

تحلیل اثر خشکسالی بر پارامترهای فنولوژی شاخص‌های گیاهی با استفاده از
سری زمانی تصاویر سنجنده MODIS (مورد مطالعاتی: استان همدان)

ویدا شریفی¹، سلمان احمدی^{2*}، مهدی غلام‌نیا³

¹گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان
Vidasha75@gmail.com

²گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان
s.ahmadi@uok.ac.ir

³گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
mehgholamnia@gmail.com

(تاریخ دریافت: مرداد 1401، تاریخ تصویب: آبان 1401)

چکیدہ

خشکسالی یکی از پیامدهای تغییرات اقلیمی است که به کندی و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی اقلیم، محیط زیست، کشاورزی، پوشش گیاهی، منابع آبی و حتی بخش‌های اقتصادی و اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشکسالی کاهش میزان پوشش گیاهی می‌باشد. در این پژوهش، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های 2001-2020 (بازه زمانی 20 ساله) سنجنده مادیس و داده‌های بارش رستری ماهانه CHIRPS در محدوده استان همدان به تحلیل اثر خشکسالی بر پارامترهای فنولوژی (شامل ماکزیمم مقدار NDVI، دامنه، مقادیر پایه) شاخص گیاهی NDVI پرداخته شده‌است. برای این کار، ابتدا از طریق الگوریتم تایم‌ست پارامترهای فنولوژی شاخص گیاهی NDVI استخراج شده، سپس، تغییرات این پارامترها نسبت به داده‌های ارتفاعی و نقشه پوشش اراضی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، میزان همبستگی و خطای RMSE بین پارامترهای فنولوژی با داده ارتفاعی منطقه برآورد گردید. همچنین، با استفاده از داده‌های بارش CHIRPS شاخص SPI سالانه محاسبه شد. نتایج بدست‌آمده از تحلیل این پارامترها در ارتفاعات و کاربری‌های مختلف نشان داد که در سال 2008 نسبت به سایر سال‌ها مقادیر پارامتر ماکزیمم و دامنه NDVI کاهش داشته‌است. در مقابل، در سال 2019 نسبت به سایر سال‌ها این پارامترها مقادیر بیشتری داشته‌اند. همچنین، پارامتر مقدار پایه با همبستگی 0/925 از بین سایر پارامترهای فنولوژیکی بالاترین همبستگی را با داده ارتفاعی منطقه داشته‌است و میزان RMSE برابر 0/021 شده‌است. تحلیل داده‌های بارش ماهانه برای سال‌های 2001 تا 2020 نشان داد که در سال 2008 میانگین بارش سالانه کمتر از سایر سال‌ها بوده‌است که مقدار شاخص SPI برابر 1/79- شده‌است که نشان‌دهنده خشکسالی متوسط در سطح منطقه در این سال است. در مقابل، با توجه به میانگین بارش‌ها در سال‌های 2007، 2018 تا 2020 و مقدار شاخص SPI طی این سال‌ها ترسایم‌تر، شدیدتر، سطح منطقه رخ داده‌است.

واژگان کلیدی: خشکسالی، پارامترهای فنولوژی شاخص گیاهی، NDVI، الگوریتم تایمست، DEM، Landcover، SPI

* نویسنده رابط

1- مقدمه

خشکسالی را به عنوان یک پدیده، می‌توان بخشی از اقلیم هر منطقه از سطح کره زمین محسوب کرد. این پدیده به کندی شروع شده و دارای ماهیتی پنهانی است [1]. خشکسالی در تمامی مناطق جهان رخ می‌دهد و بیش از هر خطر عمده طبیعی دیگر بر زندگی انسان اثر می‌گذارد [2]. خشکسالی پیامدهای زیادی از جمله کاهش منابع آب، کاهش تولیدات کشاورزی، تسریع در بیابان‌زایی مناطق و تغییر پوشش گیاهی بر جای می‌گذارد [3]. یکی از مهم‌ترین پیامدهای آن کاهش پوشش گیاهی می‌باشد. با کاهش پوشش گیاهی، شرایط محیطی برای بروز مشکلاتی از جمله فرسایش خاک، افزایش میزان رواناب سطحی، افزایش دما بالاتر از حد نرمال، کاهش طولانی‌مدت در بارش و رطوبت خاک و خطر بروز سیل فراهم می‌شود؛ به همین دلیل، ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی و فنولوژی گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است [4]. امروزه تشخیص تاثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی از نظر زمانی و مکانی توسط سنجش‌ازدور و با تعریف شاخص‌های مختلف امکان‌پذیر شده‌است. از این‌رو، برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی از داده‌های سنجش‌ازدور و شاخص‌های گیاهی استفاده می‌شود. داده‌های سنجش‌ازدور فرصتی مناسب برای نظارت بر پویایی پوشش گیاهی به شیوه منظم فراهم می‌کنند. آن‌ها به دلیل داشتن اطلاعات بروز در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی و تکمیل تکنیک‌های جایگزین مانند بررسی میدانی، نقش مهمی در تشخیص و مدیریت خشکسالی دارند [5]. با توجه به اهمیت وقوع خشکسالی تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده‌است بطوری‌که بیشترین مطالعات از دهه 1960 به بعد بوده‌است. در مطالعه‌ای به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI) به پایش خشکسالی‌ها در ایالات مختلف آمریکا، همچنین به مقایسه شاخص SPI با شاخص پالمر پرداخته شد. نتایج نشان داد که شاخص SPI مناطق با پتانسیل وقوع خشکسالی را حداقل یک ماه زودتر از دیگر شاخص‌ها نشان می‌دهد [6]. در تحقیقی به مطالعه فنولوژی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس پرداخته شد، در این تحقیق یک روش جدید برای نظارت جهانی بر فنولوژی پوشش گیاهی ارائه شده‌است که از توابع لجستیک و داده‌های شاخص پوشش گیاهی برای نشان‌دادن پویایی پوشش گیاهی استفاده کرده‌است. نتایج نشان‌دهنده موفقیت این مدل در نظارت بر فنولوژی گیاهی می‌باشد [7]. سرجیوم وسینتسرانو

(2007) در مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی تاثیر خشکسالی با استفاده از سنجش‌ازدور در منطقه مدیترانه‌ای نیمه‌خشک، به بررسی تفاوت‌های ماهانه تاثیر خشکسالی بر فعالیت‌های پوشش گیاهی در مناطق نیمه خشک و بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص بارندگی استاندارد و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و تفاوت‌های مکانی در اثرات خشکسالی بر روی پوشش گیاهی طبیعی و زراعی پرداختند. نتایج به دست‌آمده نشان‌دهنده آن بود که اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی بین مناطق مختلف متفاوت است؛ همچنین میزان نفوذ در هر ماه متفاوت می‌باشد [8]. لیسیکا و کیتلسون (2010) به مطالعه بارش و دما با فنولوژی گلدهی در یک مرتع نیمه‌خشک پرداخته‌اند. در این تحقیق، اولین تاریخ شکوفه‌دادن گل‌های وحشی بهار را در یک علفزار نیمه خشک در کوه‌های راکی آمریکا از سال 1995 تا 2008 ثبت گردید و این داده‌ها به همراه میانگین دما و بارش ماهانه تجزیه و تحلیل شدند. بر اساس این نتایج، فنولوژی گلدهی ممکن است سریع‌تر تغییر کند و بارش نقش مهم‌تری در علفزارهای نیمه‌خشک نسبت به سیستم‌های معتدل مرطوب ایفا می‌کند [9]. بات و همکاران (2011) از تصاویر NDVI سنجنده مادیس جهت ارزیابی تغییرپذیری‌های وابسته به عرض جغرافیایی فنولوژی پوشش گیاهی مرتع‌ها در منطقه‌ای واقع در غرب آفریقا استفاده شد و نتایج بدست‌آمده نشان داد که هر سه عامل آغاز، پایان و طول فصل رشد به شدت به عرض جغرافیایی وابسته‌است [10]. ایویتس و همکاران (2012) در مطالعه‌ای به بررسی اطلاعات فنولوژیکی قاره اروپا از سال 1982 تا 2006 و انطباق آن با سری زمانی دما و بارش پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در شمال اروپا به ویژه شمال بالتیک، شروع فصل زودتر و طول فصل طولانی‌تر شده‌است. علی‌رغم اینکه اکثر قاره اروپا شروع زودتر فصل را نشان می‌دهد، اما طول فصل شرایط پایدار و مشخصی ندارد. همچنین، به نظر می‌رسد که اکوسیستم‌های مدیریت‌شده، الگوهای تغییر ناهمگون و یا بدون ارتباط با روند آب و هوایی را نشان می‌دهند [11]. سنف و همکاران (2013) به مطالعه نقشه‌برداری گیاهان و جنگل‌های طبیعی در جنوب غربی چین با استفاده از شاخص‌های داده‌های چند طیفی سری زمانی سنجنده مادیس پرداختند. در این تحقیق، از روش یادگیری ماشین جنگل تصادفی و نرم‌افزار تایمست استفاده گردید. نتایج نشان داد که تفاضل طبقه‌بندی بدست‌آمده از سری زمانی شاخص گیاهی پیشرفته و مادون قرمز طول موج کوتاه تنها 64/4% و 67/9% بوده‌است که ضریب فنولوژی از

