

## بررسی رابطه تولید مرتع با پارامترهای اقلیمی مؤثر و شاخص‌های خشکسالی در مراتع ندوشن

- ❖ **سمانه محمدی مقدم؛** کارشناس ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ **ابوالفضل مساعدی\*؛** استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ **محمد جنگجو؛** دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ **منصور مصداقی؛** استاد مدعو، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

با آنکه بارندگی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در تولید مرتع است، اطلاعات اندکی درباره روابط تولید مرتع تحت تأثیر متقابل عوامل آب‌وهوایی و به‌ویژه، شاخص‌های خشکسالی وجود دارد. این پژوهش با هدف بررسی ارتباط تولید مرتع با عوامل آب‌وهوایی بارندگی، دما، تبخیر و تعرق، شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، و شناسایی خشکسالی (RDI) در منطقه ندوشن واقع در استان یزد انجام شده است. بدین منظور، در مورد هر عامل ۳۳ دوره زمانی مختلف، شامل دوره‌های یک تا چهارماهه، شش‌ماهه، و نه‌ماهه به عنوان متغیرهایی که ممکن است در تولید گیاهی مرتع مؤثر باشند در نظر گرفته شد. برای کاهش حجم داده‌ها از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. به منظور تعیین بهترین رابطه بین تولید با عوامل آب‌وهوایی و شاخص‌های خشکسالی از روابط رگرسیونی استفاده شد. رابطه‌های رگرسیونی مختلف برای متغیرهای انتخاب شده از روش تجزیه به مؤلفه‌ها بررسی شد. در نهایت، در هر روش رابطه‌ای که دارای کمترین خطای نقطه ایده‌آل (IPE) بود رابطه برتر شناخته شد. با مقایسه رابطه‌هایی که بر اساس بارندگی، دما، تبخیر و تعرق، شاخص بارش استاندارد شده، و شاخص شناسایی خشکسالی به دست آمد، رابطه به دست آمده از شاخص شناسایی خشکسالی به عنوان رابطه‌ای که برآورد مناسب‌تری از تولید مراتع دارد ( $R=0.969$ ) و میانگین قدر مطلق خطای نسبی معادل ۰/۱۱۱ انتخاب شد.

واژگان کلیدی: بارندگی، تولید مرتع، خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص شناسایی خشکسالی، ندوشن.

## مقدمه

دمای منطقه در ارتباط است؛ به گونه‌ای که در منطقه مغولستان کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت باعث کاهش بازده مرتع می‌شود [۲۶]. در مناطق خشک- که مقدار بارندگی کم و تبخیر و تعرق زیاد است- تنش آبی برای گیاهان بیشتر ایجاد می‌شود. این تنش مهم‌ترین نوع تنش برای پوشش گیاهی در این مناطق است و سبب کاهش پوشش گیاهی می‌شود [۳۰]. در بررسی تأثیر شرایط اقلیمی بر پوشش گیاهی مراتع ساوه، شاخص‌های اقلیمی بارندگی سالانه، بارندگی فصل رویش، به علاوه بارندگی پیشین، درجه حرارت، و سرعت باد نشان داد که نوسان شاخص‌های اقلیمی در طول دوره آماری تأثیر معنی‌داری در تولید علوفه دارد [۱۳].

خشکسالی، که تحت تأثیر متغیرهای آب‌وهوایی است، رخدادی طبیعی است که بر فرایندهای اکولوژیک در مراتع تأثیر می‌گذارد [۱۷] و دسترسی گیاهان به آب را محدود می‌سازد، مثلاً در منطقه غربت شمالی واقع در ایالت مونتانا، امریکا، خشکسالی شدید فصل بهار در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ باعث کاهش محتوای رطوبت خاک و، در نتیجه، باعث کاهش ۲۰ تا ۴۰ درصدی تولید شده است، که تأثیر آن در گراس‌های چندساله فصل سرد بیش از گراس‌های یک‌ساله فصل سرد بوده است [۱۷]. گیاهان مختلف پاسخ‌های گوناگونی به خشکسالی می‌دهند، از این رو، رابطه برآورد تولید بر اساس خشکسالی برای جوامع گیاهی مختلف متفاوت است [۲۹]. خشکسالی باعث کاهش بسیار زیاد پوشش کل و پوشش گونه‌های غالب می‌شود. در حالی که پوشش گیاهان فرصت‌طلب در اواخر خشکسالی افزایش می‌یابد [۱۲]. بنابراین، علاوه بر بارندگی و دما، خشکسالی نیز می‌تواند عامل مناسبی

اندازه‌گیری تولید علوفه مراتع- به دلیل اهمیت آن در مدیریت مراتع و تنظیم میزان چرای سالانه- همواره به عنوان موضوعی اساسی در مراتع مطرح بوده است [۲۸]. از طرفی، اغلب مراتع در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند [۹] و تغییرات زیاد بازده علوفه در سال‌های مختلف در این مناطق باعث شده که برآورد تولید با مشکل و عدم قطعیت زیاد همراه باشد [۱۵]. همچنین، به دلیل گستردگی سطح مراتع ایران و محدود بودن امکانات و زمان ارزیابی، برآورد مستقیم تولید در همه عرصه‌های مرتعی کشور در هر سال مقدور نیست. بنابراین، به‌کارگیری روش‌های غیرمستقیم در این زمینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مهم با تعیین رابطه میزان تولید علوفه گیاهان و متغیرهای اقلیمی مؤثر بر آن‌ها در عرصه سهل‌الوصول می‌شود [۷].

در تحقیقات متعددی ارتباط بارندگی با پوشش گیاهی بررسی شده است [۳، ۸، ۱۹]. اما بارندگی به‌تنهایی نمی‌تواند فاکتور مناسبی برای تعیین تغییرات پوشش گیاهی باشد، زیرا همه بارندگی در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد و بخشی از آن ممکن است به صورت رواناب یا تبخیر به سرعت از منطقه خارج شود. آنچه اهمیت دارد بارش مؤثر است که از کسر رواناب و تبخیر و تعرق از مقدار بارندگی به‌دست می‌آید و همبستگی زیادی با ضریب استفاده باران توسط گیاهان دارد، که از نسبت فیتومس بالای زمین بر بارش مؤثر به‌دست می‌آید [۱۶]. زمانی که از پارامتر مقدار رطوبت خاک برای برآورد تولید استفاده می‌شود نتایج نسبت به زمانی که از بارندگی استفاده می‌شود بهتر است [۳۱]. همچنین، عملکرد مرتع با

اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین، می‌توان به کمک داده‌های آب‌وهوایی مقدار تولید را پیش‌بینی کرد. توانایی پیش‌بینی عملکرد علوفه سالانه به کمک داده‌های آب‌وهوایی به مدیر مرتع کمک می‌کند تا استراتژی مناسب را برای چرای دام در مرتع تعیین کند و بر این اساس، ضمن حفاظت از مرتع در سال‌های خشکسالی، بیشترین درآمد را در سال‌های ترسالی داشته باشد [۲۸].

