

ادغام اطلاعات مکانی تصویر آیکونوس و اطلاعات طیفی تصاویر اسپات ۴

محمد حسن قاسمیان یزدی^{*۱}، مصلح الیاسی^۲

۱- استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۸۶/۶/۲۱

پذیرش: ۸۷/۸/۲۰

چکیده

توسعه فناوری ماهواره‌های سنجش از دور، قابلیت زیادی در تولید تصاویر چندطیفی ایجاد کرده است. این تصاویر ویژگی‌های مکانی، طیفی و رادیومتری مختلفی دارند. امکان اخذ تصاویری که هم دقت طیفی و هم دقت مکانی بالایی داشته باشند، به دلیل محدودیت‌های عملی در ساخت سنجنده‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. برای غلبه بر این مشکل می‌توان از فرایند ادغام تصاویر استفاده کرد. در این فرایند، اطلاعات مکانی از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و اطلاعات طیفی از تصاویر با دقت طیفی بالا استخراج و با یکپارچه کردن آنها، تصویری با دقت مکانی و طیفی بالا ایجاد می‌شود. ادغام اطلاعات موجب افزایش کاربری آن شده، به نحوی که می‌توان به تصویر جدید با اطلاعات جامع‌تر دسترسی پیدا کرد. فرایند ادغام ایدئال فرایندی است که سبب تخریب اطلاعات طیفی نشده و ویژگی‌های طیفی را به‌طور کامل حفظ و خواص مکانی را به تصاویر چندطیفی اضافه کند. روش‌ها و الگوریتم‌های موجود برای ادغام تصاویر ماهواره‌های جدید به دلیل تغییراتی که در ماهواره‌ها صورت گرفته، کارایی لازم را ندارند (امکان ادغام تصاویر با نسبت دقت مکانی بیش از ۶ را ندارند). در این صورت فراهم کردن روش‌های جدید ادغام برای تصاویر با نسبت دقت مکانی بالا (بیش از ۱۰) لازم و ضروری می‌باشد.

در این مقاله الگوریتم جدیدی برای ادغام اطلاعات مکانی تصویر IKONOS با دقت مکانی یک متر و اطلاعات طیفی تصاویر SPOT با دقت مکانی ۲۰ متر، معرفی شده است (نسبت دقت مکانی ۲۰).

E-mail: ghasemi@modares.ac.ir

* نویسنده مسئول مقاله:



این الگوریتم در سطح ویژگی بوده و براساس مدل شبکه چشم می‌باشد. مقایسه نتایج با چند الگوریتم مشهور PCA، HPF، IHS، موجک، و روش هیبرید موجک-PCA بر روی این تصاویر انجام شد. ارزیابی کیفی و کمی اطلاعات مکانی و طیفی تصاویر ادغام شده صورت گرفت، نتایج مؤید بهینه بودن الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش‌های مذکور، از نظر حفظ اطلاعات طیفی و مکانی می‌باشد. یکی از ویژگی‌های بارز این روش پیشنهادی نیاز نداشتن به فرایند نمونه‌برداری مجدد است که در تمامی روش‌های قبلی اجتناب ناپذیر بوده و یک فرایند مخرب اطلاعات مکانی محسوب می‌شود.

کلید واژه‌ها: ادغام تصویر، سنجش از دور، اطلاعات طیفی، اطلاعات مکانی، آیکونوس، اسپات.

۱- مقدمه

در سنجش از دور، ماهواره‌های مشاهده‌گر زمینی اطلاعات تصویری را از قسمت‌های مختلف سطح زمین در زمان‌های مختلف جمع‌آوری می‌کنند. این اطلاعات دقت‌های رادیومتری، طیفی و مکانی متفاوتی دارند. با ادغام اطلاعات سنجنده‌ها، نتایج ارزشمند و مضاعفی نسبت به استفاده از یک سنجنده به‌دست می‌آید. از طرف دیگر تکرار منابع به‌عنوان مکمل می‌تواند باعث بالا رفتن اعتماد سیستم شود. از نظر توصیفی می‌توان گفت ادغام‌کننده اطلاعات، یک سیستم با چند ورودی و یک خروجی است، که ورودی آن اطلاعات حاصل از سنجنده‌های مختلف است، که در هر دو حالت کلی از نظر ماهیت نیز متفاوت هستند. ادغام اطلاعات در سطوح مختلف انجام می‌شود [۱، صص ۱۱۹۰-۱۱۹۳]. سه سطح از پرکارترین سطوح ادغام اطلاعات شامل ادغام در سطح سیگنال یا پیکسل، ادغام در سطح ویژگی‌ها (عوارض) و ادغام در سطح تصمیم می‌باشد. روش‌های مختلف بسته به اینکه در چه سطحی انجام می‌شود، با هم متفاوت و از سطح پیچیدگی خاصی برخوردار هستند. اگر ادغام در سطوح پایین (سیگنال) انجام شود، اطلاعات کامل‌تری در ادغام استفاده می‌شود و حجم پردازش و پیچیدگی نیز بالاست و در صورتی که در سطوح بالاتر صورت پذیرد، تصمیم‌گیری سریعتر شده و اطلاعات کمتری در دست خواهد بود [۲، صص ۱۰۹-۱۲۰].

به‌دلیل دو محدودیت عمده فنی، که یکی رسیدن انرژی تابشی کافی (در مقابل نویز محیطی) به سنجنده و دیگری حجم داده‌های جمع‌آوری شده به‌وسیله سنجنده می‌باشد،

ماهواره‌ها نمی‌توانند به‌طور مستقیم تصاویر چندطیفی با دقت مکانی بالا جمع‌آوری کنند. تصویر تکرنگ، یک محدوده با طول موج گسترده را پوشش می‌دهد؛ در حالی‌که تصاویر چندطیفی یک محدوده باریک‌تر را شامل می‌شوند. به منظور به‌دست آوردن مقادیر یکسان از انرژی دریافتی در تصاویر تکرنگ و چندطیفی، اندازه یک آشکارساز تصویر تکرنگ از آشکارساز تصویر چندطیفی کوچکتر می‌باشد. بنابراین قدرت تفکیک سنجنده تکرنگ بهتر از سنجنده چندطیفی است. در مورد محدودیت دوم، حجم تصاویر چندطیفی با قدرت تفکیک بالا بیشتر از هر یک از تصاویر تکرنگ با دقت مکانی بالا و تصاویر چندطیفی با دقت مکانی پایین خواهد بود که خود محدودیت‌های دیگری مربوط به ظرفیت ذخیره داده‌ها در روی سکو و سرعت انتقال داده از سکو به زمین را به‌وجود می‌آورد. با توجه به این محدودیت‌ها واضح است که مؤثرترین راه‌حل تهیه تصاویر سنجنش از دور با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا و با توسعه روش‌های ادغام تصویر امکان‌پذیر می‌باشد. پژوهش‌های اخیر نیز بر ارائه الگوریتم و روش‌های مؤثر برای ادغام تصاویر تکرنگ و چندطیفی تمرکز یافته است.

