

## تعیین ارتباط بین نوسانات تولید گونه‌های مرتعی با خشکسالی به منظور پیش‌بینی تولید با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی

- ❖ **خالد اوسطی\***؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران و عضو گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان، سنندج، ایران.
- ❖ **حامد جنیدی**؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران و عضو گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان، سنندج، ایران.
- ❖ **ناهید عزیزی**؛ فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مرتعداری از گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

### چکیده

پیش‌بینی عملکرد گونه‌های مرتعی، یکی از ابزارهای کارا در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری منابع طبیعی هر کشور است. متغیرهای آب و هوایی از جمله بارش و دما، نقش مهمی در پیش‌بینی تولید گونه‌های مرتعی دارند. در این تحقیق، به منظور تعیین اثرات خشکسالی بر تولید گونه‌های گیاهی شاخص مراتع قوشه استان سمنان، اندازه‌گیری تولید گونه‌های شاخص منطقه در ۳۰ پلات دو متر مربعی واقع بر دو تراز نسک به روش قطع و توزین و در یک دوره ده ساله (بین سال‌های آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۴-۱۳۹۳) انجام شد. در مرحله بعد، ضمن محاسبه چندین شاخص خشکسالی و بررسی ارتباط بین مقادیر تولید گونه‌های مرتعی و مقادیر شاخص‌های خشکسالی، مدل پیش‌بینی تولید در منطقه مورد بررسی بر اساس مقادیر شاخص‌های خشکسالی مد نظر قرار گرفت. بر اساس مقادیر شاخص‌های خشکسالی SIAP، PNPI و Z-Score، در دوره ده ساله مورد بررسی، چندین دوره ترسالی و خشکسالی حادث شده است. بررسی روابط بین مقادیر تولید و شاخص‌های خشکسالی نشان داد که بهترین مدل خطی یک متغیره ارائه شده برای تولید کل، مربوط به شاخص‌های SIAP و Z-Score با  $RRMSE = 0/1$  بود که ۵۳ درصد تغییرات تولید را در سطح اعتماد ۹۵ درصد توجیه نمودند. اثر دوره‌های خشکسالی و ترسالی بر مقادیر و تولید گونه‌های مورد بررسی متفاوت بوده است، به طوری که نوسانات سالانه تولید برای گونه‌های یکساله بسیار شدید (بین ۱ تا ۱۱ درصد تولید کل سالانه) و برای گونه‌های چندساله و درختچه‌ای بسیار ناچیز بوده است. حساسیت گونه‌ها به نوسانات سالانه بارش و دوره‌های خشکسالی، ارتباط نزدیکی با ساختار و عمق ریشه‌دوانی گونه‌ها دارد. با توجه به نتایج این تحقیق، گونه‌های *Stipa barbata*، *Zygophyllum eurypterum* و *Ephedra intermedia* و *Artemisia sieberi* به عنوان گونه‌های پیشنهادی در اصلاح و احیاء مراتع مورد مطالعه توصیه می‌شوند.

**کلید واژگان:** بارش، تولید مراتع، رگرسیون خطی یک متغیره، شاخص‌های خشکسالی، SIAP، Z-Score

## ۱. مقدمه

شناخت روند تغییرات یک اکوسیستم و عوامل مؤثر بر تولید آن، پیش‌زمینه اصلی درک فرآیندها و مدیریت بهینه آن اکوسیستم به شمار می‌رود. بنابراین در راستای تدوین طرح‌های حفاظت از مناطق مختلف، پایش خشکسالی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت محسوب می‌گردد [۸]، از این رو استفاده از راهبردهای مدیریت خشکسالی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است [۵].

پدیده خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است و تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد با این تفاوت که مشخصات آن از یک منطقه به منطقه دیگر متغیر است. ایران طی سال‌های اخیر با خشکسالی‌های متعددی روبه‌رو شده است که گاه خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر منابع طبیعی و جوامع انسانی وارد نموده است [۳۰]. از آن جا که در هنگام رخداد خشکسالی‌ها، تعداد وقایع بارش و حجم بارش به میزان زیادی کاهش می‌یابد، آسیب‌های متعددی به زیست‌بوم‌های طبیعی، به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع، وارد می‌شود. از جمله این آسیب‌ها می‌توان به کاهش تولید علوفه اشاره نمود [۲۶].

مراتع از تیپ‌های مختلف گیاهی تشکیل شده‌اند و دارای گونه‌های متفاوت و متنوعی می‌باشند. هر یک از فرم‌های رویشی، در دوره زمانی خاصی از سال فعال‌اند و تولید معینی دارند [۲۱]. بنابراین بسته به فرم رویشی، سیستم ریشه و همچنین توزیع زمانی و مکانی بارش، واکنش و وابستگی گیاهان به بارش متفاوت خواهد بود. نوسان تولید سالانه، امکان محاسبه ظرفیت چرای ثابت و دائمی را در مراتع با مشکل مواجه می‌سازد [۲۷]. در این راستا و با توجه به در دسترس بودن اطلاعات هواشناسی (بارش) و امکان محاسبه شاخص‌های خشکسالی، چنانچه به طریقی تأثیر سال‌های با خشکی غیرم‌تعارف (خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید) بر تولید مراتع مورد ارزیابی و پیش‌بینی قرار گیرد، این شناخت به مدیریت بهتر مراتع کمک نموده و مقابله با خشکسالی و کاهش اثرات مخرب آن بر تولید مراتع و جوامع محلی بهره‌بردار

را تسهیل می‌نماید [۱۸].

تحقیقات متعددی در زمینه ارزیابی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی صورت گرفته است. محققان در تحقیقی بیان کردند که نمایه دهک‌های بارندگی (DPI) و نمایه درصد از بارش نرمال (PNPI) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی در ایران دارند [۳۸]. در مطالعه‌ای دیگر بیان شد که اثر خشکسالی بر گونه‌ها و فرم‌های رویشی مختلف، متفاوت است و گندمیان نسبت به فورب‌ها از مقاومت بیشتری نسبت به خشکی برخوردارند. آن‌ها بارندگی فصل رویش را به عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر پوشش و تولید گونه‌های مورد مطالعه معرفی نمودند [۳]. در تحقیقی [۳۳]، نشان دادند که بین میزان تولید مراتع مورد مطالعه با میزان بارش و خشکسالی در بعضی از سال‌ها رابطه معنی‌داری وجود داشته است به طوری که کمترین میزان تولید مراتع مربوط به سال‌های کم باران و هم‌زمان با خشک‌ترین سال‌ها بوده است. [۴]، طی مطالعاتی در مراتع قم به این نتیجه رسیدند که تولید مراتع بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹ که یک دوره خشکسالی بود بیش از ۵۰ درصد کاهش را نشان داد. در مطالعه‌ای دیگر [۱۸]، جهت بررسی ارتباط بین تغییرات تولید مراتع استپی استان اصفهان با نوسانات بارش، از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده نمودند. آن‌ها انطباق و همبستگی بالای بین نوسانات میزان تولید و مقادیر شاخص SPI را گزارش نمودند [۱۸]. در تحقیق دیگر [۲۸]، با بررسی تأثیر بارندگی و خشکسالی بر تولید مراتع ندوشن، بیان داشتند که بر اساس روابط مختلف رگرسیون خطی چند متغیره بین شاخص‌های خشکسالی، بارش و تولید، مقادیر بارش دو ماهه مهر و آبان و بارش چهار ماهه دی تا فروردین، تأثیر زیادی بر میزان تولید داشتند و بیشتر تغییرات تولید را توجیه نمودند. همچنین [۲۹]، به منظور تعیین بهترین رابطه بین تولید با عوامل آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی، از روابط رگرسیونی استفاده کردند. آن‌ها در نهایت با مقایسه روابط مبتنی بر بارندگی، دما، تبخیر و تعرق، شاخص بارش استاندارد و

و *Hilaria mutica* در دوره‌های خشک و مرطوب تفاوت معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان ندادند. آن‌ها دلیل این امر را این‌گونه شرح دادند که وقوع خشکسالی، اثرات مثبت دوره‌ترسالی را خنثی کرده بود و وقوع تابستان‌های خشک طی سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵، بیشترین آسیب را به گیاهان چندساله وارد کرده بود. آن‌ها بیان داشتند که سال‌های مرطوب متوالی سبب کاهش مقاومت گیاه به خشکسالی شده و این امر ممکن است به دلیل تغییر در عمق ریشه گیاهان و نسبت ریشه به ساقه در شرایط ویژه سال‌های مرطوب بوده باشد. [۱۶]، در تحقیقی طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ بیان کردند که خشکسالی در مراتع Great Plains شمالی باعث شده است که رطوبت لایه ۳۰ سانتی‌متر سطحی خاک کاهش یافته و در نتیجه تولید علوفه در حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش پیدا کند. همچنین آن‌ها بیان داشتند که تأثیر خشکسالی‌های بهاره به میزان قابل توجهی بیشتر از وقایع خشکسالی تابستانه بود.

