



# سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال هفتم، شماره یکم، بهار ۱۳۹۴  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.7, No. 1, Spring 2015

۱۱۷-۱۲۲

## بررسی قابلیت داده‌های طیفی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در برآورد مشخصه تراکم جنگل‌های زاگرس میانی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده مانشت استان ایلام)

جلال عزیز<sup>۱\*</sup>، امیراسلام بنیاد<sup>۲</sup>، ایرج حسن‌زاد ناورودی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا

۲. دانشیار گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا

۳. استادیار گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۶/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۵

### چکیده

به منظور ارزیابی قابلیت تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس، ابتدا پنجره‌ای از تصاویر سنجنده مذکور از جنگل‌های منطقه حفاظت‌شده مانشت با مساحت ۲۳۰۰ هکتار در استان ایلام انتخاب شد. برای تهیه نمونه‌های تعلیمی و برآورد صحت طبقه‌بندی‌ها، نقشه واقعیت زمینی به شکل نمونه‌ای از طریق نمونه‌برداری به روش منظم-تصادفی با ۱۰۰ قطعه نمونه مربعی شکل (۰/۳۶ هکتاری) روی شبکه‌ای با ابعاد ۴۰×۵۰ متر تهیه شد. در هر قطعه نمونه، سطح تاج پوشش تمامی درختان اندازه‌گیری شد و درصد تاج پوشش در هر قطعه نمونه به دست آمد. پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی و مجموعه باندهای مناسب با استفاده از معیار واگرایی تبدیل‌شده، طبقه‌بندی داده‌ها به روش نظارت‌شده و با استفاده از خوارزمی‌های حداقل فاصله از میانگین و حداکثر احتمال انجام شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از معیارهای تعیین صحت نشان دادند که خوارزمی حداقل فاصله از میانگین با صحت کلی و ضریب کاپای ۸۰ درصد و ۰/۶۸ در مقایسه با خوارزمی حداکثر احتمال با صحت کلی و ضریب کاپای ۶۰ درصد و ۰/۳۵ در طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش بهتر عمل می‌کند. بازبودن تاج پوشش و همچنین اختلاط بازتاب خاک و پوشش گیاهی در این منطقه مانع دستیابی به نتایج مطلوب‌تر گردید. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر، قابلیت نسبتاً مناسب داده‌های سنجنده OLI را در طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس نشان می‌دهند.

**کلیدواژه‌ها:** استان ایلام، جنگل‌های زاگرس، سنجنده OLI، لندست ۸.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: ایلام، بولوار شهید بهشتی، خیابان توحید، مجتمع آب و فاضلاب، بلوک ۴، واحد ۴. تلفن ۰۹۱۸۵۱۰۰۱۱۶

## ۱- مقدمه

پوشش منطقه فراهم کند، که در مسائل مدیریتی جنگل ضروری محسوب می شود. در گذشته، پژوهشگران در زمینه طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش جنگل با استفاده از داده‌های سنجش از دور اقدام کردند.

برای مثال، درویش‌صفت و سارویی (۲۰۰۳) در طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از داده‌های سنجنده<sup>+</sup> ETM<sup>+</sup> صحت کلی و ضریب کاپای ۵۳ درصد و ۰/۳۹ را با روش حداقل فاصله برای چهار طبقه تراکمی به دست آوردند. در پژوهش مذکور، به علت پایین بودن صحت، نقشه‌های تولیدشده طبقات دوم و سوم با هم ترکیب شدند و در بهترین حالت صحت کلی و ضریب کاپای ۶۶ درصد و ۰/۵ با روش حداکثر احتمال به دست آمد. ژو و همکاران (۲۰۰۳) پژوهشی در خصوص طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش جنگل روی داده‌های سنجنده<sup>+</sup> TM در جنگل‌های بلوط کالیفرنیا انجام دادند و نتیجه گرفتند که داده‌های سنجنده<sup>+</sup> TM برای برآورد تاج‌پوشش جنگل مناسب‌اند. افزون بر نوع داده‌های سنجش از دور، الگوریتم مورد استفاده نیز اهمیت زیادی دارد. در این زمینه می‌توان به پژوهش سومون و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد که در آن از سه روش مختلف طبقه‌بندی حداکثر احتمال، رگرسیون چندگانه خطی و مدل FCD برای برآورد تاج‌پوشش جنگل استفاده شد. نتایج مطالعه آنها نشان داد که از بین روش‌های طبقه‌بندی، مدل FCD بهتر از روش‌های دیگر عمل می‌کند. احمدی ثانی (۱۳۸۷) تصاویر سنجنده<sup>+</sup> ASTER را در تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های زاگرس بررسی کرد و با صحت کلی ۶۸ درصد و ضریب کاپای ۰/۵۱ قابلیت نسبتاً پایین این سنجنده را در تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های زاگرس نشان داد. پرما و شتابی (۱۳۸۹) در بررسی امکان تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با تصاویر سنجنده<sup>+</sup> ETM<sup>+</sup>، برای چهار طبقه تراکمی صحت کلی و ضریب کاپای ۵۲ درصد و ۰/۲۵ را به دست آوردند. نتایج کار آنها نشان دادند که داده‌های سنجنده<sup>+</sup> ETM<sup>+</sup> قابلیت بالایی در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش ندارند. عبدالهی و شتابی (۱۳۹۱) در

جنگل‌های زاگرس جزء جنگل‌های نیمه‌خشک طبقه‌بندی شده‌اند و با مساحتی بیش از پنج میلیون هکتار، ۴۰ درصد از جنگل‌های ایران را به خود اختصاص می‌دهند (نائب طالبی و همکاران، ۱۳۸۴). این جنگل‌ها که وسیع‌ترین جنگل‌های ایران به شمار می‌آیند، نقش مهمی در محیط‌زیست مناطق غربی و مرکزی کشور برعهده دارند. از آنجاکه جنگل‌ها در ذخیره آب‌های زیرزمینی، حفاظت خاک و دیگر خدمات اجتماعی-اقتصادی مؤثرند، به اطلاعات بهنگام برای برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارند (زبیری، ۱۳۸۴؛ جزیره‌ای و ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲). مشخصه‌های کمی توسعه‌های جنگلی مانند تعداد درهکتار، حجم درهکتار، سطح مقطع، و سن، داده‌های بااهمیتی برای ارزیابی منابع جنگلی به شمار می‌آیند. با توجه به ساختار جنگل‌های زاگرس که اغلب شاخه‌زاد هستند و نمی‌توان از آنها چوب صنعتی به دست آورد، حجم سرپا و سطح مقطع در ارتفاع برابر سینه در جنگل‌های غرب، شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی نیستند (عرفانی فرد و همکاران، ۱۳۸۶). اما مشخصه‌هایی مانند تراکم و درصد تاج‌پوشش، معیارهای مهمی هستند که می‌توانند در ارزیابی، تصمیم‌گیری و توسعه این جنگل‌های بارز و مهم به کار گرفته شوند. اگر بتوان با استفاده از روشی مناسب و کم‌هزینه اطلاعات دقیقی از این متغیرها به دست آورد، در برنامه‌ریزی و مدیریت این جنگل‌ها نقش بسزایی خواهند داشت. در این زمینه، استفاده از فناوری سنجش از دور اهمیت دارد، زیرا استفاده از عملیات میدانی برای تعیین مشخصه‌های جنگل، پرهزینه و زمان‌بر است و به نیروی کار زیادی نیاز دارد (Trotter et al., 1997). استفاده از فناوری سنجش از دور در صورت کسب نتایج پذیرفتنی - مفیدتر و به‌صرفه‌تر از روش‌های رایج و مرسوم است و در مطالعات زیادی در کشورهای مختلف از این داده‌ها استفاده شده است. تهیه نقشه پوشش گیاهی با مقیاس وسیع در هر منطقه می‌تواند اطلاعات مکانی از وضعیت