تی‌مینگ و همکاران در سال ۲۰۰۴ روشی را به نام Fast-IHS برای ادغام تصاویر چندطیفی و تکرنگ آیکونوس ارائه کردند که در نتیجه روش فوق نتایج بهتری از نظر سرعت پردازش و کیفیت تصویر نسبت به روش IHS معمول به‌دست آورد [۳، صص ۳۰۹-۳۱۲]. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۰۴ روش جدیدی را که ترکیبی از روش‌های IHS و موجک بود، برای ادغام هر کدام از تصاویر آیکونوس و کویک برد به‌کار بردند که در نتیجه آن اغتشاش طیفی تصویر به‌دست آمده در مقایسه با هر کدام از این روش‌ها کمتر بوده و نتایج رضایت‌بخشی به‌دست آمد. آلونسوریز و همکاران در سال ۲۰۰۴ الگوریتمی برای ادغام تصاویر اسپات ۵ و آیکونوس پیشنهاد دادند [۴، صص ۲۳۴-۲۳۵:۵]. این الگوریتم بر اساس مفهوم ARSIS و معرفی یک کاربرد برای نسبت قدرت تفکیک مکانی برابر با ۱۰ متر می‌باشد. آنها روش خود را با روش‌های کلاسیک مقایسه کردند. نتایج ارزیابی کمی و بصری تصاویر ترکیبی نشان داد که تصاویر ترکیبی به‌دست آمده با روش پیشنهادی کیفیت بالاتری نسبت به تصاویر منتج از سایر روش‌های کلاسیک ادغام دارد. ادغام اطلاعات برای حل بسیاری از مسائل از قبیل آشکارسازی، شناسایی، ردگیری و تصمیم‌گیری قابل به‌کارگیری است. این قبیل مسائل علاوه بر حوزه سنجنش از دور در علوم مختلفی از جمله سیستم‌های دفاعی، رباتیک، علوم پزشکی، تشخیص هویت و سیستم‌های حفاظتی نیز کاربرد دارد [۶].



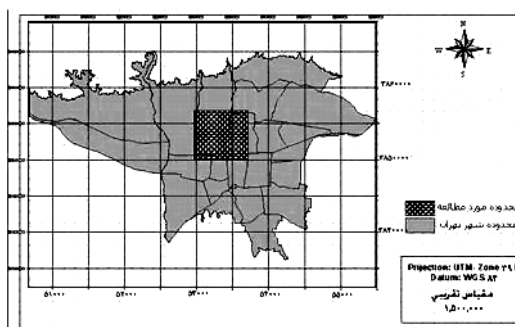
صص ۱۶۲۴-۱۶۳۲؛ ۷، صص ۱-۱۱؛ ۸، صص ۱-۱۰].

در این مقاله سعی شده است که روشی برای ادغام تصاویر ماهواره‌ای با نسبت دقت مکانی بالا ارائه شود. با توجه به اینکه تاکنون روش‌های ارائه شده برای ادغام تصاویر ماهواره‌ای این توانایی را نداشتند و تصاویر ترکیبی مناسبی با این روش‌ها به دست نمی‌آید، بنابراین با ارائه مدل شبکه‌ی چشم برای ادغام تصاویر با دقت مکانی بالا محدودیت ناشی از ترکیب این تصاویر تا حدودی برطرف می‌شود.

در این مقاله ابتدا منطقه مطالعه شده بررسی شده و سپس پیش پردازش تصاویر که شامل هم‌مختصات کردن آنها می‌شود، ارائه می‌شود. در ادامه روش‌های معمول ادغام تصاویر و سپس مدل شبکه‌ی چشم برای ادغام پیاده‌سازی می‌گردد. در پایان هم به ارزیابی تصاویر ترکیبی به دست آمده از هریک از روش‌ها و نتایج به دست آمده از آن بیان می‌شود.

۲- منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده در محدوده طول جغرافیایی $51^{\circ}19'51''$ و $51^{\circ}24'43''$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ}41'36''$ و $35^{\circ}45'16''$ شمالی قرار دارد. این منطقه حدود ۵۰ کیلومتر مربع از محدوده غرب و شمال غرب تهران را در بر می‌گیرد و شامل بخش‌های زیادی از مناطق شش و دو تهران می‌شود (شکل ۱). عوارض موجود در این تصاویر شامل پوشش گیاهی که در محدوده میدان آزادی، پارک لاله، میادین و تقاطع‌ها وجود دارد، همچنین خیابان‌ها و بزرگراه‌ها، زمین‌های بایر و مناطق و شهرک‌های مسکونی دیده می‌شود.



شکل ۱ محدوده مطالعه شده

تصاویر استفاده شده در این تحقیق شامل تصاویر چندطیفی سنجنده HRVIR^۱ ماهواره اسپات ۴ که شامل چهار باند در محدوده طیفی باند سبز (۰/۵۹ - ۰/۵۰ میکرومتر)، باند قرمز (۰/۸۶ - ۰/۶۱ میکرومتر)، باند مادون قرمز نزدیک (۰/۸۹ - ۰/۷۸ میکرومتر) و باند مادون قرمز میانی (۱/۷ - ۱/۵۸ میکرومتر) و تصویر تکرنگ ماهواره آیکنوس در محدوده طیفی ۰/۵۴ - ۰/۰۹ میکرومتر می باشد. به دلیل دسترسی نداشتن باند مادون قرمز میانی اسپات استفاده نشد.

۳- هم مختصات کردن تصاویر

هم مختصات کردن یا تثبیت تصاویر یک روش اساسی در کاربردهای مختلف سنجش از دور می باشد. تثبیت داده ها یک فرایند کلیدی قبل از ادغام تصاویر می باشد. دقت فرایند تثبیت به طور مستقیم بر نتایج ادغام تأثیر می گذارد. هدف از این کار آن است که تصاویر طیفی و مکانی با سیستم های مختصاتی متفاوت دارای سیستم مختصات یکسان گردند و عوارض مشابه در تصاویر طیفی و مکانی روی هم منطبق شوند. اگر تصویر چندطیفی و تکرنگ خیلی خوب با هم تثبیت شوند، تصویر ترکیبی نهایی یک تصویر کامل بنظر می رسد، در غیر این صورت در تصویر ترکیبی، پدیده های لبه های مات یا کدر شدگی دیده می شود [۹، صص ۹۷۷ - ۱۰۰۰].

در این تحقیق با توجه به اینکه یک تصویر با قدرت تفکیک متوسط (۲۰ متر) با تصویری با قدرت تفکیک بالا (۲۰ متر) هم مختصات می شد، به منظور انجام یک تثبیت مطلوب، از تعداد زیاد نقاط کنترل (حدود ۴۰ نقطه) استفاده شد و نتایج کاملاً رضایت بخشی به دست آمد. در ادامه نمونه گیری مجدد برای بازنویسی ارزش های پیکسل تصاویر اسپات انجام شد. از میان روش های موجود در نمونه گیری مجدد، روش نزدیک ترین همسایه انتخاب شد تا تغییری در ارزش پیکسل های اولیه به وجود نیاید.

