JSST
Journal of Space Science & Technology
10.30699/JSST.2021.1226
Vol. 13/ Issue.4/ 2020 (No.45)
pp. 49-58

Research Paper

Developing Web-based Geographical Services for Temporally Vegetation Status Monitoring Using Satellite Imagery

M. H. Vahidnia[1*] and H.Aghamohammadi[2]

1,2. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University,Tehran,Iran.

***vahidnia84@gmail.com**

Studying vegetation status is one of the most important environmental issues. Using contemporary and field methods in this regard will cost a lot of time and money. Remote sensing technology and satellite image processing are solutions that can facilitate such difficult processes. In this study, remote sensing technology will be integrated with geographic web services to provide users with adequate analysis of the growth of the plants and their changes based on vegetation indices in the shortest possible time. Important technologies used for this purpose are ENVI IDL, Google Map API, JavaScript, and ASP.NET. The service was successfully implemented and was employed for Landsat satellite images. In order to evaluate the performance of the service at different points and with a different number of images, the timeliness of the NDVI vegetation index was prepared. The processing time evaluation also showed that the processing time would increase linearly by increasing the number of satellite images.

Keywords: Land-cover, web-basedservices, remote sensing, image processing, vegetation indices

1. Assistant Professor(Corresponding Author)
2. Assistant Professor

Received: 2019.08.05/ Accepted: 2020.05.04/ Publish Online: 2020.12.21/ Online ISSN: 2423-4516 / Print ISSN: 2008-4560

JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی
دوره ۳ / شمارهٔ ۴/ زمستان ۱۳۹۹ (دوره ۱۳/ شماره پیاپی ۴۵) 10.30699/JSST.2021.1226
ص. ص. ۵۸- ۴۹

مقاله علمی– پژوهشی

توسعه یک سرویس مکانی تحت وب برای پایش زمانمند وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره ای

محمدحسن وحیدنیا [۱*] و حسین آقامحمدی [۲]

۱ و ۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکدهٔ مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

***vahidnia84@gmail.com**

بررسی وضعیت پوشش گیاهی از جمله موضوعات مهم محیط زیستی می‌باشد که بهره‌گیری از روش‌های مرسوم و میدانی در این راستا موجب صرف هزینه و زمان زیادی خواهد شد. فناوری فضایی سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای راهکاری است که می‌تواند اینگونه فرآیندهای دشوار را تسهیل بخشد. در این تحقیق فناوری سنجش از دور با سرویس‌های مکانی تحت وب ترکیب خواهند شد تا بتوان بر اساس شاخص پوشش گیاهی در کمترین زمان ممکن تحلیل مناسبی از رشد گیاهان و تغییرات وضعیت آن‌ها در اختیار کاربران آنلاین قرار داد. فناوری‌های مهم بکارگرفته شده برای این منظور، ENVI IDL، Google Map API، JavaScript و ASP.NET می‌باشند. این سرویس با موفقیت پیاده‌سازی گردید و برای تصاویر سری زمانی ماهواره لندست اجرا گردید. به منظور ارزیابی کارکرد سرویس در نقاط مختلف و با تعداد تصاویر مختلف منحنی زمانمند شاخص پوشش گیاهی NDVI تهیه گردید. ارزیابی زمانی نیز نشان داد که با افزایش تعداد تصاویر ماهواره‌ای، رابطه افزایش زمان پردازش به صورت خطی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، خدمات تحت وب، سنجش از دور، پردازش تصویر، شاخص‌های گیاهی

علائم و اختصارات

نسبت پوشش گیاهی	Ratio Vegetation Index (RVI)
شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
شاخص تنظیم پوشش گیاهی خاک	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
شاخص گیاهی پیشرفته	Enhanced Vegetation Index (EVI)
شاخص سطح برگ	Leaf Area Index *(LAI)*

مقدمه

کشور ایران با مساحتی در حدود ۱/۶۵ میلیون کیلومترمربع در منطقه خشک و نیمه خشک کره زمین، قرار گرفته است. شناخت ویژگی‌های پوشش‌های گیاهی و روابط موجود در بین گونه‌های گیاهی و نیز عوامل محیطی همواره مورد توجه محققان منابع طبیعی و محیط زیست بوده است. دلیل این توجه، اهمیت زیاد پوشش‌های گیاهی از نظر زیستگاهی، تولید انرژی و دیگر خصوصیات مهم گیاهان بر روی کره زمین می‌باشد. مطالعه وضعیت پوشش گیاهی بر مبنای کارهای تفصیلی میدانی با چالش‌های مهمی روبرو هستند. از جمله اینکه بسیاری از مناطق طبیعی صعب‌العبور یا کویری بوده و محدّودیّت‌های فصلی و موانع طبیعی و سایر مشکلات اعم از هزینه، زمان، امکانات و تجهیزات نیز مزید بر علت می شوند تا استفاده از فناوری‌های فضایی جدید مانند تصاویر به هنگام ماهواره‌ای و خدمات آنلاین تحت وب برای اطلاع‌رسانی در دستور کار قرار گیرند.

تصاویر ماهواره‌ای و فناوری سنجش از دور این امکان را فراهم می‌کند تا با اتکا به اطلاعات تولیدی از آن به برنامه‌ریزی بهتری برای مدیریت محیط زیست دست یافت [۱]. تعدد تصاویر ماهواره‌ای در یک منطقه از جمله مزایایی است که کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و علم سنجش از دور را وسعت می‌بخشد [۲]. نیاز به آگاهی از روند تغییرات

۱. استادیار (نویسنده مخاطب)
۲. استادیار

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۴ / پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵ / چاپ الکترونیکی: ۱۳۹۹/۱۰/۰۱ / شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۴۲۳ / شاپای چاپی: ۴۵۱۶-۲۰۰۸

پوشش گیاهی عموما ناشی از عوامل متعددی مانند بحران‌های زیست محیطی، اقلیمی، انسانی و عوامل بیولوژیکی و غیره می‌باشد. استفاده از علم سنجش از دور و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای اغلب موجب کاهش هزینه، افزایش دقت و سرعت می‌گردد و روز به روز بر اهمیت این فنآوری در راستای توسعه پایدار افزوده می‌شود. سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای یکی از فناوری‌هایی است که به کمک آن می‌توان ویژگی‌های محیطی را بدون نیاز به دسترسی مستقیم به یک منطقه و تنها با استفاده و پردازش تصاویر بررسی کرد. کاربردهای گسترده سنجش از دور و خدمات ارزشمندی که با بهره‌گیری از سیستم‌ها و تصاویر مختلف ماهواره‌ای در حوزه‌های مختلف برنامه‌ریزی، مدیریت و اجرایی کشور قابل دستیابی است، توسعه این فناوری را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر بدل ساخته است. یکی از کاربردهای این حوزه کمک به بررسی پوشش‌های گیاهی و وضعیت رشد آن با گذشت زمان می‌باشد [۳].

یک محصول کشاورزی در طول زمان یعنی از ابتدای کشت تا رسیدن به محصول رفتار مشابهی در وضعیت NDVI نشان می‌دهد. یعنی به کمک نمودار زمانمند NDVI هم می‌توان به مدل‌هایی برای تشخیص محصول کشاورزی پی برد و هم می‌توان وضعیت رشد محصول و رسیدن آن به محصول را ارزیابی کرد.

اما دو مشکل اساسی در دستیابی به چنین شاخص‌ها و ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی اولاً دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای و ثانیاً نیاز به اجرای فرآیندهای پردازشی تخصصی می‌باشد. درصورتی‌که آرشیو تصاویر پیشتر گردآوری شده و خدمات آماده تحت وب برای پردازش تصاویر ایجاد شده باشند، تصمیم‌گیران در حیطه محیط‌زیست و کارشناسان در حوزه پوشش‌های گیاهی می‌توانند با صرفه‌جویی در زمان و بدون نیاز به دانش تخصصی در زمینه سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بدون نیاز به کار میدانی و دسترسی مستقیم به منطقه و به‌صورت آنلاین یک ارزیابی از وضعیت موجود و تغییرات در طول زمان دست یابند. بنابراین استفاده از فناوری‌های تحت وب و ایجاد فرآیندهای پردازشی آماده برای دستیابی به چنین هدفی اهمیت می یابد.

بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی به طور گسترده به عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و فاکتورهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از این شاخص‌ها بر مبنای بازتاب در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک قرار داشته و ترکیب جبری از این دو باند هستند [۴ و ۵]. شاخص‌های مختلفی مانند RVI، NDVI، SAVI، EVI، LAI و غیره برای تعیین پوشش گیاهی اراضی معرفی شده است [۶]. شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است که از طریق نسبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمزِ نزدیک به‌دست می‌آید [۳]. از میان دیگر شاخص‌های گیاهی مطرح شده، شاخص SAVI واریانس بازتاب طیفی ناشی از تغییرات خاک زمینه را به حداقل کاهش می‌دهد [۷]. بعد از محاسبه شاخص‌های گیاهی تصاویر ماهواره‌ای در دو تاریخ مختلف، می‌توان با مقایسه آنها نقشه یا نمودار تغییرات پوشش گیاهی مناطق را تهیه کرد.

در مطالعات پیشین که در زمینه بررسی پوشش گیاهی اراضی انجام گرفته است، درویش و فاور در تحقیق خود، علل تخریب مراتع در لبنان را با شاخص NDVI مورد بررسی قرار دادند [۸]. هانگ و اسنر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و استفاده از شاخص NDVI در ناحیه ای از کشور چین تغییرات پوشش گیاهی را برآورد نمودند [۹].

اما از این میان آنچه که با اهداف این تحقیق همخوانی دارد توسعه سرویس‌های مکانی تحت وب و برنامه‌های آنلاین برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش تصاویر برای تعیین شاخص‌های گیاهی می باشد که در ادامه به مواردی از این دست اشاره می شود. احمد و بولتون از تصاویر ماهواره مادیس برای ایجاد سیستمی جهت مانیتورینگ خودکار سیل استفاده کردند [۱۰]. هدف آن‌ها از این تحقیق کمک به هرچه بهتر شدن فرآیند امدادرسانی می‌باشد. آن‌ها فرآیندی برای تعیین تقریباً آنی سطح آب با توجه به سیل کنونی و سیل‌های گذشته استفاده و از شاخص NDVI نیز در مدلسازی خود استفاده نمودند. اطلاعات بدست آمده از پردازش‌های سنجش از دوری در این تحقیق توسط یک واسط کاربری وب به کاربران ارائه می‌گردد. کیووسوجا و همکاران به‌منظور کنترل اتوماتیک فعالیت‌های کشاورزی از سرویس‌های مکانی تحت وب و تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند [۱۱]. در سیستم مذکور داده‌ها و تصاویر را از منابع مختلف تحت وب اخذ شده و پردازش‌های لازم و تعیین شاخص‌های مختلف سنجش از دوری بر روی آن اجرا می‌گردد. برقراری تعامل داده‌ها و توزیع یافته بودن پردازش‌ها از جمله ویژگی‌های این تحقیق می‌باشد به گونه‌ای که داده‌ها در قالب سرویس‌های استاندارد WMS از سروری در کشور آلمان فراهم می‌شد درحالی که پردازش‌ها در سروری در فنلاند صورت می‌گرفت. نتایج حاصل حکایت از مدیریت بهتر زمین‌ها و دقت در عملکرد با استفاده از شیوه مذکور داشتند. گپینات و همکاران نیز شیوه‌ای برای ارائه خدمات تحت وب با استفاده از داده‌های رایگان و نرم‌افزارهای متن باز به منظور مدیریت وضعیت پوشش گیاهی ارائه دادند [۱۲و ۱۳]. آن‌ها در تحقیق خود از شاخص NDVI به منظور برآورد وضعیت گیاهان استفاده نمودند. تصاویر استفاده شده در این تحقیق مربوط به سنجنده Terra می‌باشند که هر ۲۴ ساعت به هنگام‌رسانی می‌شوند. پردازش‌های لازم در این سیستم حدود ۱۰ الی ۳۰ دقیقه به

طول می‌انجامند و نقشه NDVI تهیه شده به کمک یک نرم‌افزار متن باز در سرور ایجاد می‌گردد که کاربران می‌توانند آن را دانلود نمایند. آن‌ها به این شیوه یک مدیریت تقریباً آنی را بر روی پوشش‌های گیاهی انجام می‌دهند. آستاتریان و همکاران از فناوری ابری (cloud computing) برای محاسبه زمانمند شاخص NDVI استفاده کردند [۱۴]. آن‌ها سرویس ایجاد شده را در قالب استاندارد WPS ارائه دادند. به کمک فناوری بکارگرفته شده محاسبه این شاخص گیاهی با وجود تعداد تصاویر زیاد در مدت زمان کمی امکان‌پذیر شد.

ون لیوان و همکاران برنامه‌ای تحت وب برای پایش پوشش گیاهی با توجه به عدم قطعیت محاسبه شاخص گیاهی NDVI ارائه دادند [۱۵]. آن‌ها برای تعیین عدم قطعیت محاسبات از سنجنده‌های مختلف ماهواره‌ای همچون AVHRR، MODIS و VIIRS استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که داده‌های AVHRR بیش از سنجنده‌های دیگر تحت تأثیر بخار آب موجود در جو بوده و مقدار NDVI آن با توجه به این مسئله کاهش می‌یابد.

در این تحقیق هدف ایجاد سامانه‌ای است که خدماتی تحت وب برای تهیه اطلاعات و آمار زمانمند وضعیت پوشش گیاهی به صورت خودکار ارائه نماید. یعنی کاربر بتواند به صورت آنلاین و بدون استفاده از نرم افزارهای تخصصی، با انتخاب منطقه تنها شاهد اجرای اتوماتیک پردازش‌ها روی آرشیو تصاویر بوده و نهایتاً اطلاعات بدست آمده و نمودارهای زمانمند وضعیت رشد و تغییرات پوشش گیاهی را تهیه و در تحلیل‌های خود استفاده نماید. نیاز به ارائه سرویس‌های تحت وب برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تعیین وضعیت پوشش گیاهی از مقوله‌هایی است که بسیاری از نیازهای تصمیم گیران و کارشناسان محیط زیست و جنگل‌ها و مرتع را مرتفع می‌سازد و از هزینه‌های اضافی مطالعات میدانی می‌کاهد [۱۲]. چگونگی دستیابی به چنین خدماتی مسئله اصلی این تحقیق را تشکیل می‌دهد.

روش انجام پژوهش

تهیه آرشیو تصاویر ماهواره‌ای نمونه

در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI و لندست ۷ سنجنده ETM استفاده شد. لندست ۸ هشتمین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست است که ناسا در یازدهم فوریه ۲۰۱۳ به فضا پرتاب کرده است. لندست ۸ هر ۹۶ روز یک بار از کل سطح زمین تصویربرداری می‌کند. بر روی لندست ۸ دو سنجنده OLI و TIRS نصب شده است. این دو سنجنده تصاویر رقومی چندطیفی از سطح زمین جمع آوری می‌کنند. عرض تصویربرداری این سنجنده ۹۸۰ کیلومتر است. برای گردآوری داده‌ها از پورتال‌های ارائه تصاویر مانند پایگاه usgs و با توجه به محدوده زمانی و منطقه‌ای در کشور استفاده می‌شود. این تصاویر نمونه در بخش سرور سامانه آرشیو خواهد شد. و جهت کنترل اولیه داده‌ها و وضعیت اخذ تصاویر می‌توان از نرم‌افزارهای ENVI یا ArcGIS استفاده کرد. در جدول (۱) مشخصات تصاویر ماهواره‌ای به‌کار رفته ملاحظه می‌شوند.

