



سورة التين



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

**دانشگاه تفرش**

دانشکده مهندسی ژئودزی و نقشه‌برداری

**پایان نامه کارشناسی ارشد**

**عنوان**

**یافتن پارامترهای بهینه تلفیق تصاویر چندطیفی و**

**پانکروماتیک در حوزه فرکانس**

**نگارش**

کبری یعقوبی ترکی

**اساتید راهنما**

دکتر علیرضا صفدری نژاد

دکتر مرضیه جعفری

مهر ۱۳۹۹

تاریخ: ۹۹/۱۱/۱۱

شماره: ۴۹/۱۱/۱۱



### صور تجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

شماره دانشجویی: ۹۶۳۱۹۱۰۰۶

نام و نام خانوادگی: کبری یعقوبی ترکی

رشته تحصیلی/گرایش: نقشه برداری - فتوگرامتری

عنوان پروژه: یافتن پارامترهای بهینه تلفیق تصاویر چند طیفی و بانکروماتیک در حوزه فرکانس

تاریخ دفاع: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

تعداد واحد: ۶

درجه:

عالی (۱۹-۲۰)  خیلی خوب (۱۸-۱۸/۹۹)  خوب (۱۶-۱۷/۹۹)  متوسط (۱۴-۱۵/۹۹)  مردود (کمتر از ۱۴)

نام و نام خانوادگی	سمت	رتبه	محل اشتغال	محل امضاء
دکتر علیرضا صفدری نژاد	استاد راهنمای اول	استادیار	دانشگاه تفرش	
دکتر مرضیه جعفری	استاد راهنمای دوم	استادیار	دانشگاه تفرش	
-	استاد مشاور	-	-	-
دکتر حدیثه سادات حسنی	داور داخلی	استادیار	دانشگاه تفرش	
دکتر محمدجواد عبداللهی فرد	داور خارجی	استادیار	دانشگاه تفرش	
دکتر حدیثه سادات حسنی	نماینده تحصیلات تکمیلی	استادیار	دانشگاه تفرش	

مدیر گروه: دکتر بهزاد به نبیان

امضاء و مهر:

تاریخ:

معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه: اسماعیل نظری گیاشی

امضاء و مهر:

تاریخ:



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه قزوین

بنام خدا  
تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰

اینجانب... کبری یعقوبی ترکمی... به شماره دانشجویی ۹۶۳۱۹۱۰۰۶ دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نقشه برداری گرایش فتوگرامتری... که در تاریخ ۱۳۹۹/۰۷/۳۰... از پایان نامه خود تحت عنوان... یافتن پارامترهای بیهینه تلفیق تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک در حوزه فرکانس... دفاع کرده ام متعهد می شوم:

که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه تفرش بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلید نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه تفرش بوده و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی و آگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه با کسب اجازه از استاد (استادان) راهنما باشد.

نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

نام و نام خانوادگی: کبری یعقوبی ترکمی

امضا و تاریخ:

۱۳۹۹/۰۷/۳۰

تقدیم به

او که آموخت مرا تا بیاموزم،

و آنانکه که وجودم جز هدیه وجودشان نیست.

## تقدیر و تشکر

پروردگار را سپاسگزارم که بار دیگر به من فرصت آموختن داد.

اکنون که با یاری خداوند این دوره را به اتمام رسانیده‌ام، بر خود واجب می‌دانم از استاد گرانقدر و فرزانه جناب آقای دکتر علیرضا صفدری نژاد که همواره راهنما و پشتیبان اینجانب بوده‌اند و هرگز از هیچ کمک و همکاری دریغ ننموده و با مساعدت خویش مسیر انجام تحقیق را هموار ساختند، کمال تشکر و قدردانی را به‌جای آورم.

همچنین از استاد فرهیخته سرکار خانم دکتر مرضیه جعفری که راهنما و راه‌گشای اینجانب در طی انجام این تحقیق بوده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

## چکیده

تکنیک تلفیق تصویر راهکاری رایج به منظور ایجاد هم‌افزایی در محتوای تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک محسوب می‌شود. تاکنون راهکارهای مختلفی به منظور انجام فرایند تلفیق توسعه یافته‌اند که به کارگیری فضای فرکانس یکی از این راهکارها بشمار می‌رود. تلفیق تصاویر در فضای فرکانس به کمک فیلترهای بالاگذر و پایین گذر انجام شده که تعیین ابعاد بهینه‌ی فیلترها مهم‌ترین چالش آن محسوب می‌شود. در این پایان‌نامه به منظور بهره‌مندی توأمان از محتوای طیفی و جزئیات مکانی تصاویر، شاخصی وزن‌دار متشکل از دو شاخص رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی پیشنهاد شده است. شاخص مذکور توانسته با اتکا به معیارهای هندسی و آماری فضای ویژگی در کنار به کارگیری فیلترهای نرم، نتایج مطلوبی را در شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری تأمین سازد. در سازوکار پیشنهادی، وزن شاخص‌های رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی با در نظر گرفتن تمایز در محتوای تصاویر، برای هر تصویر به‌طور مستقل برآورد می‌گردد. مقایسه‌ی بهترین نتایج کسب‌شده از روش پیشنهادی با روش‌های تبدیل موجک، گرام‌اشمیت، نرمال‌سازی رنگی و روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی حاکی از بهبود به‌طور متوسط ۵۸ درصدی در دقت بر مبنای شاخص RMSE می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** سنجش‌ازدور، تلفیق تصویر، فضای فرکانس، تبدیل فوریه، فیلترگذاری



## فهرست مطالب

۱	فصل اول کلیات تحقیق
۱-۱	مقدمه
۲-۱	طرح مسأله، ضرورت و جایگاه تحقیق
۳-۱	اهداف تحقیق
۴-۱	روند انجام پژوهش
۵-۱	ساختار پایان نامه
۸	فصل دوم مروری بر تحقیقات انجام شده
۱-۲	مقدمه
۱-۱-۲	تصویر پانکروماتیک
۲-۱-۲	تصویر چند طیفی
۳-۱-۲	قدرت تفکیک مکانی
۴-۱-۲	قدرت تفکیک طیفی
۲-۲	فرآیند تلفیق تصاویر
۱-۲-۲	پیش پردازش داده‌ها به منظور تلفیق تصاویر
۱-۱-۲-۲	عملیات ثبت تصاویر
۲-۱-۲-۲	باز نمونه برداری
۳-۲	سطوح تلفیق تصاویر بر اساس سطح پردازش
۱-۳-۲	تلفیق در سطح پیکسل
۲-۳-۲	تلفیق در سطح ویژگی
۳-۳-۲	تلفیق در سطح تصمیم‌گیری
۴-۲	الگوریتم‌های تلفیق در سطح پیکسل
۱-۴-۲	تکنیک مبتنی بر تعویض اجزا
۱-۱-۴-۲	روش گرام اشمیت
۲-۱-۴-۲	روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی (PCA)
۲-۴-۲	روش‌های عددی
۱-۲-۴-۲	تبدیل Brovey
۲-۲-۴-۲	روش نرمال‌سازی رنگی
۳-۴-۲	روش مبتنی بر آنالیز چند رزولوشنه
۱-۳-۴-۲	تبدیل موجک
۱-۱-۳-۴-۲	تبدیل موجک هار
۴-۴-۲	روش‌های آماری
۵-۴-۲	روش‌های ترکیبی
۱-۵-۴-۲	تبدیل Wavelet_IHS

۲۸	..... Wavelet_PCA تبدیل ۲-۵-۴-۲
۲۸	..... روش‌های تلفیق مبتنی بر فضای فرکانس ۶-۴-۲
۲۹	..... روش فیلتر بالاگذر ۱-۶-۴-۲
۳۱	..... فیلترگذاری بالاگذر و پایین گذر فضای فرکانس ۳-۶-۴-۲
۳۱	..... فیلتر ایده‌آل ۱-۳-۶-۴-۲
۳۲	..... فیلتر گوسین ۲-۳-۶-۴-۲
۳۳	..... فیلتر هنینگ ۳-۳-۶-۴-۲
۳۴	..... فیلتر بارلت ۴-۲-۶-۴-۲
۳۵	..... مسأله تصویر مرجع در ارزیابی کیفیت تصویر تلفیق شده ۵-۲
۳۵	..... پروتکل ارزیابی ژو ۱-۵-۲
۳۶	..... پروتکل ارزیابی والد ۲-۵-۲
۳۷	..... پروتکل ارزیابی QNR ۳-۵-۲
۳۸	..... معیارهای ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیق شده ۶-۲
۳۹	..... ارزیابی بصری ۱-۶-۲
۳۹	..... ارزیابی کمی ۲-۶-۲
۴۰	..... ریشه خطای مربعی متوسط (RMSE) ۱-۲-۶-۲
۴۰	..... نسبت سیگنال به نویز (SNR) ۲-۲-۶-۲
۴۱	..... شباهت ساختاری (SSIM) ۳-۲-۶-۲
۴۱	..... شاخص نگاهت زاویه طیفی (SAM) ۴-۲-۶-۲
۴۲	..... مروری بر پژوهش‌های پیشین ۷-۲
۴۴	..... جمع‌بندی ۸-۲
۴۶	..... فصل سوم روش‌شناسی تحقیق
۴۷	..... ۱-۳ مقدمه
۴۷	..... ۲-۳ فیلترگذاری در فضای فرکانس با هدف تلفیق تصاویر
۴۸	..... ۳-۳ شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری در فرایند تلفیق
۵۶	..... ۴-۳ روش پیشنهادی
۵۷	..... ۱-۴-۳ گام اول (پیش‌پردازش‌ها)
۵۸	..... ۲-۴-۳ گام دوم (انتقال تصاویر به فضای فرکانس)
۵۸	..... ۳-۴-۳ گام سوم (تنظیم وزن بهینه‌ی کمیت‌های شاخص بهینه‌گی)
۶۰	..... ۴-۴-۳ گام چهارم (تلفیق تصاویر بر مبنای شناسایی ابعاد فیلتر بهینه متناسب با شاخص بهینه‌گی وزن‌دار)
۶۲	..... فصل چهارم ارزیابی و نتایج
۶۳	..... ۱-۴ مقدمه
۶۳	..... ۲-۴ داده‌های مورد استفاده

۶۳	.....Geo-eye ۱-۲-۴ تصویر سنجنده
۶۵	.....Worldview_۲ ۲-۲-۴ تصویر سنجنده
۶۷	.....۳_۴ ارزیابی نتایج و بحث
۶۷	.....۱_۳_۴ رویکرد نخست
۷۱	.....۲_۳_۴ رویکرد دوم
۷۵	.....۳_۳_۴ رویکرد سوم
۷۹	..... فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۲	..... منابع

### فهرست جداول

۶۴	.....GeoEye ۱-۴ معرفی مشخصات فنی سنجنده
۶۶	.....WorldView_۲ ۲-۴ معرفی مشخصات فنی سنجنده

### فهرست شکل‌ها

۷	..... شکل ۱-۱-۱ روندنمای مراحل انجام پژوهش
۱۰	..... شکل ۱-۲-۱ نمونه‌ای از تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی سنجنده Geo-Eye
۱۴	..... شکل ۲-۲-۲ الگوریتم تلفیق تصاویر در سطح پیکسل
۱۵	..... شکل ۳-۲-۳ الگوریتم تلفیق تصاویر در سطح ویژگی
۱۶	..... شکل ۴-۲-۴ الگوریتم تلفیق تصاویر در سطح تصمیم‌گیری
۱۸	..... شکل ۵-۲-۵ الگوریتم تلفیق تصاویر به روش تعویض اجزا
۲۰	..... شکل ۶-۲-۶ الگوریتم تلفیق تصاویر به روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی
۲۴	..... شکل ۷-۲-۷ تجزیه تصویر بوسیله تبدیل موجک
۲۴	..... شکل ۸-۲-۸ الگوریتم تلفیق تصاویر به روش موجک
۲۷	..... شکل ۹-۲-۹ الگوریتم تلفیق تصاویر به روش Wavelet_IHS
۳۰	..... شکل ۱۰-۲-۱۰ تصویر در فضای مکان و طیف متناظر در فضای فرکانس

- شکل ۲-۱۱- نمایی از فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر ایده‌آل در فضای فرکانس ..... ۳۲
- شکل ۲-۱۲- نمایی از فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر گوسین در فضای فرکانس ..... ۳۳
- شکل ۲-۱۳- نمایی از فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر هنینگ در فضای فرکانس ..... ۳۴
- شکل ۲-۱۴- نمایی از فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر بارلت در فضای فرکانس ..... ۳۵
- شکل ۲-۱۵- روند باز نمونه‌برداری کاهش‌ی تصاویر به‌منظور امکان ارزیابی به کمک تصاویر مرجع ..... ۳۷
- شکل ۳-۱- نمایی شماتیک از روند فیلترگذاری و تلفیق تصویر در فضای فرکانس ..... ۴۸
- شکل ۳-۲- فرآیند باز نمونه‌برداری تصویر چند طیفی به‌منظور هم‌سازی با تصویر پانکروماتیک ..... ۵۰
- شکل ۳-۳- روند تکثیر پیکسل‌های تصویر تلفیق‌شده در فضای ویژگی ..... ۵۲
- شکل ۳-۴- نمایش روند شماتیک تغییر شاخص‌های رنگ‌پذیری، جزئیات مکانی و شاخص بهینه‌گی به ازای تغییر در ابعاد فیلترهای تلفیقی در فضای فرکانس ..... ۵۵
- شکل ۳-۵- روندنمای الگوریتم پیشنهادی ..... ۵۷
- شکل ۴-۱- تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی منطقه مطالعاتی اول ..... ۶۵
- شکل ۴-۲- تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی منطقه مطالعاتی دوم ..... ۶۷
- شکل ۴-۳- نتایج معیار آماری RMSE به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye ..... ۶۸
- شکل ۴-۴- نتایج معیار آماری SAM به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye ..... ۶۹
- شکل ۴-۵- نتایج معیار آماری SNR به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye ..... ۶۹
- شکل ۴-۶- نتایج معیار آماری SSIM به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye ..... ۶۹
- شکل ۴-۷- نتایج معیار آماری RMSE به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye ..... ۷۰
- شکل ۴-۸- نتایج معیار آماری SAM به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye ..... ۷۰
- شکل ۴-۹- نتایج معیار آماری SNR به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye ..... ۷۰

شکل ۴-۱۰	نتایج معیار آماری SSIM به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر	۷۱
WorldView-۲		
شکل ۴-۱۱	نتایج معیار آماری RMSE روش‌های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye	۷۲
شکل ۴-۱۲	نتایج معیار آماری SAM روش‌های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye	۷۲
شکل ۴-۱۳	نتایج معیار آماری SNR روش‌های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye	۷۲
شکل ۴-۱۴	نتایج معیار آماری SSIM روش‌های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye	۷۳
شکل ۴-۱۵	نتایج معیار آماری RMSE روش‌های تلفیق متعلق به تصویر WorldView-۲	۷۳
شکل ۴-۱۶	نتایج معیار آماری SAM روش‌های تلفیق متعلق به تصویر WorldView-۲	۷۳
شکل ۴-۱۷	نتایج معیار آماری SNR روش‌های تلفیق متعلق به تصویر WorldView-۲	۷۴
شکل ۴-۱۸	نتایج معیار آماری SSIM روش‌های تلفیق متعلق به تصویر WorldView-۲	۷۴
شکل ۴-۱۹	تصاویر تلفیق شده منطقه مطالعاتی اول	۷۶
شکل ۴-۲۰	تصاویر تلفیق شده منطقه مطالعاتی دوم	۷۷

## فهرست علائم و اختصارها

$IHS$	فضای رنگی (شدت، پرده رنگ، اشباع)
$RGB$	فضای رنگی (قرمز، سبز، آبی)
$Lab$	فضای رنگی استاندارد
$HSV$	فضای رنگی (پرده رنگ، اشباع، مقدار)
$PCA$	تحلیل مؤلفه‌های اساسی
$PAN$	باند پانکروماتیک
$B_k$	باند طیفی $k$ از تصویر مرجع
$\hat{B}_k$	باند طیفی $k$ از تصویر تلفیق شده
$F(u, v)$	تابع تبدیل فوریه
$f(x, y)$	تصویر در فضای مکان
$F_r$	شاخص رنگ‌پذیری
$F_r$	شاخص جزئیات مکانی
$F_{opt}$	شاخص بهینه‌گی وزن‌دار
$D.$	فرکانس قطع (شعاع برش در فیلترگذاری فضای فرکانس)
$D$	فاصله از مرکز تصویر در فضای فرکانس
$b$	تعداد باندهای تصویر
$x_{i,j,k}$	یک درجه خاکستری از تصویر مرجع (مکان $i, j$ و باند $k$ )
$\hat{x}_{i,j,k}$	یک درجه خاکستری از تصویر تلفیق شده (مکان $i, j$ و باند $k$ )
$\mu_k$	میانگین باند $k$ از تصویر مرجع
$\hat{\mu}_k$	میانگین باند $k$ از تصویر تلفیق شده
$\sigma_k$	انحراف معیار باند $k$ از تصویر مرجع
$\hat{\sigma}_k$	انحراف معیار باند $k$ از تصویر تلفیق شده

**فصل اول**

**کلیات تحقیق**

تاکنون تعاریف متعددی از سنجش‌ازدور ارائه شده‌است، در تعریفی جامع سنجش‌ازدور به‌عنوان علم، هنر و فن‌آوری کسب اطلاعات درباره یک شی، منطقه یا پدیده از طریق تفسیر و پردازش داده‌های اخذشده توسط سنجنده تعریف می‌شود [۲،۱].

امروزه با توسعه سامانه‌های سنجش‌ازدوری، طیف گسترده‌ای از داده‌های متنوع با قدرت تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریکی متفاوت از پدیده‌های سطح زمین در دسترس عموم قرار دارد [۴،۳].

علیرغم توسعه قابلیت‌های سامانه‌های سنجش‌ازدوری، محدودیت فن‌آوری در حوزه‌ی سخت‌افزار که شامل: ۱- محدودیت فیزیکی در طراحی سنجنده‌های سنجش‌ازدور، ۲- محدودیت ذخیره‌سازی تصاویر چند طیفی با حجم بالای اطلاعات و همچنین ۳- محدودیت در ارسال اطلاعات به ایستگاه زمینی چالش‌هایی را در بهره‌برداری حداکثری از تصاویر سنجش‌ازدوری به وجود آورده که محققین را به سمت توسعه‌ی راهکارهای جبران‌کننده از طریق محاسبات سوق داده است [۵]. تقابل میان حد تفکیک مکانی و طیفی یکی از محدودیت‌های وابسته به فن‌آوری محسوب شده که ثبت تصاویر چند طیفی با حد تفکیک مکانی بالا را در سکوه‌های فضایی با چالش روبه‌رو می‌سازد [۶]. کاهش عرض باندهای طیفی با هدف افزایش تعداد آن‌ها، منجر به کاهش شاخص نسبت سیگنال به نویز<sup>۱</sup> شده که این موضوع به طریق سخت‌افزاری و با افزایش سطح دریافت انرژی (ابعاد پیکسل در فضای تصویر) در سیستم‌های تصویربرداری قابل جبران خواهد بود. بر این اساس، ارتقاء حد تفکیک طیفی در یک سنجنده با ارتفاع و زاویه‌ی میدان دید ثابت، با افزایش ابعاد پیکسل‌های تصویری و به تبع آن کاهش توان تفکیک مکانی میسر خواهد بود [۷]. محدودیت مکانی تصویر چند طیفی و همچنین عدم همپوشانی محتوای طیفی در

---

<sup>۱</sup> Signal to Noise Ratio



تصویر پانکروماتیک به واسطه تلفیق تصاویر<sup>۱</sup> مذکور مرتفع می‌گردد. بدین منظور در این پژوهش تلاش شده است با مطالعه روش‌های موجود در حوزه تلفیق تصاویر به بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های هر یک پرداخته و با اتکا به قابلیت روش‌های موجود، روشی کارآمد در جهت تلفیق تصاویر با هدف بهره‌مندی حداکثری از پتانسیل تصاویر مذکور و افزایش قابلیت تفسیر، دقت، صحت و اعتمادپذیری تصاویر تلفیق شده ارائه گردد.

## ۱-۲- طرح مسأله، ضرورت و جایگاه تحقیق

امروزه تصاویر سنجش‌ازدوری در کاربردهای خاصی از علوم مربوط به زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این‌رو، لزوم دستیابی به تصاویری با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا به‌صورت هم‌زمان از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. محدودیت‌های فیزیکی در طراحی سنجنده‌ها، دستیابی به تصویری واحد با محتوای طیفی و ساختار مکانی بهینه را ناممکن می‌سازد. در این میان، به‌کارگیری الگوریتم‌های تلفیق تصاویر با هدف غلبه بر محدودیت‌های موجود در دستور کار محققین قرار گرفت [۴].

تکنیک تلفیق تصاویر راهکاری محاسباتی به‌منظور ایجاد هم‌افزایی در محتوای تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک محسوب می‌شود که هدف دستیابی به محصولی با ویژگی‌های کارآمدتر نسبت به داده‌های اولیه است [۸]. اصطلاح تلفیق تصاویر نخستین بار در اواخر دهه ۸۰ میلادی در جوامع سنجش‌ازدوری به‌عنوان یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مطرح گشت و تا اواخر دهه ۹۰ میلادی پژوهش‌های بسیاری با این عنوان، با هدف ارائه راهکاری مناسب جهت تلفیق تصاویر توسعه یافت [۹،۱۰].

در حوزه‌ی ثبت تصاویر سنجش‌ازدوری، به‌طورمعمول واژه‌ی تلفیق به روندی اطلاق شده که در آن تصاویر پانکروماتیک با توان تفکیک مکانی بالا و تصاویر چند طیفی با توان تفکیک مکانی پایین، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. انتظار می‌رود نتیجه‌ی این ترکیب، تولید تصویری چند طیفی با حد تفکیک

---

<sup>۱</sup> Image Fusion

مکانی بهتر باشد [۱۱]. اصطلاح رایج‌تر برای این فرآیند پن‌شارپنینگ<sup>۱</sup> بوده که تاکنون راهکارهای متعددی برای آن توسعه یافته است. علیرغم تنوع الگوریتم‌های تلفیق تصاویر، سازوکار تمامی روش‌های موجود بر پایه ارائه تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا استوار بوده است [۱۲].

در یک دسته‌بندی کلی می‌توان الگوریتم‌های توسعه یافته را به دو دسته، تکنیک‌های مرسوم فضای مکان<sup>۲</sup> و فضای فرکانس<sup>۳</sup> تقسیم‌بندی نمود. در تکنیک‌های تلفیق در فضای مکان مقادیر پیکسل-های تصاویر مرجع به‌منظور حصول نتیجه دلخواه دستخوش تغییر خواهند شد که از جمله روش‌های موجود در این حوزه می‌توان به تکنیک‌های Brovey [۱۳]، PCA<sup>۴</sup> [۱۴] و IHS<sup>۵</sup> [۱۵] اشاره داشت [۱۶].

در تکنیک‌های تلفیق در فضای فرکانس، ابتدا تصاویر بر پایه تبدیلات مرسوم این حوزه از قبیل تبدیل فوریه [۱۷]، ریجالت<sup>۶</sup> [۱۸] و کرولت [۱۹] و ... به فضای فرکانس انتقال می‌یابد، فرآیند تلفیق ضمن جایگزینی اطلاعات فرکانس بالا مربوط به تصویر پانکروماتیک با همان قسمت متناظر از تصویر چند طیفی انجام پذیرفته و در ادامه، تمامی عملیات تلفیق بر روی طیف تصویر صورت می‌گیرد و سپس معکوس تبدیل به‌منظور حصول تصویر تلفیق شده در فضای اولیه اعمال می‌شود [۵، ۱۶].

در این پژوهش به بررسی اجمالی در ارتباط با روش‌های مرسوم تلفیق در حوزه مکان و فرکانس پرداخته شده است و توضیحات تکمیلی در این باره در فصل دو آورده شده است. در هر یک از تکنیک‌های تلفیق توسعه یافته، نسبت‌های گوناگونی از اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر ورودی به تصاویر تلفیق شده انتقال می‌یابد. لازم به ذکر است که طی فرآیند تلفیق اعوجاجاتی در تصویر حاصل ایجاد می‌گردد که

---

<sup>۱</sup> Pan-Sharpning  
<sup>۲</sup> Spatial Domain  
<sup>۳</sup> Frequency Domain  
<sup>۴</sup> Principal Component Analysis  
<sup>۵</sup> Intensity, Hue, Saturation  
<sup>۶</sup> Ridgelet

بررسی کاملی در این ارتباط در پژوهش‌های [۲۱،۲۰ و ۲۲] صورت پذیرفته است، اعوجاج طیفی و ایجاد اثر مصنوعات مکانی<sup>۱</sup> از جمله متداول‌ترین مشکلات حوزه تلفیق می‌باشند [۴].

در همین راستا، در این پژوهش تلاش شده است تا با ارائه روشی مبتنی بر فضای فرکانس بر پایه تبدیل فوریه ضمن غلبه بر محدودیت‌های مذکور، محصولی کارآمد با ویژگی‌های طیفی و مکانی بهینه تولید گردد. در روش‌های مبتنی بر فضای فرکانس، با انتقال تصاویر به فضای فرکانس، جزئیات مکانی به کمک فرکانس‌های بالای تصاویر پانکروماتیک و اطلاعات طیفی از طریق فرکانس‌های پایین تصاویر چند طیفی با یکدیگر تلفیق شده و بدین ترتیب یک محصول تلفیقی تولید می‌گردد. جداسازی فرکانس‌های بالا و پایین به ترتیب به کمک فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر در فضای فرکانس صورت می‌پذیرند. در ادامه، انتقال محصول تلفیقی به فضای مکان منجر به تولید تصاویر تلفیق شده خواهد شد.

