

استخراج خودکار دکل‌های انتقال برق به کمک تصاویر ماهواره‌ای

سنجندهی IRS P5

شهاب الدین شرافتی^۱

منوچهر معصومی^۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۱/۷

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۷/۱۵

چکیده

عوامل زیادی همچون رشد گیاهان، افتادن درختان، رانش و فرونشست زمین و سیلاب‌ها می‌توانند سبب آسیب‌رسانی به خطوط انتقال نیرو (برق) شوند. در نتیجه جهت شناسایی نقاط در معرض خطر، روش‌های گوناگونی به کار گرفته می‌شود. مانند بازرسی‌های زمینی، فتوگرامتری هوایی و لیدار که زمان‌بری و هزینه‌ی زیاد، از جمله ویژگی‌های آن‌هاست. از سوی دیگر، پیشرفت فناوری سنجش از دور در سال‌های اخیر، جایگزین مناسبی را برای پردازش‌های مکانی، پیش‌رو نهاده است. در این پژوهش ابتدا توانایی تصاویر سنجنده‌ی IRS-P5 در استخراج خودکار دکل‌های انتقال برق بررسی شده است. این سنجنده تنها در یک باند و با تفکیک‌پذیری مکانی ۲/۵ متر تصویربرداری می‌کند. در نتیجه توانایی این سنجنده جهت استخراج عوارض کوچک، نسبت به سنجنده‌هایی چون GeoEyeI و WorldviewII که در چند محدوده‌ی طیفی تصویربرداری می‌کنند و دارای تفکیک‌پذیری مکانی حدود ۰/۵ متر در باند پانکروماتیک هستند، کمتر است. در تصاویر سنجنده‌ی P5، برخلاف GeoEyeI، دکل و سایه‌ی آن به صورت جداگانه تفکیک‌پذیر نیستند. بلکه هر دو به صورت یک لکه‌ی تیره دیده می‌شوند که این موضوع شناسایی دکل را دشوار می‌کند. در این پژوهش از شروط متعددی جهت استخراج دکل‌ها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از تصاویر سنجنده P5 و اعمال پردازش‌های مناسب، می‌توان خطوط انتقال نیرو را با دقت خوبی در مناطق همگن تشخیص داد. البته دقت روش پیشنهادی این پژوهش در مناطق دارای نویز زیاد و نیز مناطقی که تغییرات درجات خاکستری تصویر زیاد است و عوارض شبیه دکل به وفور دیده می‌شود، کاهش می‌یابد. در این پژوهش همچنین جهت بررسی امکان استفاده از اختلاف ارتفاع نقاط بالا و پایین دکل در شناسایی آن، زوج تصویر سنجنده‌های P5 و WorldviewI، به کار گرفته شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد بر خلاف زوج تصویر سنجنده‌ی P5 که در آن به دلیل تفکیک‌پذیری مکانی نسبتاً پایین، امکان تناظریابی نقاط بالا و پایین دکل‌ها در دو تصویر وجود ندارد و در نتیجه نمی‌توان ارتفاع دکل را اندازه گرفت، در تصاویر سنجنده‌ی WorldviewI می‌توان از ویژگی اختلاف ارتفاع دکل در تمایز این عارضه از عوارض سطحی مشابه (مانند لکه‌های تیره سطحی)، استفاده کرد. البته، حتی در تصاویر دارای تفکیک‌پذیری مکانی بالا نیز تناظریابی دکل‌ها در زوج تصویر، دشوار و نیازمند به‌کارگیری پردازش‌های مناسب است. واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، استخراج خودکار عوارض، خطوط انتقال نیرو.

^۱ - فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول مقاله) sh.sherafati@alumni.ut.ac.ir

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت فن‌آوری اطلاعات، دانشگاه مالک‌اشتر

۱- مقدمه

استخراج خودکار عوارض، افزون بر کاهش هزینه‌های مالی و زمانی می‌تواند دقت اطلاعات خروجی را نیز افزایش دهد و به مدیریت و تصمیم‌گیری سریع، کمک کند. به‌عنوان نمونه، خطوط انتقال نیرو در معرض آسیب‌های گوناگونی از قبیل فرورانشست زمین، جابه‌جایی در اثر سیل، برخورد با گیاهان در اثر رشد گیاه و خطرات دیگر قرار دارد. بنابراین استفاده از روشی مناسب جهت شناسایی مناطق در معرض خطر و یا آسیب دیده، ضروری است. شیوه‌ی متداول تهیه نقشه از خطوط انتقال نیرو و همچنین شناسایی نقاط آسیب‌پذیر، نقشه‌برداری و بازرسی زمینی است. با وجود دقت بسیار بالا، هزینه‌ی مالی و زمانی این روش بسیار زیاد بوده و اجرای آن در مناطق وسیع، هزینه‌ها را بیش از پیش افزایش می‌دهد. استفاده از تصویربرداری هوایی، سبب کاهش زمان عملیات می‌شود. البته هزینه‌ی این روش نیز بسیار زیاد است. به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و فن‌آوری سنجنش از دور می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های قبلی باشد که در این پژوهش ارزیابی خواهد شد.