1. High resolution visible and infra red



۴- ادغام تصاویر

در این بخش به معرفی و پیاده‌سازی روش‌های ادغام متداول و روش پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۴-۱- روش فیلتر بالا گذر (HPF)

در روش HPF اطلاعات لبه از تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا - آیکونوس - استخراج شده و این اطلاعات پیکسل به پیکسل به باندهای تصویر با قدرت تفکیک مکانی پایین - اسپات - اضافه می‌شود. فیلتر بالا گذر تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا مؤلفه‌های فرکانس بالا را که اطلاعات مکانی را در بر می‌گیرند، شامل می‌شود. بنابراین با اضافه شدن این فیلتر به باندهای تصویر با قدرت تفکیک پایین برخی اطلاعات مکانی تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا در تصویر ترکیبی ظاهر خواهد شد. الگوریتم استفاده شده برای ادغام تصاویر به صورت رابطه ۱ می‌باشد [۱۰]:

$$F_{i,j} = L_{i,j} + \left(H_{i,j} - \overline{H_{i,j}(w,h)} \right) \quad (1)$$

$F_{i,j}$ ، تصویر ترکیب شده با پیکسل‌های با مختصات (i,j) ، تصویر با قدرت تفکیک مکانی پایین و $H_{i,j}$ تصویر با قدرت تفکیکی مکانی بالا و بالاخره $\overline{H_{i,j}(w,h)}$ میانگین $H_{i,j}$ در پنجره‌ای با عرض w و طول h می‌باشد، که مختصات پیکسل مرکزی آن (i,j) است.

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 بالابردن کیفیت و تنظیم رنگ کمک می‌کند. در این روش از این خاصیت بهره‌برداری شده است که بخش قابل توجه اطلاعات مکانی از سایه روشن‌های درون تصویر و جاهایی ناشی می‌شود که تغییر شدت روشنایی در آنها زیاده است؛ یعنی این تغییرات در مؤلفه I قرار دارد. به هر حال این روش در تقویت ویژگی‌های مکانی محدودیت دارد. برای ادغام با این روش، ابتدا تصویر تک‌رنگ با تصاویر چندطیفی هم‌مختصات می‌شود و نمونه‌گیری مجدد برای قرار گرفتن ارزش‌های پیکسل تصاویر چندطیفی در مکان جدید خود در تصاویر هم‌مختصات شده، انجام می‌گیرد. در مرحله بعد سه باند از تصاویر چندطیفی 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 می‌باشد سپس هیستوگرام تصویر تکرنگ با هیستوگرام مؤلفه شدت (I) هماهنگ می‌شود و تصویر تکرنگ اصلاح شده جایگزین مؤلفه شدت می‌شود.

در خاتمه تصویر تکرنگ اصلاح شده به همراه مؤلفه‌های فام (H) و اشباع (S) با تبدیل معکوس IHS به فضای RGB برگردانده می‌شود. تصویر به‌دست آمده دارای دقت مکانی تصویر تکرنگ و دقت طیفی تصاویر چندطیفی خواهد بود [۶، صص ۱۶۲۴-۱۶۳۲].

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

رابطه (۲) تبدیل RGB به IHS و معکوس این تبدیل می‌باشد. در روابط فوق v متغیرهای واسط هستند، که خصوصیات H و S را اعمال می‌کنند.

۳-۴- روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

این تبدیل بر پایه خواص آماری و استفاده از ماتریس کوواریانس استوار است. PCA به‌طور وسیع در کدگذاری تصویر، فشرده‌کردن داده‌های تصویر، بارزسازی تصویر و ادغام تصاویر استفاده می‌شود. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، یک شیوه مؤثر در ادغام تصاویر است. از این روش همچنین در استخراج ویژگی‌های آماری داده‌ها استفاده می‌شود. این روش به دلیل جداسازی کامل عوامل آماری و تولید مؤلفه‌های ناهمبسته از توانایی خوبی در تمرکز بخشی از ویژگی‌های مکانی از ویژگی‌های طیفی داشته و به همین دلیل اطلاعات طیفی را به‌خوبی حفظ می‌کند. ولی به‌هر حال به‌دلیل تفکیک نشدن ویژگی‌های مکانی تصویر تکرنگ در تکمیل دقت مکانی ضعیف عمل می‌کند. در این روش داده با همبستگی زیاد به فضای دیگری که بین داده، همبستگی وجود ندارد، تبدیل می‌شود و تعدادی محور متعامد که داده بر روی آن بسط داده می‌شود، ایجاد می‌شود. بر حسب شرایط می‌توان تعدادی محدود از باندها و یا تمامی باندها را متناسب با اطلاعات قبلی انتخاب کرد [۶، صص ۱۶۲۴-۱۶۳۲].

فرض کنید، $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ بردار تشکیل شده به‌وسیله سیگنال‌های یک بعدی

$x_1, x_2, \dots, x_n$ است. مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس کواریانس به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$C_X = E \left\{ (X - \mu_X)(X - \mu_X)^T \right\} \quad (3)$$

$\mu_X = E(X)$ میانگین ویژگی‌های مطابق با سیگنال است.

برخلاف تبدیل IHS که بر سه باند اعمال می‌شود، می‌توان تبدیل PCA را بر روی تعداد باندهای دلخواه انجام داد. ابتدا تصاویر چندطیفی را با تصویر تکرنگ هم‌مختصات کرده و سپس نمونه‌برداری مجدد انجام می‌شود. در ادامه تبدیل مؤلفه اصلی بر تصاویر چندطیفی اعمال می‌شود، که در نتیجه به تعداد باندهای تصاویر چندطیفی، مؤلفه اصلی ایجاد می‌گردد. سپس هیستوگرام تصویر تکرنگ متناسب با مؤلفه اصلی اول گسترش پیدا می‌کند، تا دارای میانگین و واریانس مشابه باشند. تصویر تکرنگ اصلاح شده به همراه مؤلفه‌های اصلی دیگر و با استفاده از تبدیل معکوس مؤلفه‌های اصلی به فضای اولیه تصویر باز گردانده می‌شود. تصویر به دست آمده تصویر چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی مشابه تصویر تکرنگ اولیه می‌باشد.

۴-۴- روش موجک

در تحلیل چنددقتی تبدیل موجک با بهره‌گیری از یک سبک هرمی، تصویر در هر مرحله به دو مؤلفه تصویری تجزیه می‌شود. تصاویر هر مرحله نسبت به مرحله قبل از آن دارای قدرت تفکیک‌پذیری (مقیاس) نصف می‌باشند. یکی از مؤلفه‌های آن حاوی اطلاعات درشت‌تر است و تقریبی را از مؤلفه‌های فرکانس پایین تصویر بیان می‌کند. این مؤلفه به اصطلاح مؤلفه تقریب یا تصویر تقریب نامیده می‌شود و بیشتر اطلاعات طیفی را حمل می‌کند؛ زیرا اطلاعات طیفی در هر تصویر هم به دلیل ماهیت و هم به دلیل پایین‌تر بودن دقت مکانی تصاویر چندطیفی، پایین‌گذر می‌باشد. مؤلفه دوم شامل مجموعه‌ای از سه تصویر است و اطلاعات با فرکانس بالا را در خود دارد. این مؤلفه به اصطلاح مؤلفه تفصیلی یا تصویر تفصیلی نامیده می‌شود و به اطلاعات مکانی اشاره می‌کند. در واقع در هر مرحله تصاویر تفصیلی حاوی اطلاعات اصلی در دقت مربوط به آن می‌باشد و تصویر تقریب مانده اطلاعات را در خود دارد که در مرحله‌ای دیگر قابل تجزیه خواهد بود [۱۰]. برای ادغام تصاویر بروش موجک، در مرحله اول

تصویر تکرنگ با تصاویر چندطیفی هم‌مختصات شده و نمونه‌گیری مجدد انجام می‌گیرد. در ادامه هیستوگرام تصویر تکرنگ با هریک از تصاویر چندطیفی منطبق می‌شود. با استفاده از تبدیل موجک تصویر تکرنگ و تصاویر چندطیفی به تعداد سطوح لازم تجزیه می‌شوند. در مرحله بعد مؤلفه‌های تفصیلی تصویر تکرنگ و مؤلفه تقریب تصاویر چندطیفی یک موزاییک جدید تصویر موجک را تشکیل می‌دهند.

