



مجله جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۳۹۷، دوره ۱، شماره ۱

## افزایش صحت استخراج اطلاعات از داده‌های سنجنده *OLI* با استفاده از روش *FFT-IHS*

حسن حسینی مقدم<sup>۱\*</sup>، علی اصغر تراهی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد سنجنش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.

۲- استادیار گروه سنجنش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران

[www.h.moghaddam@gmail.com](mailto:www.h.moghaddam@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۴

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر، به‌کارگیری روش *FFT\_IHS* به‌منظور افزایش صحت استخراج اطلاعات از داده‌های سنجنده *OLI*، ماهواره لندست ۸ است. برای این منظور پنجره‌ای از تصاویر سنجنده *OLI*، شهرستان اردبیل انتخاب و بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های موردنیاز از جمله تصحیح اتمسفریک، باندهای چند طیفی و پانکروماتیک با استفاده از روش *FFT\_IHS*، با یکدیگر ادغام گردیدند. به‌منظور ارزیابی قابلیت روش *FFT\_IHS* در افزایش صحت استخراج اطلاعات، اقدام به برداشت نمونه‌های آموزشی از تصاویر قبل و بعد از اعمال این روش گردید. همبستگی بین نمونه‌های آموزشی با استفاده از شاخص جفریس ماتوسیتا مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج این شاخص نشانگر همبستگی پایین بین نمونه‌های برداشت شده بود. در ادامه نمونه‌های آموزشی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان شعاعی در ۸ کلاس کاربری طبقه‌بندی شد. نتایج تحقیق نشان داد که طبقه‌بندی تصویر قبل از ادغام باندها دارای صحت کلی ۸۸٫۳ درصد و ضریب کاپا ۰٫۸۷ بوده و بعد از ادغام به روش *FFT\_IHS* صحت کلی به ۹۶٫۳ درصد و ضریب کاپا ۰٫۹۶ افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: *OLI*، *FFT\_IHS*، ادغام، شاخص جفریس ماتوسیتا، ماشین بردار پشتیبان شعاعی.

در سال‌های اخیر تکنیک‌های متعددی به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده است (Grochala and Kedzierski, 2017, 1-21). این تکنیک‌ها به منظور استخراج اطلاعات قابل اعتماد از عوارض و ویژگی‌های سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند (Brooks, 2013 & Watanabe et al, 2017, 1-14). تکنیک‌های ادغام تصاویر یکی از روش‌هایی است که به منظور بهبود صحت استخراج اطلاعات از تصاویر به کار برده می‌شود (Gautam and Datar, 2017, 161-167 & Sahu and Parsai, 2012, 4298-4301). روش‌های مختلفی جهت ادغام داده‌ها وجود دارد (Pohl and Vangendern, 2016, 93). تبدیل موجک (Nalini et al, 2016, 111-115) PC (Sahu and Parsai, 2012, 4298-4301) IHS (Gharbai et al, 2014) و روش‌های هیبرید<sup>۲</sup> (Kaur, 2016, 15661-15667). در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های هیبریدی که از نقاط قوت چند الگوریتم به طور هم‌زمان استفاده می‌کنند رو به افزایش است (Dhava and Kumar Garg, 2014, 44-48). روش IHS یکی از روش‌های ادغام تصاویر سنجش‌ازدوری است (علیمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۱۹-۱۳۷)، در این روش، اساس کار بر جابجایی یکی از لایه‌ها با تصویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتر است. تبدیل رنگی IHS به طور مؤثر اطلاعات مکانی (I)، را از طیفی (H, S)، جدا می‌کند (اشتهدادی و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۱۷-۱۳۴). استفاده از انواع تبدیلات نیز در بهبود صحت استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای بسیار مؤثر است (حسنی مقدم، ۱۳۹۶، ۳۹). تبدیل فوریه<sup>۳</sup> به عنوان یکی از پرکاربردترین تبدیلات در حوزه پردازش تصاویر بوده و بسیار مورد توجه محققین جهت استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش‌ازدوری می‌باشد (Cevikalp and Kurt, 2017, 247-261). تبدیل فوریه یک سیگنال را به سری‌های فوریه آن تجزیه می‌کند و نشان می‌دهد که چه فرکانس‌هایی در سیگنال وجود دارد یا نه (Shenbaga Ezhil, 2017, 574-577). از جمله روش‌هایی که بر اساس ترکیب با تبدیل فوریه ارائه شده است، روش FFT-IHS<sup>۴</sup> است که علاوه بر به کارگیری تکنیک IHS در ادغام، از فیلترینگ فوریه سریع نیز استفاده می‌کند (بشیرپور و همکاران، ۱۳۹۵).

ژائو و همکاران (۲۰۱۷)، در تحقیقی به ارزیابی روش‌های حذف اثر Haze به منظور افزایش صحت طبقه بندی تصاویر لندست پرداخته‌اند. در این تحقیق آن‌ها از دو روش HF و VCP، به منظور حذف اثر Haze در تصاویر لندست استفاده کرده و کارایی هر کدام را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که خروجی روش VCP نسبت به روش

<sup>1</sup> Wavelet Transform

<sup>2</sup> Hybrid fusion Techniques

<sup>3</sup> Fourier Transform

<sup>4</sup> Fast Fourier Transform- Intensity Hue Saturation

*HF* بسیار به تصویر اصلی شباهت دارد. بع علاوه خروجی های تحقیق آن ها نشان داد که حذف اثر *Haze* با استفاده از روش *VCP*، باعث افزایش صحت طبقه بندی تصاویر لندست در مقایسه با تصویر اولیه شده است. کائور و میتال (۲۰۱۵)، یک روش ادغام هیبریدی جدید بر پایه تبدیل موجک ارائه کرده اند. در این تحقیق آن ها ابتدا الگوریتم ادغام تبدیل موجک را مورد ارزیابی قرار داده و یک روش هیبرید بر اساس ترکیب الگوریتم های *DCT*، و واریانس پیشنهاد داده و نتایج حاصل از این روش را با روش های هیبرید موجک مورد ارزیابی قرار داده اند که نشانگر برتری روش پیشنهادی در ادغام تصاویر بوده است.