مزیت و قابلیت‌های جدید این ماهواره در مقایسه با ماهواره‌های پیشین سری لندست که باعث کاربرد وسیع آن در زمینه‌های مختلف شده، لازم است این داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه‌های تراکم تاج پوشش جنگل نیز ارزیابی شوند. اگرچه سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ از نظر قدرت تفکیک مکانی با سنجنده‌های پیشین لندست تفاوتی ندارد ولی افزایش قدرت تفکیک رادیومتریکی، طیفی و همچنین کاهش محدوده طیفی در هر باند از قابلیت‌های فنی جدیدی است که به این سنجنده اضافه شده و آن را از سنجنده‌های پیشین سری لندست متمایز ساخته است. از آنجاکه در پژوهش‌های گذشته از داده‌های لندست ۷ برای تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های تنک غرب کشور استفاده شده و معمولاً دقت نقشه‌های تاج پوشش جنگل کمتر از ۵۰ درصد بوده است، در پژوهش حاضر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ با توان تفکیک پذیری طیفی و رادیومتریکی بیشتر در برآورد مشخصه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس میانی مورد بررسی و آزمون قرار گرفت. چنین مطالعه‌ای برای نخستین بار در غرب کشور انجام شده است و چنانچه نتیجه آن پذیرفتنی باشد می‌توان در سازمان‌های اجرایی آن را به کار برد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۳۰۰ هکتار در جنگل‌های حفاظت‌شده مانشت و قلازنگ در استان ایلام واقع شده است. مختصات منطقه از  $33^{\circ}39'30''$  تا  $46^{\circ}26'47''$  طول جغرافیایی و  $33^{\circ}39'30''$  تا  $33^{\circ}43'18''$  عرض جغرافیایی است (شکل ۱). گونه غالب این جنگل بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) است، که به صورت شاخه‌زاد و دانه‌زاد پراکنده شده است. میانگین ارتفاع منطقه ۱۸۶۰ متر از سطح دریا و متوسط بارش سالیانه آن ۵۶۷ میلی‌متر است و اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه در اقلیم نیمه‌خشک قرار می‌گیرد.

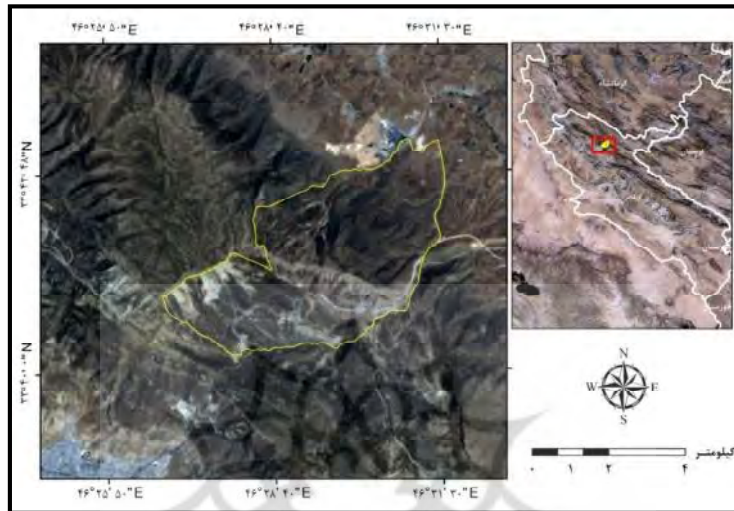
ارزیابی قابلیت داده‌های LISS-III و LISS-IV در تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های زاگرس و استفاده از روش‌های طبقه‌بندی حداقل فاصله و حداکثر احتمال، در بهترین حالت صحت کلی و ضریب کاپای ۷۸ درصد و ۰/۵۷ را برای دو طبقه به دست آوردند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند که داده‌های سنجنده‌های مذکور به علت بازتاب شدید خاک پس‌زمینه، قابلیت بالایی در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس ندارند. در تحقیق دیگر، حسینی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی قابلیت تصاویر LISS-IV برای تهیه نقشه انبوهی جنگل پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند که به علت بازتاب شدید خاک پس‌زمینه، طبقات تراکمی گوناگون تفکیک پذیری مناسبی نداشتند و در نتیجه نقشه‌های به دست آمده فاقد صحت کافی بودند. برزافکن و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی قابلیت داده‌های سنجنده LISS-III به منظور تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس برای چهار طبقه تراکمی صحت کلی و ضریب کاپای ۵۶ درصد و ۰/۴۸ را برای روش حداقل فاصله و ۷۰ درصد و ۰/۵۶ را برای روش حداکثر احتمال به دست آوردند.

در بررسی‌های گذشته در منطقه زاگرس، قابلیت سنجنده‌های TM<sup>+</sup> و ETM<sup>+</sup> ماهواره‌های لندست، سنجنده‌های ماهواره IRS، و سنجنده ASTER بررسی شده است. تراکم کم درختان در جنگل‌های زاگرس و انعکاس شدید خاک پس‌زمینه موجب شده است که داده‌های یادشده قابلیت چندانی در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش این جنگل‌ها نداشته باشند. از این رو پیشنهاد شده است که از داده‌های با توان تفکیک پذیری بهتر و روش‌های مناسب‌تر بهره‌گیری شود (ناصری، ۱۳۸۲). بنابراین در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگل، به دلایل مختلف صحت بالایی به دست نیامد و بیشتر پژوهشگران پیشنهاد کردند که از داده و الگوریتم‌های مناسب‌تر استفاده شود. با توجه به اینکه ماهواره جدید سری لندست با نام لندست ۸ به تازگی در مدار قرار گرفته و در حال ارسال داده به پایگاه‌های زمینی است و به دلیل

## ۲-۲- داده‌های ماهواره‌ای

گذشته از داده‌های آنها استفاده می‌شد دارای مزیت و برتری است؛ از جمله اینکه قدرت تفکیک رادیومتریک آن از  $2^8$  به  $2^{16}$  بیت افزایش یافته و قدرت تفکیک طیفی آن نیز بیشتر شده است. این ماهواره دارای دو سنجنده با نام‌های OLI و TIRS است، که مشخصات آنها در جدول ۱ ارائه شده است (Pesta et al., 2014).

