

مقایسه محتوای اطلاعاتی باندهای سنجنده های TM و ETM⁺ در محیط های بیابانی و شهری ایران

سید کاظم علوی پناه - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
امیر هوشنگ احسانی - دانشجوی دوره دکتری مؤسسه فنی رویال، استکهلم سوئد
حمیدرضا متین فر - دانشجوی دوره دکتری خاکشناسی، دانشگاه تهران
عمار رفیعی امام - پژوهشگر بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع
رضا امیری - کارشناس ارشد سنجنش دور دانشگاه تربیت مدرس

دریافت مقاله: ۸۲/۷/۷

تأیید نهایی: ۸۵/۱/۲۵

چکیده

ماهواره لندست (۵) در تاریخ اول مارس ۱۹۸۴ و لندست (۷) در تاریخ پانزدهم آوریل ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شدند. از آنجائی که باندهای (۵-۱) و (۷) سنجنده هر دو ماهواره دارای قدرت تفکیک زمینی (۳۰×۳۰) می باشند و تنها تفاوت آنها در باند حرارتی (باند ۶) است، لذا می توان کارایی و محتوای اطلاعاتی آنها را در یک مکان خاص مقایسه نمود. بدین منظور دو منطقه بیابانی و یک شهر واقع در منطقه نیمه خشک با شرایط مختلف برای مطالعه انتخاب شدند: منطقه اول در پلایای دامغان که در طول دوره بررسی تغییرات پوشش اراضی^۱ در آن رخ داده است و منطقه دوم در دشت کاشان که تغییرات پوشش اراضی در آن وجود نداشت. منطقه شهری تبریز به عنوان سومین منطقه در نظر گرفته شد. در منطقه پلایای دامغان از داده های ETM⁺ به تاریخ بیستم ژوئیه ۲۰۰۰ و TM لندست (۵) به تاریخ پنجم سپتامبر ۱۹۸۸ استفاده گردید. در منطقه کاشان از داده های ETM⁺ به تاریخ نهم اوت ۲۰۰۲ و TM لندست (۵) به تاریخ سی ام مه ۱۹۹۸ استفاده شد. تصاویر TM به تاریخ هجدهم اوت ۱۹۹۸ و ETM⁺ به تاریخ دوم اوت ۲۰۰۱ منطقه تبریز مورد استفاده قرار گرفتند. در ابتدا زمان گذر ماهواره های لندست (۵) و لندست (۷) بررسی شد. سپس به منظور مقایسه دقیق، داده های فوق تصحیح هندسی و زمین مرجع شدند. در منطقه دامغان اثر تغییرات با استفاده از روش های آماری و ریاضی حذف شد و میران همبستگی باندها در حالت قبل و بعد از حذف تغییرات مقایسه شد. در منطقه کاشان نیز با توجه به آنکه تغییرات پوشش اراضی وجود نداشت، تنها همبستگی و روابط آماری بین باندها بررسی شد. در منطقه تبریز نمونه ها از مناطق تغییر نیافته مرکز شهر و حاشیه شهر انتخاب شدند. همچنین به بررسی باند حرارتی سنجنده ETM⁺ در دو حالت Low Gain و High Gain پرداخته شد. نتایج نشان داد که در هر دو منطقه همبستگی ما بین باند حرارتی و باندهای انعکاسی در سنجنده ETM⁺ نسبت به سنجنده TM کمتر می باشد که بیانگر محتوای اطلاعاتی بیشتر این باند می باشد. علت تفاوت های بین باندهای سنجنده های TM و ETM⁺ می تواند ناشی از تفاوت در زمان تصویربرداری و ارتفاع و آزیموت متفاوت خورشید و تفاوت در ضرایب کالیبراسیون باشد. تحقیقات بیشتری برای مقایسه محتوای اطلاعاتی داده های TM و ETM⁺ که دارای زمان کاملاً یکسانی باشند، باید صورت گیرد.

واژگان کلیدی: TM، ETM⁺، باند حرارتی، محتوای اطلاعاتی، سنجنش از دور.

مقدمه

سنجنده نقشه بردار موضوعی^۲ TM لندست (۵) در تاریخ اول مارس ۱۹۸۴ به فضا پرتاب شد. این سنجنده در واقع یک پویسگر اپتیکال- مکانیکال بوده که انرژی دریافتی در نواحی مرئی، مادون قرمز انعکاسی و حرارتی طیف الکترومغناطیسی را ثبت می کند. داده های لندست TM دارای توان تفکیک زمینی ۳۰×۳۰ متر برای باندهای (۵-۱) و

^۱ -Land cover

^۲ Thematic mapper

(۷) بوده و باند مادون قرمز حرارتی (باند ۶) دارای توان تفکیک زمینی 120×120 متر می باشد. سولومونز^۱ (۱۹۸۲) اذعان داشت که با توجه به اصلاحاتی که بر روی توان تفکیک طیفی و رادیومتریک سنجنده TM نسبت به MSS بعمل آمده، محتوی اطلاعاتی TM نیز دو برابر MSS شده است.

لندست (۷) در پانزدهم آوریل ۱۹۹۹ توسط موشک دلتای ۱۱ به فضا پرتاب شد و حاوی سنجنده ETM+ می باشد. در این سنجنده توان تفکیک زمینی باند ترمال به ۶۰ متر بهبود یافته و باند پانکروماتیک (باند ۸) با توان تفکیک زمینی 15×15 متر اضافه گردید.

از آنجائی که باندهای (۵-۱) و (۷) سنجنده ETM+ از نظر توان تفکیک زمینی مشابه سنجنده های TM لندست (۴ و ۵) می باشد و تنها تفاوت آنها در باند حرارتی است، لذا می توان کارایی و محتوای اطلاعاتی آنها را در یک زمان و مکان خاص مقایسه نمود.

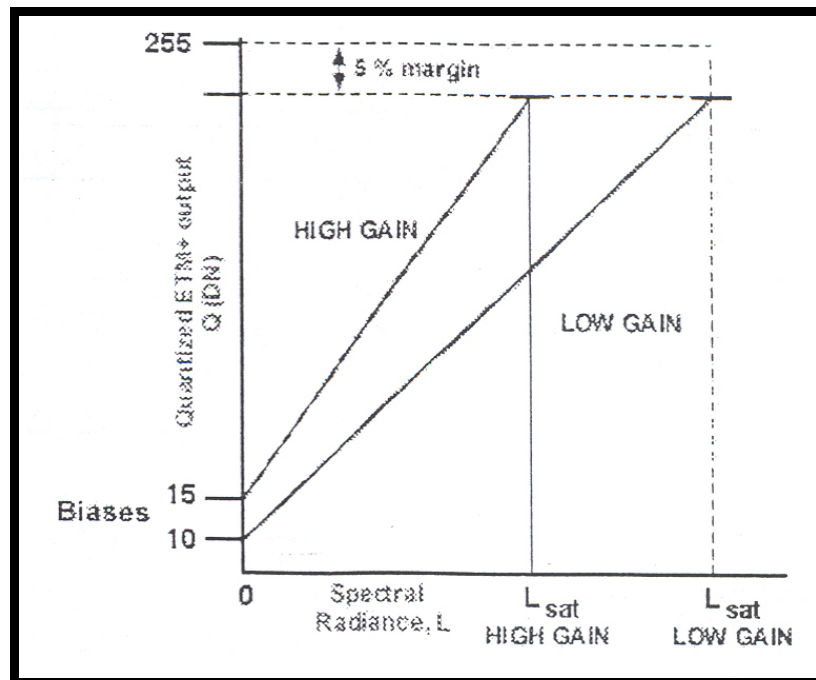
از طرف دیگر باند حرارتی سنجنده ETM+ در دو حالت High Gain و Low Gain ثبت شده و در اختیار کاربران قرار می گیرد که محتوای اطلاعاتی آنها با توجه به شرایط متفاوت تصویربرداری می تواند متفاوت باشد. هدف اصلی از حالت های High Gain و Low Gain این است که از توان تفکیک رادیومتریک ۸ بیتی هر پیکسل قبل از اشباع شدگی سنجنده حداکثر استفاده بعمل آید. برای همه باندهای طیفی سنجنده ETM+ میزان Low Gain حدود ۱/۵ برابر High Gain است. مقادیر مرجع طیفی Lmax و Lmin در دو حالت High Gain و Low Gain با همدیگر متفاوت است. شکل شماره (۱) محدوده High Gain و Low Gain را در تصاویر سنجنده ETM+ نشان می دهد. Lmax و Lmin در تبدیل ارزش های رقومی به تابش طیفی^۲ و تصحیحات آتمسفری و نرمال کردن شرایط آتمسفری در تصاویر با زمان های متفاوت، مورد استفاده قرار می گیرند؛ به طوری که Lmin تابندگی مربوط به ارزش رقومی صفر و Lmax حداقل تابندگی مورد نیاز برای تولید حداکثر ارزش داده می باشد.

