

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

ص ۷۵۳-۷۷۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

استفاده از الگوریتم نا پارامتریک k نزدیک ترین همسایه (k -NN) به عنوان روشی مناسب جهت تهیه فاکتور پوشش گیاهی و مدیریت مدل RUSLE در حوضه سد شیرین دره، شمال خراسان

- ❖ عماد ذاکری*؛ دکتری علوم مرتع، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان شمالی، ایران.
- ❖ حمیدرضا کریم زاده؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
- ❖ سید علیرضا موسوی؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

چکیده

از میان فاکتورهای مدل اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE)، فاکتور پوشش و مدیریت (فاکتور C) یکی از عوامل مهم و اثرگذار بر میزان فرسایش خاک است. تعیین فاکتور C بر اساس روش‌های اصلی معرفی شده با توجه به فقدان اطلاعات دقیق در بسیاری از مناطق مشکل است. در این روش نقشه پوشش گیاهی می‌تواند در جهت برآورد فاکتور C مورد استفاده قرار گیرد، اما تهیه نقشه مناسب از درصد پوشش گیاهی در بسیاری از شرایط یک چالش است. در نتیجه در این مطالعه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی تهیه شده با استفاده از الگوریتم نا پارامتریک k -NN، رگرسیون خطی و رگرسیون خطی گام‌به‌گام در حوضه آبخیز شیرین دره خراسان شمالی تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت. در روش‌های رگرسیونی ۱۷ شاخص گیاهی و محیطی تهیه و روابط آن‌ها بررسی شد. نتایج مقایسه نقشه‌های حاصل از ۳ روش نشان داد که روش k -NN به دلیل دارا بودن بالاترین درصد صحت کلی (۸۳/۳ در صد) و ضریب کاپا (۷۵/۹ درصد) نسبت به دو روش رگرسیونی دیگر از نتایج مناسب‌تری برخوردار است، از این رو جهت تهیه فاکتور مدیریت و پوشش (C) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که روش نا پارامتریک k -NN دارای نتایج امیدوارکننده‌ای در جهت تهیه نقشه‌های درصد تاج پوشش گیاهی مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در میان شاخص‌های گیاهی شاخص گیاهی NDVI بیشترین همبستگی (۰/۸۲) را با درصد پوشش گیاهی دارد. همچنین در روش k -NN معیار فاصله اقلیدسی در نقطه $k=9$ نسبت به دو معیار دیگر ماهالانوبیس و فازی نتایج مناسب‌تری دارد و می‌تواند نقشه درصد پوشش گیاهی را با دقت بالاتری برآورد نماید.

کلید واژگان: فرسایش خاک، فاکتور پوشش و مدیریت، شاخص گیاهی، الگوریتم نا پارامتریک، k نزدیک ترین همسایه.

۱. مقدمه

برای برآورد فاکتور C استفاده شده است. وسعت زیاد مراتع کشور و عدم امکان دسترسی به کلیه اراضی مرتعی از یک طرف و هزینه زیاد و زمان بر بودن تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی و ارزیابی پوشش با استفاده از پیمایش‌های میدانی یکی از مشکلاتی است که کارشناسان همواره با آن روبرو بوده‌اند. در سال‌های اخیر اطلاعات ماهواره‌ای در مطالعات منابع طبیعی به‌ویژه در ارزیابی و تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی گسترش روزافزونی داشته است. به‌طور کلی سه روش جهت تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور شامل روش‌های پارامتریک رگرسیونی، روش‌های نا پارامتریک نظیر الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایه (k-NN) و روش‌های جداسازی طیفی^۱ وجود دارد [۵۲]. الگوریتم نا پارامتریک k-NN که به‌طور گسترده در علوم جنگل برای محاسبه ویژگی‌های جنگل نظیر حجم توده سطح زمین، تراکم، نوع پوشش جنگلی، قطر برابر سینه و دیگر شاخص‌های مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته است [۱۰، ۲۰، ۱۴]، می‌تواند در تهیه نقشه پوشش گیاهی مراتع با دقت بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک [۵۲] نیز مورد استفاده قرار گیرد اما تجربیات چندانی از استفاده از این روش در کشور وجود ندارد. با این مقدمه مطالعه حاضر به دنبال ۳ هدف کلی است، ۱- مقایسه روش اصلی پیشنهادی k-NN با دو روش رگرسیونی متداول تهیه نقشه پوشش گیاهی، ۲- تعیین فاکتور C با استفاده از روش مناسب تهیه نقشه پوشش گیاهی و ۳- برآورد سایر فاکتورهای مدل RUSLE و تعیین میزان فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه.

۲. روش شناسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در محدوده حوضه آبخیز ارناره، بخشی

فرسایش آبی خاک یکی از مشکلات رایج زیست‌محیطی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است که می‌تواند توسعه پایدار در بخش کشاورزی کشورها را با مشکل مواجه سازد [۳۲]. فرسایش خاک طی دهه‌های اخیر سرعت قابل توجهی داشته به‌طوری‌که بیش از ۸۵ درصد از تخریب زمین با فرسایش خاک در ارتباط است [۳۶]. نرخ سالانه فرسایش خاک در ایران ۳۳ تن در هکتار گزارش شده است که ۶/۵ برابر حد مجاز و استانداردهای بین‌المللی است [۲۳]، به گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۰۵ خسارت ناشی از فرسایش خاک در ایران در سال ۲۰۰۲ معادل ۲۸۴۰ میلیون دلار برآورد شده است که این رقم ۲/۵ درصد از کل تولید ناخالص داخلی ایران در این سال را تشکیل می‌دهد [۴۶]. برآورد میزان هدر رفت خاک و شناسایی مناطق بحرانی فرسایش جهت پیاده‌سازی بهترین روش‌های مدیریتی و حفاظت خاک ضروری است [۴۵]. مدل‌های مختلفی به‌منظور برآورد فرسایش خاک در مناطق مختلف توسعه‌یافته و کالیبره شده‌اند. مدل اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) از جمله مدل‌های تجربی برآورد فرسایش آبی است که برای شرایط اقلیمی معتدل طراحی و توسعه‌یافته است [۴۰]، از میان ۶ فاکتور تأثیرگذار در این مدل، فاکتور مدیریت و پوشش - فاکتور C - به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آن‌ها معرفی می‌شود، در نتیجه باید در برآورد آن دقت زیادی کرد به‌طوری‌که انتخاب ارزش نامناسب فاکتور C می‌تواند خطای زیادی در محاسبات فرسایش ایجاد کند [۲۹]. این فاکتور در مدل RUSLE به‌عنوان نسبتی از هدر رفت خاک در اراضی کشت‌شده کشاورزی و اراضی آیش و نیز شخم زده شده است [۵۸]، با این وجود در سطح حوضه‌های آبخیز بزرگ و نیز حوضه‌های دارای سطح بالای اراضی مرتعی، فاکتور C تنها تحت تأثیر عامل کشت نخواهد بود [۶۱]. در نتیجه در مطالعات مختلفی از برآورد درصد پوشش گیاهی

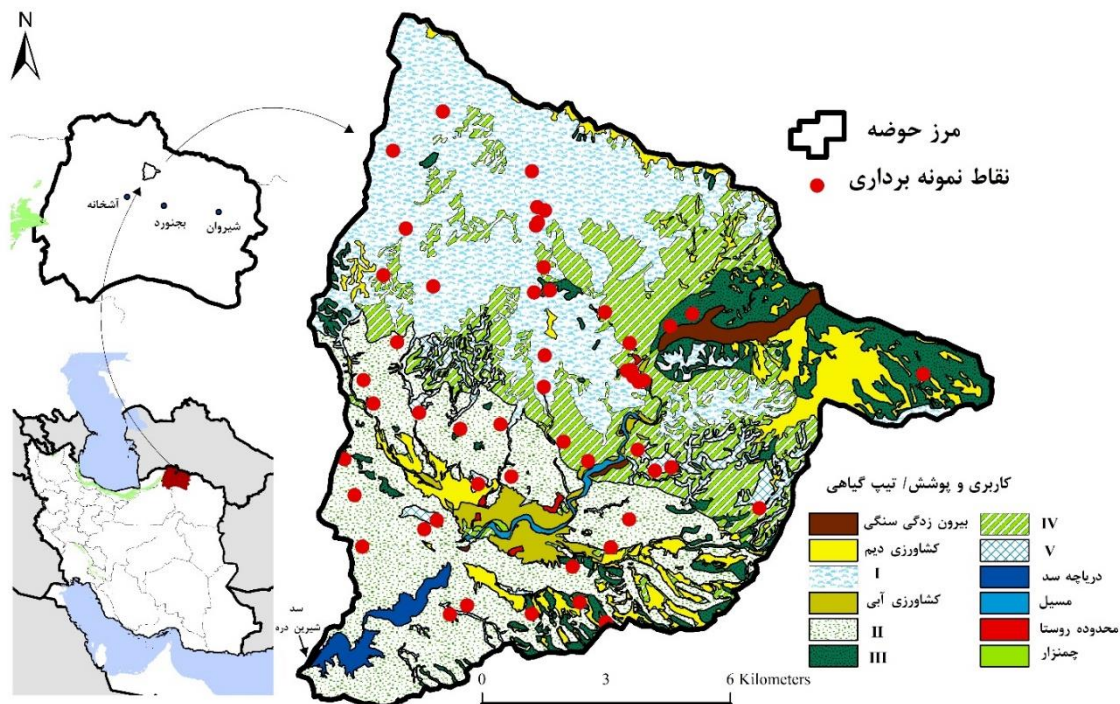
^۱ Spectral Unmixing Analysis

^۱ The Revised Universal Soil Loss Equation

^۲ k-nearest neighbor

منطقه مورد مطالعه در ارتفاع بین ۷۰۳ متر تا ۱۷۱۰ متر از سطح دریا قرار دارد و متوسط ارتفاع آن ۱۰۷۰ متر است. این حوضه بنا به گزارش‌ها مختلف یکی از فرسایش پذیرترین حوضه‌های استان خراسان شمالی است [۳۱]، موقعیت حوضه مورد مطالعه در استان خراسان شمالی و نقاط نمونه برداری در شکل (۱) آورده شده است.