در واقع در این مرحله مؤلفه تقریب تصاویر چندطیفی جایگزین مؤلفه تقریب تصویر تکرنگ می‌شود. سرانجام تبدیل معکوس موجک بر روی موزاییک جدید تصویر موجک انجام می‌گیرد. پس از تبدیل معکوس ویژگیهای طیفی و مکانی با هم ادغام شده و تصاویری به‌دست می‌آید که اطلاعات طیفی تصاویر چندطیفی اسپات و اطلاعات مکانی تصویر تکرنگ آیکونوس را در خود دارد [۱۱، صص ۱۲۹۱-۱۲۹۹].

۴-۵- روش هیبرید موجک - مؤلفه‌های اصلی

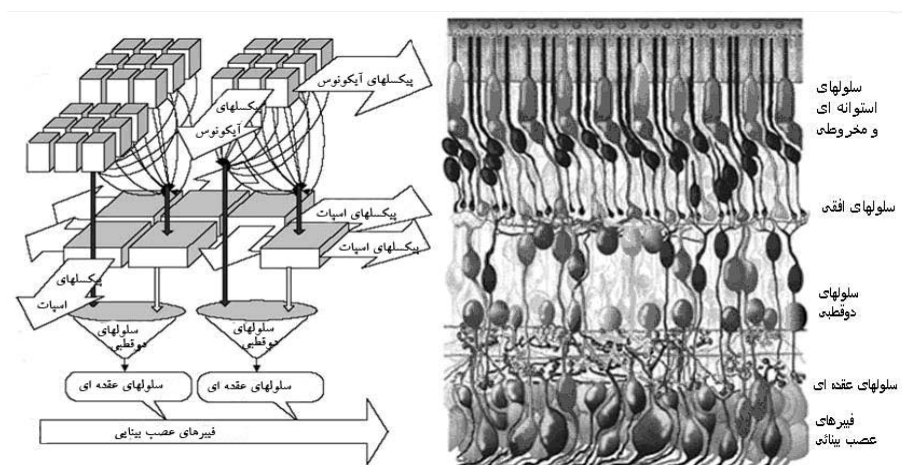
روش موجک که در بالا درباره آن توضیح داده شد، حفظ اطلاعات مکانی را به‌خوبی انجام می‌دهد و کارایی آن در مقایسه با سایر روش‌ها بالاتر بوده است. اما روش موجک برای حفظ اطلاعات طیفی چندان مناسب نیست و روش PCA از این بابت بهتر عمل می‌کند. به همین دلیل با ترکیب روش PCA و موجک می‌توان به روشی بهتر که خصوصیات هر دو روش را با خود دارد، دست پیدا کرد. در این روش همانند روش‌های قبل ابتدا تصویر تکرنگ با تصاویر چندطیفی هم‌مختصات شده و سپس نمونه‌گیری مجدد انجام می‌شود. ابتدا تبدیل مؤلفه‌های اصلی بر تصاویر چندطیفی اعمال می‌گردد، سپس هیستوگرام تصویر تکرنگ با هیستوگرام مؤلفه اصلی اول حاصل از تصاویر چندطیفی هماهنگ می‌شود. در ادامه تصویر تکرنگ اصلاح شده با استفاده از روش تبدیل موجک به سه ضریب موجک و یک تصویر تقریبی تجزیه می‌شود. در مرحله بعد تصویر مؤلفه اصلی اول جایگزین تصویر تقریبی می‌شود. تصویر تکرنگ جدید از اعمال تبدیل موجک معکوس بر روی سه ضریب موجک و تصویر مؤلفه اصلی اول، به‌دست می‌آید.

در نهایت تصویر تکرنگ جدید به همراه دیگر مؤلفه‌های اصلی با استفاده از تبدیل معکوس مؤلفه‌های اصلی به فضای تصویر برگردانده می‌شود. تصویر حاصل، اطلاعات

مکانی تصویر تکرنگ و اطلاعات طیفی تصاویر چندطیفی را دارا خواهد بود.

۴-۶- روش مبتنی بر مدل شبکه چشم (روش پیشنهادی)

شبکه قسمت حساس به نور چشم است و شامل پنج لایه سلولی، مخروطها و استوانه‌ها، سلول‌های افقی، سلول‌های دوقطبی، سلول‌های آماکرین و سلول‌های عده‌ای است (شکل ۲). سلول‌های مخروطی و استوانه‌ای که در واقع دو نوع حساسه نوری هستند. سلول‌های مخروطی برای دید رنگی و دقت بالا در محیط‌های با نور کافی و سلول‌های استوانه‌ای وظیفه دید سیاه و سفید را در شرایط نوری ضعیف بر عهده دارند.



شکل ۲ مدل مقایسه بین لایه‌های مختلف شبکه و ادغام تصاویر آیکونوس و اسپات

سلول‌های افقی پیام‌ها را به‌طور افقی از سلول‌های استوانه و مخروط به سلول‌های دوقطبی می‌رسانند. خروجی این سلول‌ها مکانیسم مهاری دارد، که باعث افزایش کنتراست خواهد شد. این سلول‌ها کمک می‌کنند تا الگوهای بینایی با کنتراست صحیح به دستگاه مرکزی اعصاب هدایت شوند. سلول‌های دوقطبی اطلاعاتی را که از سلول‌های افقی دریافت کرده‌اند به سلول‌های بعد از خود، یعنی سلول‌های آماکرین می‌رسانند. سلول‌های آماکرین

پیام‌ها را در دو جهت ارسال می‌کنند: یا به طور مستقیم از سلول‌های دوقطبی به سلول‌های عقده‌ای یا به صورت افقی در فاصله میان سلول‌های دوقطبی، دندریت‌های سلول‌های عقده‌ای یا سایر سلول‌های آماکرین. سلول‌های عقده‌ای این اطلاعات را دریافت و به مغز مخابره می‌کنند. سلول‌های افقی امکان ارتباط سلول‌های مخروطی و استوانه‌ای را با یکدیگر فراهم می‌کنند. از سوی دیگر سلول‌های آماکرین امکان ارتباط سلول‌های عقده‌ای با یکدیگر و سلول‌های دوقطبی را فراهم می‌کنند. لازم به ذکر است که ساختار ارائه شده یک بیان بسیار ساده از ساختار لایه‌ای شبکه می‌باشد [۱۲، ۱۳].

