



# سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲  
Vol.5, No.2, Summer 2013

۷۹-۹۴

## ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام‌رنگی حاصل از سنجنده Geo Eye-1

به‌نوش مستأجران<sup>۱\*</sup>، مهدی مؤمنی<sup>۲</sup>

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشگاه اصفهان

۲. استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۸/۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۳

### چکیده

تاکنون الگوریتم‌های متفاوتی برای ادغام‌رنگی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا ارائه شده است. برای انتخاب الگوریتم ادغام‌رنگی مناسب، به معیاری برای مقایسه نیاز است که بتواند بهبود هر الگوریتم را در مقایسه با الگوریتم دیگر مشخص سازد. برای ارزیابی کیفیت طیفی الگوریتم‌ها، معیارهای آماری متعددی ارائه گردیده است. یکی از محدودیت‌های معیارهای ارائه‌شده آن است که مستقلاً برای هر پیکسل تصویر محاسبه می‌شود و به همسایگی پیکسل و جزئیات تصویر توجهی نمی‌شود. در معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی نیز فقط از همسایگی ۳×۳ استفاده می‌شود. در این تحقیق، دو دسته معیار در ترکیب با هم پیشنهاد شده است که هم کیفیت طیفی و هم کیفیت مکانی تصاویر ادغام‌شده را در سطح پیکسل و همسایگی آن ارزیابی می‌کنند. یکی از روش‌های پیشنهادی ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصاویر ادغام‌شده، مبتنی بر تبدیل موجک و دیگری مبتنی بر فیلترهای استخراج نقطه، خط، و لبه در همسایگی ۵×۵ هر پیکسل است. روش‌های پیشنهادی در ۱۳ نوع پوشش شهری متفاوت از تصاویر سنجنده Geo Eye-1 بررسی کمی شده‌اند. نواحی گوناگون شهری به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که پوشش‌ها و نوع ساختمان‌های متفاوت شهری را در بر گیرند. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی بین الگوریتم‌های ادغام‌رنگی تمایز خوبی (حدود ۸ برابر) قائل می‌شود. این قابلیت سبب می‌شود تا انتخاب الگوریتم بهینه ادغام رنگی برای هر نوع پوشش شهری، صحیح‌تر صورت گیرد.

**کلیدواژه‌ها:** تصاویر ادغام‌رنگی، ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی، تبدیل موجک، همسایگی، Geo Eye-1.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: اصفهان، میدان آزادی، دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه نقشه‌برداری. تلفن: ۰۳۱۱-۷۹۳۴۰۶۴

## ۱- مقدمه

استفاده‌شده در محاسبه این معیارهاست. در مقاله حاضر به معیارهای دسته دستة یکم پرداخته می‌شود. در دسته نخست برای انتخاب الگوریتم بهینه، روش‌های ارزیابی کیفیت مکانی از مقایسه بصری لبه‌ها در تصویر پانکروماتیک و ادغام‌رنگی (Rahmani et al., 2010) استفاده می‌کنند و در روش‌های ارزیابی کیفیت طیفی، این مقایسه بین باندهای تصویر رنگی و ادغام‌رنگی صورت می‌گیرد (Choi, 2006). در روش‌های بصری، معیارهای کمی برای بررسی‌های دقیق وجود ندارد. به‌منظور کمی کردن معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی، تحقیقات متفاوتی انجام گرفته که حاصل آن معیارهای کمی مانند SID (Chang, 1999), Correlation Coefficient (Tu et al., 2001), RMSE (Choi, 2006), EGRAS (Choi, 2006), SAM (Goetz et al., 1992), RASE (Choi, 2006) است. معیارهای کنترل کیفیت طیفی با استفاده از پارامترهای آماری (Tu et al., 2001) و یا بررسی نتایج طبقه‌بندی (Shah et al., 2007) در تصویر رنگی و ادغام‌رنگی به دست می‌آید. اگرچه معیارهای ارائه‌شده مناسب است اما توجه به جزئیات تصویر و همسایگی هر پیکسل، دقت انتخاب الگوریتم بهینه ادغام‌رنگی تصاویر را بالا می‌برد.

معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی را می‌توان براساس پارامترهای آماری تصاویر محاسبه کرد. در سال ۲۰۰۱، توو<sup>۱</sup> و همکاران، الگوریتم FIHS<sup>۲</sup> را به‌منظور ادغام‌رنگی تصاویر در دو منطقه شهری با تراکم ساختمانی متفاوت به کار بردند. آن‌ها از ضریب همبستگی<sup>۳</sup> تصویر ادغام‌رنگی و تصویر رنگی به‌عنوان معیار ارزیابی کیفیت طیفی استفاده کردند و برای ارزیابی کیفیت مکانی، معیار مذکور را در تصویر پانکروماتیک و تصویر Intensity (تصویر حاصل از میانگین ریاضی باندهای تصویر ادغام‌رنگی) محاسبه

پرتاب ماهواره‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا پیشرفت‌های شگرفی را در علم سنجش از دور به دنبال داشته است. این ماهواره‌ها تصویری پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا و طیفی پایین و تصویر چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین دارند. در بسیاری از کاربردهای علم سنجش از دور، لازم است که از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا استفاده شود. بدین منظور، تکنیک‌های ادغام‌رنگی تصاویر یا در اصطلاح Panchromatic Sharpening (Pan Sharpening) ابداع شده و رو به گسترش است. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به IHS, Brovey, PCA (vijayaraj, 2004), Gram Schmit (GS) (Nussbaum and Menz, 2008), Wavelet (Nussbaum and Menz, 2008) اشاره کرد. یکی از مسائل مطرح در تحقیقات گوناگون، معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی برای مقایسه الگوریتم‌های ادغام‌رنگی تصاویر است. معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی الگوریتم‌های ادغام‌رنگی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: دسته نخست معیارهایی هستند که از تصاویر پانکروماتیک و رنگی برای مقایسه تصاویر ادغام‌رنگی استفاده می‌کنند. در این معیارها تصاویر ادغام‌رنگی از نظر مکانی با تصویر پانکروماتیک، و از نظر طیفی با تصویر رنگی مقایسه می‌شوند و ملاک برتری و بهینه بودن‌شان، مشابهت بیشتر تصویر ادغام‌رنگی به هر یک از تصاویر پانکروماتیک و رنگی است. اما معیارهای دسته دوم به تصاویر پانکروماتیک و رنگی نیاز ندارند، و از تصویر ادغام‌رنگی استفاده می‌کنند. آنها با استفاده از فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر، تصویر ادغام‌رنگی را به تصاویر با قدرت تفکیک پایین و بالا تبدیل می‌کنند. معیارهای استفاده شده در این دسته، از تصاویر ایجادشده به جای تصاویر پانکروماتیک و رنگی استفاده می‌کنند (Zhou et al., 1998; Alparone et al., 2008; Khan et al., 2009). برخی از معیارهای به کار گرفته‌شده در این دسته تفاوت چندانی با معیارهای دسته یکم ندارند و تنها تفاوت‌شان در تصاویر

1. Tu

2. Fast Intensity Hue Saturation

3. Correlation Coefficient (CC)

در برخی تحقیقات به منظور ارزیابی کیفیت مکانی، با اعمال فیلتر شناخت نقطه در همسایگی  $3 \times 3$  هر پیکسل از تصویر پانکروماتیک و تصویر ادغام‌رنگی، ضریب همبستگی، و میانگین مربعات خطاها بین این تصاویر محاسبه می‌شود (Vijayaraj, 2004; Choi, 2006; Rahmani et al., 2010). این معیار در همسایگی  $3 \times 3$  هر پیکسل است و فقط استخراج نقاط را مدنظر قرار می‌دهد.