حسنى مقدم و همکاران (۲۰۱۸)، به ارزیابی روش های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربری اراضی پرداخته اند. در این تحقیق آن ها ابتدا مفاهیم هر یک از روش های مورد استفاده را توضیح داده و اقدام به طبقه بندی داده لندست با استفاده از هر یک از الگوریتم ها و با نمونه ورودی یکسان نموده اند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در تهیه نقشه کاربری اراضی بالاترین صحت را نسبت به روش های شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال داشته است.

جوان و حسنى مقدم (۱۳۹۶)، تحقیقی با عنوان آشکارسازی میزان تخریب جنگل های هیرکانی با استفاده از تصاویر ماهواره ای و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان انجام داده اند. در این تحقیق آن ها از داده های سنجنده های *ETM+* و *OLI*، در فاصله سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ استفاده کردند. در این تحقیق آن ها باند های پانکروماتیک و چند طیفی هر دو سنجنده را با استفاده از روش *IHS* ادغام کردند و اقدام به آشکارسازی تخریب جنگل نمودند. نتایج کار آن ها نشان داد ۱۰ هزار هکتار از این جنگل ها در طی این سال ها تخریب شده است.

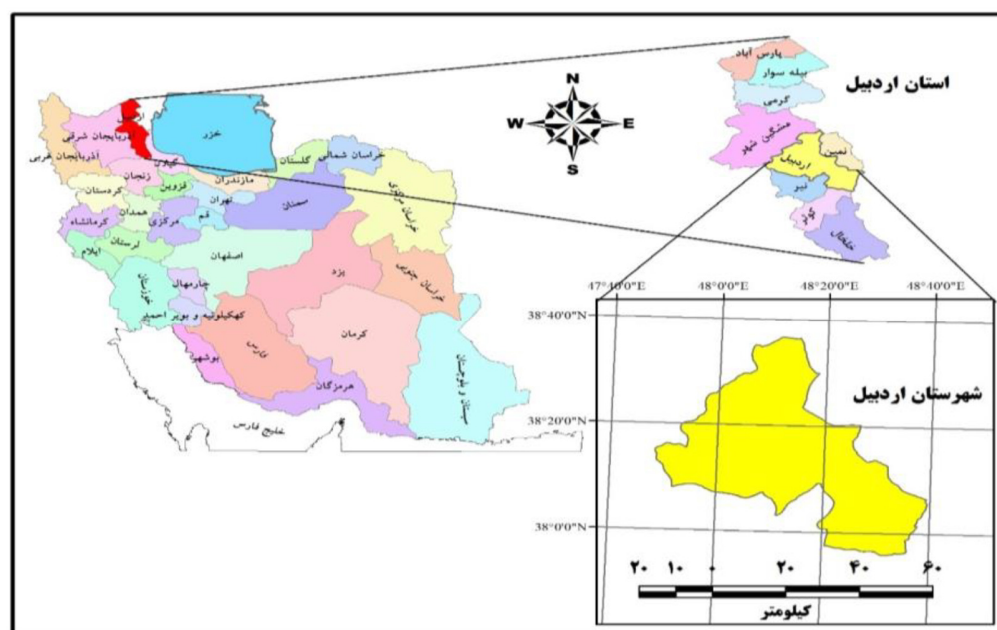
حسنى مقدم (۱۳۹۶)، به ارزیابی عملکرد تبدیل موجک با الگوریتم های سطح اتخاذ تصمیم در ادغام تصاویر فراطیفی با تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا اقدام نموده است. در این تحقیق از داده های فراطیفی هایپریون و پانکروماتیک *OrbView3*، استفاده کرده است. در این تحقیق چهار سطح تجزیه موجک هار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج تحقیق نشان داد که تجزیه تصویر در سطح چهارم موجک هار بیشترین میزان دقت و صحت ادغام را داشته است. در تحقیق پیش رو، به منظور بهبود صحت استخراج اطلاعات از داده های سنجنده *OLI*، از روش *FFT\_IHS* استفاده گردید و نتایج حاصل از آن با استفاده از تصاویر قبل از اعمال این روش مقایسه گردید و ارزیابی گردید.

## ۲- مواد و روش ها

در این بخش به معرفی منطقه مورد مطالعه، داده های استفاده شده و روش های پیاده سازی شده پرداخته می شود.

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شهرستان اردبیل واقع در مرکز استان اردبیل می‌باشد. مساحت این شهرستان  $۲۵۶۵۸۳/۸$  هکتار بوده و پست‌ترین ارتفاع آن  $۱۲۹۴$  متر و بالاترین ارتفاع  $۴۸۱۱$  متر از سطح دریا می‌باشد. اقلیم شهرستان اردبیل بر اساس روش آمبرژه، نیمه‌خشک با پوشش گیاهی استپی بوده و متوسط بارش و دمای سالیانه آن به ترتیب  $۳۱۸/۴$  میلی‌متر و  $۱۴/۸۷$  سانتی‌گراد می‌باشد (تراهی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

## ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق پنجره‌ای از تصاویر سنجنده *OLI* مربوط به ماهواره لندست ۸ به تاریخ ۲ تیرماه ۱۳۹۴ از شهرستان اردبیل اخذ گردید. قدرت تفکیک مکانی باندهای چند طیفی سنجنده *OLI* معادل ۳۰ متر بوده و باند پانکروماتیک این سنجنده دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر است. تصاویر سنجنده *OLI* همراه با تصحیحات هندسی ارائه می‌شوند و نیازی به تصحیح ندارند ولی به منظور اعمال تصحیحات اتمسفریک، از روش *Log Resigual* استفاده گردید. سپس به منظور بهبود قدرت تفکیک مکانی، داده مورد استفاده با استفاده از روش *FFT-IHS* با باند پانکروماتیک همان سنجنده ادغام گردید.