بر این اساس سؤالات اصلی تحقیق به شرح زیر است:

- چه الزامات فنی می‌بایست در روند تلفیق تصاویر در فضای فرکانس رعایت شود؟
- آیا می‌توان به کمک تنظیم و اصلاح جزئیات فرآیند تلفیق در فضای فرکانس، نتایج بهتری کسب نمود؟
- آیا به کارگیری فیلترهای نرم به جای فیلترگذاری قطعی می‌تواند در بهبود نتایج تلفیق تصاویر در فضای فرکانس مؤثر باشد؟
- چه محدودیت‌هایی در روش‌های پیشین یافتن خودکار ابعاد فیلترگذاری در فضای فرکانس وجود دارد؟
- روش‌های شناسایی ابعاد بهینه فیلترگذاری تا چه حد تعمیم پذیر هستند؟

---

<sup>۱</sup> Artificial effects

- تا چه حد می‌توان به روش‌های یافتن ابعاد بهینه فیلترگذاری در تلفیق تصاویر اعتماد داشت؟

### ۱-۳- اهداف تحقیق

در روش‌های تلفیق مبتنی بر فضای فرکانس، فرکانس‌های بالا معرف جزئیات مکانی و فرکانس‌های پایین بیانگر محتوای طیفی تصاویر می‌باشند؛ بنابراین بهره‌مندی هم‌زمان از اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر ورودی در صورت شناسایی فرکانس بهینه تلفیق ممکن می‌گردد. از این‌روی مسئله یافتن دامنه‌ی فرکانسی مورداستفاده در فرآیند فیلترگذاری به‌منظور دستیابی به نتایج مطلوب، به‌عنوان چالش نخست مطرح می‌باشد.

بر این اساس در این پژوهش تلاش شده است که با ارائه روشی کارآمد در فضای فرکانس بر پایه تبدیل فوریه میزان اعوجاجات طیفی و مکانی در تصاویر تلفیق شده کاهش یابد که این امر در سایه‌ی تلفیق بهینه‌ی فرکانس‌ها از تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی محقق می‌گردد. برای نیل به این مقصود، در این پژوهش، اهداف زیر دنبال شده است:

- توسعه راهکاری خودکار به منظور یافتن ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری در فضای فرکانس به منظور تلفیق تصاویر بدون نیاز به تصویر مرجع
- تنظیم خودکار پارامترهای داخلی مربوط به شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری متناسب با تمایزات مربوط به محتوای تصویری
- ارزیابی کمی و کیفی نتایج حاصل از تلفیق بر پایه فیلترهای متفاوت حوزه فرکانس

## ۱-۴- روند انجام پژوهش

روند کلی فرآیند تلفیق تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی در فضای فرکانس بر پایه تبدیل فوریه در شکل ۱-۱ ارائه شده است.



شکل ۱-۱- روند نمای مراحل انجام پژوهش

## ۱-۵- ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر در پنج فصل تدوین شده است. در فصل اول، پس از طرح مقدمه، ضرورت و اهداف تحقیق بیان شده است. در فصل دوم مبانی نظری روش های تلفیق تصاویر و مطالعات صورت گرفته در این زمینه ارائه شده است. در فصل سوم به تشریح روش پیشنهادی پرداخته شده است. در فصل چهارم نتایج کسب شده از روش پیشنهادی ارائه شده و مورد بحث قرار گرفته و آخرین فصل از پایان نامه نیز به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آتی اختصاص دارد.

## فصل دوم

### مروری بر تحقیقات انجام شده

امروزه با توجه به توسعه سامانه‌های سنجش‌ازدوری، طیف گسترده از داده‌های متنوع با قدرت تفکیک طیفی و مکانی متفاوت در دسترس عموم قرار گرفته است. از جمله سنجنده‌های موجود، می‌توان به سنجنده‌های ماهواره‌ای تجاری از قبیل: Landsat۷، IKONOS، Spot۵ و Quick birds اشاره داشت که قادر به ثبت هم‌زمان تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی از یک صحنه مشابه می‌باشند. به‌طوری‌که، تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا در ارائه جزئیات دقیق در ارتباط با شکل، ساختار و ویژگی‌های تصویر کاربرد دارد. در مقابل، تصویر چند طیفی برای شناسایی و تفسیر ویژگی‌های طیفی پدیده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. علیرغم توسعه قابلیت سامانه‌های سنجش‌ازدوری، همچنان ارائه تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین به‌عنوان چالشی بزرگ در میان داده‌های حاصل از سنجنده‌ها مطرح می‌گردد [۴].

از این‌رو به‌منظور فائق آمدن بر محدودیت‌های ذکرشده و بهره‌مندی هم‌زمان از اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر، تکنیک‌های تلفیق تصاویر به‌عنوان یکی از حوزه‌های تحقیقاتی گسترده در علوم مربوط به زمین توسعه یافته است [۲۳]. هدف از تلفیق تصاویر، تولید تصویری شامل جزئیات مکانی تصویر پانکروماتیک و اطلاعات طیفی تصویر چند طیفی می‌باشد [۸].

این فصل با طرح مقدمه‌ای بر انواع تصاویر ماهواره‌ای آغاز می‌شود. سپس به‌مرور کلی بر انواع سطوح تلفیق پرداخته و در ادامه، الگوریتم‌های مرسوم حوزه تلفیق تصاویر معرفی و توضیح مختصری در ارتباط با هر یک از روش‌های موجود ارائه شده است. در انتها، معیارهای ارزیابی تصاویر تلفیق شده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

ماهواره‌های مشاهده‌گر زمین که دارای دو سنجنده پانکروماتیک و چند طیفی در یک سکو هستند، قادر به ثبت تصاویر از یک صحنه در دو حالت پانکروماتیک و چند طیفی می‌باشند.

## ۱-۲-۱ تصویر پانکروماتیک

سنجنده پانکروماتیک در محدوده‌ی طول‌موج مرئی در گستره‌ی ۰,۴ تا ۰,۷ میکرومتر از طیف الکترومغناطیس اقدام به ثبت انرژی می‌نماید. تصویر حاصل، تک بانده‌ی و دارای قدرت تفکیک مکانی بالایی می‌باشد [۲۴].

## ۱-۲-۲ تصویر چند طیفی

تصویر چند طیفی از ثبت هم‌زمان پرتوهای امواج الکترومغناطیسی در چندین بانده طیفی حاصل می‌گردد. تصویر حاصل به سبب تعدد باندهای طیفی، از قدرت تفکیک طیفی بالایی برخوردار می‌باشد و از طرفی دیگر، به دلیل باریک بودن عرض طیفی باندها، تصاویری با قدرت تفکیک مکانی پایین ارائه می‌دهند [۲۴]. نمونه‌ای از تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی سنجنده Geo-Eye در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.



ب- تصویر چند طیفی



الف- تصویر پانکروماتیک

شکل ۱-۲- نمونه‌ای از تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی سنجنده Geo-Eye

همان‌طور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود در سنجنده‌هایی که شامل هر دو سیستم تصویربرداری پانکروماتیک و چند طیفی هستند، همواره تصاویری با قدرت تفکیک طیفی و مکانی متفاوتی تولید خواهد شد.



## ۲-۱-۳- قدرت تفکیک مکانی

قدرت تفکیک مکانی به عنوان قابلیت و توانایی سنجنده در شناسایی جزئیات پدیده‌های مکانی سطح زمین تعریف می‌گردد. به بیانی ساده‌تر قدرت تفکیک مکانی، به عنوان کوچک‌ترین جز قابل تشخیص در یک تصویر شناخته می‌شود. بدین ترتیب تصویر با ابعاد پیکسل کوچک‌تر، از قدرت تفکیک مکانی بالایی برخوردار می‌باشد [۴].

## ۲-۱-۴- قدرت تفکیک طیفی

قدرت تفکیک طیفی به طول موج‌های بازگشتی از پدیده‌های سطح زمین وابسته است و قابلیت سنجنده در تمیز ویژگی‌های طیفی پدیده‌های موجود را بیان می‌کند. دو مؤلفه: ۱- تعداد باندهای تصویر چند طیفی و ۲- عرض هر باند به عنوان عوامل تأثیرگذار در قدرت تفکیک طیفی تصویر شناخته می‌شوند [۴].

## ۲-۲- فرآیند تلفیق تصاویر

فرآیند تلفیق تصاویر به عنوان زیرمجموعه‌ای از تکنیک‌های تلفیق داده شناخته شده است [۲۴] که تصاویر حاصل از تلفیق هر دو ویژگی طیفی و مکانی را به صورت مکمل دارا بوده و در کاربردهای بسیاری از قبیل: تصویربرداری پزشکی، تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، کاربردهای سنجش از دور، بینایی ماشین<sup>۱</sup>، رباتیک و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶].

## ۲-۲-۱- پیش‌پردازش داده‌ها به منظور تلفیق تصاویر

به منظور حصول نتیجه مطلوب از فرآیند تلفیق، اعمال یکسری از پیش‌پردازش‌ها بر روی تصاویر از اهمیت بسزایی برخوردار است. عملیات ثبت<sup>۲</sup> و باز نمونه‌برداری<sup>۱</sup> تصاویر از قبیل پیش‌پردازش‌های ضروری بوده که بر روی نتایج حاصل از تلفیق تأثیرگذار خواهند بود.

<sup>۱</sup> Machine vision

<sup>۲</sup> Registration

## ۲-۱-۲-۱ عملیات ثبت تصاویر

در این عملیات پیکسل‌های تصاویر ورودی که در زمان‌های مختلف توسط حسگرهای متفاوت از یک صحنه مشابه اخذ شده‌اند، می‌بایست با مختصات زمینی دقیق هم‌مرجع<sup>۲</sup> گردند. فرآیند ثبت تصاویر به دو طریق مختلف صورت می‌پذیرد، بدین ترتیب که می‌توان هریک از تصاویر ورودی را به صورت منفرد در مبنای مختصات نقشه، زمین مرجع<sup>۳</sup> نموده و یا اینکه یکی از تصاویر را به عنوان تصویر مبنا در نظر گرفته و پیکسل‌های تصویر دیگر را با تصویر مبنا منطبق نمود [۲۵]. چنانچه تصاویر ورودی فرآیند تلفیق، از یک سنجنده واحد اخذ شده باشند بدون نیاز به هم‌مرجع‌سازی تصاویر می‌توان از آن‌ها در فرآیند تلفیق استفاده نمود.

## ۲-۱-۲-۲ باز نمونه‌برداری

تصاویر ورودی فرآیند تلفیق می‌بایست از نقطه‌نظر پیکسل‌های تصویری، دارای ابعاد یکسانی باشند. بدین منظور تکنیک‌های باز نمونه‌برداری تصاویر توسعه یافته است که بسته به کاربرد مورد نظر منجر به کاهش یا افزایش ابعاد تصویر می‌گردند. از جمله تکنیک‌های باز نمونه‌برداری می‌توان به ۱\_ نزدیک‌ترین همسایه<sup>۴</sup>، ۲\_ درون‌یابی دو خطی<sup>۵</sup> و ۳\_ درون‌یابی مکعبی<sup>۶</sup> اشاره داشت. نتایج حاصل از تلفیق بسته به نحوه عملکرد هریک از تکنیک‌های درون‌یابی به صورتی متفاوت ارائه خواهد شد [۲۴]. رویکردهای درون‌یابی در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته، نتایج حاصل از بررسی‌ها به کارگیری روش درون‌یابی مکعبی را به منظور جلوگیری از عدم همپوشانی<sup>۷</sup> بین باندهای تصویر چند طیفی باز نمونه‌برداری شده و پانکروماتیک پیشنهاد کرده‌اند [۱۲].

---

<sup>۱</sup> Resampling

<sup>۲</sup> Co-Registration

<sup>۳</sup> Georeference

<sup>۴</sup> Nearest neighbor

<sup>۵</sup> Bilinear interpolation

<sup>۶</sup> Cubic convolution

<sup>۷</sup> Misalignments

## ۲-۳- سطوح تلفیق تصاویر بر اساس سطح پردازش

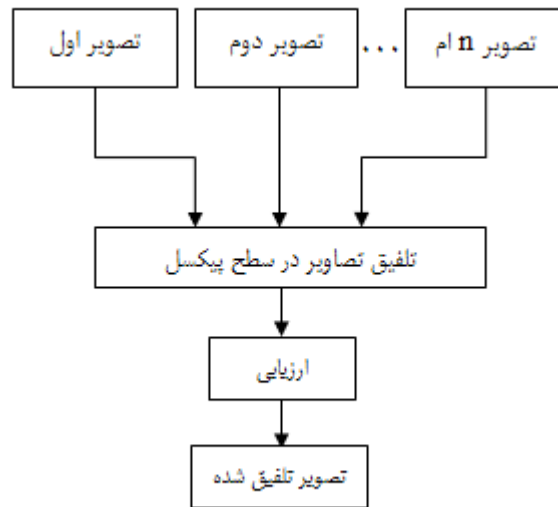
در سنجش از دور تلفیق تصاویر بر اساس سطح پردازش و کاربرد تصویر در سه سطح مختلف، سطح پیکسل، سطح ویژگی و سطح تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد [۲۶]. در ادامه توضیح مختصری در ارتباط با هر یک از سطوح تلفیق ارائه می‌گردد.

### ۲-۳-۱- تلفیق در سطح پیکسل

در تکنیک‌های تلفیق مبتنی بر پیکسل که به‌عنوان پایین‌ترین سطح تلفیق شناخته شده‌است، تصویر تلفیق شده از ترکیب پیکسل به پیکسل مقادیر پیکسل‌های تصاویر مرجع حاصل می‌گردد [۲۷]. تصویر حاصل شامل اطلاعات کامل‌تری نسبت به هر یک از تصاویر ورودی بوده که در کاربردهایی همچون: پردازش تصویر، بهبود دید بصری و تفسیر انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۸]. لازم به ذکر است که فرآیند تطابق هیستوگرامی<sup>۱</sup> و همچنین بازنمونه‌برداری هندسی تصاویر ورودی از جمله پیش‌پردازش‌های اصلی فرایند تلفیق تصاویر محسوب می‌شود [۲۴]. از جمله مزایای تلفیق در این سطح می‌توان به حفظ اطلاعات تصاویر ورودی اشاره کرد که این امر از سویی دیگر، به‌واسطه حجم بالا اطلاعات منجر به کاهش سرعت پردازش می‌گردد [۲۹]. از جمله روش‌های مرسوم تلفیق در این سطح می‌توان به روش‌هایی همچون: IHS، PCA و Brovey اشاره داشت [۳۰]. شکل ۲-۲ الگوریتم تلفیق تصاویر در سطح پیکسل را نمایش می‌دهد.

---

<sup>۱</sup> Histogram matching

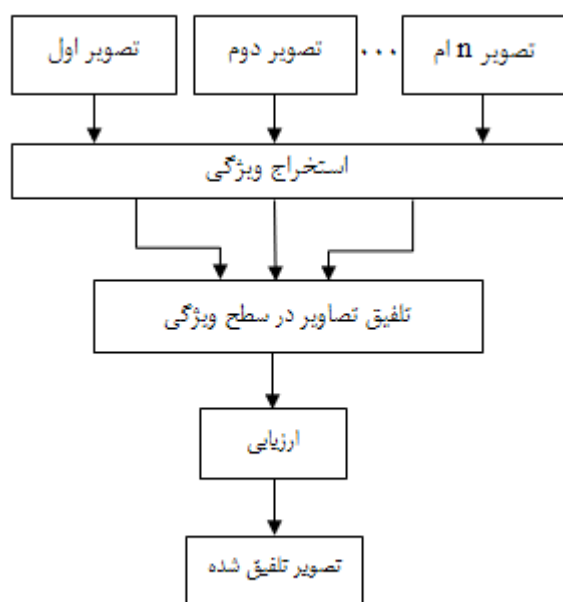


شکل ۲-۲- الگوریتم تلفیق تصاویر در سطح پیکسل

### ۲-۳-۲- تلفیق در سطح ویژگی

تلفیق در سطح ویژگی به‌عنوان تلفیق در سطح متوسط، مبتنی بر ترکیب ویژگی‌های تصاویر ورودی است. در این سطح از تلفیق، ویژگی‌هایی نظیر بافت، شدت پیکسل و لبه‌ها به کمک روش‌هایی از قبیل بخش‌بندی، از تصاویر ورودی استخراج‌شده و تلفیق به‌واسطه روش‌های متداول این سطح صورت می‌پذیرد [۲۶]. از روش‌هایی همچون: شبکه‌های عصبی<sup>۱</sup>، تقسیم‌بندی بر اساس ناحیه و منطقه، خوشه-بندی k-means می‌توان به‌عنوان نمونه‌ای از روش‌های مرسوم تلفیق در این سطح نام برد [۳۰]. ازجمله مزایای تلفیق در سطح ویژگی فشرده‌سازی اطلاعات است که این امر به پردازش در کوتاه‌ترین زمان منجر می‌گردد [۲۹]. در شکل ۲-۳ روند تلفیق تصاویر در سطح ویژگی نمایش یافته است.

<sup>۱</sup> Neural Networks

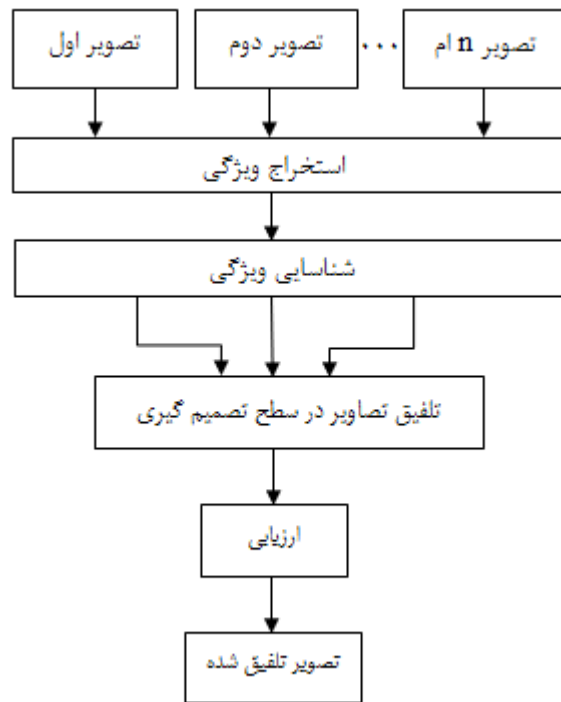


شکل ۲-۳- الگوریتم تلفیق تصاویر در سطح ویژگی

### ۲-۳-۳ تلفیق در سطح تصمیم‌گیری

تلفیق در سطح تصمیم‌گیری به‌عنوان بالاترین سطح تلفیق شناخته شده است. در این سطح از تلفیق، تصاویر ورودی به‌صورت منفرد پردازش شده و فرآیند تلفیق تصاویر با اتکا به قوانین تصمیم‌گیری به‌واسطه ترکیب اطلاعات مفید استخراج شده حاصل می‌گردد. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از تلفیق به طراحی قوانین تصمیم‌گیری وابسته است [۲۶]. رویکرد ادغام در سطح تصمیم‌گیری شامل استنتاج بیزی<sup>۱</sup>، شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش‌های وزن‌دهی و منطق فازی می‌باشد، لازم بذکر است که این سطح از تلفیق علاوه بر کاربردهای سنجش‌از‌دور، در مواردی از قبیل شناسایی اثرانگشت، شناسایی چهره و مواردی از این قبیل نیز کاربرد دارد [۲۸]. از جمله مزایای تلفیق در این سطح، می‌توان به قابلیت تفسیر و درک بهتر از عوارض اشاره کرد [۲۶]. شکل ۲-۴ نحوه تلفیق تصاویر در سطح تصمیم‌گیری را نمایش می‌دهد.

<sup>۱</sup> Bayesian Inference



شکل ۲-۴- الگوریتم تلفیق تصاویر در سطح تصمیم گیری

## ۲-۴- الگوریتم‌های تلفیق در سطح پیکسل

در تلفیق در سطح پیکسل، تصویر تلفیق شده در نتیجه عملیات پیکسلی بر روی تصاویر خام به دست می‌آید. تلفیق در این سطح به موجب افزایش محتوای طیفی و مکانی تصویر تلفیق شده منجر به بهبود عملکرد تصویر در روند پردازش تصویر، از جمله: بخش بندی تصویر و استخراج ویژگی می‌گردد. در همین راستا در این پژوهش بر روی تکنیک‌های تلفیق در سطح پیکسل متمرکز شده‌ایم. در ادامه توضیحاتی مختصر در ارتباط با هر یک از روش‌های تلفیق در این سطح ارائه می‌گردد.

آگاهی از نحوه عملکرد هریک از روش‌های موجود مستلزم دسته بندی تکنیک‌های توسعه یافته است. تاکنون تلاش‌های بسیاری به منظور دسته بندی روش‌های تلفیق صورت پذیرفته است. دسته بندی بهینه می‌بایست، علاوه بر اینکه تمام روش‌های موجود را در برگیرد، کمترین گروه‌ها را نیز به خود اختصاص دهد [۳۱].

این راهکارها را می‌توان در شش گروه شامل: ۱- روش‌های مبتنی بر تعویض اجزا<sup>۱</sup>، ۲- روش‌های مبتنی بر آنالیز چند مقیاسی<sup>۲</sup>، ۳- روش‌های عددی<sup>۳</sup>، ۴- روش‌های آماری، ۵- روش‌های ترکیبی<sup>۴</sup> و ۶- روش‌های مبتنی بر فضای فرکانس دسته‌بندی نمود. لازم بذکر است که روش‌های مبتنی بر فضای فرکانس را می‌توان به گروه روش‌های مبتنی بر تعویض اجزا نیز اختصاص داد، اما به سبب گستردگی الگوریتم‌های این حوزه، در یک دسته‌بندی مجزا مورد بررسی قرار گرفته است. علیرغم تنوع راهکارهای توسعه‌یافته، سازوکار اجرای تمام روش‌ها از دو مرحله‌ی زیر تشکیل شده‌اند [۱۲]:

#### ۱- استخراج جزئیات مکانی از تصویر پانکروماتیک

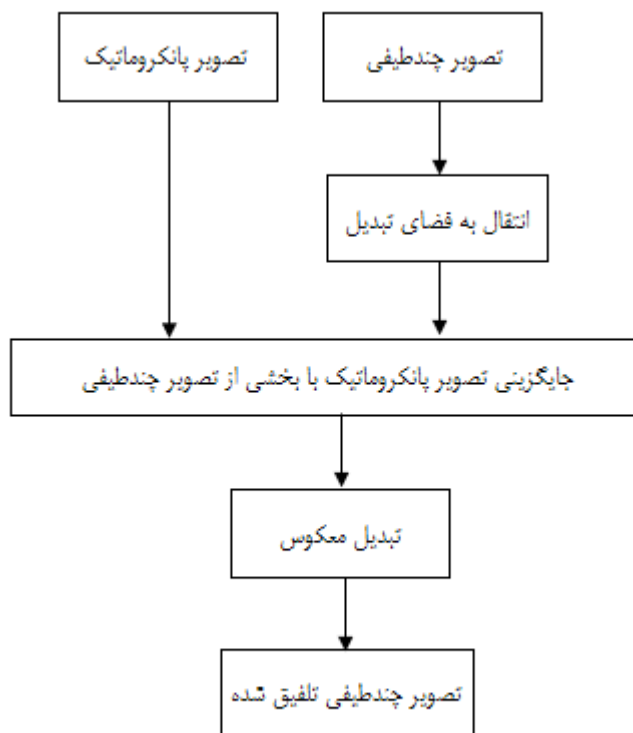
۲- تزریق آن از طریق مدل‌های مختلف به باندهای تصویر چند طیفی

#### ۲-۴-۱- تکنیک مبتنی بر تعویض اجزا

روش‌های مبتنی بر تعویض اجزا، بر پایه انتقال تصویر چند طیفی به فضای داده‌ای دیگر (به‌عنوان مثال فضاهاى رنگی)، با هدف تفکیک جزئیات طیفی و مکانی تصاویر ارائه شده است. در شکل ۲-۵ نحوه تلفیق تصاویر به روش تعویض اجزا نمایش داده شده است.

---

<sup>۱</sup> Component Substitution  
<sup>۲</sup> Multi-Resolution Approaches  
<sup>۳</sup> Numerical Methods  
<sup>۴</sup> Hybrid Methods



شکل ۲-۵- الگوریتم تلفیق تصاویر به روش تعویض اجزا

مطابق شکل ۲-۵ پس از انتقال تصویر چند طیفی به فضای تبدیل، تصویر پانکروماتیک جایگزین

جزئی از تصویر چند طیفی تبدیل یافته که حاوی ساختار مکانی است می‌گردد، در ادامه با اعمال تبدیل معکوس، تصویر تلفیق شده نهایی در فضای اولیه تولید می‌گردد.

از جمله مزایای روش‌های مبتنی بر تعویض اجزا می‌توان به الگوریتم ساده و همچنین ارائه جزئیات

مکانی با دقت بالا اشاره داشت. در مقابل ایجاد انحراف طیفی به‌عنوان نقطه‌ضعف اصلی این تکنیک به

شمار می‌رود [۳۲،۲۴].



الگوریتم‌هایی از قبیل: PCA، IHS و گرام اشمیت<sup>۱</sup> [۳۳] به‌عنوان روش‌های مرسوم این گروه شناخته شده است [۲۴]. در این پایان‌نامه از روش‌های گرام اشمیت و PCA به‌عنوان روش‌های مقایسه‌ای به‌منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در بخش (۴-۳) استفاده شده است.

#### ۲-۴-۱-۱ روش گرام اشمیت

الگوریتم گرام اشمیت با هدف بارز سازی جزئیات مکانی تصاویر چند طیفی با استفاده از تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا توسعه یافته است. در این تبدیل به‌واسطه میانگین‌گیری باندهای تصویر چند طیفی، تصویر پانکروماتیک بازسازی شده تولید می‌گردد. در ادامه الگوریتم گرام اشمیت بر باندهای تصویر چند طیفی و تصویر پانکروماتیک بازسازی شده اعمال می‌گردد. باند پانکروماتیک اصلی جایگزین اولین باند گرام اشمیت شده و از طریق اعمال تبدیل معکوس گرام اشمیت تصویر تلفیق شده در فضای اصلی تولید می‌گردد [۳۴].

