

# استفاده از تبدیل PCA مکانی جهت ادغام تصاویر

## چندطیفی و تکرنگ

حمیدرضا شاهدوستی و محمدحسن قاسمیان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

### چکیده

هدف نهایی ادغام تصاویر، به دست آوردن تصویری است که به طور همزمان دقت مکانی و طیفی بالایی داشته باشد. الگوریتم PCA استاندارد که به طور معمول در ادغام تصاویر به کار می‌رود، منجر به تخریب اطلاعات طیفی در تصویر ادغام شده می‌شود. در این مقاله، به منظور جلوگیری از نقطه ضعف الگوریتم PCA استاندارد، از تبدیل مکانی به عنوان روشی نوین در ادغام تصاویر چندطیفی و تکرنگ استفاده و استدلال می‌شود که روش ارائه شده، کارایی بالاتری در حفظ اطلاعات طیفی و مکانی دارد. در انتهای مقاله یک روش ارزیابی نوین معرفی و استدلال می‌شود که این روش ارزیابی، کارا تر از روش متداول اطلاعات متقابل است. تصاویر ادغام شده، با استفاده از روش پیشنهادی و سایر روش‌های رایج مانند: همبستگی خطی، ERGAS، SAM، UIQI، و اطلاعات متقابل ارزیابی می‌شوند و برتری الگوریتم پیشنهادی در حفظ اطلاعات مکانی و طیفی نسبت به سایر الگوریتم‌ها نشان داده می‌شود.

واژگان کلیدی: ادغام تصاویر، تصاویر تکرنگ، تصاویر چندطیفی، PCA استاندارد، PCA مکانی.

### ۱- مقدمه

ماهوراه‌های مشاهده گر زمین، تصاویر را در باندهای مختلف طیف الکترومغناطیسی تهیه می‌کنند. به منظور ثابت نگاه داشتن نسبت سیگنال به نوفه تصاویر دریافتی، تصاویری که دقت مکانی بالایی دارند، دقت طیفی پایین و تصاویری که دقت طیفی بالایی دارند دقت مکانی پایینی خواهند داشت. با استفاده از یک الگوریتم مناسب، می‌توان این دو تصویر را که اولی اطلاعات مکانی و دومی اطلاعات طیفی دارد، به گونه‌ای ترکیب کرد که به یک تصویر با دقت مکانی و طیفی بالا برسیم (Ghassemian, 2001)، (Ghassemian, 2009). منظور از دقت مکانی، قابلیت تفکیک مکانی یا همان وضوح مکانی است و هنگامی که تصویری دارای دقت مکانی بیشتری باشد، جزئیات بیشتری از صحنه قابل مشاهده است. هنگامی که تصویری دقت طیفی بالایی داشته باشد، اطلاعات صحنه را در محدوده کمی از طیف الکترومغناطیسی اخذ کرده است (تصویری که از قسمتی از

طیف فرورسرخ اخذ شده، دقت طیفی بالاتری نسبت به

تصویری دارد که از تمام طیف فرورسرخ اخذ شده است).

الگوریتم‌های موجود به منظور ادغام تصاویر در سه دسته کلی زیر قرار دارند (Daneshvar, 2011):

۱- روش‌های مبتنی بر جایگذاری مانند: PCA، IHS، استاندارد، گرام اشمیت (González, 2004)، (Laben, 2000) و (Cakir 2008).

۲- روش‌های مبتنی بر ضرب و جمع مانند: براوی، SVR و RE (Pohl 1998).

۳- روش‌های مبتنی بر تجزیه چنددقتی که در این روش‌ها، ویژگی‌های مکانی از تصویر تکرنگ استخراج و سپس به تصاویر چندطیفی تزریق می‌شود. روش‌هایی چون موجک بدون کاهش بعد، کانتورلت بدون کاهش بعد و روش مدولاسیون بالاگذر در این دسته قرار می‌گیرند (Ghassemian 2001)، (Wilson 1997) و (Nuñez 1999).

## ۲- روش PCA استاندارد

تبدیل PCA، به طور کلی یک روش آماری است. این تبدیل چند داده را که با یکدیگر هم‌بسته هستند، به داده‌هایی که با یکدیگر هم‌بستگی ندارند تبدیل می‌کند. روش PCA استاندارد در ادغام تصاویر، با استفاده از یک تبدیل خطی، داده‌ها را از فضای چندطیفی به فضای بردارهای ویژه تصویر می‌کند (González 2004). با فرض اینکه  $X$  یک مجموعه تصاویر چند طیفی باشد تبدیل PCA به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y = A^T X \quad (1)$$

که در رابطه (۱)، ماتریس  $A$ ، بردار ویژه هنجارسازی شده ماتریس کواریانس بردار  $X$  است. بنابراین کواریانس ماتریس متغیر  $Y$  قطری خواهد بود:

$$C_y = E\{(Y - m_y)(Y - m_y)^T\} = AC_x A^T = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \lambda_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

که در رابطه (۲)  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n$  برقرار است. مؤلفه اول اصلی به دست آمده از تبدیل PCA، هم‌بستگی زیادی با تصاویر چندطیفی اولیه به کار رفته در تبدیل PCA دارد و مؤلفه اول اصلی در واقع اطلاعات مشترک بین باندهای طیفی است (González, 2004). اما اطلاعات متفاوت و اختصاصی باندهای طیفی مختلف، در مؤلفه‌های دیگر تبدیل PCA قرار دارند. اطلاعات مشترک بین تصاویر چند طیفی بیانگر اطلاعات مکانی است و بنابراین مؤلفه اول اصلی حاوی اطلاعات مکانی تصاویر چند طیفی است. پس در ادغام تصاویر با استفاده از روش PCA استاندارد، ابتدا تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک با یکدیگر هم ابعاد می‌شوند (با استفاده از درون‌یابی، ابعاد تصاویر چندطیفی که کوچک‌تر از تصاویر تک‌رنگ هستند، با ابعاد تصاویر تک‌رنگ برابر می‌شوند). سپس با استفاده از تبدیل PCA مؤلفه اول اصلی تصاویر چندطیفی به دست می‌آید. در ادامه هیستوگرام تصویر تک‌رنگ، با هیستوگرام مؤلفه اول اصلی تطابق داده می‌شود؛ سپس تصویر تک‌رنگ تطبیق داده شده با مؤلفه اول اصلی جای‌گذاری می‌شود و در انتها معکوس تبدیل PCA اعمال می‌شود (Valavi 2004).

