



آیا تغییرات پوشش جنگلی در ناحیه رویشی زاگرس شمالی با روند پارامترهای اقلیمی همسوست؟

الهه معروف‌زاده^۱ و پدram عطارد^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۲ استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۳)

چکیده

کاهش مساحت جنگل‌ها در ناحیه رویشی زاگرس ممکن است با تغییر پارامترهای اقلیمی مرتبط باشد. در تحقیق حاضر، روند تغییرات بارش و دما در ارتباط با روند تغییرات پوشش جنگلی در محدوده شهر سردشت (زاگرس شمالی) با استفاده از داده‌های ۳۰ ساله (۲۰۱۷-۱۹۸۸) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت بررسی شد. آزمون‌های آماری من-کندال، تخمین گر شیب سن و پتیت برای روندیابی و نیز یافتن نقاط جهش پارامترهای اقلیمی استفاده شدند. روند تغییرات پوشش جنگلی در محدوده شهر سردشت نیز با کمک دو شاخص گیاهی NDVI و SAVI بررسی شد. ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های مذکور، با تحلیل رگرسیون خطی ساده و رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام بررسی شد. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که دمای سالانه، فصلی و ماهانه ژانویه، فوریه، مارس، می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر، دارای روند افزایشی معنی‌دار است. گرچه روند تغییرات شاخص‌های NDVI و SAVI معنی‌دار نبود، اما این شاخص‌ها با مقادیر پارامترهای اقلیمی، روابط معنی‌داری را نشان دادند، به طوری که دمای ماه آوریل و شاخص SAVI، بیشترین ضریب همبستگی رابطه خطی ساده را نشان دادند (۰/۴۹۹). تحلیل رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام، نشان داد که شاخص SAVI بیشترین همبستگی چندگانه (۰/۸۱۰) را با دمای ماه آگوست، دمای فصل بهار، بارش ماه جولای و دمای فصل زمستان دارد. با توجه به تأثیر تغییر اقلیم بر زوال و کاهش مساحت جنگل‌های زاگرس، مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده در این تحقیق، می‌تواند در اتخاذ تصمیم مناسب برای حفاظت این جنگل‌ها کاربرد داشته باشند. یافته‌های این پژوهش، اهمیت توجه مدیران جنگل به پیامدهای گرمایش جهانی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، آزمون پتیت، رگرسیون گام‌به‌گام، NDVI، SAVI.

مقدمه

جامع و وقوع خشکسالی‌های اخیر، توان تولیدی خود را از دست داده است و این روند، آینده جنگل‌های منطقه را به مخاطره افکنده است، به طوری که در حال حاضر نیز بیش از نیمی از جنگل‌های غرب کشور از بین رفته است (Parnian Kalayeh et al., 2020). جنگل‌های

جنگل‌های بلوط غرب روی رشته‌کوه زاگرس از نظر وسعت، مسائل محیط زیستی و حفظ منابع آب و خاک از اهمیت خاصی برخوردار است، اما در طی دهه‌های گذشته به دلیل عوامل اقتصادی، اجتماعی، نبود مدیریت

تغییر می‌کند (Zhang & Kovacs, 2012). تابش گیاهان در محدوده طیف نوری مادون قرمز میانی و نزدیک، به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است. شاخص‌هایی که از این محدوده طیف نوری استخراج شده اند، به گستره وسیعی از ویژگی‌های رشد و قدرت گیاهان در زمینه مقدار آب، رنگدانه‌ها، قند و کربوهیدرات، مقدار پروتئین و غیره، نسبت داده می‌شود (Batten, 1998). در مطالعات بسیاری با استفاده از آنالیز پارامترهای اقلیمی و نیز اطلاعات ماهواره‌ای، به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پوشش‌های جنگلی پرداخته شده است. Attarod et al. (2016) ارتباط بین عوامل اقلیمی (بارش، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد) و تبخیر و تعرق مرجع را با زوال جنگل‌های زاگرس در استان لرستان بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پارامترهای اقلیمی بارش و دمای هوا در همه ایستگاه‌های استان از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳، به ترتیب کاهش و افزایش چشمگیری داشته است (به جز پلدختر). Ahmadi et al. (2016) در تحقیقی در استان آذربایجان غربی نشان دادند که دمای متوسط سالانه در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۰، در هر سال به‌طور متوسط ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

Rostamnia & Akhoondzadeh Hanzaei (2016) برای بررسی خشکیدگی درختان جنگلی ناحیه غرب کشور در استان ایلام، از تصاویر ماهواره‌ای لندست در دوره ۱۵ ساله استفاده کردند. نتایج حاکی است که همبستگی بین تغییرات EVI^2 ناحیه جنگلی استان ایلام و تغییرات شاخص هواشناسی SPI^3 ، در دوره‌های یک‌ساله، سه‌ماهه و نهم‌ماهه به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۰۹ و ۰/۷۳ است. Ghadirian et al. (2018) در تحقیقی در زمینه شناسایی مناطق جنگلی مستعد خشکیدگی در استان لرستان از ۱۵ مدل به‌صورت

زاگرس از نظر تولید چوب صنعتی جایگاه چندان مهمی ندارند، اما به دلیل اهمیت زیاد در تنظیم آب، خاک و تعادل اکولوژیکی منطقه، از نظر مدیریتی و ارزیابی کمی و کیفی باید به آنها توجه ویژه‌ای شود (Heydari et al., 2017). برای مدیریت و حفاظت پایدار منابع جنگلی، دانستن مقدار و محل جنگل‌زدایی، سرعت و مساحت آن و علل کاهش پوشش جنگلی، ضروری است. مشخص کردن صحیح و به‌موقع تغییرات در پدیده‌هایی که در سطح زمین رخ می‌دهد، پایه و اساس درک رابطه بین کارکردهای انسانی و رخدادهای طبیعی و استفاده از منابع طبیعی است. بوم‌سازگان‌های جنگلی، اهمیت زیادی در چرخه بیوژئوشیمی^۱ جهانی دارند و به‌شدت تحت تأثیر اقلیم قرار می‌گیرند (Ugupta et al., 2015). پیوند قوی اقلیم و جنگل‌ها حاکی از آن است که تغییر در یکی، تغییرات در دیگری را در پی خواهد داشت (FAO Forestry Paper, 2013). در بسیاری از پژوهش‌های اخیر به تأثیر تغییرات اقلیمی در کاهش پوشش جنگلی پرداخته شده و نتایج حاکی از آن است که تغییرات اقلیم به‌ویژه کاهش بارش و افزایش دما در جای‌جای جهان، سبب از بین رفتن پوشش جنگلی شده است (Garbolino et al., 2017; Thiele et al., 2017). بنابراین به نظر می‌رسد که اثرات تغییر اقلیم به‌ویژه بر بوم‌سازگان‌های طبیعی از جمله تغییرات پوشش جنگلی، از اهمیت زیادی برخوردار است. کسب اطلاعات درباره وضعیت پوشش جنگلی از قبیل مقدار پراکنش آنها، از اهمیت زیادی برخوردار است، اما گردآوری اطلاعات درباره تغییرات پیوسته پوشش جنگلی توسط روش‌های معمول بسیار مشکل و پرهزینه است. بنابراین در چنین شرایطی استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، امکان بررسی گسترده پوشش‌های گیاهی را فراهم می‌کند (Vaisi et al., 2016). طیف نوری از گیاهان، با توجه به نوع گیاه، مقدار آب درون بافت گیاهان، ویژگی‌های شیمیایی و مورفولوژیکی و سایر عوامل درونی گیاهان

1. Biogeochemical

2. Enhanced vegetation index

3. Standardized Precipitation Index

جنگل‌های ناحیهٔ رویشی زاگرس، حدود شش میلیون هکتار (۴۰ درصد) از مساحت جنگل‌های ایران را به خود اختصاص داده‌اند و غالب پوشش درختی آنها بلوط است (Hagh Doust et al., 2017). افزایش دما، خشکسالی و آفات از مهم‌ترین عوامل تضعیف درختان بلوط است (Shariat et al., 2019). با توجه به شرایط اقلیمی ویژهٔ منطقهٔ رویشی زاگرس و اهمیت آن در تأمین آب کشور و خطر کاهش سطح جنگل، تحقیق در زمینهٔ روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تأثیرات این تغییرات بر شدت نوسان پوشش جنگل در این اقلیم ضرورت دارد. بنابراین در پژوهش حاضر، روند تغییرات پارامترهای اقلیمی با آزمون‌های آماری و روند تغییرات پوشش جنگلی با تصاویر ماهواره‌ای بررسی و ارتباط بین تغییرات پارامترهای اقلیمی و تغییرات پوشش جنگلی با روابط رگرسیونی مدل‌سازی شد. در واقع هدف این پژوهش، مدل‌سازی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات پوشش جنگلی در ناحیهٔ زاگرس است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