بنابراین هدف از این تحقیق مقایسه محتوای اطلاعاتی باندهای حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ است. علاوه بر این، کارایی محتوای اطلاعاتی باندهای انعکاسی و حرارتی TM و ETM+ در بارزسازی تغییرات مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت.

^۱ - Solomons

^۲ - Spectral Radiance

شکل ۱- محدوده High Gain و Low Gain در تصاویر سنجنده ETM+

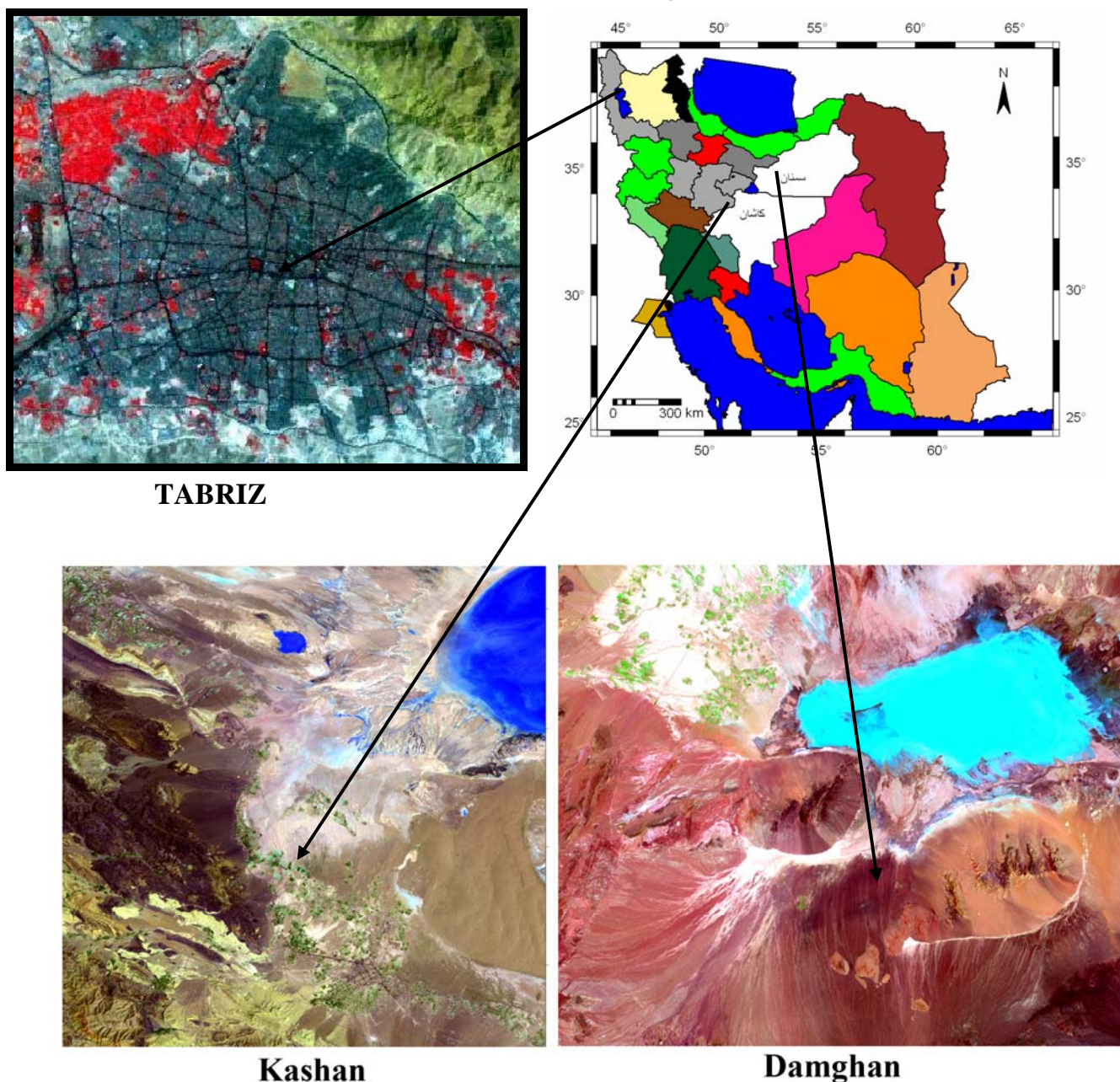


مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه:

در این تحقیق دو منطقه بیابانی که در یکی از آنها (منطقه پلایای دامغان) در طول زمان تغییرات پوشش اراضی رخ داده بود و منطقه دیگر (منطقه ای از دشت کاشان) که در طول زمان دارای شرایط یکسانی در سنجنده های TM و ETM+ بود همراه با یک منطقه شهری (تبریز) که شاهد تغییرات کاربری ناشی از گسترش شهر بود، انتخاب شدند. شکل شماره (۲) موقعیت این مناطق در ایران را نشان می دهد.

شکل ۲- موقعیت مناطق مطالعاتی در ایران



روش تحقیق

برای بررسی محتوای اطلاعاتی دو سنجنده در منطقه دامغان از داده‌های رقومی سنجنده ETM+ مربوط به تاریخ بیستم ژوئیه ۲۰۰۰ و TM لندست (۵) به تاریخ پنجم سپتامبر ۱۹۸۸ با ردیف و گذر ۳۵-۱۶۲ استفاده گردید. تصاویر رقومی استفاده شده در منطقه کاشان نیز مربوط به سنجنده ETM+ به تاریخ نهم اوت ۲۰۰۲ و سنجنده TM به تاریخ سی ام مه ۱۹۹۸ با ردیف و گذر ۳۶-۱۶۴ می‌باشد. در منطقه تبریز از تصاویر TM به تاریخ هجدهم اوت ۱۹۹۸ و ETM+ به تاریخ دوم اوت ۲۰۰۱ با ردیف و گذر ۳۴-۱۶۸ استفاده شد.

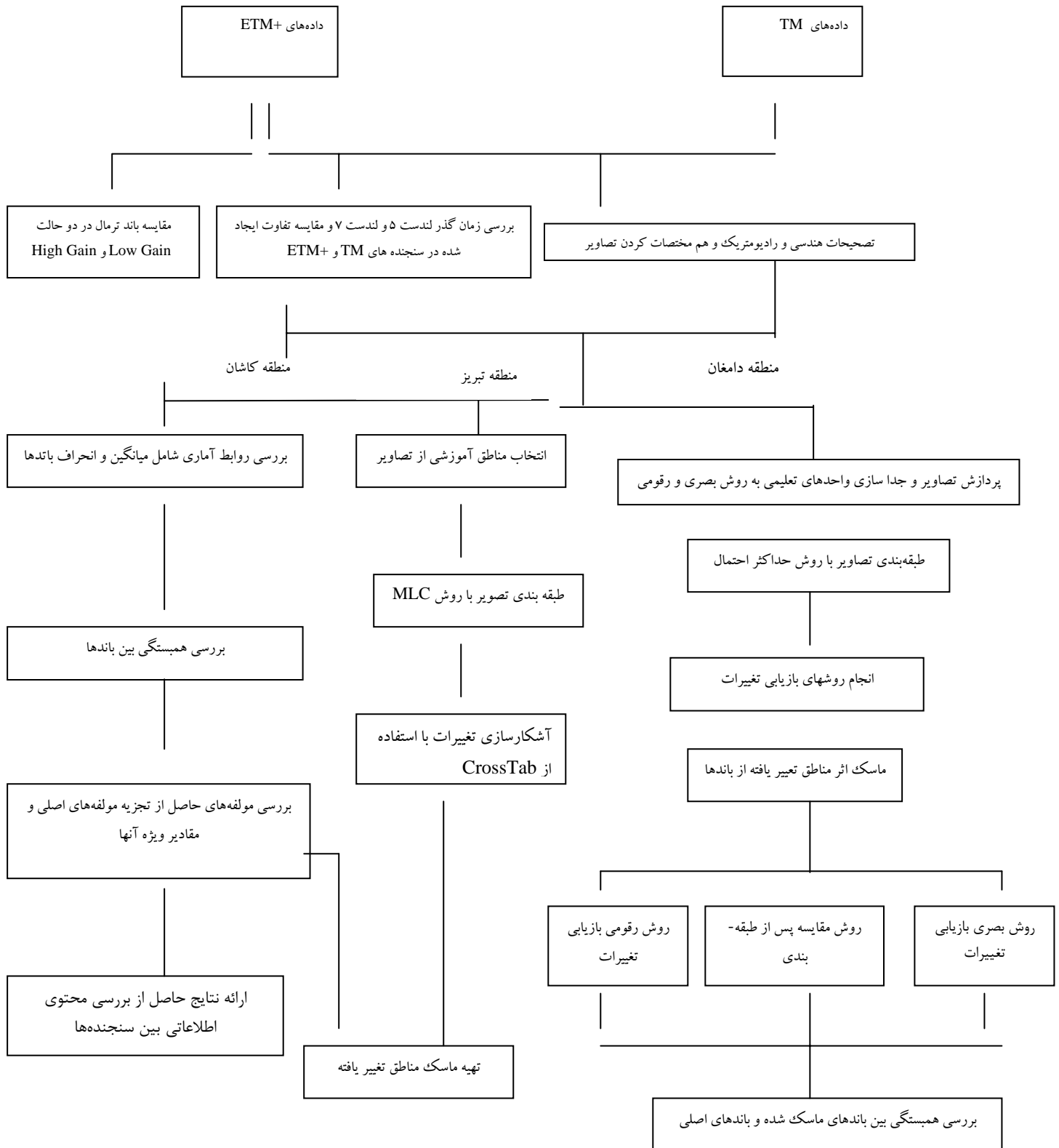
این بررسی با توجه به آگاهی از اختلافات زمانی بین داده‌های مورد بررسی انجام شد تا تأثیر تفاوت‌ها نیز آشکار گردد. برای مقایسه دقیق بین باندهای TM و ETM⁺ و پی بردن به ارزش‌های اطلاعاتی آنها در صورتی که در منطقه مطالعاتی در طول زمان تغییراتی رخ داده بود (مانند تغییرات کاربری، پوشش اراضی و یا تغییرات ناشی از اثرات رادیومتریکی در سنجنده‌ها و باندها)، اثر تغییرات از باندها خنثی گردید تا منطقه در دو تاریخ مختلف و با دو سنجنده مختلف در شرایط یکسانی بررسی شوند.