همسایگی فوق در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا مناسب نیست و صحیح‌تر آن است که از همسایگی وسیع‌تر هر پیکسل استفاده شود. با وجود این، محدودیت‌ها برای معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی، ایده استفاده از همسایگی هر پیکسل در سنجش کیفیت مکانی تصاویر ادغام‌رنگی بسیار مهم است. علاوه بر آن، توجه به جزئیات و عوارض تصویری به انتخاب الگوریتم ادغام‌رنگی مناسب، کمک بزرگی می‌کند. در این تحقیق، برای ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی، دو روش در ترکیب با هم پیشنهاد شده است. در روش نخست برای بررسی جزئیات و عوارض موجود در تصویر، از تبدیل موجک در سطوح مقیاسی متفاوت استفاده می‌شود، درحالی‌که هدف اصلی روش دوم، بررسی و شناخت عوارض تصویری مهم مانند نقطه، خط، و لبه<sup>۷</sup> و توجه به همسایگی وسیع‌تر هر پیکسل است. در روش پیشنهادشده، کیفیت مکانی تصاویر ادغام‌رنگی به صورت کامل‌تری از نظر استخراج خطوط و لبه‌ها و جزئیات مکانی تصویر بررسی و سنجش می‌شود. در این روش برای ارزیابی کمی نیازی به تصویر مرجع ادغام‌رنگی شده و ایده‌آل نیست، بلکه انتخاب الگوریتم بهینه ادغام‌رنگی از طریق مقایسه با تصاویر اولیه ورودی الگوریتم ادغام‌رنگی (تصویر پانکروماتیک و

کردند. معیار فوق، میزان شباهت دو تصویر را با استفاده از درجه خاکستری هر پیکسل و متوسط آماری آن‌ها محاسبه می‌کند. بنابراین، همسایگی هر پیکسل و جزئیات مکانی و طیفی تصاویر بررسی نمی‌گردد. در سال ۲۰۱۰ رحمانی و همکاران، الگوریتم جدیدی را برای ادغام‌رنگی تصاویر بر مبنای توابع انرژی و موجک ابداع کردند. معیارهای به کار رفته برای ارزیابی کیفیت طیفی از بررسی هر پیکسل تصویر و پارامترهای آماری آن، به دست می‌آید. این معیارها اغلب بر اساس میانگین مربعات خطاها<sup>۱</sup> و ضریب همبستگی است. در تحقیق آن‌ها، معیار ارزیابی کیفیت مکانی با اعمال فیلتر شناخت نقطه<sup>۲</sup> در همسایگی  $3 \times 3$  هر پیکسل تصویر ادغام‌رنگی و تصویر پانکروماتیک محاسبه شده است. اگرچه آن‌ها با استفاده از پارامترهای آماری نتایج مناسبی در مناطق گوناگون شهری کسب کردند، اما در برخی تصاویر ماهواره‌ای با افزایش ابعاد همسایگی فوق، به نتایج بهتری در نواحی شهری می‌توان رسید. پادویک و همکاران (۲۰۱۰) به منظور ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصاویر ادغام‌رنگی در منطقه‌ای با پوشش‌های طبیعی و مصنوعی متفاوت، تصاویر رنگی و ادغام رنگی را بر اساس ماتریس وارپانس کوواریانس به عنوان معیاری برای ارزیابی کیفیت طیفی، با ضریب همبستگی به عنوان یکی از معیارهای مکانی ترکیب کرده‌اند. ترکیب معیارهای طیفی و مکانی، نتایج خوبی به همراه داشته است.

روشی دیگر برای ارزیابی کیفیت طیفی تصاویر، بررسی نتایج طبقه‌بندی<sup>۳</sup> است (Shah et al., 2007; Wiedner, 2010). یوهندرا<sup>۴</sup> در سال ۲۰۱۱، پس از طبقه‌بندی تصاویر ادغام‌رنگی با استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان<sup>۵</sup>، بر اساس ماتریس ابهام و نتایج صحت کلی و ضریب کاپا، قضاوت طیفی تصاویر طبقه‌بندی‌شده را انجام داد. کاربردهای متفاوت تصاویر نشان می‌دهد که اتکا به ارزیابی کیفیت طیفی بر اساس نتایج طبقه‌بندی، راه‌حل مناسبی برای این موضوع نیست. در ضمن نتایج مبتنی بر طبقه‌بندی، برای ارزیابی کیفیت مکانی معیار صریحی ارائه نمی‌کند.

1. Root Mean Square Error (RMSE)
2. Point Detection
3. Classification
4. Yuhendra
5. Support Vector Machine
6. Line Detection
7. Edge Detection

خیابان (b)، پوشش گیاهی متراکم (c)، پوشش خاکی و گیاهی (d)، پوشش خاکی و ساختمان (e)، پوشش گیاهی و ساختمان‌های چهارضلعی (t)، پوشش گیاهی و ساختمان‌های چندضلعی (g)، ساختمان‌های استوانه‌ای (h)، فضای سبز دایره‌ای شکل (i)، خیابان و پوشش خاکی و گیاهی و ساختمان و عوارض مصنوعی دایره‌ای شکل (j)، پوشش گیاهی و خیابان‌های متقاطع (k)، ساختمان‌های با سقف شیروانی شکل (l)، و فضای سبز و پوشش خاکی (m) و با سایز ۲۸۰ × ۲۳۵ از تصاویر ادغام‌رنگی منطقه به گونه‌ای انتخاب شد که عوارض مصنوعی متفاوت و پوشش‌های گوناگون منطقه را تا حدودی دربرگیرد.

### ۳- روش تحقیق

#### ۳-۱- معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی

روش رایج و سنتی در ارزیابی کیفیت مکانی تصاویر ادغام‌رنگی، اعمال فیلتر شناخت نقطه (شکل ۱) در همسایگی ۳ × ۳ هر پیکسل از تصاویر پانکروماتیک و ادغام‌رنگی بوده است. پس از اعمال این فیلتر، یکی از عوارض مهم تصویری استخراج می‌گردد و سپس بین دو تصویر پانکروماتیک و ادغام‌رنگی، معیار میانگین مربعات خطاها و یا ضریب همبستگی محاسبه می‌شود (Vijayaraj, 2004). به این ترتیب تصاویر ادغام‌رنگی از نظر کیفیت مکانی بررسی می‌شوند. اما این فیلتر در برخی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا نتایج مناسبی به دست نمی‌دهد چرا که در این نوع تصاویر قدرت تفکیک طیفی حدود سه‌برابر قدرت تفکیک مکانی است. افزایش سایز همسایگی فیلتر مذکور، راهکار مناسبی برای سنجش بهتر از نظر کیفیت مکانی تصاویر ادغام‌رنگی است.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

شکل ۱. فیلتر ۳ × ۳ شناخت نقطه به‌عنوان یکی از عوارض تصویری

رنگی) صورت می‌گیرد. به‌منظور بهبود تعمیم‌پذیری نتایج، روش ذکرشده در نواحی گوناگون شهری با پوشش‌های طبیعی و مصنوعی متفاوت بررسی شده است و الگوریتم مناسب ادغام‌رنگی تصاویر برحسب روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی، در هر یک از مناطق شهری انتخاب شده است.