توانایی‌های فراوان تصاویر ماهواره‌ای سبب به‌کارگیری روزافزون آن‌ها شده است. این تصاویر در کمترین زمان، حجم زیادی از داده‌ها را از سطح زمین، اقیانوس و اتمسفر در ابعاد گوناگون جمع‌آوری می‌کنند. پردازش سریع و دقیق این داده‌های خام، نقش مهمی در افزایش کاربری تصاویر ماهواره‌ای دارد. در این راستا، پژوهش‌های فراوانی جهت استخراج خودکار انواع عارضه‌ها^۱ (نقطه‌ای، خطی و سطحی) انجام گرفته و روش‌های گوناگونی ارائه شده است. شناسایی خودکار ساختمان، جاده، هواپیما، خودرو و تهیه نقشه از هر یک در مقیاس‌های مختلف، یکی از کاربردهای رایج فن‌آوری سنجنش از دور است. ورود سنجنده‌های دارای تفکیک‌پذیری مکانی بالا^۲ به صورت تجاری، امکان استخراج عوارض کوچک‌تر مانند خودروهای شخصی را، حتی در مکان‌های شلوغ و پر ترافیک فراهم کرده است.

به‌کارگیری طول‌موج‌های مختلف تصویربرداری (مرئی، مادون قرمز انعکاسی و حرارتی و مایکروویو) و استفاده از مهارت‌های نوین در محاسبات، مانند هوش مصنوعی^۳، در کنار روش‌های مختلف پردازش تصویر و ریخت‌شناسی^۴، دقت استخراج عوارض را بهبود داده است. Tupin و همکاران (۱۹۹۸)، به کمک تصاویر SAR^۵ و استفاده از الگوریتم ژنتیک، روشی را جهت استخراج جاده‌ها پیشنهاد کردند (Tupin, et al. 1998). Stilla و Michaelson (۲۰۰۱)، با به‌کارگیری تصاویر هوایی مادون قرمز که دارای تفکیک‌پذیری مکانی ۱ متر بودند، به شناسایی وسایل نقلیه پرداختند (Michaelson and Stilla 2001). آنها از تفاوت درجه خاکستری همسایگی‌های هر پیکسل و خود پیکسل استفاده کردند و نقشه‌ی راه‌ها را نیز به صورت فایل برداری به کار گرفتند تا محل‌های جستجوی وسایل نقلیه، به جاده‌ها محدود شود. Davis و Gin (۲۰۰۷)، با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی IKONOS و

^۱ - Feature Extraction

^۲ - High Spatial Resolution

^۳ - Artificial Intelligence

^۴ - Morphology

^۵ - Synthetic Aperture Radar



به‌کارگیری عملگرهای ریخت‌شناسی و شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱، کامیون‌ها را از این تصاویر، استخراج کردند (Jin and Davis 2007). مختارزاده و ولدان‌زوج (۲۰۰۷)، با استفاده از تصاویر سنجنده‌های Quick-Bird و IKONOS روشی را جهت شناسایی جاده‌ها ارائه کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن تابش همسایه‌های هر پیکسل در باندهای آبی، سبز و قرمز و استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، پیکسل‌های جاده را مشخص کردند (Mokhtarzade and Valadane Zoej 2007). همچنین Jahjah و Olivieri (۲۰۱۰)، روش‌های استخراج عوارض را جهت کمک به باستان‌شناسی و شناسایی سازه‌های تاریخی به کار گرفتند (Jahjah and Olivieri 2010). آن‌ها در پژوهش خود از تصاویر سنجنده VHR استفاده کردند.

استخراج دکل‌های برق به دلیل تنوع شکل و اندازه آن‌ها پیچیدگی‌هایی دارد که نیازمند به‌کارگیری تصاویر دارای تفکیک‌پذیری بسیار خوب (حدود ۱ متر و بهتر) است. البته در این پژوهش، تصاویر سنجنده‌ی P5 به‌کار گرفته شده و روش جدیدی جهت استخراج خطوط انتقال برق از این تصاویر، ارائه شده است. سنجنده‌ی P5، دارای تفکیک‌پذیری مکانی ۲/۵ متر است و تنها در یک باند تصویربرداری می‌کند.

وجود دو سنجنده در این ماهواره، سبب تهیه تصاویر استریو از سطح زمین می‌شود که در تهیه مدل ارتفاعی رقومی و نیز نقشه‌برداری از سطح زمین کاربرد دارد. از تصاویر این سنجنده در استخراج عوارض خطی مانند جاده و عوارض نقطه‌ای بزرگ مانند هواپیما و کشتی استفاده می‌شود. در مورد عوارض کوچک‌تر مانند خودرو و دکل برق، دقت استخراج عارضه کاهش می‌یابد که جهت جبران تفکیک‌پذیری‌های کم مکانی و طیفی، به پردازش‌های بیشتری نیاز است. افزون بر تصاویر سنجنده‌ی IRS-P5، از تصاویر سنجنده‌های GeoEyeI و WorldviewI نیز استفاده شده است تا نقش تفکیک‌پذیری‌های مکانی و طیفی تصاویر ماهواره‌ای در استخراج خطوط انتقال نیرو، بهتر مشخص شود. جدول ۱ مشخصات تصاویر ماهواره‌ای به‌کار رفته در این پژوهش را نشان می‌دهد.