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک	تاریخ اخذ	باند	Row	Path
Landsat 7	ETM+	۳۰	۱۷/۰۸/۲۰۰۴	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۲۰/۰۸/۲۰۰۵	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۲۳/۰۸/۲۰۰۶	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۱۰/۰۸/۲۰۰۷	۸	۳۳	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۱۰/۰۸/۲۰۰۷	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۲۸/۰۸/۲۰۰۸	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۳۱/۰۸/۲۰۰۹	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۱۸/۰۸/۲۰۱۰	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۲۱/۰۸/۲۰۱۱	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۲۱/۰۸/۲۰۱۱	۸	۳۳	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۲۴/۰۹/۲۰۱۲	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۱۰/۰۸/۲۰۱۳	۸	۳۴	۱۶۹
Landsat 8	OLI	۳۰	۲۹/۰۸/۲۰۱۴	۱۱	۳۴	۱۶۹
Landsat 8	OLI	۳۰	۲۷/۰۷/۲۰۱۵	۱۱	۳۸	۱۶۵
Landsat 8	OLI	۳۰	۱۶/۰۸/۲۰۱۵	۱۱	۳۴	۱۶۹
Landsat 8	OLI	۳۰	۱۸/۰۸/۲۰۱۶	۱۱	۳۴	۱۶۹
Landsat 7	ETM+	۳۰	۲۱/۰۸/۲۰۱۷	۸	۳۴	۱۶۹

معماری، الگوریتم و روش پیاده سازی سامانه

در این سامانه اولاً به کمک موتور سنجش از دوری ENVI IDL برنامه ای برای پردازش های اولیه شامل تصحیحات اتمسفری و بدست آوردن مقدار بازتاب (reflectance) و نهایتاً بدست آوردن مقدار NDVI برای یک نقطه ورودی و با داشتن مجموعه ای از تصاویر خام ماهواره Landsat توسعه داده می شود. علت استفاده از این موتور سنجش از دوری قابلیت های پردازشی پایه و امکان توسعه آن با برنامه نویسی می باشد. این برنامه به فرمت اجرایی sav تبدیل شده و توسط برنامه تحت وب مورد استفاده قرار می گیرد. برای اخذ مختصات نقطه دلخواه ورودی یک برنامه تحت فناوری ASP.NET توسعه خواهد یافت. این برنامه از نقشه پایه Google برای ارائه به کاربر استفاده خواهد نمود و به کمک توابع JavaScript مختصات نقشه ورودی و نهایتاً نمودار زمانی شاخص گیاهی NDVI تهیه شده در نقطه را نمایش خواهد داد. در شکل ۱ فلوچارت فرایندهای اصلی برنامه توسعه یافته و نحوه ارتباط میان الگوریتم های برنامه ASP.NET و ENVI IDL نشان داده شده است. برنامه ENVI IDL به فرمت اجرایی sav تبدیل شده و در زمان نیاز در برنامه تحت وب فراخوانی می شود. با فراخوانی این برنامه، یک تأخیر زمانی در برنامه تحت وب تا زمان انجام پردازش های تصویری و اخذ نتیجه اعمال می گردد.

معماری، الگوریتم و روش پیاده سازی سامانه

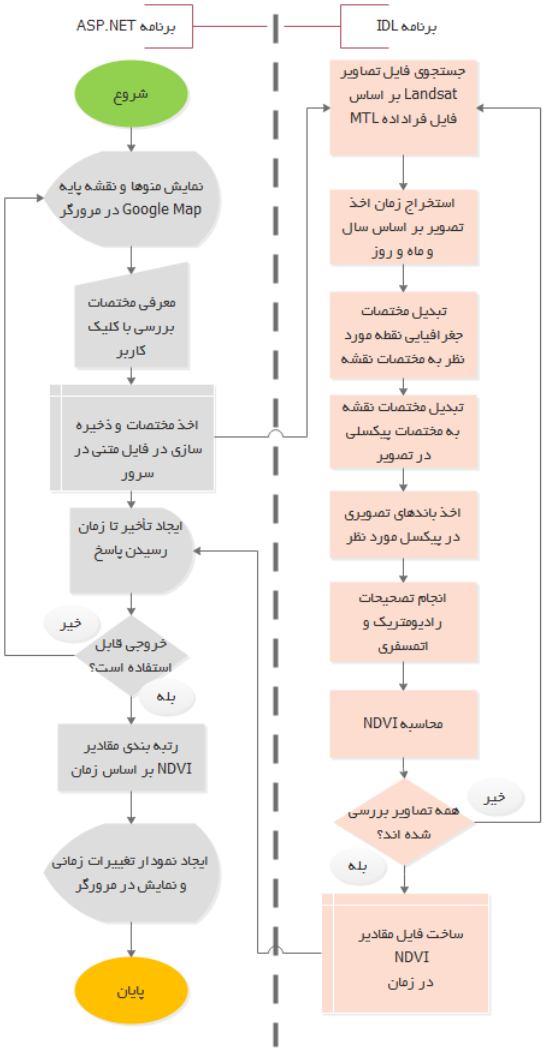
در این سامانه اولاً به کمک موتور سنجش از دوری ENVI IDL برنامه‌ای برای پردازش‌های اولیه شامل تصحیحات اتمسفری و بدست آوردن مقدار بازتاب (reflectance) و نهایتاً بدست آوردن مقدار NDVI برای یک نقطه ورودی و با داشتن مجموعه‌ای از تصاویر خام ماهواره لندست توسعه داده می شود. علت استفاده از این موتور سنجش از دوری قابلیت‌های پردازشی پایه و امکان توسعه آن با برنامه نویسی می‌باشد. این برنامه به فرمت اجرایی sav تبدیل شده و توسط برنامه تحت وب مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اخذ مختصات نقطه دلخواه ورودی یک برنامه تحت فناوری ASP.NET توسعه خواهد یافت. این برنامه از نقشه پایه Google برای ارائه به کاربر استفاده خواهد نمود و به کمک توابع JavaScript مختصات نقشه ورودی و نهایتاً نمودار زمانی شاخص گیاهی NDVI تهیه شده در نقطه را نمایش خواهد داد. در شکل ۱ فلوچارت فرایندهای اصلی برنامه توسعه یافته و نحوه ارتباط میان الگوریتم‌های برنامه ASP.NET و ENVI IDL نشان داده شده است. برنامه ENVI IDL به فرمت اجرایی sav تبدیل شده و در زمان نیاز در برنامه تحت وب فراخوانی می‌شود. با فراخوانی این برنامه، یک تأخیر زمانی در برنامه تحت وب تا زمان انجام پردازش‌های تصویری و اخذ نتیجه اعمال می‌گردد.

فرآیندهای اصلی برنامه ENVI IDL سرویس اتوماتیک تهیه NDVI عبارتند از: الف) حذف خروجی‌های پردازش‌های قبلی، ب) باز نمودن تصاویر Landsat موجود در مجموعه تصاویر آرشیو، ج) اخذ مختصات جغرافیایی نقطه ورودی کاربر از فایل مربوطه، د) تبدیل مختصات جغرافیایی به مختصات نقشه، ه) تبدیل مختصات نقشه به مختصات پیکسلی.