ماهواره LDCM یا لندست ۸، هشتمین ماهواره در تاریخ برنامه لندست‌هاست که با مشارکت ناسا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا اجرا شده است و از سال ۲۰۱۳ فعالیت دارد. این ماهواره که به ماهواره سنجنده زمینی نیز معروف است، در مقایسه با سایر ماهواره‌های لندست که در



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. خصوصیات سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست

ماهواره	نام سنجنده	باند‌ها	دامنه طیفی (μm)	تفکیک مکانی (m)
لندست ۸	OLI (Operational Land Imager)	Coastal Aerosol	۰/۴۳۳-۰/۴۵۳	۳۰
		Blue	۰/۴۵-۰/۵۱۵	
		Green	۰/۵۲۵-۰/۶	
		Red	۰/۶۳-۰/۶۸	
	NIR	۰/۸۴۵-۰/۸۸۵	۱۵	
	SWIR <sub>1</sub>	۱/۵۶-۱/۶۶		
	SWIR <sub>2</sub>	۲/۱-۲/۳		
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	Pan	۰/۵-۰/۶۸	۳۰	
	Cirrus	۱/۳۶-۱/۳۹	۱۰۰	
	Thermal	۱۰/۳-۱۱/۳		
		Thermal	۱۱/۵-۱۲/۵	

### 1. Landsat Data Continuity Mission

با ابعاد ۶۰×۶۰ متر (معادل ۴ پیکسل تصویر) در عرصه پیاده شد (شکل ۲). مرکز هر قطعه نمونه با استفاده از دستگاه GPS مشخص و قطر تاج تک درختان در دو جهت شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در ماه‌های تیر و مرداد ۱۳۹۳ اندازه‌گیری شد. در محاسبه‌های مربوط به سطح تاج‌پوشش تک درختان از رابطه (۱) استفاده شده است (بنیاد، ۱۳۹۳).

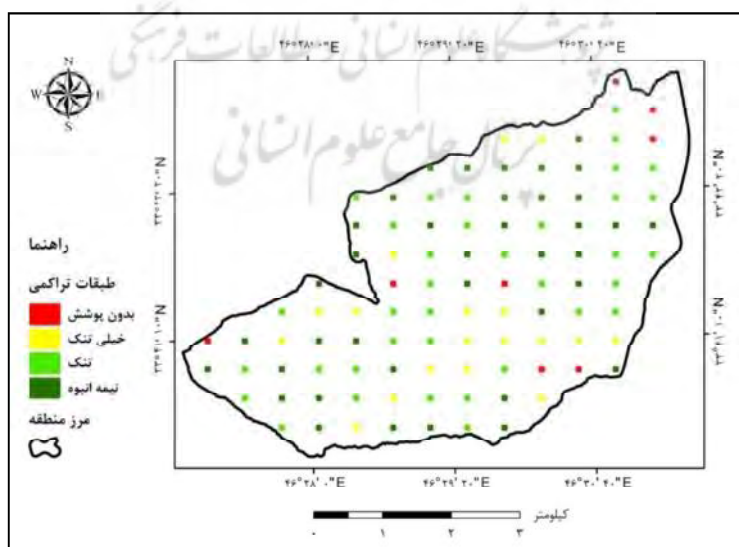
$$CC = \pi/4 (CD_1 \times CD_2) \quad (1)$$

که در آن، CC سطح تاج پوشش درخت برحسب مترمربع، CD<sub>1</sub> قطر تاج درخت در جهت شمالی-جنوبی برحسب متر، و CD<sub>2</sub> قطر تاج درخت در جهت شرقی-غربی برحسب متر است. پس از محاسبه سطح تاج‌پوشش تمامی درختان، درصد تاج‌پوشش هر قطعه نمونه محاسبه شد. با توجه به اینکه حداکثر سطح تاج‌پوشش بین قطعات نمونه ۵۷ درصد بود، برپایه تعریف سازمان جنگل‌ها و مراتع کل کشور برای جنگل و اراضی جنگلی، قطعات نمونه به چهار طبقه بدون پوشش، خیلی تنک (۱۰-۵ درصد)، تنک (۲۵-۱۰ درصد) و نیمه‌انبوه (۵۰-۲۶ درصد) تقسیم شدند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۳).

در پژوهش حاضر از تصاویر چندطیفی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به فصل تابستان به تاریخ ۲۸ تیرماه ۱۳۹۲ و به شماره ردیف و گذر ۱۶۷ و ۳۷ استفاده شد. این سنجنده دارای ۹ باند طیفی در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه در طیف الکترومغناطیس و دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای چندطیفی و ۱۵ متر برای باند پانکروماتیک است. از باند ۹ این سنجنده به دلیل کاربرد متفاوتش در مقایسه با باندهای دیگر استفاده نشده است.

## ۲-۳- برداشت قطعات نمونه زمینی

در پژوهش حاضر برای ایجاد نمونه‌های تعلیمی و تعیین صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی، از روش نمونه‌برداری منظم-تصادفی (سیستماتیک) با شبکه‌ای به ابعاد ۴۰۰×۵۰۰ متر استفاده شد. با توجه به اینکه قطعات نمونه برداشت‌شده در عرصه به دلایل گوناگونی از جمله خطای حاصل از GPS به طور کامل بر تصویر منطبق نمی‌شوند، لازم است سطح قطعات نمونه بیش از سطح پیکسل‌های تصویر در نظر گرفته شود. بدین منظور در این بررسی تعداد ۱۰۰ قطعه نمونه مربع‌شکل



شکل ۲. نحوه پراکنش قطعات نمونه واقعیت زمینی

## ۲-۴- بررسی کیفیت و تصحیح داده‌ها

آگاهی از وضعیت هندسی و رادیومتریکی داده‌های سنجنش از دور پیش از به‌کارگیری آنها ضروری است. به‌همین دلیل، تصاویر از لحاظ وجود خطاهای رادیومتریکی مانند خطاهای حاصل از ثبت‌نشدن داده‌ها به وسیله سنجنده‌ها، خطاهای ناشی از کالیبراسیون نابرابر آشکارسازها از جمله راه‌راه‌شدگی، خطاهای متأثر از شرایط اتمسفری، و خطاهای حاصل از اثر توپوگرافی و نوردهی در جهت‌های مختلف، از طریق نمایش تصاویر بررسی شدند. خطاهای دستگاهی و زمین مرجع کردن تصویر پیش از فروش داده‌ها آشکار و برطرف می‌گردند، لذا در این بررسی به اصلاح خطاهای دستگاهی نیازی نبود. باوجود اینکه تصاویر به‌کار گرفته‌شده با دقت بالایی زمین‌مرجع شده بودند (UTM /WGS84)، تصحیح هندسی تصاویر به‌روش ناپارامتری و با در نظر گرفتن ۲۵ داده کنترل‌ی GPS حاصل از نمونه‌برداری زمینی با لحاظ کردن خطای آن و سایر لایه‌های اطلاعاتی نظیر نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ صورت گرفت. این فرایند با بهره‌گیری از روش چندجمله‌ای با معادله درجه اول و روش نمونه‌گیری مجدد نزدیک‌ترین همسایه با خطای زیر یک پیکسل انجام شد (RMS=۰/۳۴۳).

## ۲-۵- تبدیل DN به قابلیت بازتاب

در پژوهش حاضر به‌منظور کاستن اثر اتمسفر و برای ایجاد شاخص‌های گیاهی مناسب، مقادیر ارزش پیکسلی هر باند به بازتاب بالای اتمسفر تبدیل شدند (Loeb et al., 2012). برای سنجنده OLI در لندست ۸ با استفاده از رابطه (۲) مقادیر DN هر پیکسل مستقیماً به قابلیت بازتاب تبدیل می‌شوند.

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن،  $\rho\lambda'$  قابلیت بازتاب یا انعکاس بالای جو بدون تصحیح زاویه تابش خورشید،  $M_p$  فاکتور مقیاس‌گذاری برای باند موردنظر،  $Q_{cal}$  مقدار DN، و  $A_p$  فاکتور مقیاس‌گذاری تجمعی برای باند موردنظر است.