$$X = A^{-1} Y \quad (3)$$

معکوس تبدیل PCA که در رابطه (۳) نشان داده شده است، تصاویر ادغام‌شده را به ما خواهد داد. در حقیقت در این روش، اطلاعات مکانی و اطلاعات طیفی تصاویر

روش‌هایی که در دسته اول و دسته دوم معرفی شدند، بیش‌ترین کاربرد را در ادغام تصاویر دارند؛ زیرا در عین سادگی، کارایی خوبی از خود نشان می‌دهند. اگر چه این روش‌ها، اطلاعات مکانی را به خوبی حفظ می‌کنند، اما تمامی این روش‌ها منجر به تخریب اطلاعات طیفی در تصاویر ادغامی خواهند شد. از این‌رو الگوریتم‌هایی که در این دسته‌ها قرار می‌گیرند، به منظور ادغام تصاویر چندان مناسب نیستند (Daneshvar, 2011) و (González, 2004).

با معرفی الگوریتم‌های تجزیه چنددقتی، مانند موجک‌ها و کانتورلت‌ها (Mahyari 2011)، پیشرفت چشم‌گیری در ادغام تصاویر حاصل شد. به طوری که نتایج ادغام با نتایج حاصل از الگوریتم‌های پیشین قابل مقایسه نبود. الگوریتم‌های مبتنی بر موجک و کانتورلت قادر به حفظ اطلاعات طیفی هستند و کارایی آنها روزبه‌روز در حال بهبود است. اما این روش‌ها هنگامی مناسب هستند که نسبت دقت مکانی تصاویر تک‌رنگ به تصاویر چندطیفی ( $n$ ) توانی از ۲ باشد (Wang 2005). بنابراین در شرایطی که نسبت دقت مکانی  $n$ ، توانی از ۲ نیست، قادر نیستیم از این روش‌ها به منظور ادغام تصاویر استفاده کنیم. منظور از نسبت دقت مکانی، حاصل تقسیم وضوح مکانی تصویر تک‌رنگ به وضوح مکانی تصویر چندطیفی است.

الگوریتم‌های دسته اول و دوم معرفی شده، قادرند در شرایطی که نسبت دقت مکانی  $n$ ، توانی از ۲ نیست، تصاویر را ترکیب کنند؛ اما همان‌طور که ذکر شد، این الگوریتم‌های قادر به حفظ اطلاعات طیفی در تصویر ترکیب‌شده نیستند. در این مقاله، روش نوین PCA مکانی به منظور ادغام تصاویر معرفی خواهد شد که از نظر ساختار، جزء دسته اول روش‌های ادغام قرار می‌گیرد اما به خوبی می‌تواند اطلاعات طیفی را حفظ کند. علت حفظ اطلاعات طیفی در بخش (۳) توضیح داده خواهد شد.

این مقاله مشتمل بر پنج بخش است. در بخش دوم الگوریتم PCA استاندارد در ادغام تصاویر مرور می‌شود. در بخش سوم الگوریتم PCA مکانی ارائه خواهد شد. ارزیابی نتایج حاصل از روش پیشنهادی و دیگر روش‌های موجود در بخش چهارم خواهد آمد و در بخش پنجم، نتایج حاصل از مقاله، به طور کامل بیان خواهد شد.

چندطیفی از یکدیگر جدا شده‌اند و اطلاعات مکانی تصاویر چندطیفی دور ریخته‌شده و به جای آن اطلاعات مکانی تصویر تکرنگ که دقت بالاتری دارد، قرار داده شده است.

### ۳- ادغام با استفاده از PCA مکانی

پوشش‌های زمینی، به‌طور عمومی رفتار یکسانی در باندهای مجاور در طیف الکترومغناطیسی از خود نشان می‌دهند. بنابراین در تصاویر چندطیفی اطلاعات افزونه وجود دارد (González, 2004). همان‌طور که گفته شد، مؤلفه اول اصلی شامل اطلاعات مشترک بین همه باندهای تصاویر چندطیفی است. این اطلاعات مشترک به‌عنوان اطلاعات مکانی تصاویر چندطیفی در نظر گرفته می‌شود. استخراج این اطلاعات مشترک و جابه‌جایی آن با تصویر تکرنگ، ایده اصلی استفاده از تبدیل PCA استاندارد در ادغام تصاویر بوده است. با توجه به این حقیقت که پیکسل‌های مجاور در یک تصویر با یکدیگر همسبستگی بالایی دارند، در تصاویر تکرنگ نیز افزونه اطلاعات مکانی وجود دارد. بنابراین ایده PCA مکانی را می‌توان برای ادغام تصاویر بکار برد.

هنگامی که الگوریتم PCA استاندارد برای ادغام تصاویر به کار برده می‌شود، تصویر تکرنگ که شامل اطلاعات مکانی است، جانشین مؤلفه اول اصلی تصاویر چندطیفی می‌شود و بنابراین همه اطلاعات مکانی موجود در تصاویر تکرنگ، در تصویر ادغام‌شده وجود دارد (González, 2004). علت این که الگوریتم PCA استاندارد اطلاعات مکانی را به‌خوبی حفظ می‌کند نیز همین موضوع است. اما این مقدار اطلاعات مکانی بیش از مقدار مورد نیاز است که موجب تزریق بیش از اندازه اطلاعات مکانی می‌شود و این موضوع باعث تخریب اطلاعات طیفی می‌شود.

