در این راستا، ایستگاه‌های کاری فتوگرامتری رقومی با فراهم آوردن امکان مشاهده هم‌زمان یک مدل سه‌بعدی برای چند کاربر، از یک مزیت ویژه برخوردار هستند. این قابلیت با پیش‌پردازش تصاویر رقومی ورودی و تولید **تصاویر نرمال**[۱]، که براساس هندسه اپی‌پلار بازنمونه‌برداری[۲] شده‌اند، فراهم می‌آید (Schenk, 1999; Mikhail et al., 2001). در تصاویر نرمال، از یک سو نقاط متناظر عکسی در راستای یک سطر (یا ستون) قرار می‌گیرند و فاقد **پارالاکس قائم**[۳] هستند و از سوی دیگر، **پارالاکس موازی**[۴] آنها با ارتفاع نقطه متناظر زمینی متناسب است. از این روی، افزون بر بهبود قابلیت برجسته‌بینی، استفاده از تصاویر نرمال می‌تواند در تولید طیف وسیعی از محصولات فتوگرامتری نیز سودمند واقع شود. این حقیقت که نقاط متناظر فاقد پارالاکس قائم هستند، می‌تواند برای کاهش فضای جستجو در فرآیند **تناظریابی خودکار**[۵] تصاویر مورد استفاده قرار گیرد (Pollard et al., 1985; Zhang et al., 1995). به طبع، کاهش فضای جستجو موجب افزایش کارایی و استحکام فرآیند تناظریابی می‌گردد؛ که این امر نیز به نوبه خود بر سایر فرآیندهای فتوگرامتری مرتبط نظیر مثلث‌بندی خودکار، تولید ارتوفتو، بازسازی سه‌بعدی فضای زمین و تولید مدل رقومی ارتفاعی تاثیر مثبتی می‌گذارد (Morgan, 2004).

---

[1] Normal Images

[2] Resampling

[۳] پارالاکس در راستای عمود بر باز هوایی، که عامل اخلال در برجسته‌بینی است و طی فرآیند نرمال‌سازی حذف می‌گردد.

[۴] پارلاکس در راستای باز هوایی تصاویر استریو، که با ارتفاع زمینی نقاط در تصاویر نرمال متناسب است.

[5] Automatic Matching

تصاویر رقومی به عنوان ورودی محیط‌های کاری فتوگرامتری رقومی، به دو روش مستقیم (با استفاده از یک دوربین تصویربرداری رقومی) و غیرمستقیم (با اسکن تصاویر آنالوگ) قابل تولید هستند. امروزه به منظور کاهش بازه زمانی اخذ تصویر تا تحویل محصول نهایی، بخش عمده‌ای از پروژه‌های فتوگرامتری با استفاده از دوربین‌های رقومی انجام می‌شوند (Habib et al., 2005a). در حال حاضر دوربین‌های فریم رقومی در قیاس با تصاویر آنالوگ اسکن‌شده عموما قدرت‌تفکیک مکانی و پوشش زمینی کمتری فراهم می‌آورند (Morgan et al., 2004a). این امر موجب ظهور سنجنده‌های با آرایه خطی به عنوان جایگزینی برای دوربین‌های فریم رقومی گردیده است. **سنجنده‌های خطی پوش‌بروم**[1]، موثرترین سنجنده‌های رقومی برای اخذ تصاویر رقومی با قدرت‌تفکیک مکانی بالا هستند (Valadan Zoej, 1995). افزون بر این، با افزایش تعداد خطوط تصویربرداری در امتداد صفحه کانونی نیز می‌توان به پوشش زمینی وسیع‌تری دست یافت (Fritz, 1995). به بیان دیگر، در این شیوه تصویربرداری در هر لحظه تنها یک سطر از صحنه (در راستای عمود بر حرکت سنجنده) اخذ می‌شود که به لحاظ تئوری از بیشترین قدرت‌تفکیک مکانی ممکن برخوردار است؛ و با حرکت سنجنده و اخذ نوارهای باریک متوالی پوششی پیوسته از یک پهنه فراهم می‌آید (Kornus et al., 1995; Fraser et al., 1996). با توجه به اینکه در این شیوه تصویربرداری، پارامترهای توجیه خارجی از هر سطر به سطر دیگر تغییر می‌کند، هندسه این تصاویر بسیار پیچیده‌تر از تصاویر فریم خواهد بود (Heipke et al., 1996; Valadan Zoej, 1997a; Lee et al., 2000).