در پژوهش حاضر، از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان سردشت (طول جغرافیایی $40^{\circ} 29' 40''$ و عرض جغرافیایی $45^{\circ} 08' 08''$ و 36° و 1557 متر ارتفاع از سطح دریا) استفاده شد. برای بررسی پوشش جنگلی، در اطراف این ایستگاه مساحتی در حدود 127 کیلومتر مربع در شهرستان سردشت و در موقعیت جغرافیایی $47^{\circ} 24' 45''$ تا $12^{\circ} 32' 45''$ طول شرقی و $15^{\circ} 06' 36''$ تا $25^{\circ} 12' 36''$ عرض شمالی مطالعه شد. در حدود 35 کیلومتر مربع از وسعت منطقهٔ تحقیق را پوشش جنگلی در بر گرفته است که اغلب دارای تراکم کم (۲۵ تا ۵۰ درصد) است. بیشتر درختان این منطقه را گونه‌های بلوط دارمازو (*Quercus infectoria* G.Olivier)،

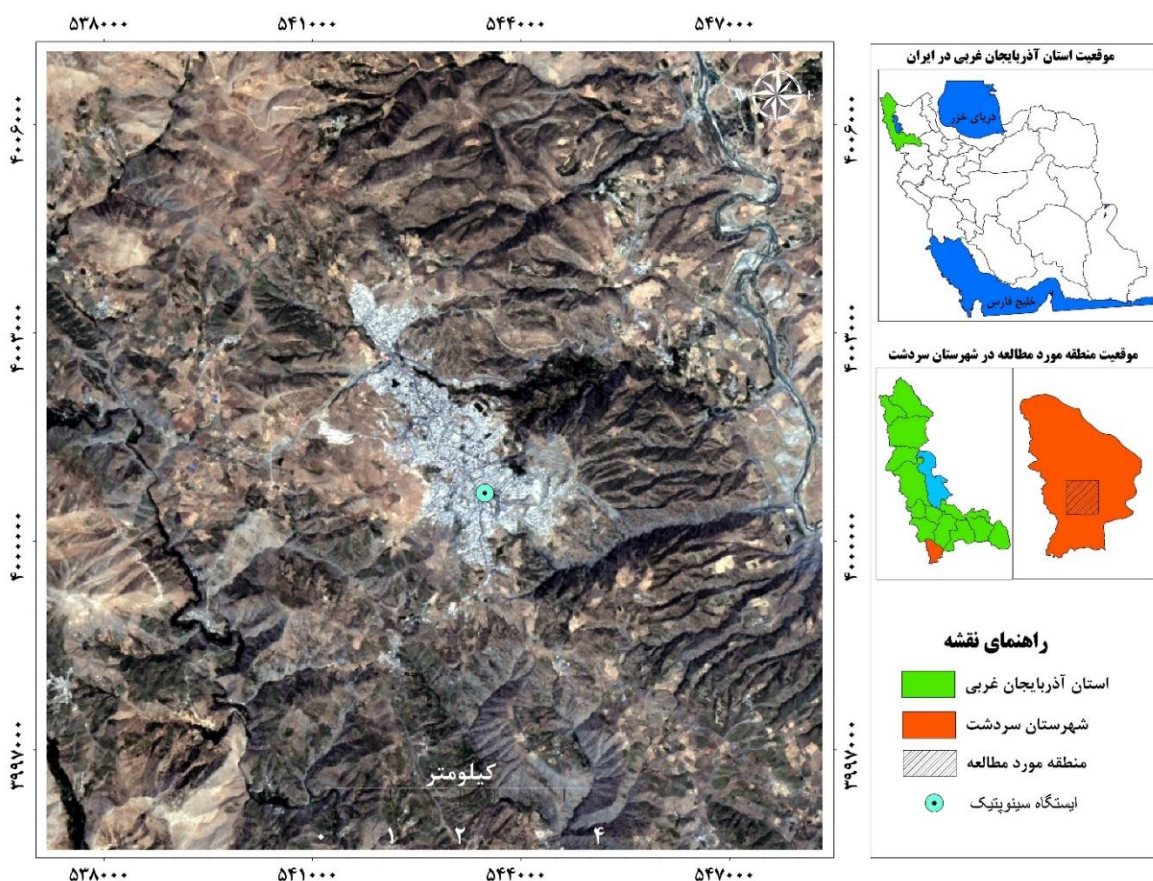
ترکیبی استفاده کردند. آنها برای این منظور مناطقی از جنگل را که دارای زوال بیش از ۵۰ درصد بودند، به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل محیطی میانگین بارندگی سالیانه، میانگین دمای سالیانه، میانگین رطوبت نسبی، شاخص خشکی، شاخص خشکسالی، تبخیر و تعرق، شاخص گردوغبار، فاصله از اراضی کشاورزی و آبراهه‌ها، شیب، جهت و $NDVI^1$ را به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل‌ها کردند. یافته‌های آنها نشان داد که عوامل اقلیمی شاخص خشکی، بارش، دما و تبخیر و تعرق به‌ترتیب بیشترین تأثیرگذاری را در مدل‌ها دارند.

(Andersson et al., 2011) در تحقیقی در جنگل‌های بلوط جنوب سوئد، به بررسی ارتباط بین زوال بلوط (*Quercus robur* L.) با وقوع خشکسالی در طول دورهٔ زمانی بلندمدت پرداختند. یافته‌های این محققان نشان داد که تا سال ۱۹۹۲، میزان رشد در سطح مطلوبی بوده، اما از زمان وقوع خشکسالی شدید، رشد درختان رو به کاهش نهاده است. آنها بیان کردند که بارش در ماه‌های آگوست-سپتامبر سال قبل و در ماه‌های مارس و ژوئن سال جاری، برای رشد بلوط اهمیت زیادی دارد. (Kim et al., 2017) به بررسی دلایل زوال درختان بلوط (*Quercus suber* L.) در مدیترانه پرداختند و نشان دادند که عوامل زیستی و تغییر پارامترهای اقلیمی (افزایش فراوانی دماهای زیاد و خشکسالی) و نیز عوامل فیزیوگرافی مؤثر بر زوال درختان، افزایش شیوع بیماری و توسعهٔ بیش از حد در مناطق جنگلی، از عوامل اصلی زوال درختان بلوط در این مناطق است. (Rahman et al., 2017) در تحقیقی دربارهٔ درختان سرو قرمز (*Toona ciliate*) در جنگل‌های گرمسیری بنگلادش، به بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر زوال این گونه پرداختند و علت کاهش رشد و زوال این گونه را افزایش میانگین و حداکثر دما ذکر کردند.

1. Normalized difference vegetation index
2. Red cedar

منطقه براساس منحنی آمبرژه در محدوده اقلیم سرد و خشک قرار گرفته و براساس منحنی آمبروترمیک چهار ماه از سال خشک است (Biabani et al., 2016). در شکل ۱ موقعیت ایستگاه سینوپتیک سردشت به همراه منطقه تحقیق نشان داده شده است.

ویسول (*Quercus libani* G.Olivier) و برودار (*Quercus brantii* Lindl.) تشکیل می‌دهد (Bakhshandeh Savadroodbari et al., 2017) که به همراه آنها، درختان زالک، بنه و گلای و حشی نیز دیده می‌شود (Eshaghi-Rad et al., 2016). اقلیم



شکل ۱- موقعیت ایستگاه سینوپتیک و منطقه تحقیق در ایران، استان و شهرستان

۲۰۱۷ (۳۰ سال)، با استفاده از آزمون من-کندال^۱ بررسی شد. آزمون من-کندال (Kendall, 1975)، نوعی آزمون غیرپارامتری است که به طور معمول برای تشخیص روند تکاملی در مجموعه داده‌های محیطی، اقلیمی، هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. این آزمون، روند افزایشی یا کاهش‌یکنواخت را در داده‌های مناطق تحت بررسی از نظر آماری بررسی می‌کند

شیوه اجرای پژوهش

در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ۳۰ سال اخیر سری لندست، روند تغییرات پوشش جنگلی منطقه و ارتباط آن با تغییرات پارامترهای اقلیمی بررسی شد.