سری زمانی شاخص گیاهی پیشرفته و مادون قرمز طول موج کوتاه دقت را به 73/5% افزایش داده است [12]. کان جیا و همکاران (2014) در تحقیقی به طبقه بندی پوشش زمین از طریق داده های لندست برای استخراج عوارض فنولوژیکی از سری زمانی داده های شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده سنجنده مادیس پرداختند. در این تحقیق، برای طبقه بندی عوارض از روش یادگیری ماشین بردار پشتیبان و طبقه بندی کننده بیشترین شباهت و نرم افزار تایمست استفاده گردید. نتایج نشان دهنده آن بود که طبقه بندی کننده ماشین بردار پشتیبان دقت بهتری نسبت به طبقه بندی کننده بیشترین شباهت داشته است [13]. تانگ و همکاران (2015) در تحقیقی پارامترهای فنولوژی بلند مدت گیاه را در منطقه کوهستانی کینگان در شمال شرقی چین با استفاده از داده های شاخص پوشش گیاهی استاندارد (NDVI3g) در سال های 1982-2012 را مورد بررسی قرار دادند. پس از ساخت سری زمانی شاخص NDVI، با استفاده از روش آستانه گذاری تاریخ شروع فصل رشد، تاریخ پایان فصل رشد و طول فصل رشد استخراج گردید. سپس، رابطه این پارامترها با شاخص های اقلیمی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای فنولوژیکی در این سه دهه، تغییرات قابل ملاحظه ای داشته است. بطوری که پارامترهای طول فصل رشد، شروع فصل و پایان فصل رشد به ترتیب 12/1، 3/3 و 8/8 روز شروع زود هنگام و 8/8 روز تاخیر نشان داده اند. همچنین، شاخص های دما و بارش با پارامترهای فنولوژی همبستگی نزدیکی داشته است [14]. یغمایی و همکاران (2017) به بررسی تاثیر خشکسالی SPI بر تغییرات پوشش گیاهی مرتعی و جنگلی در استان چهارمحال بختیاری با استفاده از داده های سنجنده مادیس پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص NDVI و شاخص SPI در پوشش گیاهی مرتعی یکساله مشاهده شده است که این همبستگی در مقیاس زمانی سه و نه ماهه به ترتیب حدود 0/9 و 0/5 می باشد [15]. کرمی و همکاران (2017) به بررسی اثر تغییرات عرض جغرافیایی، ارتفاع و اقلیم بر فنولوژی گیاهی در منطقه گرینلند پرداختند و این نتیجه بدست آمد که تفاوت های معناداری بین تغییرات فنولوژیکی مناطق غربی و شرقی گرینلند در طول دوره مطالعه (2001-2015) و نیز پاسخ نوسانات اقلیمی وجود دارد. بطوری که در مناطق غربی نسبت به مناطق شرقی تاریخ شروع فصل رویش زودتر و طول فصل بیشتر می باشد [16]. ژائوهو و شخو (2017) در تحقیقی تغییرات مکانی/زمانی

فنولوژی رشد گیاه در طی سال 2014-2001 در چین بررسی کردند. در این تحقیق از آزمون من-کندال و نرم افزار تایمست و سری زمانی شاخص گیاهی پیشرفته استفاده کرده و نتایج بدست آمده به این صورت بود که با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی شروع فصل بطور مداوم ادامه یافته، پایان فصل یک روند متضاد در توزیع مکانی و زمانی خود نشان داده و همچنین مقدار مطلق شروع فصل بعد از سال 2000 نسبت به مطالعات قبلی کاهش یافته است [17]. ملایری و همکاران (2017) به بررسی تغییرات اقلیم بر فنولوژی پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی داده های AVHRR از طریق نرم افزار تایمست در سه استان زنجان، تهران و سمنان پرداختند و نتایج بدست آمده نشان داد که طول فصل رشد در ارتفاع های بالای 2000 متر برای پوشش گیاهی سمنان در طی سال های 1984-2013 تغییر محسوسی نداشته، اما طول فصل رشد پوشش گیاهی تهران و زنجان در این ارتفاع ها به ترتیب 2/8 و 7/4 روز کاهش یافته است. تغییرپذیری این پارامترها در ارتفاع های پایین تر از 2000 متر برای پوشش گیاهی سه منطقه زنجان، تهران و سمنان به ترتیب 1/6، 2/1 و 8 روز کاهش را نشان می دهد؛ همچنین، این تحقیق نشان داد پوشش گیاهی به تغییر در عنصرهای اقلیمی در سطح های مختلف ارتفاعی حساس می باشد [18]. ژانگ و همکاران (2018) در تحقیقی تحت عنوان فنولوژی گیاهی در فلات تبت و پاسخ آن به تغییرات آب و هوایی، با استفاده از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده نسل سوم، 18 معیار فنولوژیکی با هدف بررسی تغییرات فنولوژیکی در فلات تبت از طریق روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای تجزیه و تحلیل فنولوژی بدست آوردند. نتایج نشان دهنده متغیر بودن اثر دما بر معیارهای فنولوژی پوشش گیاهی بود [19]. یان هو مو و همکاران (2019) در تحقیقی به بررسی دینامیک زمانی و مکانی فنولوژیکی در طول شمال شرق و جنوب شرقی آسیا از طریق شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده نسل سوم و مدل گاوسی نامتقارن پرداختند. نتایج نشان دهنده این بود که مدل گاوسی نامتقارن دارای بالاترین پایداری در بررسی دینامیک زمانی و مکانی فنولوژی بوده و همچنین، ارتفاع نیز بر فنولوژی رشد گیاه تاثیر گذار بوده است [20]. لیبرینی و همکاران (2019) در تحقیقی به شناسایی سیستم های کشاورزی با استفاده از روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و بررسی سری زمانی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده براساس معیارهای فنولوژیکی در ناحیه نیمه خشک مراکش پرداختند. نتایج نشان داد که دقت کلی

طبقه‌بندی به 88% ضریب کاپا به 0/83 رسیده و همچنین نشان‌دهنده توانایی مناسب پارامترهای فنولوژیکی برای شناسایی و نظارت بر کلاس‌های اصلی سیستم کشاورزی در منطقه می‌باشد [21]. غلام‌نیا و همکاران (2019) به تجزیه و تحلیل مکانی/زمانی شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده از طریق نرم‌افزار تایم‌ست و بریک فست در مناطق نیمه‌خشک کردستان پرداختند. نتایج نشان‌دهنده این بود که براساس هر دو روش تایم‌ست و بریک‌فست کمترین و بیشترین دامنه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده در سال 2008 و 2010 اتفاق افتاده‌است [22]. ورست و همکاران (2019) در مطالعه‌ای به افزایش اندازه‌گیری سنجش‌ازدور برای نظارت بر خشکسالی و همچنین نقاط قوت و ضعف فن‌آوری کلیدی برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی و چالش‌هایی که جامعه پژوهش با آن مواجه‌اند و پس از آن به بررسی آینده از نظر فناوری‌های جدید پرداختند [23]. ژانگ و همکاران (2019) به بررسی پاسخ دینامیک پوشش گیاهی طبیعی به خشکسالی طبیعی در طول فصل رشد در سرار چین پرداخته‌اند که براساس شاخص ماهانه خشکسالی پالمر خود کالیبره‌شده، شاخص استانداردشده تعرق در مقیاس‌های زمانی مختلف و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده به بررسی رابطه بین پویایی پوشش گیاهی طبیعی و خشکسالی در فصل رشد گیاه در 293 سایت در سراسر چین پرداخته‌شد. نتایج بدست‌آمده نشان‌دهنده آن بود که همبستگی پیرسون بین شاخص ماهانه خشکسالی پالمر خود کالیبره‌شده و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده در فصل رشد با استفاده از آزمون پیرسون از 0/47- به 0/84 تغییر یافته و همبستگی بین شاخص استانداردشده تعرق و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده از 0/31- به 86% رسیده‌است [24]. در این تحقیق، با استفاده از روش تحلیل سری زمانی TIMESAT پارامترهای فنولوژی پوشش گیاهی استخراج شده و سپس ارتباط بین این پارامترهای فنولوژی و کلاس‌های ارتفاعی و همچنین کلاس‌های پوشش سطح زمین و شاخص خشکسالی برای اولین بار در منطقه همدان بررسی شده‌است.

2- مواد و روش کار

در این بخش به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده و روش‌هایی برای انجام این تحقیق پرداخته شده‌است. در این بخش از داده‌های ماهواره‌ای

سنجنده مادیس بعنوان داده‌های اصلی و از تغییرات پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI بعنوان منبع اصلی بررسی تغییرات پوشش گیاهی و تحلیل و پایش خشکسالی در منطقه استفاده گردید.