#### ۲- داده‌ها

در این تحقیق از تصاویر سنجنده Geo Eye-1 با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ متر در باند پانکروماتیک و ۲ متر در سه باند قرمز، آبی، و سبز استفاده شده است. بخش‌هایی از شهر اصفهان در طول جغرافیایی (51° 40' 03" – 51° 38' 36" E) و عرض جغرافیایی (32° 36' 06" – 32° 37' 30" N) ارزیابی شده از تصاویر پانکروماتیک و تصاویر رنگی انتخاب گردید. شهر اصفهان با داشتن بافت سنتی، ساختمان‌های جدید، شهرک‌ها، باغ‌ها و فضاهای سبز متعدد، از مناطق پیچیده به‌شمار می‌آید. در منطقه بررسی شده عوارض مصنوعی و ساختمان‌ها با معماری متفاوت، باغ‌ها، و پوشش‌های گیاهی با تراکم‌های گوناگون وجود دارد. این موضوع سبب می‌شود تا الگوریتم‌های ادغام‌رنگی و روش‌های ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر به‌صورت کامل‌تری در نواحی گوناگون شهری ارزیابی شود.

برای ادغام‌رنگی تصاویر، از سه الگوریتم PCA، GS، Brovey در نرم‌افزار ENVI و الگوریتم IHS در نرم‌افزار Arc GIS استفاده گردید. با وجود روش‌های بسیار برای ادغام‌رنگی تصاویر، کاربران در بسیاری از نرم‌افزارهای تجاری حوزه سنجش از دور از روش‌های گفته‌شده استفاده می‌کنند. برخی از این الگوریتم‌های انتخابی مانند IHS از الگوریتم‌های سنتی و قدیمی ادغام‌رنگی تصاویر به‌شمار می‌آیند.

به‌منظور تعمیم نتایج و بررسی دقیق‌تر الگوریتم‌های ادغام‌رنگی و روش‌های ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر، ۱۳ ناحیه متفاوت شهری با پوشش‌های طبیعی و مصنوعی متفاوت از منطقه بررسی شده انتخاب شد، که شامل اینهاست: ساختمان‌های متراکم (a)، ساختمان و

### ۳-۲- معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی

در دهه‌های گذشته، معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی بسیاری پیشنهاد شده است. در جدول ۱ فهرستی از این معیارها به همراه ویژگی‌های آنها مشاهده می‌شود. مطابق جدول ۱ این معیارهای طیفی با استفاده از

درجه خاکستری هر پیکسل به دست می‌آید و سپس از تمامی پیکسل‌های تصویر میانگین گرفته می‌شود. این مسئله حاکی از آن است که یکی از محدودیت‌های این معیارها توجه نکردن به همسایگی هر پیکسل است.

جدول ۱. برخی از معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی

RMSE	$\sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (A_i(x) - F_i(x))^2}{n \times m \times d}}$	n: تعداد سطرهای تصویر m: تعداد ستون‌های تصویر d: تعداد باندهای تصویر رنگی A: تصویر رنگی F: تصویر ادغام‌رنگی	هر چقدر این عدد کوچک‌تر باشد تصویر از نظر طیفی مناسب‌تر است (Choi, 2006)
RASE <sup>۱</sup>	$\frac{100}{M} \sqrt{\sum_{i=1}^N RMSE(B_i)^2}$	M: میانگین درجات خاکستری تصویر ادغام‌رنگی B: باند طیفی N: تعداد باندهای طیفی	هر چقدر این عدد کوچک‌تر باشد تصویر از نظر طیفی مناسب‌تر است (Choi, 2006)
ERGAS <sup>۲</sup>	$100 \times \frac{h}{l} \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left( \frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2}$	h: پیکسل سائز تصویر پانکروماتیک l: پیکسل سائز تصویر رنگی μ: متوسط درجات خاکستری هر باند N: تعداد باندهای تصویر	این معیار اعوجاجات طیفی تصویر را نشان می‌دهد (Choi, 2006)
SAM <sup>۳</sup>	$\cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^N A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N A_i \times A_i} \sqrt{\sum_{i=1}^N B_i \times B_i}}$	A و B: بردار درجه خاکستری یک پیکسل در تمام باندها از تصویر رنگی و تصویر ادغام‌رنگی N: تعداد باندهای تصویر	عدد صفر نشان‌دهنده شباهت کم و یک نشان‌دهنده شباهت زیاد است. زاویه θ برای هر پیکسل تعریف می‌شود و برای مقایسه، از متوسط این معیار در کل تصویر استفاده می‌گردد (Goetz et al., 1992)
SID <sup>۴</sup>	$P_j = \frac{x_j}{\sum_{i=1}^N x_i}, q_j = \frac{y_j}{\sum_{i=1}^N y_i}$ $D(x  y) = \sum_{i=1}^L P_i \log \frac{P_i}{q_i}, D(y  x) = \sum_{i=1}^L q_i \log \frac{q_i}{P_i}$ $SID(x, y) = D(x  y) + D(y  x)$	x و y: بردار درجه خاکستری یک پیکسل در تمام باندها از تصویر رنگی و تصویر ادغام‌رنگی	این معیار بین صفر و یک قرار دارد و در واقع مفهوم آنتروپی را در بردارد. (Chang, 1999)
CC	$\frac{\sum_{mm} (A_{mm} - \bar{A})(B_{mm} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{mm} (A_{mm} - \bar{A})^2} \sqrt{\sum_{mm} (B_{mm} - \bar{B})^2}}$	A و B: تصویر ادغام‌رنگی و میانگین درجات خاکستری تصویر ادغام‌رنگی m: سطرهای تصویر n: ستون‌های تصویر	عدد صفر نشان‌دهنده شباهت کم و یک نشان‌دهنده شباهت زیاد است (Tu et al., 2001).

1. Relative Average Spectral Error
2. Relative Dimensionless Global Error In Synthesis
3. Spectral Angle Mapper
4. Spectral Information Divergence

### ۳-۳- روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی

روش‌های ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی که تاکنون ارائه شده‌اند، در مواجهه با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا با مشکلاتی همراه خواهند بود و نتایج مناسبی در زمینه ارزیابی کیفیت تصاویر ادغام‌رنگی ارائه نمی‌کنند. در این تحقیق برای حل برخی مشکلات و محدودیت‌های موجود، دو دسته معیار ارزیابی کیفیت از نظر جنبه‌های مکانی و طیفی پیشنهاد شده است. هدف اصلی این دو روش، ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام‌رنگی با استخراج عوارض مهم تصویری و توجه به همسایگی هر پیکسل است که این موضوع با استفاده از فیلترهای گوناگون استخراج عوارض محقق می‌گردد. یکی دیگر از اهداف این تحقیق توجه به جزئیات تصویر در سطوح مقیاسی متفاوت است که برای آن از تبدیل موجک استفاده شده است. با توجه به دو هدف مذکور در روش ارزیابی کیفیت مکانی از تبدیل موجک دوبعدی، فیلترهای شناخت نقطه، خط، و لبه در همسایگی هر پیکسل استفاده شده است. روش ارزیابی کیفیت طیفی تصاویر ادغام‌رنگی نیز شامل تبدیل موجک دوبعدی و معیارهای جدول ۱ در همسایگی وسیع‌تر هر پیکسل است. در نهایت، دو روش با همدیگر ترکیب می‌شود و بهترین الگوریتم ادغام‌رنگی انتخاب می‌گردد. در ادامه ابتدا مختصری در مورد تبدیل موجک و فیلترهای شناخت عوارض تصویری توضیح داده می‌شود، سپس روش پیشنهادی برای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی شرح داده خواهد شد.