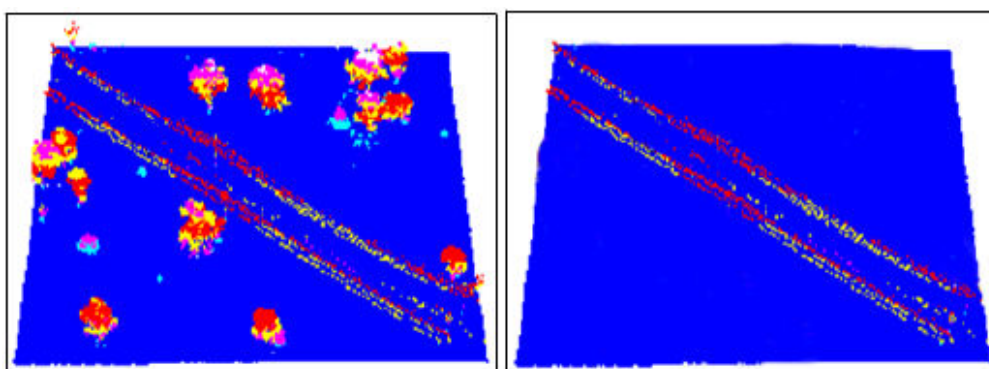
جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای به‌کار رفته در این پژوهش

| ارتفاع | شماره‌ی Row | شماره‌ی Path | تاریخ | نام سنجنده |
|---------|----------------------------|----------------------------|-------------|------------|
| خورشید | (عرض جغرافیایی مرکز تصویر) | (طول جغرافیایی مرکز تصویر) | تصویربرداری | |
| ۷۰/۷۴۰۱ | ۰۲۳۵ | ۰۳۸۲ | 15/06/2008 | IRS-P5 |
| ۷۴/۱۴۲۵ | ۲۷/۱۶۲۹ | ۵۶/۱۵۹۶ | 12/08/2009 | GeoEyeI |
| ۱۸/۸۸۶۵ | ۳۵/۴۵۶۲ | ۴۴/۲۹۳۳ | 15/01/2012 | WorldViewI |

^۱- Artificial Neural Networks

۲- روش شناسی

انتخاب روش مناسب استخراج هر عارضه، افزون بر اندازه و شکل هندسی عارضه، به ویژگی‌های سنجنده مانند تفکیک‌پذیری‌های مکانی، طیفی و رادیومتریک^۱ آن، نوع تصویربرداری (فعال^۲ و غیر فعال^۳) و سکوی تصویربرداری (تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر هوایی و تصاویر برد کوتاه) بستگی دارد. تصاویر هوایی دارای دقت بیشتری نسبت به تصاویر ماهواره‌ای در استخراج عوارض هستند. به عنوان نمونه در تصاویر هوایی لیدار (LIDAR^۴) علاوه بر دکل‌ها، سیم‌های انتقال برق و ارتفاع آن‌ها نیز قابل شناسایی هستند (Lu and Kieloch 2008) (Li, et al. 2010). نگاره ۱ سیم‌های انتقال برق و درختان نزدیک آن‌ها را در تصاویر لیدار نشان می‌دهد.



نگاره ۱: تصویر هوایی لیدار از سیم‌های انتقال برق و درختان نزدیک آن (Li, et al. 2010).

همان‌طور که نگاره ۱ نشان می‌دهد، به کمک تصویربرداری لیدار می‌توان ارتفاع سیم‌های برق و درختان نزدیک آن‌ها را محاسبه کرد و در صورت لزوم جهت کاهش ارتفاع درخت اقدام نمود. البته از این روش به علت زمان‌بر بودن و هزینه‌ی زیاد آن نمی‌توان در ابعاد وسیع استفاده کرد. در مقابل تصویربرداری ماهواره‌ای در زمان کم، منطقه‌ی زیادی را پوشش می‌دهد که در ادامه بررسی می‌شود.

۲-۱ تصویربرداری ماهواره‌ای مونو

سنجنده‌هایی که دارای تفکیک‌پذیری مکانی بهتر از ۱ متر هستند، می‌توانند به‌خوبی شکل مخروطی دکل و سایه آن را نشان دهند. تا با استفاده از عملگرهای ریخت‌شناسی مانند Erosion، Dilation، Closing و Opening، این عارضه شناسایی شود (سایه دکل به ارتفاع خورشید در زمان تصویربرداری بستگی دارد). وجود طول‌موج‌های مختلف

^۱ - Radiometric Resolution

^۲ - Active

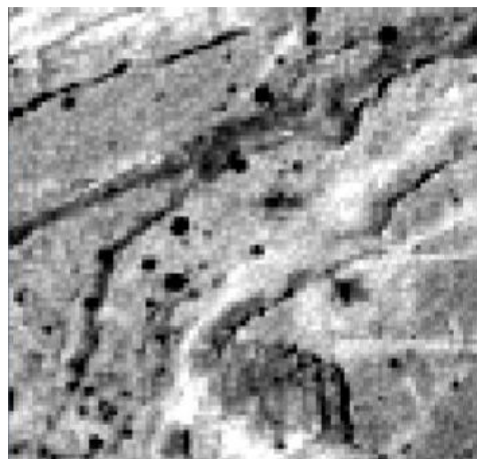
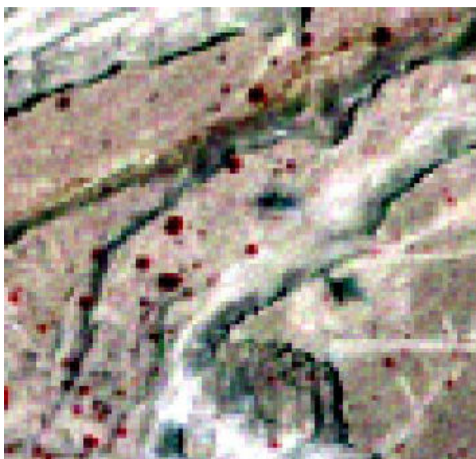
^۳ - Passive

^۴ - Light Detection And Ranging

تصویربرداری در تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی و شناسایی دکل‌ها را آسان‌تر می‌سازد. نگاره ۲ تأثیر تفکیک‌پذیری‌های مکانی و طیفی در شناسایی دکل‌ها را به کمک تصویر سنجنده‌ی GeoEye1، به‌خوبی نشان می‌دهد.