2-1- منطقه‌ی مورد مطالعه

استان همدان با مساحت 20 هزار و 172 کیلومتر مربع، 1/2 درصد از مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. این استان بین مدارهای 59 درجه و 33 دقیقه تا 49 درجه و 35 دقیقه عرض شمالی و 34 درجه و 47 دقیقه تا 34 درجه و 49 دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته‌است. این استان دارای میانگین بارش سالانه 295 میلیمتر و میانگین دمای سالانه 22 درجه سلسیوس می‌باشد.

استان همدان جزو استان‌های غربی ایران است که از شمال به استان زنجان، از جنوب به استان لرستان، از شرق به استان مرکزی و از غرب به استان‌های کرمانشاه و کردستان محدود می‌شود. بلندترین نقطه استان همدان، قله الوند با ارتفاع 3574 متر می‌باشد. این استان از نظر تقسیمات کشوری شامل: 8 شهرستان، 16 شهر، 18 بخش و 68 دهستان دارد و مرکز آن شهر همدان است.

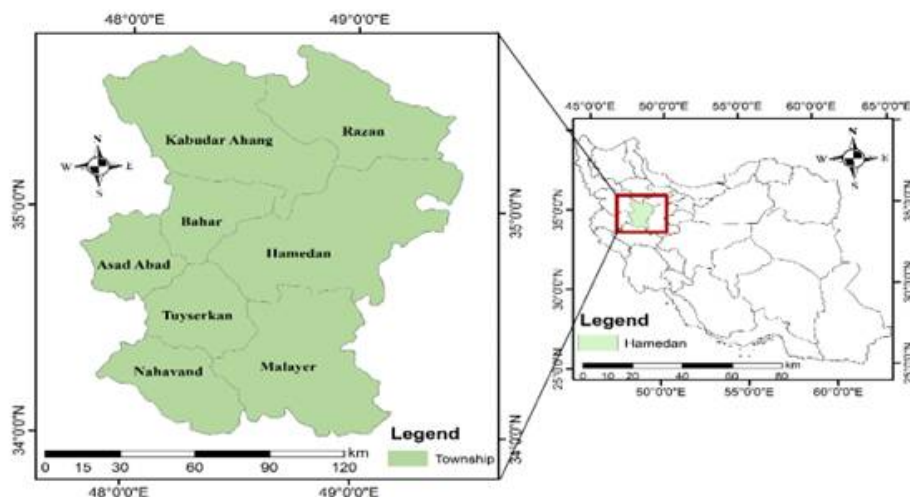
2-2- داده

2-2-1- تصاویر شاخص گیاهی NDVI سنجنده مادیس

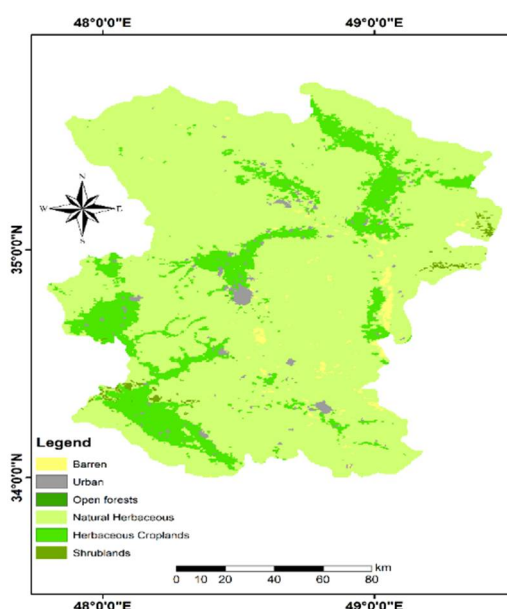
در این تحقیق از سری زمانی 16 روزه شاخص گیاهی NDVI از تصاویر سنجنده مادیس با وضوح مکانی 250 متر استفاده شده‌است. در نهایت، 477 تصویر شاخص گیاهی از منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی 21 ساله (از سال 2000 تا 2020) از طریق سامانه گوگل‌ارث انجین استخراج شده‌است که تعداد تصاویر برای سال‌های 2000 و 2020، 20 تصویر و برای سال‌های 2001 تا 2019، 23 تصویر برای تمامی ماه‌های سال استخراج شده‌است.

2-2-2- مدل رقومی ارتفاعی منطقه

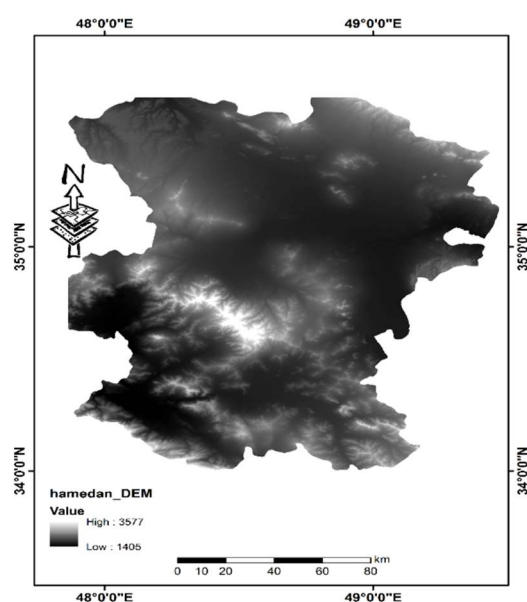
در این تحقیق از داده‌های مدل رقومی ارتفاعی استر در سامانه گوگل‌ارث انجین با توان تفکیک مکانی 30 متر استفاده گردید.



شکل 1- منطقه مورد مطالعه



شکل 3- نقشه کاربری ارضی منطقه



شکل 2- مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد نظر

4-2-2- داده‌های بارش ماهانه CHIRPS

در این تحقیق، داده‌های رستری بارش ماهانه CHIRPS با توان تفکیک مکانی $0/05^\circ$ از نشانی الکترونیکی <https://www.CHC.ucsb.edu/data/chirps> برای بازه زمانی 20 ساله (2001-2020) دانلود گردید. به ازای هر ماه یک داده رستری و 12 داده رستری برای هر سال دانلود شد و نهایتاً برای بازه زمانی 20 ساله در مجموع 240 داده بارش رستری دانلود گردید.

3-2-2- نقشه کاربری ارضی منطقه

برای تهیه نقشه کاربری ارضی منطقه از طریق سامانه گوگل ارث انجین نقشه کاربری ارضی سال 2017 سنجنده مادیس 500 متر استخراج گردید. این محصول شامل 6 طرح طبقه‌بندی براساس استانداردهای مختلف می‌باشد که برای اینکار از محصول MOD12Q1.006 MODIS Landcover باند LC-prop2 500 متر طراحی شده براساس استانداردهای سازمان FAO استفاده گردید.

3- روش کار

در این بخش روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده و مراحل اجرای پژوهش شرح داده شده‌است. در این بخش ابتدا پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI از طریق نرم‌افزار TIMESAT استخراج گردید، سپس ارتباط میان این پارامترها با داده‌های ارتفاعی و نقشه کاربری اراضی منطقه مورد بررسی قرار گرفت و از طرف دیگر به کمک داده‌های بارشی میزان تغییرات بارندگی سالانه در این منطقه بررسی شد و در نهایت، از طریق نتایج بدست‌آمده از بررسی تغییرات پارامترهای فنولوژیکی و نتایج بدست‌آمده از تحلیل داده‌های بارشی به تحلیل و بررسی خشکسالی پرداخته شد.

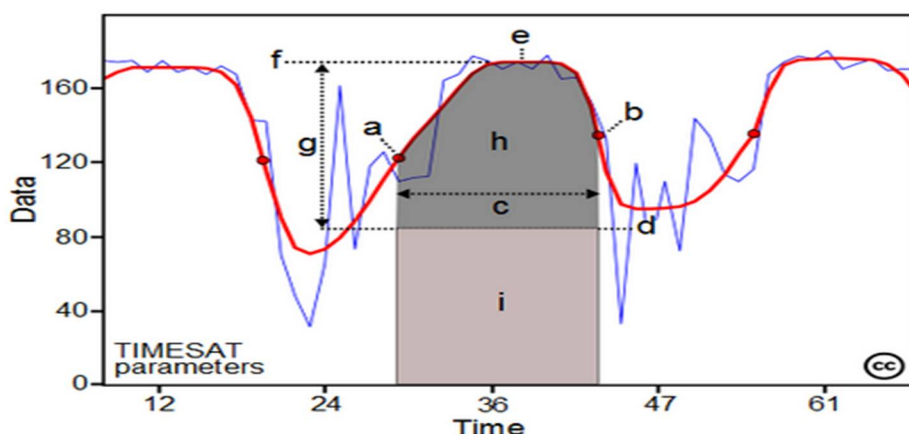
3-1- استخراج پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده از طریق نرم‌افزار تایمست (TIMESAT)