از حوضه سد شیرین دره، در فاصله حدود ۶۰ کیلومتری مرکز استان خراسان شمالی در شمال شرق ایران، در محدوده عرض جغرافیایی $37^{\circ}42'19''$ تا $37^{\circ}51'23''$ عرض شمالی و $57^{\circ}06'36''$ تا $57^{\circ}17'56''$ طول شرقی، انجام شده است. حوزه مزبور دارای مساحت ۱۵۰ کیلومترمربع و متوسط بارندگی ۳۴۲ میلی‌متر است.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز مورد مطالعه، نقاط نمونه برداری پوشش گیاهی، استان خراسان شمالی، ایران.

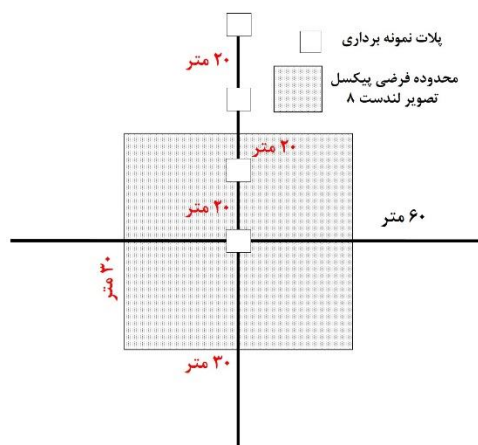
به دست آمده از ارتباط بین شاخص گیاهی NDVI و درصد پوشش گیاهی حاصل از برداشت میدانی و روش سوم؛ رگرسیون چند متغیره گام به گام خطی که علاوه بر شاخص گیاهی NDVI از ۱۳ شاخص گیاهی دیگر مبتنی بر شیب، فاصله، حساس به آب گیاهان و تبدیلات راست گوشه، و همچنین ۳ متغیر محیطی (جدول ۱) استفاده می‌نماید. از آنجاکه وجود همبستگی بالا بین متغیرهای ورودی مدل می‌تواند سبب ایجاد خطایی قابل توجه شود [۸]، پیش از انجام تجزیه و تحلیل متغیرها و استفاده آن‌ها، همبستگی آن‌ها با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون آزموده شد و

۲.۲. روش تحقیق

در این مطالعه ابتدا سعی شد نقشه درصد تاج پوشش گیاهی با استفاده از ۳ روش تهیه و مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد. روش اول؛ روش ناپارامتریک k-NN که از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست (۷ باند) متعلق به زمان نمونه برداری به شماره ردیف ۳۴ و گذر ۱۶۱، قطعات نمونه شامل اطلاعات اندازه گیری شده پوشش گیاهی، موقعیت جغرافیایی هر یک از قطعات، اطلاعات طیفی هر یک از ۶ باند ماهواره متناظر با هر یک از قطعات استفاده می‌کند [۶۰]. روش دوم؛ رابطه رگرسیونی خطی

سیستماتیک انجام شد. بدین صورت که ابتدا ۵۲ نقطه تصادفی در سطح منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد (شکل ۱)، سپس در طول چهار ترانسکت ۶۰ متری، به صورت شعاعی از مرکز نقطه تصادفی به فاصله بیست متری با توجه به اندازه تجربی بزرگترین تاج پوشش گیاهی (غالباً یک مترمربع) پلاتی قرار گرفته، و میانگین درصد تاج پوشش گیاهی ۱۳ پلات اندازه گیری شده به هر یک از نقاط تصادفی نسبت داده شد (شکل ۲).

از میان متغیرهای با همبستگی بیش از ۸۰ درصد و همچنین دارای کمترین همبستگی با داده های پوشش به عنوان متغیر وابسته، یک متغیر حذف گردید. در هر ۳ روش نیاز به اطلاعات میدانی از پوشش گیاهی است. جهت در اختیار داشتن این اطلاعات در هر ۳ روش بیان شده، نمونه برداری از خصوصیات پوشش گیاهی شامل درصد تاج پوشش گیاهی، خاک لخت، سنگ و سنگریزه و لاشبرگ، در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۶ با استفاده از روش تصادفی-



شکل ۲- روش نمونه برداری از پوشش گیاهی و استقرار پلاتها

معنی که ماتریسی متشکل از اطلاعات جغرافیایی نمونه های میدانی، اطلاعات پوشش نمونه ها و ارزش طیفی پیکسل های مربوط به هر یک از نمونه ها خواهیم داشت. هدف الگوریتم k-NN برآورد ارزش نامعلوم پوشش گیاهی برای پیکسل هایی است که تنها دارای ارزش طیفی تصاویر ماهواره ای هستند. در نهایت برآورد مشخصه های مورد نظر برای دیگر پیکسل های تصویر که تنها دارای ارزش طیفی مربوط به خود بوده و فاقد اطلاعات قطعات نمونه برداری هستند، انجام خواهد گردید [۱]. در روش k-NN هر پیکسل از باندهای شش گانه به عنوان یک نقطه در نظر گرفته شده و با استفاده از رابطه ۲ مقدار پوشش گیاهی [۶۰]، برای هر یک از پیکسل های هدف تعیین خواهد شد.

$$Y_j = \left(\frac{1}{k} \right) \left(\sum_{i=1}^k W_{ji} Y_{ji} \right) \left(\sum_{i=1}^k W_{ji} \right)^{-1} \quad \text{معادله ۲}$$

۳،۲. الگوریتم k نزدیک ترین همسایه (k-NN)

جهت تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی با استفاده از الگوریتم نا پارامتریک k-NN از پکیج yaImpute [۱۲] و در محیط نرم افزار آماری R استفاده شد [۵۳]. الگوریتم k-NN نیازمند ماتریس مرجع به عنوان داده ورودی است، که دارای اطلاعات داده اندازه گیری زمینی و تصاویر ماهواره ای است. ماتریس مرجع با استفاده از تلفیق اطلاعات نقاط نمونه برداری زمینی شامل اطلاعات پوشش گیاهی و موقعیت جغرافیایی هر یک و ارزش های طیفی پیکسل ها مربوط به نقاط نمونه برداری زمینی، تهیه می شود. بدین ترتیب که ارتباطی بین قطعات نمونه و ارزش طیفی تصاویر ماهواره ای در قالب ماتریس داده برقرار خواهد شد. به این

الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایه و مقدار متغیرهای پاسخ ماتریس داده‌های مرجع، و با در نظر گرفتن، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی، مناسب‌ترین بهینه‌سازی الگوریتم k-NN جهت تخمین متغیر وابسته Y برای هر یک از مجموعه داده‌های هدف تعیین خواهد شد [۱۸]. در واقع بیشترین میزان ضریب همبستگی (R²) و کمترین میزان مربعات خطا (RMSE) بین k-NN تخمینی و مقادیر متغیر پاسخ اندازه‌گیری شده معیاری از انتخاب روش صحیح خواهد بود [۱۸]. در نتیجه در مطالعه حاضر پس از محاسبه مقادیر RMSE و R² برای هر یک از معیارهای فاصله مورد بررسی در نقاط (k) و ترسیم شکل ۴، مقادیر درصد تاج پوشش گیاهی در ماتریس هدف با استفاده نرم‌افزار R 3.4.1 تخمین زده شد و نقشه درصد تاج پوشش گیاهی در سطح پیکسل در محیط ArcGIS 10.4 تهیه شد (شکل ۵).