هنگامی که لکه نوری بر شبکه متمرکز می‌شود، مسیر بینایی مربوط به مرکز ناحیه شبکه که نور به آن برخورد می‌کند، تحریک می‌شود؛ در حالی که ناحیه پیرامون آن مهار می‌شود. به عبارت دیگر با وجود شاخه‌های مختلف دندریتی و آکسون در شبکه، پیام تحریکی به طور گسترده در شبکه پخش نمی‌شود؛ زیرا سلول‌های افقی (همانند یک فیلتر) با مکانیسم مهار جانبی در ناحیه پیرامونی این روند را متوقف می‌سازند. این مکانیسم مهمی است که امکان دقت زیاد بینایی و افزایش کنتراست را فراهم می‌کند. ممکن است برخی سلول‌های آماکرین هم به مهار جانبی بیشتر بپردازند و به این ترتیب کنتراست بینایی را بیشتر افزایش دهند. سلول‌های دوقطبی پیام‌های تحریکی و مهار را در مسیر بینایی به وجود می‌آورند که این مکانیسم مهار متفاوته با مکانیسم مهار سلول‌های افقی است، به طوری که این مکانیسم برای تفکیک لبه‌ها برای مواقعی است که لبه به طور دقیق بین دو گیرنده نوری مجاور قرار دارد، در حالی که مکانیسم سلول افقی برای مهار جانبی در فاصله بسیار بزرگتر عمل می‌کند [۱۴].

اختلاف روشنایی بین فازهای تاریک و روشن یک الگو را کنتراست می‌نامند. کنتراست را می‌توان به صورت یک تفریق خطی از دو مکانیزم میدان دریافت متضاد و هم‌مرکز مدل کرد. در این مدل هر دو میدان مرکزی (W_c) و پیرامونی (W_s)، دارای گسترش گوسی می‌باشند، به طوری که بیشترین حساسیت در مرکز قرار دارد و هر چه از این مرکز دور شود، میزان حساسیت کاهش پیدا می‌کند. این مدل را با نام مدل DOG^۱ می‌شناسند. فیلتر DOG عملگری است که هر دو عمل هموارسازی و لبه‌یابی را همزمان انجام می‌دهد. DOG یا تفاضل گوسی

1. difference of Gaussian



از تفریق دو فیلتر گوسی با عرض‌های متفاوت به وجود می‌آید. اگر فیلترگوسی کوچکتر را G_1 با واریانس σ_1 و فیلترگوسی بزرگتر را G_2 با واریانس σ_2 نام گذاری شود، خواهیم داشت:

$$DOG(r, \sigma) = G_{\sigma_1} - G_{\sigma_2} = g_{\sigma_1}(x, y) - g_{\sigma_2}(x, y) \quad (4)$$

که $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ موقعیت مکانی دوبعدی می‌باشد. روش پیشنهادی جزء روش‌های ادغام چنددقتی (چند مقیاسی) محسوب می‌گردد و در سطح ویژگی انجام می‌شود. در این مدل تصاویر با دقت مکانی متفاوت به باندهای مختلف چندمقیاسی تجزیه می‌شوند. در مدل‌سازی چشم میدان‌های دریافت مرکزی - پیرامونی به صورت دایره‌ای شکل در سطح سلول‌های دوقطبی شبکه پدیدار می‌شوند. این میدان‌ها سیگنال مرکزی خود را از حساسه‌های مخروطی و سیگنال بخش پیرامونی خود را از سلول‌های افقی دریافت می‌کنند. سلول‌های دوقطبی در اصل یک عمل تفاضل را بر سیگنال‌های مرکزی و پیرامونی خود انجام می‌دهند که در اثر این تفاضل، اطلاعات شدت پس زمینه از سیگنال بینایی جدا شده و این امکان برای سلول دوقطبی فراهم می‌شود تا به تغییرات موضعی کنتراست، حساسیت نشان دهد (شکل ۲).

در این تحقیق دو تصویر ماهواره‌ای مختلف وجود دارد. تصاویر چندطیفی اسپات ۴ که قدرت تفکیک مکانی پایین (۲۰ متر) و دقت طیفی بالا دارد و تصویر تک‌رنگ آیکونوس که دارای قدرت تفکیک مکانی بالا (۱ متر) و دقت طیفی پایین می‌باشد. برای تهیه تصویری که به صورت همزمان قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا داشته باشد، مؤلفه‌های فرکانس پایین تصویر اسپات را با همین مؤلفه‌ها در تصویر آیکونوس جایگزین می‌شود. به عبارت دیگر اطلاعات طیفی را از تصاویر اسپات و اطلاعات مکانی را از تصویر آیکونوس استخراج کرده و باهم تلفیق می‌شود. این روش باعث حفظ اطلاعات طیفی می‌شود، چون معمولاً این اطلاعات در فرکانس‌های پایین و اطلاعات مکانی در فرکانس بالا قرار گرفته‌اند.

مدل شبکه چشم - مدل پیشنهادی - برای ادغام تصاویر ذکر شده شامل پنج لایه می‌باشد (شکل ۲). لایه اول آرایه‌ای است از تصویر با دقت مکانی بالا، یعنی این لایه از تصویر تک‌رنگ آیکونوس استخراج می‌شود. در لایه دوم ویژگی‌های طیفی تصاویر چندطیفی اسپات

استخراج می‌شود. لایه سوم با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$H_{IKONOS}(r) = \frac{\Delta_2}{2\pi} \exp[-|r \Delta_2|^2] - \frac{\alpha \Delta_1}{2\pi} \exp[-\alpha |r \Delta_1|^2] \quad (5)$$

در این رابطه r همان تعریف رابطه (۵)، α نسبت دقت مکانی تصاویر چندطیفی اسپات به تصویر آیکونوس، Δ_1 دقت مکانی تصاویر چندطیفی اسپات و Δ_2 دقت مکانی تصویر تکرنگ آیکونوس می‌باشد. لایه‌های چهارم و پنجم شامل سلول‌های دوقطبی و عقده‌ای است که به صورت زیر بیان می‌شود.

$$F(u, v) = H_{ikonos}(u, v) * F_{ikonos}(u, v) + H_{spot}(u, v) * F_{spot}(u, v) \quad (6)$$

در رابطه فوق $H_{ikonos}(u, v)$ پاسخ فرکانسی فیلتر اعمال شده بر روی تصویر آیکونوس و $H_{spot}(u, v)$ پاسخ فرکانسی فیلتر اعمال شده بر روی تصاویر اسپات و همچنین $F_{ikonos}(u, v)$ تصویر تکرنگ آیکونوس و $F_{spot}(u, v)$ تصاویر چندطیفی اسپات می‌باشند. در خروجی نهایی $F(u, v)$ تصویر ادغام شده می‌باشد که دارای اطلاعات مکانی تصویر آیکونوس و اطلاعات طیفی تصویر اسپات می‌باشد.

۵- ارزیابی کیفیت تصاویر ترکیبی

برای ارزیابی کمی تصاویر ترکیب شده حاصل از روش‌های ادغام، دو ویژگی تصاویر در نظر گرفته می‌شود. یکی ویژگی‌های طیفی تصاویر است و دیگری ویژگی‌های مکانی. در واقع منظور از ارزیابی ویژگی‌های مکانی بررسی میزان افزایش دقت مکانی در تصاویر ترکیبی و هدف از ارزیابی ویژگی‌های طیفی بررسی میزان حفظ این ویژگی‌ها در تصاویر ترکیبی می‌باشد. نتایج حاصل از روش‌های متفاوت ادغام تصاویر نشان می‌دهد که معمولاً بهبود ویژگی‌های مکانی به قیمت از دست دادن اطلاعات طیفی تمام می‌شود. بنابراین در میان روش‌های متنوع ادغام تصاویر روشی مناسب‌تر و مؤثرتر خواهد بود که در عین تقویت دقت مکانی، کمترین خسارت را به ویژگی‌های طیفی تصاویر وارد سازد [۱۵، صص ۶۹۱-۶۹۹].