بسته نرم‌افزاری تایمست برای استخراج پارامترهای نوسانی ابداع شده‌است [25]. این بسته از طریق برازش توابع در مدل‌های مختلف، به ازای هر پیکسل یک سری زمانی هموار را از داده‌های پوشش گیاهی ارائه می‌دهد که نرخ

تغییرات پارامترهای فنولوژی در یک دوره زمانی، توسط مدل‌های رگرسیون خطی استخراج می‌گردد [26] و فرمول آن به شرح زیر می‌باشد [27]:

$$F(t) = c1 + c2t + c3t^2 + c4\sin(wt) + c5\cos(wt) + c6\sin(2wt) + c7\cos(2wt) + c8\sin(3wt) + c9\cos(3wt) \quad (1)$$

که $w=6\pi/N$ می‌باشد. که در فرمول ذکر شده سه پارامتر $c1, c2$ و $c3$ بیانگر روند سالانه، ضرایب $c4$ تا $c9$ نیز جهت مدلسازی رفتار تناوبی سری زمانی است که توابع سینوس و کسینوس آن به ترتیب یک، دو و سه دوره تناوب فصل رویشی سالانه را مشخص می‌کند. در شکل 4 نمودار مربوط به تایمست و پارامترهای فنولوژی قابل استخراج از طریق این نرم‌افزار نشان داده شده‌است [27]. همانطور که در این نمودار دیده می‌شود، منظور از مقدار پایه میزان حداقل سری زمانی NDVI در طول دوره سالیانه است که با d نشان داده شده‌است. همچنین، مقدار ماکزیمم NDVI که با f نشان داده شده‌است، بیانگر حداکثر مقدار NDVI در دوره مدلسازی شده‌است. دامنه سری زمانی که با g نشان داده شده‌است، بیانگر اختلاف میزان ماکزیمم و مقدار پایه است و به نحوی در ارتباط با میزان نوسان سری زمانی است [27].



شکل 4- پارامترهای فنولوژی: نقاط (a) و (b) به ترتیب زمان شروع و پایان فصل، نقاط (c) و (d) 80% سطح داده، (e) بیشترین مقدار داده، (f) دامنه نوسان، (g) طول نوسان و نقاط (h) و (i) اثرات تجمعی رشد پوشش گیاهی در طول فصل [27].

3-2- بررسی ارتباط پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی با داده ارتفاعی

پارامترهای فنولوژیکی شاخص‌های گیاهی در واقع تغییرات پوشش گیاهی را مورد بررسی قرار می‌دهند. از طرفی،

پوشش گیاهی به تغییر در عنصرهای اقلیمی در سطح‌های مختلف ارتفاعی حساس می‌باشد، بنابراین، از پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI می‌توان به عنوان معیاری برای آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق مختلف پرداخت که بررسی تغییرات پوشش گیاهی نیز خود معیاری

دلخواه و در هر مکانی به عنوان مناسبترین شاخص جهت تحلیل خشکسالی شناخته می‌شود [29].

شاخص استاندارد شده بارش برای کمی نمودن کمبود بارش یا میزان خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت (3، 6 و 12) و بلندمدت (12، 24 و 48) ماهه طراحی شده‌است [30]. برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (2)$$

که در رابطه فوق SPI شاخص استاندارد شده بارش، P_i مقادیر بارش، $\bar{P}$ میانگین متوسط دراز مدت بارش و SD بیانگر انحراف از معیار داده‌ها است.

طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص استاندارد شده بارش که توسط مک و همکارانش در سال 1993 ارائه شده‌است به شرح زیر می‌باشد:

جدول 1- طبقه‌بندی ضرایب spi

شاخص SPI	طبقه
$2 \leq$	ترسالی بسیار شدید (حاد)
$1/5 \leq SPI < 1/99$	ترسالی شدید
$1 \leq SPI < 1/49$	ترسالی متوسط
$-0/99 \leq SPI < 0/99$	تقریباً نرمال
$-1 \leq SPI < -1/49$	خشکسالی متوسط (ملایم)
$-1/5 \leq SPI < -1/99$	خشکسالی شدید
≤ -2	خشکسالی بسیار شدید (حاد)

4- تحلیل و تفسیر نتایج

در این بخش به تحلیل و تفسیر تغییرپذیری پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI نسبت به داده‌های ارتفاعی و نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی میزان همبستگی این پارامترها با داده‌های ارتفاعی منطقه پرداخته شده‌است و پس از تحلیل داده‌های شاخص گیاهی NDVI و بررسی پدیده خشکسالی از داده‌های ماهانه بارش CHIRPS نیز برای محاسبه شاخص SPI سالانه و بررسی پدیده خشکسالی استفاده گردید.

برای آشکار سازی تغییرات اقلیمی از جمله پدیده خشکسالی می‌باشند.

با اینکار پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI نسبت به سطح‌های مختلف ارتفاعی دسته‌بندی گردید و تغییرات این پارامترها در ارتفاعات مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

3-3- بررسی ارتباط پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی با نقشه کاربری اراضی منطقه

تصاویر سنجش‌ازدور دارای قابلیت نمایش و ارایه‌ی طبقات پوشش زمین هستند. با استفاده از قابلیت داده‌های چند طیفی سنجش‌ازدور به شکل رقومی و توسعه‌ی فرایند پردازش تصاویر رقومی، امکان تحلیل پوشش و کاربری اراضی در سنجش‌ازدور فراهم می‌شود. در حال حاضر استخراج درصد هریک از کاربری‌ها اعم از اراضی کشاورزی، باغی، اراضی غیرقابل کشت مسکونی، اراضی دارای محدودیت توسعه و برونزدهای سنگی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا و هزینه‌ی پایین امکان‌پذیر است [28].

ابتدا پیکسل سائز نقشه کاربری اراضی به پیکسل سائز پارامترهای فنولوژی شاخص گیاهی تغییر یافت سپس در نرم‌افزار متلب پس از فراخوانی دو مجموعه داده (نقشه کاربری اراضی و پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی) به دسته‌بندی پارامترهای فنولوژیکی براساس نقشه کاربری اراضی پرداخته شد.

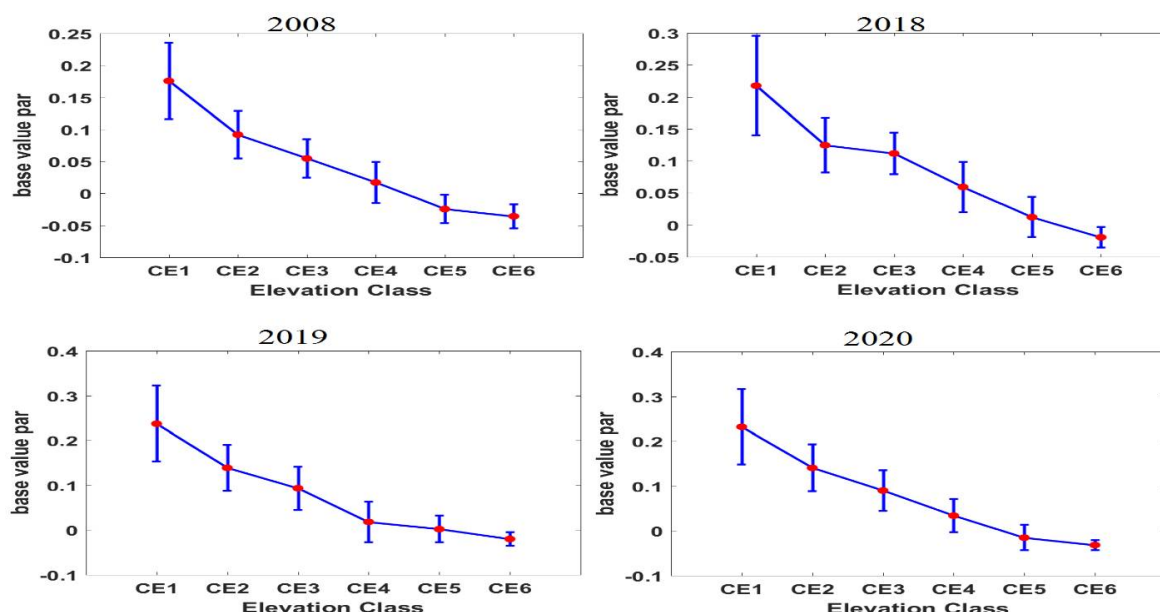
3-4- استخراج شاخص استاندارد شده بارش (SPI) از روی داده‌های بارشی رستری CHIRPS

اصلی‌ترین علت وقوع خشکسالی و کاهش پوشش گیاهی در یک منطقه کاهش میزان بارندگی در آن منطقه می‌باشد، از این جهت بسیاری از تعاریف پدیده خشکسالی براساس عامل کاهش بارندگی بیان شده‌است. کاهش بارندگی نسبت به متوسط آن در یک دوره باعث ایجاد خسارت‌ها و آسیب‌های زیادی در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی، اقتصادی و ... می‌شود [29]. امروزه شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در بسیاری از امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان جهت پایش خشکسالی استفاده می‌گردد. این شاخص به علت استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی

1-4- تحلیل نمودارهای مربوط به ارتباط پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی با داده ارتفاعی منطقه

در شکل 5 تغییرپذیری پارامتر مقدار پایه در ارتفاعات مختلف در سال‌های 2008، 2018 تا 2020 نشان داده شده‌است، محور افقی نمودار نشان‌دهنده کلاس‌های ارتفاعی و محور عمودی بازه ارتفاعی را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌گردد نمودار مقادیر پایه با افزایش ارتفاع بصورت نزولی کاهش یافته‌است و دامنه تغییرات این پارامتر برای سال

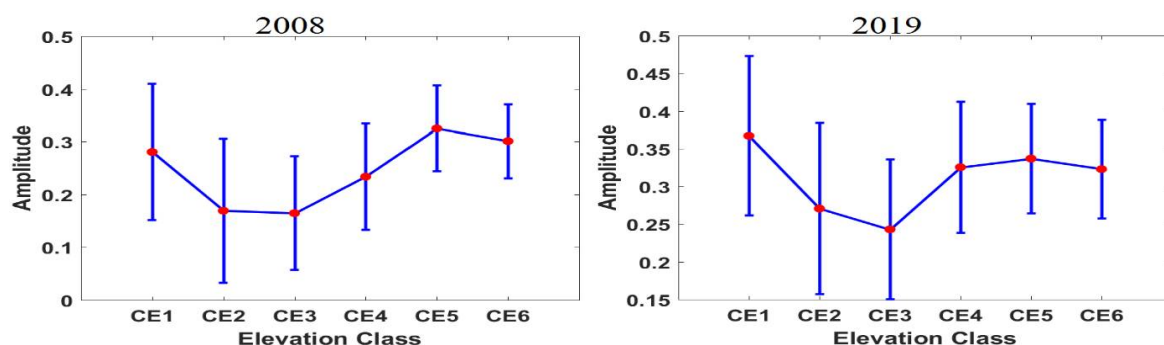
2008 کمترین مقدار را داشته و بازه تغییرات آن بین 0/05- تا 0/24 متغیر می‌باشد و بیشترین دامنه تغییرات مقادیر پایه متعلق به سال‌های 2018 تا 2020 می‌باشد. دلیل این تغییرات هم می‌توان به دما اشاره کرد، زیرا در ارتفاعات بالاتر دما بعنوان یک عامل محدود کننده رشد گیاه شناسایی شده‌است. یعنی با افزایش ارتفاع دما کاهش یافته و پارامتر فنولوژی مقدار پایه نیز کاهش یافته‌است که کمترین و بیشترین دامنه مقادیر این پارامتر به ترتیب متعلق به سال 2008 و 2019 می‌باشد.



شکل 5- نمودارهای مربوط به پارامتر مقدار پایه برای سال‌های 2008 و 2018 تا 2020

تغییرپذیری پارامتر دامنه نسبت به ارتفاعات مختلف در شکل 6 نشان داده شده‌است. دامنه رشد پوشش گیاهی در واقع تفاوت میان ماکزیمم NDVI و میزان NDVI در آغاز فصل رشد گیاه می‌باشد. بیشترین مقدار دامنه متعلق به کلاس اول ارتفاعی یعنی مناطق پست تر و معتدل تر از

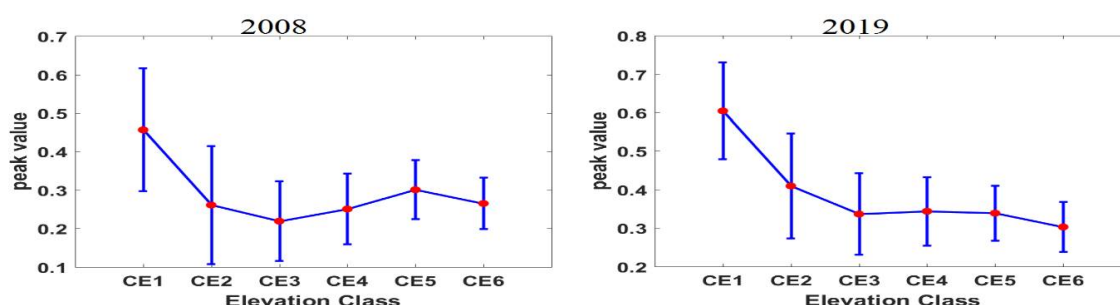
لحاظ دما می‌باشد و با افزایش ارتفاع مقادیر دامنه در مناطق سردتر کاهش یافته‌است و در اینجا نمودار مربوط به کمترین و بیشترین مقدار دامنه نشان داده شده‌است که میزان تغییرات مقادیر دامنه برای سال 2008 بین 0/01 تا 0/42 و برای سال 2019 بین 0/15 تا 0/48 متغیر می‌باشد.



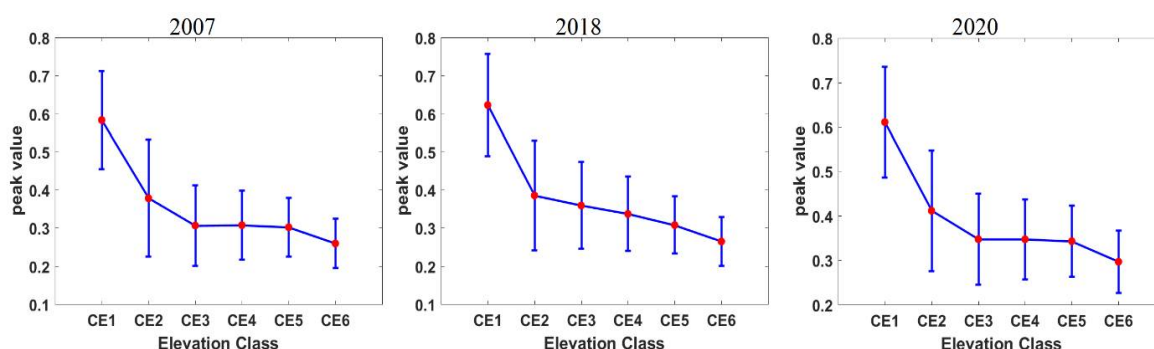
شکل 6- نمودارهای مربوط به پارامتر دامنه برای سال‌های 2008 و 2019

شده است. با توجه به اینکه تغییرات شاخص گیاهی پوشش گیاهی به پارامترهای فنولوژیکی وابسته است می توان نتیجه گرفت که افزایش ماکزیمم NDVI در سال های مذکور دلالت بر ترسالی در این سال ها بوده است و همچنین، مقدار ماکزیمم NDVI کمتر نشان دهنده وقوع خشکسالی در سال 2008 می باشد که با توجه به آمار بارندگی استان همدان می توان به صحت نتایج حاصل از این نمودارها پی برد.

تغییرپذیری پارامتر ماکزیمم NDVI نسبت به ارتفاعات مختلف در شکل 7 و 8 نشان داده است. همانطور که از روی نمودارها پیداست، بیشترین مقدار ماکزیمم NDVI متعلق به سال های 2007 و 2018 تا 2020 با مقادیر بین 0/78 تا 0/2 می باشد و کمترین مقدار ماکزیمم NDVI متعلق به سال 2008 با مقادیر 0/64 تا 0/1 می باشد که کمترین و بیشترین مقدار پارامتر ماکزیمم NDVI به ترتیب متعلق به سال های 2008 و 2019 می باشد که در شکل 7 نشان داده



شکل 7- نمودارهای مربوط به پارامتر ماکزیمم NDVI در سال های 2008 و 2019



شکل 8- نمودارهای مربوط به پارامتر ماکزیمم NDVI در سال های 2007، 2018 و 2020

جدول 2- RMSE و همبستگی پارامترهای فنولوژیکی با مدل رقومی ارتفاعی منطقه

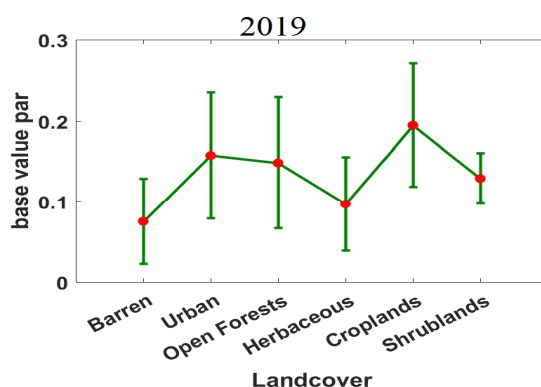
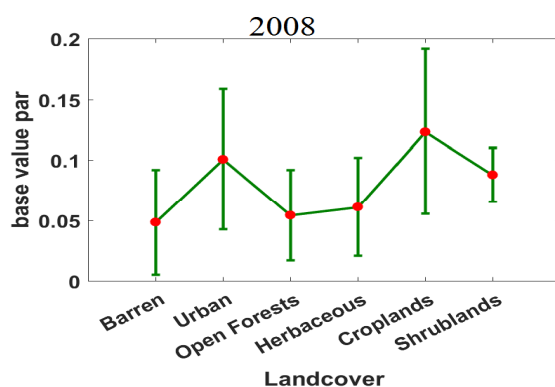
پارامترهای فنولوژیکی	میانگین RMSE	میانگین R2
مقادیر پایه	0/0214	0/925
ماکزیمم NDVI	0/074	0/53
دامنه فصل رشد	0/058	-0/083

رقومی ارتفاعی منطقه بالا بوده و بیشترین همبستگی بین پارامتر مقادیر پایه با داده های ارتفاعی می باشد و مقدار خطای RMSE هم 0/0214 بدست آمده است.