که در آن k برابر است با ضریب تعیین‌شده، $1 \leq k \leq n$ ، w_{ji} برابر است با وزن نقاط انتخاب‌شده از مجموعه داده‌های مرجع، Y_{ji} برابر است با ارزش متغیر Y مرتبط با پلات iام و پیکسل jام. در این روش دقت و بهینه‌سازی آن تحت تأثیر عواملی نظیر مقدار ثابت k برای پیدا کردن تعداد همسایه‌ها و همچنین عامل فاصله بهینه برای پیدا کردن همسایگی و همچنین نوع و تعداد متغیرهای فضایی خصوصیات است [۱]. برای تعیین معیار فاصله در این الگوریتم از روش‌های اقلیدسی، منهن، فازی، ماهالانوبیس و غیره استفاده می‌شود، که در مطالعه حاضر مقایسه بین سه روش اقلیدسی، فازی و ماهالانوبیس انجام شد. یکی از روش‌ها جهت بهینه‌سازی الگوریتم k-NN روش اعتبار سنجی متقابل (Leave-One-Out (LOO است، که با استفاده از محاسبه مقدار میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) و ضریب همبستگی (R) بین تخمین‌های

جدول ۱. متغیرهای استفاده‌شده در روش‌های مختلف و نحوه تهیه آن‌ها

منبع	توضیحات و نحوه تهیه	متغیر
	blue, green, red, near infrared (NIR), shortwave infrared 1 (SWIR1), shortwave infrared 2 (SWIR2)	متغیرهای بر پایه سنجش از دور / باندهای ماهواره لندست ۸
[27]	$NIR - SWIR1 / NIR + SWIR1$	NDMI ^۲
[43]	$NIR - red / NIR + red$	NDVI ^۴
[28]	$[2.5 \times ((NIR - red) / (NIR + (6 \times red) - (7.5 \times blue) + 1))]$	EVI ^۵
[37]	$SR = NIR / R$	SR ^۶
[25]	$[(NIR - R) / (NIR + R + L)] \times (1 + L)$	SAVI
[42]	$\sin(\alpha) \times NIR - \cos(\alpha) \times R$	PVI ^۷
[20]	$(NIR - Green) / (NIR + Green)$	GNDVI ^۸
[54]	$NIR - Red$	DVI ^۹
[21]	$\sqrt{NIR / Red}$	GI ^{۱۰}
[54]	$NIR / Red + Green$	RVI ^{۱۱}
[30]	$Blue(-0.2848) + 0.000000(-0.2435) + 0.0000(-0.5436) + 0.0000(0.7243) + 0.00000000(0.084) + 0.0000(-0.18)$	GVI ^{۱۲}
[4]	$(RVI - 1) / (RVI + 1)$	NRVI ^{۱۳}

^۱Green Normalized Difference Vegetation Index

^۲Differential Vegetation Index

^۳Greenness index

^۴Ratio Vegetation Index

^۵Green Vegetation Index

^۶Normalized Ratio Vegetation Index

^۷Root Mean Square Error

^۸coefficient of correlation

^۹Normalized Difference Moisture Index

^{۱۰}Normalized Difference Vegetation Index

^{۱۱}Enhanced Vegetation Index

^{۱۲}Simple Ratio

^{۱۳}Perpendicular Vegetation Index

[10]	[NIR-(Green× Red)]	WDVI ^۱
[41]	[(Red+1) ×(65536-Green) ×(Red-Green)] ^{1/3}	AVI ^۲
[6]	ArcGIS در نرم افزار Slope محاسبه شده توسط تابع) درصد بدون واحد (مقادیر بالای شاخص نشان دهنده پتانسیل بالای رطوبت خاک است) (استفاده از DEM ۳۰ متری منطقه)	متغیرهای محیطی / شیب CTI ^۳ ارتفاع

انجام می‌گیرد. کلیه آنالیزهای آماری در محیط نرم‌افزار SPSS.17 و رسم نمودارها با استفاده از برنامه Sigmaplot.10 انجام شد.

۶.۲. مدل RUSLE و فاکتورهای مؤثر

در ادامه تحقیق با استفاده از نقشه پوشش گیاهی به دست آمده از بهترین روش مراحل قبل، فاکتور مدیریت و پوشش (فاکتور C) با استفاده از رابطه ۱ تهیه شد [۶۰]. در این رابطه Fc؛ درصد تاج پوشش گیاهی تهیه شده با استفاده از بهترین روش است.

$$C = 0.1 - 0.6508 / 343 \log(Fc) \quad \text{معادله ۱}$$

و پس از آن مدل RUSLE جهت برآورد هدر رفت خاک در سطح منطقه مورد مطالعه استفاده گردید، مدل RUSLE یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با ۶ فاکتور فرسایشی رابطه دارد [۴۰]؛

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{معادله ۳}$$

در این رابطه A: میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (t ha⁻¹ yr⁻¹)، R: فاکتور فرسایشی باران و رواناب (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹)، K: فاکتور فرسایش پذیری خاک (Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹)، LS: فاکتور توپوگرافی است که بیان کننده طول شیب و درجه شیب است، C: فاکتور مدیریت و پوشش و در نهایت P: فاکتور عملیات حفاظتی است. با توجه به هدف مطالعه تنها به داده‌های مورد استفاده در برآورد سایر فاکتورهای مدل اشاره می‌گردد. فاکتور فرسایشی باران (R) بیان کننده تأثیر توأم قطرات باران و رواناب بر هدر رفت خاک است. در این مطالعه به دلیل فقدان اطلاعات شدت رگبار از شاخص اصلاح شده فورنیه و

۴.۲. پیش پردازش

به دلیل استفاده از داده‌های سطح اول ماهواره لندست جهت تهیه شاخص‌ها، هیچ‌گونه تصحیح هندسی بر روی تصاویر صورت نگرفت [۳]، و تصحیح‌های رادیو متریک و اتمسفری نیز با استفاده از الگوریتم FLAASH در محیط نرم‌افزار ENVI 5.1 انجام گرفت [۴۰].

۵.۲. ارزیابی صحت مدل‌ها

در این مطالعه از مجموعه نقاط بیان شده تعداد ۳۷ نقطه (۷۰ درصد نقاط) به عنوان داده‌های آموزش جهت برآورد مدل‌های رگرسیونی خطی و خطی گام‌به‌گام و نیز الگوریتم k-NN استفاده شد و ۱۵ نقطه (۳۰ درصد) نیز به عنوان داده‌های تست جهت بررسی صحت مدل‌ها استفاده شد (شکل ۳). برای ارزیابی صحت مدل‌ها با استفاده از مجموعه ۱۵ عددی داده‌های تست که در محاسبات وارد نشده بودند، از شاخص‌های ضریب کاپا و نیز درصد صحت کلی نقشه‌ها استفاده شد. به این منظور ابتدا نقشه‌های پوشش گیاهی به دست آمده از ۳ روش مورد نظر به ۵ طبقه (شکل ۶) تقسیم بندی شد و با برآورد ماتریس خطا، ضرایب عنوان شده با استفاده از مجموعه داده‌های تست تعیین شد (جدول ۴). همچنین مقایسه و انتخاب روش مناسب با استفاده از مجموعه داده‌های تست و بهره‌گیری از آزمون t جفتی در سطح احتمال ۵ درصد نیز انجام شد. ضمن اینکه همان‌طور که بیان شد مقایسه معیارهای فاصله‌ای برآورد نقاط مجهول در خود روش الگوریتم k-NN نیز بر پایه محاسبه مقادیر RMSE و R²

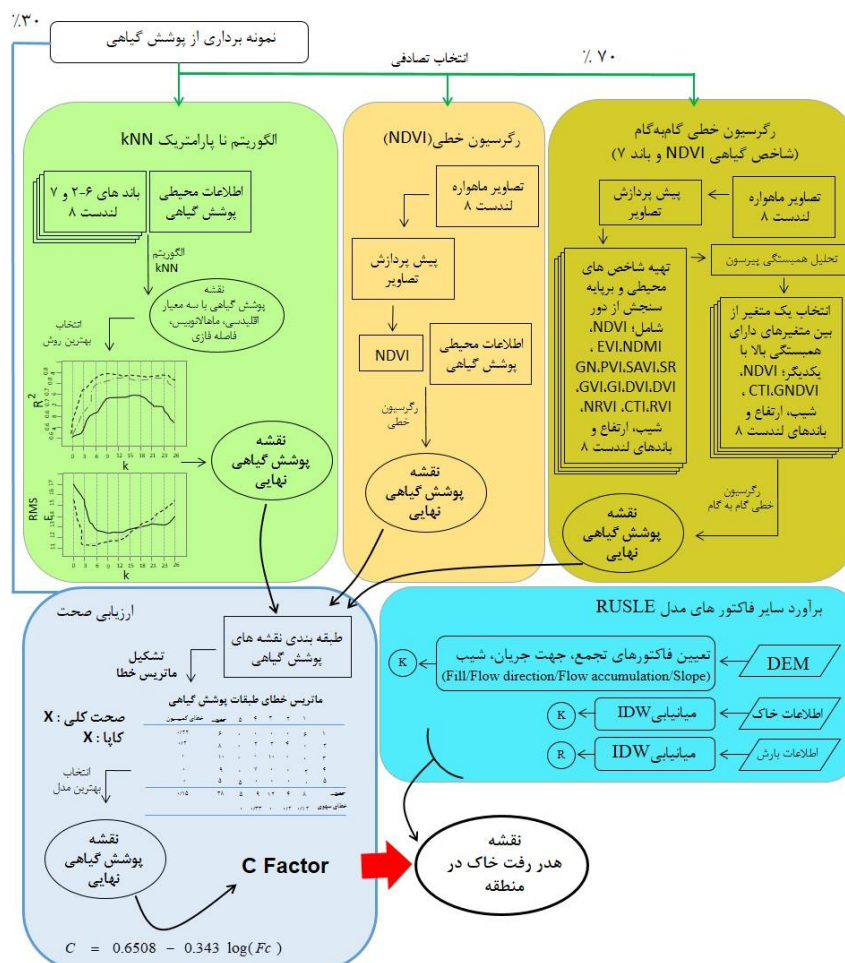
^۱Weight Differenced Vegetation Index

^۲- Advanced Vegetation Index

^۳- Compound Topographic Index

تهیه شد [۱۵]. در این رابطه از ویژگی‌های بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن خیلی ریز)، درصد ماده آلی، درجه امتیاز مربوط به ساختار خاک و درجه نفوذپذیری مربوط به خاک استفاده می‌شود. فاکتور توپوگرافی (LS) بیان‌کننده اثر طول شیب و درجه شیب در میزان فرسایش خاک می‌باشند [۵]. جهت تهیه این فاکتور از لایه DEM، جهت جریان (Fdr)، تجمع جریان (Fac) و شیب با اندازه سلول ۳۰ متر و بر اساس روابط موجود [۵۵] استفاده گردید. همچنین به دلیل عدم وجود روش‌های مدیریتی حفاظت خاک در منطقه ضریب ۱ برای فاکتور عملیات حفاظتی در نظر گرفته شد. فلوجارت مراحل انجام تحقیق در ادامه آورده شده است (شکل ۳).