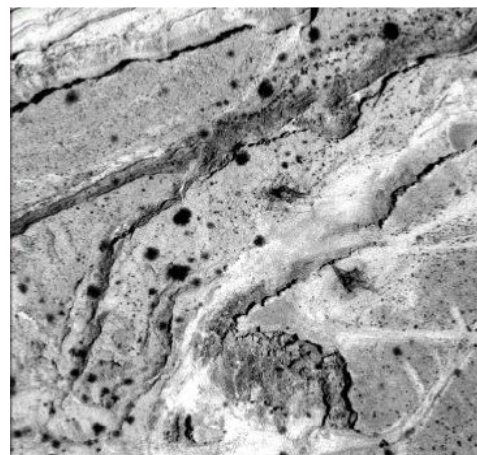
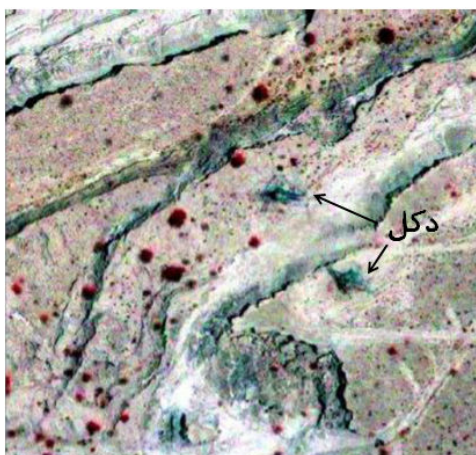
(ب)

(الف)



(د)

(ج)



نگاره ۲: تأثیر تفکیک‌پذیری‌های مکانی و طیفی در شناسایی دکل‌ها. (الف): باند آبی سنجنده‌ی GeoEye1 که دارای تفکیک‌پذیری مکانی ۱/۶۵ متر است، (ب): ترکیب رنگی ۲-۳-۴ همان سنجنده، (ج): باند پانکروماتیک GeoEye1 که دارای تفکیک‌پذیری مکانی ۰/۵ متر است و (د): ترکیب باندهای ۲-۳-۴ و باند پانکروماتیک

شکل ۲ (الف)، باند آبی سنجنده GeoEye1 را نشان می‌دهد که دارای تفکیک‌پذیری مکانی ۱/۶۵ متر است. در این تصویر چندین لکه تیره دیده می‌شود که هر یک می‌تواند یک دکل برق باشد. در نگاره ۲ (ب) که ترکیب رنگی ۲-۳-۴ این سنجنده دیده می‌شود، لکه‌های قرمز که نشان‌گر پوشش گیاهی هستند، مشخص می‌شوند. در نتیجه احتمال شناسایی لکه‌های مربوط به دکل بیشتر می‌شود. با استفاده از باند پانکروماتیک این سنجنده و ترکیب آن با تصویر رنگی ۲-۳-۴، دقیق‌تر می‌توان دو دکل را در مرکز تصویر شناسایی کرد (نگاره ۲ (ج) و (د)).

تفکیک پذیری مکانی تصویر سنجنده‌ی p5، نسبت باند آبی سنجنده‌ی GeoEye1 (نگاره ۲ (الف))، حدود ۱ متر کم‌تر است و علاوه بر آن، این سنجنده تنها در یک باند تصویربرداری می‌کند و امکان ایجاد تصویر رنگی را ندارد. بنابراین دکل‌ها تنها به صورت لکه‌های تیره در تصویر دیده می‌شوند و تشخیص آن‌ها از سایر عوارض مانند گیاه، دشوار است. نگاره ۳، دکل‌ها را در تصاویر سنجنده‌ی GeoEye1 و IRS P5 نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

نگاره ۳. مقایسه دکل‌ها در تصاویر سنجنده‌های (الف): GeoEye1 و (ب): IRS P5

۲-۲- به کارگیری زوج تصویر ماهواره‌ای

قابلیت دیگر تصویربرداری ماهواره‌ای، تهیه زوج تصویر از یک منطقه و اندازه‌گیری سه بعدی مختصات عوارض زمینی است. با به کارگیری این روش می‌توان از اختلاف ارتفاع نیز در شناسایی دکل‌ها استفاده کرد. همچنین اندازه‌گیری ارتفاع درختان نزدیک خطوط انتقال برق، کمک می‌کند مناطق در معرض خطر برخورد درخت و سیم برق بهتر تشخیص داده شوند (Sun, et al. 2006)(Moeller 2006). البته با توجه به تفکیک‌پذیری مکانی تصاویر ماهواره‌ای نمی‌توان انتظار داشت دقت اندازه‌گیری ارتفاع دکل‌ها به خوبی روش تصویربرداری هوایی باشد.