در جدول 2 مقادیر میانگین RMSE و ضریب همبستگی پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI با کلاس های مختلف ارتفاعی منطقه آورده شده است. همانطور که مشاهده می کنید ضریب همبستگی این پارامترها با مدل

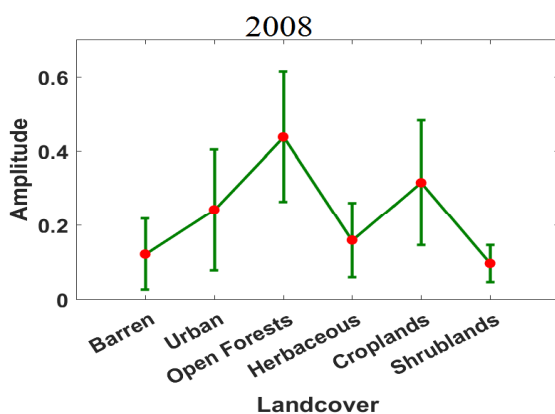
2-4- تحلیل نمودارهای مربوط به ارتباط پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی با نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

در این مرحله به تفسیر تغییرپذیری پارامترهای مقدار پایه، ماکزیمم NDVI و پارامتر دامنه فصل رشد نسبت به پوشش‌های مختلف زمین در طی سال‌های 2008 و 2019 که به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر را شامل شده پرداخته شده‌است. برای اینکار از محصول MOD12Q1.006 MODIS Landcover باند LC-prop2 500 متر برای سال 2017 استفاده گردید که شامل 11 کلاس کاربری اراضی می‌باشد که منطقه مورد مطالعه ما فقط متشکل از 6 کلاس کاربری اراضی از میان این 11 کلاس می‌باشد و کلاس‌های کاربری اراضی شامل زمین بایر (Barren)، زمین‌های شهری و ساختمان

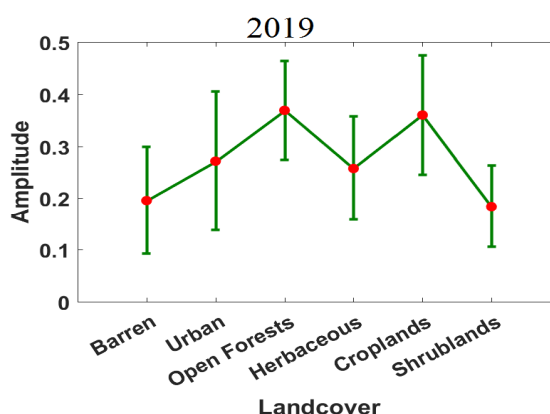


شکل 9- نمودارهای مربوط به پارامتر مقدار پایه در کاربری اراضی مختلف در سال‌های 2008 و 2019

تغییرات در بازه 0/01 تا 0/4 بوده‌است. در سال 2019 هم کمترین دامنه متعلق به زمین‌های بایر و بوته‌زارها و بیشترین دامنه متعلق به زمین‌های زراعی/علفی و جنگل‌های باز می‌باشد، دامنه مقادیر هم بین 0/09 تا 0/5 متغیر می‌باشد.

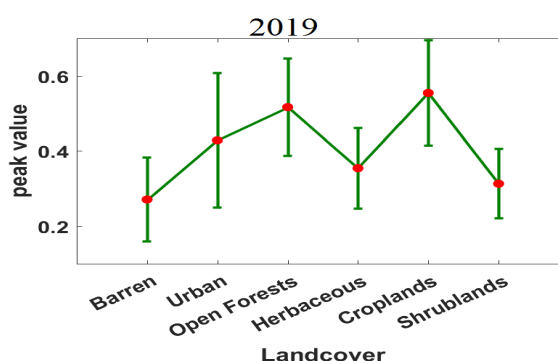
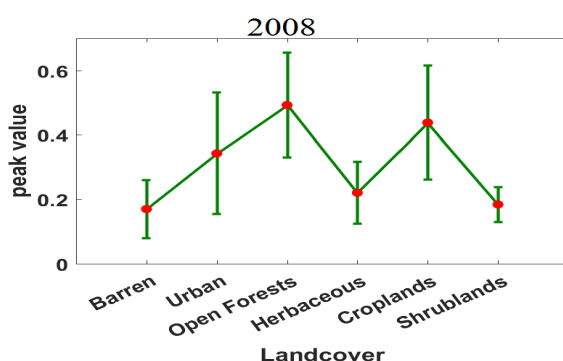


در شکل 10 تغییرپذیری پارامتر دامنه نسبت به پوشش‌های زمین در سال 2008 و 2019 نشان داده شده‌است، همانطور که از روی نمودار پیداست در سال 2008 کمترین دامنه متعلق به بوته‌زارها و بیشترین دامنه متعلق به جنگل‌های باز با مقادیر بین 0/01 تا 0/6 می‌باشد که بیشتر



شکل 10- نمودارهای مربوط به پارامتر دامنه در کاربری اراضی مختلف در سال‌های 2008 و 2019

زراعی/علفی می‌باشد و دامنه مقادیر بین 0/0/15 تا 0/7 متغیر می‌باشند، دامنه مقادیر ماکزیمم برای سال 2019 نسبت به سال 2008 بیشتر است، یعنی در این سال پوشش گیاهی به نسبت سال 2008 افزایش داشته‌است و می‌توان به این نتیجه رسید که در سال 2019 ترسالی بسیار شدید در سطح منطقه اتفاق افتاده‌است.



شکل 11- نمودارهای مربوط به پارامتر ماکزیمم NDVI در کاربری اراضی مختلف در سال‌های 2008 و 2019

60/246 میلیمتر، 81/961 میلیمتر، 40/034 میلیمتر،
58/049 میلیمتر، 52/722 میلیمتر، 48/380 میلیمتر،
52/550 میلیمتر، 47/381 میلیمتر، 51/464 میلیمتر،
43/196 میلیمتر، 58/182 میلیمتر، 54/53 میلیمتر،
73/894 میلیمتر، 93/951 میلیمتر و 64/803 میلیمتر.

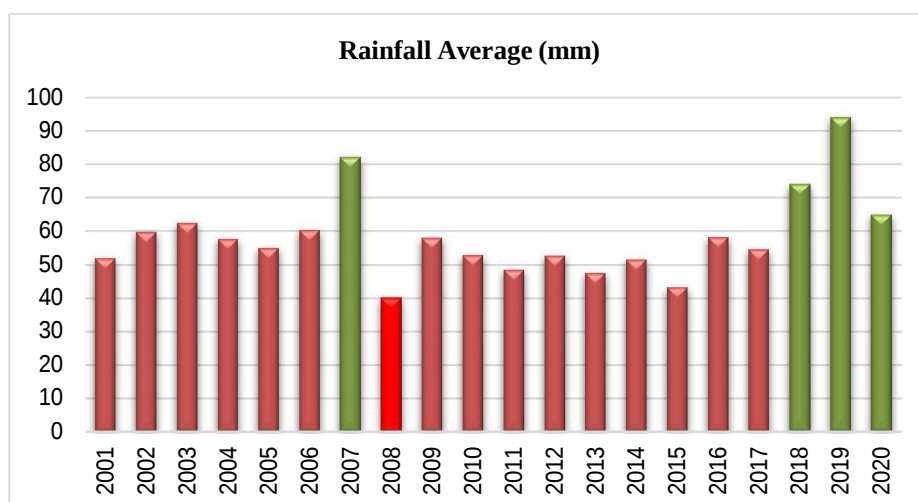
همانطور که در شکل 12 مشاهده می‌گردد، میانگین بارش سالانه در سال 2008 کمتر از سایر سال‌ها می‌باشد و در مقابل حداکثر میانگین بارش در سال‌های 2007، 2018 تا 2020 بیشتر از سایر سال‌ها می‌باشد.