رابطه فاکتور فرسایش باران با آن استفاده شد [۵]، شاخص اصلاح‌شده فورنیه برای ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی در داخل و خارج حوضه مورد مطالعه طی سال‌های آماری ۱۳۷۴-۱۳۹۵ برای هر سال محاسبه، و نقشه آن با انجام عملیات میانابی IDW تهیه شد. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) بیانگر حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران و انتقال آن‌ها به وسیله نیروی رواناب را نشان می‌دهد [۵۶]. برای تهیه فاکتور فرسایش‌پذیری خاک ۱۹ پروفیل در سطح منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۶ تا عمق سنگ‌بستر حفر شده و با استفاده از روابط موجود بین خصوصیات خاک و این فاکتور استفاده [۱۹] و در نهایت نقشه مورد فاکتور K با استفاده از روش میانابی IDW، و با اندازه سلول ۳۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.4



شکل ۳. فلوجارت مراحل مقایسه روش‌های مختلف تهیه نقشه پوشش گیاهی و فاکتور مدیریت و پوشش جهت برآورد فرسایش خاک

۳. نتایج

۱،۳. رگرسیون خطی (NDVI)

در این مرحله سعی شد از بین شاخص‌های مختلف گیاهی و محیطی اثرگذار بر پوشش گیاهی بهترین آن تعیین و رابطه رگرسیونی آن با پوشش گیاهی برآورد گردد. در نتیجه ابتدا همبستگی بین شاخص‌ها و درصد تاج پوشش گیاهی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار گرفت. از آنجاکه شاخص گیاهی NDVI بیشترین همبستگی (۰/۸۲) را با درصد پوشش گیاهی در سطح ۹۹ درصد دارد ($p < 0.01$)، در نتیجه شاخص NDVI انتخاب و رابطه آن با پوشش گیاهی به شکل رابطه ۴ تخمین زده شد. به طوری که بنا بر نتایج به دست آمده ۷۸ درصد تغییرات درصد تاج پوشش گیاهی به واسطه متغیر NDVI توجیه می‌شود. در ادامه رابطه رگرسیونی بین شاخص‌های مختلف و پوشش گیاهی در نمونه‌های محیطی برآورده شده آمده است (شکل ۳).

$$\text{معادله ۴} \quad \text{NDVI} = 0.130984 + 0.7951 \times \text{تاج پوشش} (\%)$$

۲،۳. رگرسیون خطی گام به گام (شاخص گیاهی

NDVI و باند ۷)

همچنان که بیان شد جهت جلوگیری از خطای هم خطی چندگانه^۱ بین متغیرهای مستقل وارد شده در مدل و جلوگیری از برآورد همراه با خطای ضرایب [۹]، از میان متغیرهایی که همبستگی بالایی با یکدیگر داشتند، یک متغیر انتخاب و وارد مدل شد. در نتیجه متغیرهای NDVI، GNDVI، SAVI، NDMI، CTI، شیب، ارتفاع، و همچنین باندهای ۲، ۵ و ۷ ماهواره لندست ۸ به عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شده و با انتخاب روش گزینش Forward مهم‌ترین متغیرهای مستقل بیان کننده درصد تاج پوشش گیاهی تعیین و معادله مزبور به شکل رابطه ۵ برآورد گردید.

$$\text{تاج پوشش} (\%) = 78.815$$

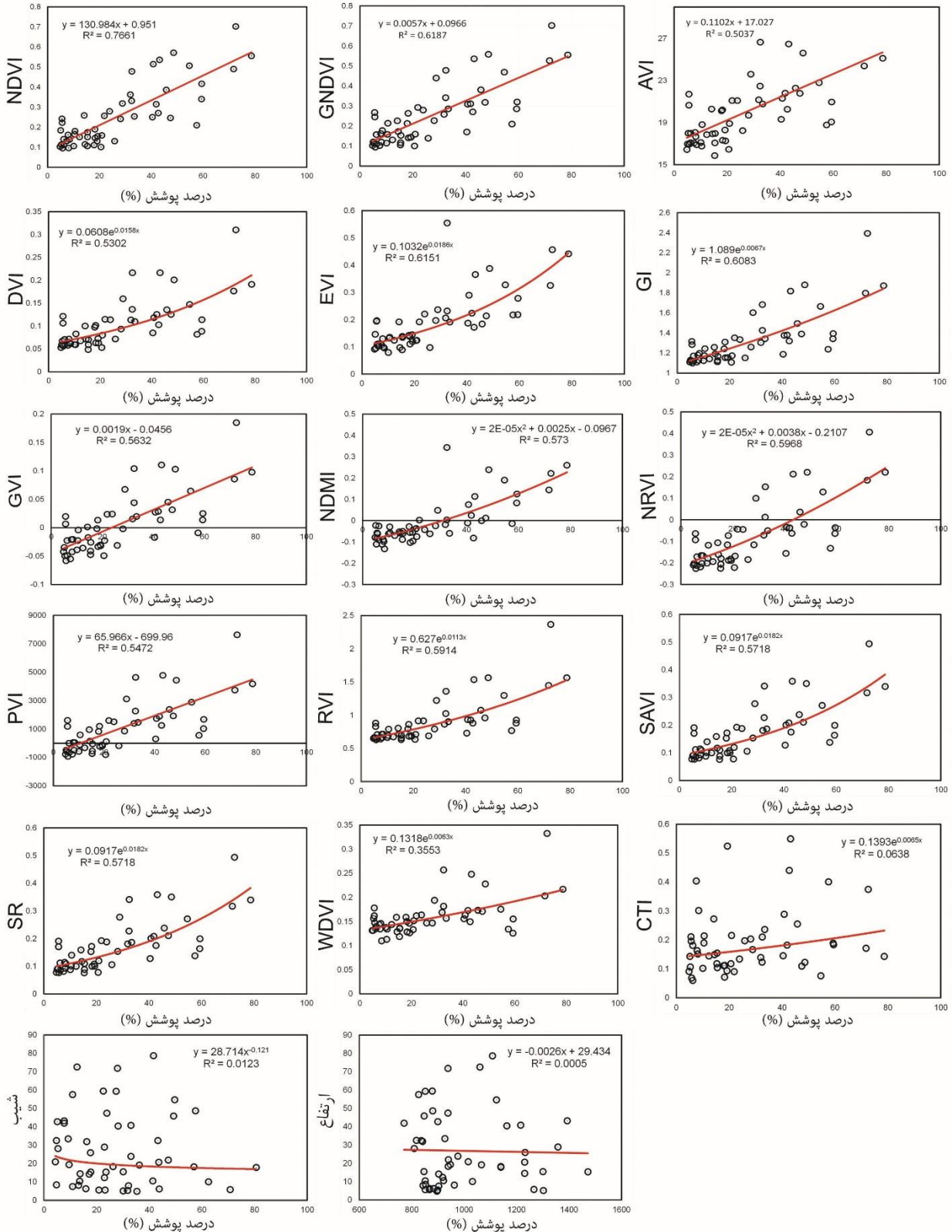
$$\text{معادله ۵} \quad \text{NDVI} = -0.004(\text{SWIR2}) + 64.241(\text{NDVI})$$

نتایج به دست آمده (جدول ۲)، نشان داد که باند ۷ ماهواره لندست ۸ به تنهایی ۰/۷۶ درصد و همراه با شاخص گیاهی NDVI، ۰/۷۹ تغییرات متغیر وابسته را توجیه نمودند ($p < 0.05$).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس رگرسیون گام به گام پوشش گیاهی و شاخص‌های گیاهی و محیطی مورد مطالعه

مراحل رگرسیون گام به گام		
۲	۱	
۷۸/۸۱۵	۱۴۴/۹	عدد ثابت
-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۷	باند ۷
۶۴/۲۴۱		شاخص NDVI
۰/۸۸	-۰/۸۷۱	R
۰/۷۸۶	۰/۷۵۹	R ²