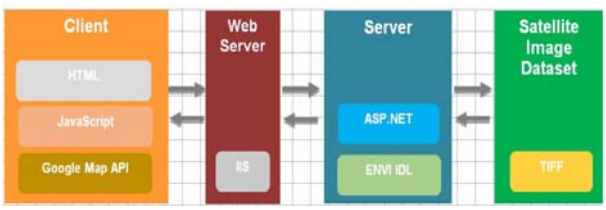
با بررسی اینکه نقطه ورودی در تصاویر موجود قرار داشته و مقدار داشته باشد، فرایندهای اجرایی عبارتند از: الف) ایجاد رستر در نقطه (تصویر تک پیکسلی)، ب) کالیبراسیون تصویر به بازتاب بالای اتمسفر، ج) اعمال تصحیح اتمسفری، د) ایجاد فایل خروجی مقادیر شاخص NDVI به همراه تاریخ مربوطه.

همچنین فرآیندهای اصلی در برنامه تحت وب عبارتند از: الف) نمایش نقشه پایه توسط Google API در مرورگر وب و اخذ مختصات ورودی کاربر با کلیک موس یا منوی ورودی، ب) ذخیره سازی مختصات جغرافیایی بدست آمده از کاربر در یک فایل متنی، ج) فراخوانی سرویس اتوماتیک تهیه NDVI، د) انتظار برای اجرای سرویس و تهیه خروجی ها، ه) استفاده از فایل خروجی مقادیر NDVI و تاریخ های مربوطه، و) رتبه بندی مقادیر NDVI بدست آمده بر اساس زمان، ز) تهیه نمودار و ارائه اطلاعات در مرورگر وب.

در شکل ۲ به طور خلاصه معماری سامانه و فناوری‌های بکار گرفته شده ملاحظه می‌گردد. در سمت کلاینت سامانه از فناوری‌های HTML، JavaScript و Google Map API برای ایجاد واسط کاربری پویا تحت وب استفاده شده است. به عنوان سرور وب از Internet Information Service (IIS) جهت دریافت درخواست کاربران و پاسخ به آن‌ها استفاده شده است. در سمت سرور فناوری‌های ASP.NET و ENVI IDL جهت توسعه برنامه استفاده شده است که پردازش اصلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای و ارائه نتایج NDVI به صورت زمانمند در این قسمت انجام می شود. همانگونه که پیشتر نیز گفته شد، مجموعه تصاویر Landsat 8 در سمت سرور و با فرمت TIFF مورد استفاده قرار خواهند گرفت.



شکل ۱- فلوچارت فرایندهای اصلی برنامه



شکل ۲- طراحی معماری سامانه

شیوه پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در اولین مرحله تصحیحات رادیومتریک و جوی بر روی سری‌های تصویر لندست مورد استفاده اعمال گردیده است. بدین گونه که ابتدا از طریق ورود پارامترهای کالیبراسیون موجود در متادیتای همراه تصاویر، DN به رادیانس[3] تبدیل می‌شود. رادیانس ثبت شده به وسیله سنجنده عبارت از شار تابشی در هر واحد زاویه لحظه‌ای سه بعدی در واحد سطح اسکن شده زمین است. سیگنال رسیده از سطح زمین به سنجنده، واکنش طیفی هدف زمینی به عرض طیفی طراحی شده در سنجنده است، این سیگنال ثبت شده در قالب اعداد رقومی است. مقادیر DNهای تصویری پردازش نشده با واحدهای فیزیکی چون رادیانس، بازتاب و یا دما، متناظر نمی‌باشند؛ بنابراین تخمین ویژگی‌های طیفی سطح سنجش شده نیازمند تبدیل DNهای تصویری به بازتاب است. در تصاویر خام و پردازش نشده، DN پیکسل بصورت خطی با رادیانس ثبت شده به وسیله سنجنده رابطه دارد و می‌توان با یک تبدیل خطی مقدار DNها را به رادیانس ثبت شده به وسیله سنجنده تبدیل کرد و برای انجام تصحیحات اتمسفری این تبدیل خطی ضروری است [۱۶]. این تبدیل خطی بسته به سنجنده‌های متفاوت دارای معادله‌های متفاوت است. برای ماهواره‌های سری لندست این تبدیل خطی به‌صورت رابطه (۱) است:

$$L_\lambda = (\text{Gain} * \text{DN}) + \text{Bias} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، Lλ رادیانس ثبت شده در یک باند طیفی خاص، DN مقدار عدد رقومی ثبت شده، و Gain شیب معادله تبدیل خطی می‌باشند. در گام بعد تبدیل رادیانس به بازتاب[4] بر اساس رابطه فیزیکی زیر صورت می‌گیرد.

$$\rho_\lambda = \frac{\pi . L_\lambda d^2}{ESUN_\lambda . Cos\theta} \qquad (۲)$$

که در این رابطه ρ_λ میزان بازتاب، L_λ رادیانس بدست آمده از مرحله قبل، d فاصله زمین تا خورشید در مقیاس نجومی و $ESUN_\lambda$ انرژی خورشید بالای سطح اتمسفر و θ_s زاویه زنیتی خورشید می‌باشند. و در گام بعدی بعلت نبود خطاهای اتمسفری مشکل‌زا، با استفاده از روش Dark subtraction با انتخاب تیره‌ترین پیکسل، تصحیح اتمسفری تصاویر صورت گرفت [۱۷]. پایه و اساس این تصحیح جوی بر این موضوع استوار است که در تصاویر ماهواره‌ای، پدیده‌های همچون سایه و آب دارای درصد بازتاب نزدیک به صفر می‌باشند و سیگنال-های ثبت شده برای پدیده‌ها به علت خطاهای جوی ناشی از پخش، برای تصحیحات جوی، باید از تصویر حذف شوند.

پس از این مرحله می‌توان شاخص‌های پوشش گیاهی را محاسبه نمود. شاخص پوشش گیاهی NDVI محل‌های احتمالی پوشش گیاهی را با تغییرات عددی بین ۱+ تا ۱- نشان می‌دهد. مناطقی که دارای پوشش گیاهی متراکم باشند این شاخص به سمت ۱+ و نواحی که از لحاظ تراکم گیاهی ضعیف باشد به سمت ۱- میل می نماید. با استفاده از رابطهٔ ۵ شاخص پوشش گیاهی NDVI قابل محاسبه است با استفاده از رابطهٔ ۵ شاخص پوشش گیاهی NDVI قابل محاسبه است:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \qquad (۳)$$

در رابطه فوق NIR میزان انعکاس تصویر در باند مادون قرمز نزدیک و R میزان انعکاس تصویر در باند قرمز می‌باشد.

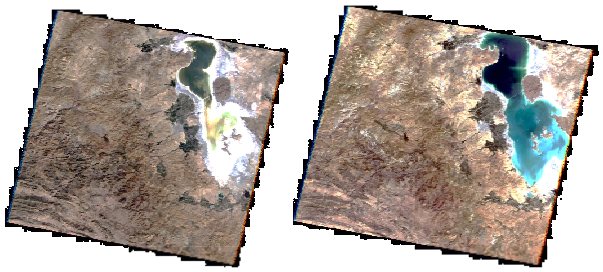
یافته‌ها

آرشیو داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین گروه داده‌ها هستند که برای محاسبه شاخص NDVI زمانمند مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای این طرح یک آرشیو نمونه از تصاویر در زمان‌های مختلف تهیه گردید که در بخش سرور نگهداری می‌شوند. نکته قابل توجه این است که سرویس پردازشی توسعه داده شده از داده‌های خام استفاده می‌نماید و بنابراین در هر نقطه‌ای که کاربر انتخاب نماید می‌تواند محاسبات را انجام دهد و نیاز به انجام پردازش‌ها توسط اوپراتور و پیش ذخیره‌سازی آن‌ها نیست. شکل (۳) نمونه‌هایی از تصاویر ماهواره‌ای لندست بکار رفته در آرشیو داده‌های سامانه مربوط به دریاچه ارومیه در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ را نشان می‌دهند. این تصایر در این تحقیق استفاده شده‌اند.

