

بهبود عملکرد تلفیق تصاویر اپتیک و رادار در مناطق ناهمگن شهری

معصومه طالبی^۱، ساسان هوشنگی^{۲*}، محمود رضا صاحبی^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- استادیار گروه نقشه برداری دانشگاه تبریز

چکیده :

با توجه به محدودیت در طراحی سنجنده‌ها با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا به صورت همزمان، به منظور رفع این مشکل در بسیاری از کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای استفاده توامان مزایای مختلف تصاویر ماهواره‌ای توصیه می‌شود. در این میان حفظ کیفیت اطلاعات طیفی و مکانی مناطق شهری به دلیل بافت ناهمگن این نواحی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله یک الگوریتم پیشنهادی جهت تلفیق داده‌های اخذ شده توسط سنجنده راداری Terra-SARX و اپتیک IKONOS در منطقه شهری شیراز ارائه می‌شود، طوری که تاثیر منفی مناطق ناهمگن بر نتایج تلفیق حداقل شود. با اعمال طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و در نظر گرفتن چهار کلاس ساختمان، خاک، جاده و گیاه دقت طبقه‌بندی در تصویر پانکروماتیک و RGB، برابر ۶۵٪، دقت طبقه‌بندی تصویر تلفیق شده با روش مرسوم موجک *smallet*، ۷۵٪، دقت طبقه‌بندی تصویر تلفیق شده با الگوریتم پیشنهادی برابر ۸۹٪ و در نهایت طبقه‌بندی تصویر چند باندهای حاصل از انتخاب باندهای بهینه از تصاویر مذکور و ویژگی‌های بافت آن‌ها با الگوریتم ژنتیک، ۹۵٪ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی : تلفیق رادار و اپتیک، تبدیل موجک، الگوریتم ژنتیک، ماشین بردار پشتیبان



۱- مقدمه

به منظور مدیریت بحران و برنامه‌ریزی‌های کلان شهری وجود نقشه‌های دقیق از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. استفاده از تکنولوژی‌های به روز از قبیل داده‌های اخذ شده از فضا، تاثیر به‌سزایی در کاهش هزینه و زمان تولید این نقشه‌ها خواهد داشت. از این رو با توجه به اساس داده‌های سنجش از دور در ثبت امواج الکترومغناطیس، استفاده از این اطلاعات طیفی در کنار دیگر اطلاعات به‌عنوان منبعی غنی مورد توجه محققان می‌باشد. مهم‌ترین مشکل استفاده از این داده‌ها محدودیت طراحی سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا به صورت همزمان می‌باشد. بنابراین به منظور نیل به نقشه‌هایی با دقت بالا از تکنیک‌های تلفیق تصاویر استفاده می‌شود. در واقع با تلفیق تصاویر مختلف می‌توان رزولوشن مکانی و طیفی را به صورت همزمان افزایش داد [1]. مطالعات فراوانی در زمینه تلفیق تصاویر اخذ شده از فضا صورت پذیرفته که در ادامه به برخی از آنان اشاره شده است. Alparone و همکاران یک روش تلفیق جدید برای ادغام تصاویر پانکروماتیک و رادار با تصویر چند طیفی مبتنی بر مدلسازی شدت تصویر راداری پیشنهاد دادند [2]. در این روش تلفیق از الگوریتم تجزیه موجک a trous¹ برای تولید هرم تصاویر استفاده شده و بر خلاف روش‌های پیشین، بر اساس آنروپی استخراج شده فقط سهمی از تصویر راداری نه تمام آن با تصویر اپتیک تلفیق شده است. chibani و یوژیگی‌های تصویر پانکروماتیک و راداری را با استفاده توامان از تبدیل اصلاح شده Brovery² و AWT تلفیق کرد [3]. در این روش از مقادیر اولیه و جدید شدت جهت تلفیق دو تصویر استفاده شده است. Hong و همکاران یک روش تلفیق مبتنی بر تبدیل IHS³ و تبدیل موجک برای تلفیق تصاویر راداری با تصاویر چندطیفی با قدرت تفکیک متوسط ارائه دادند [4]. Klonus و همکاران روش‌های مختلف تلفیق را بر روی تصاویر TerraSAR-X و Spot5 برای یافتن بهترین روش تلفیق این دو تصویر مورد مقایسه قرار دادند نتایج آن‌ها نشان داد که تلفیق دو تصویر به روش Ehlers که مبتنی بر تبدیل IHS به همراه فیلترینگ حوزه فوریه است کارایی بهتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد [4]. Chen و همکاران یک روش جدید ارائه دادند که در آن از مجموع چند متد تجربی تجزیه، در الگوریتم تلفیق استفاده شده است. در این روش الگوریتم AWT جهت تولید جزئیات مکانی تصویر به کار رفته است [5]. Zhang و همکاران یک روش رگرسیون مینا برای تلفیق تصاویر اپتیک و راداری ارائه دادند [6]. Hong و همکاران از یک روش تقریب تصویر مبتنی بر ترکیب مقادیر شدت تصویر چند طیفی و تصویر رادار به صورت وزن‌دار استفاده کردند [7]. Amarsaikhan و همکاران تاثیر الگوریتم‌های مختلف جهت تلفیق تصاویر ستسورهای مختلف در مناطق شهری را بررسی کردند [8].