در شکل 11 تغییرپذیری مقادیر ماکزیمم NDVI نسبت به پوشش‌های اراضی منطقه در سال‌های 2008 و 2019 نشان داده شده‌است، در سال 2008 کمترین و بیشترین مقادیر ماکزیمم NDVI به ترتیب متعلق به پوشش‌های بایر و جنگل‌های باز می‌باشد، دامنه مقادیر بین 0/05 تا 0/67 متغیر می‌باشد. در سال 2019 کمترین و بیشترین ماکزیمم NDVI به ترتیب متعلق به پوشش‌های بایر و زمین‌های

3-4- تحلیل داده‌های بارش و شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و ارتباط آن با تغییرات پارامترهای فنولوژی شاخص گیاهی NDVI

3-4-1- تحلیل داده‌های بارش

در سال‌های 2001 تا 2020 حداکثر میانگین بارش به ترتیب برابر است با 51/760 میلیمتر، 59/605 میلیمتر، 62/294 میلیمتر، 57/677 میلیمتر، 54/917 میلیمتر،

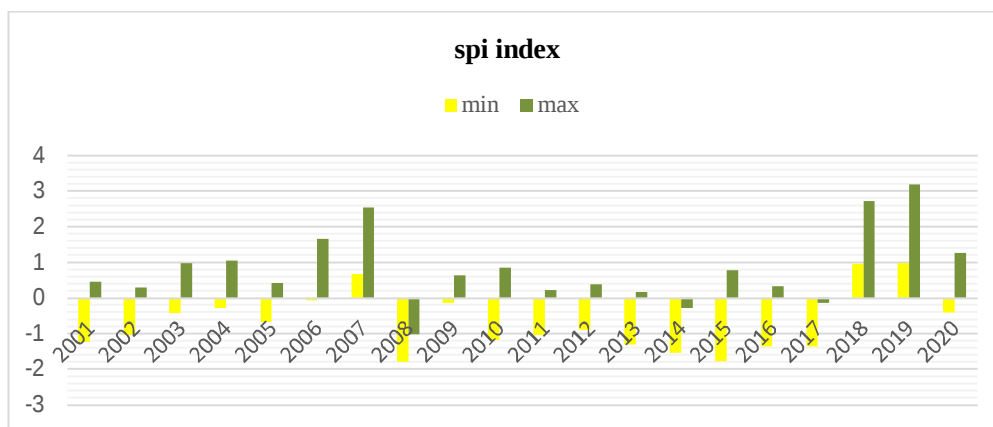


شکل 12- حداکثر میانگین بارش سالانه داده‌های بارش رستری

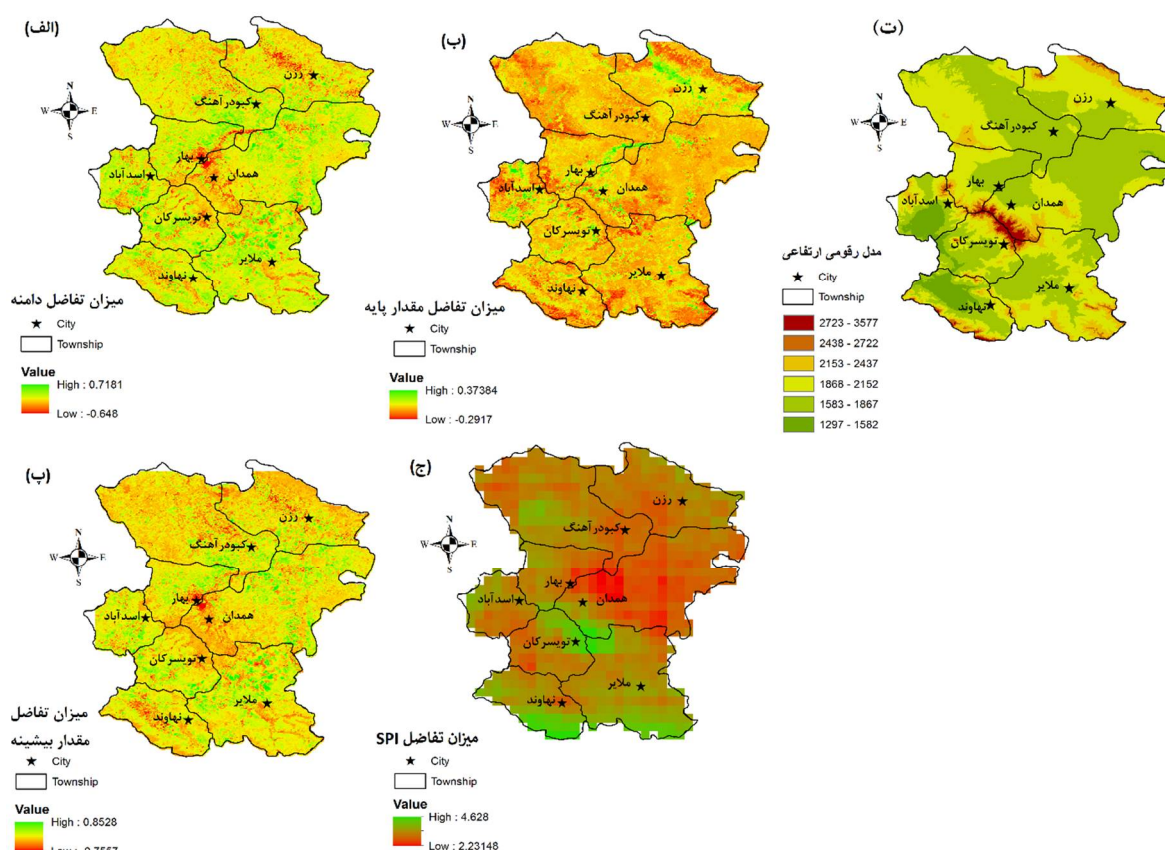
4-3-2- محاسبه شاخص SPI سالانه

شکل 13. SPI سالانه را در بازه‌ی زمانی 20 ساله در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. حال با توجه به مقادیر گزارش شده در شکل می‌توان نتیجه گرفت که سال‌های 2001

تا 2006، 2009 تا 2012 تقریباً نرمال هستند، سال 2007، 2018 تا 2020 ترسالی بسیار شدید و سال 2008 خشکسالی متوسط اتفاق افتاده است. همچنین، در سال‌های 2014، 2015 و 2017 هم خشکسالی خفیف صورت گرفته است.



شکل 13- مقادیر شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در بازه زمانی مربوطه



شکل 14- میزان تفاضل مقادیر پارامتر دامنه، مقدار پایه، بیشینه NDVI و شاخص SPI در سال‌های 2008 و 2019 و مدل رقومی ارتفاعی منطقه

نشان داده شده است. همانطور که در شکل ت که مربوط به مدل رقومی ارتفاعی منطقه است نشان داده است که مناطق

در شکل 14 ارتباط بین پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI با شاخص SPI و مدل رقومی ارتفاعی منطقه

جتوب و جنوب غربی استان همدان و قسمت جزئی از شمال تویسرکان و جنوب بهار که با لکه قهوه‌ای رنگ نشان داده شده بالاترین ارتفاعات را در سطح منطقه شامل شده‌اند که این نواحی در شکل ج صورت لکه سبز رنگ نشان داده شده‌اند که نشان‌دهنده میزان SPI بالا در سال 2019 نسبت به سال 2008 می‌باشد که به نحوی بیانگر این موضوع است که در ارتفاعات بالاتر میزان بارش بیشتر بوده‌است. از بررسی ارتباط پارامترهای فنولوژی نسبت به شاخص SPI هم این نتیجه حاصل شد که دو شکل مربوط به دامنه و ماکزیمم NDVI دقیقاً مانند هم بوده و در شرق شهرستان بهار و غرب همدان لکه قرمز نشان‌دهنده پایین بودن این مقادیر بوده که دقیقاً این نواحی در شکل مربوط به تفاضل SPI هم به رنگ قرمز نشان داده شده‌است که در اینجا هم نشان‌دهنده پایین بودن تفاضل SPI می‌باشد، یعنی در جایی که مقادیر پارامترهای فنولوژی کمتر از نواحی دیگر بوده به تبع مقدار SPI هم مقدار منفی و پایینی بوده‌است که این نشان‌دهنده پایین بودن مقدار SPI در سال 2008 نسبت به سال 2019 می‌باشد. همانطور که از شکل مربوط به مقادیر پایه می‌بینید روند خاصی بین پارامتر دامنه با تفاضل SPI وجود نداشته و در بیشتر نواحی بصورت پراکنده مقادیر تغییر کرده‌است.

5- نتیجه

مهم‌ترین راه‌های اساسی جهت بررسی خشکسالی و تاثیر مخرب آن، پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از علم سنجش‌ازدور و محاسبه شاخص‌های خشکسالی است. در این تحقیق که با هدف تحلیل اثر خشکسالی بر روی پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی صورت گرفت، از فن‌آوری سنجش‌ازدور برای بررسی تاثیر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی (پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI) استفاده شد. در نتیجه، از تصاویر شاخص گیاهی NDVI سنجنده مادیس برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه طی دوره 20 ساله (2001-2020) استفاده شد، همچنین،

مراجع

- [1] Mohammadi Shaygani, A. and Asmaili, A. (2014), "Evaluation of agricultural drought using satellite images, combined indices and meteorological data (study area: Kermanshah province)". The first national conference on geospatial information technology engineering.