یکی از روش‌های بررسی رابطه تولید با خشکسالی و پارامترهای اقلیمی استفاده از روابط رگرسیونی است [۵]. با توجه به اینکه عوامل تأثیرگذار بر گیاهان متعددند و از طرفی، با یکدیگر هم‌پوشانی دارند، باید حجم داده‌ها کاهش یابد. تعداد زیاد عوامل باعث پیچیدگی رابطه می‌شود و حتی ارائه رابطه را غیرممکن می‌سازد. به همین دلیل، برای کاهش حجم داده‌ها از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی<sup>۲</sup> (PCA) استفاده می‌شود.

بنابراین، عوامل متعدد آب‌وهوایی در میزان تولید مرتع تأثیر دارد. مطالعات نشان می‌دهد که بررسی نوسانات مقدار بارندگی به تنهایی معیار مناسبی برای بررسی تغییرات تولید نیست. از طرفی، تولید مرتع به شدت تحت تأثیر وضعیت خشکسالی در منطقه است. در حالی که در مطالعات اندکی رابطه خشکسالی با تولید بررسی شده است. در اکثر مطالعات انجام شده نیز کاهش بارندگی معیاری از خشکسالی فرض شده است، در حالی که خشکسالی فقط تابع مقدار بارندگی نیست، بلکه خشکسالی برآیندی از تأثیر متقابل عوامل آب‌وهوایی است. بنابراین، هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی رابطه

برای ایجاد رابطه و پیش‌بینی تولید علوفه در مراتع باشد.

به منظور پایش وضعیت خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. شاخص‌های بارش استاندارد شده<sup>۱</sup> (SPI) و شناسایی خشکسالی<sup>۲</sup> (RDI) از جمله این شاخص‌هاست. شاخص بارش استاندارد شده بر مبنای مقدار بارندگی پایش خشکسالی را انجام می‌دهد [۲۱]. این شاخص قادر است خشکسالی را در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت (یک‌ماهه تا ۴۸ ماهه) بررسی کند. در حال حاضر، از شاخص SPI به طور گسترده‌ای در امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان برای پایش خشکسالی استفاده می‌شود [۲۳]. این شاخص، به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه، و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی است [۲۵]. شاخص RDI در سالیان اخیر معرفی شده است [۳۲] و به دلیل نیاز به داده‌های کم، حساسیت زیاد، و انعطاف‌پذیری زیاد در حال فراگیر شدن است. این شاخص، با توجه به اینکه بر مبنای بارندگی و تبخیر و تعرق محاسبه می‌شود، نسبت به SPI به متغیرها و تغییرات آب‌وهوایی حساسیت بیشتری دارد. این شاخص<sup>۳</sup> مقایسه‌ای منطقی از وضعیت خشکسالی در مناطقی با آب‌وهوای متفاوت را نشان می‌دهد [۱۱].

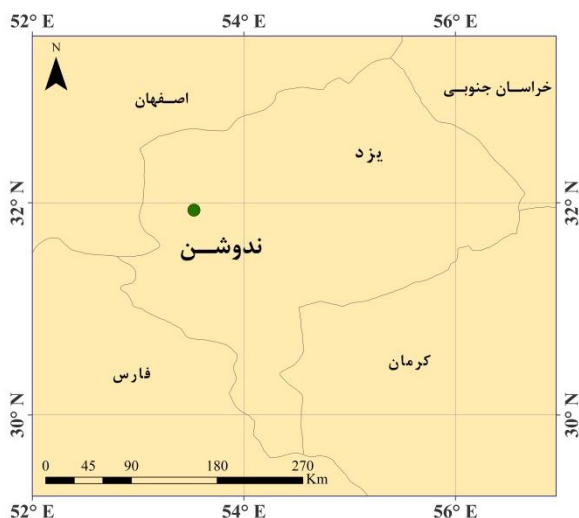
با توجه به اینکه رابطه قوی بین مقدار تولیدات مرتعی و عوامل آب‌وهوایی وجود دارد و با توجه به اینکه امروزه بسیاری از پارامترهای هواشناسی

1. Standardized Precipitation Index

2. Reconnaissance Drought Index

3. Principle component analysis

گیاهان منطقه بیشتر بوته (حدود ۷۸ درصد) است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان یزد

برای اندازه‌گیری تولید از ۶۰ پلات ۲ مترمربعی در طول ۴ ترانسکت موازی چهارصدمتری و با فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر استفاده شد. هر ساله تولید گونه‌ها در ۱۵ پلات تصادفی حفاظت‌شده به روش قطع و توزین انجام می‌شود و پوشش تاجی آن‌ها در همه پلات‌ها اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از رابطه رگرسیونی بین پوشش تاجی (درصد) و تولید (کیلوگرم در هکتار) در این ۱۵ پلات تولید در بقیه پلات‌ها برآورد می‌شود [۲]. در این تحقیق، برای استخراج اطلاعات تولید از نرم‌افزار Get Data استفاده شد. این نرم‌افزار قادر است اطلاعات و داده‌های تصویری را به اطلاعات عددی تبدیل کند.

نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به سایت مطالعاتی ایستگاه کلیماتولوژی ندوشن است. این ایستگاه از سال ۱۹۹۸ (تقریباً معادل ۱۳۷۷ شمسی) دارای آمار است؛ در این تحقیق از آمار سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. با توجه به نواقص موجود در آمار این ایستگاه، به بازسازی داده‌ها نیاز بود. بدین منظور، از داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک یزد، که دارای

وضعیت خشکسالی در دوره‌های زمانی متفاوت (بر اساس شاخص‌های SPI و RDI) با تولید مرتع و ارائه مناسب‌ترین رابطه به منظور پیش‌بینی تولید بر اساس عوامل آب‌وهوایی و به‌خصوص وضعیت خشکسالی در منطقه ندوشن است.

## روش‌شناسی

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی ۵۳° ۳۳' و عرض جغرافیایی ۳۱° ۵۵' در ندوشن از توابع شهرستان صدوق و در استان یزد قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۲۲۰۰ متر و شیب آن حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد است. متوسط بارندگی سالانه منطقه حدود ۹۲ میلی‌متر است. بخش اعظم نزولات منطقه مربوط به ماه‌های دی، بهمن، اسفند، و فروردین است. نزدیک به ۱۸ درصد بارندگی منطقه به صورت برف و بقیه نزولات منطقه باران است. متوسط دمای سالیانه منطقه بر حسب ارتفاع از ۱۲ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه سال تیر و سردترین ماه دی است [۱].

داده‌های هواشناسی برای یک دوره سی‌ساله از سال ۱۳۵۹ - ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹ - ۱۳۹۰ از سایت سازمان هواشناسی کشور<sup>۱</sup> و داده‌های تولید برای مدت ۱۰ سال از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۶ در اختیار است [۲].

