

## ارزیابی و پیش‌بینی خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی (بخش لرستان) با رویکرد تغییر اقلیم

هنگامه شیراوند<sup>۱\*</sup>، شهریار خالدی<sup>۲</sup> و سعید بهزادی<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیایی طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پست الکترونیک: hengamehshiravand@yahoo.com

۲- استاد، گروه جغرافیایی طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت معلم شهید رجایی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۲

### چکیده

پدیده خشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس یکی از مشکلات اساسی اکوسیستم این منطقه است. در این پژوهش به ارزیابی و پیش‌بینی خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی (بخش لرستان) با رویکرد تغییر اقلیم و با استفاده از شاخص‌های DVI، GEMI، IPVI، MSAVI2، NDVI، EVI، OSVI، Sarvi2، SR و VHI پرداخته شد. در این راستا برای ۱۱۰ نقطه از جنگل‌های بلوط لرستان این شاخص‌ها استخراج گردید و در نهایت ماتریسی به ابعاد ۱۱۰×۳۴۵ طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ تشکیل شد. سپس برای پیش‌بینی روش‌های فازی و شبکه عصبی ارزیابی شد و هر یک که خطای کمتری داشت مبنای پیش‌بینی برای دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰ قرار گرفت. همچنین به منظور شناسایی نواحی خشکیدگی از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و ممیزی و برای بررسی نوسان‌ها از تحلیل طیفی بهره گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد که شاخص‌های خشکیدگی در بیشتر موارد از روند افزایشی برخوردار بوده است. نتایج تحلیل خوشه‌ای نیز نشان داد که خشکیدگی جنگل‌های بلوط در چهار ناحیه (فاقد خشکیدگی، با خشکیدگی نرمال، با خشکیدگی زیاد و با خشکیدگی بسیار زیاد) قابل تقسیم است. بررسی نوسان‌های حاکم بر نواحی خشکیدگی نیز حکایت از وجود چرخه‌های کوتاه‌مدت اغلب ۲ تا ۴ ساله نوسان‌ها بر شاخص‌های خشکیدگی داشت. ارزیابی شبکه عصبی و روش فازی نیز نشان داد که روش شبکه عصبی روش مناسب‌تری برای پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی است و نتایج پیش‌بینی بیانگر آن است که در دوره آینده بیشتر شاخص‌های خشکیدگی در منطقه روند افزایشی را تجربه خواهند کرد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، بلوط، شاخص‌های خشکیدگی، شبکه عصبی، زاگرس، نوسان.

### مقدمه

وقوع چنین فاجعه محیط‌زیستی باشد. متأسفانه پس از ظهور علائم خشکیدگی، بیشتر از سه تا پنج سال طول نمی‌کشد که درختان به‌طور کامل خشک شده و مرگ ناگهانی جنگل‌ها رخ می‌دهد. این جنگل‌ها بیشترین تأثیر را در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب‌وهوا، تعادل اقتصادی و اجتماعی و تعادل محیط‌زیست دارد. گل‌زنی، قطع بی‌رویه درختان برای

یکی از رخداد‌های تلخی که در سال‌های اخیر در جنگل‌های زاگرس در حال رخ دادن است و هر روز بر وسعت آن افزوده می‌شود، زوال یا خشکیدگی بلوط (Oak Decline) است. بیماری‌شناسان حوزه جنگل معتقدند که آفات یا بیماری در میان درختان این اکوسیستم‌ها به‌تنهایی نمی‌تواند علت

فراهم می‌کند (Alavi Panah et al., 2006). اگر بتوان با استفاده از شاخص‌های مختلف بر میزان پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای نظارت و پایش داشت، با استفاده از روش‌های مختلف از جمله هوش مصنوعی می‌توان تغییرات آن را پیش‌بینی کرد. در این راستا Vacchiano و Motlta (۲۰۱۵) به منظور پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر ترکیب گونه‌ای بلوط و کاج اسکاتلندی در جنگل‌های شمال غرب ایتالیا تا سال ۲۰۸۰ با استفاده از شاخص NDVI پرداختند و اختلاف و همبستگی آن را با تغییر کاربری پوشش گیاهی مدل‌سازی نمودند. نتایج حاصل نشان داد که گرمایش آب‌وهوا باعث جایگزینی گونه‌های کاج در منطقه خواهد شد که با کنترل تغییر کاربری اراضی کنترل خواهد شد. Vázquez و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات ناحیه جنگلی جنوب دورانگو را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی کردند و توانستند با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده این تصاویر را در سه کلاس مناطق غیرجنگلی، مناطق جنگلی بلوط و مناطق جنگلی کاج طبقه‌بندی نمایند و تغییرات نواحی جنگلی را شناسایی کنند. Hidalgo و López (۲۰۱۶) به بررسی نواحی مناسب برای پراکنش پنج گونه جنگلی بلوط در جنوب اسپانیا در شرایط تغییر اقلیم تا اواخر قرن جاری پرداختند. نتایج آنان نشان داد که نواحی دارای تناسب برای دو گونه بلوط چوب پنبه و دارمازو به نحو چشمگیری کاهش خواهد یافت. Vessella و همکاران (۲۰۱۷) پراکنش درخت جنگلی بلوط چوب پنبه را تحت تأثیر تغییرات اقلیمی با استفاده از روش‌های منفعت (Profile Methods)، رگرسیون چندمتغیره و یادگیری ماشین (Machine Learning Techniques) در بایوم مدیترانه‌ای پیش‌بینی کردند. نتایج مدل‌سازی حکایت از کاهش قابل‌ملاحظه دامنه‌های دارای قابلیت برای استقرار این گونه بلوط داشت و طبق پیش‌بینی‌ها پراکنش و جابه‌جایی این گونه درختی بیشتر در سمت نواحی بالادست و شمالی عمدتاً مربوط به ایبری و شمال آفریقا خواهد بود. Duque-Lazo و همکاران (۲۰۱۸) ثبات آینده بلوط چوب پنبه را در شرایط تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای در

تأمین چوب سوخت، چرای بی‌رویه دام، زادآوری بسیار ناچیز دانه‌زاد، تغییر اقلیم و تغییر شرایط اکولوژیک در اثر مداخلات انسانی از جمله مهمترین عواملی هستند که باعث تغییر فرم جنگل‌های زاگرس به صورت شاخه‌زاد شده و سبب شده از نظر کمی سطح این جنگل‌ها روزبه‌روز کاهش یابد (Hamzhepour et al., 2011). بررسی پژوهش‌های گرده‌شناسی غرب کشور حکایت از آن دارد که جنگل‌های بلوط از ۶۵۰۰ سال پیش یعنی دوره هولوسن میانی همزمان با مساعد شدن شرایط آب‌وهوایی همانند افزایش بارش بهار و کاهش خشکی تابستانه، در زاگرس گسترش یافته‌اند و از آن زمان تاکنون با وجود تجربه کردن دوره‌های خشک‌سالی و آتش‌سوزی‌های شدید، فراوانی خود را حفظ کرده‌اند. مطالعات دیرینه محیط نیز نشان می‌دهد که از زمان فراهم شدن شرایط محیطی برای گسترش جنگل‌های بلوط (۶۵۰۰ سال قبل) تاکنون در هیچ دوره‌ای رشد و گسترش آنها در سطح وسیع متوقف نشده است. در نتیجه می‌توان چنین گفت که از زمان شروع اولین تمدن‌ها در زاگرس تا حال حاضر، نخستین بار است که حیات این گونه به خطر افتاده است و خطر تا جایی پیش رفته است که پدیده زوال نام گرفته است (Safaei Rad, 2014). جنگل‌های حوزه رویشی زاگرس به‌عنوان دومین منبع سلولزی تجدیدپذیر کشور، یکی از باارزش‌ترین ذخایر جنگلی بلوط در جهان به‌شمار می‌آیند و بلوط ایرانی (*Q. brantii*) مهمترین گونه این جنگل‌ها محسوب می‌شود (Hamzhepour et al., 2011). به‌منظور نگه‌داشت ذخایر ژنتیکی و تنوع زیستی برای نسل‌های آینده به شکلی پایدار، آگاهی از میزان و موقعیت تخریب و ارائه مدل تخریب برای به‌دست آوردن یک الگوی مناسب به‌منظور پیش‌بینی پراکنش مکانی مناطق در معرض تخریب و جلوگیری از این روند فزاینده ضروری است و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجش از دور به علت دقت نسبی و کمی هزینه نسبت به عملیات زمینی قابلیت و کاربرد زیادی برای کسب اطلاعات کمی و کیفی از این منابع طبیعی اهمیت زیادی دارد و امکان مطالعه گسترده پوشش گیاهی را

روش‌ها و الگوریتم‌ها در تهیه نقشه شدت خشکیدگی جنگل در مقیاس قطعه نمونه است. همچنین نتایج نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی بهتر از سایر الگوریتم‌ها می‌تواند نقشه درجه خشکیدگی تاج درختان را برآورد کند. KouhSoltani و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی قابلیت خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس با استفاده از روش Fuzzy – AHP پرداختند. نتایج آنان نشان داد که نقشه تهیه شده توسط عملگر گاما فازی با دقت ۷۰ درصد بیشترین تطابق را با واقعیت زمینی دارد و مناطق جنوبی و غربی با افزایش ارتفاع، کاهش عمق خاک، افزایش دما و کاهش بارندگی، مستعد خشکیدگی شدید جنگل هستند. از این رو با توجه به اهمیت موضوع در این مطالعه به بررسی وضعیت خشکیدگی با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکیدگی پرداخته شد و به منظور پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی طی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰ از روش‌های فازی و شبکه‌های عصبی استفاده شد.