مناطق شهری به دلیل وجود ساختمان‌های بلند و عوارض دست ساز بشر که به عنوان بازتابنده‌های گوشه‌ای⁴ شناخته می‌شوند به جز در مناطق با ساختمان‌های کوتاه و سقف‌های صاف با تراکم کم، از نظر هموژنیتی یک منطقه ناهمگن به شمار می‌آید [9]. بنابراین محققان سنجش از دوری همواره به دنبال راه‌حل مناسبی برای طبقه‌بندی عوارض در مناطق شهری می‌باشند. یکی از راه‌های پیشنهادی برای رفع این مشکل استفاده از تلفیق تصاویر راداری و اپتیکی است [10]. همچنین اینکه استفاده از روش تلفیق در مناطق ناهمگن شهری با عدم قطعیت همراه خواهد بود که منجر به عدم تفسیرپذیری مناسب نتایج حاصل از تلفیق تصاویر این مناطق می‌گردد. از این‌رو در الگوریتم پیشنهادی دو رویکرد متفاوت جهت تلفیق در مناطق همگن و ناهمگن، در نظر گرفته شده است به گونه‌ای که بخش‌هایی از تصویر رادار که دارای هموژنیتی کمتری است از وزن کمتری در تلفیق تصاویر برخوردار خواهد بود. براین اساس به دلیل

¹ A trous wavelet transformation(AWT)

² modified Brovery transformation(MBT)

³ Intensity-hue-saturation(IHS)

⁴Corner reflector



تقسیم تصاویر راداری به دو ناحیه همگن و غیر همگن به این روش تلفیق، روش انتخابی^۵ گویند. با توجه به ناهمگن بودن مناطق شهری شیراز، در این مقاله به منظور طبقه‌بندی عوارض موجود در این منطقه از الگوریتم تلفیق مبتنی بر ترکیب تبدیل موجک و تلفیق به روش selective استفاده شده است. اساس این الگوریتم استخراج اطلاعات مفید از تصویر رادار در فرمت یک تصویر و اضافه شدن آن به تصویر اپتیک می‌باشد [۱۱].

۲- داده‌ها

برای اجرای الگوریتم تلفیق پیشنهادی از تصویر اپتیک سنجنده IKONOS و تصویر راداری سنجنده TerraSAR-X که از منطقه شهری شیراز اخذ و با پردازش‌های اولیه هم مرجع و هم سایز شده و به قدرت تفکیک ۱ متر رسیده استفاده شده است.