### ۳-۲- تبدیل فوریه

در قرن ۱۹ میلادی، یک ریاضیدان فرانسوی به نام جوزف فوریه نشان داد که هر تابع متناوب را می‌توان برحسب مجموع نامتناهی از توابع پایه سینوسی و کسینوسی نوشت (حقانی، ۱۳۹۶، ۱-۳۴). سال‌ها بعد از کشف این خاصیت شگفت‌انگیز توابع متناوب، این ایده تحت عنوان تبدیل فوریه به سایر توابع نیز تعمیم داده شد. پس‌ازاین تعمیم بود که تبدیل فوریه به‌عنوان ابزاری کارآمد در محاسبات کامپیوتر وارد گردید. تبدیل فوریه، یک سیگنال را به مجموعه‌ای نامتناهی از توابع نمایی تقسیم می‌کند که هرکدام از آن‌ها دارای فرکانس‌های مختلفی می‌باشند (صیادی، ۱۳۸۷). طبق این تعریف، تبدیل فوریه سیگنال پیوسته در زمان  $x(t)$  به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $t$  زمان و  $f$  فرکانس است. نحوه عملکرد تبدیل فوریه به این صورت است که ابتدا سیگنال زمانی، در یک تابع نمایی مختلط ( $e^{-j2\pi ft} dt$ )، ضرب می‌شود. درگام بعد، از این حاصل ضرب انتگرال زمانی گرفته می‌شود. درنهایت اگر حاصل این انتگرال عدد بزرگ باشد، می‌گوییم سیگنال  $x(t)$  یک مؤلفه فرکانسی برجسته در فرکانس  $f$  دارد. اما اگر حاصل این انتگرال گیری عدد کوچکی به دست بیاید، می‌گوییم فرکانس  $f$  در سیگنال غالب نیست. صفر بودن حاصل انتگرال به معنی عدم وجود چنین فرکانسی است (حسنى مقدم، ۱۳۹۶، ۴۰).

### ۴-۲- روش IHS

این روش یکی از متداول‌ترین روش‌های ادغام در سال‌های اخیر بوده است. این روش وقتی همبستگی بین مؤلفه‌های رنگی زیاد باشد، به بالا بردن کیفیت و تنظیم رنگ کمک می‌کند. در این روش از این خاصیت بهره‌برداری شده است که بخش قابل توجه اطلاعات مکانی از سایه‌روشن‌های درون تصویر و جاهایی ناشی می‌شود که تغییر شدت روشنایی در آن‌ها زیادتر قرار دارد (قاسمیان یزدی و الیاسی، ۱۳۸۹، ۵۷-۸۱). به‌هرحال این روش در تقویت ویژگی‌های  $I$  است؛ یعنی این تغییرات در مؤلفه مکانی<sup>۵</sup> محدودیت دارد. برای ادغام با این روش، ابتدا تصویر تک‌رنگ با تصاویر چند طیفی هم مختصات می‌شود و نمونه‌گیری مجدد<sup>۶</sup> برای قرار گرفتن ارزش‌های پیکسل تصاویر چند طیفی در مکان جدید خود در تصاویر هم مختصات شده، انجام می‌گیرد. در مرحله بعد سه بانده از تصاویر چند طیفی از فضای  $RGB$  به فضای  $IHS$  تبدیل می‌شود.  $I$  شدت روشنایی،  $H$  میزان رنگ متناسب با طول موج روشنایی و  $S$  درجه اشباع میزان خلوص رنگ است.

<sup>5</sup> Spatial Component

<sup>6</sup> Resampling

سپس هیستوگرام تصویر تک‌رنگ با هیستوگرام مؤلفه شدت  $I$  هماهنگ می‌شود و تصویر تک‌رنگ اصلاح‌شده جایگزین مؤلفه شدت می‌شود. در پایان تصویر تک‌رنگ اصلاح‌شده به همراه مؤلفه‌های فام ( $H$ ) و اشباع ( $S$ ) با تبدیل معکوس  $IHS$  به  $RGB$  برگردانده می‌شود. تصویر به‌دست‌آمده دارای دقت مکانی تصویر تک‌رنگ و دقت طیفی تصاویر چند طیفی خواهد بود (جوان و حسنی مقدم، ۱۳۹۶، ۱-۱۱).

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}, \begin{cases} H = \tan^{-1}\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \\ S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \end{cases} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در رابطه بالا، تبدیل  $RGB$  به  $IHS$  و معکوس این تبدیل است. در این رابطه  $v$  متغیرهای واسط هستند، که خصوصیات  $H$  و  $S$  را اعمال می‌کنند.

#### ۴-۲- $FFT\_IHS$ روش

ایده اصلی این روش جایگذاری جزئی تصویر پانکروماتیک با مؤلفه شدت می‌باشد. که این جایگذاری جزئی بر اساس فیلترینگ فوریه سریع انجام می‌گیرد. در این روش پس از رجیستر کردن دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد تصور چند طیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک، تصویر چند طیفی به سیستم  $IHS$  منتقل می‌شود. سپس مؤلفه شدت و تصویر پانکروماتیک به فضای فوریه منتقل شده و فیلتر بالاگذر روی تصویر پانکروماتیک و فیلتر پایین گذر روی مؤلفه شدت در فضای فوریه اعمال می‌شود و روی هر دو تصویر پس از اعمال فیلتر، تبدیل معکوس فوریه انجام می‌شود. در نهایت پس از جایگذاری اطلاعات فرکانس بالا از تصویر پانکروماتیک با همان قسمت از مؤلفه شدت و تطابق هیستوگرامی مؤلفه شدت جدید با مؤلفه شدت اصلی، تبدیل معکوس  $IHS$  جهت انتقال به سیستم  $RGB$  اعمال می‌شود. اعمال فیلتر پایین گذر روی تصویر شدت باعث حذف بخش فرکانس بالای مؤلفه شدت می‌شود. برای اعمال فیلتر بالاگذر و پایین گذر جهت جدا نمودن اطلاعات فرکانس بالا و پایین، از فیلترهای مختلفی از جمله هنینگ<sup>۷</sup>، باترورس<sup>۸</sup>، و گوسین<sup>۹</sup> می‌توان استفاده کرد (بشیرپور و همکاران، ۱۳۹۶، ۱۲۳-۱۴۰).