بدین منظور در ابتدا تصاویر از لحاظ هندسی و رادیومتریکی مورد بررسی قرار گرفته و در صورت نیاز عملیات تصحیح بر روی آنها صورت گرفت. سپس در منطقه دامغان که در طول زمان دچار تغییرات پوشش اراضی گردیده بود، میزان تغییرات آن با توجه به باندهای سنجنده TM و ETM⁺ بررسی شد. سپس در هر سه منطقه به بررسی آماری باندهای مختلف سنجنده‌های TM و ETM⁺ شامل بررسی میانگین و انحراف معیار باندهای اصلی پرداخته شد. همبستگی بین باندهای دو سنجنده و همچنین مؤلفه‌های اصلی نیز بررسی شد.

همچنین زمان گذر لندست (۵) و لندست (۷) که سکوه‌های سنجنده‌های مورد نظر می‌باشند نیز مورد بررسی قرار گرفت. باند حرارتی سنجنده ETM⁺ نیز در دو حالت Low Gain و High Gain بررسی گردید.

شکل شماره (۳) فلوجارت انجام تحقیق را در مناطق مطالعاتی نشان می‌دهد.

شکل ۳- فلوجارت روش تحقیق



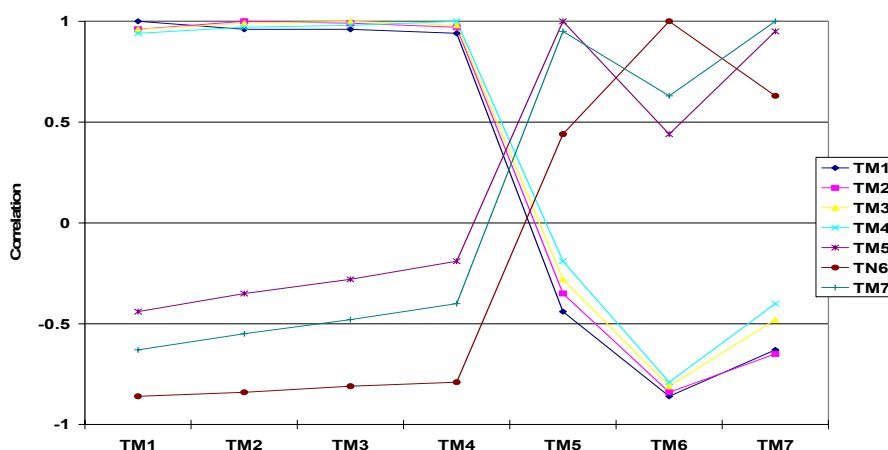
نتایج

همان طور که ذکر شد، برای پی بردن به ارزش های اطلاعاتی سنجنده های مختلف لندست، بررسی ها در سه منطقه با شرایط مختلف و در دو زمان مختلف انجام شد. الف) در منطقه دامغان که تغییرات پوشش اراضی وجود داشت ب) منطقه کاشان که تغییرات پوشش اراضی وجود نداشت و ج) منطقه تبریز که تغییرات پوشش اراضی وجود داشت. نتایج بررسی ها در مناطق فوق به تفکیک ارائه شده است.

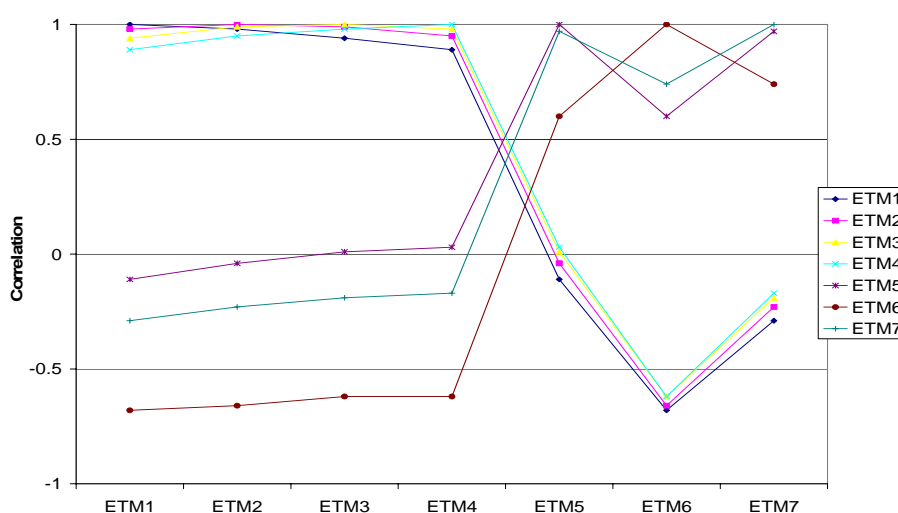
نتایج بررسی ها در منطقه دامغان:

اشکال شماره (۵ و ۶) همبستگی بین باندهای TM و ETM+ را در منطقه دامغان نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود روند همبستگی بین باندها بسیار به یکدیگر شبیه است.

شکل ۵- همبستگی بین باندهای TM در منطقه دامغان



شکل ۶- همبستگی بین باندهای ETM+ در منطقه دامغان



به منظور مقایسه بهتر محتوای اطلاعاتی سنجنده TM و ETM+ در منطقه دامغان، تغییرات کاربری و پوشش اراضی بازسازی شد و اثر تغییرات از باندها حذف گردید. به همین دلیل ابتدا به کمک تفسیر بصری عکس های هوایی و بازدیدهای صحرائی شش کلاس عمده تعلیمی در منطقه تعریف گردید (جدول ۱) و تغییرات آنها به صورت بصری مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- ویژگی کلاس های تعلیمی