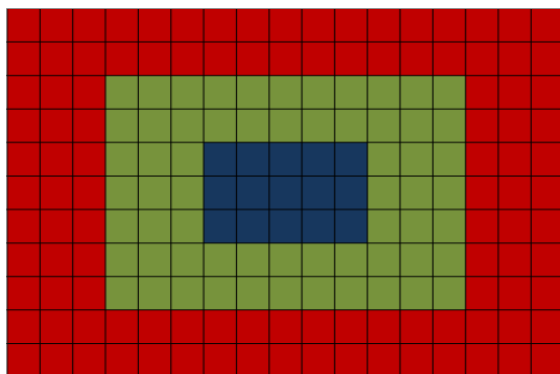
۲-۳- روش پیشنهادی

در این پژوهش، هدف، استخراج دکل‌های برق از تصاویر سنجنده‌ی P5 است. همان‌طور که نگاره ۳ (ب) نشان می‌دهد، در تصاویر این سنجنده، دکل و سایه‌ی آن به صورت یک لکه تیره دیده می‌شوند. در نتیجه امکان تناظریابی



نقاط بالایی و پایینی دکل در زوج تصویر ماهواره‌ای وجود ندارد و نمی‌توان از اختلاف ارتفاع جهت شناسایی دکل استفاده کرد. همچنین به دلیل تصویربرداری تک بانندی این سنجنده، از ویژگی‌های طیفی نیز نمی‌توان در استخراج دکل کمک گرفت. در روش پیشنهادی استخراج دکل‌ها در چهار مرحله انجام می‌شود که عبارت‌اند از:

دکل برق در تصویر P5 به صورت لکه‌هایی مستطیل شکل (دکل‌های کوچک) و یا مثلث شکل (دکل‌های بزرگ) دیده می‌شود. به عنوان نمونه دکل کوچک می‌تواند یک مستطیل تیره با اندازه‌ی 5×3 پیکسل باشد. بنابراین اگر اختلاف میانگین درجه‌ی خاکستری این مستطیل با میانگین درجه خاکستری پیکسل‌های اطراف آن از یک حد آستانه بیشتر شود، امکان دارد پیکسل مرکزی دکل باشد. البته لازم است میانگین درجه خاکستری مستطیل مرکزی، از حد آستانه‌ی دیگری نیز کم‌تر باشد. این شرط در واقع لکه‌های کدر را در تصویر مشخص می‌کند و خروجی آن یک تصویر باینری است. نگاره ۴ نحوه‌ی اعمال این شرط را نشان می‌دهد.



```
If mean(blue) <= t1
And
If mean(green) - mean(blue) >= t2
Then:
The blue rectangle may be a pylon
```

نگاره ۴: استفاده از شرط حداکثر درجه خاکستری و اختلاف میانگین درجه خاکستری همسایگی‌های دور و نزدیک پیکسل جهت شناسایی دکل. ابعاد مستطیل آبی 5×3 پیکسل (اندازه‌ی تقریبی یک دکل در تصویر P5) و ابعاد مستطیل سبز 11×7 پیکسل است.

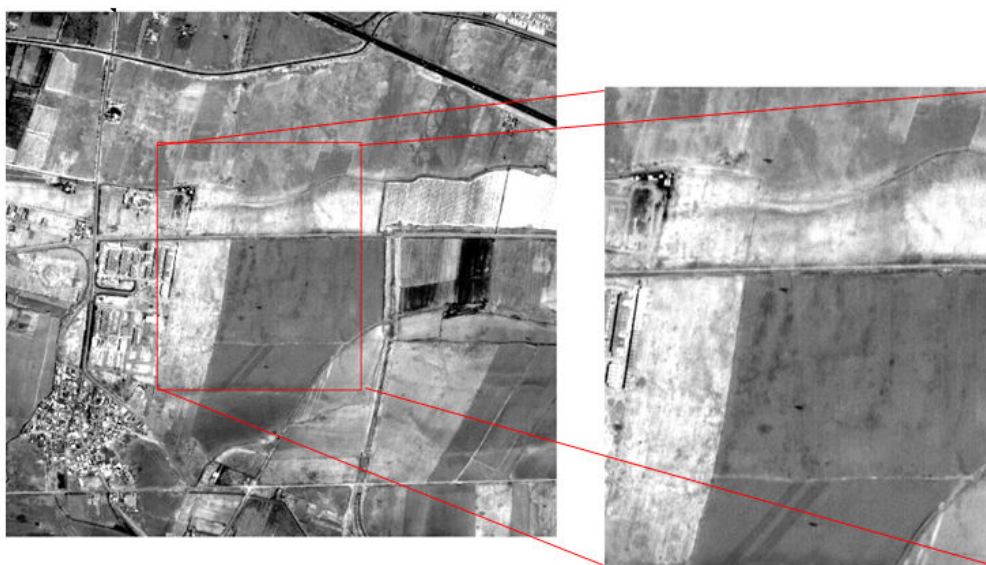
اعمال شرط اول سبب می‌شود علاوه بر دکل‌ها عوارض کدر دیگر مانند درخت، لکه‌ی آب، خودرو، جاده و سایه‌ی دیوار و ساختمان نیز مشخص شود. در گام اول لازم است لکه‌های بزرگ و معمولاً باریک مانند جاده و سایه حذف شود. به این صورت که تعداد پیکسل‌های هر لکه، که از شرط اول عبور کرده و به عنوان دکل شناخته شده است، شمرده می‌شود. اگر تعداد این پیکسل‌ها از یک حد آستانه، به عنوان مثال ۲۰ پیکسل، بیشتر شود، آنگاه احتمال دکل بودن لکه‌ی مورد نظر منتفی می‌شود.