با توجه به تأثیرات بالای نوسانات بارش و وقایع خشکسالی بر میزان تولید مراتع و واکنش متفاوت گونه‌های گیاهی بسته به فرم رویشی، سیستم ریشه، فنولوژی گیاه و خصوصیات محیطی از جمله ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و ... [۳، ۳۲، ۳۴] به دوره‌های خشکسالی و ترسالی، بررسی موردی واکنش گونه‌های متعدد در هر منطقه ضروری می‌باشد. بر این اساس، این تحقیق با هدف تعیین واکنش گونه‌های مختلف پوشش گیاهی سایتی از مراتع اطراف دامغان به وقایع خشکسالی انجام گرفت. بررسی منطقه‌ای اثرات خشکسالی و مدل‌سازی تأثیر آن بر میزان تولید گونه‌های متعدد گیاهی، از منظر مدیریت خشکسالی، تعیین ظرفیت مراتع و شناخت روابط اکوسیستمی حائز اهمیت بالایی می‌باشد. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر پایش تولید شش گونه مهم و گونه‌های یکساله (به صورت جمعی) مراتع قوشه برای اولین بار و در یک دوره زمانی ده ساله انجام شده است.

شاخص شناسایی خشکسالی، بیان داشتند که رابطه به دست آمده بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی، برآورد مناسب‌تری از تولید مرتع را نشان داد (با  $r = 0.969$  و میانگین قدر مطلق خطای نسبی معادل  $0.111$ ). در مطالعه‌ای [۲۴]، طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ در مراتع استپی ایستگاه سه میمه اصفهان انجام دادند. آن‌ها بیان داشتند که با وقوع خشکسالی شدید در سال ۱۳۸۷، تولید گونه‌های مرتعی کاهش قابل توجهی را نشان داد به طوری که تولید علوفه بین  $4/5$  تا حدود  $20$  برابر نسبت به سال‌های با تولید مناسب کاهش یافته بود. [۳۷]، به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر روی درمنه‌زارهای استان اصفهان، روابط بین شاخص‌های بارش استاندارد (SPI)، ناهنجاری بارش (RAI)، درصد از بارش نرمال (PNPI) و معیار بارش سالانه (SIAP) را در بازه‌های زمانی مختلف با تولید مراتع مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین هر چهار شاخص و تولید مرتع مورد بررسی، رابطه‌ای معنی‌داری وجود داشت به طوری که در اکثر موارد، همبستگی بالای  $0.7$  گزارش شد. در تحقیقی دیگر [۱۰]، با بررسی اثر شرایط اقلیمی بر تولید علوفه مراتع در منطقه استپی اخترآباد ساوه نشان دادند که بارندگی فصل رویش به علاوه رطوبت پیشین خاک، نقش اصلی در نوسانات تولید را ایفا نموده و رابطه خطی را بین بارش فصل رویش و بارش پیشین با تولید گزارش نمودند. در مطالعه‌ای دیگر [۳۴]، سال‌های ۸۱-۱۹۸۰ و ۸۹-۱۹۸۳، با بررسی روابط بین بارش سالانه، بارش فصلی (اکتبر-می) با تولید پوشش گیاهی مراتع کویت، مقادیر پوشش گیاهی را بر اساس بارش و با استفاده از مدل رگرسیون خطی برآورد کرد. ایشان در دوره مورد مطالعه، دو دوره خشکسالی را شناسایی نمود که در آن دوره‌ها، تولید گیاهان فورب و علفی کاهش قابل توجهی را نشان داد در حالی که این دوره‌ها بر تولید گونه‌های درختچه‌ای تأثیر قابل توجهی نداشته بود. [۳۲]، طی مطالعه‌ای بر روی داده‌های ۴۸ ساله (۱۹۹۹-۱۹۵۲) مراتع نیممکزیکو بیان داشتند که پوشش گونه‌های *Bouteloua eriopoda*

## ۲. روش شناسی

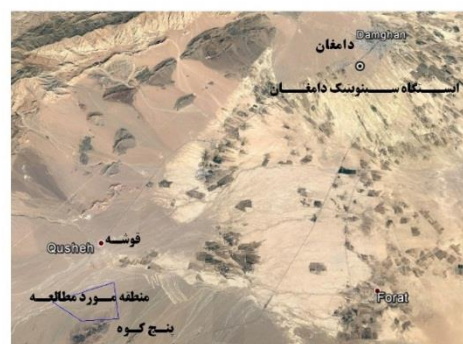
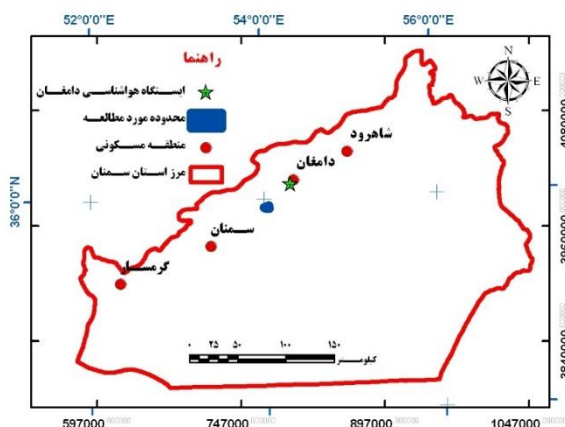
## ۲.۱. مشخصات منطقه مورد مطالعه

سایت مورد مطالعه شامل دشتی هموار در شش کیلومتری جنوب روستای قوشه و در منطقه پنج کوه بین مختصات  $35^{\circ} 54' 17''$  تا  $35^{\circ} 56' 04''$  عرض شمالی و  $54^{\circ} 00' 31''$  تا  $54^{\circ} 03' 56''$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۳۳۰ متر و

مساحت محدوده مورد بررسی حدود ۱۱۴۰ هکتار با متوسط بارش سالیانه ۱۰۹/۲۱ میلی‌متر است. بر اساس روش دومارتن، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم خشک ( $I=3/94$ ) است. توپوگرافی ناحیه مورد مطالعه دشت دامنه‌ای با شیب عمومی ۴ در صد و در جهت شمالی با زهکشی خوب است [۲۰]. گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه همراه با طبقه خوشخوراکی و فرم رویشی آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده‌اند. نوع دام چرا کننده عمدتاً گوسفند بود.

جدول ۱. گونه‌های گیاهی مورد مطالعه

نام گونه گیاهی	طبقه خوشخوراکی	فرم رویشی
<i>Artemisia sieberi</i>	II	بوته‌ای
<i>Ephedra intermedia</i>	II	بوته‌ای
<i>Zygophyllum eurypterum</i>	I	درختچه‌ای
<i>Stipa barbata</i>	I	گراس چندساله
<i>Scariola orientalis</i>	II	علفی چند ساله
<i>Anabasis setifera</i>	III	علفی چندساله
یکساله‌ها	II	یکساله



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان سمنان، ایران

## ۲،۲. روش تحقیق

با در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی و وضعیت پوشش گیاهی منطقه، دو ترانسکت (شامل یک ترانسکت افقی به طول ۲۵۰ متر و یک ترانسکت عمودی به طول ۲۰۰ متر) از سال ۱۳۸۵ در محل استقرار یافت و اندازه‌گیری تولید سالانه گیاهان عرصه به مدت ۱۰ سال (بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴) به روش قطع و توزین انجام گرفت. هر ساله محل ترانسکت‌ها علامت‌گذاری شده و در برداشت سال بعد محل ترانسکت‌ها به موازات طولی چند متر جا به جا شد. از آنجا که اندازه‌گیری تولید سالانه گیاهان به روش قطع و توزین انجام شد، اندازه‌گیری تولید در همان ترانسکت سال قبل ممکن نبود. منطقه مورد پایش تولید که برداشت‌ها در آن انجام گرفت، حدود ۱۱۴۰ هکتار بود که در پایش صحرایی سال اول انتخاب گردید و از نظر وضعیت پوشش گیاهی، خاک، جهت دامنه و شیب شرایط تقریباً مشابه را دارا بود. اندازه‌گیری تولید با برداشت رویش سالانه گیاهان در ۱۵ پلات دو متر مربعی روی هر خط ترانسکت (براساس روش حداقل سطح) و در مجموع در ۳۰ پلات انجام گرفت. جهت تعیین تعداد و ابعاد مناسب پلات‌های نمونه‌برداری از روش ترسیمی استفاده شد [۶، ۲۵]. در هر یک از پلات‌ها، علاوه بر تولید گیاهان یکساله به صورت ترکیبی (گندمیان یکساله)، تولید سالانه در واحد سطح برای شش گونه گیاهی شاخص به تفکیک گونه (جدول ۱) و در زمان مص-ادف ب-ا اوج روی-ش گیاهان (نیمه اول خرداد ماه) اندازه‌گیری شد. علوفه تولیدی پس از خشک کردن در هوای آزاد، توزین و برحسب گرم در متر مربع به صورت جداگانه محاسبه شد. در نهایت میزان علوفه خشک هرگونه بر اساس تناسب بین سطح مورد بررسی و مساحت تعمیمی (در اینجا یک هکتار)، بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. برای محاسبه مقادیر کمی شاخص‌های خشکسالی و تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی، آمار و اطلاعات بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک دامغان در دوره آماری موجود از سازمان هواشناسی کشور تهیه و مورد استفاده