#### ۲-۴-۱-۲ روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی (PCA)

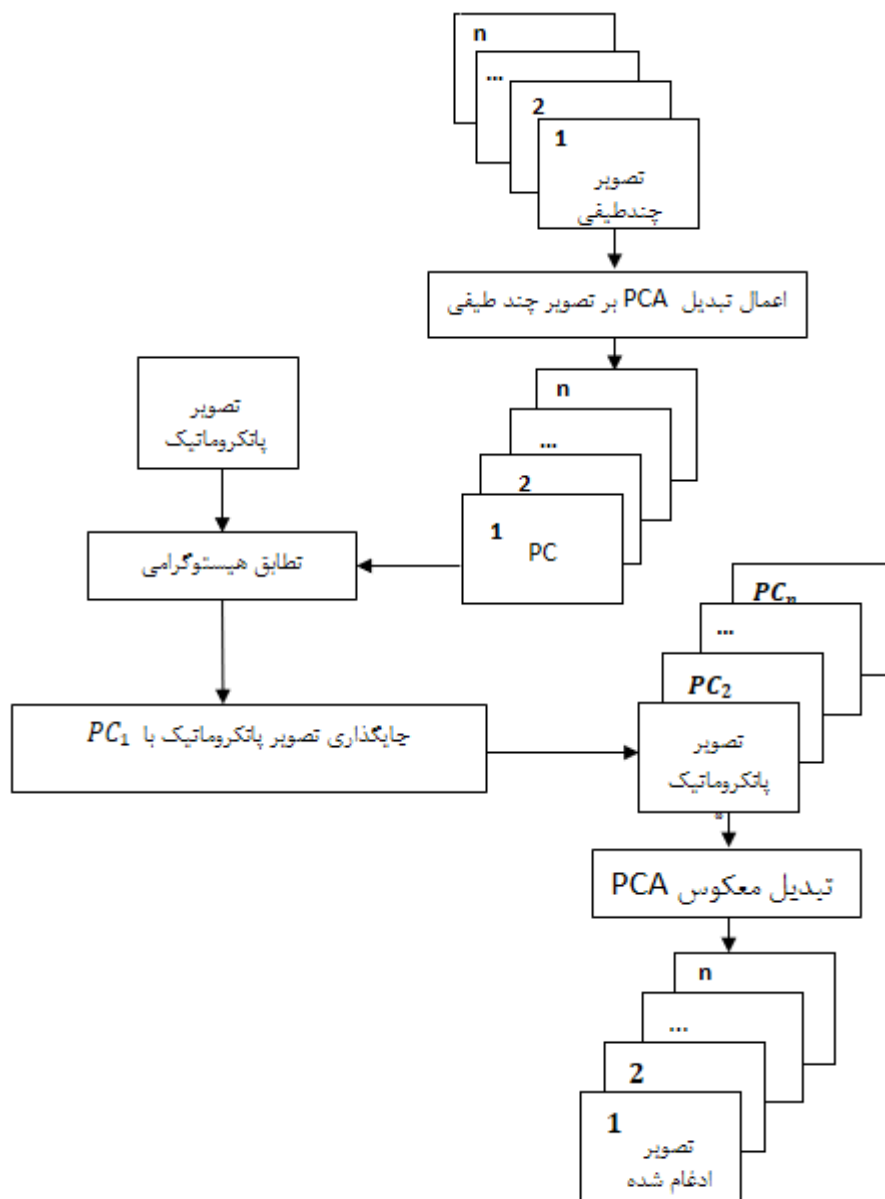
روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی، از جمله روش‌های آماری کارآمد در حوزه تلفیق تصاویر است که با عنوان تبدیل کارهونن لواو<sup>۲</sup> نیز معرفی می‌گردد [۲۴]. تبدیل PCA اصولاً با هدف کاهش ابعاد داده‌ها در کاربردهای بسیاری از قبیل: کدگذاری تصاویر، فشرده‌سازی تصاویر، بهبود تصاویر، شناسایی تغییرات در تلفیق تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۵].

سازوکار این روش بر پایه تبدیل یک مجموعه داده چند متغیره از متغیرهای به‌هم‌پیوسته به یک مجموعه داده ناپیوسته از ترکیب‌های خطی به نام مؤلفه اصلی (PCS) استوار بوده، این امر بر پایه خواص آماری و به‌کارگیری ماتریس واریانس کواریانس صورت می‌پذیرد. نحوه تلفیق تصاویر به روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی در شکل ۲-۶ نمایش داده شده است.

---

<sup>۱</sup> Gram-schmidt

<sup>۲</sup> Karhunen-Loeve



شکل ۲-۶- الگوریتم تلفیق تصاویر به روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی

مطابق با شکل ۲-۶، در گام نخست به واسطه به‌کارگیری تکنیک‌های درون‌یابی تصویر چند طیفی و پانکروماتیک هم‌بعد می‌گردند. در ادامه، با اعمال تبدیل PCA بر تصاویر ورودی، داده‌ها از فضای تصویر به فضای بردارهای ویژه انتقال می‌یابند. بدین ترتیب به ازای تعداد باندهای تصویر چند طیفی، مؤلفه اصلی ایجاد می‌شود. در این تبدیل، مؤلفه اصلی اول ( $PC_1$ ) شامل اطلاعات مشترک تمام باندهای طیفی

است که حاوی ساختار مکانی می‌باشد، همچنین اطلاعات طیفی مختص هر باند در سایر مؤلفه‌های اصلی  $(PC_S)$  ارائه می‌گردند. در مرحله بعدی تطابق هیستوگرامی تصویر پانکروماتیک و مؤلفه اصلی اول تطبیق میانگین و واریانس تصاویر صورت می‌پذیرد. آنگاه تصویر پانکروماتیک اصلاح شده جایگزین اولین مؤلفه اصلی می‌گردد و در انتها با تبدیل معکوس PCA تصویر تلفیق شده با وضوح بالا در سیستم مختصات اصلی یا فضا رنگی ارائه می‌گردد [۲۴].

#### ۲-۴-۲- روش‌های عددی

روش‌های مبتنی بر ترکیبات ریاضی از جمله نخستین و ساده‌ترین الگوریتم‌های کاربردی در حوزه سنجش‌ازدور است. در این دسته از الگوریتم‌های تلفیق تصاویر، عملگرهای ریاضی مانند: جمع، ضرب و تفریق به هریک از تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک پیکسل به پیکسل اعمال می‌گردد [۲۴]. روش Brovey از جمله روش‌های مرسوم این گروه می‌باشد که در ادامه با ارائه توضیحاتی مختصر تشریح می‌گردد.

#### ۲-۴-۲-۱ تبدیل Brovey

تبدیل Brovey از جمله روش‌های عددی موفق حوزه تلفیق تصاویر است که با هدف حفظ ویژگی‌های طیفی تصویر چند طیفی ارائه شده است. در این تبدیل، نخست مطابق با رابطه (۱-۲) هریک از باندهای تصویر چند طیفی با کمک ترکیبی از عملگرهای ریاضی نرمال می‌گردد. در ادامه، از طریق ضرب باند پانکروماتیک در باندهای طیفی نرمال شده، اطلاعات مکانی به تصویر چند طیفی تزریق می‌گردد.

$$\hat{B}_k = \frac{B_k}{\sum_i^k B_k} \times PAN \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

$$k=1,2,3$$

در رابطه فوق، PAN باند پانکروماتیک،  $B_k$  باند طیفی  $k$  ام از تصویر چند طیفی مرجع و  $\hat{B}_k$  باند طیفی متناظر از تصویر تلفیق شده می‌باشند [۳۶،۲۶].

از جمله معایب این روش می‌توان به محدودیت تعمیم‌پذیری آن برای تصاویر چند طیفی بیش از سه باند اشاره کرد.

#### ۲-۲-۴-۲- روش نرمال‌سازی رنگی

الگوریتم نرمال‌سازی رنگی توسعه‌یافته تبدیل Brovey است. در این الگوریتم برخلاف تبدیل Brovey محدودیت باندی وجود ندارد و امکان استفاده از تصویر چند طیفی با بیش از سه باند طیفی فراهم شده است. در این الگوریتم داده‌ها پس از نرمال‌سازی به دو مؤلفه پرده رنگ<sup>۱</sup> و روشنایی<sup>۲</sup> تجزیه می‌شوند. در ادامه، طبق رابطه (۲-۲) مشابه روش Brovey از طریق ضرب باند پانکروماتیک در باندهای طیفی نرمال شده، اطلاعات مکانی به تصویر چند طیفی تزریق می‌گردد.

$$\hat{B}_k = \frac{\lambda(B_k + 1)(PAN + 1)}{\sum_{k=1}^b B_k} - 1 \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

$$k=1, 2, \dots, b$$

نمادگذاری در رابطه (۲-۲) مشابه نمادگذاری رابطه (۱-۲) بوده، b تعداد باندهای تصویربرداری و ثابت‌های یک و سه با هدف جلوگیری از میل تابع به عدد صفر به معادله افزوده می‌گردند [۲۴].

در این پایان‌نامه از روش نرمال‌سازی رنگی به‌عنوان روش‌های مقایسه‌ای به‌منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در بخش (۳-۴) استفاده شده است.

#### ۲-۳-۴-۲- روش مبتنی بر آنالیز چند رزولوشنه

روش‌های مبتنی بر آنالیز چند رزولوشنه به‌موجب تنوع در نام‌گذاری با پیچیدگی‌هایی همراه است. از جمله این نام‌گذاری‌ها می‌توان به MST<sup>۳</sup> (تبدیل چند مقیاسی) [۳۷]، MSD<sup>۴</sup> (تجزیه چند مقیاسی) و

<sup>۱</sup> Hue

<sup>۲</sup> Lightness

<sup>۳</sup> Multiscale Transform

<sup>۴</sup> Multiscale Decomposition

MWD<sup>۱</sup> (تجزیه موجک چند رزولوشنه) [۳۸] اشاره داشت. در اکثر پژوهش‌ها، روش مذکور تحت عنوان آنالیز چند رزولوشنه شناخته شده است. از جمله الگوریتم‌های این روش می‌توان به تبدیل موجک گسسته، تبدیل کانتورلت، تبدیل کرولت و ... اشاره کرد. سازوکار الگوریتم‌های این دسته از تکنیک‌های تلفیق تصاویر بر مبنای انتقال جزئیات مکانی تصویر پانکروماتیک به تصویر چند طیفی می‌باشد. برای این منظور نخست با اعمال تبدیلاتی تصاویر ورودی به سطوحی از پیش تعریف شده تجزیه و فرآیند تلفیق در سطوح مذکور صورت می‌پذیرد. در نهایت با اعمال تبدیل معکوس تصویر تلفیق شده در فضای داده‌های اولیه تولید می‌گردد. از جمله محدودیت‌های این روش می‌توان به ایجاد پدیده حلقوی<sup>۲</sup> در تصاویر تلفیق شده اشاره داشت [۲۴].

#### ۲-۴-۳-۱ تبدیل موجک

تبدیل موجک در بسیاری از کاربردهای پردازش تصویر از جمله تلفیق تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. تبدیل موجک به سبب قابلیت آنالیز چند مقیاسی از محبوبیت بالایی برخوردار است. در این روش، تصویر ورودی در سطوح مختلفی تجزیه می‌شود که هر یک از این سطوح متناسب با باند فرکانسی آن شامل اطلاعات کلی تا جزئی از داده‌های اولیه می‌باشند. مطابق با شکل ۲-۷ در تبدیل موجک تصاویر ورودی به چهار زیر باند HL، LH، HH و LL تجزیه شده که به LL زیر تصویر تقریب<sup>۳</sup> و HL، LH و HH به ترتیب ضرایب مربوط به جزئیات<sup>۴</sup> در راستای عمودی، افقی و قطری گفته می‌شود [۳۹].

---

<sup>۱</sup> Multiresolution Wavelet Decomposition

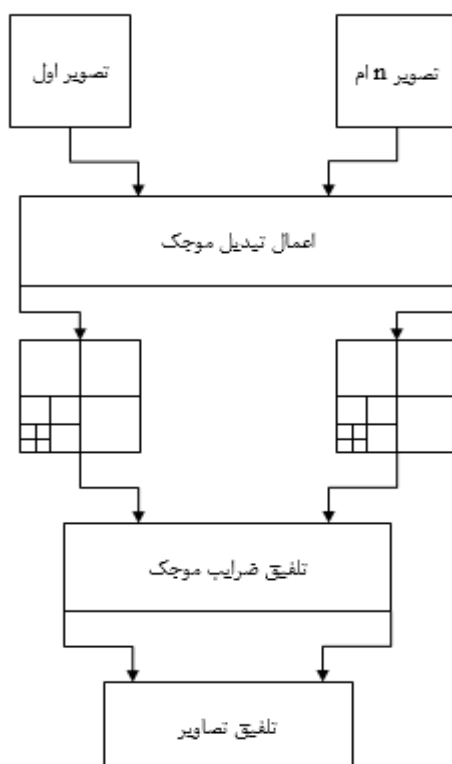
<sup>۲</sup> Ringing artifacts

<sup>۳</sup> Approximation

<sup>۴</sup> Details

LL	LH
HL	HH

شکل ۲-۷- تجزیه تصویر به وسیله تبدیل موجک



شکل ۲-۸- الگوریتم تلفیق تصاویر به روش موجک

فرآیند تلفیق تصاویر در این روش مطابق شکل ۲-۸ می‌باشد. نخست تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی ورودی به فضای تبدیل موجک انتقال یافته، در مرحله بعد مؤلفه‌ها از طریق جانشینی و افزودن با یکدیگر ترکیب می‌شوند و در نهایت با اعمال تبدیل معکوس تصویر تلفیق شده نهایی در فضای مکان تولید می‌گردد. میزان موفقیت‌آمیز بودن فرآیند تلفیق به نسبت وضوح مکانی تصاویر ورودی وابسته است

[۲۶ و ۴۰]. موجک هار<sup>۱</sup>، مورلت<sup>۲</sup>، دابچیز<sup>۳</sup> و ... از جمله توابع موجکی پر کاربرد در حوزه آنالیز سیگنال به شمار می‌روند [۴۱].

#### ۲-۴-۱-۳-۱ تبدیل موجک هار

موجک هار به‌عنوان ساده‌ترین سری از مجموعه توابع موجکی شناخته می‌شود که نخستین بار در سال ۱۹۰۹ توسط آلفرد هار، ریاضیدان هلندی ارائه شده است [۴۲]. در تجزیه سطح اول تبدیل موجک، به‌صورت هم‌زمان فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر بر روی تصویر اعمال می‌شوند. خروجی فیلتر پایین‌گذر، مؤلفه جزئیات و خروجی فیلتر بالاگذر مؤلفه تقریب خوانده می‌شوند. وابسته به میزان دقت فرکانسی مورد نیاز، زوج فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر به دو زیر باند جزئیات و تقریب جدید تجزیه می‌شوند. برای اعمال تبدیل موجک گسسته بر سیگنال‌های تصویری، بایستی از یک تبدیل موجک دوبعدی استفاده نمود. بدین ترتیب تبدیل موجک یک‌بعدی به ترتیب بر سطرها و ستون‌های ماتریس تصویر اعمال می‌گردد تا از ترکیب مؤلفه‌های حاصل، تبدیل دوبعدی به دست می‌آید [۴۳].

در این پایان‌نامه از سری هار تبدیل موجک، به‌عنوان روش مقایسه‌ای مبتنی بر فضای فرکانس به‌منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در بخش (۳-۴) استفاده شده است.

#### ۲-۴-۴ روش‌های آماری

این دسته از تکنیک‌های تلفیق تصاویر بر پایه‌ی روابط آماری کلی یا محلی پیکسل‌های تصاویر از قبیل همبستگی و واریانس استوار است. رگرسیون از جمله روش‌های مرسوم این گروه به شمار می‌رود [۴۴].

---

<sup>۱</sup> Haar  
<sup>۲</sup> Morlet  
<sup>۳</sup> Daubechies

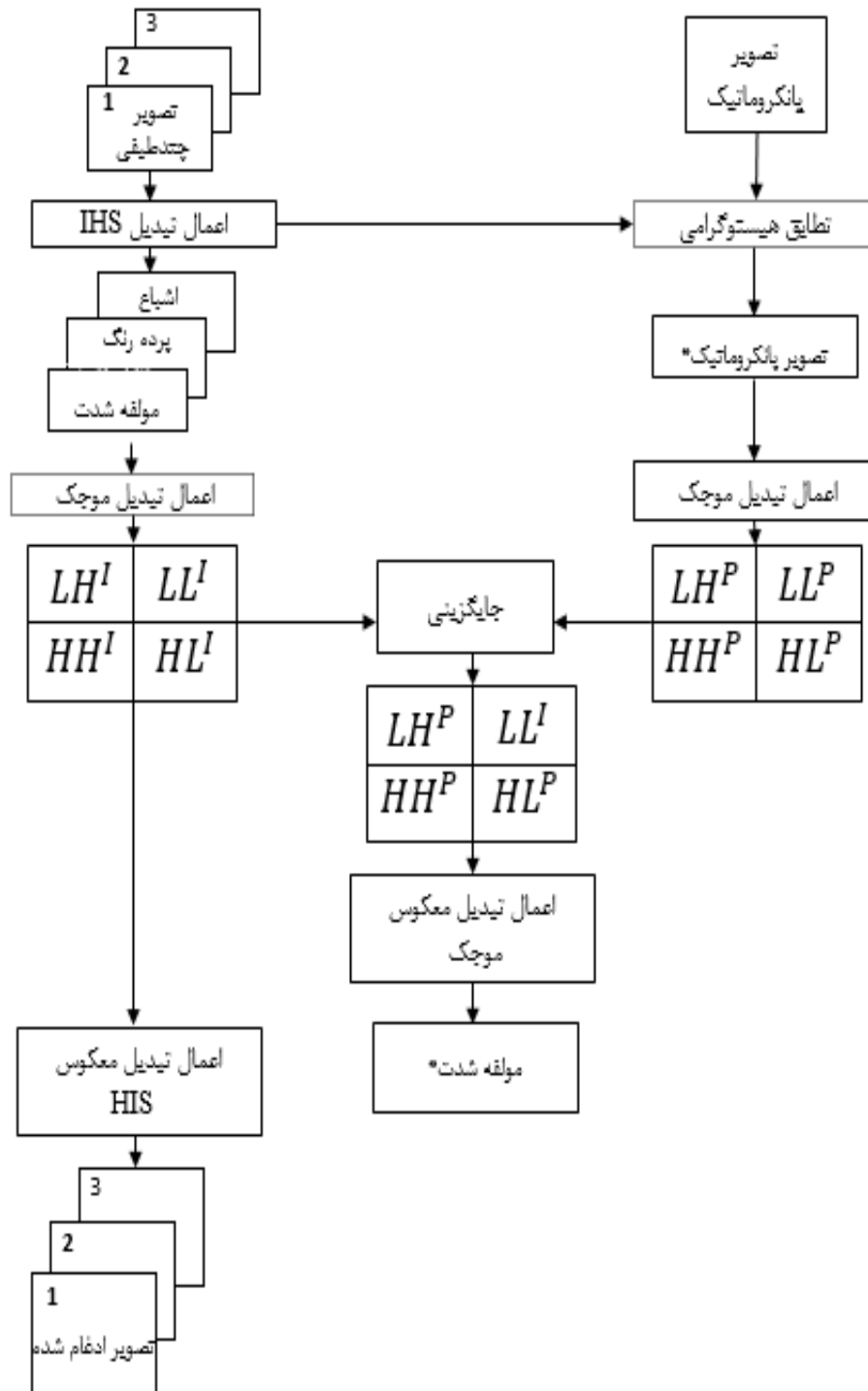
## ۲-۴-۵ روش‌های ترکیبی

تاکنون تکنیک‌های تلفیق تصاویر بسیاری با هدف بهره‌مندی هم‌زمان از ویژگی‌های طیفی و مکانی تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک ارائه شده است. علیرغم موفقیت‌آمیز بودن هر یک از روش‌های موجود در حفظ محتوای تصاویر ورودی، همچنان با محدودیت‌هایی نیز همراه بوده‌اند. از این‌رو، الگوریتم‌های ترکیبی با رویکرد تلفیق مزایای روش‌های موجود و غلبه بر محدودیت‌های آن‌ها توسعه یافته است [۲۴].

## ۲-۴-۵-۱ تبدیل Wavelet\_IHS

تاکنون تحقیقات بسیاری با هدف غلبه بر محدودیت‌های طیفی و مکانی تصاویر تلفیق صورت گرفته است که در این میان می‌توان به توسعه روش‌های ترکیبی اشاره کرد. محققان بسیاری سعی کرده‌اند که با ترکیب الگوریتم IHS با تکنیک‌های آنالیز چند مقیاسی از قبیل تبدیل موجک کیفیت تصویر تلفیق شده را بهبود دهند. فرآیند تلفیق تصاویر در این روش مطابق شکل ۲-۹ می‌باشد.





شکل ۲-۹- الگوریتم تلفیق تصاویر به روش Wavelet\_IHS

در این روش پس از انتقال تصویر چند طیفی به فضای رنگی IHS، تطابق هیستوگرامی تصویر پانکروماتیک و مؤلفه شدت صورت می‌گیرد. تبدیل موجک بر روی مؤلفه شدت و تصویر پانکروماتیک بهبود یافته با هدف تفکیک زیر باندهای فرکانس بالا و پایین اعمال می‌گردد. در انتها فرآیند تلفیق

تصاویر از طریق جایگزینی مؤلفه تقریب تصویر شدت<sup>۱</sup> و مؤلفه تقریب تصویر پانکروماتیک بهبودیافته صورت می‌گیرد [۴۵].

#### ۲-۴-۵-۲ تبدیل Wavelet\_PCA

در تکنیک‌های آنالیز چند مقیاسی با استفاده از ضرایب فرکانس بالا اطلاعات مکانی به تصویر چند طیفی تزریق می‌گردد. تبدیل موجک از جمله تکنیک‌های آنالیز چند مقیاسی است که از طریق ترکیب با روش PCA علاوه بر قدرت تفکیک طیفی سبب افزایش قدرت تفکیک مکانی تصویر تلفیق شده می‌گردد. در این الگوریتم تصویر چند طیفی به فضای PCA منتقل می‌گردد و مؤلفه‌های تصویر چند طیفی محاسبه می‌شود. سپس انطباق هیستوگرامی تصویر پانکروماتیک و مؤلفه اصلی اول تصویر چند طیفی صورت می‌گیرد. تبدیل موجک بر تصویر پانکروماتیک جدید و مؤلفه اصلی اول تصویر چند طیفی اعمال می‌گردد و ضرایب موجک برای هر دو تصویر به دست می‌آید. هر تصویر به چهار زیر مؤلفه (HL, LH, HL, HL) و (LL) به نام ضرایب موجک تبدیل می‌شوند. مؤلفه LL شامل اطلاعات مکانی است که به مؤلفه اصلی اول افزوده می‌شود. با اعمال تبدیل معکوس PCA تصویر تلفیق شده نهایی با قدرت تفکیک طیفی بالا در فضای رنگی تولید می‌گردد [۲۴].

#### ۲-۴-۶ روش‌های تلفیق مبتنی بر فضای فرکانس

تکنیک‌های متعددی در فضاهای تبدیل یافته‌ای از قبیل حوزه فرکانس گسترش یافته‌اند که هر یک از تکنیک‌های موجود، محتوای اطلاعاتی متفاوتی از تصویر ورودی دریافت می‌کنند. از جمله روش‌های مبتنی بر فضای فرکانس می‌توان به تکنیک‌هایی از قبیل: فیلتر بالاگذر [۴۶] و تبدیل فوریه [۱۷] اشاره داشت.

---

<sup>۱</sup> Intensity

## ۲-۴-۶-۱ روش فیلتر بالاگذر

روش فیلتر بالاگذر از جمله اولین روش‌های تلفیق تصویر است که همواره مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس روش فیلتر بالاگذر این است که محتوای مکانی تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا را با استفاده از یک فیلتر بالاگذر افزایش دهد. بدین ترتیب در این الگوریتم از طریق اعمال فیلتر بالاگذر بر تصویر پانکروماتیک محتوای فرکانس بالا تصویر پانکروماتیک که شامل جزئیات مکانی تصویر است استخراج شده و به واسطه تزریق اطلاعات مکانی به باندهای تصویر چند طیفی ضمن حفظ محتوای طیفی، تصویر تلفیق شده با قدرت تفکیک مکانی بالا حاصل می‌گردد [۲۴].

## ۲-۴-۶-۲ تبدیل فوریه

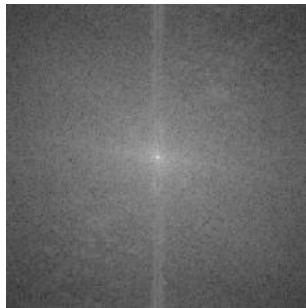
تجزیه یک تابع پیوسته یا گسسته به یک سری از توابع سینوسی و کسینوسی با فرکانس‌های مشخص و جهت‌دار، محور اصلی تبدیل فوریه را به خود اختصاص می‌دهد. به عبارت بهتر، در این تبدیل دامنه‌ی متناظر با جملات یک سری از توابع سینوسی و کسینوسی دوبعدی با فرکانس‌های متمایز برآورد شده که نظم مشخصی در گام‌های فرکانسی آن‌ها وجود دارد [۴۷]. بدین ترتیب با اعمال این تبدیل می‌توان سهم مشارکت هر فرکانس در بازسازی تصویر را محاسبه نمود. رابطه‌ی (۳-۲) فرم کلی تبدیل مستقیم و رابطه‌ی (۴-۲) معکوس فوریه را برای فضای گسسته نشان می‌دهد.