جنوب‌غربی اسپانیا ارزیابی و توزیع میزان بقاء این گونه را مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که ۱۰ درصد از درختان بلوط چوب پنبه کاشته شده طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۰ در نواحی با قابلیت بالقوه و طبیعی این گونه درختی قرار دارند که میزان بقاء و حضور این درختان در آینده بیش از ۵۰ درصد تخمین زده می‌شود. Heidari Naserabadi (۲۰۱۶) به بررسی الگوی پراکنش مکانی-زمانی خشکیدگی بلوط ایرانی با استفاده از فن دورسنجی و GIS در کهگیلویه و بویراحمد پرداخت، نتایج او نشان داد با افزایش شیب بر تعداد درختان خشکیده افزوده می‌گردد که علت آن کاهش رطوبت، عمق خاک و ضخامت لاش برگ است که سبب ضعف فیزیولوژیک پایه‌ها و افزایش خشکیدگی می‌شود. Karami (۲۰۱۷) به پایش و مدل‌سازی زوال جنگل‌های بلوط زاگرس در منطقه جنگلی شهرستان ایلام با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پرداخت. نتایج او نشان داد که روش شی-پایه و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی دارای صحت بالاتری نسبت به سایر

جدول ۱- شاخص‌های پوشش گیاهی برای خشکیدگی

شاخص	مخفف	رابطه	منبع
Difference Vegetation Index	DVI	$DVI = R_{NIR} - R_{RED}$	Tucker, 1979
Global Environment Monitoring Index	GEMI	$GEMI = \frac{\mu(1-0.25\mu) - (R_{RED} - 0.125)}{1 - R_{RED}}$	Pinty & Verstraete, 1992
Infrared Percentage Vegetation Index	IPVI	$IPVI = \frac{R_{NIR}}{R_{RED} + R_{NIR}}$	Crippen, 1990
Modified Soil Adjusted Vegetation Index2	MSAVI2	$MSAVI2 = \frac{2R_{NIR} + 1 - \sqrt{(2R_{NIR} + 1)^2 - 8(R_{NIR} - R_{NIR})}}{2}$	QI et al., 1994
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$	Rouse et al., 1974
Perpendicular Vegetation Index	VHI	$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100$ $TCI = \frac{LST_{max} - LST_i}{LST_{max} - LST_{min}} \times 100$ $VHI = (r_1 \times VCI) + (r_2 \times TCI)$	Kogan (1995)

Soil & Atmospherically Resistant Vegetation Index	SARVI2	$SARVI2 = \frac{2.5(R_{NIR} - R_{RED})}{1 + R_{NIR} + 6R_{RED} - 7.5/R_B}$	Huete <i>et al.</i> , 1997
Ratio Vegetation Index	SR(RVI)	$SR = \frac{R_{NIR}}{R_{RED}}$	Jordan, 1969
Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	OSAVI	$OSAVI = 1.16 \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED} + 0.16}$	Rondeaux <i>et al.</i> , 1996
Enhanced Vegetation Index	EVI	$EVI = \frac{B_{NIR} - B_{Red}}{B_{NIR} + C_1 B_{Red} - C_2 B_{blu} + L} (1 + L)$	-

## داده‌ها و روش‌شناسی

در این بررسی به ارزیابی و پیش‌بینی خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی (بخش لرستان) با رویکرد تغییر اقلیم پرداخته شد. بدین منظور ابتدا شاخص‌های خشکیدگی DVI، GEMI، IPVI، MSAVI2، NDVI، OSAVI، EVI، Sarvi2، SR و VHI از طریق روابط موجود در (جدول ۱) مورد محاسبه قرار گرفت (Dervishzadeh *et al.*, 2013).

شاخص‌های یادشده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ استخراج شده است. شاخص‌های یادشده در هر سال ۲۳ بار برای ۱۱۰ نقطه برداشت شده است که طی دوره آماری موردنظر در مجموع ماتریسی به ابعاد  $110 \times 345$  به‌عنوان پایگاه داده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. بعد از آماده‌سازی پایگاه داده‌ای برای پیش‌بینی خشکیدگی جنگل‌های بلوط از روش فازی و شبکه عصبی استفاده شد. در نهایت هر روش که خطای کمتری داشت مبنای پیش‌بینی قرار گرفت. بعد از پیش‌بینی، به‌منظور شناسایی نواحی خشکیدگی با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی شاخص‌های خشکیدگی به ابعاد  $11 \times 10$  نواحی خشکیدگی شناسایی و برای اعتبارسنجی نواحی شناسایی‌شده از تحلیل ممیزی استفاده شده است. در ادامه، بعد از پیش‌بینی دمای آینده بر اساس شبکه عصبی برای ارزیابی چرخه‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی از تحلیل طیفی بهره گرفته شده است. تکنیک تحلیل طیفی ابزار توانمند و مفیدی برای آشکارسازی رفتارهای نهانی و آشکار مجموعه‌های زمانی است. تحلیل طیفی روشی مبتنی بر آمار است که با تبدیل رفتار مجموعه زمانی از حالت

نوسان‌های زمانی یا بعد زمانی به بُعد فرکانسی، چرخه‌ها یا افت‌وخیزهای موجود در مجموعه را که با توابع ساده آماری مانند خودهمبستگی یا میانگین متحرک نمود ندارد، آشکار می‌کند. در واقع در سری‌های زمانی روند به‌سادگی با رسم یک نمودار خطی ساده آشکار می‌شود. بنابراین در این تحلیل سعی بر این است که آن افت‌وخیزها یا به بیانی دیگر تناوب‌های نهانی و البته حائز اهمیت در سری آشکار شود، حال چه این تناوب‌ها بزرگ و در فرکانس‌های کوچک رخ دهد و چه در افت و خیزهای کوچک و در فرکانس‌های بالا و با دوره بازگشت کوتاه‌مدت اتفاق افتاده باشد. در عمل در تحلیل طیفی صحبت از زمان نمی‌شود، بدین معنی که گفته نمی‌شود که رخدادی در زمان معینی رخ داده، بلکه بجای آن احتمال وقوع چرخه‌هایی که بیشترین واریانس را در سری زمانی دارند، مورد توجه قرار می‌گیرد. ابزاری که به‌وسیله آن می‌توان رفتار چرخه‌ای یک سری را به مدل درآورد، توابع مثلثاتی است (Asakereh, 2009). بنابراین در این تکنیک، تک‌تک موج‌ها استخراج و سهم هر یک از آنها در واریانس کل تعیین و در نهایت، پس از استخراج واریانس، تک‌تک موج‌ها از لحاظ معنی‌داری آماری بررسی می‌شود (Dorskamian & Mir Mousavi, 2016). به‌طور کلی برای استخراج چرخه‌ها توسط تحلیل طیف مراحل زیر انجام می‌شود.

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n x_t \cos\left(\frac{2\pi q}{n} t\right) \quad q = 1, 2, \dots, \frac{n}{2} \quad (1)$$

$$b_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n x_t \sin\left(\frac{2\pi q}{n} t\right) \quad q = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$(۴) \quad I(F_i) = \bar{s} \left[ \frac{1 - r_1^2}{1 + r_1^2 - 2r_1 \cos(\frac{\pi \times i}{q})} \right] \quad i = 1, 2, \dots, q$$

### نتایج

در این مطالعه به منظور پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰ از روش‌های فازی و شبکه‌های عصبی استفاده شده است. برای این منظور هریک از روش‌های مذکور که کمترین مقدار خطاها در دوره آماری مورد بررسی (۲۰۱۶-۲۰۰۰) را داشت مبنای پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی در دوره آینده قرار گرفت. برای این منظور شاخص‌های خطاسنجی مختلف از جمله ضریب همبستگی، ضریب تعیین، میانگین مربع خطاها، میانگین مجذور خطاها و تورم واریانس برای روش‌های مورد استفاده (شبکه عصبی و روش فازی) مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج آنها در جدول-های ۲ و ۳ آورده شده است. براساس نتایج حاصل با توجه به پارامترهای یادشده شبکه عصبی از قابلیت بیشتری در پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط منطقه زاگرس میانی (بخش‌های از لرستان) داشته است. به‌عنوان مثال مقدار ضریب تعیین برای شاخص‌های مختلف خشکیدگی بیشتر از ۰/۴۴ است (جدول ۲)، درحالی‌که این مقدار برای روش فازی به‌جز شاخص IPVI در سایر شاخص‌ها کمتر از ۰/۴ است (جدول ۳).

در رابطه‌های فوق  $x_t$  میانگین شاخص خشکیدگی و  $q$  تعداد هارمونیک‌ها (هم‌سازها) می‌باشد که برای سری‌های زوج به تعداد  $(q = n/2)$  و برای سری‌های زمانی فرد  $(q = n - 1/2)$  هم‌ساز خواهیم داشت. بنابراین در این تکنیک تک‌تک موج‌ها را استخراج کرده و سهم هر یک از موج‌ها در واریانس کل تعیین شده و در نهایت پس از استخراج واریانس، تک‌تک موج‌ها از لحاظ معنی‌داری آماری بررسی می‌شود. با استفاده از رابطه زیر واریانس هر یک از بسامدها حساب می‌شود.

$$(۳) \quad I(f_i) = \frac{n}{2}(a_i^2 + b_i^2)$$

برای آزمون معنی‌داری ابتدا باید سه مرحله زیر را انجام داد.

الف: محاسبه میانگین طیف  $(\bar{S})$  ب: محاسبه خودهمبستگی مرتبه اول برای سری زمانی داده‌ها  $(r_1)$ ، ج: محاسبه طیف برای یک سری تصادفی با مشخصات  $(\bar{S})$  و  $(r_1)$  سری موجود با استفاده از رابطه زیر:

جدول ۲- مقادیر خطا برای مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده براساس شبکه عصبی