جدول ۲: خصوصیات سنجنده

IKONOS	TerraSARX	
۲۰۰۱	۲۰۱۲	زمان تصویربرداری
۱متر(پانکروماتیک) ۴متر(چند طیفی)	۱متر	قدرت تفکیک مکانی
۱۱ بیت	۱۶بیت	قدرت تفکیک رادیومتریک
۲۹/۶۸	۲۸/۰۱	زاویه فرود
۹-/۴۵/میکرون	۳/۱سانتی‌متر	طول موج تصویر برداری

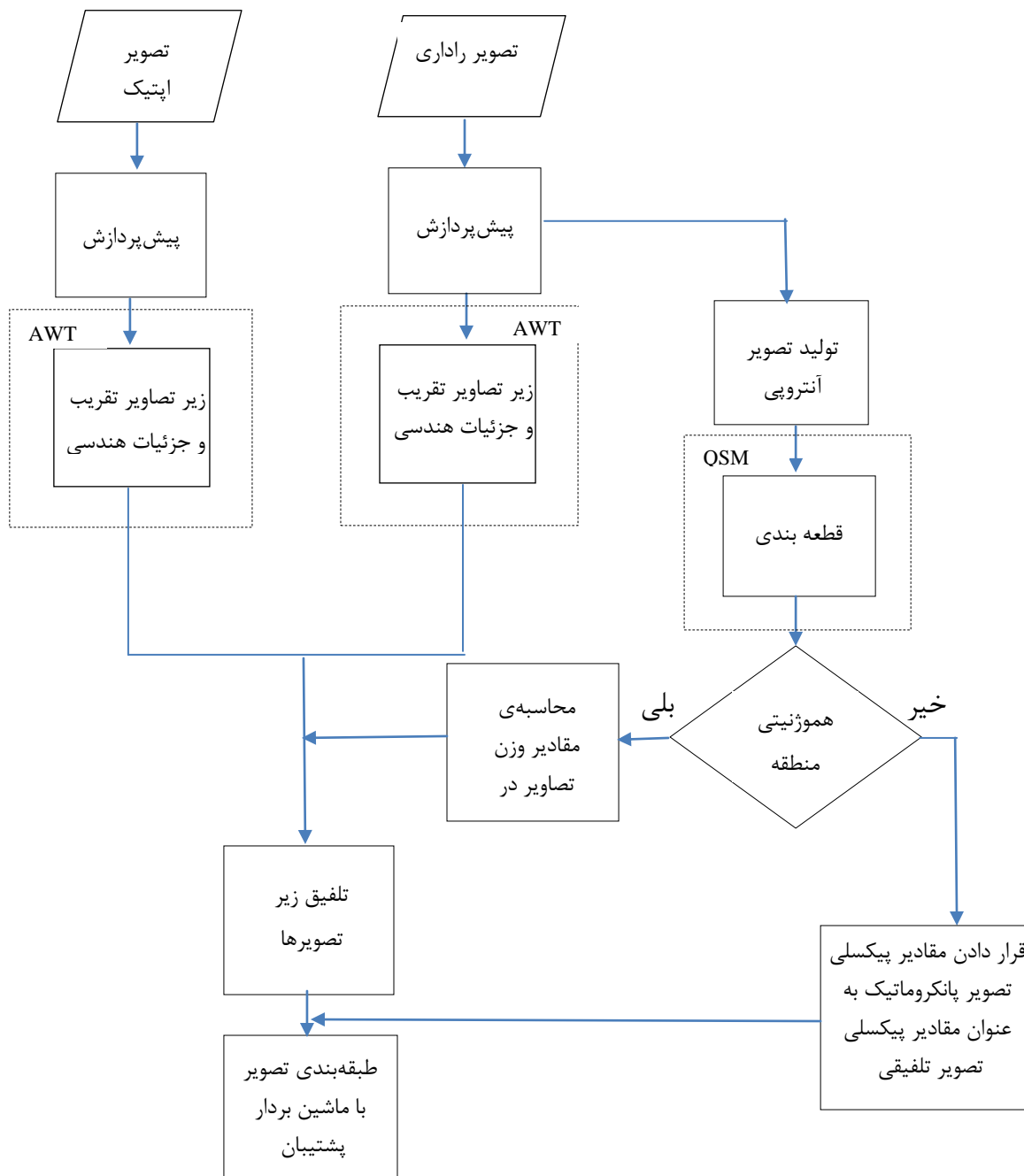
۳- منطقه مورد مطالعه

مطالعه موردی این مقاله قسمتی از منطقه شهری شیراز واقع در استان فارس است. عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بین "۳۷'۲۶ ° تا ۳۷'۳۹ ° ۲۹ و طول جغرافیایی آن بین "۲۹'۵۰ ° تا ۵۲'۳۰ ° ۵۲ واقع است. بافت غالب شهر را ساختمان‌ها، جاده، پوشش گیاهی و خاک تشکیل می‌دهد.