برای جلوگیری از نقطه‌ضعف ذکر شده، الگوریتم PCA مکانی پیشنهاد می‌شود که روندنمای آن در شکل (۱) آورده شده است. مؤلفه اول اصلی در این روش، اطلاعات مشترک بین پیکسل‌های مجاور است و اطلاعات مکانی متفاوت و اختصاصی هر پیکسل در مؤلفه‌های دیگر تبدیل PCA مکانی قرار دارند. مؤلفه اول اصلی را که شامل اطلاعات مشترک بین پیکسل‌های مجاور در تصویر تکرنگ است به‌عنوان اطلاعات طیفی با دقت پایین تصویر تکرنگ، می‌توان در نظر گرفت (در PCA استاندارد اطلاعات مشترک بین باندهای طیفی، اطلاعات مکانی با دقت پایین تصاویر طیفی در نظر گرفته می‌شد). در ادامه مؤلفه اول اصلی را که شامل اطلاعات طیفی با دقت پایین تصویر تکرنگ است با

تصاویر چندطیفی که شامل اطلاعات طیفی با دقت بالا هستند، جای‌گذاری می‌کنیم. هنگامی که نسبت دقت مکانی تصاویر چندطیفی و تکرنگ برابر با  $n$  باشد، مراحل این الگوریتم به‌صورت زیر است:

۱- تصویر تکرنگ را به‌صورت ماتریس‌های  $n \times n$  تجزیه کن.

۲- هر یک از ماتریس‌های به‌دست آمده را در یک بردار قرار بده و تبدیل PCA را بر روی این بردارها اعمال کن و مؤلفه‌های اصلی را به‌دست آور. همان‌طور که مشخص است، ابعاد تصویر مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده، با ابعاد تصویر چندطیفی برابر است. زیرا ابعاد ماتریس‌های انتخاب‌شده  $n \times n$  است و از طرفی نسبت دقت مکانی تصویر تکرنگ به تصویر چندطیفی نیز برابر  $n$  است. درحقیقت تعداد ماتریس‌هایی که از تجزیه تصویر تکرنگ به‌دست می‌آیند، برابر با تعداد پیکسل‌های تصویر چندطیفی است.

۳- یکی از باندهای تصاویر طیفی را با مؤلفه اول اصلی تطبیق هیستوگرام بده و تصویر حاصل را به جای مؤلفه اول اصلی قرار بده. با استفاده از این جای‌گذاری، در حقیقت اطلاعات هر پیکسل از تصویر طیفی را به جای اطلاعات مشترک هر ماتریس  $n \times n$  قرار داده‌ایم که هر پیکسل از تصویر طیفی و هر ماتریس  $n \times n$  از تصویر تکرنگ، متعلق به یک قسمت از تصویر هستند.

۴- تبدیل معکوس PCA را اعمال کن. تصویر ادغام‌شده به‌دست آمده است.

۵- مراحل ۳ و ۴ را برای دیگر باندهای تصاویر طیفی نیز انجام بده تا همه باندهای ادغام‌شده به‌دست آید.

چون تصویر مؤلفه اول اصلی با تمامی تصاویر طیفی جای‌گذاری شده است، تصاویر ادغام‌شده در این روش شامل همه اطلاعات طیفی خواهند بود بنابراین این روش می‌تواند اطلاعات طیفی را به‌خوبی حفظ کند. به‌طور کلی نتایج ارزیابی‌ها (Nuñez 1999) نشان می‌دهد که تبدیلاتی مانند موجک، کانتورلت و... که در حوزه مکان اعمال می‌شوند، اطلاعات طیفی را بهتر از تبدیلاتی مانند IHS و PCA استاندارد که در حوزه طیف اعمال می‌شوند، حفظ می‌کنند و از طرفی موجب تزریق درست‌تر اطلاعات مکانی می‌شوند. چون تبدیل PCA مکانی نیز همانند تبدیلات موجک و کانتورلت در حوزه مکان اعمال می‌شود، انتظار می‌رود اطلاعات طیفی را به‌خوبی حفظ کند و اطلاعات مکانی را نیز

به‌درستی تزیق کند. نتایج ارزیابی‌های این مقاله نیز این پیش‌بینی را تأیید می‌کند.

#### ۴- نتایج پیاده‌سازی و تحلیل آن

تصویر ماهواره لندست با دقت مکانی سی‌متر و تصویر ماهواره اسپات با دقت مکانی ده‌متر به‌منظور بررسی نتایج ادغام، در این مقاله به‌کار می‌روند. از آنجایی که نسبت دقت مکانی  $n$  در تصاویر اسپات و لندست ۳ به ۱ است، الگوریتم‌های مطرح و نوینی را که بر پایهٔ تبدیل کانتورلت و موجک هستند را نمی‌توانیم به‌کار ببریم. برای مقایسه، الگوریتم‌های برای (Wang 2005)، IHS، PCA و روش مدولاسیون بالاگذر (Wang 2005) در نظر گرفته شده‌اند.

مقایسه چشمی به‌عنوان اولین گام در ارزیابی ادغام تصاویر به‌کار می‌رود. به‌منظور ارزیابی، باند ۴، ۳، ۲ تصاویر ماهواره لندست به‌عنوان تصاویر چندطیفی و تصویر ماهواره اسپات را به‌منظور تصویر تک‌رنگ در نظر می‌گیریم. شکل‌های (۲-الف) و (۲-ب) به‌ترتیب تصویر تک‌رنگ و تصویر چندطیفی اولیه را نمایش می‌دهند.

همان‌طور که در شکل (۲-ج) قابل مشاهده است، روش برای اطلاعات مکانی را حفظ کرده است. اما اطلاعات طیفی در این تصویر به‌شدت تخریب شده است. در این تصویر علاوه‌بر این‌که رنگ در جزئیات، تخریب شده است (در ناحیه بزرگ‌نمایی شده قابل مشاهده است)، رنگ کلی تصویر نیز به هم ریخته است. به‌دلیل این‌که نتیجهٔ تخمین با استفاده از روش برای بایاس دارد (Ranchin 2000)، می‌توان به‌هم‌ریختگی رنگ کلی را، در تصویر ادغام‌شده می‌توان توجیه کرد.

روش‌های PCA استاندارد و IHS که در شکل‌های (۲-ث) و (۲-ج) قابل مشاهده هستند، اطلاعات مکانی تصویر تک‌رنگ اولیه را حفظ کرده‌اند؛ اما رنگ تصویر در جزئیات به هم ریخته است (رجوع شود به ناحیه بزرگ‌نمایی شده). این مسأله در روش PCA حادتر است؛ به‌طوری که رنگ سبز داخل ناحیه بزرگ‌نمایی شده به رنگ قرمز تغییر پیدا کرده است.