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-2\pi j \left( u \frac{x}{M} + v \frac{y}{N} \right)} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{2\pi j \left( u \frac{x}{M} + v \frac{y}{N} \right)} \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

در روابط فوق،  $F$  تابع تبدیل فوریه،  $f$  تابع تصویر در فضای مکان،  $u$  و  $v$  بیانگر فرکانس‌ها در دو راستای مختلف،  $x$  و  $y$  معرف موقعیت پیکسل‌های تصویر در فضای مکان و همچنین  $M$  و  $N$  ابعاد ماتریس تصویر می‌باشند [۴۸].

انتقال به فضای فرکانس با هدف کاربردهایی همچون: ۱- فیلترگذاری بالاگذر و پایین‌گذر [۴۹]،  
 ۲- حذف نویزهای سیستماتیک [۱۱ و ۵۰] و ۳- تلفیق تصاویر صورت می‌پذیرد [۵۱]. بعد از انتقال یک  
 تصویر به فضای فرکانس، به‌طور معمول ماتریسی هم بعد با ابعاد تصویر ورودی تولید شده که در هر درایه  
 از آن دامنه و فاز ترم‌های سینوسی و کسینوسی یک فرکانس جهت‌دار از تصویر ثبت شده است [۵۲].  
 ساختار این ماتریس متقارن بوده و ماتریس دامنه‌ی این اعداد به‌عنوان تصویر طیف فوریه شناخته  
 می‌شود. شکل ۲-۱۰ تصویر در فضای مکان و طیف متناظر در فضای فرکانس را به نمایش می‌گذارد.



ب- طیف تصویر در فضای فرکانس



الف- تصویر در فضای مکان

شکل ۲-۱۰- تصویر در فضای مکان و طیف متناظر در فضای فرکانس

مناطق روشن در تصویر طیف مبین دامنه‌های بزرگ و مناطق تاریک دامنه‌های کوچک را نشان  
 می‌دهند. مرکز این تصویر محل ثبت دامنه‌های مرتبط با فرکانس‌های پایین تصویر بوده و با فاصله گرفتن  
 از مرکز تصویر طیف به تدریج و به‌طور متقارن مقادیر فرکانس افزایش می‌یابد [۵۳].

همان‌طور که پیش‌ازاین نیز مطرح شد، تمام روش‌های تلفیق تصاویر از دو مرحله‌ی: ۱- استخراج  
 جزئیات مکانی از تصویر پانکروماتیک و ۲- تزریق آن از طریق مدل‌های مختلف به باندهای تصویر چند  
 طیفی تشکیل شده‌اند، تکنیک تلفیق مبتنی بر فضای فرکانس نیز بر همین اصل استوار است. در این  
 روش ضمن انتقال تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی به فضای فوریه، محتوای فرکانسی بالا تصویر  
 پانکروماتیک از طریق فیلتر بالاگذر استخراج و تلفیق بر پایه جایگذاری جزئی اطلاعات فرکانس بالا از

تصویر پانکروماتیک در قسمت متناظر از تصویر چند طیفی صورت می‌پذیرد. جداسازی فرکانس‌های بالا و پایین به ترتیب به کمک فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر در فضای فرکانس صورت می‌پذیرند. در ادامه، انتقال محصول تلفیقی به فضای مکان منجر به تولید تصاویر تلفیق شده خواهد شد.

فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر متنوعی به منظور به‌کارگیری در فضای فرکانس توسعه یافته‌اند که از جمله این فیلترها می‌توان به ایده‌آل، هنینگ، بارلت و گوسین اشاره داشت؛ که در ادامه توضیح مختصری در ارتباط با هریک از فیلترهای نامبرده ارائه می‌گردد.

#### ۲-۴-۶-۳ فیلترگذاری بالاگذر و پایین‌گذر فضای فرکانس

فیلترگذاری در فضای فرکانس با ضرب فیلتر و درایه‌های ماتریس تبدیل فوریه انجام شده، این فیلترها یا به صورت قطعی و یا به صورت نرم شده اثرات بخشی از فرکانس‌های تصویر را حذف و یا تضعیف می‌سازند.

#### ۲-۴-۶-۱-۳ فیلتر ایده‌آل

روابط (۲-۵)، (۲-۷) به ترتیب روابط تولید فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر ایده‌آل [۵۴، ۵۵] می‌باشند.

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D. \\ 0 & \text{if } D(u, v) > D. \end{cases} \quad \text{رابطه (۲-۵)}$$

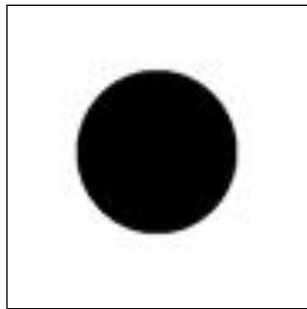
در رابطه‌ی (۲-۵)،  $D$  معرف شعاع برش فرکانس و  $D$  فاصله‌ی شعاعی تصویر نسبت به درایه‌ی مرکزی از ماتریس تبدیل در فضای فرکانس بوده که به صورت رابطه (۲-۶) محاسبه خواهد شد.

$$D(u, v) = \sqrt{(u-p)^2 + (v-q)^2} \quad \text{رابطه (۲-۶)}$$

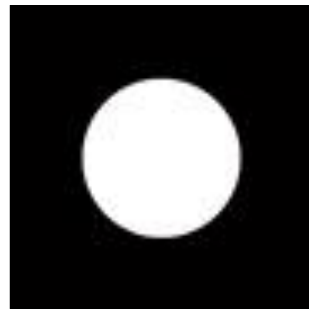
در رابطه (۲-۶)  $p$  و  $q$  مختصات پیکسل مرکزی تصویر طیف در فضای فرکانس است.

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u, v) \leq D. \\ 1 & \text{if } D(u, v) > D. \end{cases} \quad \text{رابطه (۲-۷)}$$

مطابق رابطه (۵-۲) فرکانس پایین‌تر از فرکانس قطع حفظ می‌گردد و فرکانس بالاتر از فرکانس قطع برابر صفر می‌گردد. در فیلتر بالا گذر ایده آل فرکانس بالاتر از فرکانس قطع حفظ می‌گردد و فرکانس پایین‌تر از فرکانس قطع برابر صفر می‌گردد. شکل ۱۱-۲-۱۱ نمایی از فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر فیلتر ایده‌آل در فضای فرکانس را نشان می‌دهد.



ب- فیلتر بالاگذر ایده‌آل



الف- فیلتر پایین‌گذر ایده‌آل

شکل ۱۱-۲-۱۱-۲-۱۱ نمایی از فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر ایده‌آل در فضای فرکانس

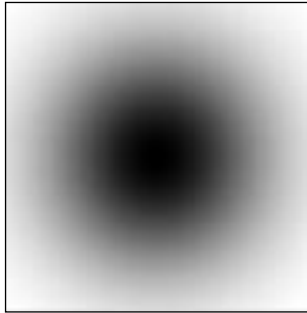
#### ۲-۳-۶-۴-۲ فیلتر گوسین

نحوه فیلتر تصاویر بر مبنای فیلترهای نرم پایین‌گذر و بالاگذر گوسین مطابق روابط (۸-۲) و (۹-۲) صورت می‌پذیرد [۵۰، ۵۶].

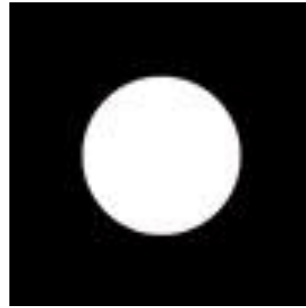
$$H(u, v) = e^{\frac{D^2(u, v)}{2D^2}} \quad \text{رابطه (۸-۲)}$$

$$H(u, v) = 1 - e^{\frac{-D^2(u, v)}{2D^2}} \quad \text{رابطه (۹-۲)}$$

در این روش، از توابع نمایی برای وزن‌دهی فرکانس‌ها در موقعیت‌های مختلف فیلتر استفاده می‌شود. مؤلفه  $D$  معرف انحراف استاندارد بوده است. در شکل ۱۲-۲-۱۲ نمایی از فیلترگذاری به کمک فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر گوسین در فضای فرکانس نمایش یافته است.



ب- فیلتر بالاگذر گوسین



الف-فیلتر پایین گذر گوسین

شکل ۲-۱۲- نمایشی از فیلتر پایین گذر و بالاگذر گوسین در فضای فرکانس

### ۲-۴-۶-۳-۳-۳ فیلتر هنینگ

روابط (۲-۱۰) و (۲-۱۱) به ترتیب نحوه‌ی تولید فیلترهای نرم پایین گذر به روش هنینگ را نشان

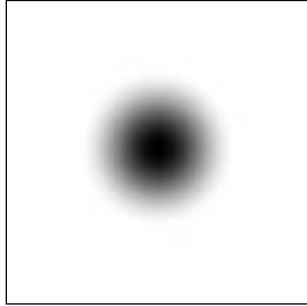
می‌دهد [۵۷].

$$H(u, v) = \begin{cases} 0.5 + \left(0.5 \cos\left(\frac{D\pi}{D_0}\right)\right) & \text{if } D \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D > D_0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲-۱۰)}$$

$$H(u, v) = \begin{cases} 0.5 - \left(0.5 \cos\left(\frac{D\pi}{D_0}\right)\right) & \text{if } D \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D > D_0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲-۱۱)}$$

شکل ۲-۱۳- نمایشی از فیلترهای پایین گذر و بالاگذر فیلتر هنینگ در فضای فرکانس را نشان

می‌دهد.



ب- فیلتر بالاگذر هنینگ



الف-فیلتر پایین گذر هنینگ

شکل ۲-۱۳- نمایی از فیلتر پایین گذر و بالاگذر هنینگ در فضای فرکانس

#### ۲-۴-۶-۴-۲ فیلتر بارلت

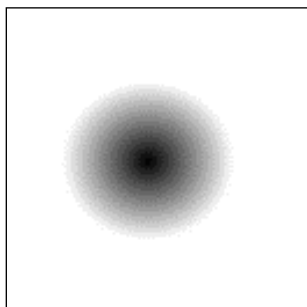
روابط (۲-۱۲) و (۲-۱۳) نیز به ترتیب نحوه‌ی تولید فیلترهای نرم پایین گذر و بالاگذر به روش

بارلت را نشان می‌دهد [۵۷].

$$H(u, v) = \frac{1}{D} D(u, v) + 1 \quad \text{رابطه (۲-۱۲)}$$

$$H(u, v) = \frac{1}{D} D(u, v) \quad \text{رابطه (۲-۱۳)}$$

شکل ۲-۱۴- نمایی از فیلترهای پایین گذر و بالاگذر بارلت در فضای فرکانس را نشان می‌دهد.



ب- فیلتر پایین گذر بارلت



الف-فیلتر بالاگذر بارلت

شکل ۲-۱۴- نمایی از فیلتر پایین گذر و بالاگذر بارلت در فضای فرکانس



نمادگذاری در روابط (۲-۷) تا (۲-۱۳) مشابه با نمادگذاری در رابطه‌ی (۲-۵) می‌باشند. در تمامی روابط فوق پارامتر D به‌عنوان پارامتر تنظیم شونده به‌منظور یافتن فیلترگذاری بهینه شناخته می‌شود.

## ۲-۵ مسأله تصویر مرجع در ارزیابی کیفیت تصویر تلفیق شده

محققان با هدف ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصویر تلفیق شده ایده پروتکل‌های ارزیابی کیفیت تصویر تلفیق شده را ارائه کرده‌اند [۲۴]. هر یک از پروتکل‌های موجود، در فقدان تصویر مرجع با وضوح بالا دارای عملکرد متفاوتی بوده که در ادامه جزئیات عملکرد هر یک تشریح می‌گردد.

### ۲-۵-۱ پروتکل ارزیابی ژو<sup>۱</sup>

در پروتکل ژو مربوط به دهه ۹۰ میلادی کیفیت طیفی و مکانی تصویر تلفیق شده به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. کیفیت طیفی تصویر تلفیق شده مطابق با رابطه (۲-۱۴) به‌صورت قدر مطلق میانگین اختلاف ارزش پیکسل‌های هر باند از تصویر تلفیق شده و تصویر چند طیفی باز نمونه‌برداری شده ارزیابی می‌گردد.

$$D_k = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |\hat{x}_{i,j,k} - x_{i,j,k}| \quad \text{رابطه (۲-۱۴)}$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

از سویی دیگر، با توجه به اینکه مؤلفه فرکانس بالا تصاویر شامل جزئیات مکانی می‌باشد، لذا ضمن اعمال فیلتر بالا گذر لاپلاسین بر تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی تلفیق شده جزئیات مکانی تصاویر استخراج می‌گردد و بدین ترتیب، کیفیت مکانی مطابق با رابطه (۲-۱۵) با کمک ضریب همبستگی بین تصویر تلفیق شده و پانکروماتیک محاسبه می‌گردد [۵۸].

<sup>۱</sup> Zhoe

$$CC_k = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\hat{x}_{i,j,k} - \hat{\mu}_k) (x_{i,j,k} - \mu_k)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\hat{x}_{i,j,k} - \hat{\mu}_k)^2 (x_{i,j,k} - \mu_k)^2}} \quad \text{رابطه (۲-۱۵)}$$

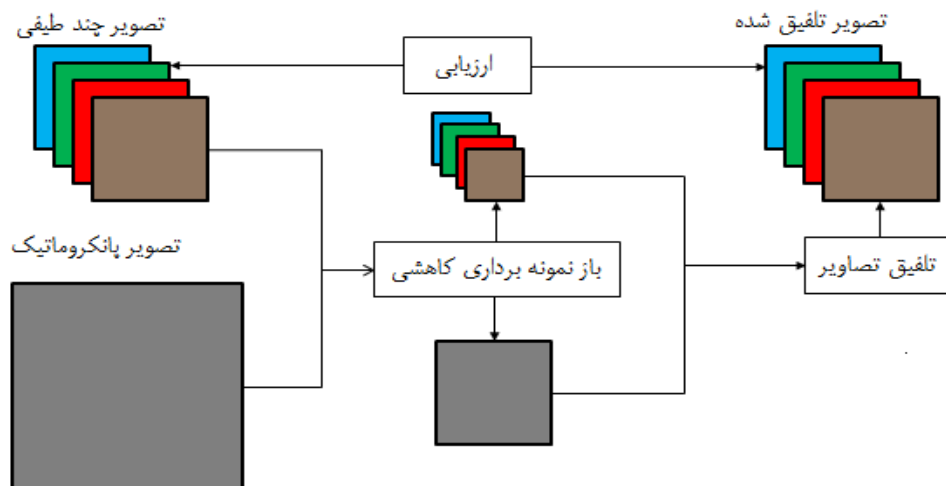
$$k=1, 2, \dots, b$$

در روابط فوق، M و N ابعاد تصویر، b تعداد باندهای تصویربرداری،  $\hat{x}_{i,j,k}$  درجه خاکستری تصویر تلفیق شده مربوط به مختصات i,j در باند طیفی k ام و  $x_{i,j,k}$  پیکسل متناظر در تصویر مرجع و  $\mu_k$  به ترتیب میانگین باند k ام از تصویر مرجع و  $\hat{\mu}_k$  نیز میانگین باند طیفی متناظر از تصویر تلفیق شده می‌باشند [۵۹].

## ۲-۵-۲ پروتکل ارزیابی والد<sup>۱</sup>

پروتکل ارزیابی والد با هدف ارزیابی فرآیند تلفیق تصاویر در سال ۱۹۹۷ ارائه شده است. در این پروتکل، به منظور ارزیابی فرآیند تلفیق تصاویر می‌بایست تصویر چند طیفی مرجع با رزولوشن مکانی برابر با تصویر پانکروماتیک موجود باشد. چنانچه چنین تصویر مرجعی در دسترس نباشد، رزولوشن مکانی تصویر پانکروماتیک و تصویر چند طیفی مطابق با نسبت قدرت تفکیک مکانی تصاویر ورودی، تقلیل می‌یابد. به نحوی که تصویر تلفیق شده با رزولوشن برابر با تصویر چند طیفی اصلی تولید می‌گردد، بدین ترتیب تصویر چند طیفی اصلی، به عنوان تصویر مرجع ارزیابی در نظر گرفته می‌شود [۵۹]. در شکل ۲-۱۵ روند باز نمونه برداری کاهشی تصاویر بر پایه پروتکل والد، به منظور امکان انجام ارزیابی به کمک تصاویر مرجع نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> Wald



شکل ۲-۱۵- روند باز نمونه برداری کاهش‌ی تصاویر به منظور امکان انجام ارزیابی به کمک تصاویر مرجع

### ۳-۵-۲ پروتکل ارزیابی QNR<sup>۱</sup>

فقدان تصویر چند طیفی مرجع در ارزیابی کمی تصویر تلفیق شده منجر به توسعه پروتکل QNR شده است. در این پروتکل کیفیت طیفی و مکانی تصویر تلفیق شده به صورت مجزا در مقیاس اصلی و بدون نیاز به تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا مورد ارزیابی قرار می گیرند. اساس این طرح بر مبنای محاسبه شاخص کیفیت UIQI است.

$$D_{spectral} = \sqrt{\frac{1}{b(b-1)} \sum_{i=1}^b \sum_{k=1, k \neq i}^b UIQI(B_i, B_k) - UIQI(\hat{B}_i, \hat{B}_k)} \quad \text{رابطه (۱۶-۲)}$$

$$D_{spatial} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b |UIQI(B_i, PAN_{low}) - UIQI(\hat{B}_i, PAN)| \quad \text{رابطه (۱۷-۲)}$$

در روابط (۱۶-۲) و (۱۷-۲) تعداد باندهای تصویر برداری،  $B_i$  و  $B_k$  به ترتیب باند طیفی  $i$  ام و  $k$

ام از تصویر مرجع بوده و به همین ترتیب  $\hat{B}_i$  و  $\hat{B}_k$  باند طیفی متناظر از تصویر تلفیق شده می-

<sup>۱</sup> Quality No Reference

باشند.  $PAN$  باند پانکروماتیک ورودی و  $PAN_{low}$  نسخه وضوح پایین تصویر پانکروماتیک با مقیاس برابر تصویر چند طیفی ورودی است. پارامتر  $P$  تنظیم کننده وزن اعوجاج طیفی است چنانچه  $P > 1$  باشد انحراف طیفی بیشتر، وزن بیشتری به خود اختصاص می دهد.

در روابط فوق شاخص UIQI، با استفاده از سه پارامتر کواریانس، انحراف معیار و میانگین میزان انحرافات طیفی و مکانی تصویر تلفیق یافته و تصاویر ورودی فرآیند تلفیق را محاسبه می کند.

$$UIQI_k = \frac{\sigma_{\hat{B}_k B_k}}{\sigma_{\hat{B}_k} \sigma_{B_k}} \times \frac{\sqrt{\mu_{\hat{B}_k} \mu_{B_k}}}{\mu_{\hat{B}_k} + \mu_{B_k}} \times \frac{\sqrt{\sigma_{\hat{B}_k B_k}}}{\sigma_{\hat{B}_k} + \sigma_{B_k}} \quad \text{رابطه (۱۸-۲)}$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

در رابطه‌ی (۱۸-۲)، مؤلفه‌های  $\sigma$  و  $\mu$  به ترتیب بیانگر انحراف معیار و میانگین باندهای طیفی بوده، مؤلفه  $\sigma_{\hat{B}_k B_k}$  معرف کواریانس باند طیفی تصویر مرجع و تلفیق شده و  $B_k$  باند طیفی  $k$  ام از تصویر مرجع و  $\hat{B}_k$  باند طیفی متناظر از تصویر تلفیق شده است.

مقدار ایده آل دو شاخص کیفیت طیفی و مکانی تصویر تلفیق شده برابر صفر می باشد و ترکیب کیفیت طیفی و مکانی در قالب معیار QNR مطابق رابطه (۱۹-۲) ارائه می گردد.

$$QNR = (1 - D_{spectral})^\alpha - (1 - D_{spectral})^\beta \quad \text{رابطه (۱۹-۲)}$$

در رابطه (۱۹-۲) پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  با هدف تأکید بر اهمیت هر یک از شاخص‌های اعوجاج طیفی و مکانی در نظر گرفته شده است [۶۰].

## ۶-۲ معیارهای ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیق شده

تصاویر ماهواره‌ای در کاربردهای بسیاری از قبیل طبقه‌بندی، تشخیص عوارض و تشخیص تغییرات عوارض مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به اینکه دقت، صحت و اعتمادپذیری تصاویر تلفیق شده علاوه بر خصوصیات طیفی و مکانی تصاویر تا حد زیادی متأثر از الگوریتم‌های تلفیق بوده، لذا می بایست

کیفیت این تصاویر پیش از استفاده مورد ارزیابی قرار گیرد. اهمیت این موضوع منجر به توسعه روش‌های ارزیابی کیفیت تصاویر شده که هر یک از روش‌ها به نحوی سعی بر تعیین میزان توانایی روش‌های تلفیق در حفظ و انتقال اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر مرجع به تصاویر تلفیق یافته دارند. به‌طور کلی دو روش ارزیابی کیفی (بصری) و همچنین راهکار استفاده از شاخص‌های کمی برای ارزیابی نتایج تلفیق استفاده می‌شود.

## ۲-۶-۱ ارزیابی بصری

در این حوزه از تحلیل، میزان مشابهت عوارض تصویر تلفیق یافته با کمک پارامترهای کیفی بصری، نظیر: جزئیات مکانی، خصوصیات رنگ و اندازه عوارض با ویژگی متناظر از تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرد [۶۱]. ارزیابی بصری وابسته به تخصص و تجربه‌ی عامل انسانی بوده لذا استفاده از روش‌های کمی امکان قضاوت عادلانه‌تری را فراهم می‌آورند.

## ۲-۶-۲ ارزیابی کمی

شاخص‌های کمی متعددی به‌منظور ارزیابی کیفیت و دقت فرایند تلفیق توسعه یافته که هر یک به نحوی میزان مشابهت طیفی و مکانی تصویر تلفیق شده و تصاویر ورودی فرآیند تلفیق را می‌سنجند.

در این پژوهش ۴ شاخص: ۱- ریشه خطای مربعی متوسط (RMSE)<sup>۱</sup>، ۲- نسبت سیگنال به نویز (SNR)<sup>۲</sup>، ۳- شاخص شباهت ساختاری (SSIM)<sup>۳</sup> و ۴- نگاشت کننده زاویه طیفی (SAM)<sup>۴</sup> برای ارزیابی کیفیت و دقت فرایند تلفیق استفاده شده است. در تمامی این شاخص‌ها، تصویر تلفیق شده با یک تصویر مرجع پیکسل به پیکسل مقایسه می‌شوند. این شاخص‌ها به ترتیب در ادامه معرفی شده‌اند.

---

<sup>۱</sup> Root Mean Square Error

<sup>۲</sup> Signal to Noise Ratio

<sup>۳</sup> Structure Similarity Index Metric

<sup>۴</sup> Spectral Angle Mapper

## ۲-۶-۲-۱ ریشه خطای مربعی متوسط (RMSE)

این شاخص به عنوان یک شاخص سنتی در اندازه گیری اختلاف میان کمیت های محاسباتی و مشاهداتی شناخته می شود. در صورت به کارگیری این شاخص برای تصاویر تلفیق شده، میزان اختلافات در برآورد مقادیر واقعی درجات خاکستری تصاویر تلفیق شده نسبت به تصاویر مرجع به ازای هر باند طیفی محاسبه می شود رابطه (۲۰-۲).

$$RMSE_k = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\hat{x}_{i,j,k} - x_{i,j,k})^2}$$

رابطه (۲۰-۲)

$k=1, 2, \dots, b$

میل خروجی این شاخص به عدد صفر، کمترین میزان انحراف در تصویر تلفیق یافته را بیان می کند. در رابطه (۲۰-۲)،  $M$  و  $N$  ابعاد تصویر،  $b$  تعداد باندهای تصویربرداری،  $\hat{x}_{i,j,k}$  درجه خاکستری تصویر تلفیق شده مربوط به مختصات  $i, j$  در باند طیفی  $k$  ام و  $x_{i,j,k}$  پیکسل متناظر در تصویر مرجع می باشند [۶۳، ۶۲ و ۶۴].

## ۲-۶-۲-۲ نسبت سیگنال به نویز (SNR)

این معیار نیز به ازای هر باند طیفی قابل محاسبه بوده و بزرگ بودن آن نشان از حفظ بیشتر محتوای اطلاعاتی در تصویر تلفیق شده خواهد بود رابطه (۲۱-۲).

$$SNR_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \hat{x}_{i,j,k}^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\hat{x}_{i,j,k} - x_{i,j,k})^2}}$$

رابطه (۲۱-۲)

$k=1, 2, \dots, b$

نمادگذاری در رابطه (۲۱-۲) مشابه با نمادگذاری در رابطه (۲۰-۲) می باشد [۶۵].