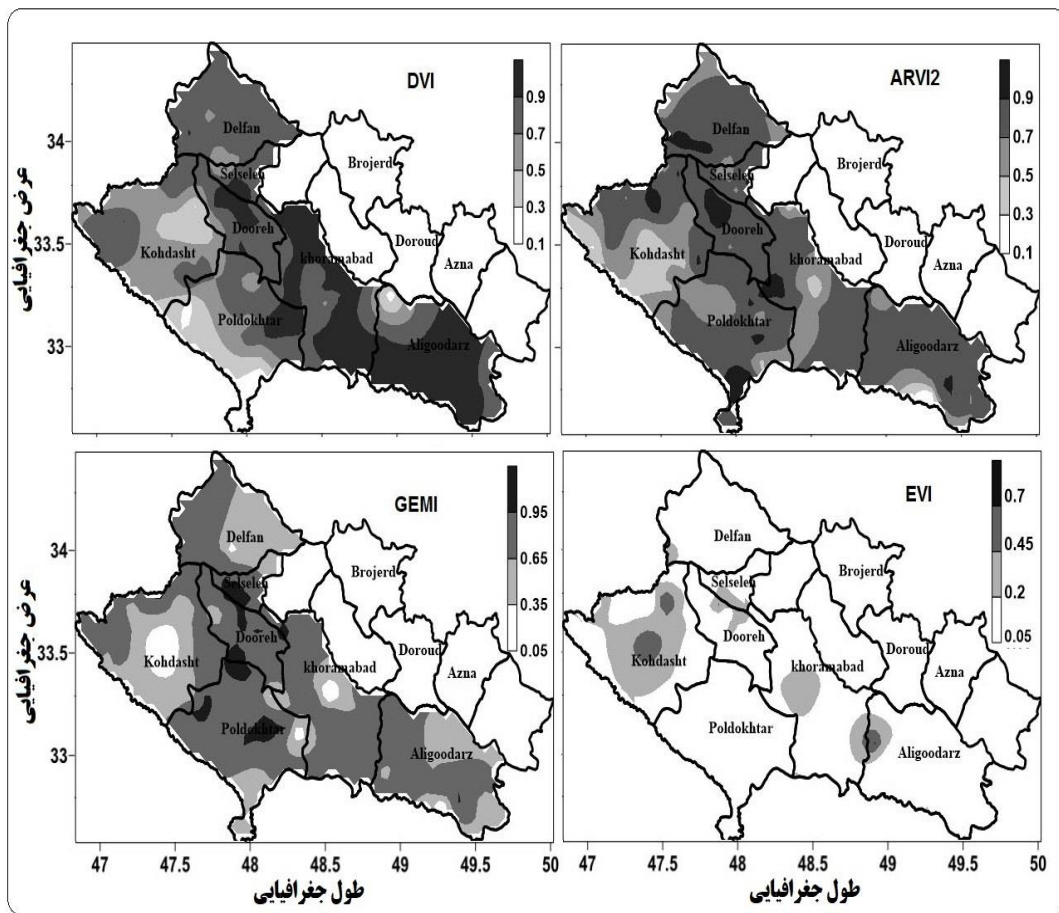
	R	R2	RMSE	MAE	VIF
DVI	۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۲۴
GEMI	۰/۸۶	۰/۷۷	۰/۰۳	۰/۴۴	۲/۳۶
IPVI	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۱/۵۵
MSAVI2	۰/۸۳	۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۳۴	۱/۳۰
NDVI	۰/۸۲	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۲۱	۲/۰۱
EVI	۰/۵۳	۰/۳۰	۰/۷۶	۱/۰۰	۳/۴۳
OSAVI	۰/۸۱	۰/۶۹	۰/۰۲	۰/۳۴	۲/۷۴
Aarvi2	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۰۲	۰/۰۹	۱/۳۱
SR	۰/۸۳	۰/۷۲	۰/۰۷	۰/۰۲	۱/۶۲
VHI	۰/۶۲	۰/۴۴	۰/۸۱	۰/۰۹	۲/۱۳

جدول ۳- مقادیر خطا برای مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده براساس روش فازی

	R	R2	RMSE	MAE	VIF
DVI	۰/۵۸	۰/۳۴	۱/۷۳	۱/۰۳	۲/۸۹
GEMI	۰/۵۶	۰/۳۱	۱/۷۵	۱/۴۳	۴/۰۱
IPVI	۰/۶۶	۰/۴۴	۱/۷۳	۰/۹۹	۳/۲۱
MSAVI2	۰/۵۳	۰/۲۸	۱/۷۳	۱/۳۲	۲/۹۶
NDVI	۰/۵۱	۰/۲۶	۲/۳۷	۱/۲۰	۳/۶۷
EVI	۰/۲۳	۰/۱۰	۲/۴۸	۱/۹۸	۵/۰۸
OSAVI	۰/۵۱	۰/۲۶	۱/۷۴	۱/۳۲	۴/۴۰
Aarvi2	۰/۵۶	۰/۳۱	۱/۷۴	۱/۰۸	۲/۹۶
SR	۰/۵۳	۰/۲۸	۱/۷۹	۱/۰۱	۳/۲۸
VHI	۰/۳۲	۰/۱۰	۲/۵۳	۱/۰۷	۳/۷۸

می‌آید. بنابراین همان‌طوری که از جدول ۲ برمی‌آید شبکه عصبی در مقابله با روش فازی از قابلیت بیشتری برای پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی داشته است. به‌همین دلیل در ادامه برای پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی از شبکه عصبی بهره گرفته شده است. برای همین منظور مقدار R2 (ضریب تعیین) حاصل از شبکه عصبی برای مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰ در شکل ۲ آورده شده است. براساس شکل ۱ و ۲ مقادیر R2 (ضریب تعیین) برای شاخص‌های خشکیدگی ARVI2 و DVI در بیشتر مناطق به بالای ۰/۵ رسیده است.

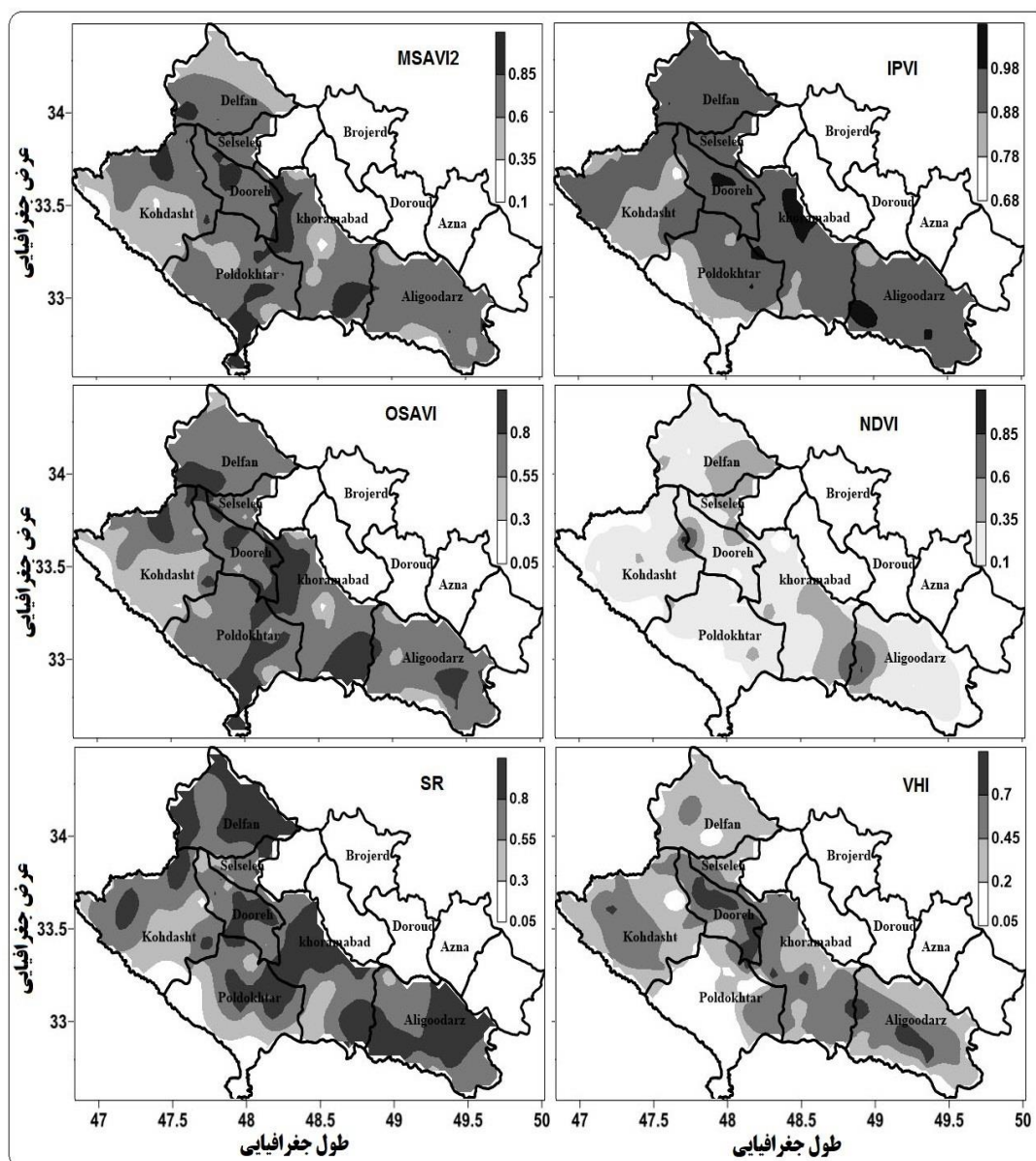
در بین شاخص‌های خشکیدگی براساس شبکه عصبی APN شاخص خشکیدگی IPVI بالاترین ضریب همبستگی را با ۰/۹۶ و ضریب تعیین ۰/۹۳ بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده داشته است. بعد از شاخص IPVI شاخص DVI و GEMI بیشترین ضریب همبستگی و کمترین مقدار خطا را داشته است، از سوی دیگر ضریب تورم واریانس برای هر دو شاخص یادشده به ترتیب ۱/۲۴ و ۲/۳۶ می‌باشد. تورم واریانس در واقع برداشتن همپوشانی تغییرات از روی مقادیر مستقل می‌باشد که برحسب دیدگاه محققان و آماردانان چنانچه این مقدار کمتر از ۴ باشد یک عدد مطلوبی برای برداشتن همپوشانی تغییرات متغیرهای مستقل به حساب



شکل ۱- مقادیر R2 (ضریب تعیین) برای مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده

(ضریب تعیین) برای شاخص EVI نسبت به سایر شاخص‌های خشکیدگی از مقادیر کمتری برخوردار می‌باشد، با وجود این در قیاس با روش فازی از کارایی بیشتری و خطای کمتری برای پیش‌بینی شاخص خشکیدگی برخوردار بوده است.

وضعیت مقادیر R2 (ضریب تعیین) برای شاخص‌های خشکیدگی EVI و GEMI وضعیتی مشابه با ARVI2 و DVI را تجربه کرده است، با این تفاوت که ARVI2 و DVI در شاخص GEMI به حداکثر مقدار خود رسیده است، این وضعیت بیانگر آن است که مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده هم‌تغییر و هم‌جهت بوده است. مقادیر R2



شکل ۲- مقادیر R2 (ضریب تعیین) برای مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده

مشابهی را تجربه کرده است، به طوری که در هر دو شاخص مقادیر R2 (ضریب تعیین) در بخش‌های شمالی جنگل‌های میانگین بلوط بالاترین مقادیر را تجربه کرده است و این بیانگر این است که شبکه عصبی در این مناطق به خوبی توانسته است پیش‌بینی با کمترین خطا را داشته باشد (شکل ۲).