در شکل (۲-ت) نتیجهٔ ادغام به کمک مدولاسیون بالاگذر نشان داده شده است. فیلترهای استفاده‌شده در این روش، از نوع Boxcar (Wang 2005) هستند که نقطه‌ضعف اصلی این روش محسوب می‌شود. این نوع فیلترها رپیل‌های زیادی در حوزهٔ فرکانس دارند (Wang 2005) و استفاده از

آنها موجب شده است تصویر رنگی، کمی نوفه‌ای به نظر برسد.

همان‌طور که در شکل (۲-پ) نمایش داده شده است، روش پیشنهادی PCA مکانی، اطلاعات طیفی و مکانی را به‌خوبی حفظ کرده است و از نظر معیار چشمی تصویر بسیار مناسبی است.

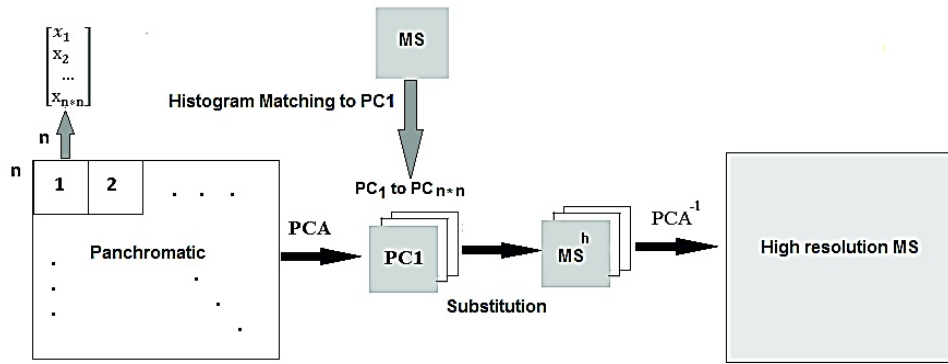
ارزیابی چشمی در ادغام تصاویر، به‌تنهایی کافی نیست؛ و معیارهای کمی متفاوتی به‌منظور ارزیابی تصاویر ادغام‌شده ارائه‌شده‌اند. این معیارها در دو سطح متفاوت قابل استفاده هستند.

سطح اول که سطح با دقت مکانی بالا نامیده می‌شود، هنگامی است که تصاویر لندست و اسپات اولیه را ادغام کنیم و تصویر ادغام‌شده با دقت ده‌متر را به‌دست آوریم. در این سطح از ارزیابی، تصویر مرجعی را برای مقایسه نداریم و تنها باید تصویر ادغام‌شده را با دو تصویر تک‌رنگ و چندطیفی اولیه مقایسه کنیم. بدین منظور، یکی از معیارهای نوین و معتبر QNR است که به‌طور هم‌زمان به‌هم‌ریختگی اطلاعات طیفی و مکانی را مدل می‌کند (Alparone 2008). معیار مناسب دیگر در سطح اول، براساس اطلاعات متقابل تعریف می‌شود. اطلاعات متقابل هرگونه وابستگی خطی و یا غیر خطی بین دو متغیر را آشکار می‌کند. اطلاعات متقابل بین دو تصویر A و B به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Daneshvar, 2011):

$$MI(A, B) = \sum_{a,b} P_{AB}(a, b) \log \frac{P_{AB}(a, b)}{P_A(a)P_B(b)} \quad (۴)$$

که در رابطه (۴)  $P_A$  و  $P_B$  توزیع آماری تصاویر ورودی و  $P_{AB}$  توزیع آماری توأم تصاویر ورودی است. اگر اطلاعات متقابل بین تصویر ادغام‌شده (F) و تصویر تک‌رنگ اولیه (PAN) را برای هر باند از تصویر ادغام‌شده، محاسبه کنیم و میانگین آن را با  $MI(F, PAN)$  نمایش دهیم و اطلاعات متقابل بین تصویر ادغام‌شده و تصویر چندطیفی اولیه (MS) را باند به باند حساب کنیم و میانگین آن را با  $MI(F, MS)$  نمایش دهیم، ارزیابی با استفاده از این روش به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Daneshvar, 2011):

$$I = \frac{MI(F, PAN) + MI(F, MS)}{2} \quad (۵)$$



(شکل ۱): الگوریتم PCA مکانی جهت ادغام تصاویر. نسبت دقت مکانی بین تصاویر چندطیفی و تک‌رنگ  $n$  فرض شده است. منظور از PC1 مؤلفه اول اصلی و منظور از  $PCn \times n$  مؤلفه  $n \times n$  اصلی است. MS نشان‌دهنده تصویر چندطیفی است، و علامت  $h$  بالای آن، نشان‌دهنده تصویر چندطیفی تطبیق هیستوگرام یافته است.

که در رابطه  $(\gamma)$ ،  $T_1$  آماره کافی و حاوی اطلاعات فرآیند تصاویر ادغام‌شده و  $T_2$  آماره کافی فرآیند تصاویر چندطیفی و تک‌رنگ اولیه است. ضرایب  $W_i$  و  $r_i$  با استفاده از بهینه‌سازی استاندارد متلب (دستور کمینه‌سازی تابع، در جعبه بهینه‌سازی متلب)، طوری انتخاب می‌شوند تا رابطه  $(\delta)$  را بیشینه کنند:

$$I = MI(T_1; T_2) \quad (\delta)$$

اگر رابطه  $(\delta)$  بیشینه شود، یعنی  $T_1$  و  $T_2$  آماره کافی هستند و اطلاعات فرآیندهای مربوط به خود را به خوبی حفظ کرده‌اند. در نهایت کمیتی که از رابطه  $(\delta)$  به دست می‌آید، به عنوان معیار ارزیابی پیشنهادی به کار می‌رود. مقادیر QNR، معیار اطلاعات متقابل و معیار پیشنهادی در روش‌های مختلف در جدول (۱) آورده شده‌اند.