<sup>7</sup> Hanning

<sup>8</sup> Butterworth

<sup>9</sup> Gaussian

## ۲-۵- طبقه‌بندى داده‌ها

با توجه به بررسى هاى ميدانى و تفسير بصرى تصوير، تعداد ۸ کلاس کاربرى شامل آب، اراضى برفى، اراضى مرتعى غنى، مراتع فقير(تخریب یافته)، اراضى باير، اراضى کشاورزى، اراضى آيش و اراضى مسكونى انتخاب و اقدام به نمونه‌بردارى از تصاویر گردید. تعداد ۲۰۰ نمونه آموزشى براى هر کلاس از تصاویر قبل از اعمال روش *FFT-IHS* و بعد از اعمال اين روش انتخاب گردید و با استفاده از شاخص جفریس ماتوسیتا<sup>۱۰</sup> میزان تفکیک‌پذیرى نمونه‌ها از یکدیگر ارزیابى گردید. به منظور طبقه‌بندى تصاویر، از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعى که در بسيارى از تحقیقات پیشنهادشده (تراهى و همکاران، ۱۳۹۵)، استفاده گردید. به منظور ارزیابى صحت نقشه‌هاى خروجى، از تصاویر ماهواره *Quick Bird* استفاده گردید.

### ۲-۵-۱- شاخص جفریس ماتوسیتا

اساس اين روش بر ارزیابى میزان تفکیک نمونه‌هاى آموزشى از یکدیگر مى‌باشد. اين شاخص براى کلاس‌هاى با همبستگى بالا، نیل به صفر دارد و براى کلاس‌هاى با تفکیک‌پذیرى بالا (همبستگى پایین)، نیل به ۲ دارد. معادله شاخص جفریس ماتوسیتا به شرح زیر است:

$$J_{ij} = 2\{1 - e^{-a}\}$$

$$a = \frac{1}{8}(m_i - m_j)^t \left( \frac{\sum_i + \sum_j}{2} \right)^{-1} (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{|\sum_i + \sum_j|/2}{|\sum_i|^{1/2} \times |\sum_j|^{1/2}} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه بالا  $m_i$  و  $m_j$  به ترتیب بردارهاى میانگین براى کلاس‌هاى  $i$  و  $j$  بوده و  $\sum_i$  و  $\sum_j$  ماتریس‌هاى کواریانس براى کلاس  $i$  و  $j$  هستند (امیرانتخابى و همکاران، ۱۳۹۶، ۱-۱۱).

### ۲-۵-۲- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان (*SVM*)، یک طبقه‌بندى کننده دودویى است (Taati et al, 2014, ۶۸۷-۶۸۱). در مورد دو کلاس، ماشین بردار پشتیبان سعی بر ایجاد یک ابر صفحه دارد که فاصله هر کلاس را تا ابر صفحه حداکثر نماید. داده‌هاى نقطه‌ای که به ابر صفحه نزدیک‌ترند براى اندازه‌گیرى اين فاصله به کار مى‌روند. از این‌رو، این داده‌هاى نقطه‌ای، بردارهاى پشتیبان نام دارند (بیگدلى و صمدزادگان، ۲۵۷، ۱۳۹۳-۲۶۳). فرض کنید داده‌ها از دو کلاس تشکیل شده و کلاس‌ها در مجموع داراى  $X_i, i=1, 2, \dots, L$  نقطه آموزشى باشند که  $X_i$ ، یک بردار است. این دو کلاس با  $y_i = \pm 1$  برچسب زده مى‌شوند. براى محاسبه مرز تصمیم‌گیرى دو کلاس کاملاً جدا از هم، از روش حاشیه بهینه استفاده مى‌شود. در این روش

<sup>10</sup> Jeffries Matusita

مرز خطی بین دو کلاس به گونه‌ای محاسبه می‌شود که تمام نمونه‌های کلاس ۱+ در یک طرف مرز و تمام نمونه‌های کلاس ۱- در طرف دیگر باشند و همچنین مرز تصمیم‌گیری به گونه‌ای باشد که فاصله نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی هر دو کلاس از یکدیگر در راستای عمود بر مرز تصمیم‌گیری تا جایی که ممکن است حداکثر شود (Akbari et al, 2012, ۸۴-۵۷).

به صورت کلی یک مرز تصمیم‌گیری را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$W.X+b=0$$

(رابطه ۴)

که در آن  $X$ ، یک نقطه روی مرز تصمیم‌گیری و  $W$ ، یک بردار  $n$  بعدی عمود بر مرز تصمیم‌گیری است.  $b/\|w\|$  فاصله مبدأ تا مرز تصمیم‌گیری و  $W.X$  بیانگر ضرب داخلی دو بردار  $W$  و  $X$  است. از آنجا که با ضرب یک ثابت در دو طرف، باز هم تساوی برقرار خواهد بود، برای تعریف یکتای مقدار  $b$  و  $W$  شرایط زیر روی آن‌ها اعمال می‌شود:

$$\rightarrow y_i (w.x_i+b)=1 \text{ اگر } x_i \text{ یک بردار پشتیبان باشد}$$

$$\rightarrow y_i (w.x_i+b)>1 \text{ اگر } x_i \text{ یک بردار پشتیبان نباشد}$$

اولین مرحله برای محاسبه مرز تصمیم‌گیری بهینه، پیدا کردن نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی دو کلاس است. در مرحله بعد فاصله آن نقاط از هم در راستای عمود بر مرزهایی که دو کلاس را به طور کامل جدا می‌کنند محاسبه می‌شود. مرز تصمیم‌گیری بهینه با حل مسئله بهینه‌سازی زیر محاسبه می‌شود:

$$\max_{w,b} \min_{i=1,\dots,L} \left[ y_i \frac{(w.x_i+b)}{|w|} \right]$$

با توجه به شرایط ذکر شده برای تعریف یکتای مقدار  $b$  و  $W$ ، رابطه بالا به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|W\|^2, y_i(W.X_i + b) - 1 \geq 0, i = 1, \dots, L \quad (\text{رابطه ۵})$$