قرار گرفت. دلیل انتخاب ایستگاه دامغان، فاصله کم و تشابه خصوصیات توپوگرافی و اقلیمی بوده است (فاصله ۳۲ کیلومتری با منطقه تحقیق و ارتفاع محل ایستگاه معادل ۱۱۵۵ متر از سطح دریا). در محاسبه مقادیر شاخص‌های خشکسالی، از میانگین داده‌های ۳۰ ساله ایستگاه دامغان استفاده شده است (بین سال‌های ۱۳۶۷-۶۸ تا ۱۳۹۶-۹۷). با این حال و با توجه به پایش ده ساله داده‌های پوشش گیاهی، مقایسه مقادیر شاخص‌های خشکسالی و تولید صرفاً در سال‌هایی امکان‌پذیر بود که داده‌های تولید و بارش موجود بودند. داده‌های اقلیمی ایستگاه دامغان قبل از سال ۱۳۸۰ تحت عنوان ایستگاه کلیماتولوژی و بعد از آن به عنوان سینوپتیک ثبت شده است. قبل از آنالیز داده‌های بارش، کیفیت داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت (نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها و مقادیر باقیمانده براساس آزمون کولموگروف-اسمیرنف، کنترل داده‌های پرت بر اساس آزمون داده پرت انجمن منابع آب آمریکا، همگن بودن واریانس‌ها براساس آزمون لون). سپس مقادیر کمی شاخص‌های درصد از بارش نرمال (PNPI)، شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) و شاخص عدد Z (Z-Score) به منظور پایش خشکسالی محاسبه گردید. مقادیر این شاخص‌ها بر اساس مقادیر بارش و مطابق با توضیحات زیر محاسبه گردید:

## شاخص درصد از بارش نرمال (PNPI)

این شاخص یکی از ساده‌ترین شاخص‌های خشکسالی است. در این شاخص، با داشتن میانگین بلند مدت بارش-به عنوان مبنا - می‌توان تغییرات بارش را نسبت به آن سنجید و محاسبات را برای دوره‌های ماهانه فصلی و سالانه انجام داد. در مقیاس سالانه، مقدار این شاخص از تقسیم بارش سال مورد نظر به میانگین بلند مدت بارش و ضرب کردن آن در عدد ۱۰۰ به دست می‌آید:

$$PNPI = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad \text{معادله ۱}$$

+ نشانگر ترسالی و در محدوده‌های کوچکتر از عدد - نشانگر خشکسالی است. طبقات مختلف این شاخص آماری در جدول (۲) ارائه شده است.

#### شاخص معیار بارش سالانه (SIAP)

بیشتر شاخص‌های خشکسالی برای محیط‌های متفاوت از اقلیم ایران طراحی شده‌اند. از این رو، [۲۲]، به منظور بررسی روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در گستره ایران، طبقات شاخص Z-Score را اصلاح نمود و شاخص معیار بارش سالانه را به صورت زیر ارائه نمود:

$$SIAP = \frac{(P_i - \bar{P})}{SD} \quad \text{معادله ۳}$$

که فرمول محاسبه آن دقیقاً مشابه شاخص Z-Score است اما طبقات آن به شکل متفاوتی تفکیک شده است. حدود مقادیر این شاخص در محدوده‌های بیشتر از عدد ۰/۲۵ + نشانگر ترسالی و در محدوده‌های کوچکتر از عدد ۰/۲۵ - نشانگر خشکسالی است. طبقات مختلف این شاخص در جدول (۲) ارائه شده است.

که در آن  $P_i$  بارش سال آبی،  $\bar{P}$  میانگین بلند مدت بارش است. طبقات مختلف این شاخص در جدول (۲) ارائه شده است. حدود مقادیر این شاخص در محدوده‌های بالاتر از ۱۰۰٪ نشان دهنده ترسالی و در محدوده‌های کمتر از ۱۰۰٪ نشان دهنده خشکسالی است.

#### شاخص Z-Score

یکی از بهترین و در عین حال ساده‌ترین روش‌های تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها، شاخص Z-Score است. این شاخص بر اساس انحراف از میانگین بارش بلند مدت نسبت به انحراف داده‌های بارش بلند مدت محاسبه می‌شود و معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$Z = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad \text{معادله ۲}$$

که در آن  $P_i$  بارش سال،  $\bar{P}$  میانگین بارش بلند مدت و SD انحراف معیار بارش طی دوره آماری بلند مدت است. حدود مقادیر این شاخص در محدوده‌های بیشتر از عدد ۱

جدول ۲. طبقات شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

شاخص SIAP	شاخص PNPI	شاخص Z-Score	طبقات شدت خشکسالی
۰/۲۵ تا +۰/۲۵	۸۰ تا ۱۲۰٪	-۱ تا +۱	نرمال
±۰/۲۵ تا ±۰/۵۲	۷۰ تا ۸۰٪ و ۱۲۰ تا ۱۳۰٪	-	خشکسالی / ترسالی ضعیف
±۰/۵۲ تا ±۰/۸۴	۵۵ تا ۷۰٪ و ۱۳۰ تا ۱۴۵٪	±۱ تا ±۱/۵	خشکسالی / ترسالی متوسط
±۰/۸۴ تا ±۱/۲۸	۴۰ تا ۵۵٪ و ۱۴۵ تا ۱۶۰٪	±۱/۵ تا ±۲	خشکسالی / ترسالی شدید
کمتر / بیشتر از ±۱/۲۸	کمتر از ۴۰٪ و بیشتر از ۱۶۰٪	کمتر / بیشتر از ±۲	خشکسالی / ترسالی بسیار شدید

بود، داده‌های ۸ سال اول برای مدل سازی (کالیبراسیون) و داده‌های دو سال آخر برای اعتبار سنجی کنار گذاشته شدند. براساس داده‌های دوره مدل سازی (هشت سال اول ۱۳۹۲-۱۳۸۵)، روابط رگرسیون خطی یک متغیره به عنوان یک ابزار ریاضی مناسب جهت توصیف کمی ارتباط بین متغیرها ارائه شد. در تحلیل رگرسیون، یک

پس از محاسبه مقادیر شاخص‌های خشکسالی و تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی برای دوره آماری ۱۰ ساله مورد بررسی، همبستگی بین مقادیر تولید و مقادیر شاخص‌های خشکسالی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. همچنین با توجه به این که در کل، داده برداری تولید در ده سال انجام شده

مجدور مربعات خطا را نشان می‌دهد و هر چه مقدار آن کمتر باشد نشان دهنده برآورد بهتر مدل می‌باشد. مقدار RRMSE از تقسیم RMSE به میانگین داده‌های واقعی محاسبه می‌شود. چنانچه این مقدار کمتر از ۱۰ درصد باشد، معرف شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ و ۲۰ درصد معرف شبیه‌سازی خوب، بین ۲۰ و ۳۰ درصد معرف شبیه‌سازی قابل قبول و بیشتر از ۳۰ درصد معرف شبیه‌سازی ضعیف می‌باشد [۱۹] و میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین اختلاف بین داده‌های برآوردی و مشاهده‌ای را نشان می‌دهد که ممکن است منفی یا مثبت باشد. مقادیر منفی و مثبت آن به ترتیب نشان‌دهنده برآورد کمتر و بیشتر از مقدار واقعی می‌باشند [۱۱]. میانگین قدر مطلق خطا مشابه روش حداقل مربعات عمل می‌کند با این تفاوت که از قدر مطلق به جای توان دوم خطای برآورد استفاده می‌شود. فرمول محاسبه این شاخص‌ها به صورت زیر است:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SE_i^2 \quad \text{معادله ۴}$$

$$SE_i = (P_{Ci} - P_{Oi})^2 \quad \text{معادله ۵}$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad \text{معادله ۶}$$

$$RRMSE = \frac{RMSE}{\bar{P}_i} \quad \text{معادله ۷}$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{Ci} - P_{Oi}) \quad \text{معادله ۸}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{Ci} - P_{Oi}| \quad \text{معادله ۹}$$

که در آن‌ها  $SE_i$ : مجموع مربعات خطای بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای،  $n$ : تعداد داده‌ها،  $\bar{P}_i$  میانگین داده‌های مشاهده‌ای،  $P_{Oi}$  مقادیر مشاهده‌ای،  $P_{Ci}$  مقادیر محاسبه‌ای است.

مدل پیش‌بینی کننده را با داده‌های موجود برازش داده و پس از اعتبارسنجی مدل و تأیید نتایج به دست آمده، مقادیر متغیر وابسته از روی متغیر/متغیرهای مستقل مدل انتخابی، پیش‌بینی می‌شوند [۱۳]. لازم به ذکر است که پیش‌فرض‌های لازم برای استفاده از مدل‌های رگرسیون مانند نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها و مقادیر باقیمانده، کنترل داده‌های پرت، همگن بودن واریانس‌ها و معنی‌داری ضرایب رگرسیون از نظر آماری بررسی شد. در نهایت با توجه به دقت مدل‌های انتخابی در برآورد داده‌های دوره کالیبراسیون (مقدار تولید برای دو سال آخر دوره مورد بررسی - یعنی داده‌های تولید خرداد ماه سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ - به عنوان داده‌های کالیبراسیون در مرحله مدل‌سازی استفاده نشدند)، مدل مناسب برای برآورد تولید هر گونه و تولید کل انتخاب گردید و بر اساس مدل‌های نهایی، اثر خشکسالی بر نوسانات مقدار تولید و ترکیب تولید به صورت کمی مشخص گردید.