توسعه برنامه کاربردی سمت سرور

عمده برنامه کاربردی برای سرویس جغرافیایی همانگونه که پیشتر توضیح داده شد، بر اساس زبان ENVI IDL و ASP.NET توسعه یافت. در شکل (۴) بخش کوچکی از کدهای توسعه یافته با هدف محاسبه NDVI و ذخیره کردن آن در خروجی به عنوان نمونه ارائه شده است.



(ب) (الف)

شکل ۳- نمونه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای لندست در آرشیو داده‌های سامانه مربوط به دریاچه ارومیه؛ الف) در سال ۲۰۰۷ ب) در سال ۲۰۱۲

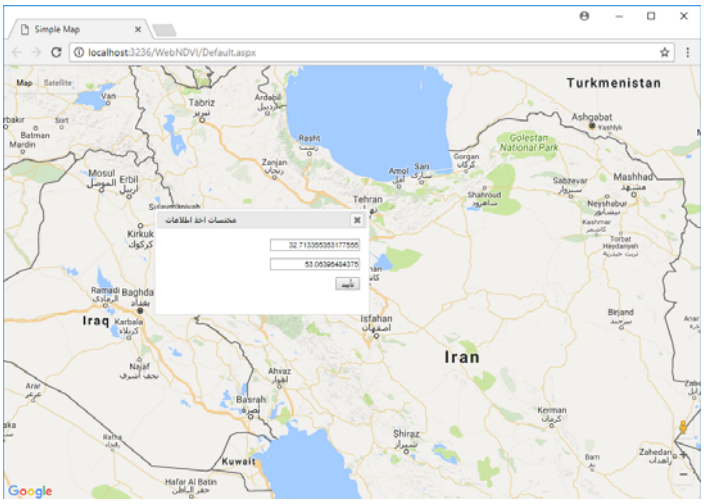
3. Radiance
4. Reflectance

```
; Open an input file
File     =     Filepath('z_out'+STRTRIM(STRING(i),1),
          Subdir=['output'],                          $
          Root_Dir='D:\SatelliteImage')
Raster = e.OpenRaster(File)

; Get the task from the catalog of ENVITasks
Task=ENVITask('SpectralIndex')
; Define inputs
Task.INDEX    =    'Normalized    Difference    Vegetation
          Index'
Task.INPUT_RASTER = Raster[0]

; Define outputs
Task.OUTPUT_RASTER_URI                                =
          "D:\SatelliteImage\output\z_NDVI_out"+STRTR
          IM(STRING(i),1)

; Run the task
Task.Execute
out_ndvi_raster=Task.Output_Raster
ndvi = out_ndvi_raster.GetData(BANDS=[0])
print, "NDVI_",i," = ", ndvi[0,0]

;WRITE NDVIout,
printf,    lun,    STRTRIM(ndvi[0,0],    1),    ",    ",
          STRTRIM(year,  1),  "/",  STRTRIM(month,  1),
          "/", STRTRIM(day, 1) & $
```

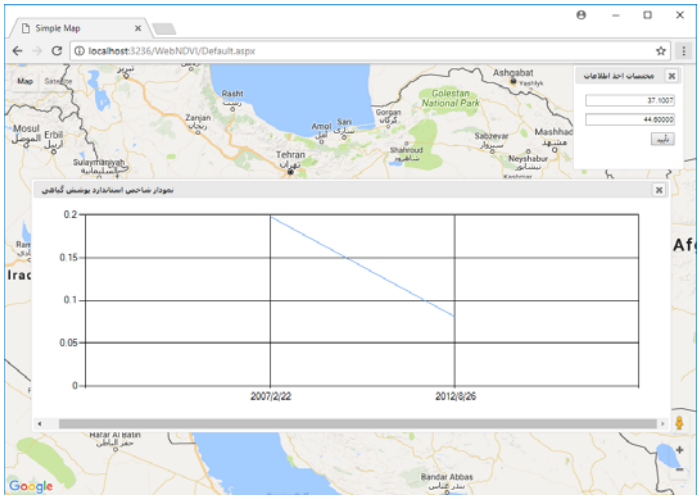
شکل ۴- نمونه‌ای از کدهای IDL در بخشی از برنامه برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی

نتایج اجرای برنامه و ارزیابی

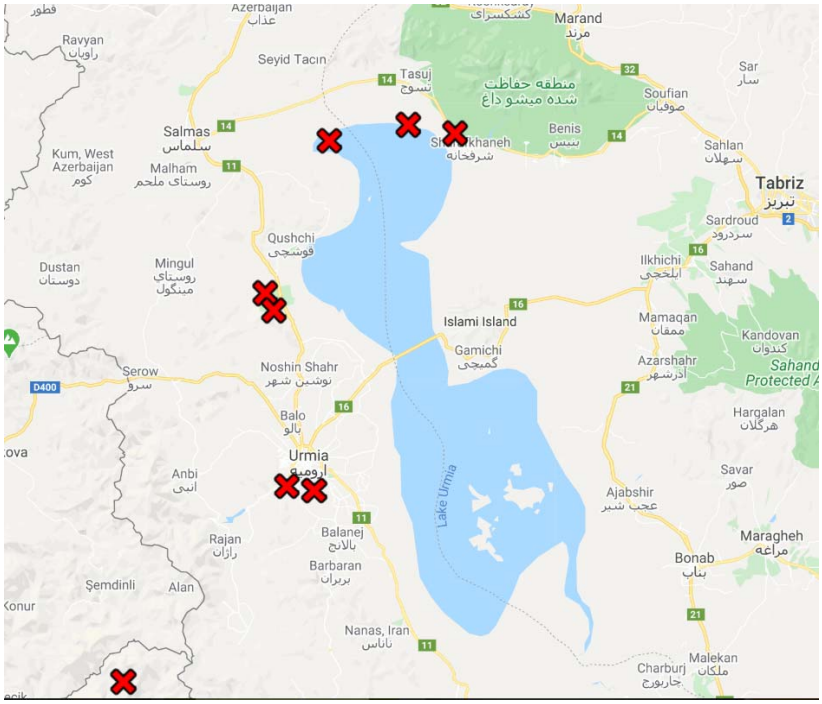
در ادامه تصاویری از اجرای برنامه ملاحظه می‌گردد. مراحل بدین ترتیب است که کاربر نقطه مورد نظر خود را با کلیک بر روی نقشه یا ورود مختصات مشخص می‌نماید. سپس مراحل پردازشی انجام شده و نمودار شاخص پوشش گیاهی تهیه شده و نمایش داده می‌شود. به کمک این نمودار می‌توان نحوه رشد گیاهان، تراکم پوشش گیاهی، یا تخریب مناطق جنگلی و منابع طبیعی را ارزیابی نمود. هرچقدر مقدار نمودار به عدد ۱ نزدیکتر باشد با پوشش گیاهی متراکم تر روبرو هستیم. شکل‌های ۵ و ۶ نحوه اجرای برنامه در مرورگر گوگل کروم را تحت وب نمایش می‌دهد. همچنین شکل ۷ نشاندهنده توزیع مکانی نقاط کلیک شده بر روی نقشه جهت اخذ نمودار وضعیت پوشش گیاهی از سامانه می‌باشند.