پوشش گیاهی منطقه متشکل از ۱۹ گونه گیاهی یک‌ساله و چندساله است (جدول ۱). گونه‌های غالب این منطقه شامل *Iris songarica* و *Erotia ceratoides* است. فرم رویشی

1. www.weather.ir

خشکسالی در دوره‌های کوتاه‌مدت هم می‌تواند بر پوشش گیاهی مؤثر باشد، دوره‌های زمانی یک تا چهارماهه، شش‌ماهه پاییز و زمستان، شش‌ماهه زمستان و بهار، همچنین نُه‌ماهه منتهی به خرداد (مهر الی خرداد)، به عنوان دوره‌هایی که ممکن است وضعیت آب‌وهوایی و خشکسالی در آن‌ها بر تولید مؤثر باشد، در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، برای هر پارامتر یا وضعیت خشکسالی ۳۳ دوره (شامل ۹ دوره یک‌ماهه، ۸ دوره دو‌ماهه، ۷ دوره سه‌ماهه، ۶ دوره چهارماهه، ۲ دوره شش‌ماهه، و ۱ دوره نُه‌ماهه) در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه تولید در اواخر خرداد اندازه‌گیری شده است و در فصل تابستان تقریباً بارندگی در منطقه وجود ندارد و علاوه بر آن ذخیره رطوبتی آن به سال زراعی بعد هم منتقل نمی‌شود، وضعیت آب‌وهوایی در فصل تابستان در نظر گرفته نشد.

آمار کامل است، استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک یزد از سال ۱۹۵۲ به بعد دارای آمار است. با توجه به اینکه در مطالعات هواشناسی بررسی‌های آماری برای یک دوره سی‌ساله انجام می‌شود، طول دوره سی‌ساله ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. با استفاده از روش نسبت‌ها [۴]، آمار ناقص در ایستگاه کلیماتولوژی ندوشن (که خوشبختانه تعداد آن‌ها محدود است) بازسازی شد.

در این تحقیق ارتباط تولید مرتع با پنج پارامتر- بارندگی، میانگین دما، تبخیر و تعرق پتانسیل، شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)- به صورت جداگانه بررسی شد.

### تعیین دوره‌های زمانی مورد بررسی

با توجه به اینکه هر یک از پارامترهای آب‌وهوایی یا

جدول ۱. درصد تاج پوشش، سهم هر گونه، و فرم رویشی در ترکیب گیاهی منطقه [۲]

گونه گیاهی	شکل زیستی	میانگین نُه‌ساله درصد تاج پوشش	درصد ترکیب پوشش نُه‌ساله
<i>Artemisia sieberi</i>	بوته	۱۴٫۱۴	۵۷٫۹۳
<i>Eurotia ceratoides</i>	بوته	۳٫۱۴	۱۲٫۸۹
<i>Iris songarica</i>	فورب چندساله	۱٫۸۳	۷٫۵
<i>Stipa barbata</i>	گراس چندساله	۱٫۴۶	۶
<i>Stachys inflata</i>	بوته	۰٫۹۷	۳٫۹۷
<i>Astragalus glaucanthus</i>	بوته	۰٫۷۵	۳٫۰۷
<i>Cousinia piptocephala</i>	فورب چندساله	۰٫۷۱	۲٫۹۳
<i>Noaea mucronata</i>	بوته	۰٫۴۸	۱٫۹۸
<i>Stipa arabica</i>	گراس چندساله	۰٫۳۹	۱٫۶۲
<i>Astragalus sp</i>	فورب یک‌ساله	۰٫۲۴	۱
<i>Lactuca orientalis</i>	بوته	۰٫۱۳	۰٫۵۳
<i>Bromus tectorum</i>	گراس یک‌ساله	۰٫۰۴	۰٫۱۸
<i>Holostium sp</i>	فورب یک‌ساله	۰٫۰۴	۰٫۱۵
<i>Acantholimon scorpiorus</i>	بوته	۰٫۰۲	۰٫۰۷
<i>Poa cinaica</i>	گراس چندساله	۰٫۰۱	۰٫۰۵
<i>Spirogolaria maria</i>	فورب یک‌ساله	۰٫۰۱	۰٫۰۵
<i>Papaver tenuifolium</i>	فورب یک‌ساله	۰٫۰۱	۰٫۰۴
<i>Boissera squarrosa</i>	گراس یک‌ساله	۰٫۰۱	۰٫۰۲
<i>Cousinia deserti</i>	بوته	۰٫۰۱	۰٫۰۲

پارامترهای دمایی حداقل و حداکثر و میانگین نیازمند است. بنابراین، برای برآورد تبخیر و تعرق از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد.

(۱)

$$ET_o = 0.0135(K_T)R_a \times TD^{0.5}(T + 17.8)$$

(۲)

$$K_T = 0.00185(TD)^2 - 0.0433TD + 0.4023$$

$ET_o$  تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی متر در روز،  $R_a$  تابش برون زمینی (میلی ژول بر مترمربع در روز)،  $TD$  اختلاف دمای ماکزیمم و مینیمم (درجه سانتی گراد)، و  $T$  متوسط دما (سانتی گراد) است.

### محاسبه شاخص‌های خشکسالی

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بر اساس مقدار بارندگی و از طریق برآزش توزیع گاما محاسبه می‌شود. شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) بر مبنای نسبت مقادیر بارندگی به تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود. هر دو شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف یک تا ۴۸ ماهه محاسبه می‌شوند. طبقات خشکسالی نیز در دو شاخص یکسان است [۱۰]. وضعیت خشکسالی بر اساس هر یک از این شاخص‌ها در دوره‌های زمانی مورد نظر (۳۳ دوره) در هر سال با استفاده از معادلات حاکم بر هر روش تعیین شد. در طول دوره ۴ ساله‌ای که داده‌های تولید از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۶ در اختیار است، پنج سال شرایط رطوبتی نرمال حاکم بوده است. در حالی که در دو سال ترسالی متوسط و شدید و در دو سال دیگر خشکسالی بسیار شدید (۱۳۷۸ - ۱۳۷۹) و خشکسالی متوسط (۱۳۸۴ - ۱۳۸۵) حاکم بوده است.

### پارامترهای آب‌وهوایی مورد بررسی

مقادیر پارامترهای آب‌وهوایی- بارندگی، دما، و تبخیر و تعرق- در سال‌هایی که تولید در آن‌ها اندازه‌گیری شده است (۹ سال) برای دوره‌های ذکر شده (۳۳ دوره) محاسبه شد. برای نام‌گذاری فاکتورها، هر فاکتور با یک حرف و دو عدد مشخص ( $X_{nn}$ ) می‌شود. حرف‌ها نشانه پارامترهای بارندگی (P)، دما (T)، تبخیر و تعرق (E)، شاخص بارش استاندارد شده (S)، و شاخص شناسایی خشکسالی (R) است. عدد اول نشان‌دهنده تعداد ماه و عدد دوم نشان‌دهنده شماره ماه مورد نظر است. ضمن آنکه شماره‌گذاری ماه‌ها بر اساس سال آبی است. بدین ترتیب، مهر با عدد ۱، آبان عدد ۲، آذر عدد ۳، ... و خرداد با عدد ۹ مشخص شده است، مثلاً  $P_{45}$  یعنی مقدار بارندگی در طی چهارماهه منتهی به ماه بهمن (به عبارت دیگر، این نماد مقادیر بارندگی در ماه‌های آبان، آذر، دی، و بهمن را شامل می‌شود؛ این دوره یکی از ۳۳ دوره مورد بررسی است).