پیش‌بینی تغییرات شاخص‌های خشکیدگی بلوط در دوره

۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰

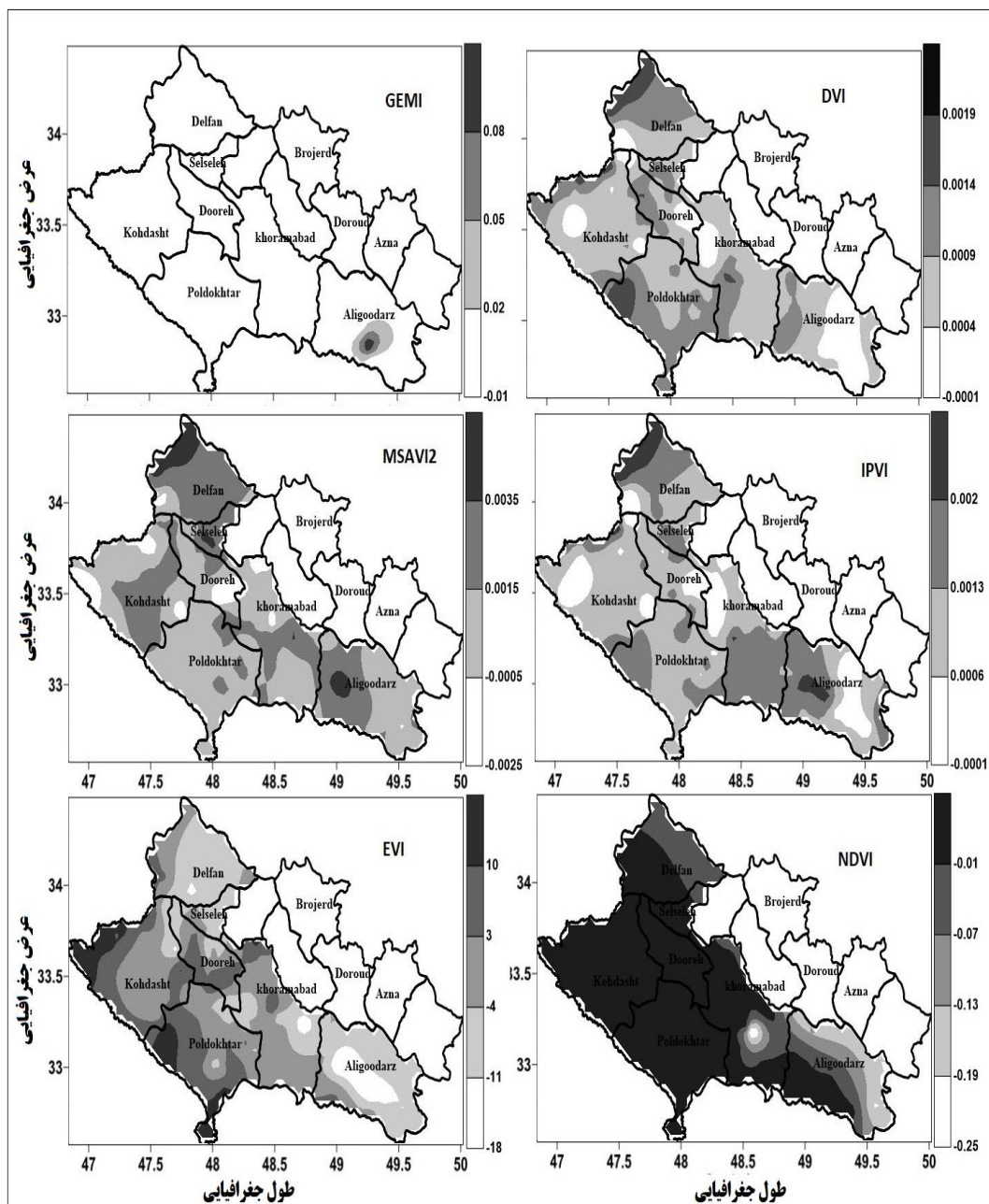
همان‌طور که در مباحث ارزیابی خطای شبکه عصبی و روش

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مقادیر R2 (ضریب تعیین) برای شاخص‌های خشکیدگی در بیشتر پهنه‌های بلوط بالا بوده است، با این حال در بخش‌های کوچکی از جنگل‌های بلوط بین ۰/۱ تا ۰/۳ در نوسان بوده است. مقادیر R2 (ضریب تعیین) برای شاخص ARVI2 برای بیشتر مناطق مقادیر بالا را تجربه کرده است، البته مناطق بسیار کوچکی از کوه‌دشت مقادیر بین ۰/۳ تا ۰/۵ را تجربه کرده است (شکل ۲). برای شاخص DVI و GEMI مقادیر R2 (ضریب تعیین) تقریباً وضعیت



خشکیدگی نسبت به دوره قبل در بیشتر مناطق بلوط زاگرس میانی روند افزایشی را نشان داده است. این مقادیر افزایشی به صورت لکه‌هایی در سراسر منطقه بلوط زاگرس میانی پراکنده شده است، به طوری که این بخش‌ها شامل شهرستان‌های پلدختر، دلفان، خرم‌آباد و بخش‌های از درود می‌باشد (شکل ۳).

فازی مشاهده شد، روش شبکه عصبی روش مناسب‌تری برای پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی (بخش بلوط لرستان) است. از این رو پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی به روش شبکه عصبی در شکل‌های ۳ تا ۴ آورده شده است. بررسی مقادیر پیش‌بینی شده شاخص خشکیدگی DVI بیانگر این است که این شاخص



شکل ۳- مقادیر تفاضل بین شاخص‌های خشکیدگی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۱۷-۲۰۳۰

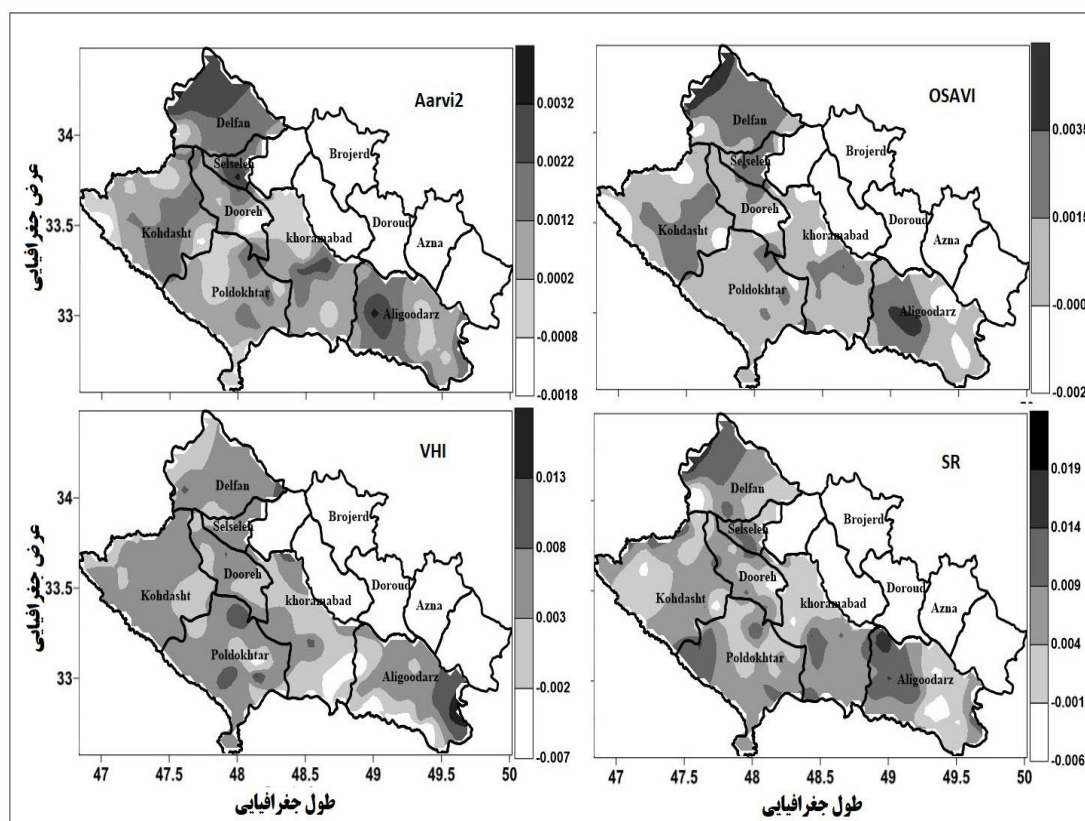
می‌باشد، به طوری که این شاخص خشکیدگی در بیشتر پهنه

این وضعیت برای شاخص خشکیدگی GEMI بعکس

خط لوله‌های گاز، نفت و آب از جمله عواملی هستند که تأثیرات منفی روی جنگل‌های زاگرس داشته است. یکی از مهمترین سنجه‌های شاخص خشکیدگی بلوط شاخص NDVI می‌باشد که در واقع سایر شاخص‌ها منتج از این شاخص می‌باشد. بررسی وضعیت روند شاخص خشکیدگی NDVI طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰ بیانگر این است که این شاخص روند کاهشی را در سراسر منطقه بلوط (زاگرس میانی بخش لرستان) نشان می‌دهد (شکل ۳).

بررسی وضعیت شاخص خشکیدگی EVI برخلاف شاخص DVI در بیشتر پهنه‌های بلوط روند افزایشی را تجربه کرده است و تنها در مناطقی از الیگودرز و بخش‌های بسیار کوچکی از خرم‌آباد، پلدختر و دلفان شاخص خشکیدگی EVI از روند کاهشی بین ۴- تا ۱۸- برخوردار بوده است (شکل ۳).