در اینجا روش‌های متفاوت ارزیابی کمی بر تصاویر ترکیبی منتج از روش‌های ادغام مذکور، اعمال می‌شود و قابلیت هر روش در مورد افزایش دقت مکانی و حفظ اطلاعات طیفی



مورد بررسی قرار می‌گیرد. علاوه بر ارزیابی کمی تصاویر ترکیبی، ارزیابی بصری (تفسیر چشمی) هم باید صورت گیرد و میزان تغییرات در هریک از تصاویر ترکیبی، حذف ویژگی‌های موجود در تصاویر ترکیبی و میزان اعوجاج و تغییر رنگ آنها نسبت به تصاویر اولیه به‌طور بصری بررسی شود.

۵-۱- ارزیابی کمی تصاویر ترکیبی

ارزیابی کیفیت طیفی: یکی از روش‌های مقایسه تصاویر ترکیبی، به‌دست آوردن ضریب همبستگی این تصاویر و تصاویر چندطیفی اولیه می‌باشد. به منظور صرف‌نظر کردن از اطلاعات مکانی تصاویر چندطیفی برای محاسبه این معیار، مؤلفه‌های پایین‌گذر تصاویر ترکیبی که با استفاده از یک فیلتر پایین‌گذر به‌دست آمده، در نظر گرفته می‌شود. جدول ۱ ضرایب همبستگی بین باندهای مختلف تصویر اسپات را با تصاویر ترکیبی روش‌های مختلف ادغام نشان می‌دهد. این معیار میزان حفظ اطلاعات طیفی را برای هریک از باندها، به‌طور جداگانه نشان می‌دهد. هرچه مقدار ضریب همبستگی به عدد یک نزدیکتر باشد، حفظ اطلاعات طیفی بهتر صورت گرفته است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که روش‌های IHS و PCA کمترین مقدار و روش پیشنهادی بالاترین مقدار را داراست و بنابراین در مقایسه با دیگر روش‌ها اعوجاج طیفی کمتری را به‌وجود می‌آورد.

جدول ۱ ضریب همبستگی مؤلفه‌های پایین‌گذر تصاویر ترکیبی با باندهای مختلف اسپات

	باند سه اسپات (B)	باند دو اسپات (G)	باند یک اسپات (R)
HPF	۰/۴۸۴۱	۰/۵۱۷۰	۰/۴۶۲۳
IHS	۰/۲۰۳۲	۰/۴۱۹۶	۰/۳۸۹۶
PCA	۰/۴۷۶۲	۰/۴۳۳۱	۰/۳۷۴۹
Wavelet	۰/۵۱۰۵	۰/۵۴۳۴	۰/۵۱۵۸
Wavelet-PC	۰/۵۲۹۳	۰/۵۶۸۵	۰/۵۲۶۷
Retina	۰/۷۳۱۱	۰/۷۴۱۶	۰/۷۷۱۱

محاسبه اختلاف ارزش روشنایی تصاویر ادغام شده و تصاویر چندطیفی اسپات، یکی

دیگر از معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی تصاویر ترکیب شده می‌باشد. در این روش ابتدا تصاویر ترکیبی به قدرت تفکیکی مکانی ۲۰ متر- قدرت تفکیکی مکانی یکسان با تصاویر چند طیفی اسپات- نمونه‌گیری مجدد می‌شود، سپس روی تصاویر به‌دست آمده یک فیلتر پایین‌گذر 3×3 اعمال می‌شود و در نهایت اختلاف ارزش‌های روشنایی تصاویر پیکسل به پیکسل محاسبه می‌شود. هر چه مقدار به‌دست آمده کمتر باشد، نشان از اعوجاج کمتر و حفظ اطلاعات طیفی بیشتر تصاویر می‌باشد. با توجه به جدول ۲، روش PCA بیشترین مقدار و روش پیشنهادی کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین در اینجا هم روش پیشنهادی اعوجاج کمتری را در تصاویر ترکیبی به‌وجود می‌آورد. بنابراین با توجه به دو معیار در نظر گرفته شده برای ارزیابی تصاویر ترکیبی، روش پیشنهادی حفظ اطلاعات طیفی را بهتر از دیگر روش‌ها انجام می‌دهد.

جدول ۲ اختلاف ارزش‌های روشنایی بین تصاویر ترکیب شده با باندهای مختلف اسپات

	باند یک اسپات (R)	باند دو اسپات (G)	باند سه اسپات (B)
HPF	۷/۶۸۲	۶/۸۴۵	۷/۰۲۵
IHS	۷/۰۵۳	۶/۹۱۶	۷/۱۰۳
PCA	۱۶/۱۵۹	۱۹/۴۹۰	۲۰/۴۵۸
Wavelet	۷/۳۴۷	۶/۱۳۲	۷/۵۹۶
Wavelet-PC	۴/۲۲۵	۵/۴۳۱	۶/۰۴۴
Retina	۱/۳۴۷	۱/۴۰۰	۱/۵۷۰

ارزیابی کیفیت مکانی: برای ارزیابی کیفیت مکانی تصاویر حاصل از ادغام، دو معیار ضریب همبستگی بین تصاویر ترکیبی و تصویر تکرنگ آیکونوس و تغییرات انتروپی این تصاویر در نظر گرفته شده است. برای به‌دست آوردن ضرایب همبستگی، مؤلفه‌های بالاگذر تصاویر ادغام شده با تصویر تکرنگ اولیه مقایسه می‌شود. کیفیت ویژگی‌های مکانی به کیفیت مؤلفه‌های بالاگذر بستگی دارد.

در اینجا ابتدا ضریب همبستگی این تصاویر به‌دست می‌آید. جدول ۳ ضریب همبستگی



مؤلفه‌های بالاگذر تصاویر ترکیبی با تصویر تک رنگ آیکونوس را نشان می‌دهد. روش‌های موجک و موجک-مؤلفه‌های اصلی بدترین نتایج را نشان می‌دهند. روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر همبستگی بالایی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده این است که حفظ اطلاعات مکانی هم در این روش به‌خوبی صورت می‌گیرد.

جدول ۳ ضریب همبستگی مؤلفه‌های بالا گذر تصاویر ترکیبی با تصویر تک رنگ

	HPF	IHS	PCA	Wavelet	Wavelet- PC	Retina
تصویر تک‌رنگ	۰/۲۲۵۴	۰/۱۱۸۶	۰/۵۵۲۸	۰/۰۶۶۷	۰/۰۶۹۵	۰/۸۵۴۹

معیار دیگری که در اینجا برای ارزیابی کیفیت مکانی تصاویر ترکیبی به‌کار می‌رود، انتروپی می‌باشد. انتروپی میزان اطلاعات مکانی را نشان می‌دهد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$H = - \sum_{i=1}^G P(i) \ln [P(i)] \quad (7)$$

که در آن G تعداد سطوح روشنایی در هیستوگرام تصویر است (مثلاً ۸ بیت بین صفر تا ۲۵۵) و $P(i)$ فراوانی نرمالیزه شده رخداد هر سطح روشنایی می‌باشد.