## ۲-۶-۲-۳ شباهت ساختاری (SSIM)

شاخص شباهت ساختاری یک شاخص آماری مبتنی بر روشنی و کنتراست تصویر بوده که الهام گرفته شده از توانایی‌های درک بصری انسان در مقایسه‌ی شباهت دو تصویر است. در محاسبه‌ی این شاخص از میانگین و انحراف استاندارد تصویر مرجع و تلفیق شده استفاده می‌شود. بزرگی این شاخص حاکی از شباهت ساختاری بیشتر دو تصویر می‌باشد. این شاخص در رابطه‌ی (۲-۲۲) معرفی شده است.

$$SSIM_k = \frac{(2\hat{\mu}_k\mu_k + C_1) \times (2\hat{\sigma}_k\sigma_k + C_2)}{(\hat{\mu}_k^2 + \mu_k^2 + C_1) \times (\hat{\sigma}_k^2 + \sigma_k^2 + C_2)} \quad \text{رابطه (۲-۲۲)}$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

در این رابطه،  $\mu_k$  و  $\sigma_k$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار باند  $k$  ام تصویر مرجع و  $\hat{\mu}_k$  و  $\hat{\sigma}_k$  نیز به ترتیب میانگین و انحراف معیار باند طیفی متناظر از تصویر تلفیق شده می‌باشند. در این رابطه از مقادیر  $C_1$  و  $C_2$  به صورت ثابت و برای جلوگیری از نزدیک شدن شاخص به مجانب‌های ریاضی استفاده می‌شود. این مقادیر به طور تجربی از رابطه‌ی (۲-۲۳) محاسبه می‌شوند.

$$C_1 = (K_1 L) \quad \text{رابطه (۲-۲۳)}$$

$$C_2 = (K_2 L)$$

پارامتر  $L$  معرف محدوده تغییرات ارزش‌های پیکسل تصویر بوده و مقدار آن متناسب با ماکسیمم ارزش پیکسل‌های تصویر مرجع تعیین می‌گردد. در این رابطه مقادیر  $K_1=0/01$  و  $K_2=0/03$  به صورت تجربی انتخاب می‌شوند [۲۴، ۶۶].

## ۲-۶-۲-۴ شاخص نگاشت زاویه طیفی (SAM)

این شاخص کسینوس زاویه‌ی میان دو بردار را از طریق ضرب داخلی آن‌ها برآورد می‌سازد. محدوده‌ی تغییرات این شاخص در بازه‌ی  $[0 \sim 1]$  قرار داشته و نزدیک شدن این شاخص به مقدار عددی یک نشان از شباهت بالای دو بردار خواهد بود. هنگام به‌کارگیری این رابطه در حوزه ارزیابی تصاویر

تلفیق شده، هر باند از تصویر مرجع و تصویر تلفیق شده به مثابه دو بردار در محاسبه‌ی این شاخص استفاده می‌شوند. فرم ریاضی این شاخص در رابطه (۲-۲۴) ارائه شده است.

$$SAM_k = \frac{\langle \hat{B}_k \cdot B_k \rangle}{\sqrt{\|\hat{B}_k\|_2 \times \|B_k\|_2}} \quad \text{رابطه (۲-۲۴)}$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

در رابطه‌ی (۲-۲۴)،  $B_k$  باند طیفی  $k$  ام از تصویر مرجع و  $\hat{B}_k$  باند طیفی متناظر از تصویر تلفیق شده بوده که به صورت برداری درآمده‌اند [۲۴].

در ادامه، در بخش (۴-۳) به منظور ارزیابی کمی تصاویر تلفیق شده، میانگین شاخص‌های مذکور به ازای باندهای تصاویر تلفیق شده مورد استفاده قرار گرفته است.

## ۷-۲ مروری بر پژوهش‌های پیشین

ضمن مرور روش‌های تلفیق مبتنی بر فضای مکان و فرکانس، مزایای روش‌های مبتنی بر فضای فرکانس را می‌توان در کاهش میزان اعوجاجات مکانی و طیفی در محصولات نهایی دانست که این امر در سایه‌ی تلفیق بهینه‌ی فرکانس‌ها از تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی محقق می‌گردد [۱۱]. از این رو، در این بخش به مرور تحقیقات متعددی که تاکنون در زمینه‌ی تلفیق تصاویر در حوزه فرکانس صورت پذیرفته است، پرداخته می‌شود.

در پژوهشی در سال ۲۰۰۷ روشی مبتنی بر تبدیل IHS به همراه فیلترگذاری در فضای فرکانس به منظور تولید تصاویر پن‌شارپن شده پیشنهاد شد. در این پژوهش مؤلفه‌ی شدت به دست آمده از تبدیل IHS با باند پانکروماتیک در فضای فرکانس تلفیق شده و نتیجه‌ی آن به عنوان مؤلفه‌ی شدت جدید، جایگزین شده است. در نهایت با انتقال از فضای IHS به فضای RGB تصویر تلفیق شده تولید گردید. بدین ترتیب، مؤلفه‌ی شدت تلفیقی به طور هم‌زمان از ویژگی‌های با فرکانس پایین تصاویر RGB و جزئیات با فرکانس بالا در تصاویر پانکروماتیک بهره‌مند شد [۴۷].



در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۰۸ محققان برای تلفیق تصاویر چند بانندی و پانکروماتیک در فضای فرکانس، اطلاعات فرکانس پایین باندهای چند طیفی را با محتوای با فرکانس بالا در تصاویر پانکروماتیک تلفیق نمودند. این کار به کمک فیلترهای سخت<sup>۱</sup>، گوسین، باترورث و هنینگ با ابعاد و تنظیماتی از پیش تعیین شده صورت گرفته که نتایج حاکی از کفایت بیشتر فیلترهای نرم در مقایسه با فیلترهای سخت بود. علیرغم نشانه‌های موفقیت‌آمیز به کارگیری فیلترهای نرم در فرایند تلفیق در فضای فرکانس، در این تحقیق بهینه بودن تنظیمات طراحی این فیلترها مورد ارزیابی قرار نگرفته است [۶۷].

در پژوهشی در سال ۲۰۱۱ روشی به منظور یافتن ابعاد بهینه‌ی فیلترهای سخت در تلفیق تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک سنجنده‌ی IKONOS ارائه شد. در این روند خودکار، ابعاد بهینه‌ی فیلتر تلفیق متناسب با مجموع دو شاخص هندسی و آماری در فضای ویژگی شناسایی شده و نتایج تلفیق به کمک فیلترهای بهینه مربعی و دایره‌ای تولید شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های به کار گرفته شده توان شناسایی ابعاد بهینه فیلترهای تلفیق را داشته و همچنین فیلترهای سخت مربعی برای فرآیند تلفیق مناسب نیستند [۵۳].

در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۲ با رویکردی مشابه با [۴۷] صرفاً با به کارگیری تبدیل رنگی Lab به جای IHS، فرایند تلفیق برای تصاویر پانکروماتیک و رنگی (سه بانندی) به انجام رسانده شد. در این فرایند مؤلفه‌ی  $L^2$  و تصاویر پانکروماتیک در فضای فرکانس تلفیق شده و به جای مؤلفه‌ی L از تصاویر رنگی قرار گرفته است.

در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۷ مجدداً از تبدیل رنگی HSV<sup>۳</sup> با فرایندی مشابه با [۴۷] برای تلفیق تصاویر استفاده شده است. به منظور ارزیابی، این رویکرد تلفیق به صورت بصری با روند تلفیق مستقیم باندهای رنگی و پانکروماتیک در فضای فرکانس مقایسه شده است. نتایج نشان داد که در مورد

---

<sup>۱</sup> Crisp

<sup>۲</sup> Lightness

<sup>۳</sup> Hue Saturation Value

تصاویر رنگی واقعی، به کارگیری همزمان تبدیل HSV و تلفیق در فضای فرکانس نتایج نزدیک‌تری را با انتظارات بصری از تصاویر هوایی و فضایی خواهد داشت [۱۱].

در پژوهشی در سال ۲۰۱۷ روش FFT\_PCA به منظور بهبود کیفیت روش تلفیق مبتنی بر تبدیل PCA پیشنهاد شد. در رویکرد سنتی این فرایند، مؤلفه‌ی اول تبدیل PCA مربوط به تصویر چند طیفی با تصویر پانکروماتیک تعویض شده و از طریق معکوس این تبدیل خطی، تصویر تلفیقی تولید می‌گردد. به واسطه‌ی عدم مشابهت صد درصدی ویژگی اول تبدیل PCA با تصویر پانکروماتیک، این اقدام عموماً با اعوجاجات طیفی در سطح نتایج تلفیق همراه بوده است. در روش پیشنهاد شده، فرکانس‌های پایین از ویژگی اول تبدیل PCA با فرکانس‌های بالا از تصویر پانکروماتیک تلفیق شده و این محصول پس از انتقال به فضای مکان، به جای تصویر پانکروماتیک در تلفیق PCA استفاده شده است. نتایج این روش نشان‌دهنده‌ی کاهش اعوجاجات طیفی در نتایج تلفیق بوده است [۶۹].

## ۸-۲ جمع‌بندی

این فصل به مرور انواع روش‌های تلفیق مبتنی بر حوزه مکان و فرکانس اختصاص یافت. علیرغم قابلیت هر یک از تکنیک‌های موجود، محدودیت‌هایی نیز وجود داشته است. عملکرد بهبود دهنده‌ی فضای فرکانس در کنار روش‌های دیگر، نشان از پتانسیل این رویکرد در روند تلفیق تصویر می‌باشد. از این‌روی، در این پژوهش از فیلترگذاری در فضای فرکانس به منظور تلفیق تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک استفاده شده که یافتن ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری مبتنی بر تحلیل‌های هندسی و آماری توزیع داده‌ها در فضای ویژگی<sup>۱</sup> صورت می‌پذیرد. به عبارت بهتر، نوآوری‌های این تحقیق در جزئیات روند تلفیقی بوده که در بخش آتی به تفصیل تشریح شده است.



# فصل سوم

## روش‌شناسی تحقیق

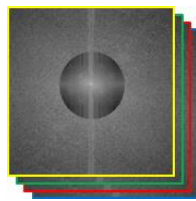
در عمده‌ی راهکارهای توسعه‌یافته در حوزه‌ی فرکانس، شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری به‌منظور انجام فرایند تلفیق منوط به مقایسه‌ی تصویر تلفیق شده با یک تصویر مرجع (تصویری با حد تفکیک مکانی و طیفی متناظر با نتایج تلفیق) بوده است. بدیهی است این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک محدودیت اجرایی در داده‌های واقعی محسوب شود. از سوی دیگر، در برخی دیگر از این روش‌ها، ابعاد فیلترگذاری یا از طریق تحلیل‌های تئوری شناسایی شده و یا رویکردی تکراری و جستجو مبنای دنبال شده است. به‌عنوان مثال در [۵۳]، بدون نیاز به تصاویر مرجع، ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری به‌صورت تکراری شناسایی شده است. با این حال رویکردی مبنی بر حصول اطمینان از صحت و یا دقت این فرایند در دستورکار قرار نداشته است. روند به‌کار گرفته شده در تحقیق مذکور مبتنی بر محاسبه‌ی شاخص‌های آماری و هندسی در فضای ویژگی بوده ولیکن عدم تنظیم میزان اثرگذاری هر یک از شاخص‌های هندسی و آماری به‌منظور شناسایی ابعاد فیلترهای تلفیق را می‌توان از محدودیت‌های آن برشمرد. با توجه به موفقیت بیشتر استفاده از فیلترهای نرم در روند تلفیق تصاویر در فضای فرکانس، در پژوهش حاضر تلاش شده راهکاری الهام گرفته شده از [۵۳] با هدف به‌کارگیری از فیلترهای نرم و همچنین کاهش محدودیت ذکر شده در به‌کارگیری شاخص‌های شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترهای تلفیقی، توسعه یابد. انتظار می‌رود، نتایج حاصل از تلفیق در مقایسه با روش پیشنهادی در [۵۳] از کفایت بیشتری برخوردار باشد.

بر این اساس در این بخش مبانی تئوری این فرایند به تفکیک در سه زیر بخش: ۱- فیلترگذاری در فضای فرکانس با هدف تلفیق تصویر، ۲- شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری و ۳- روش پیشنهادی ارائه شده است.

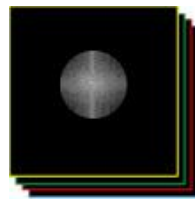
### ۳-۲ فیلترگذاری در فضای فرکانس با هدف تلفیق تصاویر

یکی از راهکارهای تلفیق تصاویر به‌کارگیری فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر در فضای فرکانس است. هر یک از تصاویر ورودی در فرایند تلفیق از جنبه‌ای حائز مزایای و از جنبه‌ای دیگر دچار محدودیت هستند. جزئیات مکانی تصاویر پانکروماتیک و محتوای طیفی تصاویر چند طیفی مزایای هریک از این

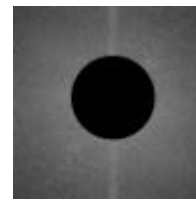
تصاویر محسوب شده که فرایند تلفیق به دنبال هم‌افزایی آن‌ها است. جزئیات مکانی را می‌توان محتوای فرکانس بالای تصویری و اطلاعات طیفی را می‌توان محتوای فرکانس پایین تصویر قلمداد نمود [۱۱]. به‌کارگیری فیلترهای پایین‌گذر به‌منظور جداسازی محتوای فرکانس پایین تصاویر چند طیفی و همچنین استفاده از فیلترهای بالاگذر به‌منظور جداسازی محتوای فرکانس بالای تصاویر پانکروماتیک اولین اقدام به‌منظور به‌کارگیری فضای فرکانس در فرایند تلفیق تصویر می‌باشد. جداسازی محتوای فرکانس بالا و پایین ممکن است که به‌طور مستقیم از فضای تصاویر خام صورت نپذیرفته و این اقدام در فضاهای تبدیل یافته‌ای همچون PCA، HSV، Lab و مواردی از این دست انجام پذیرد. گام دوم از روند تلفیق به ترکیب نتایج فیلترگذاری شده از باندهای طیفی و تصویر پانکروماتیک در فضای فرکانس اختصاص دارد. شکل ۳-۱ نمایی شماتیک از روند فیلترگذاری و تلفیق تصویر در فضای فرکانس را نشان می‌دهد.



ج- نحوه تلفیق طیف تصاویر



ب- فیلترگذاری تصویر چند طیفی



الف- فیلترگذاری تصویر پانکروماتیک

شکل ۳-۱ نمایی شماتیک از روند فیلترگذاری و تلفیق تصویر در فضای فرکانس

### ۳-۳ شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری در فرایند تلفیق

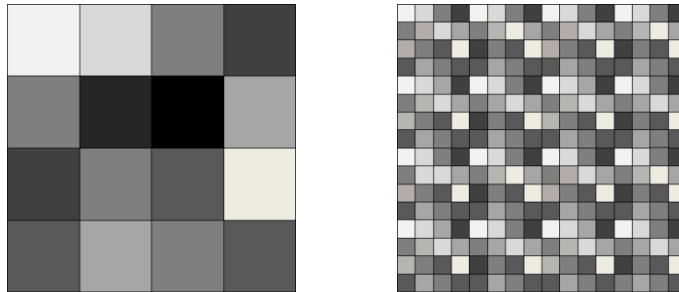
یکی از چالش‌های مرتبط با فرایند تلفیق در فضای فرکانس، یافتن دامنه‌ی فرکانسی مورد استفاده در فرایند فیلترگذاری به‌منظور دستیابی به نتایج بهینه است. به‌عنوان مثال، با فرض اینکه از فیلترهای قطعی برای برش فرکانس‌های پایین تصاویر چند طیفی و برش فرکانس‌های بالای تصاویر پانکروماتیک استفاده شود؛ یافتن شعاع برش فرکانسی بهینه برای این هدف، مسأله‌ی یافتن ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری خواهد بود. در صورتی که شعاع صفر برای فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر انتخاب شود، هیچ محتوایی از

تصاویر چند طیفی به تصاویر تلفیق شده انتقال نیافته و بالعکس شعاع بیش از حد بزرگ نیز منجر به تخریب محتوای با فرکانس بالا در نتایج تلفیقی می‌گردد.

استفاده از روابط مرتبط با تئوری نمونه‌برداری به منظور تعیین ابعاد فیلترگذاری و به کارگیری راهکارهای جستجو با هدف یافتن برش فرکانسی بهینه، دو رویکرد اصلی در زمینه‌ی یافتن ابعاد فیلترگذاری محسوب می‌شوند [۶۷]. در روش جستجو مبنای به ازای به کارگیری هر گام از ابعاد فیلترگذاری، شاخص‌هایی به منظور ارزیابی عملکرد فرایند تلفیق محاسبه می‌شوند. در نهایت ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری بر اساس بیشینه‌یابی و یا کمینه‌یابی شاخص ارزیابی تعیین می‌گردد. مقایسه‌ی نتایج تلفیق با تصاویر مرجع و یا استخراج مستقل شاخص‌های آماری دو روش در این حوزه می‌باشند [۷۰]. در اختیار بودن تصاویر مرجع با حد تفکیک مکانی و طیفی مشابه با نتایج تلفیق، یک چالش در به کارگیری روش‌های نیازمند به تصاویر مرجع بوده که انگیزه‌ی استفاده عملی از چنین روش‌هایی را محدود می‌سازد. از سوی دیگر، یافتن شاخص‌های آماری کارآمد نیز نیازمند مطالعه‌ی دقیق از روند تلفیق و تصاویر ورودی خواهد بود.

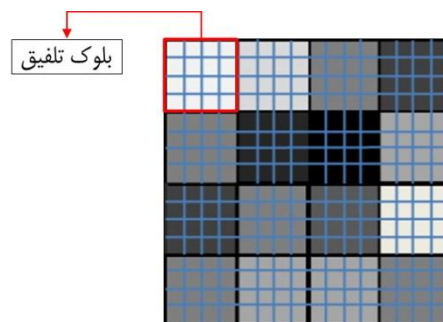
یکی از روش‌های آماری که تاکنون برای یافتن ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری در فضای فرکانس پیشنهاد شده در [۵۳] ارائه شده است. در این پژوهش نیز این رویکرد با اعمال اصلاحاتی پیشنهاد شده است. در این روش، به ازای هر برش فرکانسی از فضای فرکانس به منظور تلفیق تصویر، دو شاخص آماری رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی در فضای ویژگی محاسبه می‌شود. با معلوم بودن نمونه‌های مرتبط با هر پیکسل از تصویر چند طیفی در تصویر پانکروماتیک و تصاویر باز نمونه‌برداری شده چند طیفی شکل ۳-۲، شاخص‌های رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی به شرح زیر برآورد می‌شوند. در ادامه‌ی متن این پژوهش نمونه‌های مشخص شده در شکل ۳-۲ (ج) که به ازای هر پیکسل از تصویر چند طیفی تولید شده‌اند، به عنوان بلوک‌های تلفیق شناخته می‌شوند. بدیهی است که به ازای ابعاد تصویر چند طیفی  $(r \times c)$ ، بلوک‌های تلفیق وجود خواهد داشت. نمایی شماتیک از پیکسل‌های تصویر پانکروماتیک، تصویر چند

طیفی و تصویر باز نمونه‌برداری شده‌ی چند طیفی، در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است. در این شکل به ازای هر پیکسل از تصویر چند طیفی، ۱۶ پیکسل از تصویر پانکروماتیک تصور شده است.



الف- برشی از تصویر پانکروماتیک      ب- برشی از یک باند تصویر

چند طیفی پیش از  
فرآیند باز نمونه‌برداری



ج- برشی از یک باند تصویر چند طیفی پس از فرآیند باز نمونه‌برداری

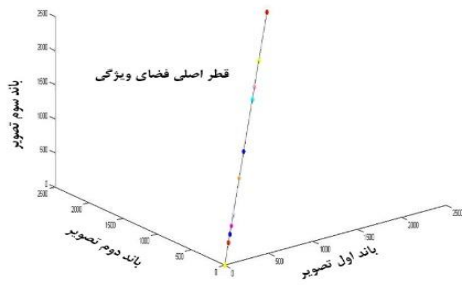
شکل ۲-۳- فرآیند باز نمونه‌برداری تصویر چند طیفی به‌منظور هم بعد سازی با تصویر پانکروماتیک

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در صورتی که هیچ تأثیری از تصاویر چند طیفی در فرآیند تلفیق وجود نداشته باشد (شعاع برش فرکانسی در فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر صفر باشد)، تصاویر تلفیق شده نسخه‌ای مشابه با تصویر پانکروماتیک خواهند بود. در چنین شرایطی، هر پیکسل از تصویر تلفیق شده دارای درجات خاکستری مشابه بوده و عملاً باندهای طیفی فاقد رنگ خواهند بود. بر این اساس، انتظار می‌رود تمامی نمونه‌های واقع در بلوک‌های تلفیق منطبق بر قطر اصلی فضای ویژگی باشند شکل ۳-۳

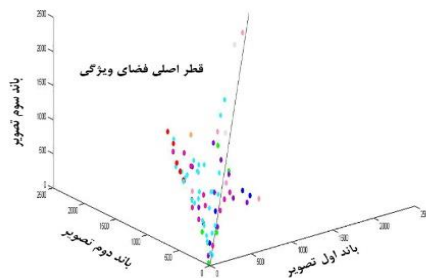


(الف). در سوی مقابل، هر بلوک تلفیق معادل با تعداد مشخصی نقطه در فضای ویژگی است. در صورتی که نتایج تلفیق تأثیری از تصاویر پانکروماتیک نگرفته باشند؛ پیکسل‌های واقع در هر بلوک تلفیق در فضای ویژگی برهم منطبق خواهند بود شکل ۳-۳ (ب). لازم به ذکر است که برای رخداد شکل ۳-۳ (ب) می‌بایست در روند باز نمونه‌برداری شکل ۲-۳ (ج)، درجات خاکستری متناظر از تصویر چند طیفی شکل ۲-۳ (ب) عیناً تکثیر شده باشند. در شکل ۳-۳ (پ) نیز می‌توان تأثیرپذیری هم‌زمان فرایند تلفیق، از تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک را مشاهده نمود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این شکل نمونه‌های واقع در هر بلوک تلفیق دچار پراکندگی شده و به همین دلیل تعداد نمونه‌های ترسیم شده در فضای ویژگی بیشتر به نظر می‌رسند.

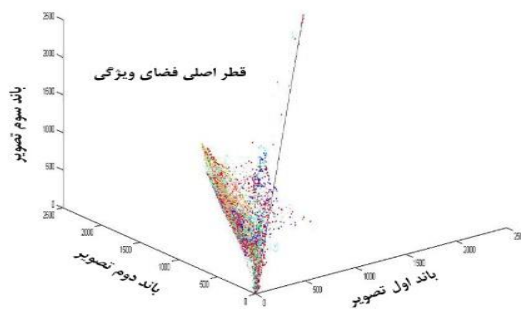
روند پراکنش پیکسل‌های تصویر تلفیق شده در فضای ویژگی در شکل ۳-۳ نمایش داده شده است (ابعاد فضای ویژگی متناسب تعداد باندهای تصویر تلفیق شده است؛ اما با توجه به اینکه امکان نمایش بیش از سه بعد در فضای اقلیدسی وجود ندارد، نمایش فضای ویژگی در سه بعد صورت پذیرفته است).



الف- پراکندگی پیکسل‌های تصویر تلفیق شده بدون تأثیرپذیری از تصویر چند طیفی



ب- پراکندگی پیکسل‌های تصویر تلفیق شده بدون تأثیرپذیری از تصویر پانکروماتیک



ج- پراکندگی پیکسل‌های تصویر تلفیق شده با تأثیرپذیری هم‌زمان از تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک

شکل ۳-۳- روند تکثیر پیکسل‌های تصویر تلفیق شده در فضای ویژگی

در طراحی شاخص بهینه‌گی از دو معیار ۱- فاصله‌ی بردار میانگین نمونه‌های واقع در بلوک‌های تلفیق از قطر اصلی فضای ویژگی به‌عنوان شاخص رنگ‌پذیری ( $F_1$ ) و ۲- متوسط پراکندگی نمونه‌های واقع در بلوک‌های تلفیق حول بردار میانگین به‌عنوان شاخص جزئیات مکانی ( $F_2$ ) استفاده شده است. با فرض وجود  $r \times c$  بلوک تلفیق، در رابطه‌ی (۱-۳) نحوه‌ی محاسبه مؤلفه ( $F_1$ ) ارائه شده است.

$$F_1 = \frac{1}{r \times c} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c d_{i,j} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

در رابطه‌ی (۱-۳)،  $d_{i,j}$  فاصله‌ی بردار میانگین نمونه‌های واقع در بلوک تلفیق  $i, j$  نسبت به قطر اصلی فضای ویژگی بوده که مقدار آن برای هر بلوک تلفیق از طریق رابطه‌ی (۲-۳) قابل محاسبه خواهد بود.

$$d_{i,j} = \sqrt{\|\vec{M}_{i,j}\|_p - (\vec{M}_{i,j} \cdot \vec{P}_{i,j})^2} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

در رابطه (۲-۳)،  $\|\vec{M}_{i,j}\|_p$  نرم دوم بردار میانگین درجات خاکستری بلوک تلفیق،  $\vec{P}_{i,j}$  بردار یکه در راستای قطر اصلی فضای ویژگی و " " نماد ضرب داخلی دو بردار می‌باشند. شاخص رنگ‌پذیری در ازای تأثیرپذیری نتایج تلفیق از باندهای طیفی به‌سرعت افزایش یافته و بیشینه‌ی مقدار آن، در زمان جایگزینی کامل فرکانس‌های تصاویر چند طیفی به‌جای فرکانس‌های تصویر پانکروماتیک خواهد بود. این شاخص به‌طور معمول بعد از رشد سریع به ازای به‌کارگیری فرکانس‌های پایین تصاویر چند طیفی، در هنگام استفاده از فرکانس‌های بالا از این تصاویر دچار اشباع‌شدگی می‌گردد. شکل ۳-۴ (الف) روند شماتیک تغییر این شاخص را به ازای تغییر در ابعاد فیلترهای تلفیقی در فضای ویژگی نشان می‌دهد. در مقابل، شاخص جزئیات مکانی رفتاری متمایز با شاخص رنگ‌پذیری خواهد داشت. به عبارت بهتر، این شاخص در زمان عدم استفاده از فرکانس‌های تصاویر چند طیفی بیشترین مقدار را داشته و با افزایش اثرپذیری نتایج تلفیق از تصاویر چند طیفی به‌تدریج کاهش می‌یابد. شاخص جزئیات مکانی ( $F_2$ ) نیز به‌صورت رابطه‌ی (۳-۳) قابل محاسبه می‌باشد.