### ۳-۳-۱- تبدیل موجک دوبعدی<sup>۱</sup>

تبدیل موجک دوبعدی برای فشرده‌سازی، پردازش و آنالیز تصاویر به کار می‌رود. این تبدیل به جزئیات مکانی تصویر توجه ویژه دارد و در سطوح گوناگونی که هر یک دارای قدرت تفکیک مشخص‌اند، اعمال می‌شود. در تبدیل موجک از دو دسته فیلترهای بالاگذر و

پایین‌گذر استفاده می‌شود، به این ترتیب که در قدرت تفکیک مشخصی از تصویر، اطلاعات کلی به وسیله توابع مقیاس (به‌عنوان فیلترهای پایین‌گذر) و جزئیات تصویر به وسیله توابع موجک (به‌عنوان فیلترهای بالاگذر) استخراج می‌گردد. فضای مقیاس و موجک در هر سطح، فضای مقیاس در سطح بعدی را تشکیل می‌دهد. در هر مرحله از تبدیل، تصویر به چهار زیرتصویر به‌اندازه یک‌چهارم تصویر اولیه تجزیه می‌شود (Vijayaraj, 2004).

### ۳-۳-۲- فیلترهای استخراج نقطه، خط، لبه

از جمله روش‌های پردازش تصویر برای استخراج نقاط، خطوط، و لبه‌ها با جهت‌های گوناگون، می‌توان به اعمال فیلترهای شناخت این عوارض در تصویر اشاره کرد. علاوه بر فیلتر استخراج نقاط که قبلاً به آن اشاره شد، خطوط و لبه‌ها را نیز می‌توان با اعمال فیلترهای متفاوت از تصاویر استخراج کرد. این فیلترها انواع متعددی دارند که خطوط و لبه‌ها را در جهت‌های گوناگون افقی، قائم،  $45^\circ$  و  $-45^\circ$  استخراج می‌کنند. لبه‌ها از عوارض مهم تصویر به خصوص در نواحی شهری هستند. به‌منظور شناخت و استخراج آن‌ها، فیلترهای متفاوتی (براساس مشتق اول تابع) ارائه گردیده است. در این تحقیق فیلتر Prewitt در چهار جهت گفته‌شده برای استخراج لبه‌ها استفاده شده است (Gonzalez and Woods, 2001).

همان‌طور که ذکر شد، روش ارزیابی کیفیت پیشنهادی در این تحقیق از ترکیب دو دسته روش ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی مبتنی بر استخراج عوارض تصویری و توجه به همسایگی آن‌ها و جزئیات تصویری به‌دست می‌آید. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی جزئیات مکانی و طیفی تصویر با استفاده از تبدیل موجک است. در تبدیل موجک استفاده شده، هسته‌ای با فیلتر بالاگذر به کار برده شده است. به این

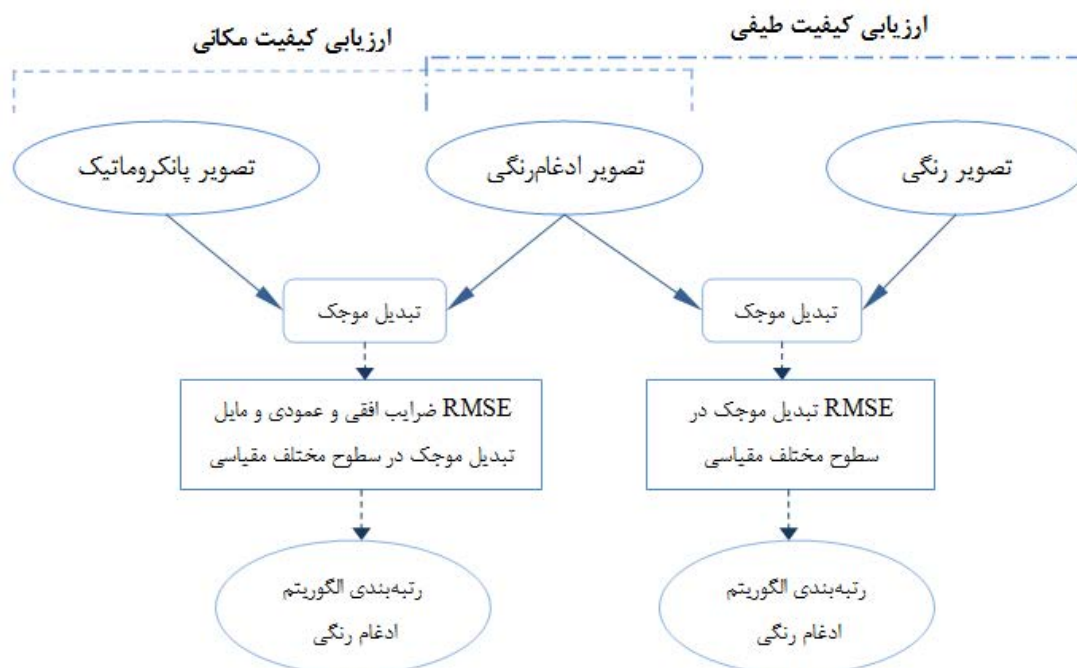
1. Discrete Wavelet Transform (DWT)

مربعات خطاها برای درجات خاکستری در همسایگی  $5 \times 5$  هر پیکسل به‌عنوان معیار مقایسه استفاده می‌شود. معیار ارزیابی کیفیت طیفی با بررسی میانگین مربعات خطاها در همسایگی هر پیکسل تصویر رنگی و ادغام‌رنگی محاسبه می‌شود.

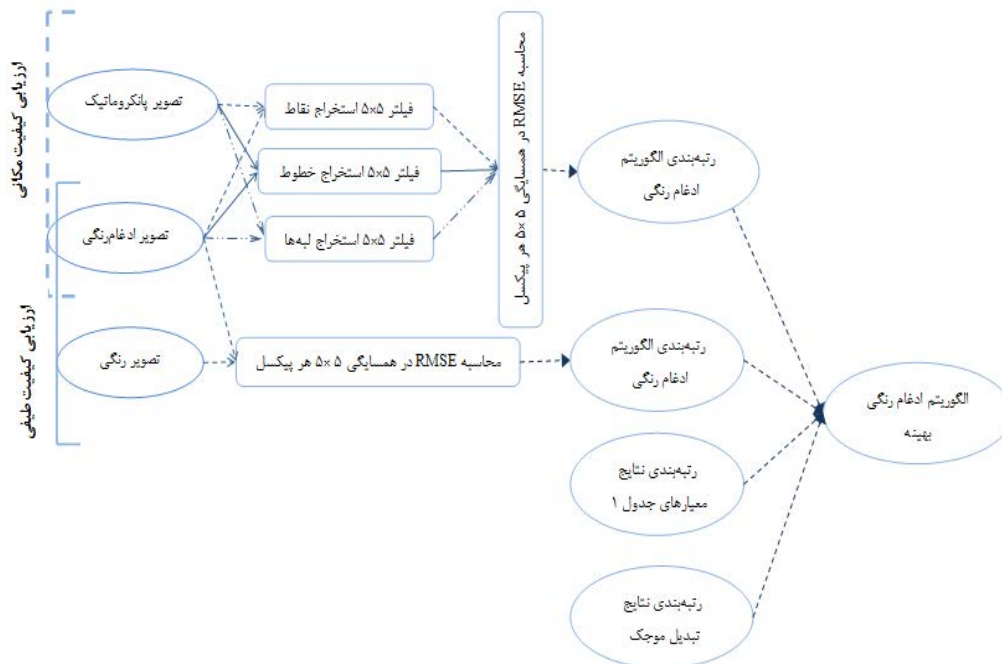
تاکنون معیارهایی برای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصاویر ادغام‌رنگی به‌دست آمده است، اما این تحقیق، تبدیل موجک جزئیات مکانی و طیفی را در سطوح گوناگون تصویر بررسی می‌کند و فیلترهای ذکرشده به عوارض تصویر و همسایگی هر پیکسل می‌پردازد. به این ترتیب، تصویر از نظر مکانی و طیفی به طور مناسبی ارزیابی می‌شود. برای مقایسه کامل‌تر علاوه بر همسایگی هر پیکسل و جزئیات هر تصویر، معیارهای جدول ۱ مربوط به هر پیکسل نیز محاسبه شده است. سپس، نتایج عددی حاصل از روش پیشنهادی و معیارهای جدول ۱ به‌طور نسبی بین الگوریتم‌های ادغام‌رنگی گوناگون امتیازدهی می‌شود. در انتها، الگوریتمی که امتیاز بیشتری به‌دست آورده باشد، الگوریتم ادغام‌رنگی مناسب است (شکل ۳).