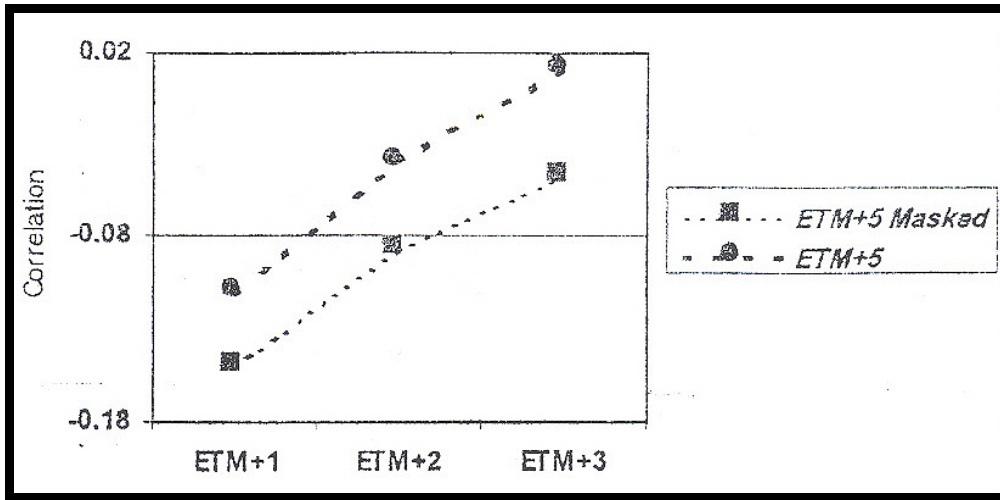
کد	نام کلاس	ویژگی
A	پوشش گیاهی	شامل صیفی جات، پسته و اراضی کشاورزی که بیشتر در شمال غربی منطقه وجود دارد.
B	پوسته نمکی (پیشروی کویر)	بیشتر در سطوح کویر وجود دارد. رنگ آن سفید و سطح آن سفت می باشد. سطح آب زیرزمینی کمتر از ده سانتی متر است.
C	اراضی پف کرده شور	این نواحی عمدتاً در شمال منطقه واقع شده، بسیار شور و قلیا و شیب کم و پف کرده می باشد. پوشش گیاهی ضعیف است.
D	اراضی رسی سیلنتی قهوه ای	در منطقه جلگه رسی جنوب کویر واقع شده اند و تشکیل آنها به شدت تحت تأثیر رژیم آبی منطقه است. شیب کم و شوری و قلیائیت به دلیل ورود زه آب های شور و سطح بالای آب زیرزمینی، بالاست. بافت خاک سنگین است.
F	اراضی بیابانی (بدون تغییر)	شامل کوه ها، دشت سرها، تپه های ماسه ای و اراضی شنی است که عمدتاً بدون تغییر مانده اند

با توجه به نواحی تعریف شده به عنوان مناطق تعلیمی اقدام به طبقه بندی اراضی با الگوریتم حداکثر احتمال گردید. سپس با کمک روش های مختلف بازیابی تغییرات نظیر رویهم اندازی تصاویر، تفریق تصاویر، تقسیم تصاویر اقدام به بازسازی تغییرات در منطقه گردید و نقشه تغییرات منطقه تهیه شد. سپس مناطق تغییر یافته از تک تک باندهای ETM+ و TM ماسک گردید و همبستگی و محتوای اطلاعاتی باندهای جدید مورد بررسی قرار گرفت.

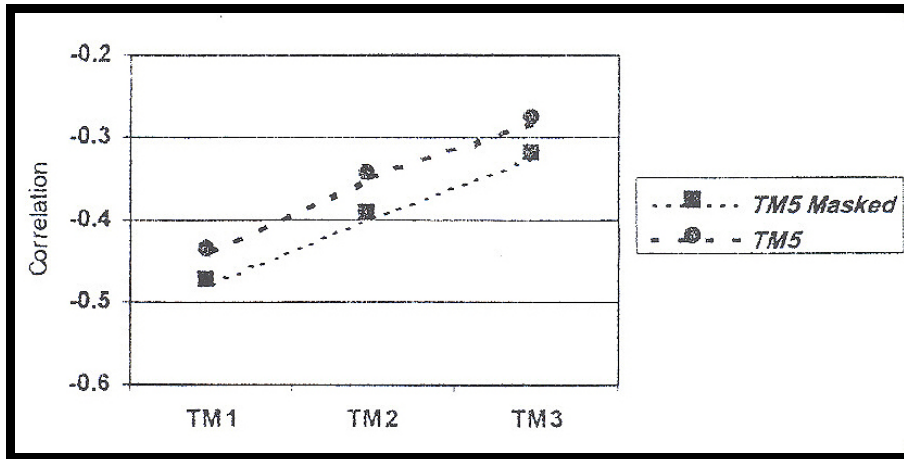
در حالت اولیه باندهای انعکاسی (باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴) دارای همبستگی بالا و مثبت با یکدیگرند در حالی که با باندهای (۵، ۶ و ۷) همبستگی پائین و منفی دارند (شکل شماره ۵ و ۶). نتایج نشان داد در صورتی که تغییرات از باندها ماسک گردد، همبستگی بین باندها افزایش می یابد.

شکل شماره (۷) روند همبستگی بین باند ETM5 و شکل شماره (۸) روند همبستگی بین باندهای TM5 را با باندهای مرئی در کل منطقه و منطقه بدون تغییر نشان می دهد. همان گونه که از نمودارهای فوق مشهود است، در هر دو سنجنده با حذف اثر تغییرات همبستگی در جهت منفی افزایش پیدا کرده، اما این روند در سنجنده ETM+ مشهودتر است.

شکل ۷- نمودار روند همبستگی بین باند ETM5 و باندهای مرئی

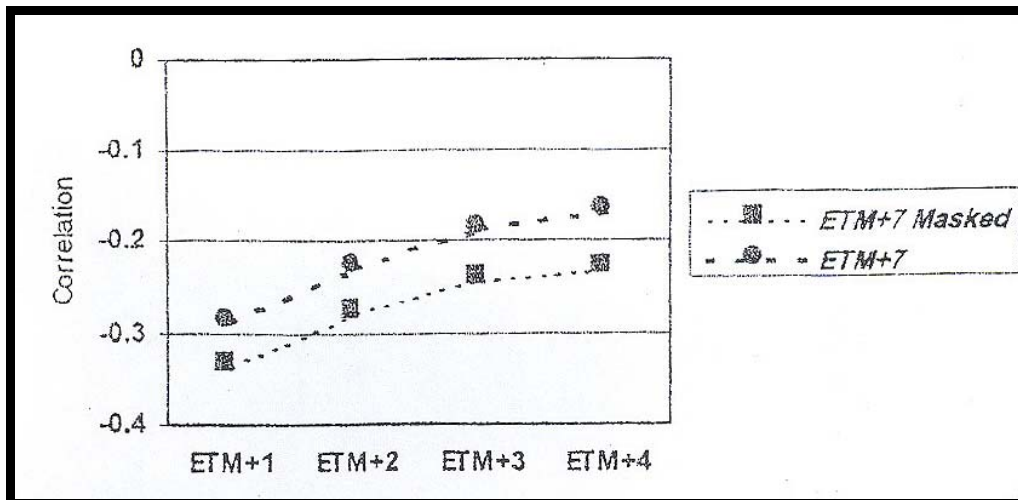


شکل ۸- نمودار روند همبستگی بین باند TM5 و باندهای مرئی

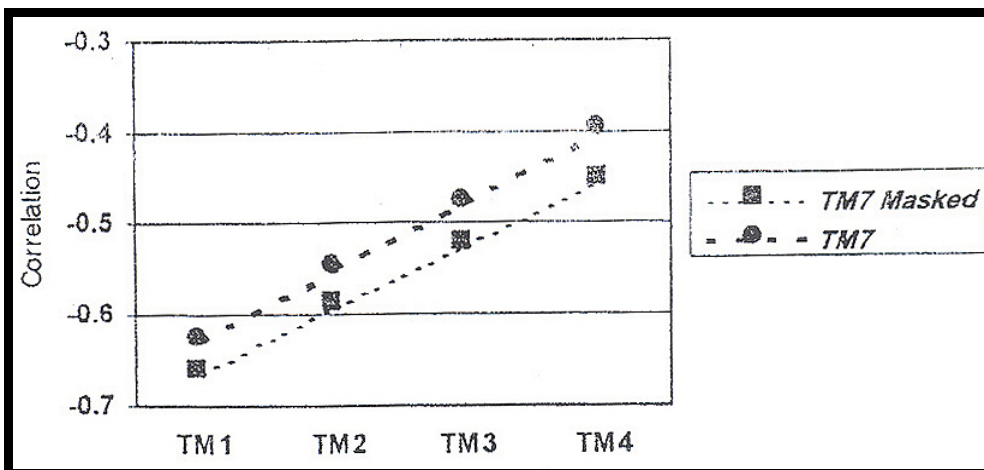


اشکال (۹ و ۱۰) این موضوع را در مورد باند (۷) نشان می دهد. در این نمودارها نیز با حذف اثر تغییرات باندها، همبستگی بین باندهای انعکاسی در جهت منفی افزایش پیدا کرده است.