سطح دیگری که به منظور ارزیابی به کار می‌رود، ارزیابی با استفاده از تصویر مرجع یا ارزیابی در سطح دقت مکانی پایین است. برای ارزیابی در این سطح، ابتدا وضوح تصویر تک‌رنگ و تصویر چندطیفی اولیه را با استفاده از یک فیلتر پایین گذر گوسی تخریب می‌کنیم؛ به طوری که دقت مکانی تصویر تک‌رنگ برابر با سی‌متر و دقت مکانی تصویر چندطیفی برابر با نودمتر خواهد شد. سپس این دو تصویر را ادغام می‌کنیم تا تصویر ادغام‌شده‌ای با دقت مکانی سی‌متر به دست آوریم و آن را به کمک معیارهای مختلف ارزیابی، با تصویر چند طیفی سی‌متر اولیه مقایسه کنیم (Nuñez 1999)، (Mahyari 2011). در این مقاله برای مقایسه در این سطح (ارزیابی با استفاده از تصویر مرجع)، از چهار معیار پرکاربرد استفاده می‌کنیم:

نقطه ضعف اصلی این روش این است که اطلاعات جمع‌پذیر نیست و میانگین‌گیری از اطلاعات طیفی و مکانی که در رابطه  $(\delta)$  نشان داده شده است، معیار درستی نیست. از طرف دیگر هنگامی که اطلاعات متقابل بین تصویر ادغام‌شده را یک‌بار با تصویر تک‌رنگ و یکبار با تصویر چندطیفی حساب می‌کنیم، اطلاعات مشترک بین تصویر تک‌رنگ و تصویر چندطیفی اولیه، دوبار حساب می‌شود. استفاده از رابطه  $(\delta)$  تنها هنگامی صحیح است که تصویر تک‌رنگ و تصویر چندطیفی از یکدیگر مستقل باشند اما چون تصویر تک‌رنگ و چندطیفی از یک صحنه هستند، به طور کامل به هم وابسته هستند. بنابراین به منظور جلوگیری از نقطه ضعف بیان‌شده، در این مقاله معیار دیگری با استفاده از مفهوم اطلاعات متقابل ارائه می‌شود. اگر فرض کنیم  $F_1$  تا  $F_N$  باندهای تصویر ادغام‌شده باشند و PAN تصویر تک‌رنگ باشد و  $MS_1$  تا  $MS_N$  باندهای تصویر چندطیفی اولیه باشند، اطلاعات متقابل بین تصویر ادغام‌شده و تصاویر چندطیفی و تک‌رنگ اولیه را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$I = MI(F_1, F_2, \dots, F_N; PAN, MS_1, MS_2, \dots, MS_N) \quad (\epsilon)$$

اما هنگامی که تعداد متغیرها افزایش می‌یابد، دقت تخمین اطلاعات متقابل به صورت نمایی آفت می‌کند (Liu 2001)، در چنین شرایطی با استفاده از آماره کافی\* اطلاعات متقابل را تخمین می‌زنند (Po 2006). آماره کافی فرآیندی است که نماینده و حاوی اطلاعات فرآیند دیگری است. داریم:

$$T_1 = \sum_{i=1}^N w_i |F_i|, T_2 = \sum_{i=1}^N r_i |MS_i| + r_0 |PAN| \quad (\gamma)$$

\*Sufficient Statistic

۱- معیار همبستگی خطی:

$$Q = \frac{\sigma_{FR} 2m_R m_F 2\sigma_R \sigma_F}{\sigma_R \sigma_F m_R^2 + m_F^2 \sigma_R^2 + \sigma_F^2} \quad (12)$$

که در این رابطه،  $\sigma_R$  و  $\sigma_F$  به ترتیب انحراف از معیار استاندارد تصویر ادغام شده و تصویر مرجع را نشان می دهند. این معیار شامل ترکیب سه معیار متفاوت است؛ به طوری که کاهش همبستگی خطی، اعوجاج شدت نور و اعوجاج روشنایی را آشکار می کند (Alparone 2008). در صورتی که تصویر مرجع و تصویر ادغام شده یکسان باشند، این مقدار بیشینه و برابر با یک خواهد شد.

۴- معیار SAM و یا SA

معیار SAM بین هر باند از تصویر ادغام شده و تصویر مرجع به صورت زیر قابل محاسبه است (Alparone 2008):

$$SAM(u, \hat{u}) = \text{Arc cos} \left( \frac{\langle u, \hat{u} \rangle}{\|u\| \times \|\hat{u}\|} \right) \quad (13)$$

که در رابطه (۱۳)، بردار  $u = \{F_1, F_2, \dots, F_N\}$  برای هر پیکسل حاوی مقدار باندهای ادغام شده در همان پیکسل، و بردار  $\hat{u} = \{R_1, R_2, \dots, R_N\}$  حاوی مقدار باندهای تصویر مرجع است. عمل گر  $\langle \rangle$  بیان گر ضرب داخلی بین دو بردار و عمل گر  $\| \|$  بیانگر اندازه بردار است. رابطه (۱۳) برای هر پیکسل محاسبه می شود. با استفاده از میانگین گیری از رابطه (۱۳) بر روی همه پیکسل ها، معیار نهایی به منظور ارزیابی به دست می آید.

جدول شماره (۲)، ارزیابی تصاویر ادغام شده را با استفاده از معیارهای بیان شده نشان می دهد. برای بررسی بیشتر، روش های موجود در ادغام تصاویر و روش پیشنهادی را بر روی یک مجموعه داده دیگر که توسط ماهواره آیکنوس تهیه شده است، پیاده سازی می کنیم. نتایج پیاده سازی برای تصویر تک رنگ و چندطیفی در شکل (۳) نمایش داده شده اند. جداول (۳) و (۴) نتایج ارزیابی تصویر آیکنوس را به ترتیب، در سطح دقت مکانی بالا و سطح دقت مکانی پایین نشان می دهند.

همان طور که از جدول (۱) تا (۴) مشخص است، روش پیشنهادی توانسته است اطلاعات مکانی و طیفی را به طور همزمان حفظ کند.

این معیار مقدار وابستگی خطی بین دو متغیر را آشکار می کند. مقدار بیشینه آن برابر با یک است و برای دو تصویر مرجع R و ادغام شده F به صورت زیر محاسبه می شود (Nuñez 1999):

$$\text{Corr}(R, F) = \frac{\sum_{j=1}^{npx} (F_j - m_F)(R_j - m_R)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{npx} (F_j - m_F)^2 \sum_{j=1}^{npx} (R_j - m_R)^2}} \quad (9)$$

که در رابطه (۹)، m بیان گر میانگین تصویر است. برای ارزیابی با این روش، مقدار همبستگی خطی بین هر باند از تصویر ادغام شده و تصویر مرجع محاسبه می شود. مقدار میانگین همبستگی های به دست آمده، معیار نهایی به منظور ارزیابی است.