در مناطق شهری که تعداد لکه‌های تیره و روشن بسیار زیاد است، امکان شناسایی دکل‌ها وجود ندارد (البته در سنجنده‌هایی که تفکیک‌پذیری مکانی و طیفی بهتری دارند در مناطق شهری نیز می‌توان دکل‌ها را استخراج نمود). بنابراین لازم است شرطی اعمال شود تا این مناطق حذف شوند. یک راه‌کار استفاده از ماتریس همسایگی است. اگر در یک همسایگی از پیکسل‌ها، مثلاً 40×40 پیکسل، بیش از ۶ لکه به عنوان دکل مشخص شده باشد، این لکه‌ها حذف می‌شوند.

پس از اعمال ۳ شرط پیشین، همچنان تعداد زیادی لکه افزون بر دکل‌ها وجود دارد که باید حذف شوند. دکل‌های برق معمولاً در یک راستا قرار دارند و فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر تقریباً مشخص است. بنابراین می‌توان از این ویژگی در استخراج دکل‌ها استفاده کرد. به این صورت که اگر برای هر لکه، که از سه شرط قبل به دست آمده، در فاصله‌ی مشخصی از آن (به اندازه‌ی حدود فاصله‌ی دو دکل از یکدیگر)، لکه‌ی دیگری وجود نداشت، آن لکه نیز حذف می‌شود و اگر وجود داشت، آن‌گاه خطی فرضی از این دو لکه عبور داده می‌شود. اگر حداقل تعداد مشخصی لکه با فاصله‌ی مشخص روی خط فرضی قرار گرفت، مثلاً ۵ لکه، آن‌گاه این لکه‌ها به عنوان خط انتقال نیرو شناسایی می‌شوند.

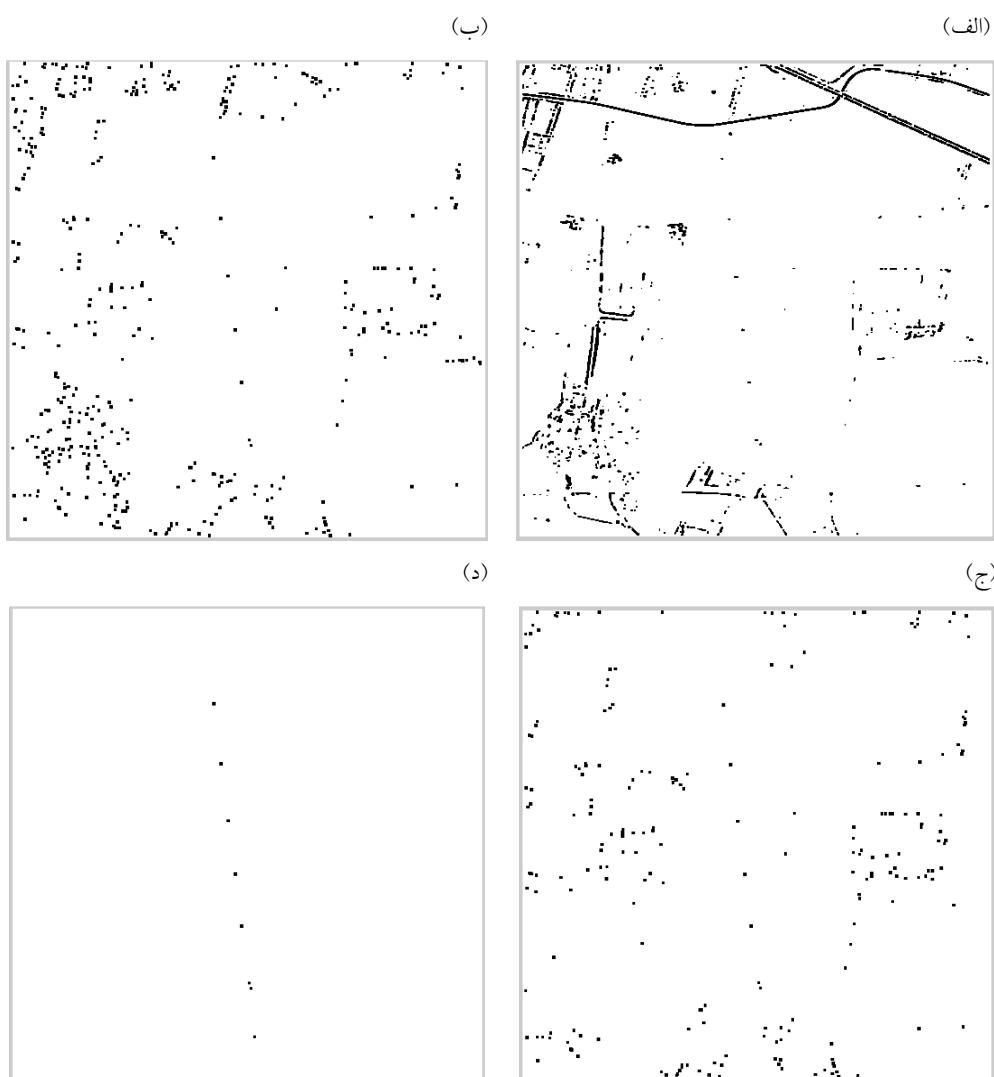
۳- پیاده‌سازی

در نگاره ۵، قسمتی از تصویر سنجنده‌ی P5 نشان داده شده است. عوارض مختلفی مانند جاده، زمین کشاورزی، منطقه‌ی مسکونی و دکل‌های انتقال نیرو در آن دیده می‌شود. این تصویر مربوط به جنوب شرق تهران (شهرستان پاکدشت) است.



نگاره ۵: قسمتی از تصویر سنجنده‌ی P5 که یک خط عبور دکل در آن مشخص است.