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده در تخمین و پیش‌بینی تولید، شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارند که در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون ( $R^2$ ) در مرحله کالیبراسیون و از مجدور میانگین مربعات خطا (RMSE)، RRMSE، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) به عنوان معیارهای انتخاب مدل بهینه در مرحله اعتبارسنجی استفاده شد. بهترین حالت برای  $R^2$  زمانی است که مقادیر به دست آمده به یک نزدیکتر باشند. مبنای انتخاب مدل مناسب در مرحله کالیبراسیون، وجود همبستگی معنی‌دار بین متغیر وابسته و متغیر مستقل و برقراری شروط آماری لازم برای معادله رگرسیونی به دست آمده (شروط نرمال بودن داده‌ها و مقادیر باقیمانده، لحاظ نمودن وضعیت همگنی/ غیر همگنی واریانس‌ها و معنی‌داری ضرایب معادله رگرسیونی محاسبه شده) بود. در مرحله اعتبارسنجی مقادیر  $R^2$  استفاده نشد زیرا برای مجموعه‌های داده‌های پیش‌بینی و واقعی با دو عدد، در هر حالتی مقدار  $R^2$  برابر یک خواهد بود. شاخص RMSE

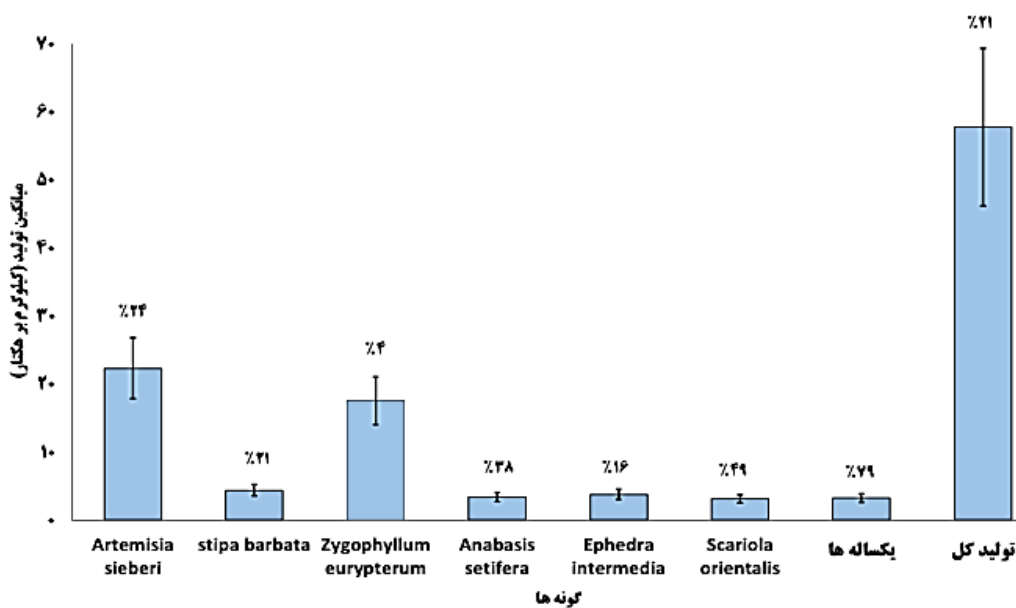
## ۳. نتایج

## ۱.۳. وضعیت تولید گونه‌های گیاهی در دوره

## ده‌ساله مورد بررسی

میزان متوسط تولید کل سالانه گونه‌ها برای دوره ده ساله مورد بررسی ۵۷/۷۱ کیلوگرم در هکتار بوده است. تولید کل سالانه بین ۳۸ تا ۸۲/۱ کیلوگرم در هکتار نوسان داشت به طوری که بیشترین مقدار آن مربوط به سال ۱۳۸۶ و کمترین مقدار آن مربوط به سال ۱۳۹۲ بود. لازم به ذکر است که در چهار سال از ده سال مورد پایش، میزان تولید بیش از میانگین و در شش سال کمتر از میانگین بود. به طور متوسط در دوره ده ساله مورد

بررسی، گونه‌های *A. sieberi* و *E. intermedia* با فرم رویشی بوته‌ای ۴۵ درصد از تولید کل را به خود اختصاص دادند و *Z. eurypterum* به عنوان فرم رویشی درختچه‌ای به میزان ۳۰ درصد در تولید کل نقش داشت. همچنین *S. barbata* با فرم رویشی گراس ۸ درصد و گونه‌های علفی چند ساله شامل *A. setifera* و *S. orientalis* حدود ۱۱ درصد از تولید کل را به خود اختصاص دادند. گونه‌های یک‌ساله با گونه شاخص *S. crassa*، ۶ درصد از تولید کل را شامل می‌شدند. در بین گونه‌های مورد مطالعه، بیشترین درصد از تولید کل مربوط به گونه *A. sieberi* بود. همچنین گونه‌های یک‌ساله نیز بالاترین ضریب تغییرات تولید را نشان دادند (شکل ۱).



شکل ۱. میانگین و ضریب تغییرات (اعداد روی ستون‌ها) تولید گونه‌های مختلف در دوره ده ساله مورد مطالعه (۱۳۸۵-۱۳۹۴)

۰/۲ تا ۸/۷ کیلوگرم در هکتار در نوسان بوده است.

## ۲.۳. ارتباط بین مقادیر شاخص‌های خشکسالی و

## میزان تولید

تغییرات شاخص خشکسالی SIAP بیانگر روند تغییرات بارش و چندین دوره خشکسالی و ترسالی در سال‌های

بررسی عملکرد تولید گونه *A. sieberi* طی بازه زمانی ۱۰ ساله نشان داد که میزان تولید این گونه در سال ۱۳۸۶ بالاترین مقدار و در سال ۱۳۹۲ کمترین مقدار را داشته است و دامنه عملکرد تولید علوفه آن بین ۱۳ تا ۳۳/۴ کیلوگرم در هکتار در نوسان بوده است. همچنین گونه‌های یک‌ساله در سال ۱۳۹۲، کمترین مقدار تولید را به خود اختصاص داده‌اند و دامنه عملکرد تولید علوفه آن‌ها بین



به‌طوری‌که اثرات منفی خشکی این سال بر روی تولید برخی از گونه‌ها در سال‌های بعد از آن نیز (که به نسبت بارش مناسبی نازل شده است) مشاهده می‌شود.

بر اساس شاخص PNPI، در مجموع طی دوره ده ساله مورد بررسی (۹۴-۱۳۸۵)، وضعیتی نرمال با فراوانی ۵ سال در منطقه غالب بوده است (جدول ۳). مقایسه وضعیت خشکسالی/ترسالی با مقادیر تولید نتایجی تقریباً مشابه شاخص SIAP دارد.

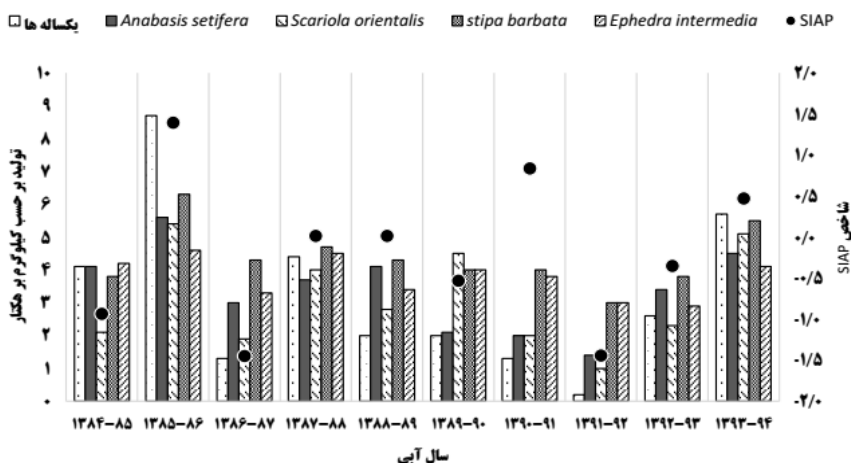
با توجه به تشابه فرمول محاسبه شاخص Z-Score با SIAP، قاعدتاً تغییرات سالانه این شاخص در دوره مورد بررسی روندی مشابه شاخص SIAP دارد. با این حال با توجه به کلاس‌بندی متفاوت شاخص خشکسالی Z-Score، بر اساس این شاخص دو سال با خشکسالی متوسط (سال‌های آبی ۸۷-۱۳۸۶ و ۹۲-۱۳۹۱) و یک ترسالی متوسط (در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵) طی دوره آماری ده ساله رخ داده است و در سال‌های دیگر وضعیت نرمالی در منطقه حاکم بوده است (جدول ۳).

برای بررسی دقیق‌تر رابطه خشکسالی با میزان تولید، همبستگی بین مقادیر تولید و مقادیر شاخص‌های خشکسالی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. با توجه به تشابه فرمول شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی، مقادیر  $R^2$  بین تولید کل (تولید گونه‌ها) و مقادیر شاخص‌ها تقریباً یکسان بود. لذا فقط رابطه بین شاخص SIAP و تولید کل به عنوان نمونه ارائه شده است (شکل ۴). بررسی همبستگی بین مقادیر تولید و مقادیر شاخص‌های خشکسالی، نشان دهنده رابطه مستقیم و معنی‌داری در بیشتر گونه‌ها بود (جدول ۴). بیشترین همبستگی مربوط به گونه گراس چند ساله *S. barbata* با ضریب همبستگی ۰/۷۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد بود. شاخص‌های SIAP، PNPI و Z-Score همبستگی معنی‌داری را با تغییرات تولید کل در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان دادند. البته همبستگی بین تولید گونه *A. setifera* و مقادیر شاخص‌های خشکسالی در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنی‌دار نشد.