روند تغییرات پارامترهای اقلیمی

در پژوهش حاضر، روند تغییرات بارش و دمای هوا در ایستگاه سینوپتیک سردشت از سال ۱۹۸۸ تا

1. Mann-Kendall

- تعیین نقاط جهش پارامترهای اقلیمی

به منظور بررسی نقاط جهش پارامترهای اقلیمی که داری روند تغییرات معنی دار هستند، از آزمون پتیت^۲ استفاده شد. در واقع، در پژوهش حاضر، پس از تعیین سالی که پارامترهای اقلیمی پس از آن دچار جهش شده است، ارتباط بین وضعیت پوشش جنگلی قبل و بعد از نقاط جهش بررسی شد. آزمون ناپارامتری پتیت، جزو روش‌هایی است که برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی توسط Pettitt (1979) پیشنهاد شد. این آزمون تغییر در میانگین در یک سری زمانی مشخص را تشخیص می‌دهد و معنی‌داری آماری آن را محاسبه می‌کند (Huang et al., 2017). در این آزمون، فرضیهٔ صفر، نشان‌دهندهٔ توزیع مستقل و تصادفی سری است و فرضیهٔ جایگزین، تغییر ناگهانی را نشان می‌دهد (رابطه ۲). به منظور محاسبهٔ آماری، از رتبه‌های $r_1 \dots r_n$ سال‌های $Y_1 \dots Y_n$ استفاده می‌شود (Bickici Arikani & Kahya, 2019):

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1), \quad k = 1 \dots n \quad \text{رابطه ۲}$$

اگر در سال k ، یک جهش وجود داشته باشد، آمار نزدیک به سال $k=K$ بیشینه یا کمینه است (رابطه ۳):

$$X_k = \max |x_k| \quad 1 \leq k \leq n \quad \text{رابطه ۳}$$

معنی‌داری آماری برای سطح احتمال α از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$X_{k\alpha} = [-\ln \alpha (n^3 + n^2) / 6]^{1/2} \quad \text{رابطه ۴}$$

مقادیر بحرانی این آزمون در Pettitt (1979) داده شده است. اگر مقادیر X_k از مقادیر بحرانی فراتر نرود، فرض H_0 پذیرفته می‌شود. به عبارت دیگر، داده‌ها همگن است. در پژوهش حاضر، برای محاسبهٔ آزمون من-کندال، تخمین‌گر شیب سن و آزمون پتیت، از افزونهٔ XLSTAT در محیط برنامه اکسل استفاده شد.

(Asfaw et al., 2018). در این آزمون پس از محاسبهٔ پارامترهای لازم، در نهایت آمارهٔ آزمون استاندارد شده Z محاسبه می‌شود. مقادیر مثبت و منفی آمارهٔ Z در این آزمون به ترتیب نشان‌دهندهٔ افزایش و کاهش روند است (Huang et al., 2017). در واقع آمارهٔ Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد پیروی می‌کند. فرض صفر (نبود روند) به شرطی پذیرفته می‌شود که قدر مطلق Z محاسبه شده از مقدار Z نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α ، کمتر باشد و در غیر این صورت فرض صفر رد می‌شود. در واقع این آزمون بر مبنای مقایسهٔ فرض صفر و ۱ است و در نهایت دربارهٔ پذیرش یا رد فرض صفر، تصمیم‌گیری می‌کند. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. بنابراین چنانچه مقدار p -value از 0.05 کمتر باشد، فرض صفر رد می‌شود. به عبارتی، وجود روند در سری داده‌ها با سطح معنی‌داری 0.05 پذیرفته می‌شود. اما اگر مقدار p -value از 0.05 بیشتر باشد، فرض صفر پذیرفته می‌شود که به معنای نبود روند در سری داده‌ها در سطح معنی‌داری 0.05 است (Rahman et al., 2017).

- تعیین شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن^۱

در آزمون من-کندال، شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین‌گر سن از رابطهٔ ناپارامتری (رابطه ۱) محاسبه می‌شود که توسط Thiel (1950) و Sen (1968) ارائه شده است.

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad i < j \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، β برآوردگر شیب خط روند و X_i و X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام است. مقادیر مثبت β نشان‌دهندهٔ روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان‌دهندهٔ روند کاهشی است.

1. Sen's estimator
2. Pettitt

زمان‌بندی کشت و برداشت محصولات زراعی و همچنین زمان خشک شدن پوشش مرتعی در منطقه به‌گونه‌ای است که انتظار می‌رود ماه آگوست، اختلاط طیفی مربوط به گیاهان مرتعی و زمین‌های زراعی را با پوشش جنگلی به حداقل برساند. بر این اساس، تصاویر ماه آگوست از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ از طریق سایت نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا (USGS)^۴ بررسی و در نهایت ۲۸ تصویر برای همه سال‌ها، به‌جز ۱۹۹۴ و ۲۰۰۳ دریافت شد (جدول ۱). تصویر سال ۱۹۹۴ به‌دلیل شرایط ابرناکی بسیار شدید به‌کار گرفته نشد و در سال ۲۰۰۳ نیز تصویربرداری در ماه آگوست صورت نگرفت. پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای، خطاهای اولیه شامل اتمسفری، هندسی، رادیومتریکی و SLC-off (لندست ۷) با برنامه ENVI 5.3 تصحیح شد. همه تصاویر دریافتی دارای ردیف^۵ ۱۶۸ و گذر^۶ ۳۵ هستند.

– روند تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

برای بررسی روند تغییرات پوشش جنگلی، از اطلاعات تصاویر سری لندست، سنجنده^۱ TM، از ETM+^۲ و OLI^۳ استفاده شد. تصاویر سری لندست به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری و پهناي نوار ۱۸۵ کیلومتری و چرخه تکرار تصویربرداری ۱۶ روزه، منبع قابل اعتمادی برای بررسی تغییرات پوشش زمین است (Senf et al., 2015). با توجه به اینکه در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب زمان مناسب تصاویر اخذشده در تهیه نقشه کاربری شاخص‌های گیاهی به‌ویژه در مناطقی که پوشش‌های گیاهی نقش عمده‌ای دارند، بسیار مهم است، با مدنظر قرار دادن فصل رویش گیاهان مرتعی و زمان‌بندی کشت و برداشت محصولات زراعی، همه تصاویر مورد استفاده، تقریباً در نیمه دوم فصل تابستان اخذ شد. به‌علاوه،

جدول ۱- زمان تصاویر ماهواره‌ای به‌کاررفته برای بررسی روند تغییرات پوشش جنگلی

سنجنده OLI لندست ۸	سنجنده ETM+ لندست ۷	سنجنده TM لندست ۵			
16- AUG -2012		13- AUG -2002	10- AUG -1995	02- AUG -1988	
11- AUG -2013		02- AUG -2004	12- AUG -1996	09- AUG -1989	
14- AUG -2014	02- AUG -2001	16- AUG -2009	15- AUG -1997	12- AUG -1990	
17- AUG -2015	16- AUG -2012	19- AUG -2010	02- AUG -1998	31- AUG -1991	
03- AUG -2016		22- AUG -2011	11- AUG -2007	17- AUG -1992	
22- AUG -2017			13- AUG -2008	07- AUG -2000	20- AUG -1993

برای این منظور، از مقادیر میانگین چند پیکسل شاخص مذکور که نبود درخت در آنها محرز شده بود به‌عنوان حد آستانه، برای حذف پوشش غیرجنگلی استفاده شد.

– تفکیک کلاس کاربری پوشش جنگلی

به‌منظور تفکیک کلاس پوشش کاربری جنگلی از سایر کاربری‌های موجود در منطقه، ابتدا با استفاده از برنامه گوگل‌ارث^۷ محدوده کلی پوشش جنگلی از سایر کاربری‌های موجود تفکیک شد. با توجه به اینکه پوشش جنگلی منطقه از نظر تراکم یکدست نیست و برخی مناطق عاری از پوشش درختی است، برای حذف مناطق مذکور از شاخص SAVI^۸ تصویر لندست ۸ مربوط به سال میلادی ۲۰۱۷ استفاده شد.

1. Thematic Mapper
2. Enhanced Thematic Mapper Plus
3. Operational Land Imager
4. United States Geological Survey
5. Row
6. Path
7. Google Earth
8. Soil Adjusted Vegetation Index

- شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی بسیاری توسط محققان در نقاط مختلف جهان پیشنهاد شده است که در این پژوهش از دو شاخص $NDVI^1$ و $SAVI$ استفاده شد. شاخص $NDVI$ به صورت گسترده در مطالعات مربوط به پوشش گیاهی مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از این شاخص (رابطهٔ ۵)، سلامت پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌شود. در این شاخص ترکیبی از فرمول نرمالیزه شده و استفاده از مناطق دارای بیشترین مقدار جذب و بازتاب کلروفیل، سبب می‌شود که این شاخص به‌ویژه در شرایط پوشش گیاهی متراکم، برای بررسی سلامت گیاهان مناسب باشد (Hurley et al., 2014).