ترتیب، برای ارزیابی کیفیت مکانی از میانگین مربعات خطاهای ضرایب تبدیل موجک بین تصاویر ادغام‌رنگی و پانکروماتیک استفاده شده است. برای بررسی مکانی دقیق‌تر ضرایب افقی و عمودی و مایل تصویر ادغام‌رنگی شده با همین ضرایب از تصویر پانکروماتیک مقایسه می‌شود. همچنین، برای ارزیابی کیفیت طیفی، معیار میانگین مربعات خطاهای ضرایب تبدیل موجک در تصاویر ادغام‌رنگی و رنگی بررسی می‌گردد. به‌منظور بررسی دقیق‌تر جزئیات تصویری، پارامترهای مذکور در سطوح مقیاسی گوناگون از تصویر محاسبه می‌شود و سپس با توجه به اعداد به‌دست‌آمده در هر سطح تبدیل، الگوریتم‌های ادغام‌رنگی به‌طور نسبی امتیازدهی می‌گردد (شکل ۲).

یکی دیگر از اهداف این تحقیق، ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام‌رنگی با استفاده از استخراج عوارض مهم تصویری و توجه به همسایگی هر پیکسل است. برای ارزیابی کیفیت مکانی، ابتدا فیلترهای شناخت نقطه، خط، و لبه در تصویر ادغام‌رنگی و پانکروماتیک اعمال می‌شود و پس از آن میانگین



شکل ۲. روندنمای روش ارزیابی کیفیت مکانی و مکانی با استفاده از تبدیل موجک



شکل ۳. روندنمای مراحل روش پیشنهادی برای ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام رنگی

شد. سپس مجموع امتیازها در کل سطوح تبدیل موجک به دست آمد. سرانجام، الگوریتمی که بیشترین امتیاز را دارد از نظر این معیار می‌تواند به عنوان الگوریتم بهینه در آن ناحیه انتخاب گردد. نتایج ارزیابی کیفیت مکانی براساس تبدیل موجک در جدول ۲ مشاهده می‌شود. سطر آخر این جدول میانگین ریاضی معیار RMSE را در هر یک از نواحی ۱۳ گانه نشان می‌دهد و بیان می‌دارد که الگوریتم IHS با میانگین ۹۴/۳، کیفیت مکانی بالاتری در مقایسه با بقیه الگوریتم‌ها دارد، در صورتی که الگوریتم Brovey با میانگین ۲۵۰ کمترین کیفیت مکانی را دارد. جدول ۳ نتایج ارزیابی کیفیت طیفی براساس تبدیل موجک را نشان می‌دهد. با توجه به سطر آخر این جدول، الگوریتم‌های GS و PCA نیز از نظر طیفی نتایج شایان توجهی را ارائه کرده‌اند. اعداد سطر آخر این جدول نشان می‌دهد که کیفیت طیفی الگوریتم IHS تفاوت چندانی با الگوریتم‌های GS و PCA ندارد اما این تفاوت با الگوریتم Brovey بسیار زیاد است. الگوریتم PCA در مناطق a, e, h, i نتیجه بهتری داشته و در بقیه مناطق

#### ۴- پیاده‌سازی و نتایج

در ابتدا تصاویر پانکروماتیک و تصویر رنگی (آبی، سبز، و قرمز) از سنجنده Geo Eye-1 در نرم‌افزارهای ENVI و Arc GIS وارد شد و پس از پیش‌پردازش‌های لازم با استفاده از چهار الگوریتم IHS, Brovey, PCA و GS تصاویر ادغام‌رنگی به وجود آمد. سپس نواحی ۱۳ گانه از تصاویر پانکروماتیک و رنگی و ادغام‌رنگی برش داده شد. الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB برنامه‌نویسی و پیاده‌سازی گردید. پس از آن اعداد حاصل از دو روش تبدیل موجک و فیلترهای شناخت عوارض تصویر، برای مقایسه بهتر برحسب فاصله از مینیمم امتیازدهی شدند و در بازه [1 2] قرار گرفتند. الگوریتمی که بین چهار الگوریتم فوق، مینیمم میانگین مربعات خطاها را دارا بود، امتیاز دو و بقیه به صورت نسبی امتیاز کمتری گرفتند. به عنوان نمونه:

$$RMSE = [129.8983 \ 274.5822 \ 135.2798 \ 129.7878]$$

$$= [1.9992 \ 1 \ 1.9621 \ 2]$$

با توجه به سبب تصاویر استفاده‌شده، میانگین مربعات خطاها در ۵ سطح از تبدیل موجک محاسبه



## ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام‌رنگی حاصل از سنجنده Geo Eye-1

طبق روش فوق امتیازدهی گردید. در این جدول مجموع امتیازها، نرمالیزه شده است تا مقایسه الگوریتم‌های ادغام رنگی آسان‌تر انجام گیرد. اعداد نرمالیزه براساس مینیمم و ماکزیمم محاسبه شده و در بازه [2 1] قرار گرفته است. الگوریتمی که بیشترین امتیاز را دارد به عنوان بهترین الگوریتم انتخاب می‌شود. در ستون آخر این جدول، بهترین الگوریتم ادغام رنگی هر ناحیه طبق روش پیشنهادی مشخص شد. طبق این معیار الگوریتم IHS در تمام مناطق به عنوان مناسب‌ترین الگوریتم ادغام رنگی، از نظر روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی انتخاب گردیده است.

الگوریتم GS مناسب‌تر بوده، البته تفاوت آن‌ها ناچیز است و می‌توان گفت که در مناطق ۱۳ گانه به‌طور متوسط الگوریتم‌های GS و PCA از نظر طیفی کیفیت بالاتری دارند در حالی که IHS علاوه بر آن که از نظر مکانی کیفیت بالایی دارد، از نظر طیفی نیز تا حدودی نتیجه مناسبی ارائه می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی این تحقیق بر مبنای ترکیب تبدیل موجک و اعمال فیلترهای شناخت نقطه، خط، و لبه است. نتایج ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی حاصل از ترکیب این دو روش در جدول ۴ نشان داده شده است. این نتایج نیز

جدول ۲. میانگین مربعات خطاها بین ضرایب سطح اول تبدیل موجک از تصاویر «ادغام‌رنگی» و تصویر «پانکروماتیک» (اعداد تا یک رقم اعشار گرد شده است)

مناطق	IHS	Brovey	PCA	GS
a	<b>108.1</b>	288.1	115.3	113.2
b	<b>94.6</b>	243.8	105.4	101.8
c	<b>60.5</b>	152.7	78.3	70.4
d	<b>70.3</b>	188.8	84.4	76.4
e	<b>99.6</b>	276.6	109.5	105.7
f	<b>89.9</b>	235.3	105.4	100.1
g	<b>111.2</b>	288.6	134.7	126.3
h	<b>123.3</b>	335.6	131.8	130.9
i	<b>97.3</b>	258.5	101.9	99.9
j	<b>102.5</b>	274.8	114.6	110
k	<b>91</b>	229.8	137.1	118.8
l	<b>101.3</b>	269	113	108.3
m	<b>75.9</b>	208	90.9	83.8
میانگین	<b>94.3</b>	250	109.4	103.5