مراحل چهارگانه‌ی استخراج دکل، در نگاره ۵ اعمال شده است که نتیجه‌ی آن در نگاره ۶ مشاهده می‌شود. ابتدا تمام لکه‌های تیره که دارای اختلاف درجه‌ی خاکستری با همسایه‌های خود هستند، استخراج می‌شوند (نگاره ۶ الف)). جاده‌ها، مناطق مسکونی و سایر لکه‌های تیره در کنار دکل‌ها استخراج شده‌اند. در مرحله‌ی دوم لکه‌های بزرگ‌تر حذف شده‌اند (نگاره ۶ ب)). سپس مناطقی که دارای تعداد لکه‌های زیادی هستند، مانند منطقه‌ی شهری در ناحیه‌ی پایین و سمت چپ تصویر، حذف شده است (نگاره ۶ ج)). در مرحله‌ی آخر، تنها لکه‌هایی به جا مانده‌اند که با فاصله‌ی منظمی نسبت به یکدیگر، تشکیل یک خط مستقیم داده‌اند (نگاره ۶ د)).

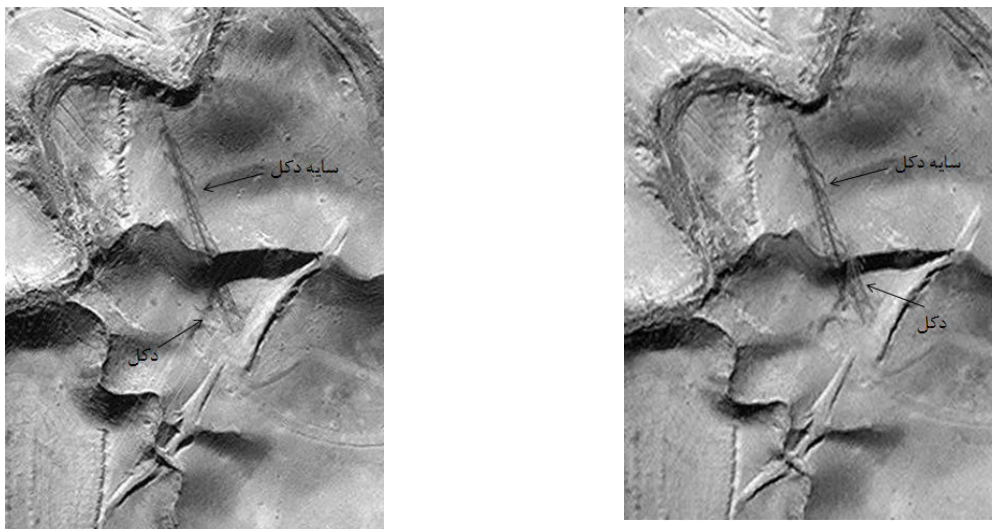


نگاره ۶: مراحل استخراج دکل‌های برق در تصویر P5

در این پژوهش، افزون بر شناسایی و استخراج خودکار خطوط انتقال برق، امکان اندازه‌گیری ارتفاع دکل توسط زوج تصویر ماهواره‌ای نیز بررسی شده است. از ارتفاع دکل هم می‌توان در استخراج خودکار دکل استفاده کرد و هم به کمک آن مناطقی را که در آن‌ها خطر برخورد درختان با سیم‌های برق وجود دارد، شناسایی کرد. اندازه‌گیری ارتفاع در زوج تصویر هوایی یا ماهواره‌ای نیازمند حل مراحل ترفیع و تقاطع فضایی است. شرکت‌های تهیه‌کننده تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از تجهیزات GPS، INS و star tracker، ترفیع فضایی را حل کرده و یک مدل چند جمله‌ای (RFM^۱) به آن برازش می‌دهند. سپس ۷۸ ضریب این مدل را در اختیار کاربر قرار داده و کاربر نیز با تناظر یابی پیکسل‌ها، مرحله‌ی تقاطع فضایی را انجام می‌دهد و ارتفاع پیکسل به دست می‌آید. با

^۱ - Rational Function Model

توجه به تفکیک‌پذیری مکانی تصاویر P5، امکان اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع بالا و پایین دکل وجود ندارد. بنابراین در این پژوهش از زوج تصویر سنجنده‌ی WorldviewI استفاده شده است. نگاره ۷ یک دکل انتقال نیرو را در زوج تصویر این سنجنده نشان می‌دهد.



نگاره ۷: دکل انتقال برق در زوج تصویر سنجنده‌ی WorldViewI

ارتفاع دکل نگاره ۷، حدود ۲۰ متر به دست می‌آید. البته همان‌طور که این نگاره نشان می‌دهد، بر خلاف سایه‌ی دکل که در هر دو تصویر سنجنده‌ی WorldViewI به خوبی آشکار است، تشخیص خود دکل نسبتاً دشوار است. به‌ویژه در تصویر سمت چپ که دکل و سایه‌ی آن تقریباً در یک راستا قرار گرفته‌اند. در نتیجه تناظریابی دکل‌ها، نیازمند دقت زیادی است و اجرای خودکار آن، دشوار است. البته اگر از تصاویر سنجنده‌هایی چون WorldviewII، GeoEyeI و GeoEyeII استفاده شود، به کمک تفاوت بازتاب طیفی در باندهای مختلف این سنجنده‌ها، تناظریابی دکل‌ها آسان‌تر می‌شود و دقت اندازه‌گیری ارتفاع دکل افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فن‌آوری‌های نوین، شناسایی سریع و دقیق انواع عوارض را فراهم کرده است. در این راستا تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند جایگزینی مناسب و ارزان برای روش‌هایی مانند تصویربرداری هوایی و نقشه‌برداری زمینی باشد. هرچه تفکیک‌پذیری مکانی، طیفی و رادیومتریک سنجنده بهتر باشد، توان آن در شناسایی و استخراج عوارض کوچک‌تر، افزایش می‌یابد.