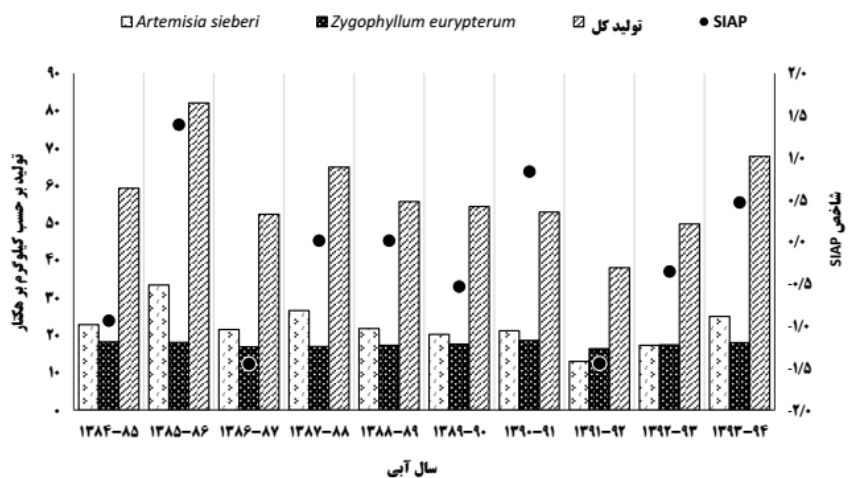
آماري مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۳). بر اساس این شاخص، در پنج سال از ده سال مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه خشکسالی غالب بوده است و در سال‌های آبی ۱۳۹۱-۹۲ و ۸۷-۱۳۸۶ خشکسالی شدید رخ داده است. همچنین دو سال نرمال و سه سال ترسالی اتفاق افتاده است. بارش‌های قابل توجه سال آبی ۱۳۸۵-۸۶، منجر به تغییرات نسبتاً شدیدی در تولید کل و تولید برخی از گونه‌های مورد بررسی شده است. شاخص خشکسالی SIAP یک دوره ترسالی بسیار شدید را برای این سال نشان داد. در سال‌های خشک و کم‌باران (مانند سال‌های آبی ۸۷-۱۳۸۶ و ۹۲-۱۳۹۱)، تولید علوفه مرتع کاهش یافته است. تفاوت تولید در سال‌های خشکسالی و ترسالی در اکثر گونه‌ها قابل ملاحظه است به‌طوری‌که تولید کل در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ حدود ۲/۲ برابر بیشتر از تولید سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ بوده است. در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ خشکسالی شدیدتری نسبت به سال ۱۳۹۱-۹۲ اتفاق افتاده است اما کاهش تولید کمتری را شاهد بودیم که می‌تواند متأثر از توزیع بهتر بارش در این سال و یا اثرات بارش سال‌های قبل از آن باشد. به‌طور کلی با افزایش بارش سالانه و تغییر از خشکسالی به ترسالی، تولید کل و تولید گونه‌ها افزایش یافته است. نوسانات تولید گونه‌های یک‌ساله طی سال‌های خشکسالی و ترسالی بین ۱۱-۱ درصد از تولید کل سالانه بوده است که نشان‌دهنده تأثیر شدید نوسانات بارش بر روی تولید گونه‌های یک‌ساله است (شکل ۲)، به‌طوری‌که میزان تولید گونه‌های یک‌ساله در ترسالی‌ها نسبت به دوره‌های خشکسالی، افزایش چشمگیری داشته است. همچنین گونه‌های *A. setifera* و *S. orientalis* در سال‌های خشکسالی و ترسالی نوسانات تولید زیادی را نشان دادند که این نوسانات متأثر از فرم رویشی و سیستم ریشه‌ای آن‌ها می‌باشد. گونه *Z. eurypterum* کمترین نوسانات تولید را در شرایط خشکسالی و ترسالی نشان داد (شکل ۳). در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ به دلیل خشکسالی بسیار شدیدی که رخ داده است، بیشترین کاهش تولید در اکثر گونه‌ها مشاهده شد

جدول ۳. نتایج پایش خشکسالی براساس سه شاخص PNPI، SIAP، Z-Score.

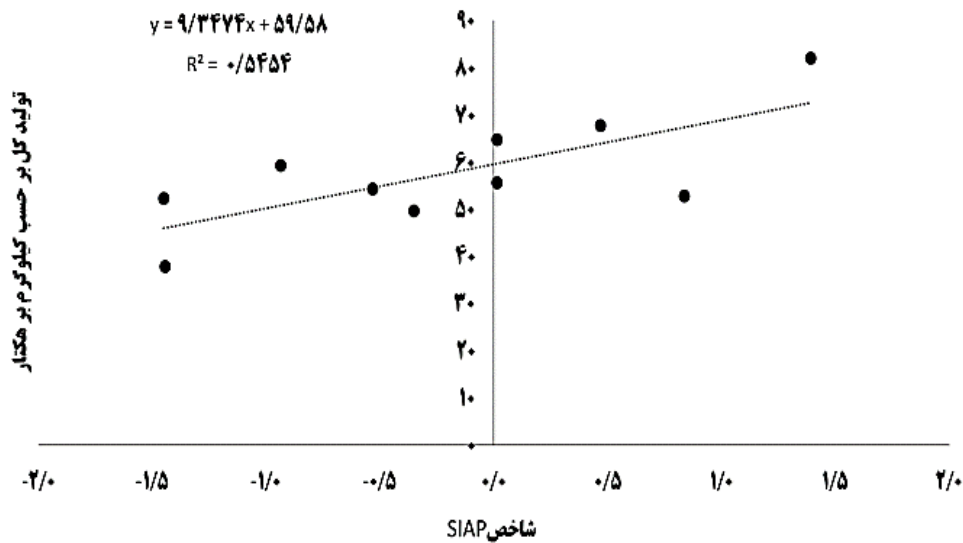
PNPI		SIAP		Z-Score		سال آبی
وضعیت	مقدار شاخص	وضعیت	مقدار شاخص	وضعیت	مقدار شاخص	
خشکسالی ضعیف	۷۵/۵۶	خشکسالی شدید	-۰/۹۴	نرمال	-۰/۹۴	۸۵-۱۳۸۴
ترسالی متوسط	۱۳۶/۳	ترسالی بسیار شدید	۱/۳۹	ترسالی متوسط	۱/۳۹	۸۶-۱۳۸۵
خشکسالی متوسط	۶۲/۱۴	خشکسالی بسیار شدید	-۱/۴۵	خشکسالی متوسط	-۱/۴۵	۸۷-۱۳۸۶
نرمال	۱۰۰/۳۳	نرمال	۰/۰۱	نرمال	۰/۰۱	۸۸-۱۳۸۷
نرمال	۱۰۰/۳۳	نرمال	۰/۰۱	نرمال	۰/۰۱	۸۹-۱۳۸۸
نرمال	۸۶/۰۹	خشکسالی متوسط	-۰/۵۳	نرمال	-۰/۵۳	۹۰-۱۳۸۹
ترسالی ضعیف	۱۲۱/۷۷	ترسالی متوسط	۰/۸۳	نرمال	۰/۸۳	۹۱-۱۳۹۰
خشکسالی متوسط	۶۲/۳۲	خشکسالی بسیار شدید	-۱/۴۴	خشکسالی متوسط	-۱/۴۴	۹۲-۱۳۹۱
نرمال	۹۰/۷۶	خشکسالی ضعیف	-۰/۳۵	نرمال	-۰/۳۵	۹۳-۱۳۹۲
نرمال	۱۱۲/۲۱	ترسالی ضعیف	۰/۴۷	نرمال	۰/۴۷	۹۴-۱۳۹۳



شکل ۲. مقادیر شاخص SIAP و تولید گونه‌های *S. barbata*، *A. setifera*، *E. intermedia*، *S. orientalis* و تولید گونه‌های یکساله



شکل ۳. مقادیر شاخص SIAP و تولید گونه‌های *Z. eurypterum*، *A. sieberi* و تولید کل



شکل ۴. رابطه بین شاخص SIAP و تولید کل

جدول ۴. ضریب همبستگی (R) بین شاخص‌های خشکسالی و تولید

نام گونه	R
<i>A. sieberi</i>	۰/۷۱*
<i>S. barbata</i>	۰/۷۵*
<i>Z. eurypterum</i>	۰/۶۷*
<i>E. intermedia</i>	۰/۵۸
<i>S. orientalis</i>	۰/۶۶*
یکساله‌ها	۰/۶۷*
تولید کل	۰/۷۴*

\* - معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

یک متغیره در مرحله کالیبراسیون انتخاب شدند که نتایج آن‌ها در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۵ و ۶) نشان می‌دهند که شاخص‌های SIAP و Z-Score به دلیل فرمول یکسان، مدل‌های یکسانی را ارائه داده‌اند و این دو شاخص، تعداد مدل‌های مناسب و معنی‌دار بیشتری از تولید گونه‌ها نسبت به شاخص PNPI ارائه دادند. نتایج مرحله کالیبراسیون نشان داد که بهترین مدل خطی یک متغیره ارائه شده برای تولید کل مربوط به شاخص‌های SIAP و Z-Score با  $RRMSE = 0/1$  بود که ۵۳ درصد تغییرات تولید را در سطح اعتماد ۹۵ درصد توجیه نمود. براساس نتایج به

مدل‌سازی تولید گونه‌ها براساس روش رگرسیونی خطی یک متغیره با در نظر گرفتن مقادیر شاخص‌های خشکسالی به عنوان متغیرهای مستقل و مقادیر تولید گونه‌ها به عنوان متغیرهای وابسته در نرم افزار SPSS انجام گرفت. مدل‌های رگرسیونی معنی‌دار در جدول (۵) ارائه شده‌اند. با توجه به تولید دو سال آخر (داده‌های مرحله اعتبار سنجی) مقادیر شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)،  $RRMSE$ ، شاخص میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و شاخص میانگین انحراف خطا (MBE)، برای مدل‌های ارائه شده در جدول (۵) محاسبه شد. براساس نتایج این بررسی، بهترین مدل‌های خطی

مرحله اعتبارسنجی ۴۳ درصد تغییرات این گونه را در سطح اعتماد ۹۰ درصد توجیه نمودند. بهترین مدل خطی یک متغیره ارائه شده برای گونه *E. intermedia* توسط شاخص‌های SIAP و Z-Score، با  $RRMSE = 0/19$  ارائه شد که ۳۹ درصد تغییرات تولید این گونه را در سطح اعتماد ۹۰ درصد توجیه نمودند. برای گونه *S. orientalis*، شاخص‌های SIAP و Z-Score، بهترین مدل را در سطح اعتماد ۹۰ درصد ارائه دادند (با ضریب همبستگی  $0/64$  در مرحله کالیبراسیون و  $RRMSE = 0/3$  در مرحله اعتبارسنجی). با این حال، هیچ یک از شاخص‌های خشکسالی مدل مناسبی برای گونه *A. setifera* ارائه ندادند.

دست آمده برای گونه *A. sieberi*، برآورد تولید این گونه براساس شاخص‌های SIAP و Z-Score بهترین نتایج را ارائه داد (با ضریب همبستگی  $0/73$  در مرحله کالیبراسیون و  $RRMSE = 0/16$  در مرحله اعتبارسنجی). بهترین مدل ارائه شده برای گونه‌های یکساله نیز مربوط به شاخص‌های SIAP و Z-Score با  $RRMSE = 0/25$  بود که ۴۱ درصد از تغییرات تولید گونه‌های یکساله را در سطح اعتماد ۹۰ درصد توجیه نمود. در برآورد تولید گونه *S. barbata*، شاخص‌های SIAP و Z-Score با ضریب همبستگی  $0/74$  در مرحله کالیبراسیون و  $RRMSE = 0/13$  در مرحله اعتبارسنجی، بهترین مدل خطی را ارائه دادند. برای تولید گونه *Z. euryptherum*، شاخص‌های SIAP و Z-Score با  $RRMSE = 0/01$  در

جدول ۵. مدل‌های خطی یک متغیره انتخاب شده برای برآورد تولید گونه‌ها در مرحله کالیبراسیون

گونه‌ها	شاخص‌های خشکسالی	مدل‌های مبتنی بر T & P	R	معنی داری (Sig)
<i>A. sieberi</i>	SIAP	$y = 23/643 + 4/089x$	$0/73^*$	$0/041$
	Z-Score	$y = 23/643 + 4/089x$	$0/73^*$	$0/041$
<i>S. barbata</i>	SIAP	$y = 4/479 + 0/679x$	$0/74^*$	$0/036$
	PNPI	$y = 1/877 + 0/026x$	$0/74^*$	$0/036$
<i>Z. euryptherum</i>	Z-Score	$y = 4/479 + 0/679x$	$0/74^*$	$0/036$
	SIAP	$y = 17/638 + 0/474x$	$0/65$	$0/08$
	PNPI	$y = 15/821 + 0/018x$	$0/65$	$0/08$
<i>E. intermedia</i>	Z-Score	$y = 17/638 + 0/474x$	$0/65$	$0/08$
	SIAP	$y = 3/943 + 0/353x$	$0/63$	$0/097$
	PNPI	$y = 2/59 + 0/014x$	$0/63$	$0/097$
یکساله‌ها	Z-Score	$y = 3/943 + 0/353x$	$0/63$	$0/097$
	SIAP	$y = 3/21 + 0/938x$	$0/64$	$0/089$
	Z-Score	$y = 3/21 + 0/938x$	$0/64$	$0/089$
تولید کل	SIAP	$y = 3/446 + 1/687x$	$0/64$	$0/086$
	Z-Score	$y = 3/446 + 1/687x$	$0/64$	$0/086$
	SIAP	$y = 59/8 + 8/889x$	$0/73^*$	$0/04$
	PNPI	$y = 25/725 + 0/341x$	$0/73^*$	$0/04$
	Z-Score	$y = 59/8 + 8/889x$	$0/73^*$	$0/04$

\* - معنی داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد

جدول ۶. مقادیر شاخص‌های خطا در مرحله اعتبار سنجی

MBE	MAE	RRMSE	R <sup>۲</sup> کالیبراسیون	مدل‌های مبتنی بر T & P	شاخص‌های خشکسالی	گونه‌ها
۲/۷۳	۲/۷۳	۰/۱۶	۰/۵۳	$y = ۲۳/۶۴۳ + ۴/۰۸۹x$	SIAP	<i>A. sieberi</i>
۲/۷۳	۲/۷۳	۰/۱۶	۰/۵۳	$y = ۲۳/۶۴۳ + ۴/۰۸۹x$	Z - Score	
-۰/۱۳	۰/۵۷	۰/۱۳	۰/۵۵	$y = ۴/۴۷۹ + ۰/۶۷۹x$	SIAP	<i>S. barbata</i>
-۰/۱۳	۰/۵۷	۰/۱۳	۰/۵۵	$y = ۱/۸۷۷ + ۰/۰۲۶x$	PNPI	
-۰/۱۳	۰/۵۷	۰/۱۳	۰/۵۵	$y = ۴/۴۷۹ + ۰/۶۷۹x$	Z - Score	
-۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۴۳	$y = ۱۷/۶۳۸ + ۰/۴۷۴x$	SIAP	<i>Z. eurypetrum</i>
-۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۴۳	$y = ۱۵/۸۲۱ + ۰/۰۱۸x$	PNPI	
-۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۴۳	$y = ۱۷/۶۳۸ + ۰/۴۷۴x$	Z - Score	
۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۳۹	$y = ۳/۹۴۳ + ۰/۳۵۳x$	SIAP	<i>E. intermedia</i>
۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۱۹	۰/۳۹	$y = ۲/۵۹ + ۰/۰۱۴x$	PNPI	
۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۳۹	$y = ۳/۹۴۳ + ۰/۳۵۳x$	Z - Score	
-۰/۴۴	۱/۰۱	۰/۳	۰/۴۱	$y = ۳/۲۱ + ۰/۹۳۸x$	SIAP	<i>S. orientalis</i>
-۰/۴۴	۱/۰۱	۰/۳	۰/۴۱	$y = ۳/۲۱ + ۰/۹۳۸x$	Z - Score	
-۰/۶۱	۰/۸۶	۰/۲۵	۰/۴۱	$y = ۳/۴۴۶ + ۱/۶۸۷x$	SIAP	یکساله‌ها
-۰/۶۱	۰/۸۶	۰/۲۵	۰/۴۱	$y = ۳/۴۴۶ + ۱/۶۸۷x$	Z - Score	
۱/۵۶	۵/۴	۰/۱	۰/۵۳	$y = ۵۹/۸ + ۸/۸۸۹x$	SIAP	تولید کل
۱/۵۸	۵/۳۹	۰/۱	۰/۵۳	$y = ۲۵/۷۲۵ + ۰/۳۴۱x$	PNPI	
۱/۵۶	۵/۴	۰/۱	۰/۵۳	$y = ۵۹/۸ + ۸/۸۸۹x$	Z - Score	

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

مواجهه کرده است و این امر سبب توسعه شاخص‌های خشکسالی متعددی طی دو قرن گذشته شده است [۳۶]. در این مطالعه، شدت خشکسالی‌ها براساس شاخص‌های خشکسالی SIAP، PNPI و Z - Score مشخص و توصیف گردید. شاخص Z - Score کمترین وقایع خشکسالی (۲ سال) و هفت سال نرمال را طی دوره ده ساله مورد بررسی شناسایی نمود. شاخص PNPI سه دوره خشکسالی، دو دوره ترسالی و پنج دوره نرمال را نشان داد و براساس طبقات مختلف این دو شاخص، سال‌هایی با بارش نرمال دارای تداوم بیشتری نسبت به سال‌های خشک بودند اما با توجه به کلاس‌بندی شاخص SIAP، این شاخص ۵ سال را به عنوان خشکسالی شناسایی نمود و شاخص حساس‌تری نسبت به دو شاخص Z - Score و PNPI است. سایر محققین [۲۳، ۳۵، ۳۷] نیز در مطالعاتی شاخص

بارش به عنوان منشأ و منبع تمامی خشکسالی‌ها عامل ورودی در محاسبه بسیاری از شاخص‌های خشکسالی است. خشکسالی معمولاً با بارش کمتر از حد نرمال توصیف می‌شود و اغلب با دمای بالاتر از حد نرمال همراه است که ممکن است از چند ماه تا چند سال و در بعضی موارد دهه‌ها ادامه یابد [۷ و ۹]. تغییرات بارش به‌طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و زیرزمینی خود را نشان می‌دهد. به همین دلیل بارش اولین متغیری است که می‌تواند در بررسی هر حالتی از خشکسالی مورد توجه قرار گیرد [۳۱].