شکل ۵- نمایی از اجرای سرویس پردازشی در مرورگر Chrome و معرفی موقعیت پردازش توسط کاربر

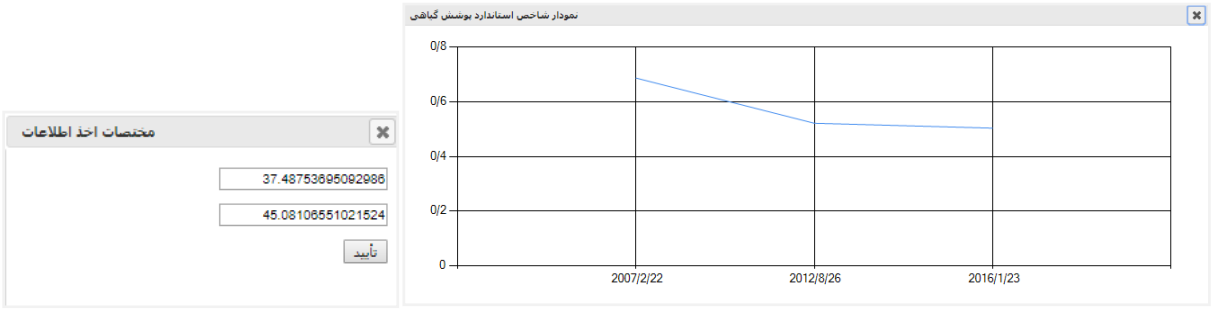


شکل ۶- نمایی از نمودار زمانی تهیه شده توسط سرویس جغرافیایی تحت وب پوشش گیاهی پس از تأیید کاربر

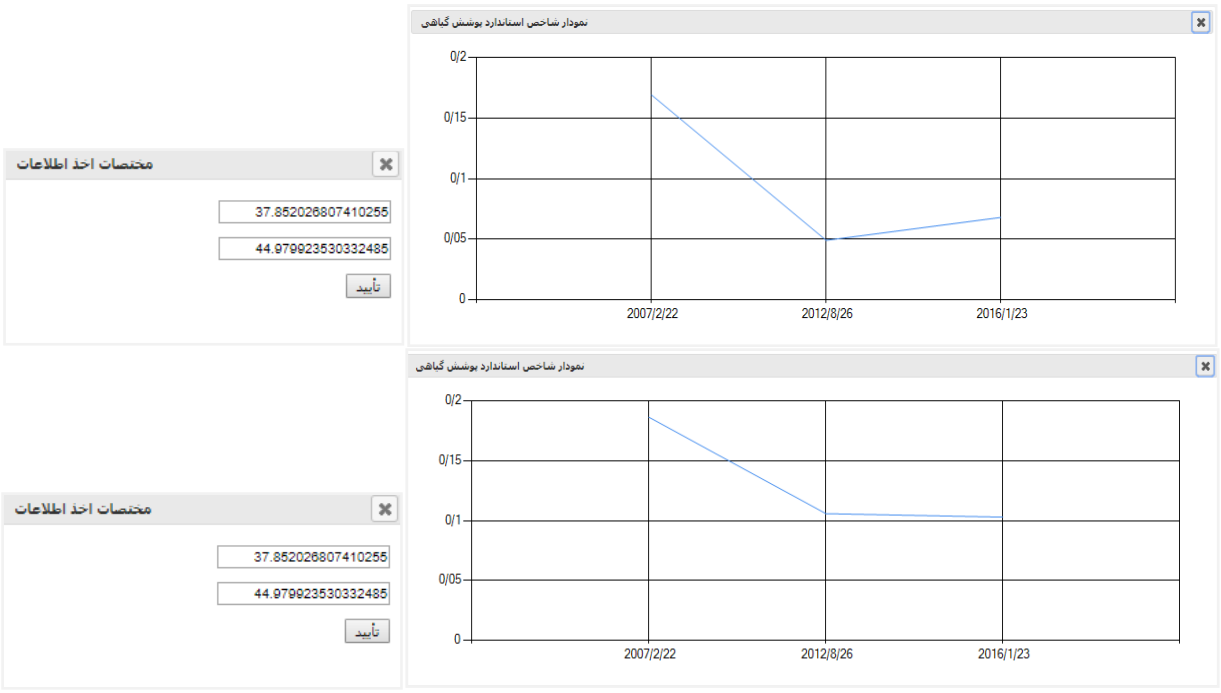


شکل ۷- موقعیت مکانی نقاط انتخاب شده جهت اخذ اطلاعات پوشش گیاهی

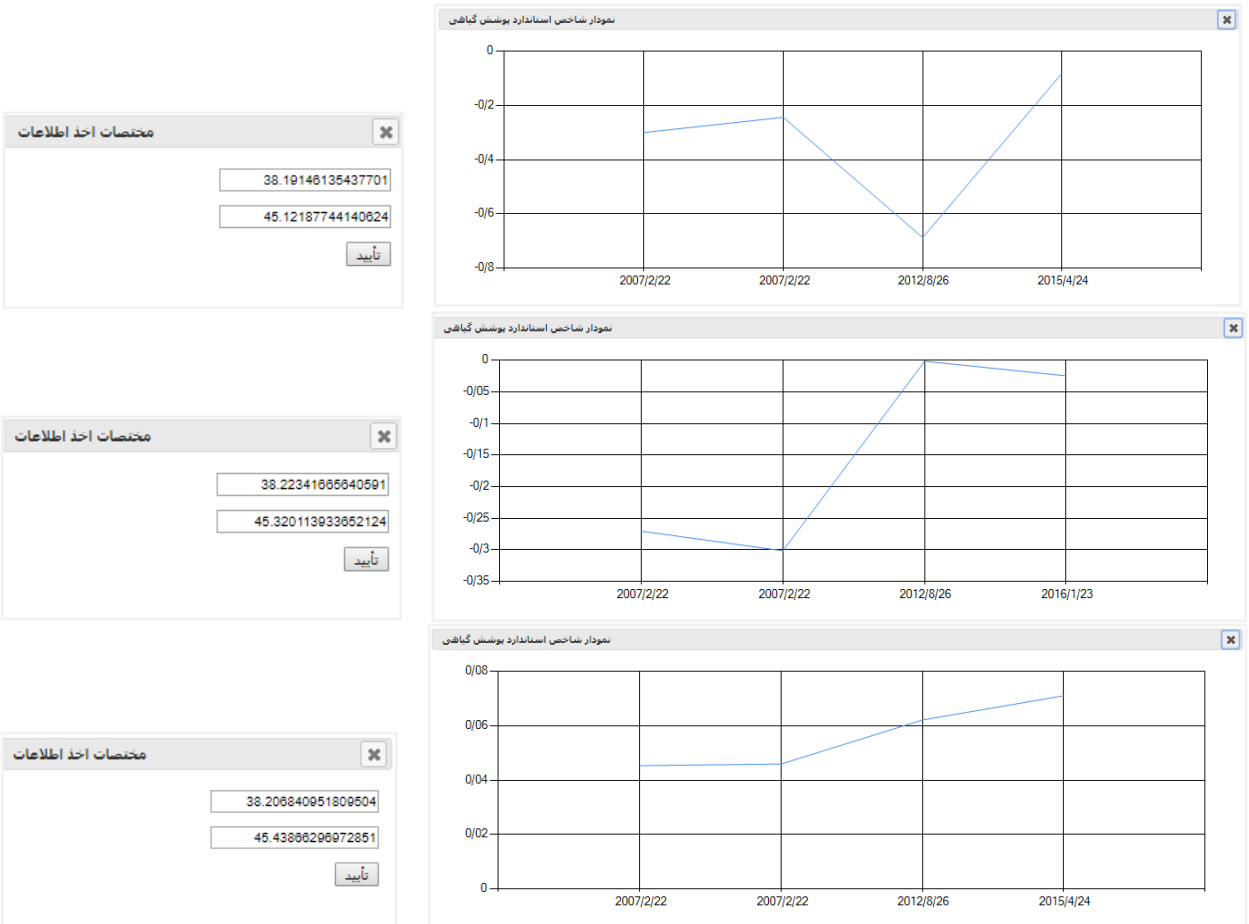
در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ نتایج اجرای سرویس پردازشی شاخص پوشش گیاهی به طور زمانمند ملاحظه می‌شود. در شکل ۸ این شاخص در ۳ نقطه و با استفاده از ۳ تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ محاسبه شده و نمودار تغییرات زمانی NDVI توسط سامانه به کاربر ارائه شده است. آنگونه که ملاحظه می‌شود در دو منطقه روند کاهشی برای شاخص پوشش گیاهی گزارش شده است. در شکل ۹ از ۴ تصویر ماهواره‌ای استفاده شده است که دو تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۰۷/۲/۲۲ می‌باشد و سایر تصاویر مربوط به سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۶ هستند. دو تصویر سال ۲۰۰۷ دارای همپوشانی بوده و نقاط به گونه‌ای انتخاب شده اند که در منطقه مشترک تصاویر قرار گیرند. علت انتخاب دو تصویر با درصد کم پوشش این است که صحت برنامه در مواجهه با تصاویر با محدوده‌های متفاوت نیز سنجیده شود. اگر به نتایج نمودارهای شکل ۹ دقت شود، میزان شاخص پوشش گیاهی در دو تاریخ اول، اگرچه تاریخ‌ها یکسان هستند، اختلاف ناچیزی با یکدیگر دارند که این اختلاف ناچیز به دلیل خطای ناچیز پس از اعمال تصحیحات رادیومتریک و جوی می‌باشند. در شکل ۱۰ نمودار تغییر زمانی NDVI در یک بازه زمانی ۱۴ ساله از ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ در اواخر تابستان برای دو نقطه و با ۹ تصویر در دو نقطه از آذربایجان غربی اجرا شده است. نمودارحاصل شده نحوه تغییرات ناچیز و روند نسبتاً یکنواخت برای دو منطقه با پوشش گیاهی در طول این دوره بلند مدت زمانی می‌باشد. هرچند با در نظر گرفتن زمان شروع و سال پایان می‌توان گفت که تغییرات مثبت اندکی در وضعیت پوشش گیاهی ملاحظه می‌شود. لازم به ذکر است که آرشیو تصاویر به منظور آزمایش سامانه انتخاب گردیده است که می‌توان این آرشیو را تکمیل نموده و همه سال‌ها را به منظور بررسی هر چه بهتر وضعیت پوشش گیاهی مورد استفاده قرار داد.