مورد مطالعه مقادیر GEMI بین ۰/۱- تا ۰/۲+ می‌باشد، این در حالی می‌باشد که منطقه افزایشی شاخص GEMI به صورت هسته کوچکی در بخش‌هایی از الیگودرز مشاهده شده است. پیش‌بینی شاخص خشکیدگی IPVI و MSAVI2 بیانگر آن است که این دو شاخص همانند شاخص DVI در بیشتر پهنه بلوط روند افزایشی را نشان می‌دهد. با وجود این لکه‌های کوچکی که به صورت پراکنده در سراسر منطقه مورد مطالعه می‌باشد دارای روند کاهشی بوده است، این روند کاهشی برای شاخص خشکیدگی IPVI تقریباً ۰/۰۰۱- و برای شاخص خشکیدگی MSAVI2 تقریباً ۰/۰۰۲۶- و کمتر از آن می‌باشد (شکل ۳). این تنوع روند جنگل‌های بلوط شاید ناشی از چرای بی‌رویه دام، بهره‌برداری از جنگل‌ها برای تولید زغال و سوخت، وجود ریزگردهای دوره‌ای، تبدیل اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی، شخم زیراشکوب برای خودکفایی در تولید گندم و بعضاً عبور



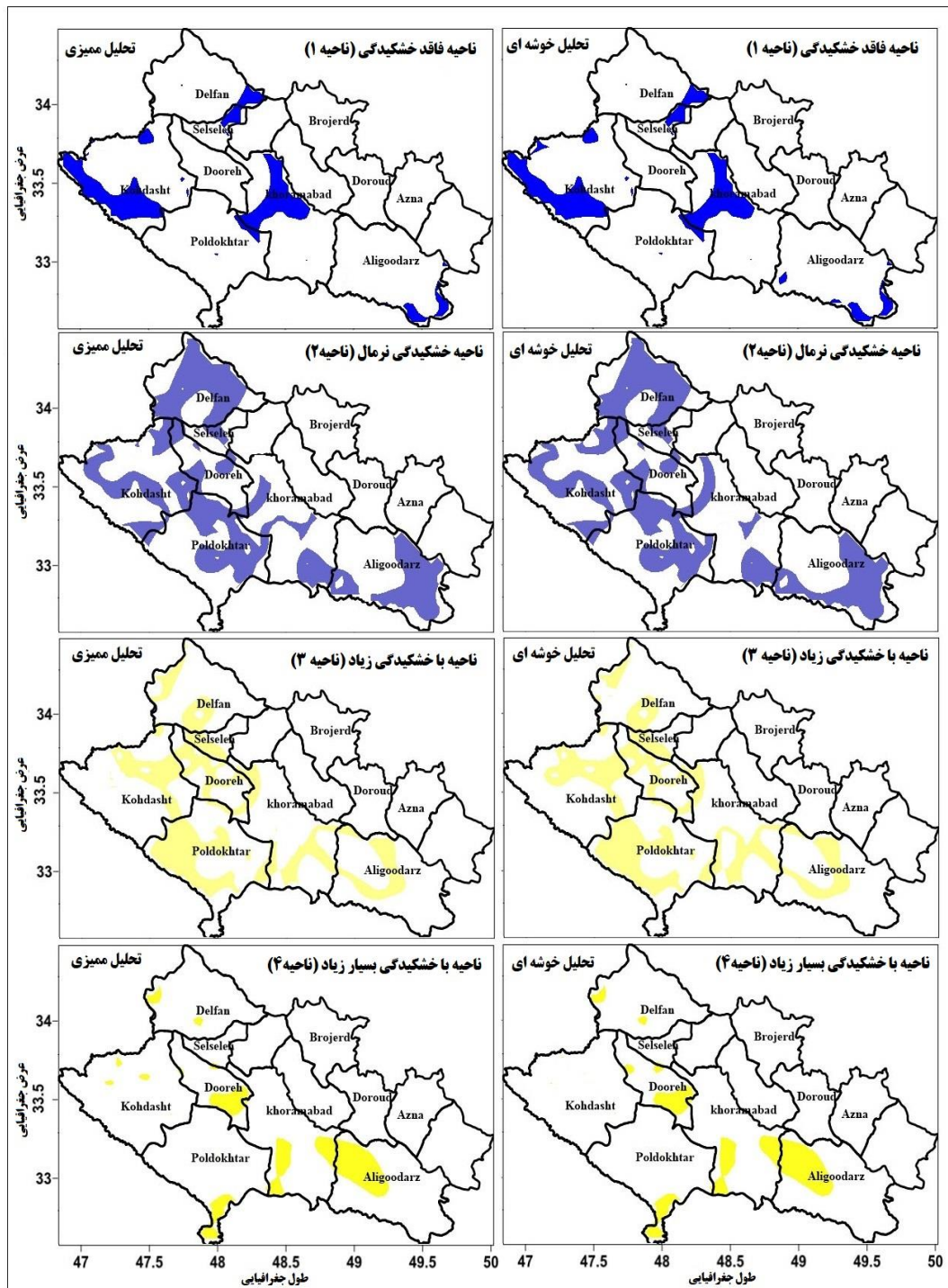
شکل ۴- مقادیر تفاضل بین شاخص‌های خشکیدگی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۱۷-۲۰۳۰

بلوط را به خود اختصاص داده است (همانند سایر نواحی دیگر در سراسر منطقه بلوط پراکنده شده است). پراکندگی این نواحی بیانگر ضریب تغییرات بالای شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی نرمال می‌باشد. به طوری که وضعیت نمایه‌های مرکزی شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی نرمال بیانگر اختلاف زیاد میانگین، میانه و مد در بین شاخص‌های خشکیدگی می‌باشد و این وضعیت خود بیانگر افت و خیز سالانه این شاخص در ناحیه با خشکیدگی نرمال می‌باشد، به طوری که ضریب تغییرات مکانی بالا تأییدی بر این گفته می‌باشد. از سوی دیگر چولگی برای بیشتر شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی نرمال منفی می‌باشد. چولگی منفی بیانگر این است که توزیع فراوانی داده‌های بالاتر از میانگین برای شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی نرمال بیشتر می‌باشد. به عنوان مثال چولگی برای شاخص GEMI در ناحیه با خشکیدگی نرمال به  $-2/505$  رسیده است. ناحیه سوم (ناحیه با خشکیدگی زیاد) تقریباً  $23/6$  درصد از مساحت جنگل‌های بلوط را تشکیل می‌دهد که توزیع پراکندگی این ناحیه تقریباً شبیه توزیع پراکندگی ناحیه با خشکیدگی نرمال می‌باشد (شکل ۵). میانگین شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی زیاد نسبت به ناحیه یک و دو کاهش پیدا کرده است. به عنوان مثال میانگین شاخص DVI تقریباً  $0/098$  می‌باشد و این مقدار برای شاخص NDVI به  $0/235$  رسیده است که به طور میانگین نسبت به دو ناحیه دیگر تقریباً  $0/5$  کاهش داشته است. میانگین شاخص VHI برابر با  $0/482$  می‌باشد. با وجود این ضریب تغییرات پراکندگی شاخص‌های خشکیدگی در این ناحیه بسیار زیاد می‌باشد، به طوری که اختلاف زیاد نمایه‌های مرکزی تأییدی بر این گفته می‌باشد (جدول ۳). به عنوان مثال ضریب تغییرات شاخص خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی زیاد تقریباً به  $4547/1$  رسیده است. میزان کشیدگی، معیاری برای سنجش میزان جابجایی جرم احتمال به سوی مرکز یا دم‌های منحنی توزیع داده‌هاست. کشیدگی برای شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی زیاد همه مثبت و بالای عدد ۲ می‌باشد که این بیانگر ناهنجار بودن

روندهای افزایشی شاخص خشکیدگی EVI بیشتر در بخش‌های غربی و جنوب‌غربی جنگل‌های بلوط روند افزایشی بالاتر از ۳ را تجربه کرده است. شاخص‌های خشکیدگی OSAVI و Aarvi2 در بیشتر مناطق جنگل‌های بلوط روند افزایشی را تجربه کرده است و روند کاهشی به صورت هسته‌های کوچک در سراسر منطقه مورد مطالعه پراکنده شده است. این وضعیت برای شاخص‌های SR و VHI تقریباً مشابه می‌باشد، به طوری که در بیشتر مناطق روند افزایشی را تجربه کرده است.

پس از پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی به منظور بررسی و شناسایی نواحی خشکیدگی بلوط در نواحی زاگرس میانی (بخش‌های لرستان) از تحلیل خوشه‌ای و برای اعتبارسنجی نواحی شناسایی شده به وسیله تحلیل خوشه‌ای از تحلیل ممیزی استفاده شد که نتایج آن در شکل ۵ آورده شده است. همچنین به منظور بررسی و تحلیل نوسان‌های حاکم بر نواحی خشکیدگی جنگل‌های بلوط از تحلیل طیفی بهره گرفته شده است که نتایج آن در شکل ۶ آورده شده است. نتایج تحلیل خوشه‌ای نشان داد که نواحی جنگل‌های بلوط در چهار ناحیه (ناحیه فاقد خشکیدگی، ناحیه با خشکیدگی نرمال، ناحیه با خشکیدگی زیاد و ناحیه با خشکیدگی بسیار زیاد) قابل تقسیم‌بندی می‌باشد. ناحیه فاقد خشکیدگی که تقریباً  $17/2$  درصد از مساحت جنگل‌های بلوط را در برمی‌گیرد بیشتر به صورت لکه‌هایی در سراسر منطقه مورد مطالعه پراکنده می‌باشد، با وجود این ناحیه فاقد خشکیدگی بیشتر در شهرستان‌های خرم‌آباد، کوهدشت، دلفان و بخش‌های جنوبی الیگودرز پراکنده شده‌اند. میانگین شاخص NDVI در این ناحیه به  $0/324$  رسیده است. بررسی وضعیت شاخص‌های خشکیدگی در این ناحیه بیانگر این است که ضریب شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه فاقد خشکیدگی نسبت به سایر نواحی دیگر کمتر می‌باشد، با وجود این ضریب تغییرات شاخص خشکیدگی OSAVI در این ناحیه به  $797$  درصد رسیده است که این بیانگر ضریب تغییرات زیاد این شاخص در ناحیه فاقد خشکیدگی می‌باشد. ناحیه دوم (ناحیه با خشکیدگی نرمال) تقریباً  $44/5$  درصد از مساحت جنگل‌های

شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی زیاد می‌باشد.



شکل ۵- نواحی خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی براساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل ممیزی

جدول ۴- مشخصات توصیفی مقادیر پیش‌بینی شده شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه‌های مختلف