۲- معیار ERGAS

معیار ERGAS به صورت رابطه (۱۰) تعریف می شود (González 2004):

$$\text{ERGAS} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\text{RMSE}^2(F_i, R_i)}{m_{R_i}^2}} \quad (10)$$

که در رابطه (۱۰)،  $h$  دقت مکانی تصویر تک رنگ،  $l$  دقت مکانی تصویر چندطیفی و  $m_{R_i}$  میانگین باند  $i$  ام تصویر مرجع است.

RMSE (Root Mean Square Error) در رابطه (۱۰)، بین هر باند از تصویر ادغام شده و مرجع توسط رابطه زیر محاسبه می شود:

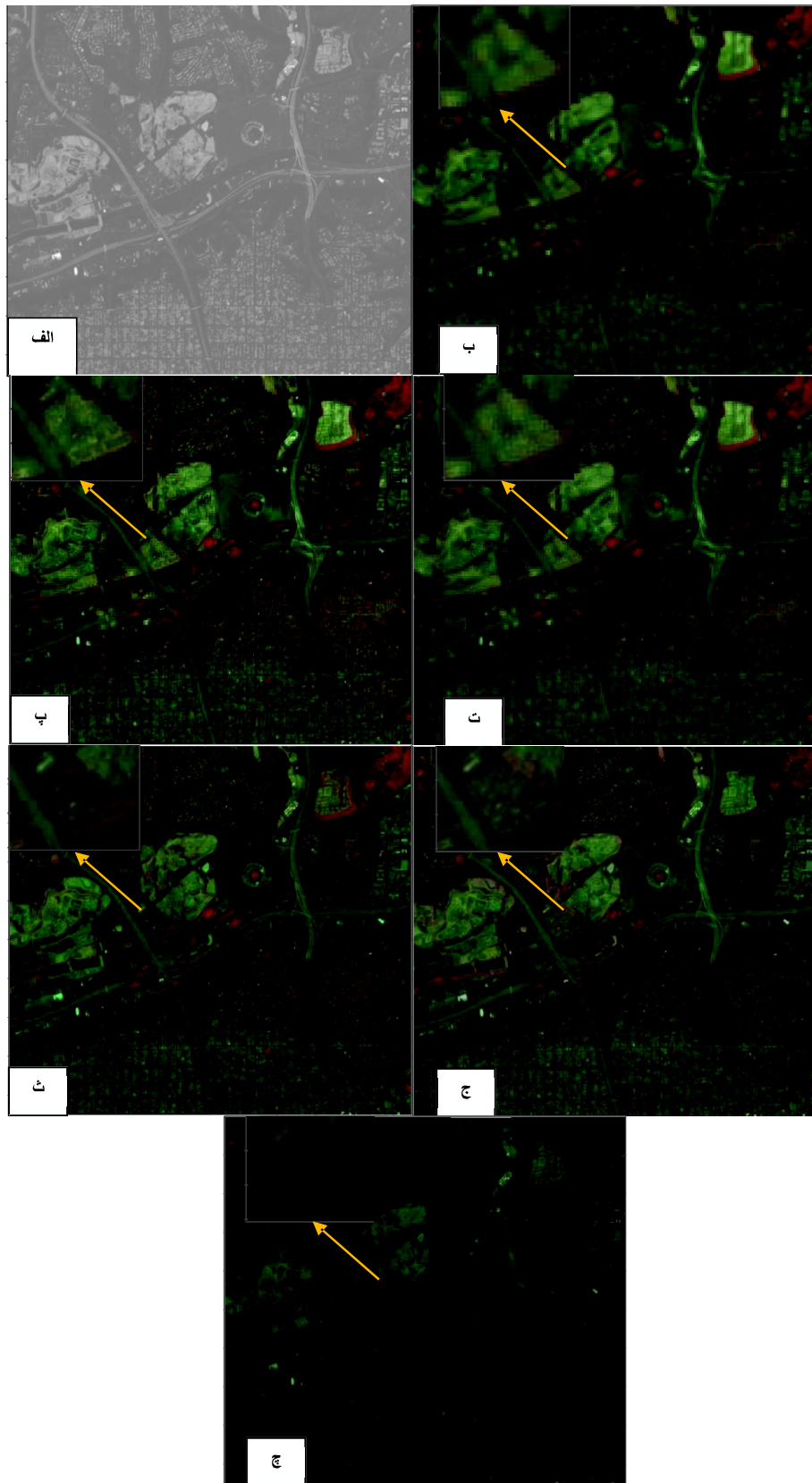
$$\text{RMSE}(F_i, R_i) = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^L \sum_{y=1}^K (F_i(x, y) - R_i(x, y))^2}{K \times L}} \quad (11)$$

که در رابطه ۱۱، X و Y شماره پیکسل ها هستند و تصویر مرجع و تصویر ادغام شده هر دو K پیکسل در L پیکسل هستند.