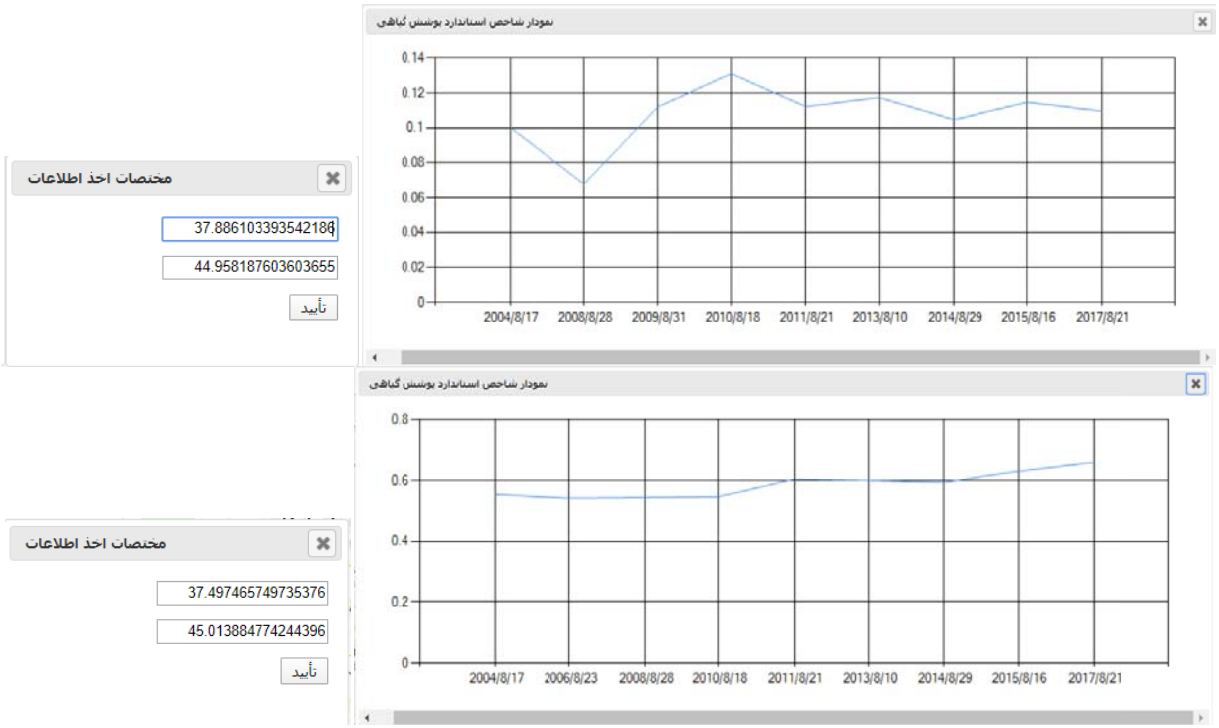
شکل ۸- نتایج اجرای سرویس پردازشی در ۳ نقطه و ۳ تصویر ماهواره‌ای



(ادامه) شکل ۸- نتایج اجرای سرویس پردازشی در ۳ نقطه و ۳ تصویر ماهواره‌ای



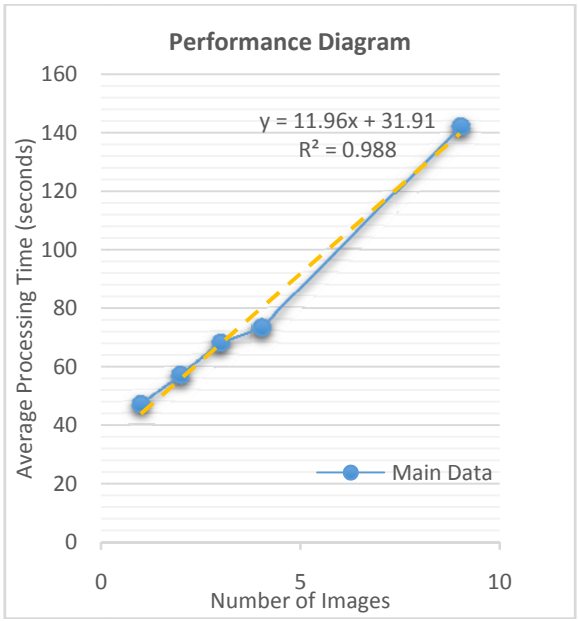
شکل ۹- نتایج اجرای سرویس پردازشی در ۳ نقطه و ۴ تصویر ماهواره‌ای



شکل ۱۰- نتایج اجرای سرویس پردازشی در ۲ نقطه و ۹ تصویر ماهواره‌ای

به منظور آزمایش قابلیت سرویس پردازشی توسعه یافته از لحاظ زمان پاسخگویی به کاربران روند تهیه نمودار شاخص گیاهی در نقاط مختلف و با تغییر تعداد تصاویر ماهواره‌ای از ۱ تصویر تا ۴ تصویر و در مرحله آخر با ۹ تصویر طی چندین تکرار آزمایش گردید و در هر مرتبه مدت زمان پردازش از لحظه اجرای سرویس تا زمان پاسخگویی سامانه تحت وب اندازه گیری شد. سپس به تفکیک تعداد تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در هر گروه میانگین زمان پردازش محاسبه گردید. این زمان‌های میانگین که برابر ۴۷، ۵۷، ۶۸، ۷۳ و ۱۴۲ ثانیه به ترتیب برای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۹ تصویر هستند را در نمودار شکل ۱۱ می‌توان ملاحظه نمود.