ناحیه فاقد خشکیدگی (ناحیه اول)										
	DVI	GEMI	IPVI	MSAVI2	NDVI	EVI	OSAVI	Aarvi2	SR	VHI
میانگین	۰/۱۰۳	۰/۱۳۴	۰/۶۴۵	۰/۱۳۸	۰/۳۲۴	۲۶۳۷/۲۶۳	۰/۰۱۰-	۰/۱۷۴	۲/۰۳۰	۰/۴۷۱
میانه	۰/۱۰۴	۰/۱۳۶	۰/۶۴۵	۰/۱۳۷	۰/۳۲۳	۲۶۴۶/۳۵۰	۰/۰۰۹-	۰/۱۷۸	۱/۹۹۹	۰/۴۸۶
مد	۰/۰۷۲	۰/۰۹۵	۰/۶۳۳	۰/۰۳۳	۰/۳۰۰	۱۵۷۵/۳۷۷	۰/۲۰۵-	۰/۰۱۸	۱/۹۰۱	۰/۴۸۲
انحراف معیار	۰/۰۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۶	۰/۰۵۷	۰/۰۱۸	۳۷۰/۱۲۴	۰/۰۷۹	۰/۰۶۶	۰/۰۹۷	۰/۰۹۸
ضریب تغییرات	۱۴/۰	۱۲/۰	۱/۰	۴۱/۵	۵/۶	۱۴/۰	۷۹۷/۰	۳۸/۲	۴/۸	۲۰/۹
بیشینه	۰/۱۳۵	۰/۱۵۷	۰/۶۵۳	۰/۲۷۳	۰/۳۶۲	۳۲۲۶/۵۷۴	۰/۱۲۵	۰/۳۰۶	۲/۲۳۰	۰/۵۳۸
کمینه	۰/۰۷۲	۰/۰۹۵	۰/۶۳۳	۰/۰۳۳	۰/۳۰۰	۱۵۷۵/۳۷۷	۰/۲۰۵-	۰/۰۱۸	۱/۹۰۱	۰/۰۰۰
چولگی	-	۰/۵۶۹-	-	۰/۳۰۱	۰/۶۷۲	۰/۵۸۶-	۰/۶۲۳-	۰/۳۶۴-	۰/۸۹۶	۴/۴۲۱-
کشیدگی	۳/۳۴۹	۳/۲۴۸	۱/۸۷۱	۲/۶۰۸	۲/۶۸۷	۳/۰۹۳	۳/۶۴۴	۳/۶۵۴	۲/۷۲۴	۲/۷۳۴
دامنه تغییرات	۰/۰۶۳	۰/۰۶۲	۰/۰۲۰	۰/۲۴۰	۰/۰۶۲	۱۶۵۱/۱۹۶	۰/۳۳۰	۰/۲۸۸	۰/۳۳۰	۰/۵۳۸
درصد تحت پوشش تحلیل خوشه‌ای	۱۷/۲									
ناحیه با خشکیدگی نرمال (ناحیه دوم)										
	DVI	GEMI	IPVI	MSAVI2	NDVI	EVI	OSAVI	Aarvi2	SR	VHI
میانگین	۰/۱۰۵	۰/۰۹۵	۰/۶۶۳	۰/۱۲۵	۰/۲۸۳	۲۵۲۰/۰۶۰	۰/۰۸۹-	۰/۱۰۷	۱/۸۴۶	۰/۴۹۵
میانه	۰/۱۰۴	۰/۱۲۲	۰/۶۶۱	۰/۱۵۴	۰/۲۸۵	۲۵۵۰/۴۹۶	۰/۰۵۱-	۰/۱۳۴	۱/۸۵۰	۰/۴۹۵
مد	۰/۰۸۵	۰/۱۷۲-	۰/۶۴۹	۰/۲۴۶-	۰/۲۶۳	۱۴۵۴/۴۳۴	۰/۵۴۶-	۰/۱۹۲-	۱/۷۲۰	۰/۴۹۵
انحراف معیار	۰/۰۱۲	۰/۰۷۰	۰/۰۰۸	۰/۱۴۲	۰/۰۱۰	۵۶۶/۳۴۳	۰/۱۶۷	۰/۱۱۷	۰/۰۶۲	۰/۰۲۲
ضریب تغییرات	۱۱/۳	۷۳/۸	۱/۳	۱۱۳/۹	۳/۵	۲۲/۵	۱۸۶/۹	۱۰۹/۱	۳/۳	۴/۵
بیشینه	۰/۱۲۵	۰/۱۴۹	۰/۶۸۲	۰/۳۱۷	۰/۲۹۷	۳۶۲۶/۱۸۴	۰/۱۲۵	۰/۲۷۷	۱/۹۴۶	۰/۵۳۴
کمینه	۰/۰۸۵	۰/۱۷۲-	۰/۶۴۹	۰/۲۴۶-	۰/۲۶۳	۱۴۵۴/۴۳۴	۰/۵۴۶-	۰/۱۹۲-	۱/۷۲۰	۰/۴۵۰
چولگی	۰/۱۲۳	۲/۵۰۵-	۰/۶۴۹	۱/۵۶۰-	-	۰/۰۲۳-	۱/۷۴۹-	۱/۵۲۱-	-	۰/۱۵۵-
کشیدگی	۱/۸۳۱	۹/۳۷۶	۳/۰۰۳	۴/۷۷۴	۲/۳۶۰	۲/۶۲۳	۵/۲۹۸	۴/۶۸۸	۲/۲۹۹	۲/۵۶۴
دامنه تغییرات	۰/۰۳۹	۰/۳۲۱	۰/۰۳۳	۰/۵۶۳	۰/۰۳۴	۲۱۷۱/۷۵۰	۰/۶۷۱	۰/۴۶۹	۰/۲۲۵	۰/۰۸۳
درصد تحت پوشش تحلیل خوشه‌ای	۴۴/۵									

## ادامه جدول ۴-

## ناحیه با خشکیدگی زیاد (ناحیه سوم)

	DVI	GEMI	IPVI	MSAVI2	NDVI	EVI	OSAVI	Aarvi2	SR	VHI
میانگین	۰/۰۹۸	۰/۰۰۵-	۰/۵۹۲	۰/۲۰۰	۰/۲۳۵	۲۴۵۲/۶۳۴	۰/۱۰۴-	۰/۱۱۵	۱/۶۵۸	۰/۴۸۲
میانه	۰/۰۹۹	۰/۰۵۴	۰/۵۹۰	۰/۲۰۲	۰/۲۳۶	۲۴۲۵/۷۶۷	۰/۰۹۰-	۰/۱۱۱	۱/۶۵۶	۰/۴۹۳
مد	۰/۰۵۸	۰/۷۴۳-	۰/۵۵۵	۰/۰۱۴	۰/۲۰۸	۱۷۸۵/۴۱۶	۰/۲۵۹-	۰/۰۲۹	۱/۵۵۲	۰/۴۰۱
انحراف معیار	۰/۰۱۵	۰/۲۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۷۹	۰/۰۱۶	۳۳۸/۳۰۵	۰/۰۸۳	۰/۰۴۸	۰/۰۶۷	۰/۰۳۴
ضریب تغییرات	۱۵/۵	۴۵۴۷/۱	۲/۶	۳۹/۵	۷/۰	۱۳/۸	۸۰/۲	۴۱/۵	۴/۱	۷/۰
بیشینه	۰/۱۲۶	۰/۱۵۵	۰/۶۱۵	۰/۳۴۷	۰/۲۷۱	۳۳۷۲/۱۱۵	۰/۰۶۹	۰/۲۲۳	۱/۸۴۹	۰/۵۳۲
کمینه	۰/۰۵۸	۰/۷۴۳-	۰/۵۵۵	۰/۰۱۴	۰/۲۰۸	۱۷۸۵/۴۱۶	۰/۲۵۹-	۰/۰۲۹	۱/۵۵۲	۰/۴۰۱
چولگی	۰/۴۳۸-	۲/۵۴۲-	-	۰/۴۳۲-	۰/۰۸۷	۰/۱۸۸	۰/۲۷۴	۰/۴۲۰	۰/۵۴۲	۰/۹۵۳-
کشیدگی	۳/۱۲۲	۸/۶۴۱	۲/۸۷۴	۳/۴۸۱	۲/۰۸۲	۴/۱۰۰	۲/۶۱۲	۲/۷۰۳	۲/۸۹۸	۳/۲۶۲
دامنه تغییرات	۰/۰۶۸	۰/۸۹۸	۰/۰۶۰	۰/۳۳۳	۰/۰۶۳	۱۵۸۶/۶۹۹	۰/۳۲۸	۰/۱۹۴	۰/۲۹۷	۰/۱۳۱
درصد تحت پوشش تحلیل خوشه‌ای	۲۳/۶									

## ناحیه با خشکیدگی بسیار زیاد (ناحیه چهارم)

	DVI	GEMI	IPVI	MSAVI2	NDVI	EVI	OSAVI	Aarvi2	SR	VHI
میانگین	۰/۰۷۲	۰/۰۷۶	۰/۶۲۳	۰/۰۹۷	۰/۱۶۹	۲۲۶۳/۳۲۰	۰/۰۶۳-	۰/۰۸۵	۱/۴۵۴	۰/۴۹۴
میانه	۰/۰۷۰	۰/۰۸۴	۰/۶۲۳	۰/۱۰۹	۰/۱۶۹	۲۲۷۳/۸۵۸	۰/۰۶۲-	۰/۰۸۷	۱/۴۲۸	۰/۴۹۱
مد	۰/۰۳۱	۰/۰۴۱-	۰/۶۱۰	۰/۰۳۵-	۰/۱۰۷	۱۹۰۲/۹۳۴	۰/۱۷۳-	۰/۰۱۹-	۱/۲۶۲	۰/۴۴۲
انحراف معیار	۰/۰۲۳	۰/۰۴۶	۰/۰۰۸	۰/۰۸۲	۰/۰۲۶	۲۱۸/۴۷۲	۰/۰۶۰	۰/۰۶۵	۰/۱۰۱	۰/۰۲۴
ضریب تغییرات	۳۲/۳	۶۱/۲	۱/۳	۸۴/۷	۱۵/۲	۹/۷	۹۴/۶	۷۶/۸	۶/۹	۴/۹
بیشینه	۰/۱۱۸	۰/۱۵۹	۰/۶۴۰	۰/۲۸۲	۰/۲۰۴	۲۶۲۰/۶۸۷	۰/۰۷۱	۰/۲۴۲	۱/۶۰۹	۰/۵۴۹
کمینه	۰/۰۳۱	۰/۰۴۱-	۰/۶۱۰	۰/۰۳۵-	۰/۱۰۷	۱۹۰۲/۹۳۴	۰/۱۷۳-	۰/۰۱۹-	۱/۲۶۲	۰/۴۴۲
چولگی	۰/۳۵۸	۰/۸۳۳-	۰/۲۳۵	۰/۴۹۱	۰/۶۸۳-	۰/۰۱۲-	۰/۱۷۵	۰/۸۲۱	۰/۱۳۲	۰/۰۸۹
کشیدگی	۲/۶۳۷	۳/۲۵۱	۲/۰۵۲	۲/۸۷۴	۳/۲۴۹	۱/۹۷۱	۲/۴۷۵	۳/۴۰۸	۲/۱۴۳	۲/۵۸۶
دامنه تغییرات	۰/۰۸۸	۰/۲۰۱	۰/۰۳۰	۰/۳۱۷	۰/۰۹۷	۷۱۷/۷۵۳	۰/۲۴۵	۰/۲۶۰	۰/۳۴۷	۰/۱۰۷
درصد تحت پوشش تحلیل خوشه‌ای	۱۴/۵									