جدول ۳. میانگین مربعات خطاها بین ضرایب سطح اول تبدیل موجک از تصاویر «ادغام‌رنگی» و تصویر «رنگی» (اعداد تا یک رقم اعشار گرد شده است)

مناطق	IHS	Brovey	PCA	GS
a	91.1	216	<b>70.5</b>	73
b	79.4	191	62.9	<b>62.5</b>
c	28.5	103.9	31.4	<b>26.9</b>
d	37.3	123.5	36.6	<b>34.5</b>
e	48.7	194	<b>39.7</b>	40
f	60.4	168.4	51	<b>50.5</b>
g	78.6	205.7	69.2	<b>67.1</b>
h	81.4	240.3	<b>68.1</b>	70.6
i	62.8	195.9	<b>47.2</b>	47.9
j	79.3	205.0	70.5	<b>69.9</b>
k	79.6	158.7	78.6	<b>71</b>
l	69.1	193.4	58.2	<b>58.1</b>
m	39.1	140.2	36.2	<b>34.1</b>
میانگین	64.3	179.7	<b>55.4</b>	<b>54.3</b>

جدول ۴. امتیازهای روش ارزیابی کیفیت مکانی و طبیفی پیشنهادی نرمالیزه گردید. ستون سوم، الگوریتم بهینه در هر ناحیه را نشان می‌دهد.

مناطق	امتیازهای نرمال شده				رتبه‌بندی بهینه
	GS	PCA	Brovey	IHS	
a	1.0927	1	1.0872	1.0901	IHS> Brovey> PCA> GS
b	1.0679	1	1.0623	1.0656	IHS> Brovey> PCA> GS
c	1.0828	1	1.0672	1.0741	IHS> Brovey> PCA> GS
d	1.1530	1	1.1329	1.1425	IHS> Brovey> PCA> GS
e	1.1126	1	1.1054	1.1086	IHS> Brovey> PCA> GS
f	1.0945	1	1.0844	1.0888	IHS> Brovey> PCA> GS
g	1.1000	1	1.0860	1.0919	IHS> Brovey> PCA> GS
h	1.0802	1	1.0768	1.0783	IHS> Brovey> PCA> GS
i	1.0443	1	1.0404	1.0419	IHS> Brovey> PCA> GS
j	1.0908	1	1.0831	1.0865	IHS> Brovey> PCA> GS
k	1.0773	1	1.0518	1.0625	IHS> Brovey> PCA> GS
l	1.0842	1	1.0770	1.0803	IHS> Brovey> PCA> GS
m	1.1234	1	1.1077	1.1148	IHS> Brovey> PCA> GS

عوارض گوناگونی چون ساختمان‌هایی با معماری متفاوت، پوشش گیاهی متنوع و مانند آن‌هاست نمی‌توانند الگوریتمی را به عنوان الگوریتم بهینه انتخاب کنند. برای مقایسه کامل‌تر از ترکیب روش پیشنهادی و معیارهای جدول ۱ استفاده شد. در مجموع ۹ معیار ارزیابی کیفیت طبق روش پیشنهادی و ۹ معیار ارزیابی کیفیت مبتنی بر پیکسل منفرد برای مقایسه الگوریتم‌های ادغام‌رنگی استفاده شد.

با توجه به جدول‌های ۴ و ۵ تعداد دفعاتی که هر الگوریتم مرتبه اول تا چهارم را در هر منطقه به خود اختصاص داده است، به عنوان فراوانی آن الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب فراوانی هر یک از الگوریتم‌های ادغام‌رنگی در هر ناحیه محاسبه می‌شود و پس از وزن‌دهی، روش بهینه در هر ناحیه انتخاب می‌گردد.

در مرحله بعد، نتایج معیارهای ارزیابی کیفیت طبیفی RMSE, ERGAS, SAM, SID, CC (مربوط به هر پیکسل) به‌همراه معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی RMSE, CC (در همسایگی  $3 \times 3$  هر پیکسل) نیز محاسبه و براساس روش ذکر شده، امتیازدهی شد. سپس این امتیازها براساس مینیمم و ماکزیمم در بازه [1 2] نرمالیزه گردید. لازم به ذکر است، از آنجا که معیار RASE با معیار RMSE شباهت نزدیکی دارد، در انتخاب الگوریتم بهینه از آن استفاده نشد. اعداد به‌دست آمده را در جدول ۵ مشاهده می‌کنید. با در نظر گرفتن این اعداد در مناطق گوناگون برطبق معیارهای هر پیکسل، الگوریتم‌های IHS و GS به‌عنوان الگوریتم ادغام‌رنگی بهینه انتخاب شده‌اند. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد معیارهایی که از درجه خاکستری هر پیکسل استفاده می‌کنند، در تصاویر مناطق شهری که دارای

ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام‌رنگی حاصل از سنجنده Geo Eye-1

جدول ۵. معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی جدول ۱ محاسبه و امتیازها در بازه [۱ ۲] نرمالیزه شده است.

مناطق	امتیازهای نرمال شده				رتبه‌بندی بهینه
	GS	PCA	Brovey	IHS	
a	1.0931	1.1312	1.0137	1	GS> PCA> IHS> Brovey
b	1.1321	1.1668	1.1969	1	IHS> GS> PCA> Brovey
c	1.1385	1.1452	1.1995	1	IHS> GS> PCA> Brovey
d	1.0448	1.0891	1.0777	1	GS> IHS> PCA> Brovey
e	1.1591	1.1817	1.2092	1	IHS> GS> PCA> Brovey
f	1.0910	1.1334	1.1685	1	IHS> GS> PCA> Brovey
g	1.0467	1.1327	1.1020	1	GS> IHS> PCA> Brovey
h	1.1939	1.2210	1.1142	1	GS> PCA> IHS> Brovey
i	1.1860	1.1929	1.2611	1	IHS> GS> PCA> Brovey
j	1.1241	1.1668	1.2040	1	IHS> GS> PCA> Brovey
k	1.1383	1.1255	1.0006	1	GS> IHS> Brovey> PCA
l	1.0537	1.1107	1.0932	1	GS> IHS> PCA> Brovey
m	1.0898	1.1254	1.1783	1	IHS> GS> PCA> Brovey

جدول ۶. نتایج روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی در ۱۳ منطقه شهری

مناطق	فراوانی				الگوریتم بهینه
	IHS	Brovey	PCA	GS	
a	1.5	0.2	1.25	1.75	GS> IHS> PCA> Brovey
b	2	0.2	1	1.50	IHS> GS> PCA> Brovey
c	2	0.2	1	1.5	IHS> GS> PCA> Brovey
d	1.75	0.2	1	1.75	IHS, GS> PCA> Brovey
e	2	0.2	1	1.5	IHS> GS> PCA> Brovey
f	2	0.2	1	1.5	IHS> GS> PCA> Brovey
g	1.75	0.2	1	1.75	IHS, GS> PCA> Brovey
h	1.5	0.2	1.25	1.75	GS> IHS> PCA> Brovey
i	2	0.2	1	1.5	IHS> GS> PCA> Brovey
j	2	0.2	1	1.5	IHS> GS> PCA> Brovey
k	1.75	0.6	0.6	1.75	IHS, GS> PCA, Brovey
l	1.75	0.2	1	1.75	IHS, GS> PCA> Brovey
m	2	0.2	1	1.5	IHS> GS> PCA> Brovey
مجموع / فراوانی	<b>24</b>	<b>3</b>	<b>13.1</b>	<b>21</b>	<b>IHS&gt; GS&gt; PCA&gt; Brovey</b>

چهارم، بین الگوریتم PCA و GS اختلاف چندانی وجود ندارد و می‌توان هر دو الگوریتم را به عنوان الگوریتم ادغام‌رنگی بهینه در این منطقه انتخاب کرد؛ ولی با تکیه بر اعداد ستون دوم، الگوریتم بهینه با اطمینان بیشتری انتخاب می‌گردد. اعداد به‌دست آمده برای الگوریتم‌های IHS و Brovey نشان می‌دهد که با پرداختن به جزئیات تصویر، الگوریتم Brovey در مقایسه با IHS برتری دارد ولی از نظر معیار مربوط به هر پیکسل، نتیجه‌ای برعکس به دست می‌آید. از این تناقض‌ها می‌توان نتیجه گرفت که برای الگوریتم بهینه فقط معیارهای مربوط به هر پیکسل کافی نیست و لازم است معیارهایی که جزئیات تصویر را در نظر می‌گیرند نیز وجود داشته باشند. این دو مجموعه معیار، در ترکیب با هم می‌توانند الگوریتم بهینه را با اطمینان بالا انتخاب کنند.