در طی نیم قرن اخیر، محققان برای محاسبه تبخیر و تعرق در سراسر جهان روش‌های تجربی زیادی ارائه کرده‌اند. این روش‌ها در پنج گروه ترکیبی، دمایی، تشعشعی، رطوبتی، و تشت تبخیر طبقه‌بندی می‌شوند. از میان این روش‌ها، روش پنمن مانتیث<sup>۱</sup> روش استاندارد در سطح جهان شناخته شده است [۲۷]. اما، به دلیل اینکه این تحقیق به داده‌های زیادی نیاز دارد و ایستگاه مورد مطالعه دارای نقص در این پارامترهاست، از روش هارگریوز- سامانی برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده شد. این روش در گروه دمایی قرار گرفته است؛ بدین سبب که فقط به

1. FAO Penman-Monteith

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i) \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$MARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (5)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P}_i)^2}} \quad (6)$$

$$(7)$$

$$IPE = \left\{ 0.25 \left[ \left( \frac{RMSE_{ij}}{\max RMSE_{ij}} \right)^2 + \left( \frac{MARE_{ij}}{\max MARE_{ij}} \right)^2 + \left( \frac{MBE_{ij}}{\max |MBE_{ij}|} \right)^2 + \left( \frac{R_{ij} - 1.0}{1/\max R_{ij}} \right)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

در این روابط،  $Q_i$  مقدار تولید اندازه‌گیری شده،  $P_i$  مقدار تولید برآورد شده توسط مدل،  $\bar{Q}_i$  میانگین مقادیر تولید اندازه‌گیری شده،  $\bar{P}_i$  میانگین مقادیر تولید برآوردی، اندیس  $i$  برای سال‌های مختلف، و اندیس  $j$  برای روابط مختلف تعریف شده است [۱۴].

## نتایج

### تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف

#### بارندگی

نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که چهار مؤلفه اول ۹۴ درصد تغییرات ایجاد شده در تولید توسط عامل بارندگی را توجیه می‌کنند. مؤلفه‌های ۱ تا ۴ به ترتیب ۵۴/۷۹، ۲۰/۲۴، ۱۳/۶۹، و

### تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

با توجه به اینکه تعداد متغیرهای مستقل (۳۳ دوره) زیاد است و همچنین برخی از این متغیرها همبستگی زیادی با یکدیگر دارند، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی [۲۴] به منظور کاهش تعداد متغیرها و همچنین جلوگیری از انتخاب متغیرهایی که با یکدیگر هم‌پوشانی زیادی دارند استفاده شد. محاسبات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رگرسیونی با استفاده از نرم‌افزار R انجام گرفت.

### معیارهای ارزیابی خطا

دقت روابط ایجاد شده از طریق معیارهای ارزیابی خطا شامل ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطای نسبی<sup>۲</sup> (MARE)، و میانگین انحراف خطا<sup>۳</sup> (MBE) و صحت آن‌ها از طریق آماره ضریب همبستگی (R) می‌تواند ارزیابی شود. ایده‌آل‌ترین حالت برای سه معیار اول هنگامی است که مقادیر به دست آمده صفر باشد. در حالی که هرچه R به عدد یک نزدیک‌تر باشد ایده‌آل‌تر است. گاهی اوقات ممکن است نتایج به دست آمده از چهار معیار با هم متفاوت باشند. بدین منظور، امروزه آماره جدیدی به نام خطای نقطه ایده‌آل<sup>۴</sup> (IPE)، که به صورت ترکیبی از چهار آماره دیگر است، معرفی شده است. این شاخص به طور هم‌زمان ترکیبی از صحت و دقت روابط ایجاد شده را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص بین ۰ تا ۱ متغیر است و هرچه به صفر نزدیک باشد ایده‌آل‌تر است. روابط ۳ تا ۷ معادلات این آماره‌ها را نشان می‌دهد.

1. Root Mean of Square Error
2. Mean of Absolute Relative Error
3. Mean of Bias Error
4. Ideal Point Error

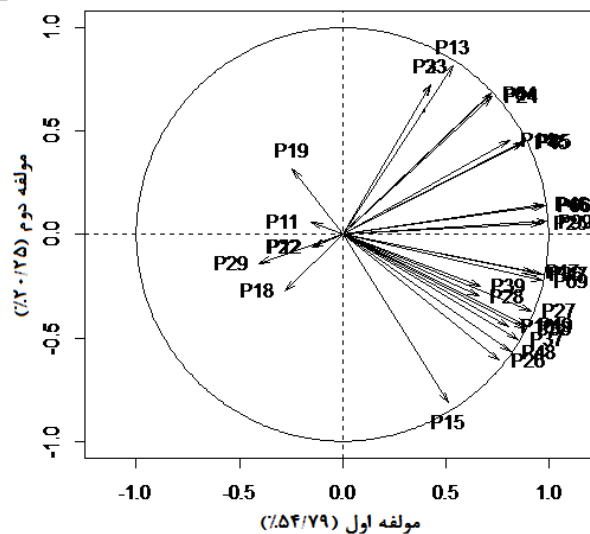
وسیله پارامترهای دما مشخص کرد. مؤلفه اول و دوم به ترتیب ۴۰ و ۲۷ درصد تغییرات را شامل می‌شوند (جدول ۳). همان‌گونه که در شکل ۳ نیز مشخص است، خط مربوط به تولید به محور عمودی، که نشانه مؤلفه دوم است، نزدیک‌تر است. در نتیجه، تولید با مؤلفه دوم همبستگی بیشتری دارد (شکل ۳). از مؤلفه اول دمای کل دوره (T<sub>99</sub>) و سه‌ماهه منتهی به بهمن (T<sub>35</sub>) و در مؤلفه دوم دو‌ماهه منتهی به اردیبهشت (T<sub>28</sub>) همبستگی بیشتری با تولید دارند. با توجه به اینکه تولید بیشترین همبستگی را با مؤلفه دوم دارد، دما در دو ماه اردیبهشت و فروردین تأثیر بیشتری در گیاهان منطقه دارد. این همبستگی به صورت منفی است؛ یعنی با افزایش دما در این دو ماه تولید کاهش می‌یابد.

۵٫۸۲ درصد واریانس را شامل می‌شوند. دو مؤلفه اول و دوم بیشترین همبستگی را با تولید دارند و همبستگی آن‌ها به ترتیب ۴۵ و ۵۰ درصد است (جدول ۲). در نتیجه، بارندگی کل دوره (P<sub>99</sub>)، شش‌ماهه منتهی به اسفند (P<sub>66</sub>)، و چهارماهه منتهی به اسفند (P<sub>46</sub>) از مؤلفه اول بیشترین همبستگی را با تولید دارند. در بین عوامل مؤلفه دوم، بارندگی آذر (P<sub>13</sub>) مهم‌ترین عامل مؤثر بر تولید مرتع شناخته شد (شکل ۲). بنابراین، در این منطقه بارندگی‌های پاییز و زمستان نقش مهمی در تولید مرتع دارد. ضمناً در این شکل برای نشان‌دادن تولید از نماد pro استفاده شده است.

**تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف دما**  
نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد با چهار مؤلفه اصلی می‌توان ۹۰ درصد تغییرات تولید را به

جدول ۲. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف بارندگی

نام مؤلفه	مقدار ویژه	مشخصه آماری	
		درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
مؤلفه اول	۱۸٫۶۲۹	۵۴٫۷۹۲	۵۴٫۷۹۲
مؤلفه دوم	۶٫۸۸۳	۵۷٫۰۳۷	۶۱٫۴۸۵
مؤلفه سوم	۴٫۶۵۷	۸۱٫۷۳۶	۶۶٫۱۴۲
مؤلفه چهارم	۱٫۹۷۹	۹۴٫۵۵۹	۹۸٫۱۲۱

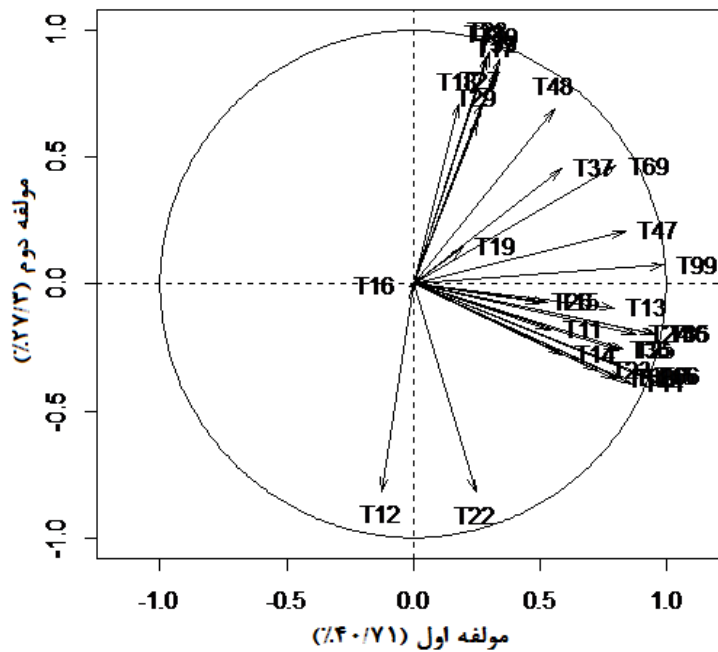


شکل ۲. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف بارندگی



جدول ۳. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف دمایی

نام مؤلفه	مشخصه آماری			
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	همبستگی با تولید
مؤلفه اول	۱۳,۸۴۱	۴۰,۷۰۹	۴۰,۷۰۹	-۰,۲۲
مؤلفه دوم	۹,۲۸۱	۲۷,۲۹۷	۶۸,۰۰۷	-۰,۶۸
مؤلفه سوم	۴,۶۸۵	۱۳,۷۸۱	۸۱,۷۸۹	۰,۴۴
مؤلفه چهارم	۳,۰۳۸	۸,۹۳۵	۹۰,۷۲۴	۰,۲۹



شکل ۳. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف دمایی

با توجه به اینکه در جهت عکس تولید قرار گرفته‌اند، رابطه منفی با آن دارند (شکل ۴).

### تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

تولید مرتع بیشترین همبستگی را با مؤلفه اول و چهارم دارد و میزان همبستگی آن‌ها به ترتیب ۵۴ و ۶۱ درصد است، که این ارتباط با مؤلفه اول به صورت مستقیم و با مؤلفه چهارم معکوس است

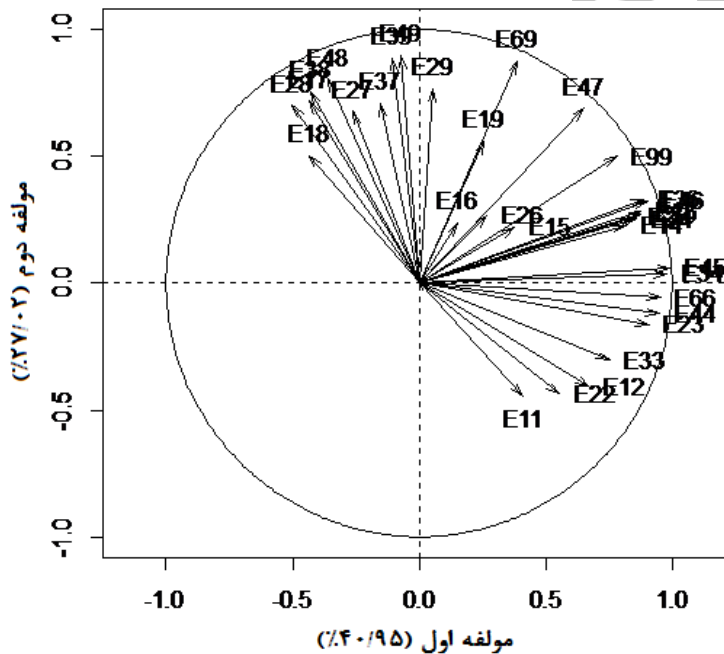
### تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف تبخیر و تعرق

مؤلفه اول با داشتن بیشترین مقدار ویژه و درصد واریانس نقش مهم‌تری در توجیه تغییرات تولید در روابط تبخیر و تعرق دارد (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، بردار تولید (Pro) به مؤلفه دوم (محور Xها) نزدیک‌تر است، در نتیجه، با آن ارتباط قوی‌تری دارد. بنابراین، تبخیر و تعرق در دو ماهه منتهی به فروردین (E27) و چهارماهه منتهی به اردیبهشت (E48) همبستگی بیشتری با تولید دارند و،

(جدول ۵). خشکسالی کل دوره (S<sub>99</sub>)، چهارماهه منتهی به فروردین (S<sub>47</sub>)، و چهارماهه منتهی به اسفند (S<sub>46</sub>) بیشترین تأثیر را بر تولید دارند و رابطه آن‌ها مثبت است (شکل ۵)، در حالی که در مؤلفه چهارم وضعیت خشکسالی در ماه آبان (S<sub>12</sub>) و دوماهه منتهی به آبان (S<sub>22</sub>) همبستگی منفی دارد.