ماهیت پیچیده و اثرات گسترده خشکسالی، تفسیرهای متعددی از پدیده خشکسالی را به وجود آورده است که مدیریت و تجزیه تحلیل خشکسالی را با موانعی

داشت. ولی در ترسالی‌ها، به علت حجم بارش قابل توجه، گیاهان یکساله و چندساله فرصت زادآوری و رشد مناسب را خواهند داشت. مطالعات خشکسالی در گریت شمالی در ایالت مونتانا آمریکا نیز نشان داد که خشکسالی شدید بهاره، ذخیره رطوبتی خاک را کاهش داده و باعث کاهش تولید شده بود [۱۶].

یافته‌های حاصل از بررسی شاخص‌های خشکسالی به کار گرفته‌شده در پژوهش حاضر نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه، شاهد دو خشکسالی بسیار شدید طی سال‌های ۸۷-۱۳۸۶ و ۹۲-۱۳۹۱ و نوسانات بارش با شدت‌های مختلف طی یک دوره آماری ده ساله در سطح منطقه بوده‌ایم. لذا با توجه به ناپایداری بارش در این مراتع در سال‌های مختلف و وقوع خشکسالی‌های متعدد، شنا سایی گونه‌های مقاوم به خشکسالی و لحاظ نمودن آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های مدیریت مراتع ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. بررسی ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی و تولید گونه‌ها نشان دهنده واکنش متفاوت تولید گونه‌های مورد بررسی نسبت به دوره‌های خشکسالی و ترسالی بود به طوری که این نوسانات در تولید گونه‌های یکساله بسیار شدید (بین ۱ تا ۱۱ درصد تولید کل سالانه) و برای گونه‌های چندساله و درختچه‌ای (مانند گونه قیچ) بسیار ناچیز بوده است. واکنش گونه‌ها به نوسانات بارش و دوره‌های خشکسالی، وابسته به ساختار و عمق ریشه‌دوانی گونه‌ها است. گونه درختچه‌ای قیچ، به عنوان گونه‌ای مناسب جهت اجرای طرح‌های حمایتی و اصلاحی در این مراتع پیشنهاد می‌شود. این گونه می‌تواند به علت در صد تولید و خوشخوراکی بالا، استقرار پایدار و توان سازگاری با شرایط خشک رویشگاهی، ضمن جلوگیری از فرسایش خاک، علوفه مورد نیاز دام را نیز تأمین کند. از این رو توصیه می‌شود در برنامه‌های اصلاح و احیای مراتع در مناطق مشابه، از گونه‌هایی نظیر قیچ استفاده شود که نوسانات تولید کمتری را نسبت به متغیرهای اقلیمی نشان می‌دهند. البته توجه به سایر متغیرهای بوم‌شناختی ضروری است.

SIAP را به عنوان سنجه‌ای کارآمد برای پایش خشکسالی معرفی کردند. براساس تقسیم‌بندی‌های مربوطه، در مجموع وضعیت منطقه طی دوره مورد مطالعه بیشتر تحت سیطره خشکسالی با شدت‌های متفاوت بوده است. بررسی عملکرد تولید کل مرتع مورد بررسی در قیاس با مقادیر شاخص‌های خشکسالی نشان داد که شاخص‌های مورد بررسی، روند همسویی را در خصوص تخمین عملکرد تولید کل نشان داده‌اند ( $R^2=0/55$ ). همچنین شاخص‌های خشکسالی همبستگی بالایی را با تولید بیشتر گونه‌ها در سطح اطمینان ۹۰ درصد نشان دادند (منطبق با نتایج [۳۷]) که نشان دهنده تأثیرپذیری بالای اکثر گونه‌ها نسبت به شرایط خشکسالی و ترسالی است. با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در اقلیم خشک، دوره‌های خشکسالی و ترسالی، تأثیرات چشمگیری بر سیمای رستنی‌های آن دارند. یکی از ویژگی‌های پوشش گیاهی این مناطق آن است که هر توسعه و رشدی در وضعیت پوشش گیاهی می‌تواند تحت تأثیر وقوع دوره‌های خشک بعدی قرار گیرد و پوشش گیاهی به قهقرا سوق پیدا کند. از آنجا که روند تغییرات مثبت در احیای پوشش گیاهی در چنین مناطقی کند است، معمولاً پیش از احیای کامل پوشش منطقه دوباره دوره خشکی جدیدی اتفاق می‌افتد که آثار آن چندین سال بر روی پوشش گیاهی باقی خواهد ماند [۲۶]. نوسانات بارش طی سال‌های آماری مورد مطالعه منجر به وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در منطقه شده است. گیاهان علفی چندساله *Anabasis setifera* و *Scariola orientalis* و یکساله به دلیل داشتن ریشه‌های سطحی و کم عمق با آغاز فصل رویش از بارش دوره رشد که غالباً از اواسط اسفند شروع می‌شود استفاده می‌کنند و در شرایط خشکسالی، بیشترین کاهش تولید را نشان دادند. در خشکسالی‌ها چون بارش کافی نیست، گیاهان یکساله که رشد و زادآوری آن‌ها وابسته به بارش به خصوص بارش فصل رشد است، در حد بسیار ناچیزی رشد می‌کنند. همچنین گیاهان چندساله نیز رشد مناسب را نخواهند

تحقیق بر روی برخی از مهم‌ترین گونه‌های شاخص مراتع خشک کشور نشانگر آن است که میزان تولید گونه‌های گیاهی متأثر از نوسانات بارندگی سالیانه خواهد بود اما شدت تغییرات تولید، بسته به نوع گونه گیاهی متغیر است. بر این اساس به دلیل وجود نوسانات سالیانه متغیرهای اقلیمی در مناطق خشک کشور، بروز تغییر در مقادیر تولید و به تبع آن علوفه قابل دسترس دام موضوعی حتمی است [۱۲]. از سوی دیگر، با توجه به محدودیت‌های زمان، هزینه و نیروی انسانی، اندازه‌گیری مکرر سالانه علوفه قابل دسترس دام عملاً ممکن نیست و تغییر سالانه تعداد واحد دامی چرا کننده از مرتع تقریباً ناممکن است. بنابراین لازم است با ارزیابی و پایش طولانی مدت بارش و تولید در هر ناحیه رویشی، نسبت به تعیین ظرفیت چرای درازمدت هر منطقه اقدام شود و تا حد امکان از بروز اثرات نامطلوب بر پوشش گیاهی و خاک به‌خصوص در سال‌های خشک جلوگیری شود.

امید است با برنامه‌ریزی دقیق در مورد نحوه استقرار و بهره‌برداری از این گونه‌ها، وضعیت پوشش گیاهی مراتع مورد مطالعه روند رو به رشدی را داشته باشد. پیشنهاد می‌شود با اندازه‌گیری تولید گونه‌های شاخص طی سال‌های متمادی در مناطق مختلف آب و هوایی ایران، شرایط را برای پیش‌بینی مناسب‌تر تولید و برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر برای دوره‌های خشکسالی فراهم نماییم و با تعیین نوسانات تولید و نقش خشکسالی در تولید سالانه، میزان بهره‌برداری مجاز متناسب با اهداف توسعه پایدار تعیین گردد.

گونه افدرا و قیچ به دلیل ریشه عمیق‌تر، از بارش ذخیره شده در فصل پیشین استفاده می‌کنند. بنابراین با کاهش رطوبت خاک و بارش کم، این دو گونه نوسانات تولید کمتری را نشان دادند. این نتیجه با مشاهدات [۱۵] قابل شرح می‌باشد که بیان کردند رطوبت خاک به‌ویژه رطوبت ذخیره شده ناشی از بارش پیشین از عوامل اصلی رشد و تولید گیاهان مرتعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. دو گونه *S. barbata* و *E. intermedia* (به ترتیب با سهم حدود ۸ و ۷ در صدی در تولید کل و ضریب تغییرات تولید ۲۱ و ۱۶ درصدی) نوسانات تولید کمتری نسبت به گونه *Artemisia sieberi* (با سهم حدود ۳۹ درصدی در تولید کل و ضریب تغییرات تولید ۲۴ درصدی) در سال‌های خشک و مرطوب داشته‌اند اما سهم آن‌ها در تولید این مرتع پایین بود. خوشخوراکی، سیستم ریشه‌ای و استقرار پایدار، تحمل شرایط خشک و شکننده رویشگاه‌های خشک سبب شده است تا این گونه‌ها را نیز به عنوان گونه‌های پیشنهادی در اصلاح و احیاء این مراتع معرفی نماییم. گونه *A. sieberi* از مهم‌ترین گیاهان بوته‌ای کشور و مرتع مورد مطالعه است، به طوری که سطوح وسیعی از این منطقه استپی رویشگاه‌های این گونه گیاهی را شکل داده است. این گونه به دلیل سازگاری با شرایط خاص مناطق خشک و نیمه‌خشک، سیستم ریشه‌ای عمیق، فرم بوته‌ای خاص، تولید علوفه بالا، مصون بودن از چرای زودرس، امکان تجدید حیات مناسب و نقش آن در حفاظت آب و خاک اهمیت به‌سزایی در مرتع مورد مطالعه دارد. نتایج این

## References

- [1] Abdollahi, J., Arzani, H., Baghestani, N. and AskarShahi, F.S.M. (2006). Rainfall and ground water table changes influencing the *seidlitzia rosmarinous* growth and development at the Chah-Afzal Ardakan. Iranian Journal of Range and Desert Research, 13 (2), 74-81.
- [2] Abdollahi, J., Savaghebi, M.H., Naderi, H. and Azimi M.A. (2011). Influences of rainfall variability on yields of some plant species (Case Study: Mehriz rangeland of Yazad province). Journal of Rangeland, 5 (3), 280-291.