^۱ - Multicollinearity

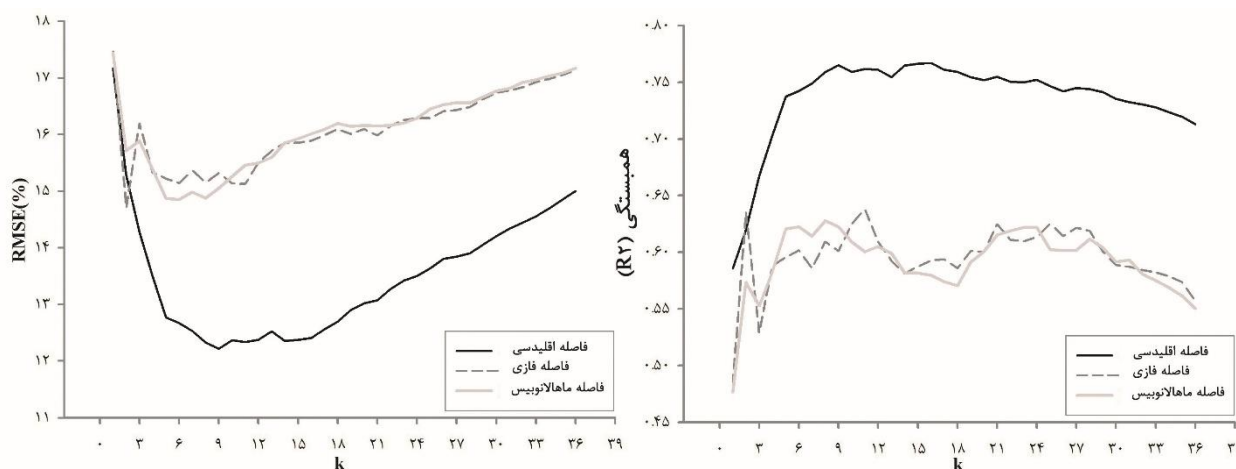


شکل ۴. رابطه رگرسیونی بین شاخص‌های مختلف و پوشش گیاهی در نمونه‌های محیطی

۳.۳. آنالیز نا پارامتریک k-NN

همان طور که در قسمت‌های قبل بیان شد تعیین مقدار ثابت k و عامل فاصلهٔ بهینه برای پیدا کردن همسایگی، لازمهٔ اجرای روش نا پارامتریک k -NN هستند. سه معیار فاصلهٔ اقلیدسی، فاصلهٔ مالهالانوبیس و فازی جهت تهیهٔ نقشهٔ درصد تاج پوشش گیاهی انتخاب شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که معیار فاصلهٔ اقلیدسی به دلیل داشتن سطح پایین‌تری از RMSE و بالاترین میزان R^2 ، نسبت به دو معیار دیگر مالهالانوبیس و فازی نتایج مناسب‌تری دارد، پس از معیار اقلیدسی نیز معیار مالهالانوبیس قرار دارد. کمترین و بیشترین مقادیر شاخص‌های RMSE و ضریب همبستگی R^2 برای معیار

فاصلهٔ اقلیدسی ($RMSE=12/21$ ، $R^2=0/76$)، مالهالانوبیس ($RMSE=14/84$ ، $R^2=0/62$) و فازی ($RMSE=15/13$ ، $R^2=0/6$) به ترتیب در نقاط $k=6$ ، $k=9$ ، $k=6$ به دست آمد (شکل ۴). باید عنوان کرد که معیارهای فاصلهٔ فازی و مالهالانوبیس از الگوی نسبتاً یکسانی پیروی کرده و بسیار به یکدیگر نزدیک هستند، همچنان که بیشترین و کمترین میزان R^2 و RMSE در معیار فاصلهٔ مالهالانوبیس در نقطه $k=3$ با مقادیر $0/76$ و $12/28$ است و معیار اقلیدسی در این مدل کاملاً با معیارهای فاصلهٔ دیگر تفاوت دارد (شکل ۴).



شکل ۵. مقدار شاخص‌های RMSE و R^2 بر حسب معیارهای بهینهٔ فاصله و تعداد k ، در الگوریتم k -NN.

۴.۳. مقایسهٔ روش و ارزیابی صحت مدل‌ها

جهت ارزیابی صحت و دقت نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل از روش موردمطالعه با استفاده از ۳۰ درصد داده‌های آزمون که در تهیهٔ نقشه‌های استفاده نشده بودند و طبقه‌بندی نقشه‌ها در ۵ طبقه (شکل ۵) مقدار درصد صحت کلی و ضریب کاپا تعیین شد. نتایج نشان داد که نقشهٔ حاصل از الگوریتم نا پارامتریک k -NN از بالاترین

مقدار صحت کلی (۷۳/۳ درصد) و نیز کاپای ۶۵/۹ درصد برخوردار است. دو روش دیگر رگرسیونی نیز هرچند در مقدار صحت کلی اختلاف نداشته (۴۰ درصد در هر دو روش)، اما روش رگرسیونی خطی از ضریب کاپای بالاتری برخوردار است (جدول ۴). همچنین نتایج حاصل از آزمون t جفتی (جدول ۵)، نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌شده و تخمین زده‌شده در روش نا

گروه‌های جداگانه قرار می‌گیرند ($p < 0.05$). نتایج نشان داد که استفاده از روش k-NN نتایج مناسب‌تری نسبت به رابطه رگرسیونی با شاخص NDVI و همچنین رگرسیون خطی گام‌به‌گام دارد (جدول ۳ و ۴).

پارامتریک k-NN وجود نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند ($p < 0.05$); اما بین داده‌های مشاهده‌شده و تخمین زده‌شده در دو روش رگرسیون خطی و رگرسیون خطی گام‌به‌گام تفاوت معنی‌داری وجود داشته و در

جدول ۳. ارزیابی صحت نقشه‌های به‌دست‌آمده حاصل از ۳ روش مورد مطالعه

الگوریتم ناپارامتریک k-NN	رگرسیون خطی (NDVI)	رگرسیون خطی گام‌به‌گام	صحت کلی (%)
۸۳/۳	۵۰	۵۰	
۷۵/۹	۳۴/۱۵	۳۱/۵۱	ضریب کاپا (%)

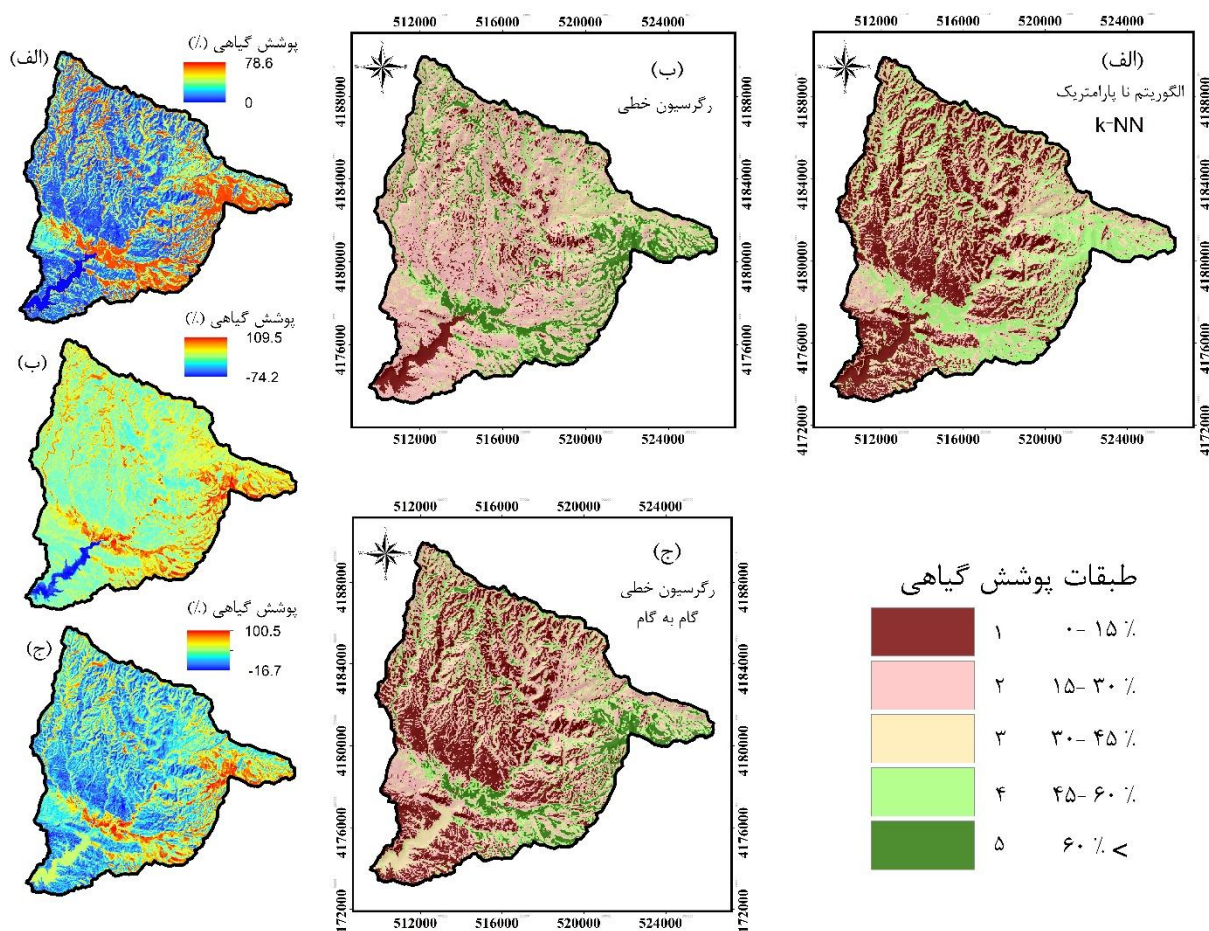
جدول ۴. اعتبار سنجی و آزمون t جفتی و درصد تاج پوشش مشاهده‌شده و تخمین زده‌شده در چهار روش مورد مطالعه