جدول ۴ تغییرات انتروپی باندهای مختلف تصاویر ترکیبی نسبت به تصویر تک‌رنگ را نمایش می‌دهد. هرچه مقدار انتروپی در این تصاویر به‌هم نزدیک‌تر باشد، میزان تغییرات آن کمتر است و بنابراین تغییرات کمتر نشان‌دهنده حفظ اطلاعات مکانی تصاویر ترکیبی می‌باشد. البته مقادیر مثبت افزایش و مقادیر منفی کاهش اطلاعات مکانی را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۴، روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر دارای مقادیر مثبت می‌باشد و بقیه مقادیر منفی دارند. بنابراین روش پیشنهادی اطلاعات مکانی را بهتر و بیشتر از روش‌های دیگر حفظ کرده است. روش‌های موجک و موجک-مؤلفه‌های اصلی در این معیار نیز مقادیر پایینی دارند و دقت مکانی در آنها بشدت کاهش پیدا کرده است.

جدول ۴ تغییرات انتروپی باندهای مختلف تصاویر ترکیب شده و تصویر تک‌رنگ

تصویر تک‌رنگ	باندها	روش‌های ادغام
-۰/۹۵۶ -۰/۸۶۳ -۰/۹۲۶	باند یک (R) باند دو (G) باند سه (B)	HPF
-۱/۰۰۷ -۰/۹۶۴ -۰/۶۱۷	باند یک (R) باند دو (G) باند سه (B)	IHS
-۰/۳۹۹ -۰/۲۹۹ -۰/۲۷۱	باند یک (R) باند دو (G) باند سه (B)	PCA
-۱/۴۹۳ -۱/۴۳۰ -۱/۳۵۳	باند یک (R) باند دو (G) باند سه (B)	Wavelet
-۱/۰۲۲ -۱/۰۳۲ -۱/۰۲۷	باند یک (R) باند دو (G) باند سه (B)	Wavelet-PC
۰/۱۱۷ ۰/۱۲۸ ۰/۱۳۲	باند یک (R) باند دو (G) باند سه (B)	Retina

۵-۲- ارزیابی بصری

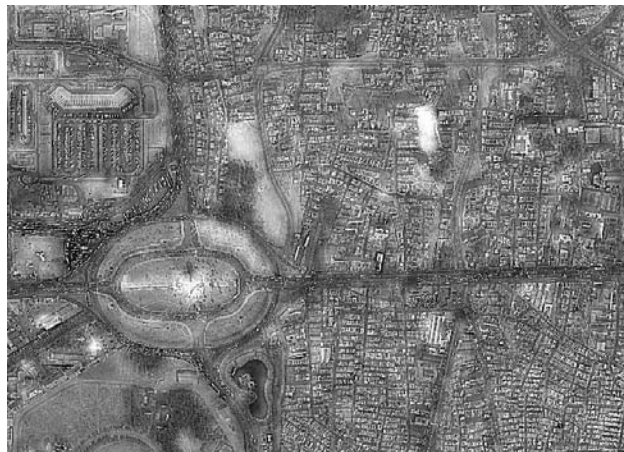
برای ارزیابی بصری، عوارض و ویژگی‌های موجود در تصاویر اولیه با تصاویر ترکیبی مقایسه می‌شود (شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).



شکل ۳ تصویر تک رنگ آیکونوس منطقه آزمایش شده



شکل ۴ تصویر رنگی (RBC) اسپات منطقه آزمایش شده



شکل ۵ نتیجه ادغام به روش HPF



شکل ۶ نتیجه ادغام به روش IHS

پوشش گیاهی: پوشش گیاهی موجود در تصاویر به برخی پوشش‌های گیاهی میادین و تقاطع‌ها محدود می‌شود. با توجه به اینکه از نمایش رنگ کاذب استفاده می‌شود، پوشش گیاهی در تصاویر به رنگ قرمز دیده می‌شود. در میان روش‌های معمول روش PCA تا



حدودی بهتر عمل کرده است و پوشش گیاهی در تصویر به دست آمده به جز در مناطق با تراکم بالا قابل مشاهده می باشد. در ضمن پدیده بلوکی شدن تصویر در این مناطق مشهود است. در روش IHS، غلظت رنگ نسبت به روش PCA افزوده شده و بیشتر مناطق دارای پوشش گیاهی، قابل مشاهده نمی باشند. در هر دو روش ذکر شده پدیده بلوکی شدن تصاویر کاملاً مشهود است و کیفیت تصاویر ترکیبی را به طور قابل ملاحظه ای پایین آورده است.

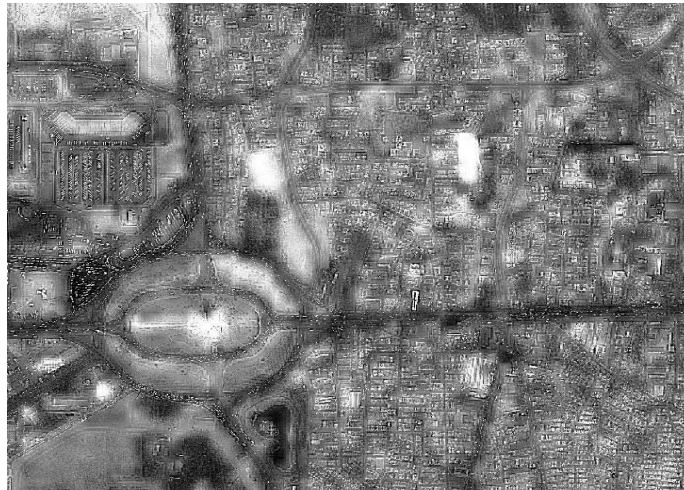
در روش HPF غلظت رنگ نسبت به دو روش اخیر کمتر است و پدیده بلوکی شدن هم دیده نمی شود، اما جزئیات مکانی تصویر به میزان زیادی از بین رفته اند. روش های موجک و موجک - مؤلفه های اصلی برای ادغام این تصاویر بسیار بد عمل کرده و نتوانسته اند اطلاعات مکانی را به تصاویر چندطیفی اضافه کنند. در تصاویر به دست آمده در هر دو روش بیشتر ویژگی های مکانی تصویر تک رنگ آیکونوس حذف شده است و مشاهده نتایج ادغام تصاویر آیکونوس و اسپات با این دو روش، نشان از نامناسب بودن این روش ها برای ادغام این تصاویر است. در روش پیشنهادی اثری از پدیده بلوکی شدن دیده نمی شود و اطلاعات طیفی تصاویر اسپات در مناطق با پوشش گیاهی به نحو مطلوبی با اطلاعات مکانی تصویر آیکونوس جمع شده است.