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad \text{رابطهٔ ۵}$$

از آنجا که شاخص $NDVI$ در توصیف رفتار طبیعی خاک و گیاه دارای خطاست، شاخص $SAVI$ برای رفع این خطا توسط Huete (1988) پیشنهاد شد. در این شاخص اثر پیکسل‌های خاک خنثی شده است. این شاخص در مناطق دارای پوشش گیاهی کم تراکم و خاک قابل مشاهده در بین تاج پوشش گیاهان، دارای دقت بسیار خوبی است. برای محاسبهٔ این شاخص از رابطهٔ ۶ استفاده شد:

$$SAVI = \frac{1.5*(NIR-Red)}{(NIR+Red+L)} \quad \text{رابطهٔ ۶}$$

در رابطهٔ ۶، سیستم پوشش خاک به منظور بهبود حساسیت $NDVI$ به زمینهٔ خاکی، از L به عنوان شاخص تهویهٔ خاک استفاده می‌کند. مقدار L بین صفر تا ۱ متغیر است و در برخی کاربردهای ویژه، مقدار عددی آن با توجه به خصوصیات محیطی تعیین می‌شود. در صورت زیاد بودن تراکم پوشش گیاهی، مقدار L به ۱ نزدیک می‌شود که به معنای بی‌تأثیر بودن زمینهٔ خاکی بر استخراج اطلاعات پوشش گیاهی است. این گونه شرایط ایده‌آل به ندرت در محیط طبیعی یافت می‌شود و تنها در شرایطی که تاج پوشش گیاهی متراکم است، کاربرد دارد. مقدار L

در بیشتر شرایط محیطی برابر ۰/۵ است. زمانی که L به ۱ نزدیک می‌شود، مقدار $SAVI$ معادل $NDVI$ خواهد بود (Xue & Su, 2017).

پس از محاسبهٔ شاخص‌های مذکور در تصاویر، مقادیر متوسط آن در مناطق دارای پوشش جنگلی در هر سال محاسبه شد. از آنجا که در سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۳، تصاویر مناسبی وجود نداشت، مقادیر متوسط شاخص‌های دو سال قبل و بعد به این سال‌ها اختصاص داده شد. پس از تفکیک مناطق دارای پوشش جنگلی در منطقه و پیش‌پردازش‌های اولیه، نقشهٔ شاخص‌های $NDVI$ و $SAVI$ در ۳۰ سال اخیر (۲۰۱۷-۱۹۹۸) تهیه شد. سپس مقادیر متوسط شاخص‌های مذکور در هر سال محاسبه و در ادامه، روند تغییرات آن با آزمون من-کندال بررسی شد.

- رابطهٔ بین روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و

پوشش جنگلی

به منظور بررسی رابطهٔ بین روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و پوشش جنگلی، تغییرپذیری سری زمانی پارامترهای دما و بارش ماهانه، فصلی و سالانه با تغییرپذیری سری زمانی شاخص‌های $NDVI$ و $SAVI$ با تحلیل رگرسیون خطی ساده و چندگانه، تجزیه و تحلیل شد. در رگرسیون خطی ساده، مقدار همبستگی یکایک متغیرهای مستقل اقلیمی با متغیر وابسته (شاخص‌های گیاهی) بررسی شد، در حالی که در رگرسیون چندگانه، رابطهٔ خطی بین مجموعه متغیرهای مستقل اقلیمی (دما و بارش ماهانه، فصلی و سالانه) با یک متغیر وابسته بررسی شد. برای این منظور از رگرسیون گام‌به‌گام^۲ استفاده گردید. شایان ذکر است که برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف^۳ و برای تعیین هم‌راستایی چندگانهٔ متغیرها از عامل تورم واریانس (VIF^4) استفاده شد.

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Step Wise
3. Kolmogorov-Smirnov
4. Variance Inflation Factor

نتایج

داده‌های دما در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه در سطح معنی‌داری ۵ درصد نرمال هستند. بارش سالانه، فصلی و ماهانه به‌جز ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر نیز در سطح معنی‌داری ۵ درصد نرمال است.

- روند تغییرات پارامترهای اقلیمی

نتایج آزمون کولموگراف-اسمیرنوف برای نرمال بودن داده‌های اقلیمی نشان داد در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، همه

جدول ۲- نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف دما و بارش سالانه، فصلی و ماهانه در ایستگاه سینوپتیک سردشت (۲۰۱۷-۱۹۸۸)

Sig	پارامتر بارش	Sig	پارامتر دما
۰/۹۹۲	سالانه	۰/۶۰۱	سالانه
۰/۴۸۲	بهار	۰/۹۰۹	بهار
۰/۰۷۸	تابستان	۰/۹۸۷	تابستان
۰/۶۱۲	پاییز	۰/۲۸۸	پاییز
۰/۸۱۳	زمستان	۰/۹۴۴	زمستان
۰/۷۵۱	ژانویه	۰/۸۹۱	ژانویه
۰/۶۶۶	فوریه	۰/۹۷۹	فوریه
۰/۹۷۹	مارس	۰/۹۴۲	مارس
۰/۵۴۰	آوریل	۰/۵۵۶	آوریل
۰/۰۹۹	می	۰/۲۶۳	می
۰/۰۳۱	ژوئن	۰/۹۳۸	ژوئن
۰/۰۰۴	جولای	۰/۸۹۰	جولای
۰/۰۰۰	آگوست	۰/۶۸۵	آگوست
۰/۰۰۱	سپتامبر	۰/۶۶۰	سپتامبر
۰/۸۰۱	اکتبر	۰/۹۶۴	اکتبر
۰/۴۶۰	نوامبر	۰/۶۴۰	نوامبر
۰/۶۱۷	دسامبر	۰/۹۷۸	دسامبر

پارامترهای بارش در مقیاس زمانی سالانه، فصول بهار و پاییز، ماه‌های آوریل، می، نوامبر و دسامبر دارای روند کاهشی، در فصول تابستان و زمستان، ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و اکتبر دارای روند افزایشی و در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست فاقد روند مشخصی است.

دمای متوسط سالانه، فصول بهار، تابستان و زمستان و دمای ماه‌های فوریه، مارس، می، ژوئن،

در طول دوره آماری ۳۰ سال (۲۰۱۷-۱۹۸۸)، میانگین بارش سالانه منطقه تحقیق، ۸۲۲ میلی‌متر و میانگین، حداکثر و حداقل دمای آن به ترتیب ۱۳/۴، ۱۷/۷ و ۱۰/۳ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. روند تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه بارش طی ۳۰ سال (۲۰۱۷-۱۹۸۸) در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت معنی‌دار نیست (جدول ۳). با وجود این، مقادیر تخمین‌گر شیب سن نشان می‌دهد که مقادیر

شد. نتایج نشان داد که در سطح ۱ درصد، دمای سالانه و نیز دمای فصول بهار و تابستان از سال ۱۹۹۷، دمای فصل زمستان از سال ۱۹۹۸ و دمای فصل پاییز از سال ۱۹۹۵ دارای نقاط جهش معنی دارند. در حالی که در مقیاس ماهانه، ماه‌های فوریه و مارس از سال ۱۹۹۸ و ژوئن از ۱۹۹۷ (در سطح ۱ درصد) دارای جهش معنی دارند (جدول ۵).

متوسط دمای سالانه و نیز فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در دورهٔ قبل از نقطهٔ جهش به ترتیب ۱۲/۲، ۱۴، ۲۴/۸، ۵/۱- و ۰/۷۰- درجهٔ سانتی‌گراد بود و بعد از نقطهٔ جهش به ترتیب به ۱۴، ۱۶/۱، ۲۶/۳، ۱۰/۶ و ۲/۵ درجهٔ سانتی‌گراد رسید (شکل ۲).

جولای و آگوست (سطح ۱ درصد) و دمای فصل پاییز و ماه ژانویه و سپتامبر (سطح ۵ درصد) دارای روند افزایشی است (جدول ۴). در بین فصول، بیشترین روند افزایشی با شیب سن ۰/۴۰۰، مربوط به فصل پاییز و پس از آن به ترتیب، زمستان، بهار و تابستان است. در بین ماه‌ها، فوریه با شیب سن ۰/۲۱۴، بیشترین روند افزایشی دما را داشته است.