مدل‌های مورد استفاده در تحقیق	آزمون t جفتی				df	p-value	همبستگی پیرسون
	Paired differences (%)			مقدار t			
	میانگین	انحراف از معیار	خطای استاندارد				
الگوریتم k-NN - اقلیدسی ($k=9$)	-۱/۲۴	۱۱/۶۷۶	۳/۰۱۴	-۰/۴۱۱		۰/۶۸	۰/۸۹
الگوریتم k-NN - ماهالانوبیس ($k=6$)	-۰/۱۶۸	۱۴/۱۵	۳/۶۵۳	-۰/۰۴۶	۱۴	۰/۹۶۳	۰/۸۵
الگوریتم k-NN - فازی ($k=6$)	-۰/۷۷	۱۳/۶۵	۳/۵۲۵	-۰/۲۲		۰/۸۲۸	۰/۸۷
رگرسیون خطی (NDVI)	-۷/۶۴	۱۰/۹۵	۲/۸۲۸	-۲/۷۰۴		۰/۰۱۷	۰/۸۷
رگرسیون خطی گام‌به‌گام	-۱۰/۶۹	۹/۵۹	۲/۴۷۶	-۴/۳۱۹		۰/۰۰۱	۰/۹

$1123/5 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ و با متوسط مقدار $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ $1092/5$ است (شکل ۶). فاکتور R با استفاده از روش IDW با توجه به اندک بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه مورد مطالعه و کمترین مقدار RMSE، MBE و MAE در مقایسه با سایر روش‌ها تهیه شد. متوسط مقدار فاکتور LS برابر با $3/65$ در محدوده $0/03$ برای مناطق صاف تا $66/8$ است (شکل ۶). فاکتور فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش IDW تهیه شد. مقدار متوسط فاکتور فرسایش‌پذیری خاک نیز $0/018 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ با کمترین مقدار $0/012 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ و بیشترین مقدار $0/031 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ است (شکل ۶).

۵.۳. فاکتورهای مؤثر در RUSLE

پس از ارزیابی صحت روش‌ها، نقشه پوشش گیاهی با استفاده از مناسب‌ترین روش تهیه شد. با توجه به نتایج مرحله قبل الگوریتم ناپارامتریک k-NN در معیار فاصله اقلیدسی ($k=9$) جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی استفاده شد. در نهایت نقشه فاکتور C مدل RUSLE با استفاده از رابطه ۱ تهیه شد (شکل ۶). سایر فاکتورهای مؤثر در مدل RUSLE نیز در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه و میزان متوسط فرسایش خاک در سطح هر پیکسل محاسبه شد (شکل ۶). فاکتور فرسایش‌پذیری باران و رواناب دارای محدوده‌ای از $1006/3 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ تا MJ mm

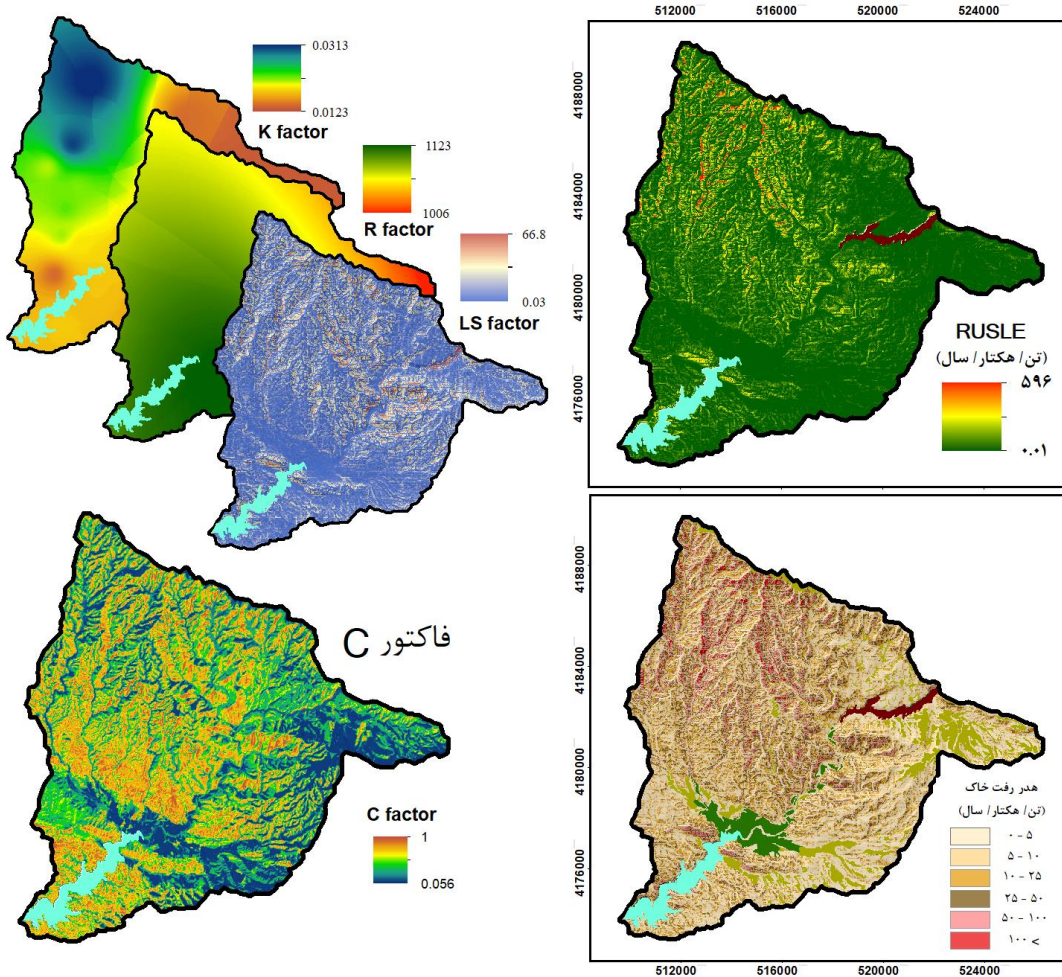


شکل ۶. نقشه تاج پوشش گیاهی و نقشه طبقه‌بندی شده آن حاصل از ۳ روش مورد مطالعه، (الف) نقشه حاصل از الگوریتم k-NN، (ب) نقشه حاصل از رگرسیون خطی و (ج) نقشه حاصل از رگرسیون خطی گام به گام.

مورد مطالعه جزء کلاس‌های جزئی و کم، ۱۹ درصد کلاس فرسایشی متوسط، ۱۸ درصد شدید و خیلی شدید و تنها نزدیک به ۱/۵ درصد از منطقه دارای میزان فرسایش بسیار شدید است (شکل ۶). با جداسازی مراتع که نزدیک به ۸۷ درصد از منطقه را دربر می‌گیرد (شکل ۲)، هدر رفت خاک به صورت مشخص در مراتع تعیین و نتایج نشان داد که متوسط هدر رفت خاک در سطح مراتع $14/84 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ است، به عبارت دیگر ۵۸ درصد از حوضه مورد مطالعه جزء کلاس‌های جزئی و کم، ۲۱ درصد کلاس فرسایشی متوسط، ۲۰ درصد شدید و خیلی شدید و ۱/۴ درصد از منطقه دارای میزان فرسایش بسیار شدید است.

۶.۳. اجرای مدل RUSLE

نتایج به دست آمده از برآورد مدل RUSLE نشان داد که متوسط میزان هدر رفت خاک در منطقه برابر با $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ است، بیشترین و کمترین میزان فرسایش برآورد شده نیز به ترتیب $596 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ و $13/46 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ است. میزان هدر رفت خاک در منطقه مورد مطالعه به ۶ کلاس جزئی (۰-۵)، کم (۵-۱۰)، متوسط (۱۰-۲۵)، شدید (۲۵-۵۰)، خیلی شدید (۵۰-۱۰۰) و به شدت شدید (بیشتر از ۱۰۰ تن در هکتار در سال) تقسیم‌بندی شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که ۶۲ درصد از حوضه



شکل ۶. فاکتور C حاصل از مناسب‌ترین روش تهیه نقشه پوشش گیاهی، سایر فاکتورهای مؤثر در مدل Rusle، فاکتور توپوگرافی (LS)، فاکتور فرسایش باران (R) و فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)، نقشه هدر رفت خاک و کلاس‌های فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه.