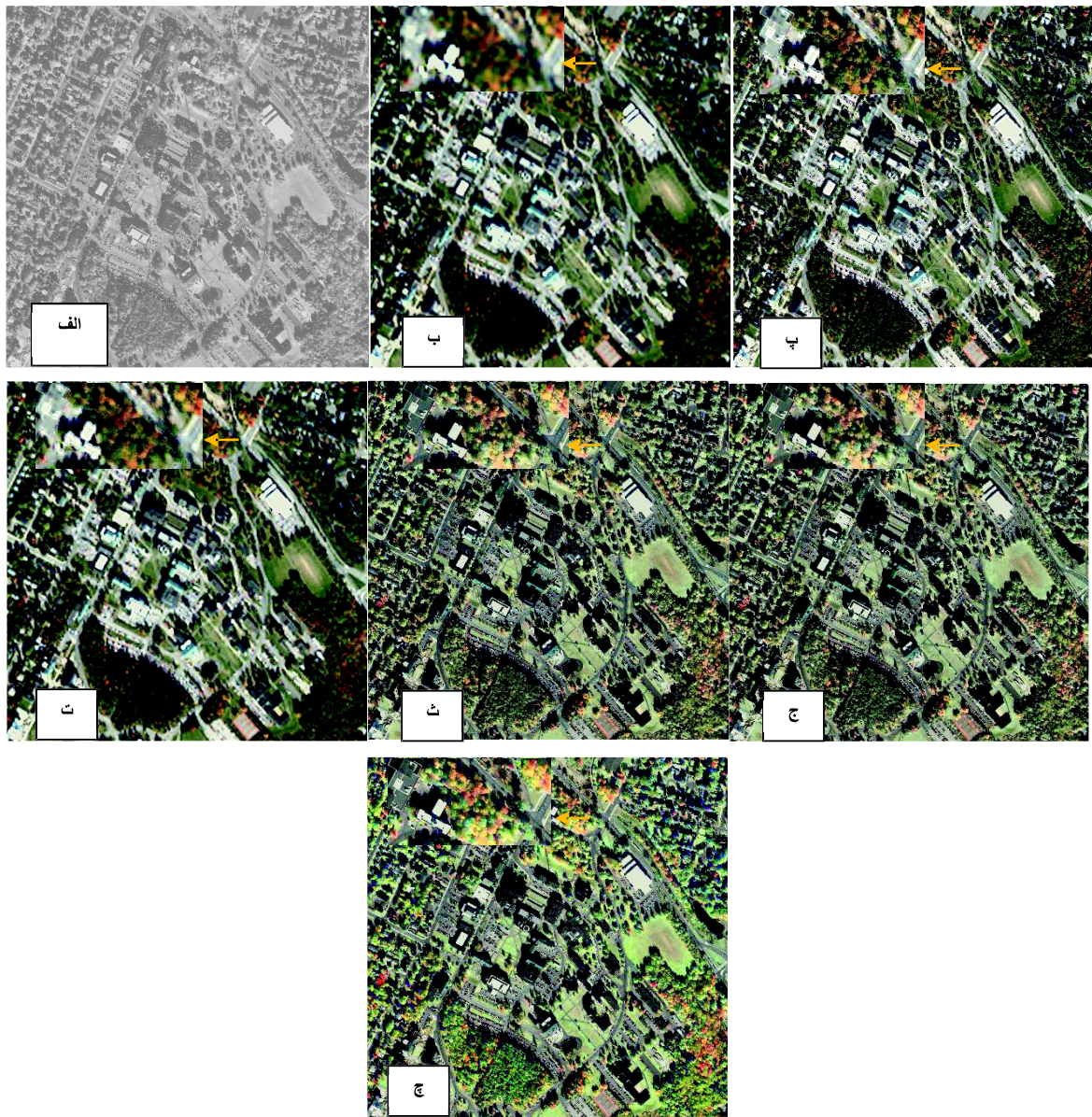
هر قدر مقدار ERGAS کمتر باشد، تصویر ادغام شده به تصویر مرجع نزدیک تر است.

۳- معیار UIQI

معیار UIQI برای دو تصویر مرجع R و ادغام شده F به صورت زیر است (Alparone 2008):



(شکل ۲): الف) تصویر تکرنگ اولیه ب) تصویر چندطیفی (رنگی) اولیه پ) روش پیشنهادی PCA مکانی  
ت) روش مدولاسیون بالاگذر ث) روش PCA استاندارد ج) روش IHS چ) روش براوی



(شکل ۳): الف) تصویر تک‌رنگ اولیه ب) تصویر چندطیفی (رنگی) اولیه پ) روش پیشنهادی PCA مکانی  
 ت) روش مدولاسیون بالاگذر ث) روش PCA استاندارد ج) روش IHS چ) روش برای

(جدول ۱): ارزیابی تصاویر ادغام‌شده در سطح دقت مکانی بالا برای تصاویر لندست و اسپات

روش‌ها	PCA مکانی پیشنهادی	مدولاسیون بالاگذر	برای	PCA	IHS
QNR	0.875	0.793	0.774	0.809	0.791
اطلاعات متقابل	0.661	0.641	0.574	0.597	0.576
ارزیابی پیشنهادی	0.736	0.712	0.698	0.714	0.695



(جدول ۲): ارزیابی تصاویر ادغام شده در سطح دقت مکانی پایین برای تصاویر لندست و اسپات

IHS	PCA	برای	مدولاسیون بالا گذر	PCA مکانی پیشنهادی	روش‌ها
0.840	0.862	0.855	0.871	<b>0.935</b>	همبستگی خطی
4.19	4.20	3.89	3.27	<b>2.32</b>	ERGAS
0.825	0.818	0.785	0.821	<b>0.849</b>	UIQI
5.36	4.73	5.37	3.42	<b>2.88</b>	SAM

(جدول ۳): ارزیابی تصاویر ادغام شده در سطح دقت مکانی بالا برای تصاویر آیکنوس

IHS	PCA	برای	مدولاسیون بالا گذر	PCA مکانی پیشنهادی	روش‌ها
0.833	0.872	0.824	0.838	<b>0.914</b>	QNR
1.10	1.11	1.04	1.18	<b>1.24</b>	اطلاعات متقابل
1.23	1.25	1.14	1.20	<b>1.33</b>	ارزیابی پیشنهادی

(جدول ۴): ارزیابی تصاویر ادغام شده در سطح دقت مکانی پایین برای تصاویر آیکنوس

IHS	PCA	برای	مدولاسیون بالا گذر	PCA مکانی پیشنهادی	روش‌ها
0.890	0.899	0.874	0.907	<b>0.951</b>	همبستگی خطی
4.01	3.99	4.28	2.75	<b>1.96</b>	ERGAS
0.861	0.866	0.813	0.885	<b>0.903</b>	UIQI
3.79	3.68	4.24	2.56	<b>1.72</b>	SAM

جدید پیشنهاد و دلایل برتری این روش ارزیابی را بیان کردیم. جدول‌های ارزیابی در دو سطح با دقت مکانی بالا و پایین، برتری روش پیشنهادی را نشان دادند.