شکل ۹- نمودار روند همبستگی بین باند ETM7 و باندهای انعکاسی

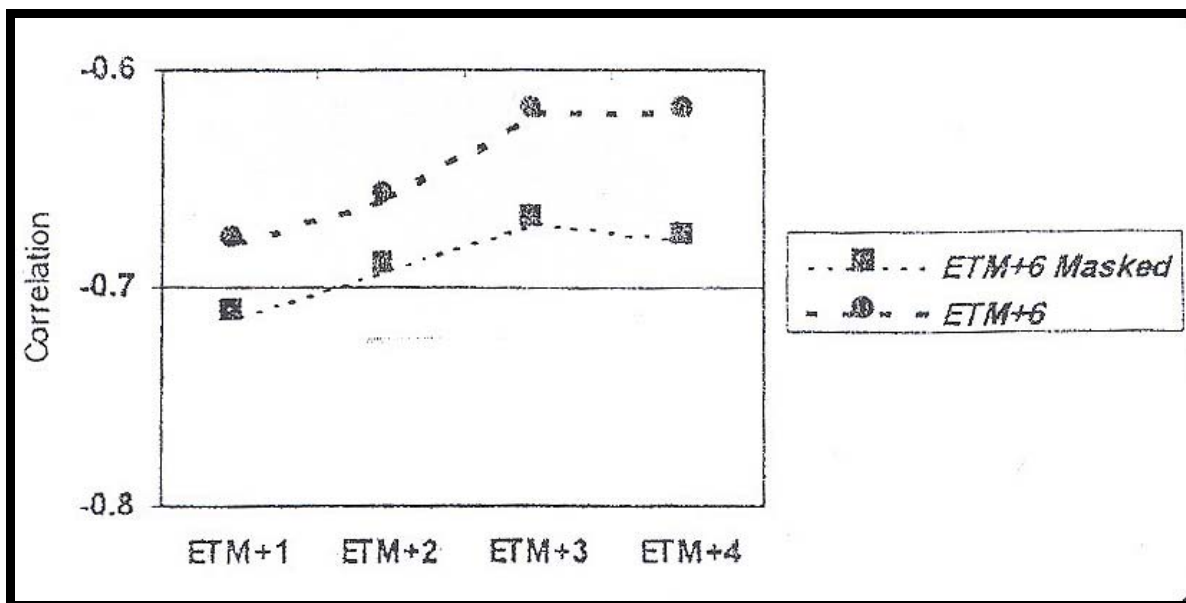


شکل ۱۰- نمودار روند همبستگی بین باند TM7 و باندهای انعکاسی

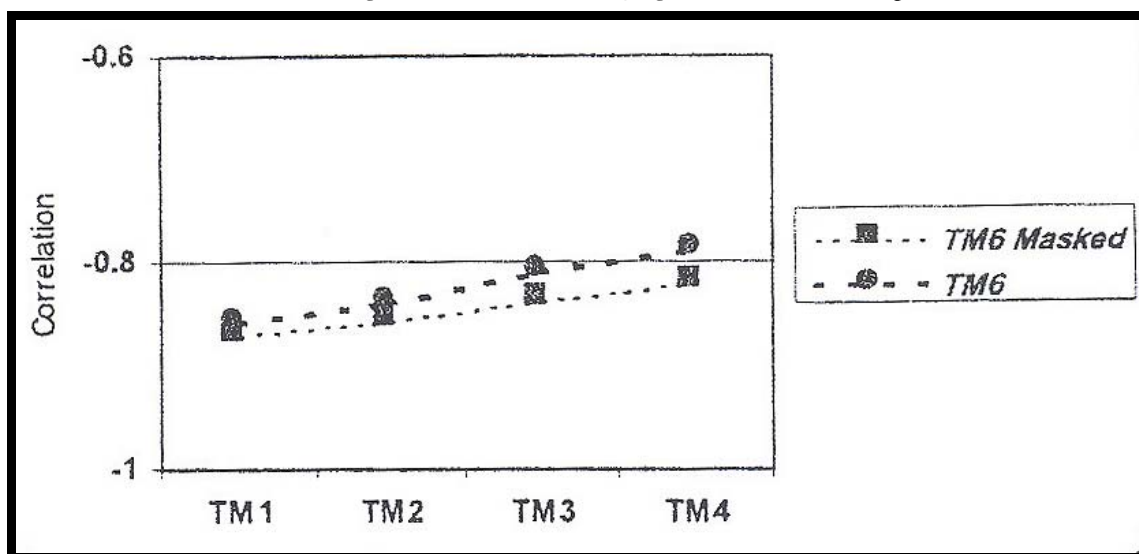


بررسی ها در مورد باند حرارتی نیز انجام شد. اشکال شماره (۱۱ و ۱۲) روند همبستگی باند حرارتی (باند ۶) را با باندهای انعکاسی نشان می دهد. در سنجنده ETM+ همبستگی بین باند حرارتی و باندهای انعکاسی با حذف تغییرات بسیار افزایش پیدا کرده است؛ اما در سنجنده TM چندان تغییری احساس نمی شود. به طور کلی همبستگی بین باند ترمال و باندهای انعکاسی در سنجنده ETM+ کمتر از سنجنده TM می باشد و این شاید به دلیل بهبود و توان تفکیک زمینی بالاتر باند ترمال در این سنجنده باشد و از این رو محتوای اطلاعاتی و نقش باند حرارتی در تکمیل اطلاعات باندهای انعکاسی بالاتر و بیشتر است.

شکل ۱۱- نمودار روند همبستگی بین باند ترمال و باندهای انعکاسی در سنجنده ETM+



شکل ۱۲- نمودار روند همبستگی بین باند ترمال و باندهای انعکاسی در سنجنده TM



نتایج بررسی ها در منطقه کاشان

پارامترهای آماری:

در ابتدا میانگین و انحراف معیار باندهای مختلف در سنجنده های TM و ETM⁺ مورد بررسی قرار گرفت (جدول شماره ۲).

جدول ۲- پارامترهای آماری باندهای سنجنده ETM⁺ و TM

باند های مختلف سنجنده							پارامترهای آماری	سنجنده TM، سال ۱۹۹۸
باند ۷	باند ۶	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند ۱		
۵۳/۷۲	۱۷۱/۳۶	۸۶/۷۴	۵۹/۴۷	۶۳/۲۶	۴۸/۷۴	۹۷/۵۵	میانگین	سنجنده ETM ⁺ ، سال
۱۸/۰۱	۹/۱۳	۲۷/۸۷	۱۵/۳۱	۱۵/۶۶	۹/۹۲	۱۳/۶۲	انحراف معیار	
۹۲/۸۳	۱۸۵/۴۶	۱۰۵/۵۶	۶۵/۲۶	۱۲۷/۲۰	۱۰۴/۲۵	۱۱۱/۰۸	میانگین	سنجنده ETM ⁺ ، سال
۲۴/۵۶	۷/۴۷	۲۷/۶۲	۱۴/۰۶	۲۴/۹۶	۱۶/۴۳	۱۲/۱۶	انحراف معیار	

میانگین DN های یک تصویر در درجه اول بیانگر روشنایی آن تصویر می باشد؛ در صورتی که میانگین یک تصویر نزدیک به صفر باشد، تصویر در مجموع تیره و در مواردی که میانگین دارای ارزش های نزدیک به ۲۵۵ باشد، تصویر روشن خواهد بود.

همان طور که در جدول فوق دیده می شود، میانگین ارزش های باند ترمال بیشتر از سایر باندها است. همچنین میانگین ارزش های باندهای مرئی در سنجنده ETM⁺ بسیار بیشتر از سنجنده TM می باشد که این موضوع احتمالاً به خاطر

زمان گذر متفاوت لندست (۵) و لندست (۷) است. ماهواره لندست (۵) در ساعت ۹:۳۰ به وقت محلی از هر منطقه از زمین عبور می کند، ولی در لندست (۷) این زمان ساعت ۱۰ صبح است. علاوه بر آن به دلیل زمان متفاوت تصاویر سنجنده TM و ETM+ که منجر به تفاوت در زاویه ارتفاعی^۱ و زاویه آزیموتی خورشید^۲ می شود، می تواند باعث این تغییر شوند.

با استفاده از انحراف معیار ارزش های یک تصویر می توان در مورد تباین آن قضاوت نمود. تصویر با تباین زیاد دارای اطلاعات زیاد و تصویر با تباین کم دارای اطلاعات کمی می باشد. علت اختلاف بین میانگین های یک باند در سنجنده های مختلف به دلیل ضرایب کالیبراسیون مختلف سنجنده ها است، ولی همان طور که دیده می شود بین انحراف معیارهای یک باند تفاوت قابل ملاحظه ای وجود ندارد که این نشان دهنده میزان اطلاعات تقریباً برابر در باندهای مشابه در سنجنده های مختلف است. همچنین همبستگی بین باندهای مختلف سنجنده ها نیز بررسی شد. جدول شماره (۳) همبستگی بین باندهای مختلف سنجنده ETM+ را با TM نشان می دهد.