۴- روش‌ها و الگوریتم

در کاربردهای سنجش از دور به دلیل ایده‌آل نبودن شرایط اخذ تصویر و همچنین تفاوت در نوع سنجنده‌ها، به منظور افزایش دقت و صحت اجرای الگوریتم اجرای برخی پیش پردازش امری ضروریست.

⁵ selective



شکل ۳: الگوریتم تلفیق تصاویر پانکروماتیک و رادار

مهمترین پیش پردازش در تلفیق تصاویر اطمینان داشتن از هم مرجع بودن دو تصویر می باشد. بنابراین ابتدا می بایست هر دو تصویر به صورت جداگانه با استفاده از نقاط کنترل متناسب با دقت مورد نظر زمین مرجع شوند، همچنین به دلیل ماهیت تلفیق اطمینان از هم مرجع بودن و هم اندازه بودن دو تصویر نیز لازم خواهد بود. در ادامه برای تصویر راداری از ماتریس رخداد توامان^۶، آنتروپی استخراج شده و با الگوریتم قطعه بندی درختی تلفیق و جداسازی^۷ تصویر راداری به مناطق هموژن و غیر هموژن قطعه بندی می شود [۱۲].

^۶ gray level co-occurrence matrix (GLCM)



۴-۱- الگوریتم QSM

برای قطعه‌بندی تصویر رادار به بخش‌های هموژن و غیر هموژن از الگوریتم قطعه‌بندی QSM استفاده شده است. این الگوریتم یک روش قطعه‌بندی از بالا به پایین است که در مرحله اول کل تصویر را به عنوان یک قطعه در نظر گرفته در گام بعدی تصویر به چهار بخش تقسیم شده و برای هر بخش میزان هموژنیتی محاسبه می‌شود برای قطعه‌هایی از تصویر که هموژنیتی آن‌ها از یک حدآستانه‌ای کم‌تر باشد عمل قطعه‌بندی تکرار می‌شود برای دیگر مناطق که هموژنیتی آن‌ها در این شرط صدق نمی‌کند عمل قطعه‌بندی خاتمه می‌یابد و کل آن منطقه به عنوان منطقه هموژن در نظر گرفته می‌شود [۱۵]. مقدار حد آستانه انتخابی در این مقاله ۰.۶ هموژنیتی کل تصویر در نظر گرفته شد.



(پ)

(ب)

(الف)

شکل ۱: (الف) تصویر پانکروماتیک IKONOS (ب) تصویر راداری TerraSARX (پ) تصویر آنتروپی (کادر آبی: مناطق شهری با آنتروپی بالا)

۴-۲- تبدیل موجک

دسته‌ای از روش‌های تلفیق بر اساس تبدیلات موجک می‌باشند. موجک تبدیل خاصی از تبدیل تجزیه چند طیفی^۷ تصویر است که در آن یک تصویر تحت تبدیل موجک به چند زیر تصویر با قدرت تفکیک‌های کمتر تجزیه می‌گردد. تبدیل‌های موجک مختلفی برای تولید تصاویر جزئیات در سطوح مختلف وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها تبدیل موجک گسسته^۸ است که در سال ۱۹۸۹ توسط Mallet ارائه شد [۱۳]. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد تلفیق با این تبدیل موجک نسبت به خطای احتمالی که در مرحله پیش پردازش (هم مرجع سازی) تصاویر قبل از تلفیق وجود دارد پایدار نمی‌باشد. از این رو در این تحقیق از تبدیل موجک A trous^۹ استفاده شده است [۱۲].

۴-۲- AWT

AWT یک تبدیل موجک شبیه هرم لاپلاسی می‌باشد. در این تبدیل سایز تصاویر تقریب و تصاویر جزئیات برابر با سایز تصویر اولیه است [۱۴].