رابطه (۳-۳)

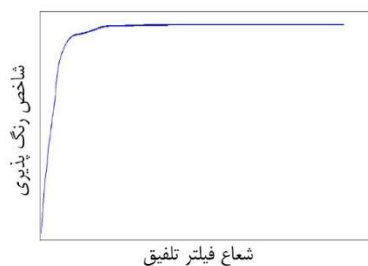
$$F_{\gamma} = \frac{1}{r \times c} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c SD_{i,j}$$

در رابطه (۳-۳)،  $SD_{i,j}$  مبین میزان پراکندگی نمونه‌های واقع در بلوک تلفیق  $i,j$  حول بردار میانگین بوده که به صورت رابطه‌ی (۴-۳) قابل محاسبه می‌باشد.

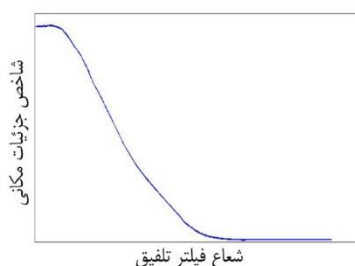
رابطه (۴-۳)

$$SD_{i,j} = \frac{1}{b} \sum_{t=1}^b \sqrt{\frac{1}{n_b} \sum_{k=1}^{n_b} (x_{k,t} - \bar{x}_t)^2}$$

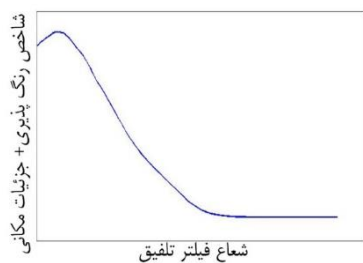
در رابطه‌ی (۴-۳)،  $n_b$  تعداد نمونه‌های واقع در هر بلوک تلفیق،  $b$  تعداد باندهای طیفی،  $x_{k,t}$  نمونه‌ی  $k$  ام در باند  $t$  از بلوک تلفیق و  $\bar{x}_t$  بردار میانگین نمونه‌های بلوک تلفیق در باند  $t$  می‌باشند. روند شماتیک تغییرات شاخص  $F_{\gamma}$  به ازای افزایش ابعاد فیلترهای تلفیق را می‌توان در شکل ۳-۴ (ب) مشاهده نمود. در نهایت مجموع دو شاخص رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی به‌عنوان شاخص بهینه‌گی جهت انجام فرایند تلفیق مورد استفاده قرار می‌گیرد شکل ۳-۴ (ج). شعاع فیلتر تلفیق به ازای بیشینه‌ی این شاخص به‌عنوان ابعاد بهینه در برش فرکانسی تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی شناخته می‌شود.



الف- روند شماتیک تغییر شاخص رنگ پذیری به ازای تغییر در ابعاد فیلتر تلفیقی



ب- روند شماتیک تغییر شاخص جزئیات مکانی به ازای تغییر در ابعاد فیلتر تلفیقی



ج- روند شماتیک تغییر شاخص بهینه‌گی به ازای تغییر در ابعاد فیلتر تلفیقی

شکل ۳-۴- نمایش روند شماتیک تغییر شاخص‌های رنگ‌پذیری، جزئیات مکانی و شاخص بهینه‌گی به ازای تغییر در ابعاد فیلترهای تلفیقی در فضای فرکانس

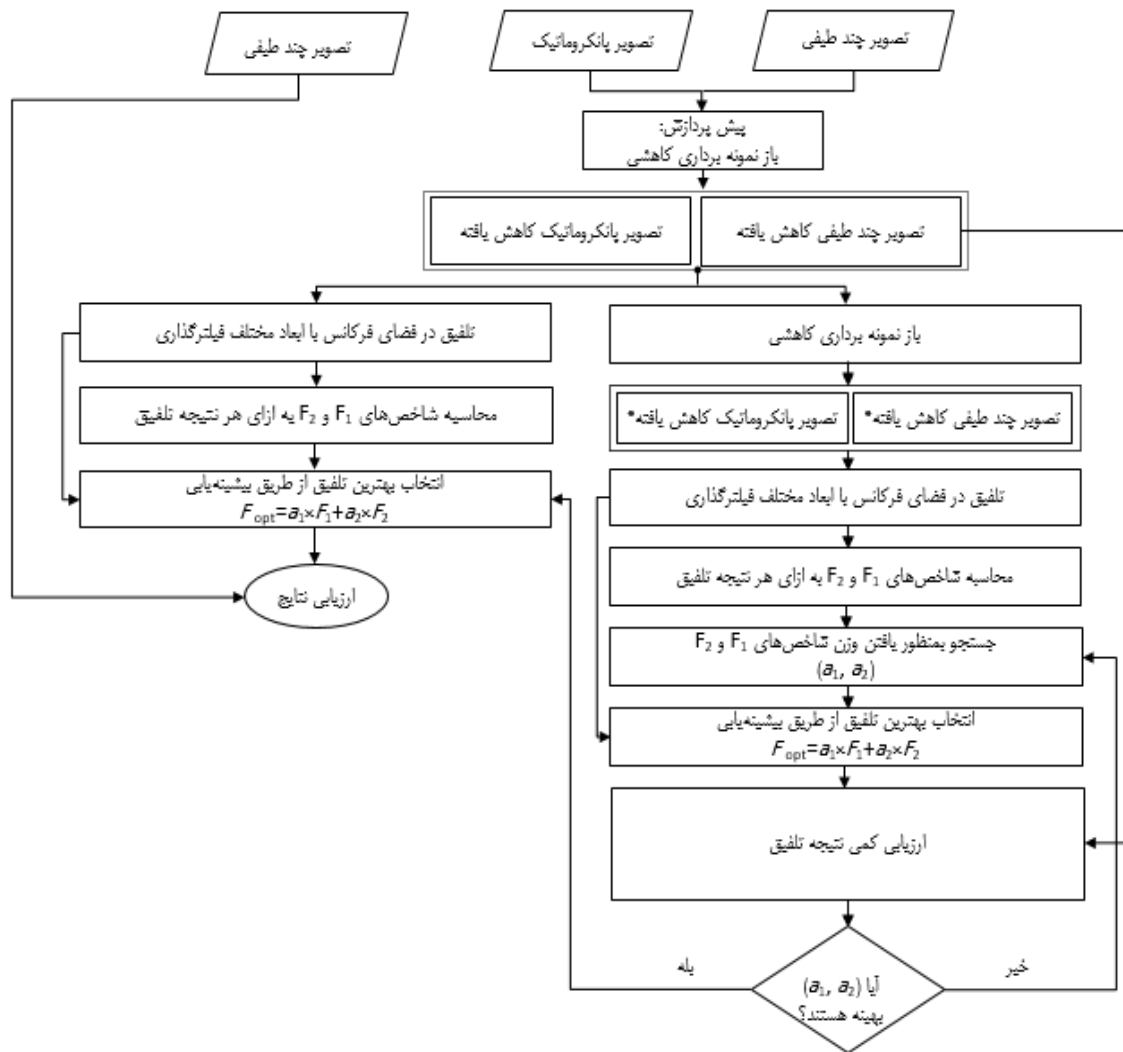
از محدودیت‌های شاخص بهینه‌گی، عدم تنظیم میزان اثربخشی هر یک از شاخص‌های رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی بوده و عملاً این دو شاخص با تأثیرگذاری برابری شاخص بهینه‌گی را تولید می‌کنند. وجود تفاوت در حد تفکیک رادیومتریکی تصاویر مورد استفاده و همچنین جزئیات و محتوای منطقه‌ی

تصویربرداری را می‌توان به‌عنوان عواملی در نظر داشت که منجر به تمایز اثرگذاری دو شاخص رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی در نتایج تلفیق می‌شوند. به عبارت بهتر، در صورت عدم وجود جزئیات مکانی محسوس در پهنه‌ی تصویربرداری، انتظار می‌رود که نقش شاخص جزئیات مکانی کم‌رنگ‌تر بوده و سوق دادن نتایج تلفیق به تصاویر چند طیفی اثرات مخربی را به دنبال نداشته باشد. بالعکس در صحنه‌های تصویربرداری توأم با جزئیات مکانی بالا، نقش شاخص جزئیات مکانی به‌منظور صیانت از حفظ این محتوا محسوس‌تر خواهد بود. از سوی دیگر، عدم مشابهت بزرگی و دامنه‌ی نوسان دو شاخص  $F_1$  و  $F_2$  یکی از عواملی بوده که ضرورت تنظیم وزن و اثربخشی هریک از این دو شاخص را نمایان‌تر می‌سازد. در تحقیق حاضر، ضمن به‌کارگیری فیلترهای نرم بالاگذر و پایین‌گذر در روند تلفیق، تلاش شده تا با ارائه الگوریتمی میزان اثرگذاری هر یک از شاخص‌های مورد استفاده تنظیم شده و به‌تبع آن از شاخص بهینه‌گی بهتری در روند شناسایی فرکانس‌های تلفیق استفاده گردد.

### ۴-۳ روش پیشنهادی

در پژوهش حاضر تلاش شده راهکاری بهینه به‌منظور شناسایی خودکار ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری بر مبنای رویکرد ارائه شده در [۵۳] توسعه یابد.

روند اجرای روش پیشنهادی در سه گام اصلی صورت می‌پذیرد. در گام نخست پس از اعمال پیش‌پردازش‌ها، تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی به فضای فرکانس انتقال می‌یابند. در گام دوم وزن بهینه کمیت‌های شاخص بهینه‌گی طی روندی تکراری شناسایی شده و در گام سوم فرایند تلفیق تصاویر بر مبنای شناسایی ابعاد فیلتر بهینه متناسب با شاخص بهینه‌گی وزن‌دار صورت می‌پذیرد. سازوکار روش پیشنهادی در این پژوهش در فلوچارت شکل ۳-۵ ارائه و در ادامه هر یک از بخش‌های مربوط به فلوچارت به تفصیل تشریح شده است.



شکل ۳-۵- روند نمای الگوریتم پیشنهادی

### ۳-۴-۱ گام اول (پیش پردازش‌ها)

مطابق فلوجارت شکل ۳-۵ پیش از ورود تصاویر به روند اجرای الگوریتم تلفیق، ضروری است یک مرحله فرآیند باز نمونه‌برداری کاهشی بر روی تصاویر اولیه اعمال گردد. علت این امر این است که اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی به‌واسطه ارزیابی نتایج تلفیق نهایی با تصاویر مرجع محقق می‌گردد؛ اما به سبب عدم دسترسی به تصاویر مرجع با توان تفکیک طیفی و مکانی مورد انتظار از روند تلفیق، ارزیابی فرایند تلفیق تصاویر با اتکا به روش ارزیابی والد [۶۴] در یک سطح مقیاسی پایین‌تر دنبال شده است. بدین ترتیب که داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، در بدو امر، طی فرایند باز نمونه‌برداری کاهشی به

یک سطح مقیاسی پایین تر انتقال یافته تا نتیجه‌ی اجرای الگوریتم پیشنهادی تلفیق تصاویر در این سطح، هم‌اندازه با تصاویر چند طیفی ورودی باشد، بدین ترتیب به راحتی می‌توان نتایج تلفیق را با آن مقایسه نمود.

### ۳-۴-۲ گام دوم (انتقال تصاویر به فضای فرکانس)

پس از اعمال پیش‌پردازش‌ها، اولین اقدام به منظور تلفیق در فضای فرکانس، انتقال تصویر پانکروماتیک و چند طیفی به فضای فرکانس است. با انتقال تصاویر به فضای فرکانس به سبب توان تفکیک مکانی بالا تصویر پانکروماتیک، جزئیات مکانی با فرکانس بالا در طیف باند پانکروماتیک جمع شده و در مقابل، تبدیل فوریه تصویر چند طیفی در قیاس با تصویر پانکروماتیک در محدوده‌ی فرکانس‌های پایینی از نقطه نظر ترم‌های سینوسی و کسینوسی واقع می‌گردند. بدین ترتیب، با اعمال فیلتر بالاگذر اطلاعات فرکانسی بالا تصویر پانکروماتیک و همچنین به واسطه فیلتر پایین‌گذر محتوای فرکانس پایین تصویر چند طیفی تفکیک می‌گردند. لازم به ذکر است که به منظور جداسازی محتوای فرکانسی تصاویر مذکور از فیلتر قطعی (ایده‌آل) و همچنین فیلترهای نرم گوسین، هنینگ و بارلت استفاده شده است که شرح جزئیات فیلترهای نامبرده در بخش (۲-۴-۶-۳) ارائه شده است. همان‌طور که پیش‌از این نیز بدان اشاره شد، با جایگذاری جزئی محتوای فرکانس بالا تصویر پانکروماتیک در قسمت متناظر از تصویر چند طیفی تلفیق تصاویر بر پایه ترکیب محتوای فرکانس بالا و پایین تصاویر مذکور صورت می‌پذیرد.

### ۳-۴-۳ گام سوم (تنظیم وزن بهینه کمیت‌های شاخص بهینه‌گی)

گام سوم روند تلفیق به ترکیب نتایج فیلترگذاری شده از باندهای طیفی و تصویر پانکروماتیک در فضای فرکانس اختصاص دارد؛ اما همان‌طور که پیش‌از این نیز مطرح شد، شناسایی برش فرکانسی بهینه به عنوان چالش اصلی فرآیند تلفیق تلقی می‌گردد.

از این روی در این پژوهش رویکرد تلفیق مبتنی بر شاخص بهینه‌گی ارائه شده در [۵۳] همراه با اعمال اصلاحاتی به منظور غلبه بر این چالش پیشنهاد شده است. همان‌طور که در بخش (۳-۴) بدان



اشاره شد، یافتن ابعاد بهینه فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر به‌منظور تلفیق تصاویر در فضای فرکانس، به‌طور مؤثری نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در [۵۳] صرفاً با به‌کارگیری فیلترهای قطعی از مجموع شاخص‌های رنگ‌پذیری رابطه (۳-۱) و جزئیات مکانی رابطه (۳-۳) در روند شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری استفاده شده است. دامنه‌ی تغییر این دو شاخص متفاوت و متأثر از محتوای تصویری و توان تفکیک رادیومتریکی تصاویر است. از آنجایی‌که هر تصویر سنجش‌ازدوری از محتوای متمایزی برخوردار است؛ اهمیت حفظ محتوای طیفی یا مکانی در روند تلفیق برای هر تصویر متمایز خواهد بود. به همین جهت در این پژوهش ایده‌ی به‌کارگیری مجموع وزن‌دار دو شاخص رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی به‌منظور یافتن فیلترهای بهینه‌ی تلفیق پیشنهاد شده است. در الگوریتم پیشنهاد شده، این اوزان به‌صورت خودکار و برای هر تصویر شناسایی می‌گردد.

بر این اساس در این تحقیق دو اقدام جدید جایگزین الگوریتم ارائه شده در [۵۳] شده است. نخست از فیلترگذاری نرم به‌جای فیلترهای قطعی استفاده شده و دوم آنکه تلاش شده تا میزان اثرگذاری شاخص‌های رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی طی الگوریتم پیشنهادی تنظیم گردد.

مطابق با فلوچارت شکل ۳-۵، روند تلفیق تصویر در دو مسیر موازی دنبال می‌شود. در ستون سمت راست از فلوچارت، فرایند شناسایی وزن بهینه برای شاخص‌های رنگ‌پذیری ( $F_1$ ) و جزئیات مکانی ( $F_2$ ) به اجرا رسیده که درنهایت بعد از یافتن اوزان بهینه، از آن‌ها در روند تلفیق تصاویر ورودی استفاده می‌شود. سازوکار تلفیق تصویر در فضای فرکانس کاملاً منطبق بر موارد ذکر شده در بخش (۳-۴) بوده با این تمایز که یافتن بهترین ابعاد فیلترگذاری به کمک بیشینه‌یابی از مجموع وزن‌دار شاخص‌های  $F_1$  و  $F_2$  صورت می‌گیرد رابطه (۳-۵).

$$F_{opt} = a_1 \times F_1 + a_2 \times F_2 \quad \text{رابطه (۳-۵)}$$

$$\text{s.t } a_1 + a_2 = 1$$

در رابطه‌ی (۳-۵)،  $a_1$  و  $a_2$  به ترتیب وزن‌های دو شاخص  $F_1$  و  $F_2$  بوده که در بازه‌ی  $[0 \sim 1]$  قرار دارند. مجموع این دو وزن معادل با واحد است.

با توجه به واحد شدن مجموع اوزان  $a_1$  و  $a_2$ ، روند جستجو به منظور شناسایی وزن شاخص‌های  $F_1$  و  $F_2$  یک فرایند تکراری بوده و محدود به یافتن صرفاً یکی از دو وزن خواهد شد. چرا که به راحتی وزن دوم از طریق  $a_2 = 1 - a_1$  قابل محاسبه است. در این الگوریتم وزن  $a_1$  با گام‌های  $0/01$  واحدی در بازه‌ی صفر تا یک تولید شده و با این حساب، فرایند یافتن وزن‌های بهینه ۱۰۰ بار تکرار می‌گردد. شناسایی وزن‌های بهینه یک فرایند تکراری بوده که در هر تکرار کفایت وزن‌های انتخاب شده با مقایسه‌ی تصویر تلفیق شده با یک تصویر مرجع انجام می‌پذیرد.

ارزیابی بهینه بودن انتخاب وزن شاخص‌های  $F_1$  و  $F_2$  از طریق محاسبه‌ی شاخص RMSE رابطه (۲-۲۰) بین تصویر تلفیق شده و تصویر چند طیفی ورودی انجام می‌پذیرد. اوزان بهینه می‌بایست منجر به کمینه سازی شاخص RMSE گردد.

همان‌طور که در روند نمای روش پیشنهادی مشاهده می‌شود، فرایند تخصیص وزن به شاخص‌های رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی در هر تصویر به صورت مستقل انجام شده و این موضوع بدون نیاز به کنترل کاربر و به صورت خودکار قابل اجرا است.

مطابق فلوجارت شکل ۳-۵، تصاویر ورودی در روند شناسایی وزن نیز یکبار دیگر، طی فرایند باز نمونه‌برداری کاهشی به یک سطح مقیاسی پایین‌تر انتقال یافته‌اند. با این اقدام، مطابق شکل ۲-۱۴ تصاویر تلفیق شده در فرایند شناسایی وزن‌های بهینه، هم‌اندازه با تصویر چند طیفی ورودی بوده و به راحتی می‌توان نتایج تلفیق را با آن مقایسه نمود.

۳-۴-۴ گام چهارم (تلفیق تصاویر بر مبنای شناسایی ابعاد فیلتر بهینه متناسب با شاخص بهینه‌گی وزن‌دار) بعد از شناسایی وزن بهینه‌ی شاخص‌های  $F_1$  و  $F_2$  در روند شناسایی وزن بهینه (ستون سمت راست فلوجارت شکل ۳-۵) برای هر تصویر، از این اوزان در روند تلفیق تصاویر (ستون سمت راست

فلوچارت شکل (۳-۵) به منظور شناسایی بهترین ابعاد فیلترگذاری به کمک یافتن آرگومان بیشینه کننده رابطه (۳-۵) استفاده می‌گردد. به عبارت بهتر، ابعاد فیلترگذاری که قادر به بیشینه ساختن رابطه (۳-۵) باشد؛ به عنوان فیلترگذاری بهینه شناسایی می‌گردد. به واسطه شناسایی ابعاد فیلتر بهینه، فرآیند تلفیق تصاویر ضمن بهره‌مندی توأمان از محتوای طیفی و جزئیات مکانی تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک در فضای فرکانس صورت می‌پذیرد. در آن‌ها با اعمال تبدیل معکوس فوریه، تصویر چند طیفی در فضای مکان تولید می‌گردد.

ارزیابی نهایی الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر به‌کارگیری تصاویر مرجع بوده، اما همان‌طور که پیش‌ازین نیز در بخش (۳-۵-۱) بدان اشاره شد، به سبب عدم دستیابی به تصویر مرجع به‌کارگیری رویکرد والد در دستور کار قرار گرفت. این راهکار ارزیابی در مراجع مختلفی به منظور ارزیابی کفایت روش‌های تلفیق استفاده شده است [۷۱ و ۷۲]. بدیهی است که این اقدام صرفاً با هدف بررسی کفایت روش پیشنهادی در یافتن فیلترگذاری بهینه‌ی تلفیق انجام شده و در آزمون‌های اجرایی نیازی به باز نمونه‌برداری کاهشی به منظور ایجاد شرایط ارزیابی نهایی وجود ندارد. به عبارت بهتر، روش پیشنهادی بدون نیاز به وجود تصویر چند طیفی مرجع قادر به یافتن پارامترهای تنظیمی فرایند تلفیق در فضای فرکانس بوده و عملاً به‌کارگیری تصاویر چند طیفی مرجع صرفاً با هدف اثبات کفایت عملکرد روش پیشنهادی استفاده شده است.

## فصل چهارم

### ارزیابی و نتایج

#### ۱-۴ مقدمه

در این فصل به منظور اعتبارسنجی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در حفظ و صیانت از محتوای طیفی و مکانی تصاویر ورودی، این روش با سایر الگوریتم‌های تلفیق تصاویر در دو حوزه مکان و فرکانس مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

#### ۲\_۴- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از دو مجموعه داده متعلق به دو سنجنده متفاوت استفاده شده است. در ادامه هر یک از دو مجموعه داده معرفی شده است.

#### ۱-۲-۴ تصویر سنجنده Geo-eye

سنجنده‌ی فضایی Geo-eye در زمان پرتاب جز نخستین سنسورهای ماهواره‌ای تجاری تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی بالا بوده که در ششم سپتامبر سال ۲۰۰۸ میلادی توسط شرکت DigitalGlobe از پایگاه نیروی هوایی وندنبرگ برای تصویربرداری از سطح زمین به فضا پرتاب شد. این سنجنده در دو حالت چند طیفی و پانکروماتیک اقدام به اخذ تصویر می‌نماید. تصاویر این سنجنده متشکل از ۴ باند طیفی با توان تفکیک مکانی ۱/۶۴ متر و یک باند پانکروماتیک با توان تفکیک مکانی ۰/۴۱ متر می‌باشند. سنجنده طیفی دارای چهار باند آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک است. خصوصیات فنی این سنجنده در جدول (۱-۴) ارائه شده است [۷۳]. منطقه مطالعاتی این تصویر در شکل ۱-۴ نمایش یافته است.

جدول ۴-۱- معرفی مشخصات فنی سنجنده GeoEye

زمان پرتاب	۶ سپتامبر ۲۰۰۸
ارتفاع مدار ماهواره	۶۸۱ (km)
عرض نوار برداشت	۱۵,۳ (km)
زمان عبور از استوا	۱۰:۳۰
تعداد باندها	۵
قدرت تفکیک مکانی باند پانکروماتیک	۰,۴۱ (m)
قدرت تفکیک مکانی باندهای طیفی	۱,۶۴ (m)
باند پانکروماتیک	۴۵۰ - ۹۰۰ (nm)
باند آبی	۴۵۰ - ۵۲۰ (nm)
باند سبز	۵۲۰ - ۶۰۰ (nm)
باند قرمز	۶۲۵ - ۶۹۵ (nm)
باند مادون قرمز نزدیک	۷۶۰ - ۹۰۰ (nm)



ب- تصویر چند طیفی منطقه مطالعاتی اول



الف- تصویر پانکروماتیک منطقه مطالعاتی اول

شکل ۴-۱- تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی منطقه مطالعاتی اول

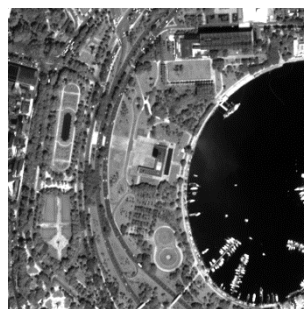
#### ۴-۲-۲ تصویر سنجنده Worldview\_۲

ماهواره Worldview\_۲ در هشتم اکتبر سال ۲۰۰۹ میلادی توسط شرکت DigitalGlobe از پایگاه نیروی هوایی وندنبرگ برای تصویربرداری از سطح زمین به فضا پرتاب شد. این سنجنده در دو حالت چند طیفی و پانکروماتیک اقدام به اخذ تصویر می‌نماید. تصاویر این سنجنده متشکل از ۸ باند طیفی متمایز با توان تفکیک مکانی ۱/۸۴ متر و یک باند پانکروماتیک با توان تفکیک مکانی ۰/۴۶ متر می‌باشند. این ماهواره دارای قابلیت زمین مرجع کردن تصاویر بدون استفاده از نقاط کنترل و عملیات پس پردازش می‌باشد و این قابلیت به‌موجب تجهیزات موجود در آن از جمله: ژيروسکوپ و آنتن موقعیت-یاب جهانی فراهم شده است. خصوصیات فنی این سنجنده در جدول (۴-۲) ارائه شده است [۷۳]. منطقه مطالعاتی این تصویر در شکل ۴-۲ نمایش یافته است.

جدول ۴-۲- معرفی مشخصات فنی سنجنده WorldView\_۲

۲۰۰۹ اکتبر ۱۸	زمان پرتاب
۷۷۰ (km)	ارتفاع مدار ماهواره
۱۶,۴ (km)	عرض نوار برداشت
۱۰:۳۰	زمان عبور از استوا
۹	تعداد باندها
۰,۴۶ (m)	قدرت تفکیک مکانی باند پانکروماتیک
۱,۸۴ (m)	قدرت تفکیک مکانی باندهای طیفی
۴۵۰ - ۸۰۰ (nm)	باند پانکروماتیک
۴۰۰ - ۴۵۰ (nm)	باند ساحلی
۴۵۰ - ۵۱۰ (nm)	باند آبی
۵۱۰ - ۵۸۰ (nm)	باند سبز
۵۹۰ - ۶۳۰ (nm)	باند زرد
۶۳۰ - ۶۹۰ (nm)	باند قرمز
۷۱۰ - ۷۵۰ (nm)	باند لبه قرمز
۷۷۰ - ۹۰۰ (nm)	باند مادون قرمز نزدیک_۱
۸۶۰ - ۱۰۴۰ (nm)	باند مادون قرمز نزدیک_۲





ب- تصویر چند طیفی منطقه مطالعاتی دوم

الف- تصویر پانکروماتیک منطقه مطالعاتی دوم

شکل ۴-۲- تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی منطقه مطالعاتی دوم

لازم بذکر است که در تولید تصاویر رنگی از ترکیب رنگی کاذب NIR-R-G استفاده شده است. به طور کلی نسبت یک به چهار میان توان تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده وجود داشته و با توجه به هم مرجع بودن تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک، بعد از باز نمونه برداری تصاویر چند طیفی هر بلوک تلفیق از  $4 \times 4 = 16$  پیکسل تشکیل خواهد شد. برای انجام فرایند باز نمونه برداری از روش درون یابی مکعبی استفاده شده است.