جدول ۳- همبستگی بین باندهای مختلف سنجنده های ETM+ و TM

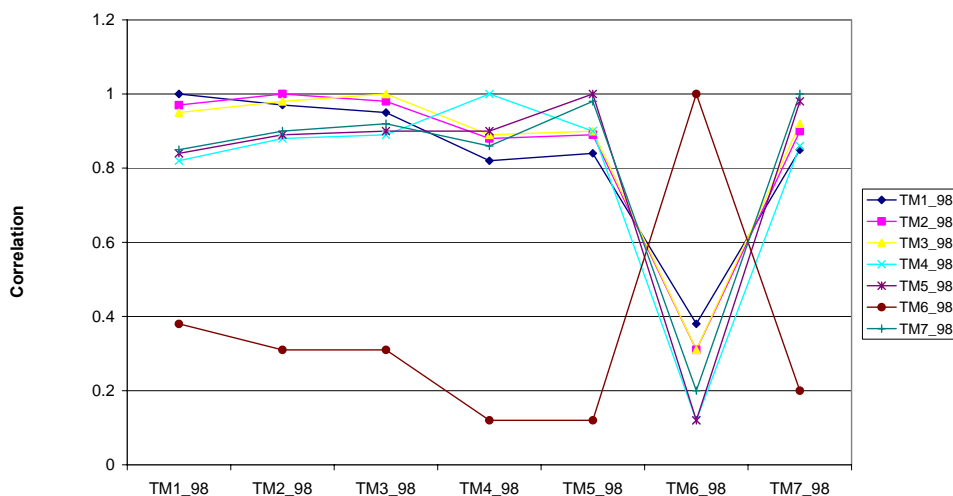
	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM6H	ETM7
TM1	0.84	0.84	0.83	0.75	0.76	0.30	0.76
TM2	0.83	0.85	0.84	0.78	0.80	0.24	0.79
TM3	0.82	0.85	0.85	0.79	0.81	0.23	0.81
TM4	0.71	0.77	0.78	0.85	0.81	0.04	0.77
TM5	0.72	0.78	0.79	0.80	0.86	0.08	0.84
TM6	0.40	0.32	0.29	0.16	0.14	0.82	0.21
TM7	0.74	0.79	0.80	0.77	0.85	0.14	0.85

به طوری که ملاحظه می شود بین باندهای نظیر، همبستگی بالایی وجود دارد که این موضوع نشان دهنده آن است که میزان تغییر پذیری اطلاعات در باندهای نظیر در سنجنده های مختلف، اختلاف زیادی وجود ندارد. برای بررسی بیشتر، همبستگی باندهای هر سنجنده با یکدیگر مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. اشکال شماره (۱۳ و ۱۴) همبستگی بین باندهای TM و ETM+ را در منطقه نشان می دهد. همان طور که دیده می شود روند همبستگی بین باندها بسیار شبیه به یکدیگر است.

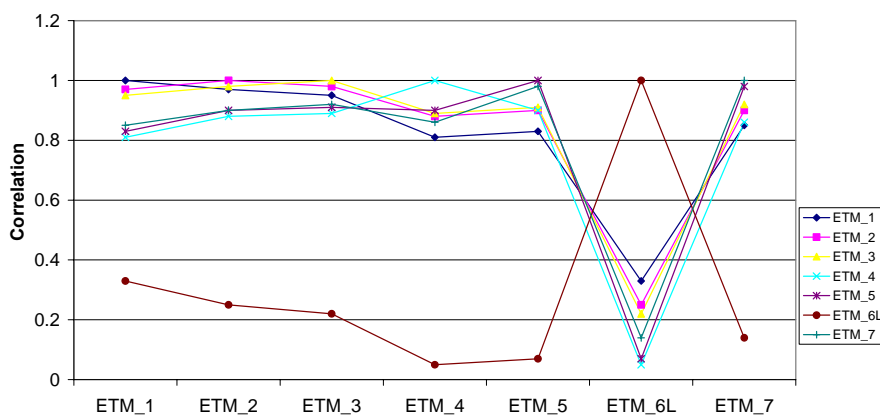
¹- Sun Elevation

²- Sun Azimuth

شکل ۱۳- همبستگی بین باندهای TM در منطقه کاشان

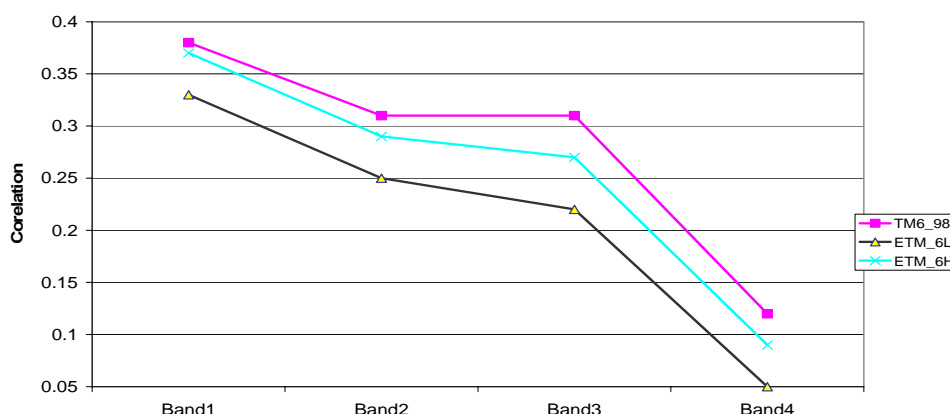


شکل ۱۴- همبستگی بین باندهای ETM در منطقه کاشان



به جهت مطالعات دقیق تر و مقایسه بهتر محتوای اطلاعات سنجنده TM و ETM+ روند همبستگی باند حرارتی در سنجنده TM و سنجنده ETM+ در دو حالت L و H با باندهای انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در شکل شماره (۱۵) دیده می شود، همبستگی بین باند حرارتی و باندهای انعکاسی در سنجنده TM بیشتر از سنجنده ETM+ در دو حالت L و H است. همچنین باند حرارتی در حالت L دارای همبستگی کمتری نسبت به باند حرارتی در حالت H در سنجنده ETM+ می باشد. بنابراین می توان ابراز نمود که افزایش توان تفکیک مکانی باعث کاهش همبستگی شده است.

شکل ۱۵- روند همبستگی باند ترمال با باندهای انعکاسی در سنجنده ETM+ و TM



بررسی مؤلفه های اصلی:

تجزیه مؤلفه های اصلی^۱ با هفت باند هر سنجنده انجام شد و درصد واریانس هر مؤلفه در سنجنده های مختلف مقایسه گردید (جدول شماره ۴).

جدول ۴- درصد واریانس مؤلفه های مختلف PCA حاصل از سنجنده ETM+ و TM

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
TM98	89.07	5.92	2.59	1.54	0.54	0.26	0.08
ETML	91.71	4.43	2.04	1.05	0.39	0.29	0.09
ETMH	89.18	5.97	2.93	1.17	0.38	0.28	0.09

به طوری که ملاحظه می شود، بیشترین میزان اطلاعات در سه مؤلفه اول ذخیره می شوند. بنابراین مقادیر ویژه^۲ سه مؤلفه اول بررسی شد. همان طور که دیده می شود وقتی از باند حرارتی L استفاده شده، میزان اطلاعات بیشتری در مؤلفه اول در مقایسه با وقتی که از باند حرارتی H استفاده شود، ذخیره می شود. تفاوت بین مؤلفه های اول تا سوم به نسبت زیاد است، ولی از مؤلفه سوم به بعد تفاوت زیادی به لحاظ میزان اطلاعات موجود در مؤلفه های پایین تر وجود ندارد. (علوی پناه، ۱۳۸۲)

همچنین بین مؤلفه های مختلف در سنجنده TM و مؤلفه های حاصل از باند ترمال در حالت H بنظر می رسد اختلاف قابل ملاحظه ای دیده نمی شود.

بررسی مقدار ویژه مؤلفه اول نشان داد که باند (۵) در مؤلفه اول سنجنده TM با مقدار ویژه ۰/۶۶ و در سنجنده ETM+ با باند حرارتی L با مقدار ویژه ۰/۵۴۷، و در سنجنده ETM+ با باند حرارتی H با مقدار ویژه ۰/۵۴۶ بیشترین میزان اطلاعات را دارد.