نتایج آزمون پتیت برای تعیین نقاط جهش بارش، نشان داد که بارش دارای روند تغییرات معنی‌دار نیست، در حالی که دماهای سالانه، فصلی و ماهانه (به جز ماه‌های آوریل، جولای، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر) دارای روند معنی‌دارند. از این رو، آزمون پتیت، فقط برای دما و ماه‌های معنی‌دار، محاسبه و لحاظ

جدول ۳- آماره‌های آزمون من-کندال و شیب سن سالانه، فصلی و ماهانهٔ بارش در ایستگاه سینوپتیک سردشت (۲۰۱۷-۱۹۸۸)

پارامتر	آماره من-کندال (Z)	شیب سن (β)
سالانه	-۰/۰۳۴	-۱/۷۰۷
بهار	-۰/۰۶۷	-۱/۴۱۲
تابستان	۰/۰۶۳	۹/۹۱۰
پاییز	-۰/۰۳۹	-۰/۶۷
زمستان	۰/۰۹۹	۲/۱۰۲
ژانویه	۰/۰۶۷	۰/۷۳۸
فوریه	۰/۰۸۵	۰/۶۳۵
مارس	۰/۲۰۹	۲/۶
آوریل	-۰/۱۱۳	-۱/۱
می	-۰/۱۲۲	-۰/۵۴۱
ژوئن	۰/۰۳۴	۰
جولای	۰/۰۲۵	۰
آگوست	۰/۰۶۴	۰
سپتامبر	-۰/۰۳۶	۰
اکتبر	۰/۰۶۷	۰/۱۶۷
نوامبر	-۰/۰۴۸	-۰/۷۶
دسامبر	-۰/۰۶۲	-۱/۰۸۳

* معنی‌دار در سطح ۱ درصد؛ ** معنی‌دار در سطح ۵ درصد

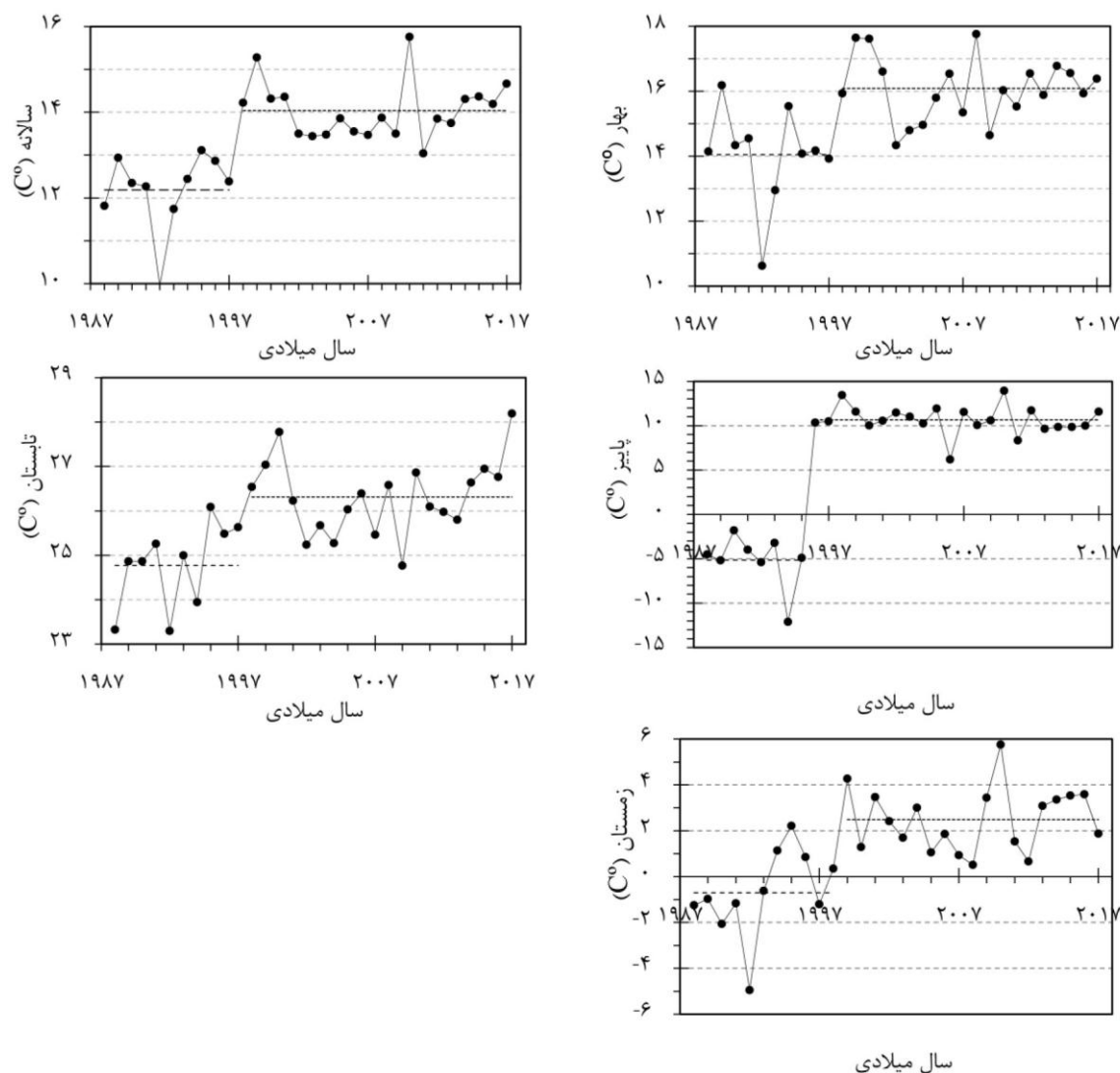
جدول ۴- نتایج آزمون من-کندال روند تغییرات پارامتر دما در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت (۲۰۱۷-۱۹۸۸)

پارامتر	آماره من-کندال (Z)	شیب سن (β)
سالانه	*.۰/۵۱۱	.۰/۰۷۸
بهار	*.۰/۳۸۴	.۰/۰۸۹
تابستان	*.۰/۴۸۳	.۰/۰۷۸
پاییز	**۰/۳۲۰	.۰/۴۰۰
زمستان	*.۰/۴۸۰	.۰/۱۵۳
ژانویه	**۰/۳۲۶	.۰/۱۳۵
فوریه	*.۰/۵۰۱	.۰/۲۱۴
مارس	*.۰/۳۶۲	.۰/۱۵۷
آوریل	.۰/۲۳۹	.۰/۰۸۶
می	*.۰/۳۷۰	.۰/۰۸۲
ژوئن	*.۰/۳۴۴	.۰/۰۷۵
جولای	.۰/۴۰۰	.۰/۰۷۷
آگوست	*.۰/۳۴۹	.۰/۰۸۳
سپتامبر	**۰/۳۰۳	.۰/۰۵۴
اکتبر	.۰/۰۹۰	.۰/۰۱۸
نوامبر	.۰/۱۲۳	.۰/۰۲۷
دسامبر	.۰/۰۸۸	.۰/۰۵

معنی‌دار در سطح ۱ درصد * و معنی‌دار در سطح ۵ درصد **

جدول ۵- نتایج آزمون پتیت برای پارامتر دما در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت (۲۰۱۷-۱۹۸۸)

مقیاس زمانی	پارامتر	آماره K	سال جهش t	معنی‌دار
سالانه	سالانه	۱۹۸	۱۹۹۷	در سطح ۱ درصد
فصلی	بهار	۱۶۲	۱۹۹۷	در سطح ۱ درصد
	تابستان	۱۵۸	۱۹۹۷	در سطح ۱ درصد
	پاییز	۱۷۶	۱۹۹۵	در سطح ۱ درصد
	زمستان	۱۷۹	۱۹۹۸	در سطح ۱ درصد
ماهانه	ژانویه	۱۳۲	۱۹۹۳	در سطح ۵ درصد
	فوریه	۱۷۵	۱۹۹۸	در سطح ۱ درصد
	مارس	۱۷۰	۱۹۹۸	در سطح ۱ درصد
	می	۱۴۰	۱۹۹۵	در سطح ۵ درصد
	ژوئن	۱۶۸	۱۹۹۷	در سطح ۱ درصد
	آگوست	۱۴۵	۱۹۹۴	در سطح ۵ درصد