برای بررسی خشکسالی در سطح منطقه از داده‌های بارش رستری ماهانه CHIRPS و محاسبه شاخص استاندارد شده بارش (SPI) از روی این داده‌ها پرداخته شد. نتایجی که از این تحقیق بدست آمده‌است بطور کلی بیانگر وقوع خشکسالی در سال 2008 می‌باشد. همانطور که با بررسی تغییرپذیری پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI در ارتفاعات مختلف و پوشش‌های اراضی متفاوت مشاهده گردید که در سال 2008 نسبت به سایر سال‌ها پارامترهای فنولوژیکی، ماکزیمم NDVI و مقادیر پایه و دامنه در ارتفاعات مختلف و اراضی مختلف کاهش یافته‌است و از طرف دیگر با توجه به داده‌های بارش در طی دوره آماری 20 ساله میانگین بارش سالانه در این سال نسبت به سایر سال‌ها کاهش چشمگیری داشته و با توجه به محاسبه شاخص SPI سالانه و مقدار آن مشاهده گردید که در سال 2008 خشکسالی متوسط در سطح منطقه رخ داده‌است و در مقابل، با توجه به داده‌های بارش و بررسی پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI در سال‌های 2007 و 2018 تا 2020 نسبت به سایر سال‌ها از میانگین بارش و ماکزیمم NDVI بیشتری برخوردار بوده و در این سال‌ها با توجه به محاسبه شاخص SPI و مقادیر آن ترسالی بسیار شدید اتفاق افتاده‌است و بغیر از این سال‌ها، مابقی سال‌ها در این بازه زمانی تغییرات نزدیک به هم داشته و از روی نتایج بدست‌آمده می‌توان به این نتیجه رسید که سال‌های مرطوب و خشکسالی خیلی خفیف در سطح منطقه رخ داده‌است. همچنین، از بررسی میزان همبستگی پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی NDVI با مدل رقومی ارتفاعی مشخص گردید که پارامتر مقادیر پایه با مقدار 0/925 بالاترین میزان همبستگی را با داده‌های ارتفاعی منطقه داشته و میزان RMSE آن برابر با 0/021 بوده‌است. درنهایت، می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی بر روی پارامترهای فنولوژیکی شاخص گیاهی اثر مستقیم داشته و می‌توان با استفاده از علم سنجش‌ازدور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، خشکسالی را با دقت بالا و هزینه کم در مناطق مختلف و زمان‌های مختلف در بازه زمانی کوتاه پایش و بررسی نمود.

- [2] Nguyen, L. B., Li, Q. F., Ngoc, T. A., & Hiramatsu, K. (2015), "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Drought Forecasting in the Cai River Basin in Vietnam". *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 60(2), 405.
- [3] Mostafa Dasturani, Abbas Ali Vali, Sepehr, Adel, and Chooghi Bayram Kamkani. (2014), "Investigating the effect of drought on vegetation using MODIS sensor in Razavi Khorasan". *Desert ecosystem engineering*, 4.
- [4] Mirmousavi, Seyed Hossein and Karimi, Hamideh. (2012), "Studying the effect of drought on vegetation using MODIS sensor images, case: Kurdistan province".
- [5] Mbatha, N., & Xulu, S. (2018), "Time Series Analysis of MODIS-Derived NDVI for the Hluhluwe-Imfolozi Park, South Africa: Impact of Recent Intense Drought". *Climate*, 6(4), 95.
- [6] Hayes, M.J. (2000), "Drought Indices, National Drought Mitigation Center", www.Drought.unl.edu
- [7] Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C., Gao, F., ... & Huete, A. (2003), "Monitoring vegetation phenology using MODIS". *Remote sensing of environment*, 84(3), 471-475.
- [8] Vicente-Serrano, S. M. (2007), "Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region". *Natural Hazards*, 40(1), 173-208.
- [9] Lesica, P. & Kittelson, P.M. (2010), "Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in semi-arid grassland". *Journal of Arid Environments*, 74:1013-1017.
- [10] Butt, B., Turner, M.D., Singh, A. and Brottem, L. (2011), "Use of MODIS NDVI to evaluate changing latitudinal gradients of rangeland phenology in Sudano-Sahelian West Africa".
- [11] Ivits, E., M. Cherlet., G. Tóth., S. Sommer., W. Mehl., J. Vogt & F. Micale, (2012), "Combining satellite derived phenology with climate data z for climate change impact assessment". *Global and Planetary Change*, 88-89: 85-97.
- [12] Senf, C., Pflugmacher, D., Van Der Linden, S., & Hostert, P. (2013), "Mapping rubber plantations and natural forests in Xishuangbanna (Southwest China) using multi-spectral phenological metrics from MODIS time series". *Remote Sensing*, 5(6), 2795-2812.
- [13] Jia, K., Liang, S., Wei, X., Yao, Y., Su, Y., Jiang, B., & Wang, X. (2014), "Land cover classification of Landsat data with phenological features extracted from time series MODIS NDVI data". *Remote sensing*, 6(11), 11518-11532.
- [14] Tang, H., Li, Z., Zhu, Z., Chen, B., Zhang, B. and Xin, X. (2015), "Variability and climate change trend in vegetation phenology of recent decades in the Greater Khingan Mountain area, Northeastern China". *Remote sensing*, 7(9), pp.11914-11932.
- [15] Yaghmaei, L., S. Soltani., R. Jafari., H. Bashari & H. Jahanbazi, (2017), "An investigation on impact of drought on rangeland and forest vegetation changes in Chaharmahal & Bakhtiari province using MODIS satellite data". *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 15(1): 91-108.
- [16] Karami, M., B. U. Hansen., A. Westergaard-Nielsen., J. Abermann., M. Lund., N.M. Schmidt & B. Elberling, (2017), "Vegetation phenology gradients along the west and east coasts of Greenland from 2001 to 2015". *Ambio*, 46(1): 94-105.
- [17] Luo, Z., & Yu, S. (2017), "Spatiotemporal variability of land surface phenology in China from 2001-2014". *Remote Sensing*, 9(1), 65.
- [18] Malairi, F., D. Ashurlo, A. Shakiba, A. A. Matkan and H. agate (2017), "Investigating the effects of climate change on vegetation phenology using time series of AVHRR data". *Journal of Ecological Agriculture* 8(2): 117-98.
- [19] Zhang, Q., Kong, D., Shi, P., Singh, V. P., & Sun, P. (2018), "Vegetation phenology on the Qinghai-Tibetan Plateau and its response to climate change (1982–2013)". *Agricultural and forest meteorology*, 248, 408-417.

- [20] Mo, Y., Chen, S., Jin, J., Lu, X., & Jiang, H. (2019), "Temporal and spatial dynamics of phenology along the North-South Transect of Northeast Asia". *International Journal of Remote Sensing*, 1-19.
- [21] Lebrini, Y., Boudhar, A., Hadria, R., Lionboui, H., Elmansouri, L., Arrach, R, & Benabdelouahab, T. (2019), "Identifying agricultural systems using SVM classification approach based on phenological metrics in a semi-arid region of Morocco". *Earth Systems and Environment*, 3(2), 277-288.
- [22] Gholamnia, M., Khandan, R., Bonafoni, S., & Sadeghi, A. (2019), "Spatiotemporal Analysis of MODIS NDVI in the Semi-Arid Region of Kurdistan (Iran)". *Remote Sensing*, 11(14), 1723.
- [23] West, H., Quinn, N., & Horswell, M. (2019), "Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities". *Remote Sensing of Environment*, 232, 111291.
- [24] Zhang, X and Zhang, B. (2019), "The responses of natural vegetation dynamics to drought during the growing season across China". *Journal of Hydrology*, 706-714.
- [25] Jönsson, P. and Eklundh, L. (2004), "TIMESAT - a program for analysing time-series of satellite sensor data, *Computers and Geosciences*", 30, 833-845.
- [26] Haddadi, Farzaneh. Ashurlo, Davod. Shakiba, Alireza. Metkan, Ali Akbar. (2018), "The effect of climate change on the vegetation phenology of Urmia Lake basin using time series of NOAA-AVHRR images", 6th regional climate change conference.
- [27] Jönsson, P. and Eklundh, L. (2004), "TIMESAT - a program for analysing time-series of satellite sensor data, *Computers and Geosciences*", 30, 833-845.
- [28] Joyzadeh, S. Qamarzadeh, M. Brahimi, M. Shamsabadi, A. (2016), "ENVI practical training book (introductory and advanced)", Kian University Press.
- [29] Nasirizadeh, S. (2016), "Investigating the effect of drought on vegetation in the Middle Zagros region using MODIS satellite data", Master's Thesis, Faculty of Literature and Human Sciences.
- [30] Mckee, T.B. Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993), "The relationship of drought frequency and duration to time scale". *Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology American Meteorological Society*, 179-184.