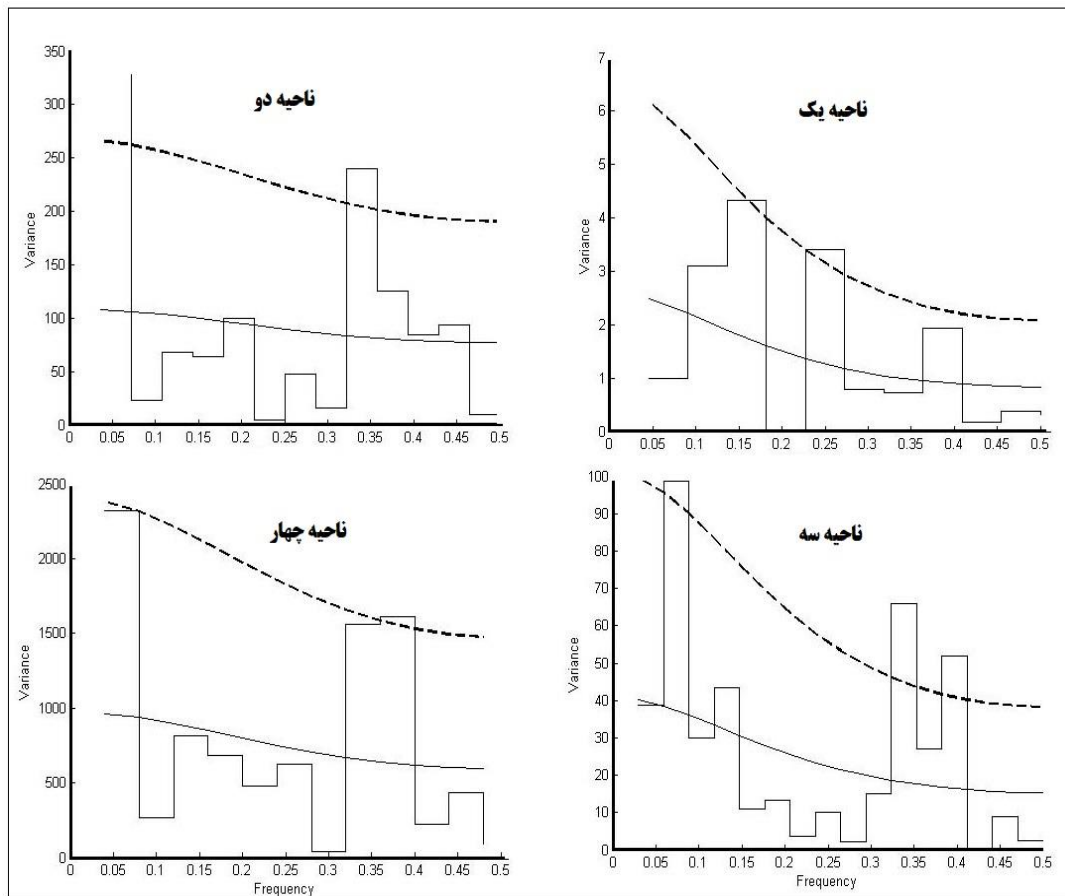
(جنگل‌های بلوط لرستان بخش زاگرس میانی) را پوشش داده است، بیشتر شهرهای الیگودرز، خرم‌آباد، پلدختر و

ناحیه چهارم (ناحیه با خشکیدگی بسیار زیاد) که ۱۴/۵ درصد از مساحت جنگل‌های بلوط ناحیه مورد مطالعه

همسان می‌باشد که در طول سال‌ها تکرار می‌شوند و می‌توانند طیف وسیعی از فراوانی‌ها (احتمالات) را داشته باشند. به‌طور مثال در شکل ۶ نمودارهای دوره نگار ناحیه‌های مختلف خشکیدگی نشان داده شده است. در این نمودارها محور افقی پایین فراوانی (احتمال یا بسامد) وقوع چرخه‌ها، محور عمودی واریانس هر یک از چرخه‌ها (هم-سازها) را نشان می‌دهد. خطوط شکسته مستطیلی شکل چرخه‌ها (هم‌سازها) می‌باشند. ارتفاع (دامنه) این هم‌سازها که با یک مقدار از محور عمودی نظیر هستند در واقع همان مقدار واریانس چرخه‌هاست. هر چرخه‌ای دامنه بیشتری داشته باشد در واقع واریانس بیشتری از طیف‌ها را به خود اختصاص داده است. معنی‌داری هر یک از چرخه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شده است. در شکل ۶ سطح معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد با خط چین و سطح تصادفی بودن هم‌سازها با خط نازک پیوسته نشان داده شده است؛ بنابراین هم‌سازهایی که خارج از سطح معنی‌داری (خط چین) باشند به‌عنوان چرخه (هم‌ساز) معنی‌دار تلقی می‌شوند.

بررسی وضعیت چرخه‌های حاکم بر نواحی خشکیدگی جنگل‌های بلوط بیانگر این است که چرخه‌های متنوعی حاکم بر نواحی خشکیدگی جنگل‌های بلوط می‌باشد. به‌عنوان مثال در ناحیه یک (ناحیه فاقد خشکیدگی) از چرخه‌های ۵ و ۳ ساله با احتمال رخداد  $0/223$  و  $0/136$  و واریانس  $3/41$  و  $4/33$  برخوردار بوده است (جدول ۴). در این ناحیه چرخه ۳ ساله با توجه به واریانس بالاتر از اهمیت بیشتری برخوردار بوده است. همچنین مشاهده می‌شود که ناحیه سوم (ناحیه خشکیدگی زیاد) از چرخه‌های متنوع ۲، ۱۱ و ۱۳ ساله برخوردار بوده است (جدول ۵). در این ناحیه باز چرخه کوتاه مدت ۲ ساله با توجه به واریانس  $98/73$  از اهمیت بیشتری در این ناحیه برخوردار بوده است (شکل ۶)؛ بنابراین در مجموع می‌توان گفت چرخه‌های کوتاه مدت با توجه به اینکه واریانس بیشتری را توجیه می‌کنند در هر چهار ناحیه خشکیدگی غالب می‌باشند (شکل ۶).

دوره را دربرگرفته است. کما اینکه به‌صورت هسته‌های بسیار کوچکی منطقه کوه‌دشت را هم دربرگرفته است. با این حال می‌توان گفت ناحیه با خشکیدگی بسیار زیاد بیشتر بخش‌های جنوبی و جنوب جنگل‌های بلوط زاگرس میانی را پوشش داده است (شکل ۵). میانگین شاخص‌های خشکیدگی در ناحیه با خشکیدگی بسیار زیاد نسبت به سایر نواحی دیگر به حداقل مقدار خود رسیده است (جدول ۳). به‌عنوان مثال میانگین شاخص NDVI که از مهمترین شاخص‌های پوشش گیاهی می‌باشد در این ناحیه به  $0/169$  رسیده است یا مشاهده شده است که میانگین شاخص DVI و VHI به ترتیب  $0/072$  و  $0/494$  می‌باشد. با این حال همانند سایر نواحی دیگر ضریب تغییرات مکانی در ناحیه با خشکیدگی بسیار زیاد تقریباً بالا بوده و این بیانگر ناهمگون بودن شاخص‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس می‌باشد. در ادامه به کمک تحلیل طیفی به استخراج نوسان‌های حاکم بر هر چهار ناحیه خشکیدگی جنگل‌های بلوط پرداخته شده است که دوره نگار حاصل از تحلیل طیفی در شکل ۶ نمایش داده شده است، همچنین هم‌سازهای معنی‌دار، واریانس و بسامد هر چرخه در جدول ۴ آورده شده است. دوره نگار نموداری است که در آن محور عمودی برآورد طیف (واریانس) و محور افقی بسامد (احتمال، فراوانی) چرخه‌ها را نشان می‌دهد. خط شکسته طیف (میزان واریانس) به ازای بسامد (زمان) های مختلف را ارائه می‌نماید. همچنین خطوط شکسته مستطیلی شکل شماره چرخه‌ها (هم‌سازها) را نشان می‌دهند. بدین ترتیب که اولین خط شکسته مستطیلی شکل از سمت چپ به‌عنوان هم‌ساز اول (یک چرخه در طول دوره آماری)، خط شکسته دوم به‌عنوان هم‌ساز یا هارمونیک دوم (دو چرخه در طول دوره آماری) می‌باشد. خط چین مرز معنی‌داری چرخه‌ها در سطح ۹۵ درصد اطمینان است. چرخه‌هایی که طیف (واریانس) آنها خارج از محدوده معنی‌داری باشد آن چرخه (هم‌ساز) به‌عنوان چرخه یا چرخه‌های معنی‌دار تلقی می‌شود. چرخه معنی‌دار در واقع همان رخداد بارش‌های



شکل ۶- دورنگار حاصل از تحلیل طیفی برای نواحی خشکیدگی بلوط

جدول ۵- مشخصات آماری چرخه‌های نواحی خشکیدگی بلوط

ایستگاه	شماره چرخه معنی‌دار	بسامد	دوره بازگشت	واریانس
ناحیه یک	۵	۰/۲۲۳۷	۴	۳/۴۱۳۹
	۳	۰/۱۳۶	۷	۴/۳۳۲۳
ناحیه دو	۱	۰/۰۶۵۷	۱۴	۳۳۵/۰۷۸۸
	۹	۰/۳۲۱۴	۳	۲۴۰/۳۶۱۲
	۲	۰/۰۵۸۸	۱۷	۹۸/۷۳۰۲
ناحیه سه	۱۱	۰/۳۲۳۵	۳	۶۶/۰۴۳۲
	۱۳	۰/۳۸۲۴	۲	۵۱/۸۶۴۹
ناحیه چهار	۱	۰/۰۶۵۷	۱۴	۲۶۴/۶۲۲۵
	۹	۰/۳۶۰۰	۲	۳۷/۰۳۸