⁷ Quadtree-structured split and merge(QSM)

⁸ Multiresolution

⁹ Discrete wavelet transformation(DWT)

¹⁰ A trous wavelet transformation(AWT)



$$a_j = a_{j-1} \times k_j \quad \text{فرمول (۱)}$$

$$d_j = a_{j-1} - a_1 \quad \text{فرمول (۲)}$$

$$k_j = 2^j - 1 \quad \text{فرمول (۳)}$$

فرمول های (۱)، (۲) و (۳) نحوه تولید تصاویر تقریب و تصاویر باقی مانده توسط AWT را در k_j تا سطح نشان می دهد. در این مقاله ز را برابر ۲ در نظر گرفته و تصاویر در سه سطح a_0 ، a_1 و a_2 تولید شده است. که تصویر در سطح صفر همان تصویر اولیه است.

*	0	0	0	*	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
*	0	0	0	*	0
0	0	0	0	0	0

*	0	*	0	*	0
0	0	0	0	0	0
*	0	*	0	*	0
0	0	0	0	0	0
*	0	*	0	*	0
*	0	*	0	*	0

(ب)

(الف)

شکل ۲: نمایش شماتیک تولید تصویر تقریب (الف) سطح یک، (ب) سطح دو

تصاویر تقریب و باقی مانده برای هر دو تصویر راداری و پانکروماتیک در سه سطح تولید شده است. می توان نشان داد که تصویر سطح صفر، تصویر اولیه، از تصویر سطح بالاتر قابل بازسازی است:

$$a_0 = a_N + d_1 + d_2 + \dots + d_N \quad \text{فرمول (۴)}$$

۳-۴- نحوه تلفیق تصاویر رادار و پانکروماتیک

ایده این مقاله برای تلفیق تصاویر رادار و پانکروماتیک منطقه شهری تلفیق selective به جای تلفیق کامل تصویر راداری و تزریق تمام آن به تصویر پانکروماتیک است. علت شرطی بودن این تلفیق تاثیر منفی نواحی غیر هموزن در تصویر راداری بر خروجی نهایی تلفیق است در واقع این تلفیق به گونه ای انجام می شود که همواره نواحی غیر هموزن تصویر راداری سهم کمتری در تلفیق داشته باشند.

$$a_N(PS) = \begin{cases} a_N(P) * w_1 + a_N(S) * w_2 & \text{If segmentation is hemogen} \\ a_N(P) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{فرمول (۵)}$$



در فرمول (۵) مقادیر وزن برابر است با:

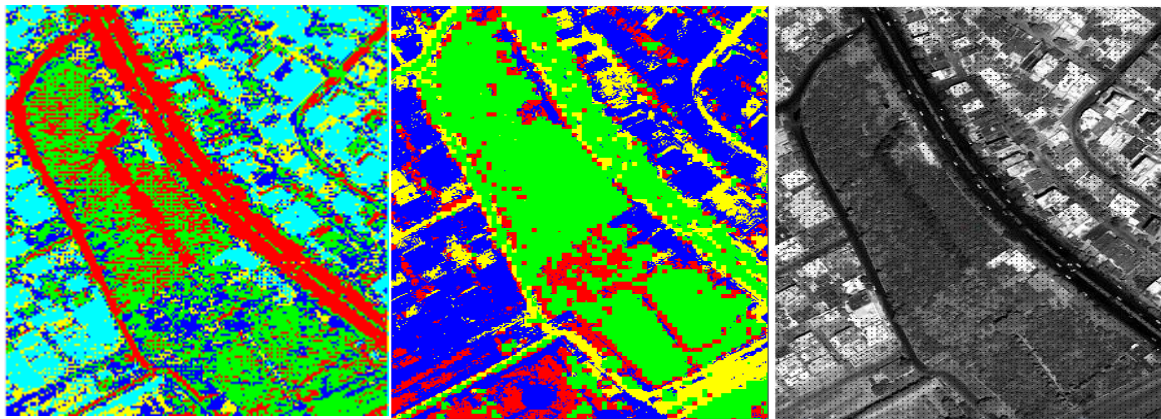
$$w_1 = \frac{s_2^2}{s_1^2 + s_2^2} \quad w_2 = \frac{s_1^2}{s_1^2 + s_2^2} \quad \text{فرمول (۶)}$$

در فرمول (۶) s_1^2 و s_2^2 به ترتیب برابر با واریانس $a_N(P)$ و $a_N(S)$ است.