درصد صحت کلی (۳/۸۳ درصد) و ضریب کاپا (۷۵/۹ درصد) نسبت به دو روش رگرسیونی دیگر از نتایج مناسب‌تری برخوردار است. همچنین نتایج مقایسه‌ای حاصل از آزمون t جفتی داده‌های تست نیز نشان داد که مدل k-NN نتایج مناسب‌تری نسبت به روابط رگرسیونی دارند. محدوده برآورد شده درصد پوشش در روش k-NN از صفر تا ۷۶/۶ و در روش‌های رگرسیونی خطی و رگرسیون خطی گام‌به‌گام به ترتیب در محدوده صفر تا ۱۰۹/۵ و ۱۰۰/۵ است که همچنان که مشخص است در مدل k-NN نتایج شبیه‌تری به واقعیت زمینی دارد. نتایج مطالعه تهیه نقشه پوشش گیاهی با استفاده از این روش و مقایسه آن با

۴. بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه باهدف مقایسه روش ناپارامتریک k-NN و روش‌های رگرسیونی خطی ساده و رگرسیون خطی گام‌به‌گام در تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی و سپس تهیه نقشه فاکتور مدیریت و پوشش (C) با استفاده از نقشه درصد پوشش گیاهی حاصل از مناسب‌ترین روش در سطح مراتع انجام گرفت. نتایج مقایسه نقشه‌های حاصل از ۳ روش مورد مطالعه و ارزیابی صحت آن‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ناپارامتریک k-NN به دلیل دارا بودن بالاترین

گیاهی اشاره شده است. دلیل آن خشک بودن پوشش گیاهی یکساله به دلیل نمونه برداری در ماه های خشک سال بیان شده است. همچنان که کاهش بنیه و شادابی گیاهان از میزان همبستگی آن خواهد کاست [۳۴، ۱۱]. همبستگی بالا در مطالعه حاضر با توجه به زمان نمونه برداری از پوشش گیاهی منطقه که زمان اوج مرحله روشی گیاهان غالب تیپ های گیاهی است می تواند قابل توجیه باشد. در ادامه نتایج حاصل از رگرسیون خطی گام به گام و بررسی سایر شاخص های گیاهی و محیطی مورد مطالعه نشان داد که دو فاکتور NDVI و باند ۷ ماهواره لندست ۸ بیشترین همبستگی را با درصد پوشش گیاهی داشته و همراه باهم ۷۹ درصد از تغییرات معادله به دست آمده (معادله ۳) را توجیه می نمایند. به طوری که بین باند ۷ و پوشش گیاهی همبستگی بالای منفی (۰/۸۳-) وجود دارد. به طوری که در مناطق دارای بیشترین رطوبت خاک، گیاه و سطوح آبی و غیره کمترین میزان بازتابش مشاهده می شود در نتیجه پیکسل های با بیشترین پوشش گیاهی کمترین میزان بازتابش را خواهند داشت. همبستگی بالای این باند با پوشش گیاهی در مطالعاتی که رابطه بین پوشش و شاخص های گیاهی که در ترکیب آن ها باند ۷ نظیر MIRV1 و MIRV2 وجود دارد، اشاره شده است [۲۲، ۲۴]. این باند توسط [۷، ۵۰] به عنوان باندی که قدرت معرفی پوشش گیاهی را دارد معرفی شده است. [۱۳] نیز گزارش دادند که امواج مادون قرمز برای تخمین پوشش شاخ و برگ گیاهان مناسب می باشند. در خصوص الگوریتم نا پارامتریک k-NN به عنوان دقیق ترین روش تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی در این مطالعه باید بیان کرد که بهینه سازی آن با تعیین مقدار ثابت k برای پیدا کردن تعداد همسایه ها و همچنین عامل فاصله بهینه برای پیدا کردن همسایگی انجام می گردد، به طوری که با افزایش مقدار k از اولین مقدار در هر سه معیار فاصله مقدار خطای RMSE با شیب تندی کاهش می یابد و تا حدودی در یک

روش های مختلف درخت تصمیم گیری (DT)، رگرسیون خطی (LR) و فرآیند گوسین (GP)، رگرسیون خطی گام به گام (LSR) نیز نشان از دقت بالاتر این روش دارد [۳۳، ۵۲]. در خصوص نتایج مناسب تر روش k-NN باید به این نکته اشاره کرد که اطلاعات حاصل از محیط های طبیعی به دلیل ساختار خود از پراکنش نرمالی برخوردار نیستند، از این رو استفاده از الگوریتم های نا پارامتریک نظیر الگوریتم نا پارامتریک k-NN که از انعطاف پذیری بالایی در خصوص این متغیرها برخوردار است بسیار کارآمد خواهد بود [۵۲]. ضمن اینکه روش های رگرسیونی خطی علاوه بر فرض توزیع نرمال متغیرها، رابطه قوی با شاخص های سنجش از دوری نیاز به تعداد زیادی از مشاهدات میدانی مستقل دارند، در غیر این صورت پیش بینی های منفی و یا بیش از حد بزرگی از متغیر وابسته خواهند داشت [۵۷، ۱۷]. همچنین در خصوص شاخص های گیاهی مورد استفاده در روش های رگرسیونی مورد بررسی در این تحقیق باید عنوان کرد که از بین ۱۴ شاخص گیاهی و متغیرهای محیطی مورد مطالعه شاخص گیاهی NDVI بیشترین همبستگی (۰/۸۲) در سطح ۹۹ درصد با پوشش گیاهی دارد، که با نتایج مطالعات مختلف هماهنگی دارد [۴۹، ۳۸، ۴۴، ۲۶، ۲]. در نتیجه با توجه به تأثیر پذیری کم این شاخص از خصوصیات منطقه و سهولت در اجرا می تواند در مطالعات پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد [۲]، که در روش رگرسیونی خطی ساده رابطه آن با درصد پوشش گیاهی جهت تهیه نقشه درصد پوشش مورد بررسی قرار گرفت. اما برخی محققان بیان کردند که شاخص گیاهی NDVI شاخص مناسبی برای مناطق خشک نیست، زیرا پوشش گیاهی ضعیف به طور معنی داری روی کاهش بازتاب نور مادون قرمز تأثیر می گذارد. این مشکل از کمبود بارندگی و بالا بودن میزان تبخیر و تعرق ناشی می شود که باعث کاهش سبزینه و به تبع آن کاهش فتوسنتز می گردد [۴۸]. در مطالعه [۲۴] نیز به رابطه پایین این شاخص با پوشش

^۳ - Gaussian process

^۴ - linear stepwise regression

^۱ - Decision Tree

^۲ - Linear Regression

با پوشش گیاهی بین صفر تا حداکثر ۷۸ درصد [۵۹] محاسبه و با برآورد سایر فاکتورهای مدل میزان هدر رفت خاک در سطح منطقه مورد مطالعه تعیین شد. برآوردهای حاصل از میزان فرسایش آبی خاک RUSLE نشان داد که فاکتور مورد نظر به خوبی می‌تواند شرایط حال حاضر پوشش گیاهی را در میزان هدر رفت خاک لحاظ نماید. قابل ذکر است که با داشتن اطلاعات دقیق محیطی پوشش گیاهی و ارتباط با آن با تکنیک‌های سنجش از دور می‌توان میزان هدر رفت خاک را تحت شرایط سناریوهای مختلف مدیریت اراضی مورد بررسی قرارداد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور می‌تواند به عنوان مکمل نمونه‌برداری‌های میدانی به خوبی عمل کرده، و نیز استفاده از روش ناپارامتریک k-NN نیز نتایج مناسب‌تر و با دقت بهتری نسبت به شاخص‌های گیاهی در تهیه نقشه‌های درصد تاج پوشش گیاهی در سطح پیکسل دارد، همچنان که در مطالعات مختلفی در خصوص متغیرهای مختلف محیطی مورد استفاده قرار گرفته است [۳۵، ۳۹]. با توجه به نسبتاً جدید بودن این روش در مطالعات مرتبط با علوم مرتع در کشور، نیاز است تا مطالعات بیشتری در سطح مراتع مختلف با متغیرهای مختلف محیطی جهت آزمودن بیشتر آن انجام گردد.

مقدار ثابت خواهد ماند. با افزایش تعداد همسایگان از ۱ به ۵، نقشه به دست آمده دارای صحت مناسب‌تری خواهد بود که در مطالعات به آن اشاره شده است [۳۵]. همچنین افزایش در تعداد همسایگان (مقدار k) به خصوص اگر هدف از روش k-NN تولید نقشه متغیر باشد، باعث کاهش نامطلوب تنوع در مقادیر پیش‌بینی شده خواهد شد [۱۸]، در نتیجه یافتن مقدار بهینه k در این روش بسیار مهم است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نقشه حاصل از انتخاب $k=9$ و معیار فاصله اقلیدسی به دلیل داشتن سطح پایین‌تری از RMSE، و بالاترین میزان R^2 ، نسبت به دو معیار دیگر ماهالانوبیس و فازی نتایج مناسب‌تری دارد. معیار فاصله اقلیدسی در میان دیگر معیارهای فاصله به دلیل ساده بودن محاسبه این معیار بخصوص در شرایطی که مجموعه مرجع دارای اطلاعات زیادی است و همچنین هماهنگی بیشتر آن با مشخصه مورد بررسی عمومیت بیشتری دارد و به عنوان معیار بهینه جایگاه مناسبی در تحقیقات مختلف کسب کرده است [۴۷، ۱۶، ۵۱]. در نتیجه نتایج به دست آمده، فاکتور C مدل RUSLE با استفاده از نقشه پوشش گیاهی حاصل از الگوریتم ناپارامتریک k-NN و رابطه به دست آمده از ۲۰۰ نسبت هدر رفت خاک در ۳۰ پلات اندازه‌گیری فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک (رابطه ۱) چین برای مناطق

References

- [1] Abedi, R. and Bonyad, A.E. (2015). Estimation and Mapping Forest Attributes Using "k Nearest Neighbor" Method on IRS-P6 LISS III Satellite Image Data. *Ecologia Balkanica*, 7(1).
- [2] Amiri, F. and Tabatabaie, T. (2009). Operational Monitoring of Vegetative Cover by Remote Sensing in Semi-arid Lands of Iran. 7th FIG Regional Conference, Advanced Technology for Cadastre and Land Management: 1-18.
- [3] Asgarian, A., Soffianian, A. and Pourmanafi, S. (2016). Crop type mapping in a highly fragmented and heterogeneous agricultural landscape: A case of central Iran using multi-temporal Landsat 8 imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 531-540.
- [4] Baret, F. and Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote sensing of environment*, 35(2-3), 161-173.
- [5] Batista, P.V.G., Silva, M.L.N., Silva, B.P.C., Curi, N., Bueno, I.T., Júnior, F.W.A., Davies, J. and Quinton, J. (2017). Modelling spatially distributed soil losses and sediment yield in the upper Grande River Basin-Brazil. *CATENA*, 157, 139-150.