پارامتر  $\rho\lambda'$  با داشتن ضرایب  $M_p$  و  $A_p$  برای تصویر برداشت‌شده، مقادیر ارزش رقومی هر پیکسل را مستقیماً به مقادیر انعکاسی تبدیل می‌کند (Mishra et al., 2014). برای تبدیل مقادیر ارزش رقومی هر پیکسل به قابلیت بازتاب همراه با تصحیح زاویه خورشید از رابطه (۳) استفاده می‌شود.

$$\lambda\rho = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن،  $\rho\lambda'$  قابلیت بازتاب سطح با تصحیح زاویه تابش خورشید،  $\rho\lambda'$  قابلیت بازتاب بدون تصحیح زاویه تابش خورشید،  $\theta_{SE}$  زاویه ارتفاع محلی خورشید، و  $\theta_{SZ}$  زاویه زینت محلی خورشید ( $\theta_{SZ}=90-\theta_{SE}$ ) است.

## ۲-۶- پردازش و بارزسازی تصاویر

به‌منظور استخراج هرچه کامل‌تر اطلاعات از تصاویر، بارزسازی‌های متناسب با هدف پژوهش روی باندهای طیفی انجام شد. از جمله این پردازش‌ها نسبت‌گیری‌های طیفی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، استخراج شاخص‌های گیاهی و تبدیل تسلدکپ است (Lillesand et al., 2004). بسیاری از مطالعات گویای رابطه میان انرژی انعکاسی در باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک با میزان پوشش گیاهی در سطح زمین بودند. در گیاهان سالم، میزان انرژی انعکاسی در طیف قرمز با رشد و توسعه گیاه کاهش می‌یابد که علت آن جذب انرژی طیف الکترومغناطیسی از طریق کلروفیل موجود در برگ گیاه در طول عمل فتوسنتز است؛ از طرف دیگر میزان انرژی انعکاسی در طیف مادون‌قرمز نزدیک به‌علت ساختار مزوفیل برگ افزایش خواهد یافت (علوی پناه، ۱۳۸۵). به‌همین دلیل استفاده از شاخص گیاهی مناسبی که بتوان تغییرات پوشش گیاهی را به‌صورت کمی با آن به‌دست آورد، ضروری به‌نظر می‌رسد. به‌علت بازبودن تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس، بازتاب پس‌زمینه خاک در این مناطق بسیار زیاد است به‌طوری‌که بر بازتاب پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. از این رو باید از شاخص‌هایی استفاده کرد که

پوشش گیاهی بسیار مفید است (Baret et al., 1989).

$$R_{nir} = \alpha R_r + \beta \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن،  $R_{nir}$  انعکاس باند مادون قرمز نزدیک،  $R_r$  انعکاس باند قرمز،  $\alpha$  شیب خط خاک، و  $\beta$  عرض از مبدأ خاک است.

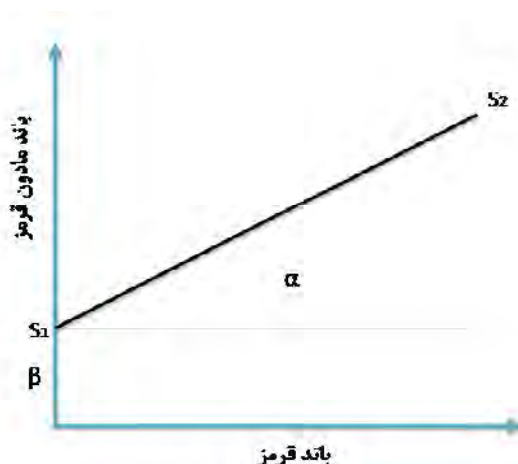
در روابط ارائه شده در جدول ۲،  $\alpha$  شیب خط خاک،  $\beta$  عرض از مبدأ خاک، NIR مقادیر انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک، R مقادیر انعکاس در باند قرمز و L فاکتور تصحیح تأثیرات خاک با دامنه صفر (برای پوشش گیاهی متراکم) تا یک (برای پوشش گیاهی تراکم کمتر) است (Ren & Zhou, 2014).

در پژوهش حاضر به منظور محاسبه ضرایب خط خاک، نخست پیکسل‌هایی که دارای خاک لخت بودند و هیچ پوشش گیاهی‌ای نداشتند در سطح منطقه جدا شدند. در مرحله بعد، ارزش پیکسل‌های جدا شده در باند قرمز و مادون قرمز نزدیک استخراج و معادله رگرسیونی بین ارزش پیکسل‌ها در این دو باند محاسبه و ضرایب خط خاک استخراج شدند.

بازتاب خاک پس‌زمینه را به حداقل ممکن کاهش دهند. در این مطالعه به منظور کاهش اثر بازتاب خاک، از شاخص‌های گیاهی متداول و مناسب برای این گونه مناطق از جمله NDVI، SAVI، PVI، MSAVI، TSAVI، WDVI و NRVI استفاده شد (جدول ۲). به‌دست‌آوردن معادله خط خاک و ضرایب آن به‌منظور محاسبه این شاخص‌ها ضروری است. خط خاک، خط فرضی رگرسیونی در فضای طیفی بازتاب خاک در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز است که در شکل ۳ نشان داده شده است (Richardson & Weigand, 1977). در این شکل، خط  $S_1$  بیانگر خط خاک،  $\alpha$  شیب خط، و  $\beta$  عرض از مبدأ است. آلفا و بتای خط خاک از رابطه رگرسیونی (رابطه ۴) بین پیکسل‌های خالص خاک در فضای طیفی دوبعدی قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شوند (Baret et al., 1993). علت استفاده از باند قرمز و مادون قرمز این است که این باندها در تمامی سنجنده‌های سنجش از دور وجود دارند و بیش از ۹۰ درصد اطلاعات طیفی پوشش گیاهی را در خود جای داده‌اند. این ویژگی برای نمایش

جدول ۲. شاخص‌های گیاهی استفاده‌شده در تحقیق

منبع	معادله شاخص گیاهی	شاخص گیاهی
Rouse et al., 1974	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	NDVI
Baret & Guyot, 1991	$NRVI = (RVI - 1) / (RVI + 1)$	NRVI
Richardson & Wiegand, 1977	$PVI = \alpha NIR - \alpha R$	PVI
Perry & Lautenschlager, 1984	$PVI_1 = \alpha NIR - R + \beta / \sqrt{\alpha^2 + 1}$	$PVI_1$
Walther & Shabaani, 1991 & Bannar1 et al., 1996	$PVI_2 = NIR - \alpha R + \beta / \sqrt{1 + \alpha^2}$	$PVI_2$
Huete, 1988	$SAVI = [(NIR - R) / (NIR + R + L)](1 + L)$	SAVI
Baret et al., 1989	$TSAVI = (\alpha(NIR - \alpha R - \beta)) / (\beta NIR + R - \beta \alpha + 0.08(1 + \alpha^2))$	TSAVI
Qi et al., 1994	$MSAVI_2 = (1/2)(2(NIR + 1) - \sqrt{(2(NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)})$	MSAVI <sub>2</sub>
Pearson & Miller, 1972	$RVI = R / NIR$	RVI
Clevers, 1989	$WDVI = NIR - \alpha R$	WDVI