پس از تلفیق تصاویر تقریب در سه سطح صفر، یک و دو از معکوس AWT تصویر سطح صفر که همان تصویر نهایی تلفیق شده است تولید می‌شود.

۴- ارزیابی

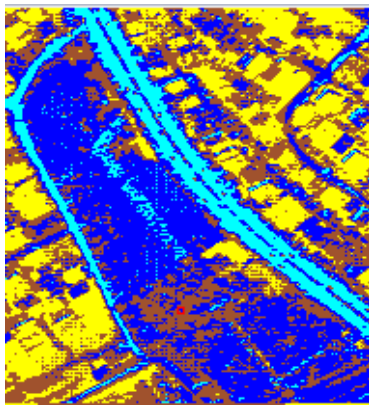
به منظور نمایش عملکرد بهینه روش تلفیق پیشنهادی، دقت نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از تصویر خروجی الگوریتم با هر یک از تصویر چهار باندهی pan/RGB، تصویر تلفیق شده به روش تبدیل موجک DWT مقایسه شد. از این رو با در نظر گرفتن چهار کلاس ساختمان، گیاه، خاک و جاده طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان انجام شد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، از معیار دقت کلی که از نسبت تعداد نمونه‌های آزمایشی صحیح طبقه‌بندی شده به تعداد کل نمونه‌های آزمایشی به دست می‌آید، استفاده شد. دقت طبقه‌بندی تصاویر فوق به ترتیب برابر ۶۵٪، ۷۵٪ و ۸۹٪ به دست آمد برای بهبود نتایج طبقه‌بندی یک تصویر ۵۰ باند شامل تصویر چند طیفی، تصویر تلفیق شده، ۸ پارامتر بافت تصویر تلفیق شده، ۸ پارامتر بافت تصویر رادار، ۳۲ پارامتر بافت تصویر چند طیفی تولید شد. در نهایت با اعمال الگوریتم ژنتیک و در نظر گرفتن دقت کلی طبقه‌بندی توسط ماشین بردار پشتیبان به عنوان تابع هزینه، در مجموع ۲۲ باند به عنوان باندهای بهینه انتخاب شد دقت طبقه‌بندی خروجی الگوریتم ژنتیک با در نظر چهار کلاس فوق، ۹۵٪ به دست آمد.



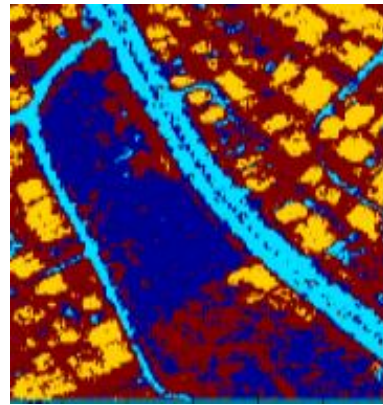
(پ)

(ب)

(الف)



(ث)



(ت)

شکل ۴: (الف) تصویر تلفیق شده با الگوریتم پیشنهادی (ب) طبقه بندی شده pan/RGB (پ) طبقه بندی تصویر تلفیق شده با الگوریتم Mallet (ت) طبقه بندی شده با الگوریتم پیشنهادی (ث) طبقه بندی شده با الگوریتم ژنتیک