جدول ۴. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف تبخیر و تعرق

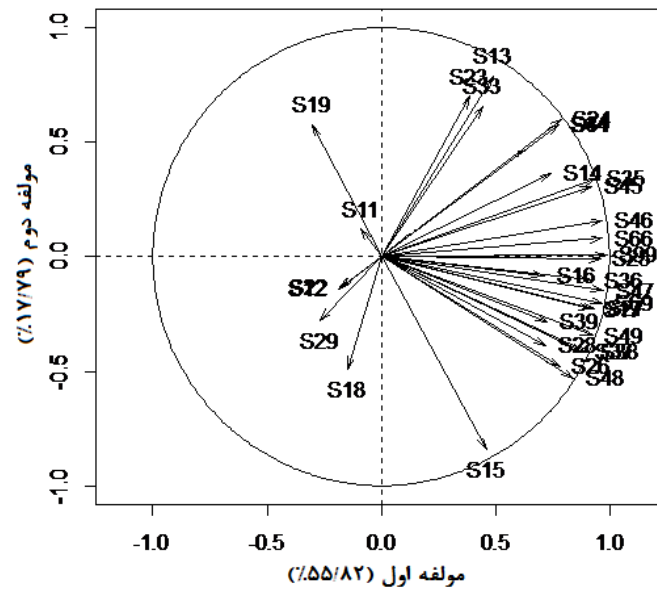
نام مؤلفه	مشخصه آماری		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
مؤلفه اول	۱۳,۹۲۴	۴۰,۹۵۳	۴۰,۹۵۳
مؤلفه دوم	۹,۱۸۷	۲۷,۰۲۲	۶۷,۹۷۵
مؤلفه سوم	۴,۷۷۶	۱۴,۰۴۷	۸۲,۰۲۳
مؤلفه چهارم	۲,۷۴۸	۸,۰۸۴	۹۰,۱۰۷



شکل ۴. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف تبخیر و تعرق

جدول ۵. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

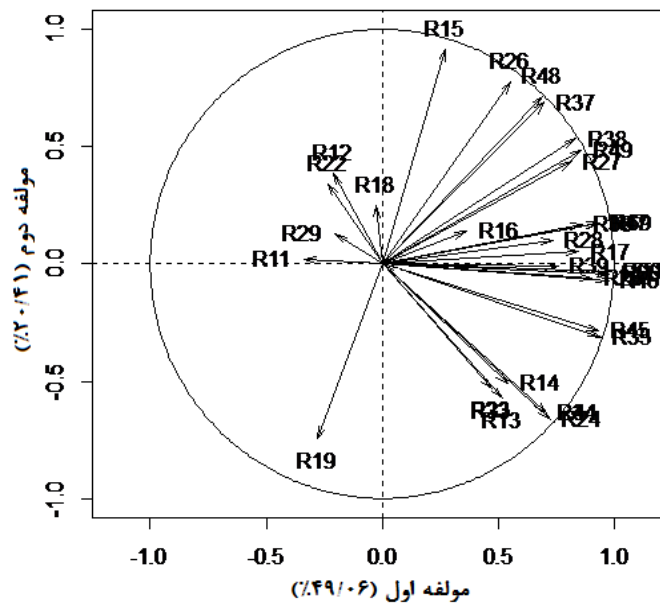
نام مؤلفه	مشخصه آماری		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
مؤلفه اول	۱۸,۹۷۸	۵۵,۸۲۰	۵۵,۸۲۰
مؤلفه دوم	۵,۹۴۵	۱۷,۴۸۶	۷۳,۳۰۶
مؤلفه سوم	۴,۴۳۶	۱۳,۰۴۸	۸۶,۳۵۴
مؤلفه چهارم	۲,۶۲۷	۷,۷۲۸	۹۴,۰۸۳



شکل ۵. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

جدول ۶. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

نام مؤلفه	مشخصه آماری		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
مؤلفه اول	۱۶,۶۸۱	۴۹,۰۶۴	۴۹,۰۶۴
مؤلفه دوم	۶,۹۴۰	۲۰,۴۱۳	۶۹,۴۷۷
مؤلفه سوم	۴,۲۰۸	۱۲,۳۷۷	۶۱,۸۵۵
مؤلفه چهارم	۳,۳۴۶	۹,۸۴۲	۹۱,۶۹۷



شکل ۶. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف خشکسالی بر اساس شناسایی خشکسالی (RDI)

## بررسی رابطه هر یک از عوامل آب‌وهوایی و شاخص‌های خشکسالی با تولید

فاکتورهایی که بیشترین تأثیر را بر تولید دارند دارای همبستگی بالایی با یکدیگرند. بنابراین، رابطه‌ای که فقط بر اساس آن‌ها ارائه شود، به دلیل تورم ایجاد شده، پیش‌بینی صحیح و دقیقی از پوشش گیاهی ارائه نخواهد داد. با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) فاکتورهایی که از هر مؤلفه انتخاب می‌شوند می‌توانند تأثیر سایر فاکتورهایی مشابه را نشان دهند و می‌توان رابطه‌ای را که در آن مشکل تورم کمتری باشد ارائه کرد.

با توجه به موارد ذکر شده، رابطه تولید با هر یک از فاکتورهایی مورد مطالعه و با توجه به آنالیز مؤلفه‌های اصلی به دست آمد که در روابط ۸ تا ۱۲ ارائه شده است.

## تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دوره‌های مختلف خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی

(RDI)

در مورد این شاخص مؤلفه اول بیشترین همبستگی را با تولید دارد. در این حالت نیز با چهار مؤلفه اصلی می‌توان ۹۱ درصد تغییرات تولید را توجیه کرد. در این میان، مؤلفه اول و دوم به ترتیب با همبستگی ۶۹ و ۴۳- درصد بیشترین ارتباط را با تولید مرتع در منطقه مورد بررسی دارند (جدول ۶). خشکسالی نُه‌ماهه منتهی به خرداد ( $R_{99}$ ) و چهارماهه منتهی به اسفند ( $R_{46}$ ) به ترتیب بیشترین همبستگی را با مؤلفه اول و، در نتیجه، با تولید دارند. در مؤلفه دوم نیز خشکسالی بهمن‌ماه ( $R_{15}$ )، دوماهه منتهی به بهمن ( $R_{25}$ )، و دوماهه منتهی به اسفند ( $R_{26}$ ) بیشترین همبستگی را با تولید دارند، که نشان‌دهنده اهمیت وضعیت خشکسالی در این ماه‌ها است (شکل ۶).

$$Y = 5.632 + 4.804P_{14} + 1.60P_{13} - 1.906P_{12} + 13.835P_{29} \quad (8)$$

$$Y = 2858.75 - 88.63T_{25} + 181.06T_{47} - 201.66T_{39} \quad (9)$$

$$Y = 1295.45 - 1.289E_{36} - 6.99E_{48} + 4.01E_{16} + 1.052E_{15} \quad (10)$$

$$\log_{10} Y = 2.401 + 0.344S_{69} - 0.302S_{15} + 0.265S_{18} + 0.022S_{12} \quad (11)$$

$$\log_{10} Y = 2.399 + 0.378R_{47} - 0.326R_{26} + 0.55R_{22} + 0.112R_{18} \quad (12)$$

جدول ۷. مقادیر شاخص‌های خطاسنجی در مناسب‌ترین روابط تولید با پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های خشکسالی

شاخص خطاسنجی					عامل اقلیمی
IPE	R	MARE	RMSE	MBE	
۰٫۴۲۴	۰٫۹۰۲	۰٫۲۰۶	۵۴٫۶۶۷	-۰٫۰۱۸۷	بارندگی (۸)
۰٫۲۷۴	۰٫۹۷	۰٫۰۸۹	۳۰٫۷۶۷	۰٫۰۴۶	دما (۹)
۰٫۳۳۴	۰٫۸۹۳	۰٫۱۵۹	۵۷٫۱۴۱	۰٫۱۱۵	تبخیر و تعرق (۱۰)
۰٫۳۵۷	۰٫۹۱۷	۰٫۱۵۳	۵۰٫۹۳۳	۴٫۱۷۶	شاخص بارش استاندارد شده (۱۱)
۰٫۲۱۲	۰٫۹۶۹	۰٫۱۱۱	۳۱٫۶۶۳	۴٫۵۳۲	شاخص شناسایی خشکسالی (۱۲)

اعداد نوشته شده در داخل پرانتز شماره معادلات مربوط است.