حل کردن مسئله بهینه‌سازی کار مشکلی است. برای ساده‌تر کردن آن با استفاده از روش ضرایب نامعین لاگرانژ که روشی جهت بهینه‌سازی به منظور یافتن بیشینه و کمینه موضعی برای توابع با داشتن یک یا چند قید برابری می‌باشد، این مسئله بهینه‌سازی را می‌توان به فرم زیر تبدیل کرد که  $\lambda_i$  ها ضرایب لاگرانژ می‌باشند (Hsu and et al, 2003, 10).

$$\max_{\lambda, \dots, \lambda_L} \left[ -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \lambda_i y_i (X_i, X_j) \lambda_j y_j + \sum_{i=1}^L \lambda_i \right] \quad \lambda_i \geq 0, i = 1, \dots, L$$

(رابطه ۶)

پس از حل مسئله بهینه‌سازی بالا و یافتن ضرایب لاگرانژ،  $W$  با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$W = \sum_{i=1}^L \lambda_i y_i X_i$$



$\lambda_i$  بردارهاى پشتيبان بزرگتر از صفر و نقاط ديگر صفر خواهد بود. بنابر اين با توجه به معادله فوق و صفر بودن  $\lambda_i$  مربوط به  $X_i$  هاى كه بردار پشتيبان نيستند، براى به دست آوردن مرز تصميم گيرى فقط نياز به تعداد محدودى از نقاط آموزشى كه همان بردارهاى پشتيبانند است. پس از يافتن  $W$  با استفاده از رابطه زير مقدار  $b$  به ازاي بردارهاى پشتيبان مختلف محاسبه شده و  $b$  نهايى با ميانگين گيرى از  $b$  هاى حاصل، به دست مى آيد.

$$\lambda_i [y_i(W \cdot X_i + b) - 1] = 0 \quad i =$$

$1, \dots, L$

طبقه بندى كننده نهايى از رابطه زير به دست مى آيد:

$$f(X, W, b) = \text{sgn}(wW \cdot X + b) \quad \text{(رابطه ۸)}$$

الگوريتم بالا مرز خطى بين دو كلاس كاملاً جدا از هم را نشان مى دهد. اما در حالتى كه كلاس ها باهم همپوشانى داشته باشند جدا كردن كلاس ها به وسيله مرز تصميم گيرى خطى همواره با خطا همراه خواهد بود. براى حل اين مشكل مى توان ابتدا داده ها را از فضاى اوليه  $R^n$  با استفاده از يك تبديل غيرخطى  $\phi$ ، به فضاى با ابعاد بيشتري منتقل كرد كه در فضاى جديد كلاس ها تداخل كمترى با يكديگر داشته باشند. سپس در فضاى جديد با استفاده از معادلات قبلى و جاىگزينى  $X_i$  با  $X_i(\phi)$  و در نظر گرفتن مقدارى خطا، مرز تصميم گيرى بهينه محاسبه مى شود (Gomez chova and et al, 2011, 171-206). با توجه به اين امر و معادله بالا در اين حالت يافتن مرز تصميم گيرى بهينه و حل مسئله بهينه سازى به صورت زير تبديل مى شود:

$$\max_{\lambda_1, \dots, \lambda_L} \left[ -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \lambda_i y_i (\phi(X_i), \phi(X_j)) \lambda_j y_j + \sum_{i=1}^L \lambda_i \right] \quad C \geq \lambda_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, L$$

$$\sum_{i=1}^L \lambda_i Y_i = 0 \quad \text{(رابطه ۹)}$$

در اين مسئله مقدار بهينه سازى  $C$  يك عدد ثابت است. اگر  $C \rightarrow \infty$ ، مسئله بهينه سازى به سمت يافتن يك مرز براى رده هاى با تداخل بسيار زيادتر پيش مى رود. از طرف ديگر اگر  $C \rightarrow 0$ ، مسئله بهينه سازى به سمت يافتن مرز بهينه جداكننده دو كلاس با تداخل بسيار كمى پيش خواهد رفت. در رابطه بالا معمولاً از يك تابع کرنل كه به صورت زير تعريف مى گردد استفاده مى شود:

$$k(X_i, X_j) = \phi(X_i) \phi(X_j)$$

پس از تعيين يك  $k(X_i, X_j)$  مناسب، در معادله بالا به جاى  $\phi(X_i) \phi(X_j)$ ، تابع  $k(X_i, X_j)$  قرار داده شده و مسئله بهينه سازى حل مى شود.  $k(X_i, X_j)$  در واقع يك تابع در فضاى اوليه است كه برابر با ضرب داخلى دو بردار در فضاى ويژگى است. براى معادل بودن تابع  $k(X_i, X_j)$  با ضرب داخلى دو بردار در فضاى ويژگى، بايد  $k(X_i, X_j)$  يك تابع

معین مثبت متقارن بوده و در شرط مرور صدق کند. برخی از مهم‌ترین توابع هسته‌ای (کرنل) که در این شرط صدق می‌کنند، عبارت‌اند از:

$$K(X_i, X_j) = X_i \cdot X_j \quad \text{کرنل خطی}$$

$$k(X, y) = (X \cdot y + 1)^p \quad \text{کرنل چندجمله‌ای}$$

$$k(X, y) = e^{-\|x-y\|^2 / 2\sigma^2} \quad \text{کرنل پایه شعاعی}$$

$$k(X, y) = \tanh(kX \cdot y - \delta) \quad \text{کرنل حلقوی}$$

### ۳- بحث نتایج

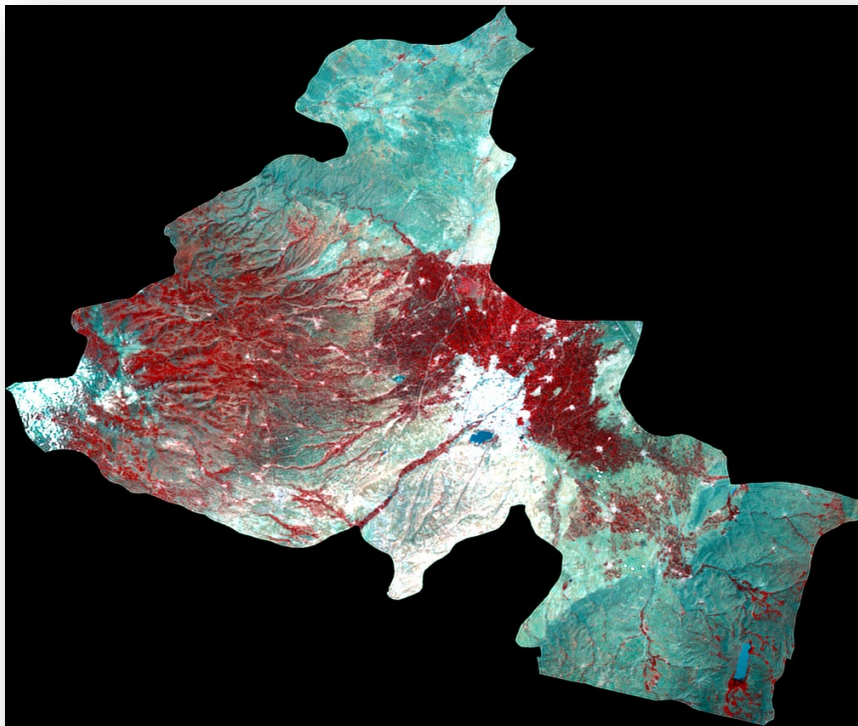
صحت طبقه‌بندی تصاویر سنجش‌ازدوری به‌شدت وابسته به کیفیت برداشت نمونه‌های آموزشی جهت طبقه‌بندی است. همبستگی بین نمونه‌های آموزشی اگر از مقدار معینی بیشتر باشد منجر به ایجاد همپوشانی بین کلاس‌ها شده و صحت نقشه‌های خروجی را پایین می‌آورد. با استفاده از روش جفریس ماتوسیتا میزان همبستگی بین نمونه‌های آموزشی در دو تصویر قبل و بعد از اعمال روش *FFT-IHS*، مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۱)، آورده شده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از آزمون جفریس ماتوسیتا بر روی نمونه‌های آموزشی قبل و بعد از اعمال روش *FFT-IHS*

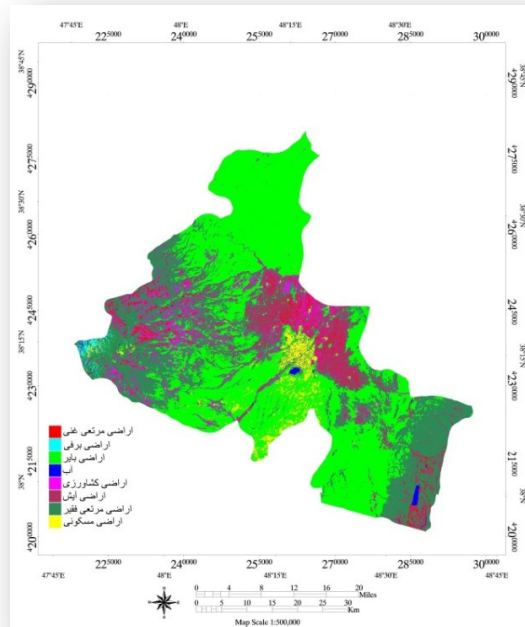
	اراضی مسکونی	اراضی بایر	اراضی مرتعی فقیر	اراضی آیش	اراضی کشاورزی	آب	اراضی برفی	اراضی مرتعی غنی
قبل	۲	۱,۹۹	۱,۹۹	۲	۱,۹۹	۲	۲	اراضی مرتعی غنی
<i>FFT-IHS</i>	۲	۱,۹۹	۱,۹۲	۱,۵۱	۱,۶۱	۲	۲	اراضی مرتعی غنی
قبل	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	اراضی برفی
<i>FFT-IHS</i>	۱,۹۸	۱,۹۹	۲	۲	۲	۲	۲	اراضی برفی
قبل	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	آب
<i>FFT-IHS</i>	۲	۱,۹۹	۲	۲	۲	۲	۲	آب
قبل	۲	۱,۹۹	۲	۲		۲	۲	اراضی کشاورزی
<i>FFT-IHS</i>	۲	۲	۱,۹۹	۱,۹۸		۲	۲	اراضی کشاورزی
قبل	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	اراضی آیش
<i>FFT-IHS</i>	۲	۲	۱,۹۹	۱,۹۸	۱,۵۱	۲	۲	اراضی آیش
قبل	۲	۱,۹۶		۲	۲	۲	۲	اراضی مرتعی غنی

<i>FFT-IHS</i>	اراضى مرتعى فقير	۱,۹۲	۲	۲	۱,۹۹	۱,۹۹		۱,۹۶	۲
	قبل	۱,۹۹	۲	۲	۱,۹۹	۲	۱,۹۶		۲
<i>FFT-IHS</i>	باير	۱,۹۹	۱,۹۹	۱,۹۹	۲	۲	۱,۹۶		۱,۹۷
	قبل	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	
<i>FFT-IHS</i>	مسكونى	۲	۱,۹۸	۲	۲	۲	۲	۱,۹۷	