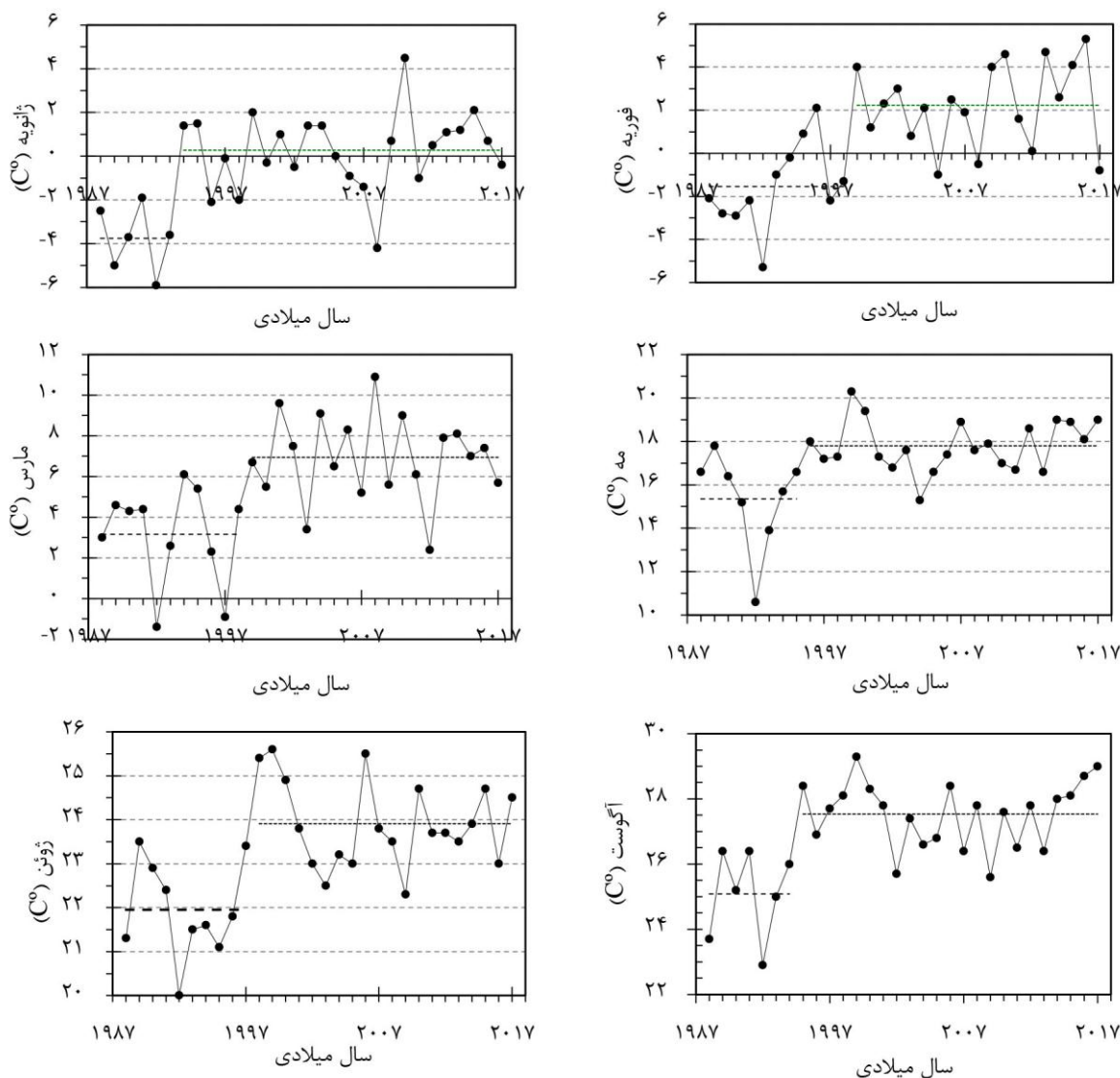
شکل ۲- نتایج آزمون پتیت برای دمای سالانه، فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت (۱۹۸۸-۲۰۱۷)

خطی بین پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های گیاهی در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دارند (جدول ۶). بارش و دما با شاخص‌های گیاهی به ترتیب رابطهٔ مستقیم و معکوس دارند. بارش فصل بهار و دمای ماه آوریل به ترتیب با ضریب همبستگی $0/452$ ، $0/463$ و $0/492$ ، $0/499$ بیشترین ارتباط را به ترتیب با شاخص‌های NDVI و SAVI به خود اختصاص دادند. در بین همهٔ پارامترهای اقلیمی با رابطهٔ معنی‌دار، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به دمای ماه آوریل و شاخص SAVI است (جدول ۶).

به‌علاوه، متوسط دمای ماه‌های، ژانویه، فوریه، مارس، می، ژوئن و آگوست در دورهٔ قبل از نقطهٔ جهش به ترتیب $-3/8$ ، $-1/5$ ، $3/2$ ، $15/3$ ، $21/9$ و $25/1$ درجهٔ سانتی‌گراد بود و بعد از نقطهٔ جهش به ترتیب به $0/3$ ، $2/2$ ، $6/9$ ، $17/8$ ، $23/9$ و $27/5$ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافت (شکل ۳).

رشد تغییرات پوشش جنگلی -

نتایج نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از شاخص‌های NDVI و SAVI در ۳۰ سال آماری، دارای روند تغییرات معنی‌دار نیستند. نتایج حاصل از رگرسیون



شکل ۳- آزمون پتیت دمای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، ژوئن و آگوست در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت (۱۹۸۸-۲۰۱۷)

نتایج نشان داد که در دوره ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷، بارش فصل بهار، دارای رابطه معنی‌دار مستقیم (۰/۸۴۴) با شاخص SAVI است، در حالی که در دوره تغییر (۱۹۹۸-۲۰۱۷) دما با ضریب همبستگی ۰/۴۵۵، دارای رابطه معنی‌دار معکوس با شاخص SAVI است (جدول ۷).

همه پارامترهای اقلیمی بارش و دمای سالانه، فصلی و ماهانه، برای تحلیل رگرسیون چندگانه گام‌به‌گام به‌کار گرفته شد (جدول ۸).

نتایج نشان داد که همبستگی شاخص SAVI با پارامترهای اقلیمی بیشتر است (جدول ۶). اگرچه در بین پارامترهای اقلیمی بررسی‌شده، دمای ماه آوریل بیشترین همبستگی (۰/۴۹۹) را با شاخص SAVI نشان داد، اما از آنجا که دمای این ماه براساس آزمون پتیت، دارای نقطه جهش نیست، رابطه رگرسیونی خطی بین بارش و دمای فصل بهار با مقادیر شاخص SAVI، قبل و بعد از سال ۱۹۹۷ (مطابق آزمون پتیت، دمای فصل بهار از سال ۱۹۹۷ دچار جهش افزایشی شده است) تجزیه و تحلیل شد.

جدول ۶- تحلیل رگرسیون خطی بین بارش و دما در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و شاخص‌های گیاهی در شهرستان سردشت

بارش				
شاخص	مقیاس زمانی	ضریب همبستگی	Sig	معنی‌دار
NDVI	بهار	۰/۴۵۲	۰/۰۱۲	در سطح ۵ درصد
	جولای	۰/۳۹۰	۰/۰۳۳	در سطح ۵ درصد
SAVI	سالانه	۰/۴۲۰	۰/۰۲	در سطح ۵ درصد
	بهار	۰/۴۹۲	۰/۰۰۶	در سطح ۱ درصد
	آوریل	۰/۳۸۱	۰/۰۳۸	در سطح ۵ درصد
	جولای	۰/۳۸۳	۰/۰۳۷	در سطح ۵ درصد
دما				
NDVI	بهار	۰/۳۷۹	۰/۰۳۹	در سطح ۵ درصد
	آوریل	۰/۴۶۳	۰/۰۱۰	در سطح ۱ درصد
SAVI	بهار	۰/۴۵۵	۰/۰۱۲	در سطح ۵ درصد
	آوریل	۰/۴۹۹	۰/۰۰۵	در سطح ۱ درصد
	جولای	۰/۳۶۰	۰/۰۵۰	در سطح ۵ درصد

جدول ۷- همبستگی ساده بین بارش و دمای فصل بهار قبل و بعد از نقطهٔ جهش (۱۹۹۷)

پارامتر	قبل از ۱۹۹۷		بعد از ۱۹۹۷	
	همبستگی	Sig	معنی‌دار	همبستگی
بارش فصل بهار	۰/۸۴۴	۰/۰۰۲	در سطح ۱ درصد	۰/۲۰۹
دمای فصل بهار	۰/۴۶۲	۰/۱۷۹	-----	۰/۴۴۴

جدول ۸- تحلیل رگرسیون چندگانهٔ گام‌به‌گام بین پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های گیاهی NDVI و SAVI