در تیمار شاهد بیشترین مقدار را دارد و با افزایش رطوبت در دسترس خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر این، رابطه‌ای که بر اساس رطوبت خاک ( $R=0.65$ ) ارائه می‌شود در مقایسه با رابطه حاصل از بارندگی ( $R=0.46$ ) برآورد دقیق‌تر و صحیح‌تری از تولید مرتع دارد [۳۱]، زیرا رطوبت خاک همه‌اتفاقی‌های بارندگی - شامل جمع بارندگی‌ها، بارندگی‌های گذشته و اخیر - را در نظر می‌گیرد. ضمن آنکه در منطقه تنگ لایبید تولید مرتع با بارندگی سالانه ضریب همبستگی ۰/۷۵ و با بارندگی فصل رویش ضریب همبستگی ۰/۸۴ را به خود اختصاص داده است [۲۲].

#### رابطه دما و تولید

دما در مراحل ابتدایی رشد گیاه تأثیر درخور توجهی دارد. با توجه به یخبندان‌های موجود در منطقه در فصل زمستان، افزایش دما در این ماه‌ها برای شروع رشد گیاهان مفید خواهد بود. ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که دمای اسفندماه رابطه مثبت با تولید دارد. در حالی که رابطه دمای بهمن و دی با تولید منفی است. اسفند زمان جوانه‌زنی گیاهان یک‌ساله و شروع رشد گیاهان چندساله است. بنابراین، رطوبت محدودکننده نیست و هرچه دما بیشتر شود، شرایط برای رشد گیاهان مناسب‌تر است. ضمن آنکه دمای اردیبهشت رابطه منفی با تولید دارد. در اردیبهشت‌ماه هرچه هوا گرم‌تر باشد، تبخیر و تعرق بیشتر و در نتیجه نیاز آبی گیاه افزایش می‌یابد و، با توجه به خشک‌بودن منطقه، شرایط برای رشد گیاهان نامناسب‌تر می‌شود. رابطه تولید با دمای بهار هم رابطه منفی است؛ دمای بالا در این فصل باعث

مقادیر آماره‌های خطاستنچی در هر مدل محاسبه شد. جدول ۷ خلاصه نتایج را نشان می‌دهد. از میان رابطه‌های ارائه‌شده، شاخص شناخت خشکسالی دارای کمترین IPE است، در نتیجه، بهترین رابطه انتخاب شد.

#### بحث و نتیجه‌گیری

##### رابطه بارندگی و تولید

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار بارندگی به‌تنهایی قادر به برآورد صحیح تولید مرتع نیست. همان‌گونه که بیان شد، بخش اعظم بارندگی‌ها در اثر رواناب یا تبخیر و تعرق از دسترس گیاهان خارج می‌شود و گیاهان از آن استفاده نمی‌کنند. با توجه به ضریب همبستگی رابطه بارندگی و تولید (جدول ۷)، در حالی که بین تولید در مرتع و بارندگی رابطه قوی ( $R=0.902$ ) وجود دارد، این رابطه در مقایسه با بعضی از متغیرهای مورد بررسی، از جمله شاخص‌های مربوط به خشکسالی، همبستگی کمتری دارد. در عین حال، نتایج تحقیقات انجام‌شده [۱۸] در این منطقه نشان می‌دهد که از میان ویژگی‌های بارندگی - شامل مقدار و فراوانی بارندگی - مقدار بارندگی از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین، نتایج تحقیق [۱۸] نشان می‌دهد که تولید گیاهان یک‌ساله و رشد سال‌اخیر گیاهان چندساله در تیمارهای بارندگی با شدت پایین و فراوانی بالا و شدت بالا و فراوانی پایین نسبت به حالت کنترل (بارندگی طبیعی منطقه) افزایش می‌یابد. از طرفی، بین تاج پوشش گیاهان یک‌ساله و تراکم گیاهان یک‌ساله همبستگی مثبتی موجود است. این همبستگی

است، در حالی که آن‌ها تبخیر و تعرق واقعی را در تحقیق خود مد نظر قرار داده‌اند.

تبخیر و تعرق رابطه مثبت در دو ماه اسفند (E<sub>16</sub>) و بهمن (E<sub>15</sub>) با تولید دارد. البته، تأثیر اسفند بیشتر از بهمن و حدود ۳ برابر است (رابطه ۱۰). با توجه به اینکه بهمن و اسفند شروع فصل رشد گیاهان و از جمله گیاهان غالب منطقه است، افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق خواهد شد، که در این مرحله برای جوانه‌زنی گیاه می‌تواند مناسب باشد.

#### رابطه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و تولید

رابطه حاصل از شاخص بارش استاندارد شده نشان می‌دهد که تولید مرتع با وضعیت خشکسالی در شش ماهه دی تا خرداد (S<sub>69</sub>) مرتبط است و با تغییر وضعیت از خشکسالی به ترسالی تولید هم افزایش خواهد یافت (رابطه ۱۱)، ضمن آنکه هرچه خشکسالی شدیدتر باشد (مقدار SPI در این دوره شش ماهه منفی تر شده)، تولید هم کاهش خواهد یافت. گیاهان بوته‌ای و گیاهان یک‌ساله با ریشه‌های سطحی به راحتی از بارندگی بهار استفاده می‌کنند و گیاهان در این دوره به دلیل افزایش دما و تبخیر و تعرق به آب بیشتری نیاز دارند. از طرف دیگر، بیشترین سرعت فتوسنتز و، در نتیجه، بیشترین سرعت رشد را هم در اوایل بهار دارند. بنابراین، در صورت وقوع شرایط ترسالی تولید افزایش خواهد یافت و، بر عکس، در صورتی که شرایط خشکسالی در منطقه حکم‌فرما شود، با توجه به شدت خشکسالی، تولید کاهش خواهد یافت. از طرفی، در مراتع با جوامع گیاهی غالب بوته‌ای و چندساله نسبت به جوامع گیاهی، که اغلب گیاهان علفی و با

افزایش تبخیر و تعرق می‌شود. افزایش دما باعث افزایش سرعت تنفس و افزایش تولید دی‌اکسید کربن می‌شود، در نتیجه، در ابتدا فتوسنتز افزایش می‌یابد، اما، پس از رسیدن دما به یک حد ماکزیمم، دوباره فتوسنتز کاهش می‌یابد و باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود. بنابراین، اگرچه افزایش دما در ابتدای بهار باعث افزایش تولید گیاهان منطقه می‌شود، اگر از حداکثر دمای لازم برای گیاهان منطقه افزایش یابد، تنش گرمایی به آن‌ها وارد خواهد شد. مشابه چنین نتیجه‌ای در این منطقه قبلاً هم گزارش شده است [۲]. در مطالعه‌ای در مغولستان نیز گزارش شده است که دما در خرداد و تیر (June و July) همبستگی منفی با تولید مرتع دارد [۲۶]. ضمن اینکه در منطقه مغولستان فصل رشد گیاه نسبت به منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حدود یک تا دو ماه دیرتر شروع می‌شود.