### مراجع

Ghassemian, H., 2001. Multisensor image fusion by multiscale filter banks, Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing ICIP2001, pp. 846–849.

Ghassemian, H., 2009. Multi-sensor remote sensing image fusion based on Retina-Inspired model, IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications, ISIEA, pp. 500–505.

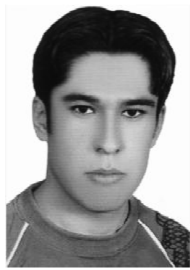
Daneshvar, S. and Ghassemian, H., 2011. MRI and PET image fusion by combining IHS and retina-inspired models, Information Fusion, Vol. 11, No. 2, pp. 114–123.

González-Audicana, M., Saleta, J. L., Catalán, R. G. and García, R., 2004. Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and

سال ۱۳۹۲ شماره ۱ پیاپی ۱۹

### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی نوین به منظور ادغام تصاویر چندطیفی و تکرنگ ارائه شد که می‌تواند نقطه ضعف اصلی PCA استاندارد را برطرف کند. این روش که بر مبنای PCA حوزه مکان عمل می‌کند، قادر است به خوبی اطلاعات طیفی و مکانی را حفظ کند. الگوریتم‌هایی که بر پایه تبدیل موجک و کانتورلت واقع شده‌اند، در شرایطی کاربرد دارند که نسبت دقت مکانی بین تصویر تکرنگ و چندطیفی توانی از دو باشد. اما الگوریتم پیشنهادی چنین محدودیتی ندارد. در ادامه با استفاده از ارزیابی چشمی، استدلال کردیم که الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها برتر است. سپس روش‌های ارزیابی موجود را در سطح دقت مکانی بالا و سطح دقت مکانی پایین (ارزیابی با استفاده از تصویر مرجع) معرفی کردیم و بر پایه اطلاعات متقابل، یک روش ارزیابی



**حمید رضا شاهدوستی** متولد ۱۳۶۳ تحصیلات متوسطه خود را در همدان سپری و در سال ۱۳۸۶ در رشته مهندسی پزشکی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر مدرک کارشناسی خود را اخذ کرد و سپس تحصیلات خود را در رشته مخابرات سیستم در

دانشگاه صنعتی شریف ادامه داد. وی در سال ۱۳۸۸ موفق به اخذ مدرک کارشناسی ارشد شد و در سال ۱۳۸۹ در مقطع دکتری دانشگاه تربیت مدرس در رشته مخابرات سیستم پذیرفته شد. ایشان هم‌اکنون در حال گذراندن دوره دکتری است. پردازش تصویر، پردازش سیگنال‌های راداری، گیرنده و فرستنده‌های مخابراتی از جمله سرفصل‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان است.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:

**Hamidreza.shahdoosti@modares.ac.ir**



**محمد حسن قاسمیان یزدی**

تحصیلات کارشناسی خود را در رشته مهندسی مخابرات در سال ۱۳۵۸ در دانشکده مخابرات ایران به پایان رساند. ایشان مدارک کارشناسی ارشد و دکتری

خود را در رشته مخابرات از دانشگاه پردو آمریکا به ترتیب در سال ۱۳۶۳ و ۱۳۶۷ اخذ کرد. و پس از آن به‌عنوان عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس به تدریس و پژوهش پرداخت. ایشان در حال حاضر، استاد دانشگاه تربیت مدرس است. آنالیز و پردازش تصاویر از منابع چندگانه، پردازش اطلاعات و تشخیص الگو، سنجش از دور، مهندسی سامانه‌های تشخیص الگو، پردازش تصاویر و سیگنال‌های مهندسی پزشکی از جمله سرفصل‌های پژوهشی مورد علاقه‌شان است.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:

**ghassemi@modares.ac.ir**

PCAmersgers based on wavelet decomposition, IEEE Transaction on Geoscience and RemoteSensing, Vol. 42, No. 6, pp. 1291–1299.

Laben, C. A. and Brower, B. V., 2000. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening, U.S. Patent 6,011,875.

Cakir, H. I. andKhorram, S., 2008. Pixel Level Fusion of Panchromatic and Multispectral Images Based on Correspondence Analysis,Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 74, No. 2, pp. 183–192.

Pohl, C. and Genderen, J. L., 1998. Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications, International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 5, pp. 823–854.

Wilson, T. A., Rogers, S. K. and Kabrisky, M., 1997. Perceptual-based image fusion for hyperspectral data,IEEE Transaction on Geoscience and RemoteSensing, Vol. 35, No. 4, pp. 1007–1017.

Nuñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Palà, V.,and Arbiol, R., 1999. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition, IEEE Transaction on Geoscience and RemoteSensing, Vol. 37, No. 3, pp. 1204–1211.

Mahyari, A. G. and Yazdi, M., 2011. Panchromatic and Multispectral Image Fusion Based on Maximization of Both Spectral and Spatial Similarities, IEEE Transaction on Geoscience and RemoteSensing, Vol. 49, No. 6, pp. 1976–1985.

Wang, Z., Ziou, D., Armenakis, C., Li, D. and Li, Q., 2005. A Comparative Analysis of Image Fusion Methods, IEEE Transaction on Geoscience and RemoteSensing, Vol. 43, No. 6.

Valavi, R. and Ghassemian, H., 2004. A fusion Approach of Multi-Sensor Remote Sensing Data Based on Retina Model, Proceedings of 12th Iranian Conference on Electric Engineering.

Ranchin, T. and Wald, L., 2000. Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 66, No. 1, pp. 49–61.

Alparone, L., Aiazzi, B., Baronti, S., Garzelli, A., Nencini F. and Selva, M., 2008. Multispectral and panchromatic data fusion assessment without refrence,Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,Vol. 74, No. 2, pp. 193–200.

Liu, J. and Moulin, P., 2001. Information-theoretic analysis of interscale and intrascale dependencies between image wavelet coefficients, IEEE Transaction on Image Processing,Vol. 10, No. 11, pp. 1647–1658.

Po, D. D.-Y. andDo, M. N., , 2006. Directional multiscale modeling of images using the contourlet transform,IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 15, No. 6, pp. 1610–1620.

سال ۱۳۹۲ شماره ۱ پیاپی ۱۹