ساختمانهای مسکونی و اداری: این محدوده ها که بیشتر سطح تصویر را پوشانده است، از نظر بصری در بیشتر روش ها، قابل تشخیص می باشند. روش IHS در این محدوده ها بد عمل نکرده است. اما مقدار محسوسی پدیده بلوکی شدن بر کیفیت تصویر تأثیر گذاشته است، اما مقدار آن بسیار کمتر از مناطق دارای پوشش گیاهی است. در روش PCA پدیده بلوکی شدن کاملاً مشهود است و همین پدیده باعث پایین آمدن کیفیت تصاویر در این مناطق شده است. با این حال عوارض در این مناطق تا حدودی قابل شناسایی می باشند. در روش HPF همان طور که ذکر شد، اطلاعات مکانی به خوبی به اطلاعات طیفی اضافه نشده اند و بیشتر ساختمان ها به سختی دیده می شود. در مورد روش های موجک و موجک - مؤلفه های اصلی، همان طور که در قسمت قبل اشاره شد، عملکرد خوبی مشاهده نمی شود و ویژگی های تصاویر غیر قابل شناسایی هستند. این مناطق در روش پیشنهادی به خوبی قابل مشاهده اند. راهها و خطوط ارتباطی: محدودیتهای تفسیر بصری خیابان ها و خطوط ارتباطی موجود در تصاویر همانند ساختمانهای مسکونی و اداری می باشند، اما به دلیل قرار گرفتن راهها و

خطوط ارتباطی در مناطق مرز بین دیگر عوارض، در برخی موارد پدیده بلوکی شدن محسوس می‌باشد؛ در حالی‌که در روش پیشنهادی اثری از پدیده بلوکی شدن وجود ندارد. مناطق آبی: این مناطق در سه نقطه از تصویر با مساحت محدودی دیده می‌شوند. در هر دو روش IHS و PCA، پدیده بلوکی شدن تصاویر در این مناطق کاملاً محسوس می‌باشد که در میان روش‌های مذکور، این پدیده در روش PCA بیشتر بوده و پس از آن روش IHS قرار می‌گیرد. در روش پیشنهادی مناطق آبی به‌رنگ تیره دیده می‌شوند و در این مناطق هم اثری از پدیده بلوکی شدن دیده نمی‌شود.



شکل ۷ نتیجه ادغام به روش PCA



شکل ۸ نتیجه ادغام به روش تبدیل موجک



شکل ۹ نتیجه ادغام به روش موجک - PC



شکل ۱۰ نتیجه ادغام به روش پیشنهادی

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله ادغام تصویر تک رنگ آیکونوس و تصاویر چندطیفی اسپات ۴ بر مبنای مدل شبکه‌ی چشم انجام و نتایج آن با روش‌های ادغام PCA، IHS، موجک و موجک- مؤلفه‌های اصلی مقایسه شد. با توجه به نتایج به دست آمده از تفسیر بصری تصاویر ترکیبی نشان می‌دهد که در میان روش‌های معمول ادغام تصاویر به‌ترتیب روش‌های IHS و PCA قرار می‌گیرند. نکته قابل توجه در اینجا عملکرد بسیار بد روش‌های موجک و موجک- مؤلفه‌های اصلی می‌باشد، به‌طوری‌که این روش‌ها نتوانسته‌اند، نتایج قابل قبولی را نشان دهند و تصاویر ترکیبی به‌دست آمده بیشتر به تصاویر چندطیفی اسپات شباهت دارد و تقریباً کلیه ویژگی‌هایی که از طریق تصویر تک‌رنگ آیکونوس به این تصاویر اضافه شده، از بین رفته است. در روش پیشنهادی اطلاعات طیفی تصویر رنگی اسپات به‌خوبی به تصویر تک‌رنگ آیکونوس اضافه شده‌اند و همان‌طور که در تصاویر دیده می‌شود، ویژگی‌های رنگی تصاویر اسپات با تصویر ترکیبی حاصل از این روش، کاملاً یکسان است، در حالی‌که تفاوت رنگ بین سایر تصاویر ترکیبی با تصویر رنگی اسپات کاملاً محسوس است.

نتایج حاصل از ارزیابی کمی تصاویر نیز نشان از برتری روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر است، به‌طوری‌که حفظ اطلاعات طیفی (جدول ۱-۳) و اطلاعات مکانی جدول‌های ۲ و ۴ در روش پیشنهادی بخوبی صورت می‌گیرد.



نکته قابل ذکر در اینجا عدم نیاز روش پیشنهادی به نمونه‌گیری مجدد که یک عملیات مخرب برای تصاویر است، می‌باشد. همچنین در این روش نیازی به انجام تطابق هیستوگرام تصاویر تکرنگ و چندطیفی وجود ندارد. این پژوهش می‌تواند تا حدودی محدودیت ناشی از ادغام تصاویر ماهواره‌ای با نسبت دقت مکانی بالا را از بین ببرد و با توجه به افزایش روز افرون ماهواره‌های با دقت مکانی بالا مانند، QuickBird و OrbView امکان ترکیب تصاویر تکرنگ این ماهواره‌ها با ماهواره‌های دارای دقت مکانی متوسط و پایین فراهم شود. با توجه به توانایی روش پیشنهادی در ادغام تصاویر چند سنجنده‌ای، به‌منظور ادامه این پژوهش می‌توان از تصاویر سنجنده‌های با دقت مکانی بینابین دقت مکانی تصاویر به‌کار رفته استفاده کرد و ادغام را با چند تصویر متفاوت انجام داد. همچنین می‌توان روش‌های IHS یا تحلیل مؤلفه‌های اصلی را با روش پیشنهادی تلفیق کرد و یک روش هیبرید با قابلیت‌های هر دو روش به‌دست آورد و احتمالاً نتایج بهتری به‌دست آورد.

۷- منابع

- [1] Wald L.; "Some terms of reference in data fusion"; *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.37, No.3, pp:1999.
- [2] Rashidi H. G; "A new approach for multi-system/sensor decision fusion based on Joint measures;" *International Journal of Information Acquisition*, Vol.1, No.2004.
- [3] Te-Ming, T., Huang P.S., Chung-Ling H.,Chien C.; "A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery"; *IEEE Letters Remote Sens*, Vol.1, Issue 4, 2004.
- [4] Zhang Y., Hong G.; "An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and Quick Bird images"; *Information Fusion*, No. 6, 2005.
- [5] Alonso Reyes R., Melgar, M., Fernandez S., Thomas C., Ranchin T., Wald L.; "Fusion of SPOT-5 multispectral and IKONOS panchromatic images"; 24th EARSeL Symposium, New Strategies for European Remote

Sensing, Croatia, May 2004.

- [6] S. Daneshvar S., Ghassemian H; "MRI and PET Images Fusion Based on Human Retina Model"; *Springer Journal of Zhejiang University science-A*, Vol.8, No.10, October 2007.
- [7] S. Helfroush H. Ghassemian, "Nonminutiae-based decision-level fusion for fingerprint verification"; *eurasip Journal on Advances on Signal Processing*, Vol.2007, Article ID 60590, doi:10.1155, 2007.
- [8] N. Chaji, Ghassemian H; "Image segmentation by edge and textural features fusion"; *The CSI Journal on Computer Science & Engineering*, Vol.3, No.1 (A), Spring 2005 (Printed in Persian).
- [9] Zitova B., Flusser J., "Image registration methods: a survey"; *Image and Vision Computing*, No.21, 2003.
- [10] Ghassemian H.; "Multisensor image fusion by multiscale filter banks", *Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing ICIP2001*, October 2001.
- [11] Gonzales M. et. al, "Fusion of multispectral and panchromatic image using improved HIS and PCA merged based on wavelet decomposition"; *IEEE Trns on Geosciences and Remote Sensing*, Vol.42, No.6.1291-1299, 2004.
- [12] Henriques Germano J.A., Simoes Baptista R.M.; "Artificial retina: development of a bio-inspired model with configurable implementation"; Degree in Electrical and Computer Engineering, Graduation Report, 2004.
- [13] Kolb K.; "How the retina works"; *American Scientist*, Vol.91, January–February 2003.
- [14] Guyton C. Hall J.E.; "Textbook of Medical Physiology"; W.B.Saunders Published, 10th edition, 2000.
- [15] Wald L., Ranchin, T., Mangolini, M. "Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images"; *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.63, No.6, 1997.