- [6] Beven, K. and Kirkby, M.J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.
- [7] Boyd, D.S., Foody, G.M., Curran, P., Lucas, R. and Honzak, M. (1996). An assessment of radiance in Landsat TM middle and thermal infrared wavebands for the detection of tropical forest regeneration. *International journal of remote sensing*, 17(2), 249-261.
- [8] Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H. and Bollmann, K. (2013). Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*, 36(9), 971-983.
- [9] Chahuki, M.A.Z. and Behematta, M.R. (2015). *Principles of Statistics in Natural Resources Science* Tehran University, Publishing & Printing Institute.
- [10] Clevers, J. (1991). Application of the WDVI in estimating LAI at the generative stage of barley. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 46(1), 37-47.
- [11] Crippen, R. and Blom, R. (1999). Unveiling the lithology of vegetated terrains in remotely sensed imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67, 935-943.
- [12] Crookston, N.L. and Finley, A.O. (2008). *yaImpute: an R package for kNN imputation*.
- [13] Curran, P. and Williamson, H. (1987). GLAI estimation using measurements of red, near infrared, and middle infrared radiance. *Photogrammetric engineering and remote sensing (USA)*, 53, 181-186.
- [14] Ercincin, Z., Shresta, D. and Krol, I.B. (2000). C-factor mapping using remote sensing and GIS. A case study of Lom Sak/Lom Kao, Thailand. Enschede/Holland: Geographisches Institut der Justus-Liebig-Universität Giessen and International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- [15] ESRI, A. (2012). 10.1. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.
- [16] Fassnacht, F., Hartig, F., Latifi, H., Berger, C., Hernández, J., Corvalán, P. and Koch, B. (2014). Importance of sample size, data type and prediction method for remote sensing-based estimations of aboveground forest biomass. *Remote sensing of environment*, 154, 102-114.
- [17] Fleming, A.L., Wang, G. and McRoberts, R.E. (2015). Comparison of methods toward multi-scale forest carbon mapping and spatial uncertainty analysis: Combining national forest inventory plot data and Landsat TM images. *European journal of forest research*, 134(1), 125-137.
- [18] Franco-Lopez, H., Ek, A.R. and Bauer, M.E. (2001). Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. *Remote sensing of environment*, 77(3), 251-274.
- [19] Ganasri, B. and Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953-961.
- [20] Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J. and Merzlyak, M.N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of environment*, 58(3), 289-298.
- [21] Gitelson, A.A., Vina, A., Ciganda, V., Rundquist, D.C. and Arkebauer, T.J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*, 32(8).
- [22] Hossein, A., King, G. and Brouce, F. (1998). Application of Landsat TM satellite data to estimate production and vegetation cover. *Natural Resources of Iran*, 50(1), 3-21.
- [23] Hosseini, S.S. and Ghorbani, M. (2012). *Economic of soil erosion*. Ferdowsi University of Mashhad press.
- [24] Hosseini, Z., Khajeddin, S.J., Azarnivand, H., Farahpour, M. and Khalilpour, S.A. (2008). Cover Estimation and Mapping Rangelands Vegetation Cover Percentage Using ETM+Data Image Processing. *Journal of Rangeland*, 1(1), 79-90.
- [25] Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
- [26] Jafari, R., Lewis, M. and Ostendorf, B. (2007). Evaluation of vegetation indices for assessing vegetation cover in southern arid lands in South Australia. *The Rangeland Journal*, 29(1), 39-49.

- [27] Jin, S. and Sader, S.A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote sensing of environment*, 94(3), 364-372.
- [28] Justice, C.O., Vermote, E., Townshend, J.R., Defries, R., Roy, D.P., Hall, D.K., Salomonson, V.V., Privette, J.L., Riggs, G. and Strahler, A. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1228-1249.
- [29] Karpilo Jr, R. and Toy, T. (2004). RUSLE C-FACTORS FOR SLOPE PROTECTION APPLICATIONS1. *Proceedings America Society of Mining and Reclamation*, 995-1013.
- [30] Kauth, R.J. and Thomas, G. (1976). The tasseled cap--a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *Proceedings of the 2nd Annual Symposium on Machine Processing of Remotely sensed data held at Purdue University LARS Symposia*, 41-51.
- [31] Khorasan, D.D.o.N.R.a.W.i.N. (2016). The study of the comprehensive management plan for natural resources in Ernaveh Basin.
- [32] Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land degradation & development*, 12(6), 519-539.
- [33] Mirshekari, Z., Sadeghinia, M., Kalantari, S. and Asadi, M. (2019). Application of Satellite Data and Data Mining Algorithms in Estimating Coverage Percent (Case study: Nadoushan Rangelands, Ardakan Plain, Yazd, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 13(4), 632-644.
- [34] O'Neill, A. (1996). Satellite-derived vegetation indices applied to semi-arid shrublands in Australia. *The Australian Geographer*, 27(2), 185-199.
- [35] Ohmann, J.L., Gregory, M.J. and Roberts, H.M. (2014). Scale considerations for integrating forest inventory plot data and satellite image data for regional forest mapping. *Remote sensing of environment*, 151, 3-15.
- [36] Oldeman, L.R., Hakkeling, R. and Sombroek, W.G. (2017). World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. *International Soil Reference and Information Centre*.
- [37] Pearson, R.L. and Miller, L.D. (1972). Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. *Remote Sensing of Environment*, VIII, Pawnee National Grasslands, Colorado: 1357-1381.
- [38] Purevdorj, T., Tateishi, R., Ishiyama, T. and Honda, Y. (1998). Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International journal of remote sensing*, 19(18), 3519-3535.
- [39] Rahman, M.M. (2006). Tropical forest biomass estimation and mapping using k-nearest neighbour (knn) method. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36, 860-865.
- [40] Renard, K.G. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).
- [41] Rikimaru, A., Roy, P. and Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 43(1), 39-47.
- [42] Rondeaux, G., Steven, M. and Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 55(2), 95-107.
- [43] Rouse Jr, J.W., Haas, R., Schell, J. and Deering, D. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA SP-351*.
- [44] Saavedra, C. (2005). Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition of the Andean region using geoinformation techniques: a case study in Cochabamba, Bolivia.
- [45] Saha, S.K. (2003). Water and Wind Induced Soil Erosion Assessment and Monitoring Using Remote Sensing and GIS. In: *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*. 315-330.
- [46] Sarraf, M., Owaygen, M., Ruta, G. and Croitoru, L. (2005). Islamic Republic of Iran: Cost assessment of environmental degradation. *Sector Note(32043-IRN)*.
- [47] Scheuber, M. (2010). Potentials and limits of the k-nearest-neighbour method for regionalising sample-based data in forestry. *European journal of forest research*, 129(5), 825-832.
- [48] Schmidt, H. and Karnieli, A. (2000). Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. *Journal of arid environments*, 45(1), 43-59.

- [49] Senseman, G.M., Bagley, C.F. and Tweddale, S.A. (1996). Correlation of rangeland cover measures to satellite-imagery-derived vegetation indices. *Geocarto International*, 11(3), 29-38.
- [50] SEPEHR, A. and Mottaghi, M. (2002). Using Vegetation Indices for Estimation of Canopy Cover Percentage of Rangeland Vegetation (In Protected Area of Jahan-Nama, Gorgan). *Natural Resources of Iran*, 55(2), 259-272.
- [51] Souza, R., Rittner, L. and Lotufo, R. (2014). A comparison between k-Optimum Path Forest and k-Nearest Neighbors supervised classifiers. *Pattern recognition letters*, 39, 2-10.
- [52] Sun, H., Wang, Q., Wang, G., Lin, H., Luo, P., Li, J., Zeng, S., Xu, X. and Ren, L. (2018). Optimizing kNN for Mapping Vegetation Cover of Arid and Semi-Arid Areas Using Landsat Images. *Remote Sensing*, 10(8), 1248.
- [53] TEAM, R.C. (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- [54] Tucker, C.J. (1980). A spectral method for determining the percentage of green herbage material in clipped samples. *Remote sensing of environment*, 9(2), 175-181.
- [55] Van Remortel, R.D., Hamilton, M.E. and Hickey, R.J. (2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within ArcInfo grid. *Cartography*, 30(1), 27-35.
- [56] Veihe, A. (2002). The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106(1), 101-120.
- [57] Wang, G., Zhang, M., Gertner, G.Z., Oyana, T., McRoberts, R.E. and Ge, H. (2011). Uncertainties of mapping aboveground forest carbon due to plot locations using national forest inventory plot and remotely sensed data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(4), 360-373.
- [58] Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- [59] Yang, Y. and Shi, D. (1994). Study on soil erosion in the Three Gorge area of the Changjiang River, Southeast University Press, Nanjing (in Chinese).
- [60] Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T. and Nieminen, J. (2008). Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, 75(3), 319-325.
- [61] Zhou, P., Nieminen, J., Tokola, T., Luukkanen, O. and Oliver, T. (2006). Large scale soil erosion modeling for a mountainous watershed. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 89, 13.