شکل ۳. خط خاک

## ۷-۲- تعیین تفکیک‌پذیری طبقات و انتخاب

### بهترین مجموعه باندها

به‌منظور تعیین بهترین مجموعه باندها برای طبقه‌بندی، لازم است ابتدا میزان تفکیک‌پذیری طبقات تراکمی در باندهای مختلف بررسی شود. روش‌های متعددی برای این کار مطرح شده است، که در پژوهش حاضر از معیار واگرایی تبدیل شده استفاده شد. دامنه این معیار بین ۰ تا ۲ است و چگونگی تفکیک‌پذیری آماری بین جفت طبقات را مشخص می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر از ۱/۹ در این معیار نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری کامل، بین ۱/۷ تا ۱/۹ تفکیک‌پذیری متوسط، بین ۱ تا ۱/۷ تفکیک‌پذیری کم و کمتر از ۱ نشان‌دهنده عدم تفکیک‌پذیری است (García Millán, 2014). بدین منظور پس از ایجاد تمامی باندهای موردنیاز برای طبقه‌بندی اعم از باندهای اصلی، باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ، باندهای حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و شاخص‌های گیاهی متناسب با منطقه، با معرفی نشانه‌های طیفی حاصل از نمونه‌های تعلیمی و براساس میزان تفکیک‌پذیری طبقات، هشت باند به‌عنوان باندهایی که براساس معیار واگرایی تبدیل‌شده دارای بیشترین تفکیک‌پذیری بودند (بین ۱/۲۱ تا ۱/۹۳) انتخاب شدند.

## ۸-۲- روش‌های طبقه‌بندی

در پژوهش حاضر به منظور طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگل و مقایسه آن با نتایج دیگران، از دو خوارزمی عمومی و شناخته‌شده حداکثر احتمال و حداقل فاصله از میانگین استفاده شد.

### ۸-۲-۱- روش حداکثر احتمال

اساس کار در روش حداکثر احتمال این است که میزان کمی واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه محاسبه می‌شود و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی نشده به یکی از گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی استفاده می‌گردد. در این روش فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه براساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن طبقه قرار گرفته‌اند (Richards & Jia, 1999). گرچه این حالت به‌ندرت اتفاق می‌افتد ولی براساس تجربه‌های حاصل از بازتاب انرژی اجسام، این فرض پذیرفته شده است. با استفاده از عامل میزان احتمال، هریک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبه احتمال تعلق آنها به گروه‌های طیفی، به گروه ذی‌ربط تعلق می‌گیرد. روش حداکثر احتمال در مقایسه با روش‌های دیگر نیازمند زمان و نمونه‌های تعلیمی بیشتری برای محاسبات است (Mather & Tso, 2009).



## ۲-۸-۲- روش حداقل فاصله از میانگین

در طبقه‌بندی با این روش، پس از مشخص شدن میانگین ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی، کوتاه‌ترین فاصله ارزش طیفی هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با میانگین‌های طیفی طبقات مقایسه می‌شود و پیکسل موردنظر به کلاسی تعلق می‌گیرد که نزدیک‌ترین فاصله را با میانگین آن طبقه دارد. روش حداقل فاصله تا میانگین با آنکه ساده‌ترین روش برای طبقه‌بندی است اما به دلیل حساسیت آن به واریانس ویژگی‌های طیفی هر طبقه، محدودیت دارد و هنگامی که از تعداد بیشتری باند طیفی استفاده شود، این محدودیت چشمگیرتر می‌شود. با استفاده از این روش، تمام پیکسل‌های تصویر طبقه‌بندی شده و پیکسل طبقه‌بندی نشده وجود نخواهد داشت (Richards & Jia, 1999).

## ۲-۹- ارزیابی صحت طبقه‌بندی‌ها

پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی و انجام طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های مختلف نیاز است صحت این طبقه‌بندی‌ها آزمون شود. برای این منظور روش‌های متعددی وجود دارد، که معمول‌ترین آنها روش ماتریس خطاست. ماتریس خطا به‌طور گسترده‌ای در مطالعات سنجش از دور به‌کار می‌رود. در این روش، نقشه واقعییت زمینی که متشکل از ارزش‌های تمامی پیکسل‌های طبقات تعریف شده است، با تصویر طبقه‌بندی شده تلاقی داده می‌شود. در این صورت تک‌تک پیکسل‌های نمونه‌برداری شده با پیکسل‌های طبقه‌بندی شده تلاقی می‌یابد و در نتیجه امکان بررسی صحت طبقه‌بندی پیکسل‌ها فراهم می‌شود. در این ماتریس پیکسل‌های قطری، پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و پیکسل‌های خارج از قطر پیکسل‌هایی هستند که به‌درستی

طبقه‌بندی نشده‌اند (Bossler et al., 2004). با استفاده از ماتریس خطا می‌توان معیارهای گوناگونی را برای بیان صحت طبقه‌بندی به صورت کمی استخراج کرد، که از معمول‌ترین آنها به صحت کلی و ضریب کاپا اشاره می‌شود (Congalton & Green, 2008).

## ۳- نتایج

پس از پیاده کردن قطعات نمونه در عرصه و اندازه‌گیری سطح تاج‌پوشش تمامی درختان، درصد تاج‌پوشش در هر قطعه نمونه محاسبه شد. مشخصه‌های آماری متغیر درصد تاج‌پوشش در جدول ۳ بیان شده است.

پس از پیش‌پردازش و آماده‌سازی تصاویر، به‌منظور استخراج هرچه بیشتر اطلاعات از تصویر، تمامی تبدیلات مورد نیاز روی تصاویر اعمال شدند. در محاسبه شاخص‌های گیاهی تعدیل‌کننده اثر خاک برای محاسبه خط خاک، تعداد ۴۴۵ پیکسل خالص خاک استخراج و با ترسیم مقادیر بازتاب این پیکسل‌ها در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک، ضرایب خط خاک محاسبه شدند که در آن مقدار ۰/۹۳۳ برای شیب خط خاک و ۰/۰۹۹ برای عرض از مبدأ خط خاک به‌دست آمد. همچنین ضریب همبستگی معادله رگرسیونی آن برابر ۰/۸۳ بود. نتایج حاصل از ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقات با استفاده از معیار واگرایی تبدیل‌شده نشان دادند که در معیار یادشده، حداقل تفکیک‌پذیری برای طبقات تراکمی ۲۵-۱۰ درصد و ۵۰-۲۶ درصد، و حداکثر آن بین طبقات بدون پوشش و ۵۰-۲۶ درصد است. نتایج حاصل از تفکیک‌پذیری طبقات با باندهای انتخابی در جدول ۴ و بهترین مجموعه باندهای در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳. پارامترهای آماری متغیر درصد تاج‌پوشش

حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	دقت نمونه‌برداری (E%)
۰	۵۷	۲۲/۲۸	۱۱/۸۸	۵۳/۳۲٪	۱۰/۶۶٪

\*  $E\% = \frac{t \times S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100$ ;  $S_{\bar{x}}$  اشتباه معیار،  $\bar{x}$  میانگین،  $t$  مقدار تی استیودنت جدول در درجه آزادی و سطح احتمال مشخص

جدول ۴. میزان تفکیک پذیری طبقات تراکمی بر پایه معیار واگرایی تبدیل شده با بهترین مجموعه بانندی

طبقه بندی با چهار طبقه	
بدون پوشش (۱)، ۵-۹ درصد (۲)، ۱۰-۲۵ درصد (۳) و ۲۶-۵۰ درصد (۴)	
۱/۹۳	تفکیک پذیری طبقات ۱ و ۲
۱/۹۷	تفکیک پذیری طبقات ۱ و ۳
۱/۹۹	تفکیک پذیری طبقات ۱ و ۴
۱/۶۲	تفکیک پذیری طبقات ۲ و ۳
۱/۷۹	تفکیک پذیری طبقات ۲ و ۴
۱/۲۱	تفکیک پذیری طبقات ۳ و ۴