- [3] Akbarzadeh, M., Moghadam, M.R., Jalili, A., Jafari, M. and Arzani, H. (2007). Effect of precipitation on cover and production of rangeland plants in Polour. *Journal of the Iranian Natural Res.*, 60 (1), 307-322.
- [4] Azarakhshi, M., Farokhzadeh, B., Mahdavi, M., Arzani, H. and Ahmadi, H. (2012). Assessment of the Standard Index of Annual Precipitation, Standardized Precipitation Index and Palmer Drought Severity Index in the Rangelands of Qom Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 65 (2), 159-173.
- [5] Bidwell, T.G. and Redfearn, D.D. (2002). Drought management strategies. Oklahoma Cooperative Extension Service, Oklahoma State University Extension Facts, No. 2870 (revised).
- [6] Bonham, C.D. (2013). *Measurement for terrestrial vegetation*. 2ed. John Wiley and Sons, USA, 246 p.
- [7] Cook, B.I., Smerdon, J.E., Seager, R. and Coats, S. (2014). Global warming and 21st century drying. *Climate Dynamics*, 43(9-10), 2607-2627.
- [8] Dagestani, M. (2009). Application of Remote Sensing in Forest Management. First Regional Conference on Geomatics, Islamic Azad University of Islamshahr, Islamshahr, Iran.
- [9] Dai, A. (2011). Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900-2008. *Journal of Geophysical Research*, 116 (D12115), 1-26.
- [10] Ehsani, A., Arzani, H., Farahpour, M., Ahmadi, H., Jafari, M., Jalili, A., Mirdavoudi, H.R., Abasi, H.R., Azimi, M.S. (2007). The effect of climatic conditions on range forage yield in steppe rangelands, Akhtarabad of Saveh. *Journal of Range and Desert Research*, 14(2), 249-260. (In Persian)
- [11] Elshorbagy, A., Corzo, G., Srinivasulu, S. and Solomatine, D. (2009). Experimental investigation of the predictive capabilities of soft computing techniques in hydrology. Centre for Advanced Numerical Simulation (CANSIM), Department of Civil and Geological Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada, 49 pp.
- [12] Fakhimi H., Arzani H., Javadi A., Jafari M. (2014). Impact of climatic factors on forage production in Ali Abad Rangeland, Iran. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 4(2), 411-420.
- [13] Field, A. (2000). *Discovering Statistics Using SPSS for Windows: Advanced Techniques for the Beginner*. SAGE, 496 pp.
- [14] Guttman, N. (1998). Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J. of Am. Water Resources Association*, 34, 113-121.
- [15] Hein, L. (2006). The impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a sahelian rangeland. *Journal of Arid Environments*, ۶۴, ۵۰۴-۴۸۸.
- [16] Heitschmidt, R.K., Klement, K.D. and Haferkamp, M.R. (2005). Interactive Effects of drought and Grazing Northern Great Plains Rangelands. *Rangeland Ecology & Management*, ۵۸, 11-۱۹.
- [17] Hosseinzadeh Kermani, M. and Shafaghati, M. (2013). Study of droughts and wet years and its impact on Kassef vegetation, Bardaskan. 5th Iranian Water Resources Management Conference, Tehran, Iran.
- [18] Jaberalansar, Z., Khodaghali, M., Borhany, M. and Arzani H. (2012). A study on production changes of steppe rangeland of Isfahan using the standard precipitation index. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4 (2), 94-102.
- [19] Jamieson, P.D., Porter, J.R. and Wilson, D.R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT on wheat crops grown in New Zealand. *Fields Crop Research*, 27 (4), 337 -350.
- [20] Joneidi Jafari, H. (2009). Investigating the Impact of Some Ecological and Managerial Characteristics on the Carbon Sequestration in Semnan Province. PhD Thesis in Rangeland, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- [21] Karimi, Gh., Yeganeh, H., Abbasi Khaleki, M., Moammeri, M. and Afra, H. (2015). Changes in *Bromus tomentellus Boiss* production and consumption in Kurdan rangelands, Alborz. *Iranian Journal of Natural Resources (Journal of Range & Watershed Management)*, 68 (2), 359-370.
- [22] Khalili, A. (1992). Climatological studies reports for Integrated Water Plan Project. Ministry of Energy, JAMAB, Tehran.
- [23] Khalili, A. and Bazrafshan, J. (2003). Assessment of some meteorological drought indices for different climate areas of Iran. *J. NIVAR*, 48, 79-93.



- [24] Khodaghali, M. and Akbarzadeh, M. (2016). Production and consumption changes of vegetation in steppe rangelands (case study: Soh site, Meymeh). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23 (1), 118-127.
- [25] Mesdaghi, M. (2011). Statistical and regression methods "An applied approach to plant and animal sciences". Imam Reza University Press, Mashhad, Iran, 421 p. (In Persian)
- [26] Mirjalili, A., Mosaei Sanjari, M. and Zarezadeh Mehrizi, Sh.A. (2013). Effects of drought and wet-years on vegetation changes in two flood spreading regions and Herat rangelands, Yazd province. *Iranian Journal of Natural Resources (Journal of Range & Watershed Management)*, 66 (1), 145-156.
- [27] Moghaddam, M. (1998). Range and range management. Tehran University Press, 470 pp.
- [28] Mohammadi Moghaddam, S., Mosaedi, A., Jangjoo, M. and Mesdaghi, M. (2015). Relationships among range production, effective climate parameters and drought indices in Nodoushan. *Iranian Journal of Natural Resources (Journal of Range & Watershed Management)*, 68 (1), 131-148.
- [29] Mohammadi Moghaddam, S., Mosaedi, A., Jangjoo, M. and Mesdaghi, M. (2013). Modeling rainfall, drought and rangeland production relationships in Nodoushan, Yazd. 2nd International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.
- [30] Mohammadi, K., Davtalab, R. and Misaghi, F. (2003). Meteorological drought zoning in Maroun watershed using SIAP statistical index. 3rd Regional Conference and the first national conference on Climate Change, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
- [31] Naohi, K. and Askari, A. (2005). Drought and Return Periods of Drought and wet-year in Qom Region. *Journal of aridity and agricultural Drought*, 15, 47-64.
- [32] Navarro, J.M., Galt, D., Holechek, J., McCormick, J. and Molinar, F. (2002). Long-term impacts of livestock grazing on Chihuahuan Desert rangelands. *Journal of Range Management*, 55(4), 400-405.
- [33] Noori, Gh., Khosravi, M., Javdani, R. and Karimi, S. (2010). Determining the relationship between drought and variability in pasture production in Sistan and Baluchestan province during the statistical period of 1370-1386 (Case study: Iranshahr city). The 4th International Congress of the Islamic World Geographers (ICIWG 2010), pp. 1-11.
- [34] Omar, S.A.S. (۱۹۹۰). Influence of precipitation on vegetation in the rangelands of Kuwait. Proceeding of the second international conference on range management in the Persian Gulf, Kuwait, ۳-۶ March, pp. ۱۲۶-۱۳۸.
- [35] Osati, Kh., Karimi, B. and Karami, M. (2008). Comparative Study of Six widely-used meteorological drought Indices in Northern Provinces of Iran in order to monitor past century drought and wet-year by the best Index. 1st International Symposium of Climate Change and Dendrochronology in Caspian Ecosystems, May 14-15, Sari, Iran.
- [36] Richard, R. and Heim, J.R. (2002). A Review of Twentieth century Drought Indices Used in the United States. *Journals American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1165.
- [37] Shirani, B., Khodaghali, M. and Montazeri, M. (2016). Investigation and analyzing the production of Artemisia rangelands base on meteorological drought index, case study: Isfahan Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 8 (2), 210-220.
- [38] Vafakhah, M. and Rajabi, M. (2005). Efficiency of meteorological drought indexes for monitoring and assessment of droughts in Bakhtegan, Tashk, and Maharlo lakes watershed. *Journal of Desert*, 10 (2), 369-382.
- [39] Zare Kia, S. (2015). Trend of *Salsola laricina* production and consumption in dry rangelands. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 3 (7), 85-98.