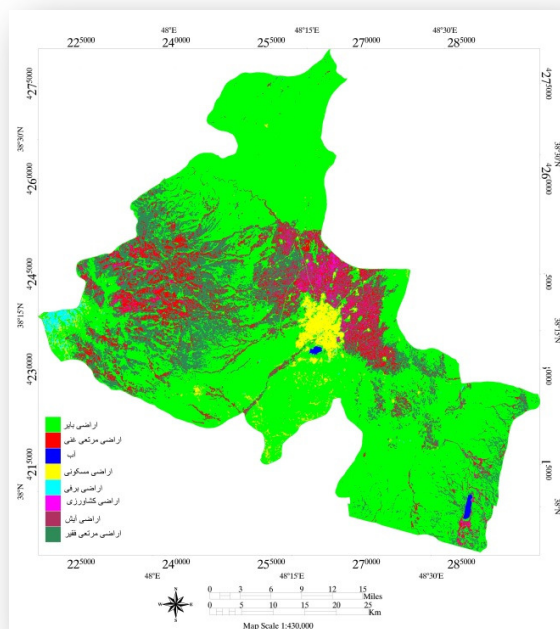
همان‌گونه که در جدول (۱)، آورده شده است، نمونه‌های آموزشی دارای همبستگی پایینی با یکدیگر بوده و بسیاری از نمونه‌ها اصلاً با یکدیگر همبستگی ندارند که نشانگر صحت نمونه‌های آموزشی برداشت‌شده به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر است. شکل (۲)، نتایج حاصل از ادغام باندهای چند طیفی و پانکروماتیک سنجنده *OLI* را با استفاده از روش *FFT-IHS* نشان می‌دهد. طبقه‌بندی تصاویر قبل و بعد از اعمال روش *FFT-IHS*، با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و با کرنل شعاعی انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که طبقه‌بندی تصویر بدون ادغام باندهای چند طیفی و پانکروماتیک، دارای ضریب کاپا ۰,۸۷ بوده و بعد از ادغام باندهای سنجنده *OLI*، ضریب کاپا به ۰,۹۶ افزایش پیدا کرده است. شکل‌های (۳ و ۴)، نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر قبل و بعد از اعمال روش *FFT-IHS* را نشان می‌دهند.



شکل ۲. ادغام باندهای پانکروماتیک و چند طیفی سنجنده *OLI* با استفاده از روش *FFT\_IHS*.



شکل ۳. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر قبل از ادغام باندهای چند طیفی و پانکروماتیک



شکل ۴. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر بعد از اعمال روش *FFT-IHS*

صحت كلى و ضريب كاپا مربوط به هر كدام از خروجى هاى قبل و بعد از اعمال روش *FFT-HIS* در جدول (۲)، آورده شده است.

جدول ۲. صحت كلى و ضريب كاپا تصوير قبل و بعد از اعمال روش *FFT\_IHS*

	صحت كلى	ضريب كاپا
تصوير اصلى	۸۸,۳	۰,۸۷
<i>FFT_IHS</i>	۹۶,۳	۰,۹۶

همان گونه كه در جدول (۲)، نشان داده شده است، بعد از اعمال روش *FFT\_IHS*، صحت كلى و ضريب كاپا به طور محسوسى افزايش يافته است و ضريب كاپا از ۰,۸۷ به ۰,۹۶ افزايش پيدا كرده است.

### ۳- نتيجه گيرى

استخراج اطلاعات از تصاوير سنجش از دورى نياز به داشتن دانش بالا در زمينه سنجش از دور داشته و در اين بين انتخاب روش استخراج اطلاعات بسيار اهميت دارد. در تحقيق حاضر به منظور افزايش صحت استخراج اطلاعات از تصاوير سنجنده *OLI*، از روش *FFT\_IHS* استفاده گرديد و عملکرد آن با نتايج حاصل از استخراج اطلاعات از تصوير قبل از اعمال اين روش مقايسه گرديد. روش *FFT\_IHS*، يکى از روش هاى بسيار کارآمد در ادغام تصاوير بوده و علاوه بر قابليت هاى روش *IHS*، از فيلترينگ فوريه سريع نيز استفاده مى کند كه اين عامل سبب بهبود روش ادغام شده و محتوى فرکانسى تصوير بهبود پيدا مى کند. نتايج تحقيق بيانگر عملکرد قابل قبول اين روش بوده و نشان داد كه استفاده از روش *FFT\_IHS* به منظور ادغام باندهاى چند طيفى و پانكروماتيك سنجنده *OLI*، موجب افزايش صحت استخراج اطلاعات از داده هاى اين سنجنده مى شود. يکى از دلایل افزايش ميزان ضريب كاپا و صحت كلى بعد از ادغام داده ها، افزايش قدرت تفكيك مكاني تصوير بوده كه صحت نمونه بردارى از كلاس ها را افزايش مى دهد. همچنين اعمال تبديل فوريه بر روى تصوير نويز داده را کاهش داده و فرکانس هاى مورد نظر را برجسته تر مى کند. پيشنهاده مى گردد كه اين روش در ادغام داده هاى چند سنجنده اى مورد استفاده قرار گرفته و نتايج با خروجى هاى تك سنجنده ها ارزيابى و مقايسه گردد.

### منابع:

امير انتخابى، شهرام. جوان، فرهاد. و حسنى مقدم، حسن (۱۳۹۶). آشكارسازى تغييرات کاربرى اراضى و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از شبكه عصبى مصنوعى. کاربرد سيستم اطلاعات جغرافيايى و سنجش از دور در برنامه ريزى، دوره (۸)، ۱۱-۱.

اشتهاردى، ابوالفضل. عبادى، حميد. ولدان زوج، محمدجواد. و محمدزاده، على (۱۳۸۴). ارزيابى و مقايسه روش هاى تلفيق تصاوير *ETM+* و پانكروماتيك اسپات. انجمن جغرافيايى ايران، دوره (۳)، ۱۳۴-۱۱۷.