از سوی دیگر در این پژوهش نشان داده شد که حتی در صورت به‌کارگیری سنجنده‌ای مانند P5 که تفکیک‌پذیری مکانی و طیفی نسبتاً بالایی ندارد، با استفاده از پردازش‌های مناسب می‌توان عوارض کوچکی مانند



دکل‌های برق را به صورت خودکار استخراج کرد. البته نمی‌توان انتظار داشت که الگوریتم پیشنهاد شده در این پژوهش، بتواند دکل‌ها را در مناطق جنگلی، شهری و سایر مکان‌هایی که عوارض مشابه زیادی دارند، شناسایی کند. جهت افزایش دقت استخراج دکل‌های انتقال برق، پیشنهاد می‌شود از سنجنده‌های دارای تفکیک‌پذیری‌های مکانی و طیفی بالاتر، مانند GeoEyeI، WorldviewII و GeoEyeII، استفاده شود. تصویربرداری در چندین طیف سبب تمایز دکل‌ها از درختان، لکه‌های آب، سایه، قنات و سایر عوارض مشابه می‌شود.

در تصاویر دارای تفکیک‌پذیری مکانی بالا (۰/۵ متر و بهتر)، کابل‌های انتقال برق و سایه آن‌ها نیز در صورت تمایز با درجات خاکستری پس‌زمینه، مشخص می‌شود. در نتیجه از این ویژگی نیز می‌توان در شناسایی خطوط انتقال نیرو استفاده کرد. همچنین با بهتر شدن تفکیک‌پذیری مکانی تصاویر ماهواره‌ای، شکل مخروطی دکل بهتر مشخص می‌شود و امکان به‌کارگیری عمل‌گرهای ریخت‌شناسی که دارای شکل و اندازه‌ی مشخص‌تری هستند، فراهم می‌شود.

راهکار دیگر جهت استخراج دکل از تصاویر ماهواره‌ای استفاده از ویژگی ارتفاعی دکل است. با به‌کارگیری زوج تصویر ماهواره‌ای و تشکیل مدل استریو، می‌توان ارتفاع عوارض مشکوک به دکل را اندازه‌گیری کرد و لکه‌های سطحی شبیه به دکل را متمایز نمود. لازم به ذکر است که استفاده از این شرط، نیازمند به‌کارگیری روش‌های دقیق تناظریابی است.

منابع

1. Beltrame, A.M.K, M.G.M Jardini, R.M Acbsen, and J.A Uintanilha. "Vegetation identification and classification in the domain limits of powerlines in Brazilian Amazon forest." *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, 2007. 2314-2317.
2. Clode, S, and F Rottensteiner. "Classification of trees and powerlines from medium resolution airborne laserscanner data in urban environments." *APRS Workshop on Digital Image Computing*. Brisbane, Australia, 2005.
3. Jahjah, M, and C Olivieri. "Automatic archaeological feature extraction from satellite VHR images." *Acta Astronautica*, 2010: 1302-1310.
4. Jin, X, and H Davis. "Vehicle detection from high-resolution satellite imagery using morphological shape-weight neural networks." *Image and Vision Computing*, 2007: 1422-1431.
5. Jones, D, J Golightly, J Rovers, K Usher, and G Earp. "power line inspection - a uav concept." *IEE Forum on Autonomous Systems*. London, United Kingdom, 2005.
6. Jwa, Y, G Sohn, and H.B Kim. "Automatic 3D power line reconstruction using airborne lidar data." *ISPRS Laserscanning 2009*. Paris, France, ISPRS, 2009.
7. Li, Z, R Hayward, J Zhang, Y Liu, and R Walker. "Towards automatic tree crown detection and delineation in spectral feature space using PCNN and morphological reconstruction." *IEEE International Conference on Image Processing*. Cairo, Egypt: IEEE, 2009.
8. Li, Zhengrong, Rodney Walker, Ross Hayward, and Luis Mejias. "Advances in Vegetation Management for Power Line Corridor Monitoring Using Aerial Remote Sensing Techniques." *1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry*. Montréal, Canada, 2010.
9. Lu, M. L, and Z Kieloch. "Accuracy of transmission line modeling based on aerial LiDAR survey." *IEEE Transactions on Power Delivery* 23 (2008): 1655-1663.
10. Michaelsen, E, and U Stilla. "Estimating urban activity on high-resolution thermal image sequence aided by large scale vector maps." *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*. Rome, 2001.

11. Mills, S, J Ford, and L Mejias. "Vision based control for fixed wing UAVs inspecting locally linear infrastructure with skid-to-turn maneuvers." *International Conference on Unmanned Aerial Vehicles*. Dubai, UAE, 2010.
12. Moeller, Matthias S. "MONITORING POWERLINE CORRIDORS WITH STEREO SATELLITE IMAGERY." *MAPP/ASPRS*. San Antonio, Texas, 2006.
13. Mokhtarzade, M, and M Valadane Zoej. "Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2007: 32-40.
14. Sun, C, et al. "Measuring the distance of vegetation from powerlines using stereo vision." *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 60 (2006): 269-283.
15. Tupin, F, H Maitre, J mangin, and J Nicolas. "detection of linear features in SAR images: applications to road network extraction." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1998.