جدول ۵. مجموعه بانندی گزینش شده مناسب برای طبقه بندی

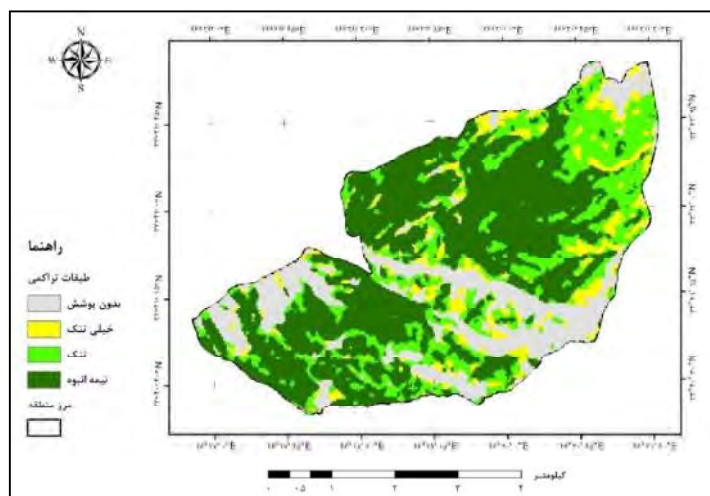
مجموعه باندهای مناسب براساس معیار واگرایی تبدیل شده	باندهای اصلی و مصنوعی مورد استفاده
چهار طبقه	NDVI, NRVI, PVI, PVI <sub>1</sub> , PVI <sub>2</sub> , WdVI, TSAVI, MSAVI <sub>2</sub> , RVI, SAVI, Greenness, Brightness, Wetness, PCA <sub>1-4</sub> , PCA <sub>5-7</sub> , OLI <sub>1-7</sub>
	PCA <sub>5-7</sub> , Wetness, SWIR <sub>1</sub> , SWIR <sub>2</sub> , SAVI, PVI <sub>1</sub> , NRVI, NDVI

جدول ۶. نتایج بررسی دقت نقشه های به دست آمده از انجام طبقه بندی چهار طبقه ای با بهترین مجموعه بانندی (درصد)

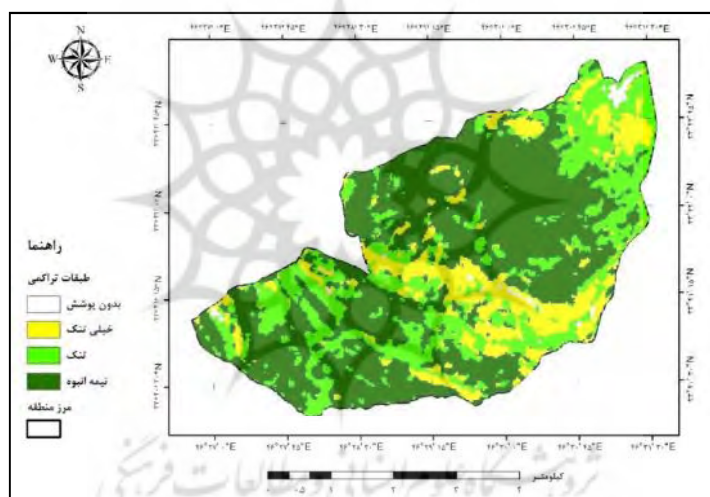
روش های طبقه بندی	حداقل فاصله	حداکثر احتمال
صحت کلی (درصد)	۸۰	۶۰
ضریب کاپا	۰/۶۸	۰/۳۵
طبقه تراکمی (درصد)	دقت تولیدکننده (درصد)	دقت کاربر (درصد)
بدون پوشش (۱)	۸۸/۸۹	۲/۷۸
پوشش ۵-۹ (۲)	۴۵/۸۳	۷۰/۸۳
پوشش ۱۰-۲۵ (۳)	۶۹/۷۹	۳۱/۲۵
پوشش ۲۶-۵۰ (۴)	۹۰/۴۴	۹۱/۹۱

پیکسلی روی نقشه های به دست آمده از طبقه بندی کننده های یاد شده، موجب حذف تک پیکسل ها و نرم شدن تصاویر شد؛ ضمن آنکه دقت طبقه بندی را نیز به میزان ۹ درصد برای طبقه بندی حداقل فاصله و ۵ درصد برای طبقه بندی حداکثر احتمال بهبود بخشید.

نتایج به دست آمده از طبقه بندی ها با نقشه واقعیته زمینی نمونه ای به صورت پیکسل به پیکسل مقایسه شدند (جدول ۶). نقشه های به دست آمده از خوارزمی های طبقه بندی حداکثر احتمال و حداقل فاصله از میانگین برای چهار طبقه تراکمی در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شدند. اجرای فیلتر نمای ۳×۳



شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی چهار طبقه‌ای به‌روش حداقل فاصله از میانگین



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی چهار طبقه‌ای به‌روش حداکثر احتمال

#### ۴- بحث

ارزیابی قرار گرفت. در این جنگل‌ها به‌علت بازبودن تاج‌پوشش، همواره بین خاک و پوشش گیاهی تداخل طیفی وجود دارد و این اختلاط طیفی روی صحت نقشه‌های خروجی تأثیر مستقیمی می‌گذارد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان می‌دهند که هم‌پوشانی طیفی طبقه‌های تراکمی موجب طبقه‌بندی اشتباه پیکسل‌ها و کاهش صحت طبقه‌بندی می‌شود که از دلایل آن می‌توان به بازبودن تاج‌پوشش در این جنگل‌ها و بازتاب زیاد خاک اشاره کرد. مطالعات

هرگونه برنامه‌ریزی و مدیریت برای حفظ و احیای اکوسیستم‌های حساس - نظیر جنگل‌های زاگرس - نیازمند اطلاعات صحیح و به‌نگام است. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات پیشین در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل در ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، اهمیت این موضوع را نشان می‌دهند. در پژوهش حاضر، قابلیت داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در تهیه نقشه تراکم جنگل‌های زاگرس مورد

خوارزمی حداکثر احتمال نشان دهنده عدم تطابق نقشه طبقه بندی شده با نقشه واقعی زمینی است. تفاوت بسیار زیاد دقت‌های تولیدکننده (۲/۷۸ درصد) و دقت کاربر (۱۰۰ درصد) در مورد طبقه ۱ (بدون پوشش) نشان می‌دهد که طبقه بندی آن بسیار ضعیف صورت گرفته، که یکی از دلایل آن تعداد کم نمونه‌های تعلیمی در این طبقه است. با توجه به اینکه در خوارزمی حداکثر احتمال برای ایجاد نقشه‌هایی با صحت بالا به نمونه تعلیمی زیادی نیاز است، می‌توان تعداد کم نمونه‌های تعلیمی در این طبقه را از عوامل اصلی کاهش دقت طبقه بندی در آن دانست.