شاخص	مدل	پارامتر	R	Sig	معادله
NDVI	۱	دمای ماه آوریل (X_1)	۰/۴۶۳	۰/۰۱۰	$NDVI=0.507-0.463 X_1$
	۲	دمای ماه آوریل (X_1) + دمای ماه آگوست (X_2)	۰/۶۰۱	۰/۰۰۲	$NDVI=0.216 - 0.752 X_1 + 0.483 X_2$
SAVI	۱	دمای ماه آوریل (X_1)	۰/۴۹۹	۰/۰۰۵	$SAVI=0.329 - 0.499 X_1$
	۲	دمای ماه آوریل (X_1) + دمای ماه آگوست (X_2)	۰/۶۲۰	۰/۰۲۲	$SAVI=0.168 - 0.776 X_1 + 0.461 X_2$
	۳	دمای ماه آوریل (X_1) + دمای ماه آگوست (X_2) + دمای فصل بهار (X_3)	۰/۷۰۲	۰/۰۲۷	$SAVI=0.162 - 0.285X_1 + 0.755 X_2 - 0.781 X_3$
	۴	دمای ماه آگوست (X_1) + دمای فصل بهار (X_2)	۰/۶۸۶	۰/۰۳۰	$SAVI=0.173 + 0.784 X_1 - 1.047 X_2$
	۵	دمای ماه آگوست (X_1) + دمای فصل بهار (X_2) + بارش ماه جولای (X_3)	۰/۷۶۳	۰/۰۱۵	$SAVI=0.194 + 0.704 X_1 - 1.005 X_2 + 0.377 X_3$
	۶	دمای ماه آگوست (X_1) + دمای فصل بهار (X_2) + بارش ماه جولای (X_3) + دمای فصل زمستان (X_4)	۰/۸۱۰	۰/۰۳۲	$SAVI=0.276 + 0.572 X_1 - 1.120 X_2 + 0.318 X_3 + 0.356 X_4$

چندگانه متغیرها با استفاده از عامل تورم واریانس (VIF) نیز نشان داد که مقادیر VIF همه متغیرها کمتر از ۱۰ است، بنابراین هم‌خطی جدی بین متغیرهای استفاده شده در تحلیل رگرسیون چندگانه گام‌به‌گام وجود ندارد (جدول ۹).

براساس نتایج، شاخص NDVI با دمای ماه‌های آوریل و آگوست، دارای بیشترین همبستگی چندگانه (۰/۶۰۱) است. در حالی که شاخص SAVI، بیشترین همبستگی چندگانه (۰/۸۱۰) را با دمای ماه آگوست، دمای فصل بهار، بارش ماه جولای و دمای فصل زمستان نشان داد. نتایج حاصل از آزمون هم‌راستایی

جدول ۹- نتایج حاصل از آزمون هم‌راستایی چندگانه متغیرها با استفاده از عامل تورم واریانس (VIF)

متغیر	VIF با وابسته NDVI	VIF با وابسته SAVI
دمای ماه آوریل (X_1)	۴/۳۹	۴/۳۹
دمای ماه آگوست (X_2)	۲/۶۳	۲/۶۳
دمای فصل بهار (X_3)	۶/۸۷	۶/۸۷
دمای فصل زمستان (X_4)	۱/۹۸	۱/۹۸
بارش ماه جولای (X_5)	۱/۰۶	۱/۰۶

بحث

ماه آوریل با شاخص‌های مذکور، دارای روابط همبستگی ساده با ضریب همبستگی بالای ۰/۴ است (جدول ۵). در بین همه پارامترهای اقلیمی با رابطه معنی دار، بیشترین ضریب همبستگی رابطه همبستگی ساده مربوط به دمای ماه آوریل و شاخص SAVI است (جدول ۵). از سوی دیگر، رابطه همبستگی ساده بین بارش و دمای فصل بهار با مقادیر شاخص SAVI، قبل و بعد از سال ۱۹۹۷ نشان داد که در دوره ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷، بارش فصل بهار دارای رابطه معنی دار مستقیم و در دوره تغییر (۲۰۱۷-۱۹۹۸) نیز، دما دارای رابطه معنی دار معکوس با شاخص SAVI است. این نتیجه نشان می‌دهد که در دوره قبل از تغییر، مقادیر بارش، تأثیر بسزایی در سلامت پوشش جنگلی داشته است، اما در دوره تغییر با افزایش روند تغییر معنی دار دما، سلامت پوشش جنگلی، بیشتر تحت تأثیر نوسانات دمایی قرار گرفته است. به عبارت دیگر در دوره تغییر با روند افزایشی دما شاهد کاهش معنی دار سلامت پوشش (کاهش شاخص SAVI) هستیم. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون چندگانه

آزمون من-کندال روند پارامترهای بارش سالانه، فصلی و ماهانه را معنی دار نشان نداد، در حالی که دمای سالانه، فصلی و ماهانه (ژانویه، فوریه، مارس، می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر)، دارای روند افزایشی معنی دار است. تخمین گر شیب سن نیز نشان داد که بیشترین روند افزایشی دما مربوط به فصل پاییز و ماه فوریه است. آزمون پتیت نیز نشان داد که در بیشتر ماه‌ها، دما از سال ۱۹۹۷ دچار نقطه جهش افزایشی شده است. این یافته‌ها با نتایج Attarod et al. (2016) و Ahmadi et al. (2016) همخوانی دارد. محققان مذکور نیز به این نتیجه رسیدند که در بیشتر ایستگاه‌های دماسنجی در استان لرستان و آذربایجان غربی، دما دارای روند افزایشی است. بررسی روند تغییرات شاخص‌های NDVI و SAVI در ۳۰ سال آماری (۲۰۱۷-۱۹۸۷) نشان داد که شاخص‌های مذکور دارای روند تغییرات معنی داری نیستند، اما با مقادیر پارامترهای اقلیمی روابط معنی داری دارند، به طوری که بارش فصل بهار و دمای

بارش دارای رابطهٔ مستقیم و با افزایش دما دارای رابطهٔ معکوس است. این نتیجه با یافته‌های محققان بسیاری در داخل کشور (Attarod et al., 2016; Rostamnia & Akhoondzadeh Hanzaei, 2016; Ghadirian et al., 2018) و خارج کشور (Andersson et al., 2011; Kim et al., 2017;) (Rahman et al., 2017) همخوانی دارد. محققان مذکور نیز در مطالعاتشان به این نتیجه رسیدند که بین کاهش سطح پوشش جنگلی و کاهش سلامت گونه‌های جنگلی به‌ویژه درختان بلوط با افزایش دما و رخداد خشکسالی رابطهٔ مستقیم وجود دارد. به‌طور کلی در پژوهش حاضر رابطهٔ بین تغییرات پارامترهای اقلیمی و تغییرات سلامت پوشش جنگلی با استفاده از روابط رگرسیونی مدل‌سازی شد. نتایج حاصل نشان داد که تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی به‌ویژه افزایش دما، سبب کاهش سلامت پوشش جنگلی می‌شود. با توجه به مسئلهٔ گرمایش جهانی و افزایش دما در مقیاس جهانی، مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده در پژوهش حاضر، می‌تواند در مدیریت منابع جنگلی و تصمیم‌گیری مناسب برای حفاظت از این منابع مفید واقع شود.

گام‌به‌گام نیز نشان داد که شاخص SAVI، بیشترین همبستگی چندگانه (۰/۸۱۰) را با دمای ماه آگوست، دمای فصل بهار، بارش ماه جولای و دمای فصل زمستان به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از رگرسیون چندگانه نشان داد که شاخص SAVI، دارای قابلیت بهتری در تبیین تأثیرات پارامترهای اقلیمی بر سلامت پوشش جنگلی است. همان‌گونه که پیشتر نیز اشاره شد، شاخص NDVI در توصیف رفتار طیفی خاک و گیاه دارای خطاست، بنابراین شاخص SAVI برای رفع این خطا پیشنهاد شد. در این شاخص اثر پیکسل‌های خاک خنثی شده است. در واقع منطقهٔ تحقیق، دارای پوشش جنگلی کم‌تراکم بوده و شاخص SAVI در مناطق دارای پوشش گیاهی کم‌تراکم و خاک قابل مشاهده در بین تاج‌پوشش گیاهان، دقت بسیار خوبی دارد (Huete, 1988). با توجه به اینکه پوشش جنگلی منطقه اغلب کم‌تراکم بوده و بین تاج‌پوشش درختان، خاک قابل مشاهده است، این شاخص بهتر از شاخص NDVI تغییرات پارامترهای اقلیمی را منعکس کرد. نتایج نشان می‌دهد که سلامت پوشش جنگلی در منطقهٔ تحقیق، تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی بارش و دما قرار می‌گیرد، به‌طوری که افزایش سلامت پوشش جنگلی، با افزایش

References

- Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., & Mirabbasi Najaf Abadi, R. (2016). Temperature Trend Analysis by Considering the Hurst Coefficient (Case Study: West Azarbayjan Province). *Journal of Water and Soil*, 33(1), 985-1000.
- Andersson, M., Milberg, P., & Bergman, K.O. (2011). Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.)—Is oak death a long-term process induced by dry years?. *Annals of Forest Science*, 68(1), 159-168.
- Asfaw, A., Simane, B., Hassen, A., & Bantider, A. (2018). Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. *Weather and Climate Extremes*, 19, 29-41.
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Taheri Sarteshnizi, F., Saroyi, S., Abbasian, P., Masihpoor, M., Kordrostami, F., & Dirikvandi, A. (2016). Meteorological parameters and evapotranspiration affecting the Zagros forests decline in Lorestan province. *Scientific Journal Management System*, 13(2), 97-112.