۵- نتایج و پیشنهادها

یکی از تکنیک های بهبود کیفیت تصاویر اخذ شده در منطقه شهری و تولید یک تصویر با ویژگی های بهتر، تلفیق تصاویر اخذ شده توسط سنسورهای مختلف از منطقه است. در این مقاله تصویر نوری IKONOS و TerraSAR-X اخذ شده از منطقه شهری شیراز برای تلفیق انتخاب شد. از آن جایی که الگوریتم های موجود تلفیق تصاویر رادار و اپتیک، به دلیل در نظر گرفتن یک رویکرد ثابت در کل تصویر، در مناطق شهری ناکارآمد هستند؛ جهت بهبود نتایج بهتر است در مناطق شهری از تلفیق کامل تصویر راداری و تزریق تمام اطلاعات آن به تصویر پانکروماتیک اجتناب شود. در این مقاله سهم هر یک از تصاویر راداری و اپتیکی در تصویر تلفیقی نهایی براساس هموزنی قطعه مورد نظر، با یک قاعده خاص صورت گرفته است طوری که همواره در قطعه های غیرهموزن سهم تصویر راداری در تلفیق کم تر باشد. به عبارت دیگر دلیل اصلی بهبود نتایج طبقه بندی با استفاده از تلفیق تصاویر به روش پیشنهادی، تصمیم گیری نحوه تلفیق بر مبنای ویژگی آن قطعه و کارایی هر یک از منابع داده در آن قطعه است. نکته قابل توجه دیگر استفاده از وزن دهی شی مناسبتی است که چون به واقعیت فیزیکی منطقه نزدیک تر است نتایج بهتری را در پی خواهد داشت. از سوی دیگر استفاده از اطلاعات بافت تصاویر و نیز بهینه سازی باندهای انتخابی سبب می شود که با تجمع نقاط قوت هر یک از تصاویر، اعم از تصاویر ورودی به الگوریتم و تصویر تلفیقی به روش پیشنهادی، در نهایت بهبود قابل توجهی در دقت طبقه بندی حاصل می شود.



مراجع

- [1] Wald, L., Ranchin, T., & Mangolini, M.. Fusion of satellite images of different spatial resolutions: assessing the quality of resulting images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.63, pp.691–699, 1997.
- [2] L. Alparone, S. Baronti, A. Garzelli, and F. Nencini, “Landsat ETM+ and SAR image fusion based on generalizated intensity modulation,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 42, pp.2832–2839, 2004.
- [3] Y. Chibani, “Integration of panchromatic and SAR features into multispectral spot images using ‘à trous’ wavelet decomposition,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 28, pp.2295–2307, 2007.
- [4] G. Hong, Y. Zhang, and B. Mercer, “A wavelet and his integration method to fuse high resolution SAR with moderate resolution multispectral images,” *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 75, pp.1213–1223, 2009.
- [5] S. Chen, H. Su, R. Zhang, J. Tian, and J. Xia, “Scaling between Landsat-7 and SAR images based on ensemble empirical mode decomposition,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 33, pp. 826–835, 2012.
- [6] J. Zhang, J. Yang, Z. Zhao, H. Li, and Y. Zhang, “Block-regression based fusion of optical and SAR imagery for feature enhancement,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 31, pp. 2325–2345, 2010.
- [7] G. Hong, Y. Zhang, and B. Mercer, “A wavelet and his integration method to fuse high resolution SAR with moderate resolution multispectral images,” *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 75, pp. 1213–1223, 2009.
- [8] Amarsaikhan, D., Blotevogel, H., & Van Genderen, L. (2010). Fusing high-resolution SAR & optical imagery for improved urban land cover & classification. *International Journal of Image and Data Fusion*, 83–97.
- [9] Zeynab Ghanbari, Mahmood R.salehi, Improved IHS Algorithm for Fusing High Resolution Satellite Images of Urban Areas *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol.42, pp.689-69
- [10] Pohl, C. J., & Van Genderen, L. (1998). Multi sensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of remote sensing*, vol.19, 823–854
- [11]. Chavez, P. S., & Anderson, J. A. (1991). Comparison of three different methods to merge multi resolution and multi spectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.57, pp 295–303.
- [12] Younggi Byun, Jaewan Choi, and Youkyung Han , An Area-Based Image Fusion Scheme for the Integration of SAR and Optical Satellite *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, VOL. 6 pp 1939-1404, 2013
- [13] S. Mallat, “A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation,” *IEEE Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 11, pp. 674–693, 1989.
- [14] J. Núñez , X. Otazu, O. Fors, A. Pardes, V. Pala, and R. Arbiol, “Multiresolution- based image fusion with additive wavelet decomposition,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 37, no. 3, pp. 1204–1211, 1999.
- [15] X. Wu, “Adaptive split-and-merge segmentation based on piecewise least-square approximation,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 25, pp. 808–815, 1993.