- بیگدلی. بهناز. و صمدزادگان، فرهاد. (۱۳۹۳). طبقه‌بندی داده‌های فراطیفی بر اساس سیستم‌های ماشین‌های بردار پشتیبان چندگانه با استفاده از گروه‌بندی باندهای طیفی. نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، ۴، ۲۶۳-۲۵۷.
- بشیرپور، مرتضی. ولدان زوج، محمدجواد. و مقصودی، یاسر (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های تلفیق مبتنی بر *IHS* و *PCA* به منظور تلفیق تصاویر هایپریون و *Cartosat-1*. نشریه سنجش‌ازدور و *GIS* ایران. دوره (۴).
- بشیر پور، مرتضی. ولدان زوج، محمدجواد. و مقصودی، یاسر (۱۳۹۶). تلفیق تصاویر سنجش‌ازدوری با روش *FFT-PCA*. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دوره (۵)، ۱۴۶-۱۲۳.
- تراهی، علی اصغر. حسنی مقدم، حسن. و عدلی عتیق، رسول (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در تهیه نقشه کاربری اراضی. دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران. ایران.
- تراهی، علی اصغر. عدلی عتیق، رسول و حسنی مقدم، حسن (۱۳۹۴). ارزیابی قابلیت الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه کاربری اراضی. اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران. ایران.
- جوان، فرهاد و حسنی مقدم، حسن (۱۳۹۶). آشکارسازی میزان تخریب جنگل‌های هیرکانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان. فصلنامه استراتژی راهبردی جنگل. دوره (۲)، ۱۱-۱.
- حسنی مقدم، حسن (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد تبدیل موجک با الگوریتم‌های سطح اتخاذ تصمیم در ادغام تصاویر فراطیفی با تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خوارزمی. استاد راهنما علی اصغر تراهی.
- حقانی، احمد (۱۳۹۶). نگاهی تاریخی به پیدایش جبر نوین و برخی از بنیادی‌ترین دستاوردهای آن. فرهنگ و اندیشه ریاضی، دوره (۳۶)، ۳۴-۱.
- علیمحمدی، عباس. شمس‌الدینی، علی. و ضیاییان، پرویز (۱۳۸۷). مقایسه عملکرد طیفی و مکانی روش‌های ترکیب تصاویر در اختلاف قدرت تفکیک‌های مختلف تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک: تهران. فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره (۱۲)، ۱۳۷-۱۱۹.
- قاسمیان یزدی، محمدحسن. و الیاسی، مصلح (۱۳۸۹). ادغام اطلاعات مکانی آیکنوس و اطلاعات طیفی اسپات ۴. فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره (۱۴)، ۸۱-۵۷.
- صیادی. امید. (۱۳۸۷). جزوه آشنایی مقدماتی با تبدیل موجک. دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی برق.
- Akbari, E., Amiri, N., & Azizi, H. (2012). Remote Sensing and Land Use Extraction for Kernel Functions Analysis by Support Vector Machines with ASTER Multispectral Imagery. Iranian Journal of Earth Sciences, 4, 75-84.*

Brooks. E. B.( 2013). “Fourier series application in multitemporal remote sensing analysis using landsat data”, Doctor of philosophy in forestry, Blacksburg, Virginia.

Cevikalp. H, & Kurt. Z.(2017). ., “The Fourier transform based description for visual object classification”, *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*, Vol, 18, pp. 247-261.

Dhavan.R, & Kumar Gang. N.(2014). “A hybrid approach of wavelet for effective image fusion for multimodal medical images”, *International journal of technical research and application*, Vol, 2 pp. 44-48.

Gómez-Chova, L., Muñoz-Marí, J., Laparra, V., Malo-López, J., & Camps-Valls, G. (2011). A review of kernel methods in remote sensing data analysis. In *Optical Remote Sensing* (pp. 171-۲۰۶). Springer, Berlin, Heidelberg.

Grochala. A, & Kedzierski. M.(2017). “A method of panchromatic image modification for satellite imagery data fusion”, *Journal of remote sensing*, Vol.9,pp. 1-21.

Gharbai. R, Taherazar. A, Elbaz. A, & Hassanien. A. E.(2014). ., “Image fusion techniques in remote sensing”, *Arxiv*.

Gautam. R, & Datar. Sh.(2017). “Application of image fusion techniques on medical images”, *International journal of current engineering and technology*, Vol.7. pp. 161-167.

Hasani Moghaddam. H, Adli Atiq. R, Gholami. J, Abasi Ghadim. A, & Zeaiean Firouz Abadi. P.(2018). “Performance Analysis of Support Vector Machine, Neural Network and Maximum Likelihood in Land use/cover Mapping and GIS”, *2nd International Conference on New Horizons in the Engineering Science*, 9th August 2018 – Istanbul. Turkey Yildiz Technical University.

Hsu, C. W., Chang, C. C., & Lin, C. J. (2003). *A practical guide to support vector classification*. Taiwan university.

Kaur. G, & Mittal. A. K.(2015). “A new hybrid wavelet based approach for image fusion”, *IJIRSET*, Vol, 4, pp. 19034-19043.

Kaur. D.(2016). “Image fusion using Hybrid techniques(PCA+SWT)”, *International journal of engineering and computer science*. Vol, 5. pp. 15661- 15667.

Nalini. M.S, Kolekar. B, & Shelkikar. R. P.(2016). ., “A review on wavelet transform based image fusion and classification”, *International journal of application or innovation in engineering and management*, Vol,5. pp. 111-115.

Pohl. Ch, & Vangendern. J.(2016). “Remote sensing image fusion: A practical guide”, *CRC press*.



- Sahu. D. K, & Parsai. M. P.(2012). "Different image fusion techniques- Acritical review", International journal of modern engineering research, Vol, 2. pp. 4298- 4301.*
- Shenbaga Ezhil. S.(2017). "Real time application of Fourier transform", Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol, 8. Pp. 574-577.*
- Taati. A., Sarmadian. F., Mousavi. A., Hossien Pour. CH., and Esmail Shahir. A.M. (2014). Land use classification using support vector machine and maximum likelihood algorithm by Landsat5 TM imagery. Engineering and Physical Sciences, 12(8), 681-687.*
- Watanabe. F, Alcantra. E, Rodriguez. Th, Rotta. L, Bernardo. N, & Imai. N.(2017). "Remote sensing of the chlorophyll-a based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A", Annals of the Brazilian academy of science, pp. 1-14.*
- Xiao. Y, Ouyang. Zh, Zhang. Zh, & Xian. Ch.(2017). "A comparison of haze removal algorithms and their impact on classification accuracy for Landsat imagery", BCG. Vol,23. Pp. 55-71.*