در پژوهش حاضر، روش ناپارامتریک حداقل فاصله در مقایسه با روش پارامتریک حداکثر احتمال برای چهار طبقه تراکمی نتایج بهتری به دست داد، که با نتایج درویش صفت و سارویی (۲۰۰۳) مطابقت دارد. طبق با نتایج ناصری (۱۳۸۲) و پرما و شتایی (۱۳۸۹) در طبقه بندی تاج پوشش جنگل، طبقات خیلی تنک و تنک دارای تداخل طیفی بودند که موجب تفکیک پذیری نامناسب طبقات می‌شود. طبقه نیمه انبوه در طبقه بندی حداقل فاصله به علت بالابودن معیارهای صحت تولیدکننده و صحت کاربر (۹۰ و ۸۰ درصد) و وجود حداقل اختلاف بین آنها دارای بهترین تفکیک پذیری بود. به نظر می‌رسد که بالابودن قدرت تفکیک رادیومتریکی تصاویر باعث نمایش دقیق‌تر تغییرات شده که خود عاملی اصلی در افزایش صحت طبقه بندی در طبقه نیمه انبوه است. در طبقه بندی با روش حداکثر احتمال نتایج ضعیفی به دست آمد، چون این الگوریتم نمی‌تواند طبقات را از یکدیگر تفکیک کند. از دلایل طبقه بندی ناصحیح به روش حداکثر احتمال می‌توان به فرض‌های آماری این روش اشاره کرد. یکی از فرض‌های اصلی در روش‌های پارامتریک، نرمال بودن توزیع داده‌هاست. روش حداکثر احتمال برای طبقه بندی دقیق به تعداد نمونه زیادی نیاز دارد. از آنجاکه در پژوهش حاضر مقادیر پیکسل‌ها در هر طبقه تراکمی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند و

گذشته نشان می‌دهند تنک بودن پوشش گیاهی در مناطق خشک و اثر خاک زمینه باعث می‌شوند که شاخص‌های ترکیبی پوشش گیاهی و خاک در تخمین مشخصه‌های زیست‌سنجی کارایی بیشتری داشته باشند. به همین دلیل در پژوهش حاضر از شاخص‌های پوشش گیاهی که اثر بازتاب خاک پس زمینه را تا حد امکان کاهش می‌دهند، استفاده شد. با محاسبه معادله رگرسیونی خط خاک، پارامترهای خط خاک استخراج شدند و در معادلات ریاضی شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. همان گونه که جدول ۶ نشان می‌دهد، میزان صحت کلی و ضریب کاپا برای چهار طبقه تراکمی با استفاده از خوارزمی حداقل فاصله از میانگین، روی داده‌های طیفی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ به ترتیب ۸۰ درصد و ۰/۶۸ برآورد شد. صحت کلی ۸۰ درصد نشان دهنده صحت نسبتاً بالای نقشه تولید شده است. با توجه به اینکه در صحت کلی، پیکسل‌هایی که به اشتباه طبقه بندی شده‌اند در نظر گرفته نمی‌شوند، این شاخص قدرت بیان کنندگی بالایی ندارد، به همین دلیل برای بیان دقیق‌تر صحت طبقه بندی از ضریب کاپا استفاده می‌شود ( Congalton & Green, 2008). اگرچه ضریب کاپای نقشه حاصل شده از این روش خیلی زیاد نیست ولی مقدار ۰/۶۸ برای این ضریب در طبقه بندی انجام شده نشان می‌دهد که نقشه حاصل از طبقه بندی با نقشه واقعی زمینی نسبتاً تطابق دارد. با توجه به تاج پوشش کم منطقه، میزان همانندی طیفی طبقه‌های تراکمی زیاد بود و موجب بروز تداخل طیفی بین طبقه‌های تنک‌تر و در نتیجه جداپذیری نامناسب آنها شد. بالابودن میزان دقت‌های کاربر و تولیدکننده در طبقه ۴ (۵۰-۲۶ درصد) در مقایسه با دیگر طبقه‌ها و نزدیک بودن آنها با یکدیگر، گویای این مطلب است که این طبقه بهتر از دیگر طبقه‌ها جداسازی شده است. در خوارزمی حداکثر احتمال برای چهار طبقه تراکمی، صحت کلی و ضریب کاپای ۶۰ درصد و ۰/۳۵ به دست آمد. مقدار ضریب کاپای پایین در ارزیابی نتایج حاصل از طبقه بندی با

تهرانی، س.م.، درویش‌صفت، ع.ا.، نمیرانیان، م.، ۱۳۸۷،  
ارزیابی مدل FCD برای برآورد تراکم جنگل‌ها  
استفاده از داده‌های لندست ۷ (مطالعه موردی:  
جنگل‌های چالوس)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران،  
سال شانزدهم، شماره اول، صص. ۱۳۸-۱۳۴.

ثاقب طالبی، خ.، ساجدی، ت.، یزدیان، ف.، ۱۳۸۴، نگاهی به  
جنگل‌های ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع،  
ص. ۵۴.

جزیره‌ای، م.ح.، ابراهیمی رستاقی، م.، ۱۳۸۲، جنگل‌شناسی  
زاگرس، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۵۶۰ ص.

حسینی، ف.س.، درویش‌صفت، ع.ا.، ضرغام، ن.، ۱۳۹۱،  
بررسی قابلیت تصاویر IRS-P6-LISS IV برای  
تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های پسته وحشی  
(مطالعه موردی: جنگل خواجه کلات خراسان)،  
مجله جنگل ایران، سال چهارم، شماره چهارم،  
صص. ۳۲۰-۳۱۱.

رجب‌پور رحمتی، م.، درویش‌صفت، ع.ا.، خلیل‌پور، ع.،  
۱۳۸۹، بررسی قابلیت تصاویر سنجنده SPOT5-  
HRG در تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های خزری (مطالعه  
موردی: جنگل‌های دیلمان گیلان)، تحقیقات جنگل و  
صنوبر ایران، سال هجدهم، شماره اول،  
صص. ۱۴۲-۱۳۲.

رستمی، ع.، حیدری، ح.، ۱۳۸۷، تیپولوژی توده‌های جنگلی  
و بررسی وضعیت کلی آنها در جنگل‌های زاگرس،  
مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال پانزدهم،  
شماره سوم، صص. ۲۷۷-۲۷۴.

زبیری، م.، ۱۳۸۴، آماربرداری در جنگل، انتشارات دانشگاه  
تهران، تهران، ۴۰۱ ص.

شاهولی کوه‌شور، ا.، پیرباوقار، م.، فاتحی، پ.، ۱۳۹۱، تهیه

همچنین به دلیل کم بودن تعداد نمونه‌های تعلیمی -  
مخصوصاً در طبقه بدون پوشش- نتایج ضعیفی در  
روش حداکثر احتمال به دست آمد. تحقیقات افرادی  
چون درویش‌صفت و سارویی (۲۰۰۳) و پرما و شتایی  
(۱۳۸۹) که قابلیت‌های سنجنده ETM+ را برای  
طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس بررسی  
کردند، نشان می‌دهند که سنجنده ETM+ قابلیت  
بالایی در طبقه‌بندی تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس  
ندارد. اما نتایج پژوهش حاضر نشان دادند که سنجنده  
نسل جدید ماهواره‌های لندست (سنجنده OLI ماهواره  
لندست ۸) به علت داشتن ویژگی‌های فنی جدید نظیر  
افزایش توان تفکیک رادیومتریکی، افزایش قدرت  
تفکیک طیفی، و کاهش دامنه طول موج‌ها در هر باند،  
حساسیت سنجنده را به عوارض مختلف افزایش داده  
است. با توجه به صحت بالاتر نقشه‌های تولیدشده  
به وسیله این سنجنده می‌توان بیان کرد که سنجنده  
OLI قابلیت نسبتاً بالایی برای طبقه‌بندی تراکم  
تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس دارد، اگرچه برای اثبات  
این نتایج به مطالعات بیشتری نیاز است.