فرآیند نرمال‌سازی تصاویر فریم اصول شناخته‌شده و مشخصی دارد (Cho et al., 1992)؛ اما با توجه به پیچیدگی‌های هندسه تصاویر خطی و تنوع مدل‌های ریاضی مورد استفاده در تصحیح هندسی این تصاویر (McGlone, 1996)، تا کنون روند استانداری برای بازنمونه‌برداری اپی‌پلار تصاویر خطی پوش‌بروم مورد پذیرش قرار نگرفته است. در یک طبقه‌بندی کلی (McGlone, 1996)، مدل‌های مورد استفاده برای تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای در دو دسته مدل‌های فیزیکی و غیرفیزیکی قرار می‌گیرند؛ که پیش از ورود به مرحله نرمال‌سازی لازم است در مورد گزینش مدل مناسب تصمیم‌گیری شود (Kim, 2000).

[1] Linear Pushbroom Sensors

۱-۲- ضرورت و انگیزه‌های تحقیق

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هندسه اپی‌پلار وابستگی آن به مدل سنجنده است (Kim, 2000)، که این ویژگی سبب تفاوت نحوه بکارگیری هندسه اپی‌پلار برای سیستم‌های تصویربرداری مختلف می‌گردد. به عنوان مثال، در جوامع دید ماشینی و برای تصاویر برد کوتاه (Zhang et al., 1995)، هندسه اپی‌پلار در قالب **ماتریس اساسی**[1] (Longuet-Higgins, 1981) مورد استفاده قرار می‌گیرد، و در جوامع فتوگرامتری و برای تصاویر هوایی هندسه اپی‌پلار براساس **معادلات شرط هم‌خطی**[2] (Burnside, 1985) به کار گرفته می‌شود.

هرچند هندسه اپی‌پلار در پردازش تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده توسط سنجنده‌های خطی پوش‌بروم نیز می‌تواند بسیار مفید واقع شود؛ اما با این وجود هیچ گاه استقبال از هندسه اپی‌پلار در پردازش این تصاویر به گستردگی تصاویر فریم نبوده است. مهم‌ترین دلیل این امر را باید در عدم وجود شناختی عمیق و دقیق از هندسه اپی‌پلار در تصویربرداری خطی پوش‌بروم جستجو کرد؛ که البته این موضوع نیز به نوبه خود معلول پیچیدگی‌های پیش رو در مدلسازی هندسی اینگونه تصاویر است. بر این اساس، مطالعه هندسه اپی‌پلار در تصاویر خطی با دو چالش اساسی روبرو است. نخست آنکه به دلیل پیچیدگی‌های حرکتی و وضعیتی سنجنده در بازه زمانی اخذ تصویر، هندسه اپی‌پلار در این تصاویر با پیچیدگی‌هایی همراه است که این موضوع به نوبه خود موجب دشوار شدن بیان ریاضی این ارتباط هندسی می‌گردد (Kim, 2000). دوم آنکه برای برقراری ارتباط بین فضای تصویر و فضای شیئ هنوز یک مدل ریاضی که از مقبولیت عام برخوردار باشد، ارائه نشده است (McGlone, 1996; Toutin, 2006). از این روی، با توجه به تنوع مدل‌های ریاضی مورد استفاده در تصحیح هندسی تصاویر خطی، مدل‌های اپی‌پلاریتی مختلفی نیز برای این تصاویر توسعه یافته؛ که عدم مقبولیت عام در مورد آنها نیز قابل تعمیم است.

---

[1] Fundamental Matrix
[2] Collinearity Equations