نتایج حاکی از این هستند که با افزایش تعداد تصویر زمان پردازش افزایش می‌یابد اما این افزایش زمان تغییرات تصاعدی یا نمایی نشان نمی‌دهد و به رفتار خطی نزدیک است به گونه‌ای که خط روند حاصل شده با شاخص تناسب R^2=0.988 حاصل شده است. طبق رابطه رگرسیون حاصل شده می‌توان زمان را تخمین زد. به عنوان مثال عملکرد سیستم در زمان تصاویر یک دوره بلند مدت ۲۰ ساله با ۲۰ تصویر در هر نقطه دلخواه حدود ۲۷۲ ثانیه، یا معادل ۴ دقیقه و نیم به صورت آنلاین و بدون پیش پردازش به طول خواهد انجامید. بطور مشابه برای دوره ۳۰ ساله با ۳۰ تصویر این زمان حدود ۶ دقیقه و نیم خواهد بود.



شکل ۱۱- نتایج آزمایش مدت زمان پردازش بر اساس تعداد تصاویر ماهواره‌ای بکار رفته

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک سرویس پردازشی تحت وب و مبتنی بر فرآیندهای سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای برای پاسخگویی به نیاز کاربران مبنی بر دستیابی به روند زمانمند تغییرات پوشش گیاهی طراحی و توسعه یافت. سنجش از دور به عنوان فناوری کسب اطلاعات از سطح زمین به کمک

داده‌های تصاویر ماهواره‌ای نقشه عمده‌ای در توسعه این سرویس پردازشی ایفا نمود. به کمک فناوری و زبان برنامه نویسی IDL ENVI سرویس پردازشی برای بدست آوردن شاخص پوشش گیاهی NDVI سمت سرور توسعه یافت. NDVI از مطرح ترین شاخص‌های پوشش گیاهی می‌باشد که ضمن بدست آوردن آن نیاز بود تصحیحات رادیومتریک و جوی در ابتدا بر روی تصاویر اعمال شوند. از نکات قابل توجه در سرویس پردازشی محاسبه آنلاین NDVI، نه از پیش محاسبه شده و ذخیره شده، می‌باشد.

با آزمایش‌های به عمل آمده نشان داده شد که می‌توان با استفاده از تصاویر سری زمانی در مدت زمان مناسبی با تعداد تصویر زیاد تحت وب این شاخص محاسبه شده و از طریق مرورگر به کمک نمودار به اطلاع کاربران و تصمیم گیران برسد. نکته مهم دیگر در سرویس پردازشی توسعه یافته محاسبه شاخص پوشش گیاهی به صورت نقطه‌ای می‌باشد. این عمل موجب می‌شود که نیازی به پردازش کل تصاویر و تهیه NDVI نباشد. پردازش کل محدوده تصویر و تهیه تقشه NDVI می‌تواند بسیار زمانبر و برای کاربر وب غیر سودمند باشد. از نکات دیگر طرح این است که چگونه می‌توان قابلیت‌های سنجش از دور را با فناوری‌های تحت وب مانند Google Map API و JavaScript ترکیب نمود. برنامه وب سمت سرور نیز با زبان ASP.NET توسعه یافت تا بتواند درخواست کاربر را به خوبی در سمت سرور و با استفاده از آرشیو داده‌های موجود ارزیابی نموده و پاسخ را از طریق مرورگر وب ارسال نماید.

در پاسخ به پرسش تحقیق باید گفت که نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان سرویس‌های سنجش از دوری را با فرآیندهای پردازشی تخصصی و حرفه‌ای به گونه‌ای ساده و کاربرپسند تحت سرویس‌های آنلاین وب ارائه نمود. در حقیقت کاربر نهایی بدون دغدغه تهیه آرشیو داده‌های تصاویر ماهواره‌ای، تهیه نرم افزارهای تخصصی سنجش از دور و همچنین آگاهی از جزئیات فرآیندهای پردازشی، می‌تواند از سامانه استفاده نماید. با توجه به اینکه محیط زیست و وضعیت منابع طبیعی و به طور خاص پوشش گیاهی، وضعیت مزارع و محصولات کشاورزی و همچنین وضعیت جنگل‌ها به شکلی کارآمد می‌تواند بر اساس مطالعه زمانمند شاخص پوشش گیاهی صورت گیرد، وجود چنین سرویس و سامانه‌ای می‌تواند کمک شایانی به تصمیم گیران در این حوزه نماید.

به عنوان تحقیقات آتی می‌توان اولاً به تکمیل آرشیو داده‌های سنجش از دوری مانند تصاویر ماهواره لندست و یا استفاده از ماهواره‌های دیگر مانند ماهواره سنتینل اقدام نمود. نکته دیگر افزایش قابلیت‌های سامانه مثلاً در برگرفتن سایر شاخص‌های پوشش گیاهی مانند SAVI و همچنین شاخص‌های مربوط به کاربردهای دیگر محیط زیست و منابع طبیعی می‌باشد. همچنین می‌توان این امکان را فراهم نمود که کاربر بازه زمانی مورد نظر را برای دریافت نمودارهای زمانمند تعیین نماید. افزودن چنین جنبه‌هایی می‌تواند به تجاری شدن این سرویس بیانجامد.

مراجع

[1] Zou, X.K., Zhai, P.M, Relationship Between Vegetation Coverage and Spring Dust Storms Over Northern China. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 1, 2013, 109 D03104.

[2] Willis, K.S., Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biological Conservation*, Vol. 182, 2015, pp. 233-242.

[3] Pettorelli, N., Vik, O., Mysterud, A., Gaillard, J.M., Tucker, C.J., Stenseth, N.C., Using the satellite – derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Journal of Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 20, 2005, pp. 503-510.

[4] Bannari, A., Staenz, K., Haboudane, D., Khurshid, K.S., 2006. Sensitivity Analysis of Chlorophyll Indices to Soil Optical Properties Using Ground-Reflectance Data. IGARSS 2006: pp. 120-123.

[5] Elvidge, C.D., Chen, Z., Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 54, No. 1, 1995, pp. 38-48.

[6] Yari, M., Porkhabbaz, F., Tavakkoli, M., and Aghdar, H., Vegetation mapping and monitoring of its change using remote sensing and GIS techniques (Case Study: Behbahan Township). *Journal of Geographic Information*, Vol. 23, No. 92, 2014, pp. 23-34.

[7] Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F., Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 2, 1996, pp. 98-107.

[8] Darwish, T., Faour, G., Rangeland degradation in two watersheds of Lebnon. *Lebanese Science Journal*, Vol. 9, 2008, pp. 71-80.

[9] Huang, C., Asner, C.P., Applications of remote sensing to alien invasive plant Studies. *Sensors*, Vol. 9, 2013, pp. 4869- 4889.

[10] Ahamed, A., Bolten, J.D., A MODIS-based automated flood monitoring system for southeast asia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 61, 2017, pp. 104-117.

[11] Kaivosoja, J., Jackenkroll, M., Linkolehto, R., Weis, M., Gerhards, R., Automatic control of farming operations based on spatial web services. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 100, 2014, pp. 110-115.

[12] Gopinath, G., Free data and open source concept for near real time monitoring of vegetation health of Northern Kerala, India. *Aquatic Procedia*, Vol. 4, 2015, pp. 1461-1468.

[13] Gopinath, G., Ambili, G.K., Gregory, S.J., Anusha, C.K., Drought risk mapping of south-western state in the Indian peninsula – A web based application. *Journal of Environmental Management*, Vol. 161, 2015, pp. 453-459.

[14] Astsatryan, H., Hayrapetyan, A., Narsisian, W., Asmaryan, S., Saghatelyan, A., Muradyan, V., Giuliani, G., Guigoz, Y., Ray, N., 2015. An interoperable cloud-based scientific GATEWAY for NDVI time series analysis. *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 41, 2015, pp. 79-84.

[15] Van Leeuwen, W.J.D., Orr, B.J., Marsh, S.E., Herrmann, S.M., Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 100, No. 1, 2006, pp. 67-81.

[16] Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 1999. Remote Sensing and Image Interpretation. JOHN WILEY & SONS Publication.

[17] Chaves, P.S., et al., An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 24, 1988, pp. 459-479.