#### ۳\_۴ ارزیابی نتایج و بحث

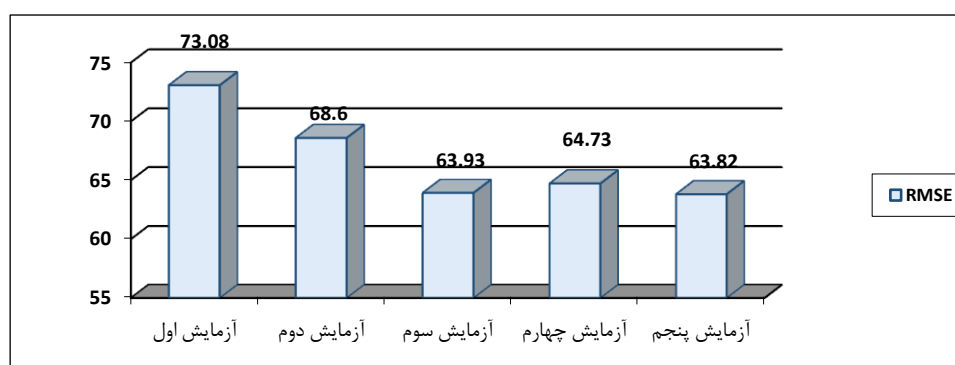
به منظور ارزیابی نتایج روش پیشنهادی سه رویکرد مختلف اتخاذ شده است.

##### ۱\_۳\_۴ رویکرد نخست

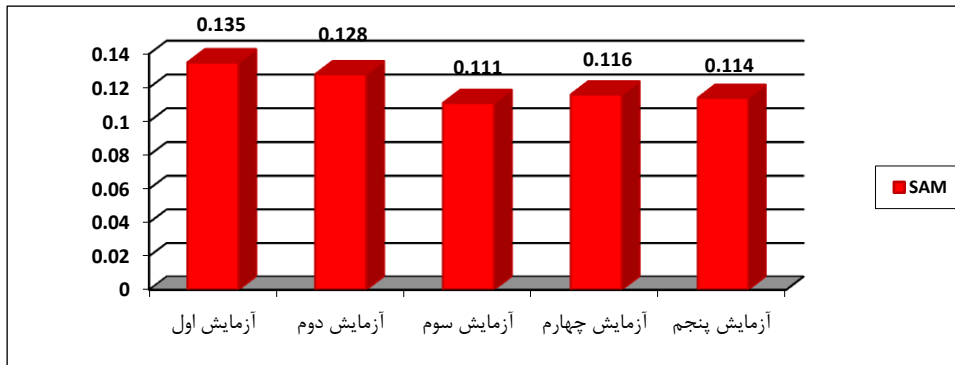
در رویکرد نخست ترکیبات مختلفی از انواع فیلترهای تلفیق و چگونگی به کارگیری شاخص های تلفیق به منظور ارزیابی قابلیت روش پیشنهادی به اجرا رسیده است. در این اقدام از چهار نوع فیلتر بالاگذر و پایین گذر: ۱- ایده آل، ۲- گوسین، ۳- هنینگ و ۴- بارلت در فضای فرکانس و از دو ترکیب مجموع ساده و وزن دار شاخص های تلفیق (روش پیشنهادی) استفاده شده است. بر این اساس، برای این رویکرد ۵ آزمایش ترتیب داده شده است. در آزمایش نخست، فیلتر قطعی به همراه جمع بدون وزن دو

شاخص رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی به‌عنوان تابع شایستگی استفاده شده است. این آزمایش پیاده‌سازی مستقیم روش ارائه شده در [۵۳] می‌باشد. در آزمایش دوم، بدون تغییر در ماهیت فیلترگذاری، روند یافتن ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری مبتنی بر شاخص شایستگی وزن‌دار دنبال شده است. آزمایش سوم تا پنجم نیز به‌ترتیب شامل به‌کارگیری هم‌زمان فیلترهای نرم گوسین، هنینگ و بارلت به همراه شاخص شایستگی وزن‌دار می‌باشند. لازم به ذکر است که به‌منظور ارزیابی نتایج تلفیق، رویکرد به‌کارگیری تصاویر مرجع در دستور کار قرار دارد.

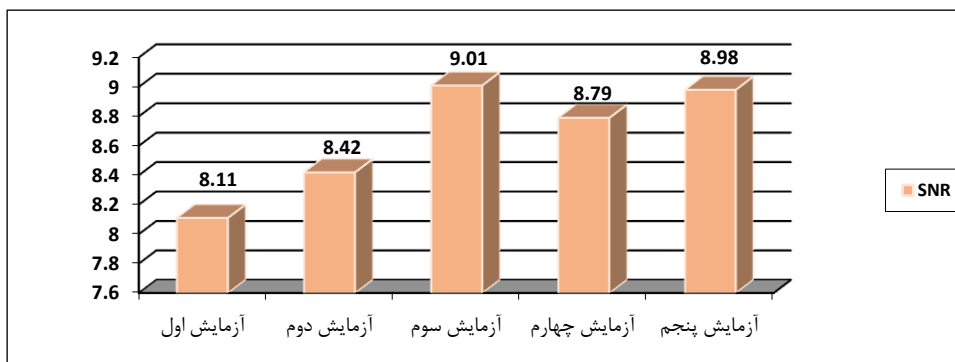
در روند ارزیابی نتایج تلفیق از چهار شاخص RMSE، SAM، SNR و SSIM به‌منظور اندازه‌گیری کفایت نتایج استفاده شده است. اشکال ۴-۳ تا ۴-۶ و ۴-۷ تا ۴-۱۰ نتایج حاصل از معیارهای مذکور مربوط به ۵ آزمایش به ترتیب برای تصاویر GeoEye و WorldView-۲ را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۳- نتایج معیار آماری RMSE به‌منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye

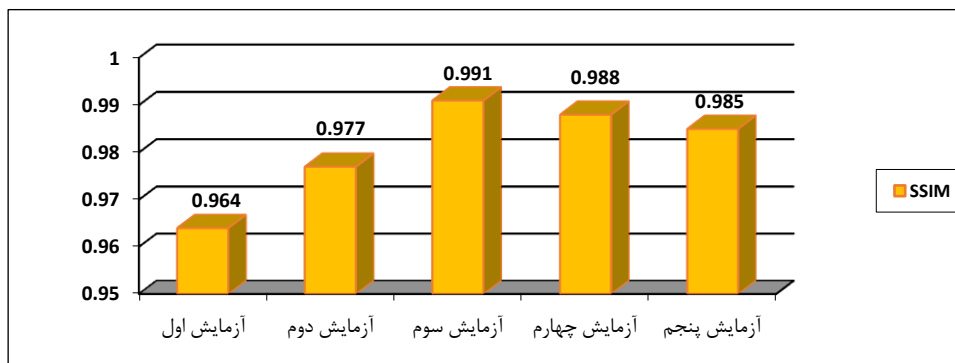


شکل ۴-۴- نتایج معیار آماری SAM به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر GeoEye



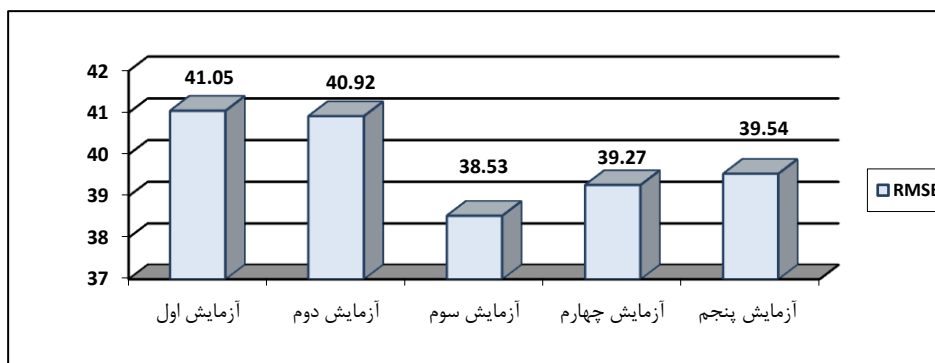
شکل ۴-۵- نتایج معیار آماری SNR به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر

GeoEye

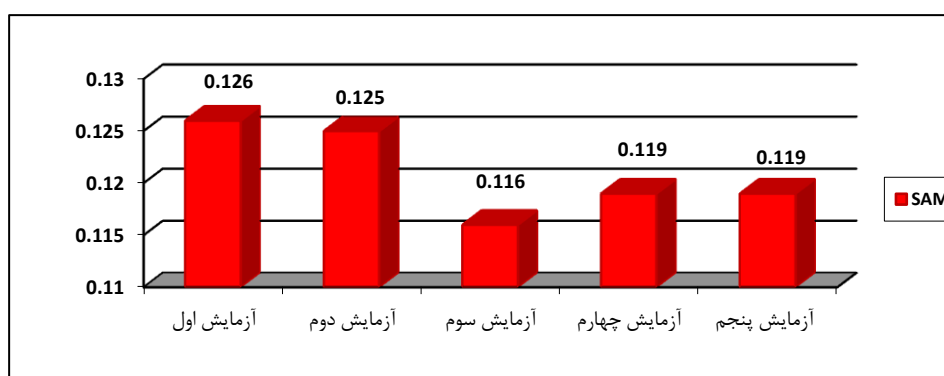


شکل ۴-۶- نتایج معیار آماری SSIM به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر

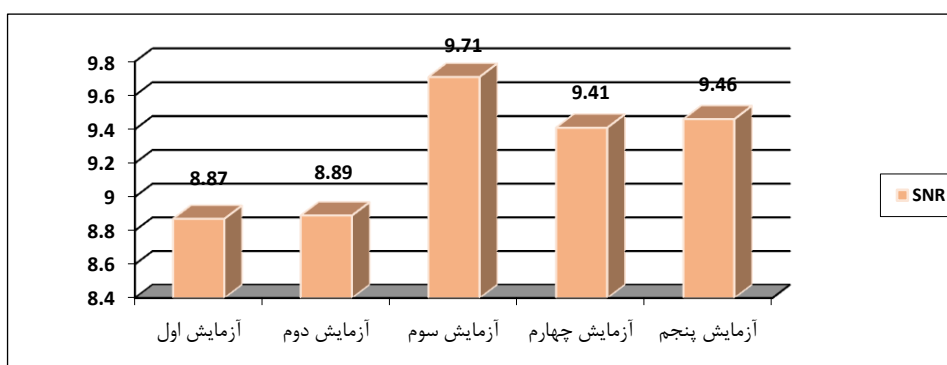
GeoEye



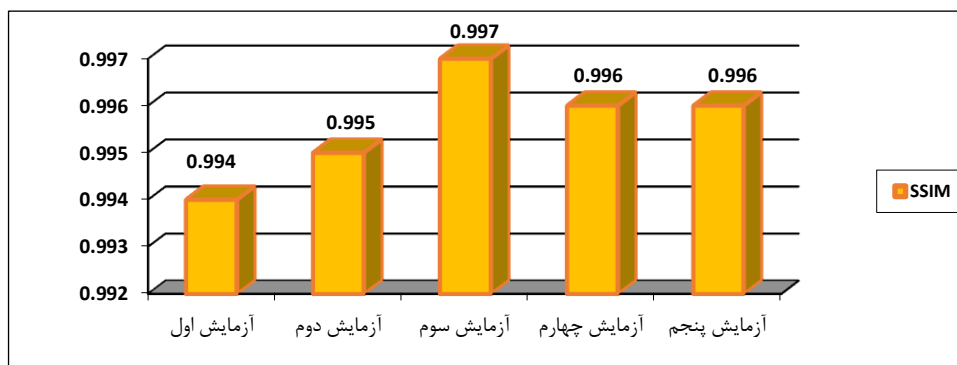
شکل ۴-۷- نتایج معیار آماری RMSE به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر WorldView\_۲



شکل ۴-۸- نتایج معیار آماری SAM به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر WorldView\_۲



شکل ۴-۹- نتایج معیار آماری SNR به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر WorldView\_۲



شکل ۴-۱۰- نتایج معیار آماری SSIM به منظور ارزیابی کفایت تلفیق در فضای فرکانس متعلق به تصویر WorldView\_۲

مقایسه‌ی نتایج حاصل از محاسبه‌ی معیارهای آماری در آزمایش‌های اول و دوم، نقش وزن‌دهی در کمیت‌های شاخص بهینه‌گی به منظور تولید تصویر تلفیقی با کیفیت مطلوب را نشان می‌دهند. از سوی دیگر، ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش‌های سوم تا پنجم نیز بر موفقیت به کارگیری فیلترهای نرم به جای فیلترهای قطعی دلالت دارد. لازم به ذکر است که این موضوع در تحقیقات قبلی نیز به اثبات رسیده است. با مقایسه نتایج عددی گزارش شده در نمودارهای بالا می‌توان ادعا داشت که به کارگیری هم‌زمان فیلترهای نرم گوسین و شاخص شایستگی وزن‌دار (آزمایش سوم) بهترین نتایج را در رقابتی تنگاتنگ نسبت به سایر فیلترهای نرم کسب نموده‌اند. به عبارت بهتر، به کارگیری فیلترهای نرم نتایج بهتری را نسبت به فیلتر قطعی ایجاد می‌کنند.

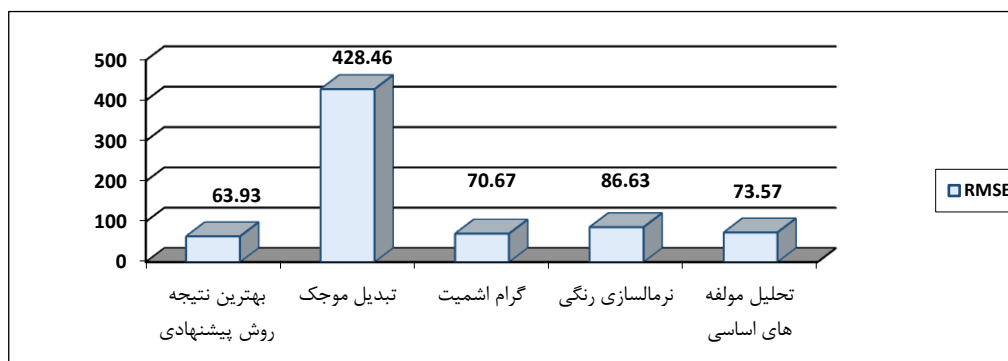
#### ۲\_۳\_۴ رویکرد دوم

در دومین رویکرد ارزیابی نتایج، بهترین نتایج کسب شده از روش پیشنهادی (آزمایش سوم) با روش‌های تلفیق رایج در فضای فرکانس و مکان مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. تبدیل موجک [۷۴ و ۷۵] به عنوان نماینده‌ی دیگری از روش‌های مبتنی بر فضای فرکانس و روش گرام‌اشمیت [۷۶]، نرمال‌سازی رنگی [۷۷] و روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی [۷۶] از جمله روش‌های مرسوم در حوزه مکان، برای این مقایسه انتخاب شده‌اند. لازم به ذکر است که در تبدیل موجک از تکنیک تجزیه‌ی هار استفاده شده است.

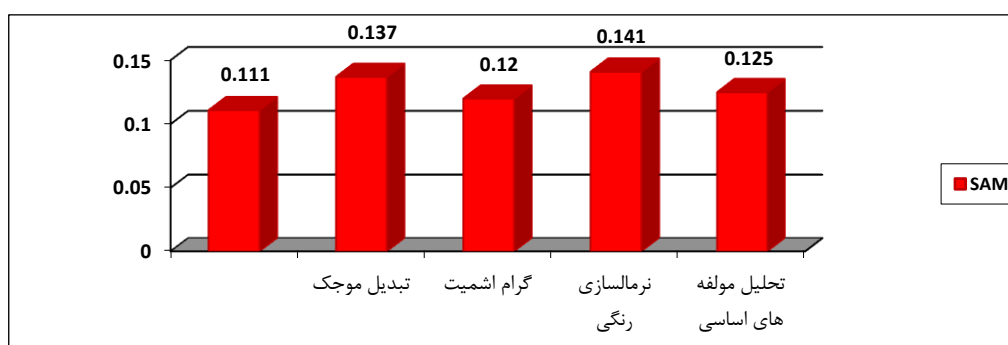
اشکال ۴-۱۱ تا ۴-۱۴ و ۴-۱۵ تا ۴-۱۸ نتایج چهار شاخص RMSE، SAM، SNR و SSIM را

برای این ۴ روش تلفیق و بهترین نتایج کسب شده از روش پیشنهادی (آزمایش سوم) به ترتیب برای

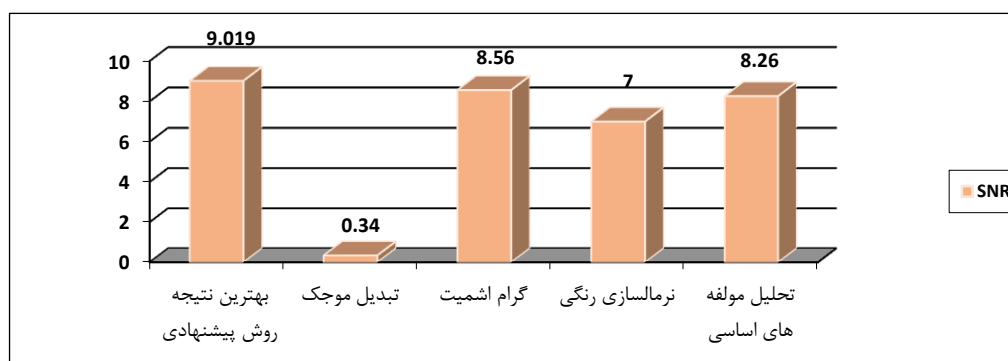
تصاویر GeoEye و World View-۲ را نشان می‌دهند.



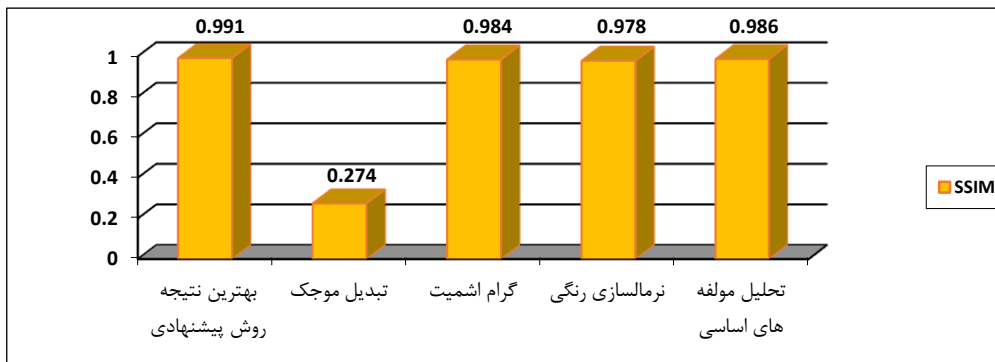
شکل ۴-۱۱- نتایج معیار آماری RMSE روش‌های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye



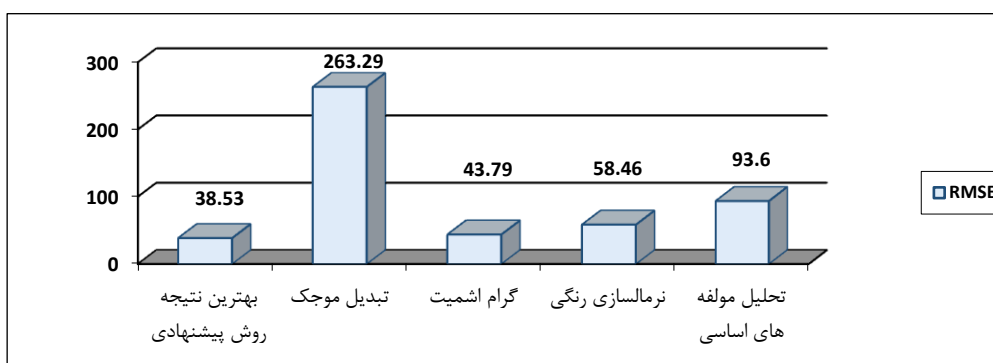
شکل ۴-۱۲- نتایج معیار آماری SAM روش‌های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye



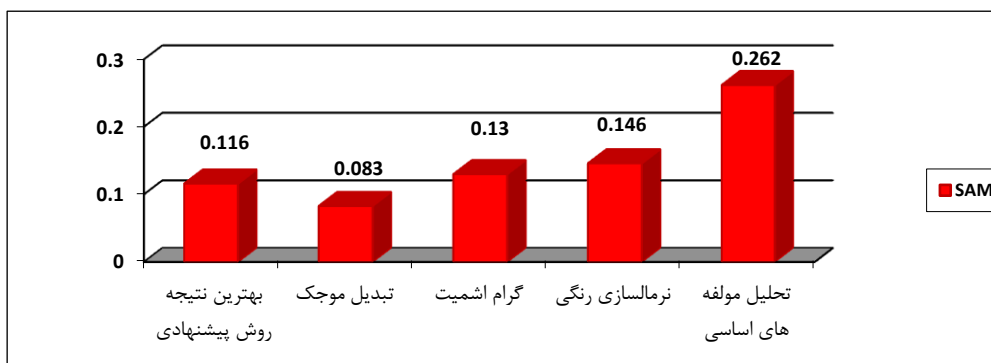
شکل ۴-۱۳- نتایج معیار آماری SNR روش‌های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye



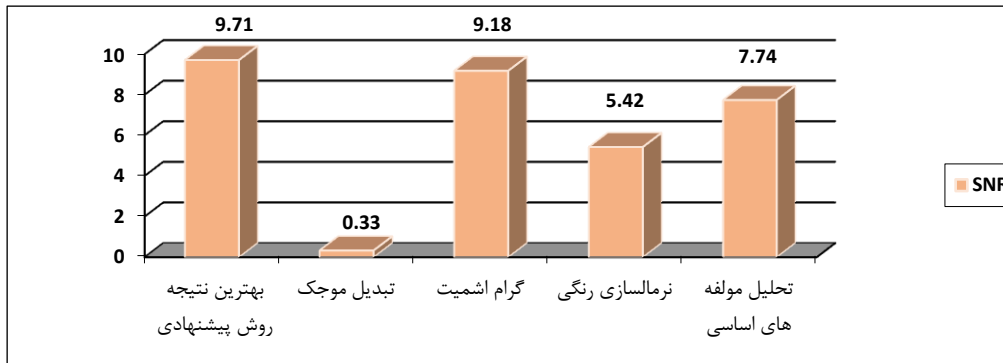
شکل ۴-۱۴- نتایج معیار آماری SSIM روش های تلفیق متعلق به تصویر GeoEye



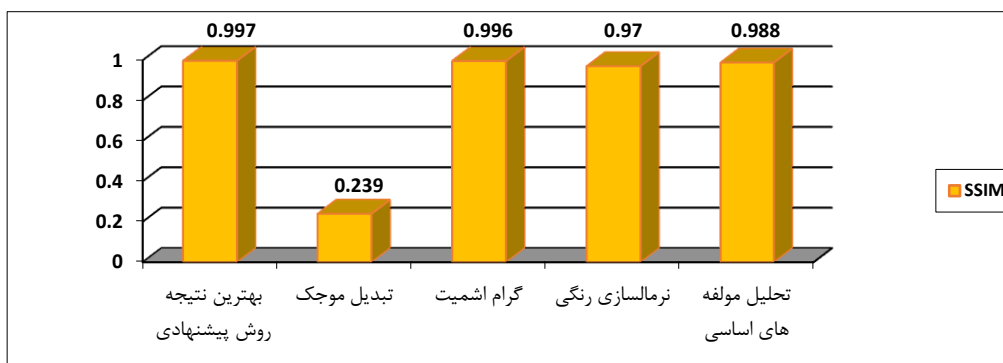
شکل ۴-۱۵- نتایج معیار آماری RMSE روش های تلفیق متعلق به تصویر WorldView\_۲



شکل ۴-۱۶- نتایج معیار آماری SAM روش های تلفیق متعلق به تصویر WorldView\_۲



شکل ۴-۱۷- نتایج معیار آماری SNR روش‌های تلفیق متعلق به تصویر ۲-WorldView



شکل ۴-۱۸- نتایج معیار آماری SSIM روش‌های تلفیق متعلق به تصویر ۲-WorldView

همان‌طور که در نتایج اشکال فوق مشاهده می‌شود، رویکرد پیشنهادی توانسته نتایج دقیق‌تری را در مقایسه با روش‌های مقایسه‌ای کسب نماید. به عبارتی دیگر، رویکرد پیشنهادی توانسته به‌طور متوسط افزایش دقت ۵۵ درصدی در تصاویر GeoEye و ۶۱ درصدی در تصاویر ۲-WorldView را به دنبال داشته باشد. این درصدها مربوط به صرفاً شاخص RMSE بوده ولیکن سایر شاخص‌ها نیز روندی نسبتاً مشابه را برخوردارند.