## بحث

در این بررسی به ارزیابی و مقایسه شبکه فازی و عصبی در پیش‌بینی خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی پرداخته شده است. در ابتدا با توجه به ارزیابی خطاها روش مناسبی برای پیش‌بینی خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی انتخاب شده است. نتایج نشان داد با توجه به آماره‌های خطا شبکه عصبی از کارایی بهتری نسبت به پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی برخوردار بوده است، به همین دلیل این روش مبنای پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس میانی طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰ انتخاب شده است. بررسی و پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی جنگل‌های بلوط بیانگر این است که بیشتر شاخص‌های خشکیدگی روند افزایشی را تجربه کرده است. کما اینکه روند کاهش بیشتر به صورت لکه‌های کوچکی در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است. از سوی دیگر شاخص NDVI و EVI که از مهمترین شاخص‌های خشکیدگی به‌شمار می‌آید در بیشتر مناطق جنگل بلوط روند کاهش را نشان داده است. روند کاهش شاخص NDVI بیشتر مربوط به شهرهای الیگودرز، سلسله و دلفان می‌باشد. بعد از پیش‌بینی شاخص‌های خشکیدگی به کمک تحلیل خوشه‌ای نواحی خشکیدگی جنگل‌های بلوط شناسایی شده است و به‌منظور اعتبارسنجی نواحی شناسایی شده به کمک تحلیل خوشه‌ای از تحلیل ممیزی بهره گرفته شده است که نتایج نشان داد نواحی جنگل‌های بلوط در چهار ناحیه (ناحیه فاقد خشکیدگی، ناحیه با خشکیدگی نرمال، ناحیه با خشکیدگی زیاد و ناحیه با خشکیدگی بسیار زیاد) قابل تقسیم‌بندی می‌باشد. این در حالی می‌باشد که Amir Ahmadi و همکاران (۲۰۱۶) در طبقه‌بندی خشکیدگی جنگل‌های بلوط دنا سه ناحیه را از جمله خشکیدگی کم (۱۵٪)، متوسط (۳۰٪-۱۵٪) و بالا (۳۰٪) شناسایی کردند. از سوی دیگر نواحی خشکیدگی جنگل‌های بلوط از عدم پیوستگی مکانی برخوردار بوده است، به‌طوری‌که نتایج بیانگر این بوده است که نواحی خشکیدگی در سراسر جنگل‌های بلوط پراکنده شده است، این

تنوع خشکیدگی مکانی می‌تواند بیانگر این باشد که عوامل مختلفی از جمله عوامل محیطی در خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس مؤثر بوده است. همانطور که Amir Ahmadi و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند شرایط توپوگرافی و جنگل‌شناسی از جمله عوامل مهمی هستند که می‌توانند بر چگونگی پراکنش خشکیدگی درختان بلوط ایرانی به‌ویژه بر روی درختان کوچک و شاخه‌زاد تأثیر بگذارند. باوجود این در تحقیقاتی که انجام شد، عواملی از جمله عوامل زنده مانند پاتوژن‌ها (بیماری قارچ زغالی بلوط)، آفات (سوسک‌ها)، عوامل غیرزنده مانند ریزگردهای عربی، خشک‌سالی و خشکی، سرما، عوامل جنگل‌شناسی مانند رقابت درختی، قطر و سن درخت، عوامل انسانی مانند کشت زیراشکوب و چرای دام را از عوامل تأثیرگذار بر پراکنش خشکیدگی بلوط می‌دانند (Attar-e Roshan et al., 2016; Khosrou et al., 2014). نتایج حاصل از تحلیل طیفی نشان داد که چرخه‌های متنوعی بر نواحی خشکیدگی جنگل‌های بلوط حاکم بوده است، در این بین غالب‌ترین نوسان‌ها چرخه‌های ۲ تا ۴ ساله بودند. بیشتر دانشمندان چرخه‌های ۳-۲ ساله را به ال نینو- نوسان‌های جنوبی (ENSO) و تغییرات دوسالانه (QBO) الگوی بزرگ مقیاس گردش عمومی جو و جریانات مداری و چرخه‌های ۵-۳ ساله را به پدیده انسو نسبت داده‌اند. همچنین چرخه‌های ۶-۲ ساله را به رخداد ال نینو مربوط دانسته‌اند (Hartmann et al., 2008). همچنین چرخه‌های ۱۱ ساله و بالاتر را که در ناحیه خشکیدگی زیاد می‌شود. Jahanbakhsh و Adalat Dost (۲۰۰۸) وجود این چرخه‌ها را به‌ویژه در منطقه آذربایجان ناشی از چرخه فعالیت لکه‌های خورشیدی و نوسان‌های اطلس شمالی دانسته‌اند.

### منابع مورد استفاده

- Alavi Panah, S.K., Ehsani, A.H., Matinfar, H., Rafiei Imam, A. and Amiri, R. 2006. Comparison of the Information Content of TM and + ETM Sensor Sections in Iran's Desert and Urban Environment, Researches Geographical, 56: 64-47 (In Persian).

- index as an indicator of the effects of solar activity on rainfall changes in Azerbaijan), Third Conference on Iranian Water Resources Management. Tabriz University (In Persian).
- Karami, O. 2017. Monitoring and modeling the decline of Zagros oak forests using satellite data with high spatial resolution. PhD Thesis in Natural Resources Engineering - Forest Sciences, Faculty of Forestry, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Sari, Sari (In Persian).
- Khosrou, N., Mirza'i, J. and Dostkami, S. 2014. Investigation of Factors Affecting Drying of Zagros Oak forests, Second National Conference on Natural Resources of Iran, Focusing on Forest Sciences, Natural Resources Faculty, Forestry Department, Kurdistan University, Kurdistan (In Persian).
- KouhSoltani, S., Al Sheikh, A.A., Gjermez Cheshmeh, B. and Mehri, S. 2018. Investigation of drying potential of Zagros oak forests using GIS, RS and Fuzzy-AHP method. *EcoHydrology*, 2: 725-713 (In Persian).
- López-Tirado, J. and Hidalgo, P.J. 2016. Predictive modelling of climax oak trees in southern Spain: insights in a scenario of global change. *Plant Ecology*, 217: 451-63.
- Safaei Rad, R. 2014. Evidence of Holocene climate change in middle agglomeration. Master's thesis for Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran. Tehran (In Persian).
- Vacchiano, G. and Motta, R. 2015. An improved species distribution model for Scots pine and downy oak under future climate change in the NW Italian Alps. *Annals of Forest Science*, 72: 321-34.
- Vázquez-Quintero, G., Solís-Moreno, R., Pompa-García, M., Villarreal-Guerrero, F., Pinedo-Alvarez, C. and Pinedo-Alvarez, A. 2016. Detection and projection of forest changes by using the Markov Chain Model and cellular automata. *Sustainability*, 8: 1-13.
- Vessella, F., López-Tirado, J., Simeone, M.C., Bartolomeo, S. and Hidalgo, P.J. 2017. A tree species range in the face of climate change: cork oak as a study case for the Mediterranean biome. *European Journal of Forest Research*, 136: 555-569.
- Alijani, B., Bayat, A., Dostkamyani, M. and Balyani, Y. 2017. Spectral analysis of time series of Iranian annual rainfall. *Journal of Geography and Planning*, 57: 236-217 (In Persian).
- Amir Ahmadi, B., Zolfaghari, R. and Mirzaie Gharehlar, M.R. 2016. The Relationship Between Drying of Iranian Oak Trees with Environmental Factors and Forestry Properties in Dana Protected Forest. *Iranian Forest Ecology*, 6: 27-19 (In Persian).
- Asakereh, H. 2009. Spectral analysis of time series of annual temperature in Tabriz. *Geographic Research*, 93: 50-33 (In Persian).
- Asakereh, H., Dostkamian, M. and Ghaemi, H. 2015. Analysis of variations in rainfall irregularities and water cycles of barley Iran. *Natural Geography Research*, 4: 444-435 (In Persian).
- Attar-e Roshan, S., Rajai, A.H. and Bozorgmeher, N. 2016. Investigating the Effect of Zagros on the Fading Phenomenon of Oak forests in Zagros Province of Khuzestan Province. First International Conference on Dust, Ahvaz, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz (In Persian).
- Dervishzadeh, R., Metcanan, A.A., Hosseini Asl, A. and Ebrahimi Khosfi, M. 2013. Estimation of vegetation percentage of Central Iran dry area using satellite imagery (Case study: Shitoor basin, Bafgh). *Drybum*, 1: 38-25 (In Persian).
- Dostkamian, M. and Mir Mousavi, S.H. 2016. Examination and Analysis of Iran's Extreme Rainfall Threshold Cluster. *Geography and Development Quarterly*, 41:146-131 (In Persian).
- Duque-Lazo, J., Navarro-Cerrillo, R.M. and Ruíz-Gómez, F.J. 2018. Assessment of the future stability of cork oak (*Quercus suber* L.) afforestation under climate change scenarios in Southwest Spain, *Forest Ecology and Management*, 409: 444-56.
- Hamzehpour, M., Kaleili, H. and Bordbar, S.K. 2011. Preliminary study on the decay of Iranian oak trees (*Q. bruntii*) in Bam Kazeroun Plain, Fars Province, *Iran Forest and Poplar Researches*, 19( 2): 363-335 (In Persian).
- Hartmann, S., Becker, A. and King, L. 2008. Quasi-Periodicities in Chinese Precipitation Time Series. *Theor. Appl. Climatology*, 92: 155-163.
- Heidari Naserabadi, S. 2016. Survey of spatial-temporal dispersal pattern of Iranian oak drying using the method of remote sensing and GIS (Case Study: Basht area, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province). Master's Degree in Natural Resources Engineering - Forestry, Faculty of Agriculture, Yasouj University. Yasuj (In Persian).
- Jahanbakhsh, S. and Adalat Dost, M. 2008. Climate change in Iran (Case study: North Atlantic oscillation

## **Evaluation and Prediction of Decline of Oak Forests in Middle Zagros (Lorestan Section) with a Climate Change Approach**

**H. Shiranvand<sup>1\*</sup>, Sh. Khaledi<sup>2</sup> and S. Behzadi<sup>3</sup>**

<sup>1\*</sup>-Corresponding author, Urban Climatology, Geography Department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran  
E-mail: hengamehshiravand@yahoo.com

<sup>2</sup>- Geography Department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>- Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

Received: 01.02.2019

Accepted: 25.05.2019

### **Abstract**

The oak trees decline in Zagros forests is one of the main problems of the ecosystem of this region. Therefore, in this research, estimation and prediction of oak forests decline in the middle Zagros (Lorestan section) were performed to evaluate the RS data and decline indices including DVI, GEMI, IPVI, MSAVI2, NDVI, EVI, OSAVI, Sarvi2, SR and VHI. To this end, these indices were extracted using ArcGIS for 110 sites of oak forests. Finally, a matrix of  $345 \times 110$  dimensions during 2001 to 2016 was created. Then, fuzzy and neural network methods were used in the prediction strategy, and the method with less error was considered as the prediction basis for the period 2017-2030. The cluster analysis and the discriminant analysis were also used to identify the decline areas, and spectral analysis was used to investigate the oscillation. The results showed that the decline indices had an increasing trend in the most cases. The results of cluster analysis also revealed that oak forest decline can be divided into four areas (no decline, normal decline, high decline and very high decline areas). Investigating the fluctuations of the dominant areas also indicated short-term cycles of 2 to 4 years fluctuations on drying indices. Neural network evaluation and fuzzy method also demonstrated that neural network method is a more suitable method for predicting decline indices. The prediction results indicated that in the future, most of the decline indices in the region will be increased.

**Key words:** Decline, Neural Network, Oak, Oscillation, Remote Sensing, Zagros.