## ۵- منابع

برزاقن، ع.ر.، پیرباوقار، م.، فتحی، پ.، ۱۳۹۳، بررسی  
قابلیت داده‌های سنجنده LISS III به منظور تهیه  
نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس (مطالعه  
موردی: جنگل‌های مریوان)، مجله جنگل ایران، سال  
ششم، شماره چهارم، صص. ۴۰۱-۳۸۷.

بنیاد، ا.، ۱۳۹۳، روش‌های نمونه‌برداری در جنگل، انتشارات  
دانشگاه گیلان، گیلان، ۴۰۹ ص.

پرما، ر.، شتایی، ش.، ۱۳۸۹، بررسی امکان تهیه  
نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های  
زاگرس با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+،  
مجله جنگل ایران، سال دوم، شماره سوم،  
صص. ۲۴۲-۲۳۱.

- Symp. On Remote Sensing and IGARSS'90, Vancouver, Canada, 10-14 July 1989, 4 pp.
- Baret, F. & Guyot, G., 1991, **Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment**, Remote Sensing and the Environment, 35, PP. 161-173.
- Baret, F., Jacquemoud, S. & Hanocq, J.F., 1993, **The Soil Line Concept in Remote Sensing**, Remote Sensing Reviews, 7(1), PP. 65-82.
- Bossler, J.D., Jensen, J.R., Master, M.C., Robert, B. & Rizos, C., 2004, **Manual of Geospatial Science and Technology**, CRC Press, 647 pp.
- Clevers, J.G., 1989, **The Application of a Weighted Infrared-red Vegetation Index for Estimating Leaf Area Index by Correcting Soil Moisture**, Remote Sensing of Environment, 29, PP. 25-37.
- Congalton, R.G. & Green, K., 2008, **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**, CRC press, 210 pp.
- Darvishsefat, A.A. & Saroei, S., 2003, **Evaluation of the Potential of Landsat ETM<sup>+</sup> for Forest Density Mapping in Zagros Forests of Iran**, IGARSS 2003 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE., PP. 2529-2531.
- Estman Ronald, J., 2003, **Guide to GIS and Image Processing**, Idrisi 3.2, Vol. 2, Clark University, 328 pp.
- نقشه تراکم تاج پوشش جنگل در جنگل های نیمه انبوه تا تنک با استفاده از مدل FCD (مطالعه موردی: جنگل های مریوان)، کاربرد سنجش از دور و GIS در منابع طبیعی، سال سوم، شماره سوم، صص. ۷۳-۸۲.
- عبدالهی ه، شعبان، ش.، ۱۳۹۱، ارزیابی مقایسه ای قابلیت داده های LIII-III و LIII-IV ماهواره IRS-P6 در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل های شهرستان جوانرود)، علوم و فناوری چوب و جنگل، سال نوزدهم، شماره اول، صص. ۴۳-۶۰.
- عرفانی فرد، س.ی.، زبیری، م.، فقهی، ج.، نمیرانیان، م.، ۱۳۸۶، برآورد سطح تاج پوشش جنگل در عکس های هوایی با استفاده از شاخص سایه در زاگرس، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، سال پانزدهم، شماره سوم، صص. ۲۷۸-۲۸۸.
- علوی پناه، ک.، ۱۳۸۵، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، صص. ۴۵-۴۶.
- ناصری، ف.، ۱۳۸۲، طبقه بندی تیپ های جنگلی و برآورد مشخصه های کمی آنها با استفاده از داده های ماهواره ای در جنگل های مناطق خشک و نیمه خشک، رساله دکتری در رشته جنگل داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۲ ص.
- وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۳، دستورالعمل تهیه نقشه مناطق جنگلی زاگرس، دفتر فنی مهندسی سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور.
- Baret, F., Guyot, G. & Major, D., 1989b, **TSAVI: A vegetation index, which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation**, in 12th Canadian

- García Millán, V., Sánchez, A.A., Malvarez Garcia, G.C. & Rivard, B., 2014, **Quantifying Tropical Dry Forest Succession in the Americas using CHRIS/PROBA**, Remote Sensing of Environment, 144, PP. 120-136.
- Huete, A.R., 1988, **A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25, PP. 295-309.
- Kati, J., Salovaara, S.T., Riffat N. & Malike, H.T., 2005, **Classification of Amazonian Primary Rain Forest Vegetation using Landsat ETM<sup>+</sup> Satellite Imagery**, Remote Sensing of Environment, 97, PP. 39-51.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W., 2004, **Remote Sensing and Image Interpretation**, John Wiley & Sons Ltd, 812 pp.
- Loeb, N.G., Kato, S., Su, W., Wong, T., Rose, F.G., Doelling, D.R., Norris, J.R. & Huang, X., 2012, **Advances in Understanding Top-of-atmosphere Radiation Variability from Satellite Observations**, Surveys in geophysics, 33(3-4), PP. 359-385.
- Mather, P. & Tso. B., 2009, **Classification Methods for Remotely Sensed Data**, CRC press, 376 pp.
- Mishra, N., Haque, M.O., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D. & Markham, B., 2014, **Radiometric Cross Calibration of Landsat8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM<sup>+</sup>)**, Remote Sensing, 6 (12), PP. 12619-12638.
- Pearson, R.L. & Miller, L.D., 1972, **Remote Mapping of Standing Crop Biomass for Estimation of the Productivity of the Short-grass Prairie**, Pawnee National Grasslands, Colorado, in Proc. 8th Int. Symp. Remote Sensing of Environment. ERIM, Ann Arbor, MI, PP. 1357-1381.
- Perry, C.Jr. & Lautenschlager, L.F., 1984, **Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices**, Remote Sensing of Environment, 14(3-1), PP. 169-182.
- Pesta, F., Bhatta, S., Helder, D. & Mishra, N., 2014, **Radiometric Non-Uniformity Characterization and Correction of Landsat 8 OLI Using Earth Imagery-Based Techniques**, Remote Sensing, 7 (1), PP. 430-446.
- Qi J., Chehbouni, A., Huete, A.R. & Kerr, Y.H., 1994, **Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)**, Remote Sensing and the Environment, 48, PP. 119-126.
- Ren, H. & Zhou, G., 2014, **Determination of Green above-ground Biomass in Desert Steppe using Litter-soil-adjusted Vegetation Index**, European Journal of Remote Sensing, 47, PP. 611-625.
- Richards, J.A. & Jia, X., 1999, **Remote Sensing Digital Image Analysis**, Springer, 454 pp.
- Richardson, A.J. & Weigand, C., 1977, **Distinguishing Vegetation from Soil Background Information**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43, PP. 1541-1552.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. & Harlan, J.C., 1974, **Monitoring the Vernal Advancement of Retro Gradation of Natural Vegetation**, NASA/GSFC, Type I II, Final Report, Greenbelt, MD, 371 pp.

Su Mon, M., Mizoue, N., Zaw Htun, N., Kajisa, T., Yoshida, S., 2012, **Estimating Forest Canopy Density of Tropical Mixed Deciduous Vegetation using Landsat**

**Data: a comparison of three classification approaches**, International Journal of Remote Sensing, 33: PP. 1042–105.

Walther, D. & Shabaani, S., 1991, **large Scale Monitoring of Rangelands Vegetation using NOAA/AVHRR LAC data: Application to the rainy seasons 1989/90 in northern Kenya**, Range Management Handbook of Kenya, III/4. Nairobi.