جدول ۸ امتیاز معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی را براساس تبدیل موجک و بر مبنای استخراج نقطه، خط، و لبه در همسایگی  $5 \times 5$  هر پیکسل و نیز معیار RMSE مربوط به هر پیکسل را در منطقه g نشان می‌دهد. با توجه به اعداد ستون دوم (تبدیل موجک)، الگوریتم IHS با امتیاز بالایی به عنوان الگوریتم بهینه در این منطقه انتخاب می‌شود، در حالی که اعداد ستون چهارم (معیار RMSE) نشان می‌دهد که الگوریتم GS با اختلاف بسیار کمی بر الگوریتم IHS برتری دارد. این اختلاف بسیار کم در ستون پنجم به تفاوت  $0.0008$  امتیازی بین دو الگوریتم تبدیل می‌شود. در این ستون اختلاف چندانی بین دو الگوریتم وجود ندارد و نمی‌توان با اطمینان بیشتری الگوریتم ادغام‌رنگی بهینه را انتخاب کرد. ستون سوم امتیازهای ارزیابی کیفیت مکانی را با توجه به استخراج نقطه، خط، و لبه در همسایگی  $5 \times 5$  هر پیکسل نشان می‌دهد. طبق اعداد به‌دست آمده، الگوریتم IHS با اختلاف حدود  $1785/6$  امتیاز در مقایسه با الگوریتم GS به‌عنوان الگوریتم بهینه انتخاب می‌گردد. از مقایسه این جداول می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب معیارهای آماری هر پیکسل، اختلافات بین الگوریتم‌ها را به صورت صحیحی متمایز

همان‌طور که اعداد جدول ۶ نشان می‌دهند الگوریتم IHS در مناطق b,c,e,f,i,j,m و الگوریتم GS در مناطق a, h و هر دو الگوریتم در مناطق d, g, k, l مناسب‌اند. در سطر آخر این جدول مجموع امتیازهای به‌دست آمده برای هر الگوریتم محاسبه شده است. برطبق این محاسبه، الگوریتم IHS و پس از آن الگوریتم GS، همان الگوریتم ادغام‌رنگی مناسب تصاویر براساس روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام‌رنگی است. نتایج روش پیشنهادی نشان می‌دهد که برحسب کاربرد تصاویر، الگوریتم‌های ادغام‌رنگی متفاوتی را می‌توان انتخاب کرد. برای نمونه اگر کاربرد تصویر در خصوص پوشش‌های طبیعی گوناگون است، الگوریتم IHS و اگر کاربرد آن در حوزه ساختمان‌های شهری است، الگوریتم GS برای ادغام‌رنگی تصاویر مناسب‌تر است.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، الگوریتم‌های ادغام‌رنگی را به خوبی از هم متمایز کرده است و به این ترتیب انتخاب آن‌ها با دقت بالاتری انجام خواهد گرفت. در ادامه برای مقایسه جزئی‌تر نتایج روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی با معیارهای آن در خصوص هر پیکسل، نتایج این دو معیار در یکی از مناطق (به‌عنوان نمونه: منطقه g) ارزیابی می‌شود.

جدول ۷ امتیازهای حاصل از معیار ارزیابی کیفیت طیفی مبتنی بر تبدیل موجک و نتایج حاصل از معیار طیفی RMSE (جدول ۱) در منطقه g را نشان می‌دهد. معیار RMSE بدین علت انتخاب شده است که اختلاف بین الگوریتم‌های ادغام‌رنگی را بهتر از معیارهای دیگر جدول ۱ نشان می‌دهد. مطابق این جدول، الگوریتم GS از نظر طیفی در این منطقه مناسب است. اما با توجه به اعداد ستون دوم این جدول (تبدیل موجک)، اختلاف بین الگوریتم PCA و GS برابر با ۱۰ امتیاز است در حالی که ستون سوم (معیار RMSE)، اختلاف در حدود ۲ واحد را نشان می‌دهد؛ که این اختلاف در امتیازدهی به  $0.02$  امتیاز تبدیل می‌شود. بر مبنای اطلاعات ستون سوم یا

## ارزیابی کیفیت مکانی و طیفی تصاویر ادغام‌رنگی حاصل از سنجنده Geo Eye-1

نمی‌سازد، در صورتی‌که توجه به جزئیات تصویر و همسایگی هر پیکسل، انتخاب الگوریتم ادغام‌رنگی بهینه را صحیح‌تر می‌سازد. مطابق نتایج جدول ۸ در منطقه g الگوریتم IHS از نظر مکانی و GS از نظر طیفی مناسب است. در شکل ۴ تصویر

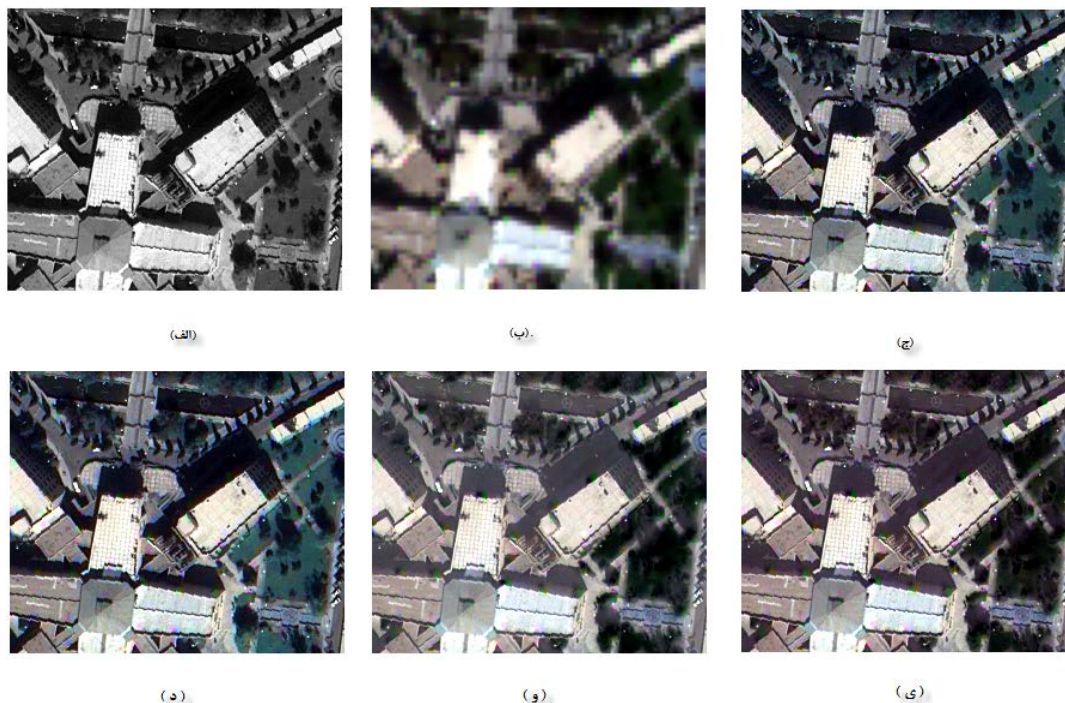
IHS و تصویر پانکروماتیک تا حدودی شبیه یکدیگرند و تصویر GS نیز بیشتر از سایر الگوریتم‌ها با تصویر رنگی مشابهت دارد. اما مطابق جدول ۶ هم از نظر مکانی و هم از نظر طیفی هر دو الگوریتم فوق را می‌توان به‌عنوان الگوریتم بهینه ادغام‌رنگی در منطقه g انتخاب کرد.