فرمول های ریاضی مؤلفه اول سه سنجنده به صورت زیر بدست آمد:

¹Principal Component Analysis

²-Eigen value

$$PC1_TM1998 = 0.298 \times TM1 + 0.227 \times TM2 + 0.362 \times TM3 + 0.341 \times TM4 + 0.66 \times TM5 + 0.047 \times TM6 + 0.417 \times TM7$$

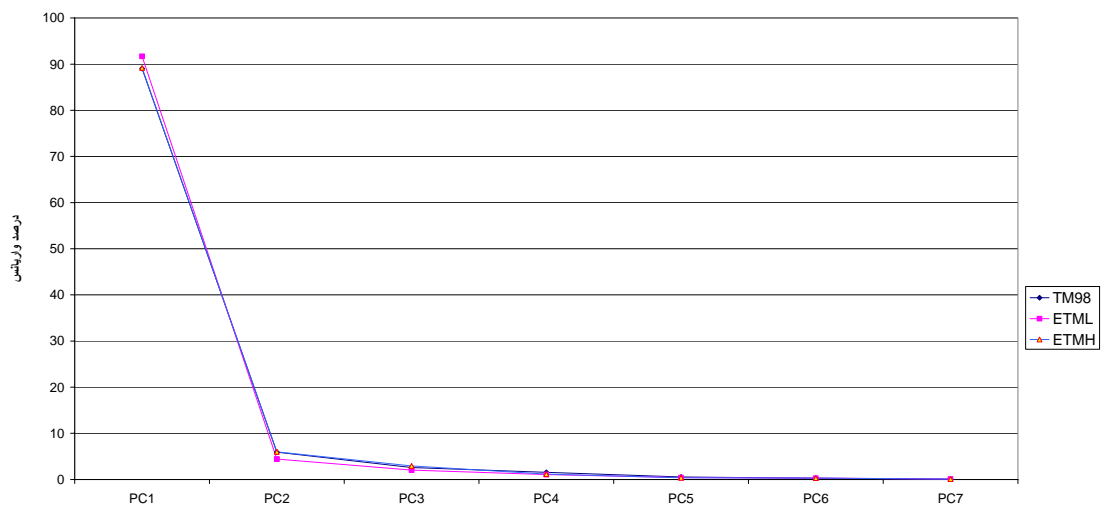
$$PC1_ETML = 0.226 \times ETM1 + 0.321 \times ETM2 + 0.492 \times ETM3 + 0.261 \times ETM4 + 0.547 \times ETM5 + 0.025 \times ETM6 + 0.486 \times ETM7$$

$$PC1_ETMH = 0.226 \times ETM1 + 0.32 \times ETM2 + 0.492 \times ETM3 + 0.261 \times ETM4 + 0.546 \times ETM5 + 0.054 \times ETM6 + 0.486 \times ETM7$$

در مؤلفه دوم، باند (۶) در سنجنده TM سال ۱۹۹۸ با مقدار ویژه ۰/۷۳۷ و در سنجنده ETM+ در حالت L ترمال، باند (۵) با مقدار ویژه ۰/۵- و در سنجنده ETM+ در حالت H حرارتی، باند (۶) با مقدار ویژه ۰/۸۰۸-، بیشترین اطلاعات را دارا می باشد.

در مؤلفه سوم نیز باند (۴) با مقدار ویژه ۰/۶۰۶- در سنجنده TM سال ۱۹۹۸ و باند (۶) با مقدار ویژه ۰/۶۶۴ در سنجنده ETM+ در حالت L باند حرارتی بیشترین اطلاعات را دارا می باشد. در حالتی که از باند حرارتی H استفاده گردد نیز باند حرارتی با مقدار ویژه ۰/۵۰۴ بیشترین تأثیر را در مؤلفه سوم حاصل از PCA دارا می باشد. شکل شماره (۱۶) درصد واریانس مؤلفه های مختلف را در سنجنده TM و ETM+ نشان می دهد.

شکل ۱۶- مقایسه درصد واریانس در مؤلفه های مختلف PCA در سنجنده های TM و ETM+



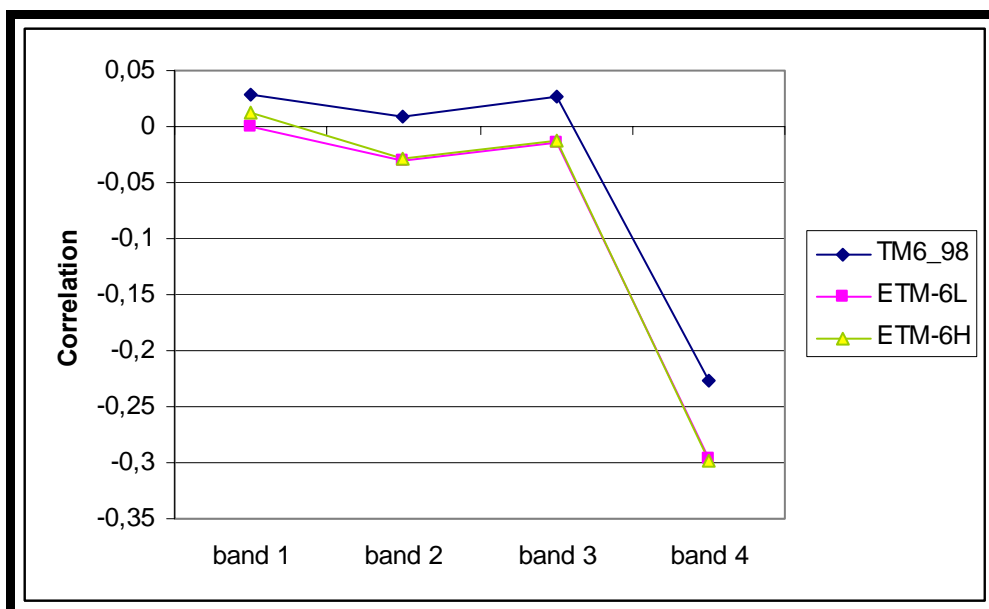
نتایج بررسی ها در منطقه تبریز

تغییرات کاربری و پوشش زمین به دلیل در حال گسترش بودن شهر آشکار می باشد. بنابراین برای حذف اثرات این تغییرات از روش زیر استفاده شد:

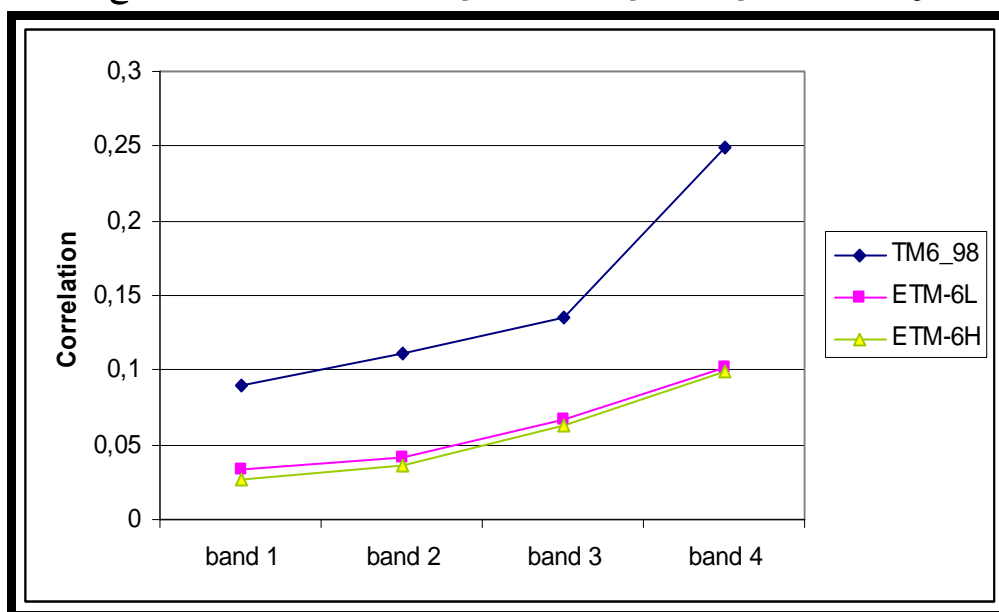
در ابتدا مناطق آموزشی شامل هشت کلاس کاربری کشاورزی، پارک و فضای سبز، شبکه راه ها، صنعتی، مسکونی، اراضی بایر و آب تعیین شدند. همچنین در تصویر سال ۱۹۹۸ مناطق آلوده به ابر با استفاده از آستانه گذاری تعیین و از تحلیل های بعدی حذف شدند. در هر دو تصویر با استفاده از الگوریتم MLC طبقه بندی به انجام رسید و برای بهبود نتایج طبقه بندی در بافت پیچیده شهری از تصویر بافت (شاخص واریانس) در کنار سایر باند ها استفاده شد که

افزایش دقت قابل توجهی حاصل شد. مناطق تغییر با استفاده از CrossTab و توسعه ماتریس تغییرات تعیین شده و ماسک مناطق تغییر بدست آمد. زمان اخذ تصاویر مربوط به ماه اوت بوده و با وجود اختلاف شانزده روزه بین تصاویر مقایسه در شرایط تقریباً یکسانی صورت می گیرد.