- Bakhshandeh Savadroodbari, M., Maleknia, R., Banj Shafiei, A., Zargaran, M., & Badehian, Z. (2017). The Effect of Wildfire on the Species Diversity of Soil Macro fauna (Case Study: Sardasht Forests, West Azerbaijan). *Iranian Journal of Forest*, 9(2), 215-231.
- Batten, G.D. (1998). Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: The potential and the limitations. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(7), 697-706.
- Biabani, K., Pilevar, B., & Safari, A. (2016). Comparison of spatial patterns and interspecific association of Gall oak (*Quercus infectoria* Oliv.) and Lebanon oak (*Q. libani* Oliv.) in two less degraded and degraded oak stands in northern Zagros (Case study: Khedr Abad, Sardasht). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(1-63), 88-77.
- Bickici Arikan, B., & Kahya, E. (2019). Homogeneity revisited: analysis of updated precipitation series in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(12), 211-220.
- Eshaghi-Rad, J., Motallebpour, A., & Alijanpour, A. (2016). Association survey between Oak species in relation to physiographic factors in Zagros forest (Case study: Sardasht forest, Rabat). *Journal of Forest Research and Development*, 1(4), 285-294.
- FAO (2013). *Climate change guidelines for forest managers*, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, 172p.
- Garbolino, E., Sanseverino-Godfrin, V., & Hinojos-Mendoza, G. (2017). Reprint of: Describing and predicting of the vegetation development of Corsica due to expected climate change and its impact on forest fire risk evolution. *Safety Science*, 97, 81-87.
- Ghadirian, O., Hemami, M.R., Soffianian, A., Pourmanaphi, S., Malekian, M., & Tarkesh, M. (2018). Probabilistic prediction of forest decline in Lorestan province using a combined modeling approach. *Scientific Journal Management System*, 15(2), 131-146.
- Hagh Doust, N., Akbarinia, M., Safaie, N., Yousefzadeh, H., & Bálint, M. (2017). Community analysis of Persian oak fungal microbiome under dust storm conditions. *Fungal Ecology*, 29(Supplement C), 1-9.
- Heydari, M., Mahdavi, A., & Modaberi, A. (2017). The most appropriate statistical distribution for studding effect of land use changes on distribution of oak trees (*Quercus brantii*) canopy in Zagros forests of Ilam Province. *Forest Research and Development*, 2(4), 353-366.
- Huang, J., Towfiqul Islam, A.R.M., Zhang, F., & Hu, Z. (2017). Spatiotemporal analysis the precipitation extremes affecting rice yield in Jiangsu province, southeast China. *International Journal of Biometeorology*, 61(10), 1863-1872.
- Huete, A. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25 (1988), 295-309.
- Hurley, M.A., Hebblewhite, M., Gaillard, J.M., Dray, S., Taylor, K.A., Smith, W.K., Zager, P., & Bonenfant, C. (2014). Functional analysis of Normalized Difference Vegetation Index curves reveals overwinter mule deer survival is driven by both spring and autumn phenology, *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, 369(1643), 20130196.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*, second ed. New York: Hafner.
- Kim, H.N., Jin, H.Y., Kwak, M.J., Khaine, I., You, H.N., Lee, T.Y., Ahn, T.H., & Woo, S.Y. (2017). Why does *Quercus suber* species decline in Mediterranean areas?. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10(3), 337-341.
- Mann Henry, B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Parnian Kalayeh, S., Moradi, M., Sefidi, K., & Basiri, R. (2020). Coarse and fine woody debris and mortality rate of Persian Oak estimation in relation to some environmental factors in Zagros Oak forest (Case study: Tange Alamdar, Behbahan). *Iranian Journal of Forest*, 11(4), 519-532.

- Pettitt, A. (1979). A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Journal of the Royal Statistical Society. Applied Statistics*, 2(28), 126–135.
- Rahman, M., Islam, R., & Islam, M. (2017). Long-term growth decline in *Toona ciliata* in a moist tropical forest in Bangladesh: Impact of global warming. *Acta Oecologica*, 80, 8-17.
- Rostamnia, M., & Akhoondzadeh Hanzaei, M. (2016). Assessment of Hazardous Drought of Ilam Province Forests using Landsat Satellite Images. *Journal of Geomatics Science And Technology*, 6(2), 131-144.
- Shariat, A., Mirzaie Nodoushan, H., Mirza, M., Zare, Z., Keneshloo, H., & Taghavi, F. (2019). An ionome study in Persian oak (*Quercus brantii Lindl*) to evaluate factors affected oak decline. *Iranian Journal of Forest*, 11(3), 415-428.
- Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
- Senf, C., Leitão, P.J., Pflugmacher, D., Linden, S.V.D., & Hostert, P. (2015). Mapping land cover in complex Mediterranean landscapes using Landsat: Improved classification accuracies from integrating multi-seasonal and synthetic imagery. *Remote Sensing of Environment*, 156, 527-536.
- Theil, H. (1950). *A rank invariant method of linear and Polynomial regression analysis*. Part3, Netherlands Akademik van wetten schappen, Proceedings, 53, 1379-1412.
- Thiele, J.C., Nuske, R.S., Ahrends, B., Panferov, O., Albert, M., Staupendahl, K., Junghans, U., Jansen, M., & Saborowski, J. (2017). Climate change impact assessment—a simulation experiment with Norway spruce for a forest district in Central Europe. *Ecological Modeling*, 346, 30-47.
- Ugupta, S., Sharma, J., Jayaraman, M., Kumar, V., & Ravindranath, N.H. (2015). Climate change impact and vulnerability assessment of forests in the Indian Western Himalayan region: A case study of Himachal Pradesh, India. *Climate Risk Management*, 10, 63-76.
- Vaisi, V., Ranjbar-Fordoei, A., & Mousavi, S.H. (2016). Multi-temporal changes detection of vegetation covers in Navah-Kooh semiarid forest s using Remote Sensing (1995-2015). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(9), 57-70.
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, 17.
- Zhang, C., & Kovacs, J.M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712.



Research Article

Are variations of forest vegetation consistent with trends of meteorological parameters in the northern Zagros region of Iran?

E. maroufzade¹ and P. Attarod^{2*}

¹ PhD Candidate of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

² Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 21 September 2019, Accepted: 2 June 2020)

Abstract

Deterioration of Zagros forests may partly be related to changes in climatic parameters. In the present study, the trends of precipitation and temperature changes in relation to the trend of forest cover changes in Sardasht area, Northern Zagros, was studied using 30 years data (1988-2017) recorded at Sardasht Synoptic Weather Station. Mann-Kendall statistical tests, the Sen's slope estimator and Pettitt test were used for trend detecting and finding mutation points of climatic parameters. Trends of forest cover changes in Sardasht were also investigated using NDVI and SAVI vegetation indices. The relationship between the climatic parameters and the vegetation indices was carried out by the simple linear regression analysis and stepwise multivariate regression. Mann-Kendall test showed that the annual, seasonal, and monthly temperatures of January, February, March, May, June, July, August, and September had a significant increasing trend. The trend of changes in NDVI and SAVI indices were not significant, however, these indices pointed out significant relationships with climatic parameter so that temperature of April and SAVI demonstrated the highest simple linear correlation coefficient (0.499). Stepwise multivariate regression analysis displayed that the SAVI had the highest multivariate correlation (0.810) with temperature of August, temperature of spring, precipitation of July and temperature of winter. Regarding the impact of climate change on decline of Zagros forests, the regression models presented in this study can be used to make an appropriate decision to protect these forests. Managers should think of the unexpected changes in meteorological parameters owing to global warming.

Keywords: Mann-Kendall test, Pettitt test, step wise regression, SAVI, NDVI