جدول ۷. مقایسه معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی پیشنهادی در منطقه g

الگوریتم ادغام‌رنگی	امتیازهای تبدیل موجک	معیار RMSE مربوط به هر پیکسل	امتیازهای معیار RMSE
IHS	37	79.2282	1.9159
Brovey	51	199.6140	1
PCA	56	70.1518	1.9850
GS	66	68.1746	2

جدول ۸. مقایسه معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی در منطقه g

الگوریتم ادغام‌رنگی	امتیازهای معیار حاصل از تبدیل موجک	امتیازهای معیار حاصل از استخراج نقطه، خط و لکه در همسایگی ۵*۵ هر پیکسل	معیار RMSE	امتیازهای معیار RMSE
IHS	84	$1.2583 \times 10^5$	129.8983	1.9992
Brovey	21	$1.1506 \times 10^5$	274.5822	1
PCA	42	$1.2321 \times 10^5$	135.2798	1.9621
GS	63	$1.2405 \times 10^5$	129.7878	2



شکل ۴. تصاویر منطقه g (الف) تصویر پانکروماتیک، (ب) تصویر رنگی، (ج) تصویر ادغام‌رنگی با الگوریتم IHS، (د) تصویر ادغام‌رنگی با الگوریتم Brovey، (و) تصویر ادغام‌رنگی با الگوریتم PCA، (ی) تصویر ادغام‌رنگی با الگوریتم GS

## ۵- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر روش‌هایی برای ارزیابی کیفیت تصاویر ادغام‌رنگی ارائه شده است. این روش‌ها بیشتر مبتنی بر پیکسل منفردند و کیفیت ادغام‌رنگی را در همسایگی پیکسلی بررسی نمی‌کنند. در این تحقیق، با استفاده از فیلترهای استخراج نقطه، خط، و لبه جزئیات مکانی تصویر و همسایگی  $5 \times 5$  هر پیکسل و همچنین با استفاده از تبدیل موجک، جزئیات مکانی و طیفی در سطوح گوناگون تصویر ارزیابی شد. در روش پیشنهادی با پرداختن به جزئیات مکانی و طیفی در همسایگی هر پیکسل، بررسی و مقایسه مناسب‌تری بین الگوریتم‌های ادغام‌رنگی از نظر مکانی و طیفی انجام می‌گیرد. اختلاف اعداد حاصل از روش پیشنهادی بین الگوریتم‌های ادغام‌رنگی در مقایسه با اختلاف اعداد به‌دست‌آمده از روش‌های مبتنی بر پیکسل، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، انتخاب الگوریتم ادغام‌رنگی بهینه را به صورت صحیح‌تری فراهم می‌کند. امتیازهای به‌دست‌آمده از روش‌های پیشنهادی، الگوریتم‌های ادغام‌رنگی را از هم متمایز می‌کند و در برخی موارد نتیجه‌ای متفاوت با روش‌های مبتنی بر پیکسل منفرد به‌دست می‌دهد. به‌عنوان نمونه تصویر ماهواره‌ای Geo Eye-1، نواحی متنوعی از نظر نوع پوشش طبیعی و ساختمان‌های شهری به‌صورتی که عوارض موجود در تصویر را تا حدودی پوشش دهد، انتخاب شد. با توجه به نتایج روش پیشنهادی، انتخاب الگوریتم بهینه در هر منطقه با اطمینان بیشتری صورت می‌گیرد. بین چهار الگوریتم ادغام‌رنگی استفاده‌شده در این تحقیق الگوریتم‌های IHS و GS از نظر معیار ارزیابی کیفیت پیشنهادی، در مناطق شهری مناسب‌تر شناخته شدند. طبق این یافته‌ها به‌طور نسبی الگوریتم GS در مناطقی که عوارض مصنوعی مانند ساختمان‌های متراکم وجود دارد، گزینه نخست است، درحالی که در پوشش‌های طبیعی و ساختمان‌ها الگوریتم IHS مناسب‌تر است.

## ۶- منابع

- Alparone, L., Aiazzi, B., Baronti, S., Garzelli, A., Nencini, F., and Selva, M., 2008, **Multi-Spectral and Panchromatic Data Fusion Assessment Without Reference**, Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, Vol. 74, No. 2, PP. 193-200.
- Chang, Ch., 1999, **Spectral Information Divergence for Hyperspectral Image Analysis**, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '99 Proceedings, IEEE International, PP. 509-511.
- Choi, M., 2006, **A New Intensity-Hue Saturation Fusion Approach to Image Fusion With a Trade off Parameter**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, No. 6.
- Du, Q., Younan, N., King, R., and Shah, V., 2007, **On the Performance Evaluation of Pan-Sharpening Techniques**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 4, No. 4, PP. 518-522.
- Goetz, A. F. H., Yuhas, R. H., and Boardman, J. W., 1992, **Discrimination Among Semiarid Landscape end Members Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm**, In Proc. Summaries 3rd Annual, JPL Airborne Geoscience, Workshop, PP. 147-149.
- Gonzalez, R., and Woods, R., 2001, **Digital Image Processing**, United States of America, Prentice Hall, PP. 567-585.

- Khan, M.M., Alparone, L., and Chanussot, J., 2009, **Pansharpening Quality Assessment Using the Modulation Transfer Functions of Instruments**, IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 47, No. 11, PP. 80-91.
- Nussbaum, S., and Menz, G., 2008, **Object-Based Image Analysis and Treaty Verification**, Springer, Germany, PP. 63-81.
- Padwick, Ch., Deskevich, M., Pacifici, F., and Smallwood, S., 2010, **WorldView-2 Pan Sharpening**, ASPRS Annual Conference, San Diego California, PP. 26-30.
- Rahmani, Sh., Strait, M., Merkurjev, D., Moeller, M., and Wittman, T., 2010, **An Adaptive IHS Pan-sharpening Method**, IEEE, Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 7, No. 4, PP. 746-750.
- Tu, T., Su, Sh., Shyu, H., and Huang, P., 2001, **A New Look at IHS-Like Image Fusion Methods**, ELSEVIER, Information Fusion, No. 2, PP. 177-186.
- Vijayaraj, V., 2004, **A Quantitative Analysis of Pansharpened Images**, M.Sc. Thesis, University of Mississippi State, PP. 15-34.
- Weidner, U., 2010, **Pansharpening Relating Quantitative Quality Measures to Impact on Results of Subsequent Processing Steps**, Wagner, W., Székely, B., (eds.) ISPRS TC VII Symposium 100 Years ISPRS, Vienna, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7A, Austria, July 5-7.
- Yuhendra, T., Sumantyo, J., and Kuze, H., 2011, **Performance Analyzing of High Resolution Pan-sharpening Techniques: Increasing Image Quality for Classification using Supervised Kernel Support Vector Machine**, Research Journal of Information Technology, No. 3, PP. 12-23.
- Zhou, J., Civco, D. L., and Silander, J. A., 1998, **A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 4, PP. 743-757.