شکل ۱۷- روند همبستگی باند حرارتی با باندهای انعکاسی در سنجنده ETM+ و TM در درون شهر



برای مقایسه و تایید نتایج بدست آمده در سایر مناطق مورد مطالعه، همبستگی باند حرارتی با باندهای انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از مناطق تغییر نیافته درون و بیرون شهر نمونه ها به صورت پنجره اخذ شده و اطلاعات آماری این پنجره ها بدست آمد. شکل شماره (۱۷) رابطه میان باند حرارتی با باندهای انعکاسی را در درون شهر نشان می دهد. با توجه به این شکل نتایج بدست آمده در منطقه کاشان در منطقه شهری نیز مورد تایید قرار می گیرد. همبستگی باند حرارتی با باندهای انعکاسی در سنجنده TM بیشتر از سنجنده ETM+ است که نشان دهنده محتوای اطلاعاتی بالاتر باند حرارتی ETM+ در بافت پیچیده شهری است که در ارتباط با بهبود قدرت تفکیک باند حرارتی این سنجنده قابل توجه می باشد. از طرف دیگر چنین بنظر می رسد که تفاوت بارزی بین اطلاعات L و H این سنجنده در این منطقه وجود ندارد. این موضوع می تواند مربوط به کم حرارت بودن سطوح دید سنجنده باشد، به نحوی که اشباع صورت نمی گیرد و هر دو اطلاعات مشابهی ارائه می کنند. این موضوع در مورد نمونه های آماری خارج شهر نیز صادق است (شکل شماره ۱۸). روند مشاهده شده در این نمونه متفاوت از نمونه قبلی است و افزایش نشان می دهد که می تواند به پیکر بندی متفاوت چشم انداز در این نمونه و خصوصیات حرارتی متفاوت سطوح شهری و غیر شهری مرتبط باشد. با وجود این تفاوت، همچنان در تمام باندها اطلاعات حرارتی سنجنده ETM+ همبستگی کمتری با سایر باندها نشان می دهد که معرف محتوای اطلاعاتی بهتر این سنجنده است.

شکل ۱۸- روند همبستگی باند حرارتی با باندهای انعکاسی در سنجنده ETM⁺ و TM در خارج شهر

بحث و نتیجه گیری

نتایج بدست آمده مؤید این مطلب است که باند حرارتی و باندهای انعکاسی در هر دو سنجنده به دلیل همبستگی کم تا حد زیادی مستقل از یکدیگرند و حاوی اطلاعات تکراری نمی باشند. اما در سنجنده ETM⁺ این اثر بیشتر است. از آنجائی که در سنجنش از دور حرارتی مقدار انرژی حرارتی ساطع شده از پدیده ها اندازه گیری می شود، این داده ها می تواند مکمل سایر باندها حتی در تفکیک واحدهایی نظیر سطوح مرطوب خاک و غیره باشد (پراکنه، ۲۰۰۰). بنابراین بنظر می رسد که پتانسیل ها و کاربردهای سنجنش از دور حرارتی هنوز تا حد زیادی جای تحقیق و بررسی دارد.

تفاوت در زمان گذر لندست (۵) و لندست (۷) می تواند منجر به تفاوت هایی در میانگین ارزش های باندهای مختلف سنجنده های TM و ETM⁺ گردد. با این حال روند افزایش یا کاهش میانگین ها در باندهای مختلف سنجنده های TM و ETM⁺ بسیار به یکدیگر شبیه است.

روند همبستگی بین باندهای ETM⁺ و TM یکنواخت است، اما مقادیر همبستگی باندهای ETM⁺ به مقدار ناچیزی از باندهای TM کمتر است. این بدان معناست که اگر چه روندها حکایت از این دارد که تفاوت قابل توجهی بین آنها مشاهده نمی شود، اما با این حال کمتر بودن مقادیر همبستگی ها در ETM⁺ می تواند بیانگر محتوای اطلاعاتی بیشتر ETM⁺ باشد (اشکال شماره ۵، ۶ و ۱۳، ۱۴).

همبستگی باندهای حرارتی ETM⁺ و TM با باندهای انعکاسی عموماً روند کاهشی دارد؛ یعنی با افزایش طول موج میزان همبستگی باند حرارتی کاهش می یابد (اشکال شماره ۱۱، ۱۲ و ۱۵) ولی بسته به شرایط منطقه مورد مطالعه می تواند روند افزایشی هم نشان دهد (شکل شماره ۱۸). این روند با روند کاهش پخش و پراکنش اتمسفری مطابقت دارد، بدین معنی که در طول موج های کوتاه تر، پخش و پراکنش اتمسفری بیشتر است و لذا انرژی بیشتری به سنجنده ارسال می شود و بر عکس با افزایش طول موج میزان انرژی حاصل از پخش و پراکنش اتمسفری کاهش می یابد، لذا از همبستگی ها هم کاسته می شود.

با مقایسه همبستگی بین باند حرارتی و باندهای انعکاسی در سنجنده TM و ETM+ در شرایط مختلف بررسی شده، می توان دریافت که به طور کلی این همبستگی در سنجنده ETM+ نسبت به سنجنده TM کمتر می باشد و این می تواند بیانگر محتوای اطلاعاتی بیشتر این باند در سنجنده ETM+ باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت اصلاحات و بهبودهای اعمال شده در سنجنده ETM+ شامل افزایش قدرت تفکیک زمینی و بهبود قدرت تفکیک طیفی با ارایه داده های حرارتی بدو صورت L و H به افزایش محتوای اطلاعاتی این سنجنده منجر شده است.

با توجه به مقایسه محتوای اطلاعاتی باند حرارتی سنجنده ETM+ در دو حالت مختلف Low و High بنظر می رسد باند حرارتی در حالت Low Gain دارای محتوای اطلاعاتی بیشتری نسبت به حالت High Gain در مقایسه با باند ترمال در سنجنده TM باشد، زیرا همبستگی بین باند ترمال در حالت High Gain سنجنده ETM+ بسیار بیشتر از حالت Low Gain با باند حرارتی TM است. هر چند در منطقه تبریز این تفاوت به دلیل حرارت کمتر سطوح و تفاوت در خصوصیات سطوح آنچنان بارز نمی باشد. همچنین بررسی میزان اطلاعات موجود در PCA ها نیز نشان می دهد که میزان اطلاعات موجود در مؤلفه اول PCA ای که در آن باند حرارتی L استفاده شده بود بیشتر از PCA ای بود که در آن از باند حرارتی H استفاده شده بود.

در روش های مربوط به بازسازی تصاویر باید داده های مورد استفاده دارای یک قدرت تفکیک طیفی و زمینی باشند. ماهیت بازسازی تغییرات خصوصاً توسط داده های سنجنش از دور پیچیده می باشد. نتایج این بررسی حاکی از این بود که در تعیین و بازسازی یکسری از کاربری ها تفاوت در توان تفکیک طیفی چندان مهم نیست، بلکه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نقش اساسی تری دارند. اما در شرایط یکسان شاید باند حرارتی ETM+ به دلایل ذکر شده اطلاعات مفیدتری را ارائه نماید.

تحقیقات بیشتر برای مقایسه محتوای اطلاعات TM و ETM+ که دارای شرایط و زمان کاملاً یکسان باشند باید صورت گیرد و این مورد نیازمند اطلاعات بیشتر و تحقیقات گسترده تری است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران که با حمایت مالی شرایط انجام این تحقیق را فراهم ساخت و همچنین از مرکز سنجنش از دور ایران به خاطر در اختیار قرار دادن تصاویر ماهواره ای تشکر و قدردانی می گردد.

منابع و مأخذ

- ۱- علوی پناه، س.ک. (۱۳۸۲). سنجنش از دور در علوم زمین (علوم خاک). انتشارات دانشگاه تهران.
- 2- Solomonson, V., (1984). Landsat 4 and 5 status and result from thematic mapper data analysis, proceedings, Machine processing of remotely sensed data, W.Lafayette, in laboratory of the application of remote sensing. 13-18.
- 3- Prakash, A., (2000). Thermal remote sensing: concept issues and applications. International archives of photogrammetry remote sensing, part B1, Amsterdam.