از نکات قابل توجه در نتایج گزارش شده نمودارهای موجود اختلاف معنادار مقدار شاخص‌های RMSE، SNR و SSIM در روش موجک نسبت به سایر روش‌های مقایسه‌ای است. به نظر می‌رسد این اتفاق ناشی از تمایز توان تفکیک رادیومتریکی تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی باشد. به عبارت بهتر، به دلیل استخراج لبه‌های جهت‌دار در تصاویر پانکروماتیک و تلفیق آن با تصاویر چند طیفی، کنتراست



بیشتری در محل لبه‌ها حادث شده که این موضوع منجر به ایجاد تمایز معناداری با تصاویر مرجع شده است. ناگفته نماند که روش تبدیل موجک به کار گرفته شده صرفاً یک روش استاندارد و پایه بوده و نسخه‌های به‌روزتری از این روش در تحقیقات جدید توسعه یافته است.

باین‌حال شاخص ارزیابی SAM گواه موفقیت‌آمیز بودن نتایج تلفیق به کمک تبدیل موجک می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود اختلاف در لبه‌های تصویری، کماکان انحراف جدی در باندهای طیفی ایجاد نشده است.

#### ۳\_۳\_۴ رویکرد سوم

در آخرین رویکرد ارزیابی نتایج، مقایسه‌ی بصری نتایج صورت گرفته است. در این رویکرد، تصاویر تلفیق شده در روش‌های مقایسه‌ای و نتایج کسب شده از روش پیشنهادی در کنار هم نمایش داده شده‌اند. این کار به درک بصری تمایز روش‌های تلفیق کمک کرده و کیفیت بهتر نتایج روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. اشکال ۴-۱۹ و ۴-۲۰ به ترتیب ترکیب رنگی کاذب تصاویر تلفیق شده GeoEye و WorldView-۲ را نشان می‌دهند.



ت- تصویر چند طیفی مرجع



ب- تصویر چند طیفی



الف- تصویر پانکروماتیک



ح- تصویر تلفیق شده به  
روش نرمال سازی رنگی



ج- تصویر تلفیق شده به  
روش گرام\_اشمیت



ث- تصویر تلفیق شده به  
روش تبدیل موجک



ذ- تصویر تلفیق شده به روش  
پیشنهادی با فیلتر هنینگ



د- تصویر تلفیق شده به روش  
پیشنهادی با فیلتر گوسین



خ- تصویر تلفیق شده مبتنی  
بر تحلیل مؤلفه های اساسی

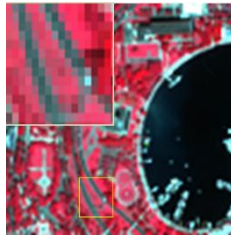


ر- تصویر تلفیق شده به روش  
پیشنهادی با فیلتر بارلت

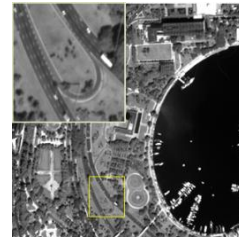
شکل ۴-۱۹- تصاویر تلفیق شده منطقه مطالعاتی اول



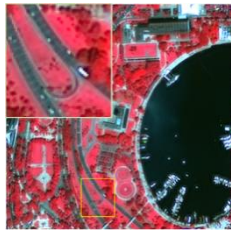
ت- تصویر چند طیفی مرجع



ب- تصویر چند طیفی



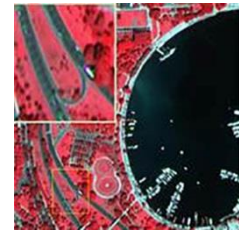
الف- تصویر پانکروماتیک



ح- تصویر تلفیق شده به  
روش نرمال سازی رنگی



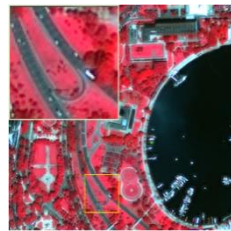
ج- تصویر تلفیق شده به  
روش گرام\_اشمیت



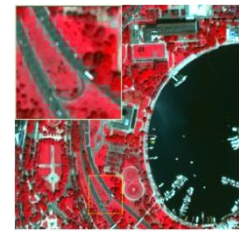
ث- تصویر تلفیق شده  
به روش تبدیل موجک



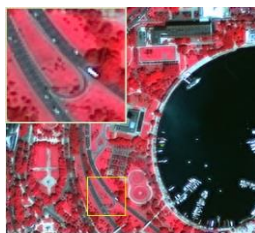
ذ- تصویر تلفیق شده به روش  
پیشنهادی با فیلتر هنینگ



د- تصویر تلفیق شده به روش  
پیشنهادی با فیلتر گوسین



خ- تصویر تلفیق شده مبتنی  
بر تحلیل مؤلفه های اساسی



ر- تصویر تلفیق شده به روش  
پیشنهادی با فیلتر بارلت

شکل ۴-۲۰- تصاویر تلفیق شده منطقه مطالعاتی دوم

در اشکال ارائه شده، نحوه‌ی عملکرد هریک از روش‌های مذکور در تلفیق تصاویر به نمایش گذاشته شده است. ارزیابی بصری حاکی از قابلیت روش پیشنهادی در کاهش اعوجاج مکانی در مرز عوارض بوده و همچنین مشابهت طیفی تصویر تلفیق شده با تصویر مرجع بیانگر توانایی روش پیشنهادی در حفظ اطلاعات طیفی می‌باشد.

## فصل پنجم

### نتیجه گیری و پیشنهادات

در دهه‌های گذشته با پیشرفت شگرفی که در زمینه فن‌آوری سنجش از دور صورت پذیرفته، امکان دستیابی به تصاویری با قدرت تفکیک طیفی و مکانی متفاوت فراهم آمده است. در بسیاری از حوزه‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، لزوم دستیابی به تصاویری با قابلیت تمیز ویژگی‌های طیفی و مکانی پدیده‌های زمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به محدودیت فیزیکی در طراحی سنجنده‌ها، دستیابی به تصویری با ساختار طیفی و مکانی مطلوب، در سایه تلفیق بهینه تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک محقق می‌گردد. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته و الگوریتم‌های تلفیق تصاویر بسیاری توسعه یافته‌اند که هدف تمامی روش‌های موجود ارائه محصولی کارآمد با ویژگی‌های طیفی و مکانی مشابه با تصاویر ورودی بوده است.

در الگوریتم‌های توسعه یافته در حوزه مکان، از قبیل: روش‌های گرام‌اشمیت، نرمال‌سازی رنگی و روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی که از جمله روش‌های مرسوم در حوزه مکان شناخته شده و در این پژوهش نیز به‌عنوان روش‌های مقایسه‌ای برای ارزیابی کیفیت الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، علیرغم کسب موفقیت در زمینه حفظ ساختار مکانی تصویر پانکروماتیک در تصویر تلفیق شده، همچنان با محدودیت ایجاد اعوجاج طیفی در فرآیند تلفیق همراه بوده‌اند. برپایه مطالعات انجام شده در زمینه حوزه‌های تلفیق تصاویر، تکنیک‌های تلفیق در فضای فرکانس از عملکرد بهتری نسبت به روش‌های توسعه یافته در فضای مکان برخوردار بوده‌اند، منتهی مسأله شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترگذاری از جمله چالش مطرح در این زمینه محسوب می‌شود.

در این پژوهش به‌کارگیری تکنیک فیلترگذاری در فضای فرکانس به‌منظور تلفیق تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک در دستور کار قرار گرفت و تلاش شد راهکاری الهام گرفته شده از [۵۳] برمبنای تحلیل‌های هندسی و آماری توزیع داده‌ها در فضای ویژگی و همچنین به‌کارگیری از فیلترهای نرم به موجب شناسایی ابعاد بهینه‌ی فیلترهای تلفیقی، توسعه یابد.

بدین ترتیب، در این پژوهش یک شاخص شایستگی وزن‌دار متشکل از دو شاخص رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی به‌منظور یافتن ابعاد فیلترگذاری در فضای فرکانس به‌منظور تلفیق تصاویر پیشنهاد شد.

به‌کارگیری هم‌زمان این الگوریتم پیشنهادی و فیلترگذاری نرم گوسین توانست بهترین نتایج تلفیق در فضای فرکانس را تأمین سازد. مقایسه‌ی کمی نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی با روش‌های مرسوم تلفیق داده، به‌طور متوسط بهبود دقت (RMSE) نزدیک به ۵۸ درصدی را در دو مجموعه داده این تحقیق به دنبال داشته و سایر پارامترهای ارزیابی نیز بهبود را از خود نشان داده‌اند. در روش پیشنهاد شده با تنظیم وزن دو شاخص رنگ‌پذیری و جزئیات مکانی تلاش شد تا اثرات مربوط به تمایز محتوای تحت پوشش تصاویر و توان تفکیک رادیومتریکی تنظیم شده و نتایج بهتری در مقایسه با حالت بدون وزن کسب گردد. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که استفاده از فیلترگذاری نرم می‌تواند در بهبود دقت نتایج اثرگذار باشد. مواردی همچون: ۱- ارائه راهکاری جهت توسعه شاخص بهینه‌گی در جهت شناسایی ابعاد فیلتر بهینه برای هر باند به‌طور مجزا، ۲- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به‌منظور محاسبه وزن بهینه پارامترهای دخیل در شاخص بهینه‌گی و ۳- افزودن شاخص‌های دیگر به ساختار تابع شایستگی را می‌توان به‌عنوان افق تحقیقاتی آتی در این حوزه برشمرد.

- [۱] <http://isa.ir>.
- [۲] Ritchie, J. C., & Rango, A. (۱۹۹۶). Remote sensing applications to hydrology: introduction. *Hydrological Sciences Journal*, ۴۱(۴), ۴۲۹-۴۳۱.
- [۳] Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A., & Jie, W. (۲۰۱۵). Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, ۵۱, ۴۷-۶۰.
- [۴] Li, J., Luo, J., Ming, D., & Shen, Z. (۲۰۰۵, July). A new method for merging IKONOS panchromatic and multispectral image data. In *Proceedings. ۲۰۰۵ IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, ۲۰۰۵. IGARSS'۰۵. (Vol. ۶, pp. ۳۹۱۶-۳۹۱۹). IEEE.
- [۵] Jinju, J., Santhi, N., Ramar, K., & Bama, B. S. (۲۰۱۹). Spatial frequency discrete wavelet transform image fusion technique for remote sensing applications. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, ۲۲(۳), ۷۱۵-۷۲۶. Zhang, K., Zhang, F., & Yang, S. (۲۰۱۹). Fusion of Multispectral and Panchromatic Images via Spatial Weighted Neighbor Embedding. *Remote Sensing*, ۱۱(۵), ۵۵۷.
- [۶] Zhang, K., Zhang, F., & Yang, S. (۲۰۱۹). Fusion of Multispectral and Panchromatic Images via Spatial Weighted Neighbor Embedding. *Remote Sensing*, ۱۱(۵), ۵۵۷.
- [۷] Hellweger, F. L., Schlosser, P., Lall, U., & Weissel, J. K. (۲۰۰۴). Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, ۶۱(۳), ۴۳۷-۴۴۸.
- [۸] Kaur, V., & Kaur, J. (۲۰۱۵). Comparison of image fusion techniques: spatial and transform domain based techniques. *International Journal of Engineering And Computer Science*, ۴(۰۵).
- [۹] Welch, R. (۱۹۸۷). Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ۵۳(۳), ۳۰۱-۳۰۳.
- [۱۰] Carper, W., Lillesand, T., & Kiefer, R. (۱۹۹۰). The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, ۵۶(۴), ۴۵۹-۴۶۷.



- [10] Manchanda, M. (2017). Fusion of Multispectral and Panchromatic Images based on Fourier Filtering in HSV Color Space. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 1(4), 632-635.
- [11] Li, H., Jing, L., Tang, Y. and Wang, L. (2007). An image Fusion method based on image segmentation for high-resolution remotely-sensed imagery. *Remote Sensing*, 10(5), 790.
- [12] Zhang, N., & Wu, Q. (2008, March). Effects of Brovey transform and wavelet transform on the information capacity of SPOT-Δ imagery. In *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2007: Image Processing* (Vol. 6623, p. 6623-W). International Society for Optics and Photonics.
- [13] Kumar, S. S., & Muttan, S. (2006, May). PCA-based image fusion. In *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XII* (Vol. 6233, p. 62331T). International Society for Optics and Photonics.
- [14] Al-Wassai, F. A., Kalyankar, N. V., & Al-Zuky, A. A. (2011). The IHS transformations based image fusion. *arXiv preprint arXiv:1107.4396*.
- [15] Deshmukh, C. N., & Bajad, N. G. (2016). A comparative study of different image fusion techniques for tone-mapped images. *Int. J. Sci. Eng. Res*, 7(2), 474-478.
- [16] Naidu, V. P. S. (2011, November). Multi-resolution image fusion by FFT. In *2011 International Conference on Image Information Processing* (pp. 1-6). IEEE.
- [17] Ndo, M., & Vetterli, M. (2003). The finite ridgelet transform for image representation. *IEEE Transactions on image processing*, 12(1), 16-28.
- [18] Pappas, O. A., Achim, A. M., & Bull, D. R. (2013). Curvelet fusion of panchromatic and SAR satellite imagery using fractional lower order moments. In *2013 10th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance* (pp. 342-346). IEEE.
- [19] Tu, T. M., Su, S. C., Shyu, H. C., & Huang, P. S. (2001). A new look at IHS-like image fusion methods. *Information fusion*, 2(3), 177-186.
- [20] Varma, H., Fadaie, K., Habbane, M., & Stockhausen, J. (2003). Confusion in data fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 24(4), 627-636.

- [21] Gómez-Chova, L., Tuia, D., Moser, G., & Camps-Valls, G. (2015). Multimodal classification of remote sensing images: A review and future directions. *Proceedings of the IEEE*, 103(9), 1560-1584.
- [22] Pohl, C., & Van Genderen, J. (2016). *Remote sensing image fusion: A practical guide*. Crc Press.
- [23] Le Moigne, J. (2002). Multi-sensor image registration, fusion and dimension reduction. *Online journal of space communication*, 3.
- [24] Solanky, V., & Katiyar, S. K. (2016). Pixel-level image fusion techniques in remote sensing: a review. *Spatial Information Research*, 24(4), 475-483.
- [25] Mitchell, H. B. (2010). *Image fusion: theories, techniques and applications*. Springer Science & Business Media.
- [26] Mitchell, H. B. (2010). *Image fusion: theories, techniques and applications*. Springer Science & Business Media
- [27] Ghassemian, H. (2016). A review of remote sensing image fusion methods. *Information Fusion*, 32, 75-89.
- [28] Pandit, V. R., & Bhiwani, R. J. (2015). Image fusion in remote sensing applications: A review. *International journal of computer applications*, 120(10).
- [29] Zheng, S. (2010). *Pixel-level Image Fusion Algorithms for Multi-camera Imaging System*.
- [30] Pohl, C. and J. L. van Genderen. 2015. Structuring contemporary remote sensing image fusion. *International Journal of Image and Data Fusion* 6 (1):3-21.
- [31] Mhangara, P., Mapurisa, W., & Mudau, N. (2020). Comparison of Image Fusion Techniques Using Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT) 6 Satellite Imagery. *Applied Sciences*, 10(Δ), 1881.
- [32] Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., & Selva, M. (2007, May). MS to Pan image fusion by an enhanced Gram-Schmidt spectral sharpening. In 29th Earsel Symp. New Dev. Challenges Remote Sens., (pp. 1-2).
- [33] Laben, C.A. and Brower, B.V., Eastman Kodak Co, 2000. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. U.S. Patent 6,011,875.

- [۳۴] Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (۲۰۱۵). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons
- [۳۵] Sivagami, R., Vaithiyanathan, V., Sangeetha, V., Ahmed, M. I., Sundar, K. J. A., & Lakshmi, K. D. (۲۰۱۵). Review of image fusion techniques and evaluation metrics for remote sensing applications. *Indian Journal of Science and Technology*, ۸(۳۵), ۱-۷.
- [۳۶] Tai, G. M. and S. I. Nipanikar. ۲۰۱۵. Implementation of image fusion techniques for remote sensing application. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* ۵ (۶): ۱۰۹-۱۱۳.
- [۳۷] Fanelli, A., A. Leo, and M. Ferri. ۲۰۰۱. Remote sensing images data fusion: A wavelet transform approach for urban analysis. Paper read at IEEE/ISPRS Joint Workshop ۲۰۰۱, Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Rome, Italy
- [۳۸] Zhang, Y. and G. Hong. ۲۰۰۵. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images. *Information Fusion* ۶ (۳): ۲۲۵-۲۳۴.
- [۳۹] Jagalingam, P., & Hegde, A. V. (۲۰۱۴). Pixel level image fusion—a review on various techniques. In ۳rd World Conf. on Applied Sciences, Engineering and Technology.
- [۴۰] Zhang, Y. and G. Hong. ۲۰۰۵. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural color IKONOS and QuickBird images. *Information Fusion* ۶ (۳): ۲۲۵-۲۳۴.
- [۴۱] Alfred, H. (۱۹۱۰). Zur theorie der orthogonalen funktionensysteme. *Mathematische Annalen*, ۶۹(۳), ۳۳۱-۳۷۱.
- [۴۲] Shahabianmoghaddam, R., Sahaf, Mohammadzademoghaddam., A., & Pourreza, H.R. (۲۰۱۹). Analyzing the Degree of Wavelet Directional Sensitivity in Smart Recognition of Asphalt Pavement Distress Texture. *Journal of Transformation Engineering*, ۴(۴۱), ۸۰۷-۸۳۲ (in persian).
- [۴۳] Xu, Q., Zhang, Y., Li, B., & Ding, L. (۲۰۱۴). Pansharpening using regression of classified MS and pan images to reduce color distortion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, ۱۲(۱), ۲۸-۳۲.
- [۴۴] Zhang, Y. and G. Hong. ۲۰۰۵. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images. *Information Fusion* ۶ (۳): ۲۲۵-۲۳۴.

- [۴۵] Gangkofner, U. G., Pradhan, P. S., & Holcomb, D. W. (۲۰۰۷). Optimizing the high-pass filter addition technique for image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ۷۳(۹), ۱۱۰۷-۱۱۱۸.
- [۴۶] Ling, Y., Ehlers, M., Uery, E. L., & Madden, M. (۲۰۰۷). FFT-enhanced IHS transform method for fusing high-resolution satellite images. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, ۶۱(۶), ۳۸۱-۳۹۲.
- [۴۷] Moushmi, S., Sowmya, V., & Soman, K. P. (۲۰۱۵). Multispectral and panchromatic image fusion using empirical wavelet transform. *Indian Journal of Science and Technology*, ۸(۲۴), IPL-۳۴۶.
- [۴۸] Kumar, G. G., Sahoo, S. K., & Meher, P. K. (۲۰۱۹). ۵۰ years of FFT algorithms and applications. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, ۳۸(۱۲), ۵۶۶۵-۵۶۹۸.
- [۴۹] Hekim, M., Yurdusev, A. A., & Oral, C. (۲۰۱۹). The Detection and Classification of Microcalcifications in the Visibility-Enhanced Mammograms Obtained by using the Pixel Assignment-Based Spatial Filter. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, ۱۹(۴), ۷۳-۸۲.
- [۵۰] Sonnad, S. (۲۰۱۶, March). A survey on fusion of multispectral and panchromatic images for high spatial and spectral information. In ۲۰۱۶ International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET) (pp. ۱۷۷-۱۸۰). IEEE.
- [۵۱] Trstenjak, B., Mikac, S., & Trstenjak, J. (۲۰۱۸). THE FRAMEWORK FOR FAST SKEW ANGLE DETECTION AND AUTO CORRECTION OF SCANNED DOCUMENTS. *Annals of DAAAM & Proceedings*, ۲۹.
- [۵۲] Safdarinezhad, A., Rahmanizadeh, A., Valadan Zoej, M., Mokhtarzade, M. & Jannati, M. (۲۰۱۱). Robust Method for IKONOS Imagery Fusion in Frequency Domain. *International Conference on Advancements in Electronics and Power Engineering*, pp. ۱۰۳-۱۰۸.
- [۵۳] Hekim, M., Yurdusev, A. A., & Oral, C. (۲۰۱۹). The Detection and Classification of Microcalcifications in the Visibility-Enhanced Mammograms Obtained by using the Pixel Assignment-Based Spatial Filter. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, ۱۹(۴), ۷۳-۸۲.
- [۵۴] Makandar, A. and Halalli, B., "Image enhancement techniques using highpass and lowpass filters," *International Journal of Computer Applications*, Vol. ۱۰۹, No. ۱۴, ۲۰۱۵, pp. ۱۲-۱۵.

- [55] Dogra, A., & Dogra, A. (2015). Performance comparison of gaussian and elliptic high pass filter. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 3(1), 93-96.
- [56] Patanavijit, V. (2019). Performance Analysis of Digital FIR LP Filter Implementation based on  $\Delta$  Window Techniques: Rectangular, Barlett, Hann, Hamming and Blackman. *International Journal of Simulation--Systems, Science & Technology*, 20(3).
- [57] Alparone, L., B. Aiazzi, S. Baronti, A. Garzelli, F. Nencini, and M. Selva. 2008. Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 74 (2):193-200.
- [58] Aiazzi, B., L. Alparone, S. Baronti, A. Garzelli, and M. Selva. 2012. Twenty-five years of pansharpening: A critical review and new developments. In *Signal and Image Processing for Remote Sensing*, edited by C. H. Chen. Boca Raton, FL: CRC Press.
- [59] Khan, M. M., J. Chanussot, B. Siouar, and J. Osman. 2008. Using QNR index as decision criteria for improving fusion quality. Paper read at 7th International Conference on Advances in Space Technologies, 2008. ICAST 2008, Islamabad, Pakistan.
- [60] Pushparaj, J., & Hegde, A. V. (2017). Evaluation of pan-sharpening methods for spatial and spectral quality. *Applied Geomatics*, 9(1), 1-12.
- [61] Zhong, J., Yang, B., Huang, G., Zhong, F., & Chen, Z. (2016). Remote sensing image fusion with convolutional neural network. *Sensing and Imaging*, 17(1), 10.
- [62] Jagalingam, P., & Hegde, A. V. (2015). A review of quality metrics for fused image. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 133-142.
- [63] Boztoprzk, H. (2016). An alternative image quality assessment method for blurred images. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 4(1), 46-50.
- [64] Dou, W. (2018). Image degradation for quality assessment of pan-sharpening methods. *Remote Sensing*, 10(1), 154.
- [65] Pistonesi, S., Martinez, J., Ojeda, S. and Vallejos, R., "Structural similarity metrics for quality image fusion assessment: Algorithms," *Image Processing on Line*, 2018, pp. 345-368.

- [۶۶] Denipote, J. G., & Paiva, M. S. V. (۲۰۰۸, December). A fourier transform-based approach to fusion high spatial resolution remote sensing images. In ۲۰۰۸ Sixth Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing (pp. ۱۷۹-۱۸۶). IEEE.
- [۶۷] Hu, L., Xiangli, B., Su, L., & Yuan, Y. (۲۰۱۲, July). Fusion of multispectral and panchromatic images using lab transform based on fourier filtering. In ۲۰۱۲ IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. ۲۲۸۴-۲۲۸۷). IEEE.
- [۶۸] Bashropur, M., Valadan Zoej, M. J., & Maghsoudi, Y. (۲۰۱۷). FFT-PCA Method for Fusing Remote Sensing Imagery. Engineering Journal of Geospatial Information Technology, ۵(۲), ۱۲۳-۱۴۰ (in persian).
- [۶۹] Garzelli, A., Nencini, F., & Capobianco, L. (۲۰۰۷). Optimal MMSE pan sharpening of very high resolution multispectral images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, ۴۶(۱), ۲۲۸-۲۳۶.
- [۷۰] Alparone, L., Aiazzi, B., Baronti, S., & Garzelli, A. (۲۰۱۵). Remote sensing image fusion. Crc Press.
- [۷۱] Dou, W. (۲۰۱۸). Image degradation for quality assessment of pan-sharpening methods. Remote Sensing, ۱۰(۱), ۱۵۴.
- [۷۲] [http://www. digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com).
- [۷۳] Singh, A., & Singh, R. K. (۲۰۱۵). A Survey on Restoration Techniques of Atmospheric Turbulence Blur Image. Journal of Innovation in Computer Science and Engineering, ۴(۲), ۱-۹.
- [۷۴] Pandit, V. R., & Bhiwani, R. J. (۲۰۱۵). Image fusion in remote sensing applications: A review. International journal of computer applications, ۱۲۰(۱۰).
- [۷۵] Welch, R. (۱۹۸۷). Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, ۵۳(۳), ۳۰۱-۳۰۳.
- [۷۶] Vrabel, J., Doraiswamy, P., & Stern, A. (۲۰۰۲, April). Application of hyperspectral imagery resolution improvement for site-specific farming. In ASPRS ۲۰۰۲ Conference Proceedings.

## **Abstract**

Image fusion is known as a synergetic process for merging multispectral and panchromatic images contents. So far, various methods have been developed in which the usage of the frequency domain is one of them. The frequency-based image fusion techniques are performed using high and low pass filters. So, the determination of the sizes of these filters would be a challenge. In this thesis, a weighted index is proposed to determine the sizes and shapes of the low and high filters in fusion of the panchromatic and multispectral images. In the proposed method, the weights of the spectral and spatial indicators are independently estimated for each image. So, the effects of the differentiation of the image contents and different range of the indicators are properly adjusted to reach the optimum filtering. The comparison of the best results obtained from the proposed method with the Wavelet Transform, Gram-Shmidt, Color Normalized (CN) Spectral Sharpening and Principal Component Analysis (PCA) fusion methods, in the used datasets, was indicated an average improvement of 6.4% in RMSEs.

**Keywords:** *Remote Sensing, Image Fusion, Frequency domain, Fast Fourier Transform, Filtering*



Ministry of Science, Research and Technology

Tafresh University

Geodesy and Surveying Engineering Department

MSc Thesis

Title

Determination of the optimum parameters for fusing  
multispectral and panchromatic images in the frequency  
domain

By

Kobra Yaghoubi Tarki

Supervisors

Dr. Alireza Safdarinezhad

Dr. Marzieh Jafari

October ۲۰۲۰