#### رابطه تبخیر و تعرق و تولید

معادله برآورد تولید با استفاده از تبخیر و تعرق پتانسیل دارای کمترین میزان ضریب همبستگی برای پیش‌بینی تولید در این منطقه است (جدول ۷ و رابطه ۱۰). تبخیر و تعرق به‌تنهایی نمی‌تواند برآورد صحیحی از تولید داشته باشد، زیرا تبخیر و تعرق پتانسیل رطوبت پیشین ذخیره‌شده در خاک و همچنین میزان رطوبت موجود در خاک را در فصل رویش نشان نمی‌دهد. در منطقه رودشور معمولاً همبستگی بین تبخیر و تعرق واقعی و تولید بالا و رابطه میزان کل ماده خشک تولیدشده با تبخیر و تعرق واقعی خطی است [۱۳]. تبخیر و تعرق محاسبه‌شده در این تحقیق تبخیر و تعرق پتانسیل

سرعت و جهت باد، و رطوبت نسبی را در نظر گرفتند.

رابطه ارائه شده توسط شاخص شناسایی خشکسالی (رابطه ۱۲) نشان می‌دهد که هرچه شاخص خشکسالی در چهارماهه منتهی به فروردین و ماه‌های مهر و آبان بزرگتر باشد، یعنی وضعیت مرطوب‌تر باشد، تولید هم بیشتر می‌شود. بیشتر گیاهان منطقه گیاهان بوته‌ای است، که معمولاً از رطوبت ذخیره شده در خاک استفاده می‌کنند. از این رو، زمانی که در زمستان بارندگی کم باشد، آبی در خاک ذخیره نمی‌شود و، در نتیجه، این گیاهان با خشکسالی روبه‌رو می‌شوند. رطوبت خاک، به‌ویژه رطوبت ذخیره‌شده ناشی از بارندگی پیشین (رطوبت اول فصل رویش)، یکی از عوامل اصلی رشد و تولید گیاهان مرتعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود [۱۶].

خشکسالی اردیبهشت در درجه اهمیت کمتری نسبت به وضعیت خشکسالی در چهار ماه دی تا فروردین قرار دارد (رابطه ۱۲). از طرفی، گیاهان غالب منطقه را دو گیاه *Artimisia sieberi* و *Erotia ceratoides* تشکیل می‌دهند که به ترتیب از اوایل اسفند و اوایل بهار رشد آن‌ها آغاز می‌شود. در مقیاس ماهانه وضعیت خشکسالی در اردیبهشت‌ماه ( $R_{18}$ ) بیشترین تأثیر را در تولید دارد (رابطه ۱۲)؛ اهمیت وضعیت خشکسالی در این ماه در معادله ۱۱ هم نشان داده شده است.

بر اساس رابطه ارائه شده بین خشکسالی و تولید (رابطه ۱۲)، وضعیت خشکسالی دوماهه مهر و آبان ( $R_{22}$ ) هم بر میزان تولید تأثیر زیادی دارد، زیرا وضعیت خشکسالی در دوماهه مهر و آبان وضعیت

ریشه‌های سطحی‌اند، بارندگی زمستان از اهمیت بیشتری برخوردار است. مطالعه خشکسالی در گریت شمالی در ایالت مونتانا ای امریکا نشان داد که خشکسالی شدید بهاره محتوای رطوبتی خاک را کاهش می‌دهد و باعث کاهش تولید می‌شود [۱۷]. از نظر وضعیت خشکسالی در مقیاس ماهانه، تولید مرتع تأثیر بیشتری از وضعیت خشکسالی در ماه اردیبهشت ( $S_{18}$ ) می‌پذیرد (معادله ۱۱). این موضوع نیز نشان می‌دهد که وضعیت خشکسالی و بارندگی در ماه اردیبهشت به‌شدت می‌تواند بر تولید مرتع مؤثر باشد.

#### رابطه شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و تولید

بر اساس معیارهای خط‌اسنجی، رابطه‌ای که بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) ارائه شده است خطای کمتری نسبت به سایر روابط دارد (جدول ۷). همان‌گونه که بیان شد در شاخص RDI فقط مقدار بارندگی در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه نیاز مصرفی آب توسط گیاه (تبخیر و تعرق پتانسیل) هم دخالت داده می‌شود. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که تولید با این شاخص در مقایسه با سایر شاخص‌ها و متغیرهای آب‌وهوایی ارتباط بیشتری داشته باشد. استفاده از بارش مؤثر به عنوان معیاری برای تعیین خشکسالی نیز نشان داد که هرچه مقدار بارش مؤثر بیشتر باشد، ضریب استفاده از بارش توسط گیاهان نیز افزایش می‌یابد و، در نتیجه، تولید نیز افزایش می‌یابد [۱۶]. در زمینه تأثیر خشکسالی و چرا بر روی مراتع در گریت شمالی نیز مدلی که رطوبت خاک را در نظر می‌گیرد بهتر از مدلی است که فقط بارندگی را در نظر می‌گیرد [۱۷]. محققان [۱۷] برای سنجش رطوبت خاک بارندگی، دمای هوا، دمای خاک،

( $R=0.969$ ) نسبت به تعیین وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص SPI (شاخص بارش استاندارد شده) تعیین کند. در تعیین شاخص شناسایی خشکسالی نه تنها بارندگی، بلکه تبخیر و تعرق پتانسیل نیز در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه، این شاخص می‌تواند منعکس‌کننده تنش‌های رطوبتی و دمایی هم به گیاه باشد، در حالی که شاخص SPI فقط می‌تواند وضعیت بخشی از تنش رطوبتی به گیاه را مشخص کند.

پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیشتری درباره مقایسه رابطه تولید مرتع با متغیرهای آب‌وهوایی و شاخص‌های خشکسالی در مناطق مختلف آب‌وهوایی انجام پذیرد و نتایج آن‌ها با نتایج این تحقیق مقایسه شود.

### سپاسگزاری

این تحقیق در راستای تألیف پایان‌نامه کارشناسی ارشد با کد طرح ۲۲۲۲۶ انجام گرفته است؛ از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌شود.

رطوبتی خاک را در ابتدای فصل رویش تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی، در دوره‌های ابتدای رشد، گیاه دارای حداقل ذخیره غذایی است، بنابراین، اگر رطوبت کافی وجود نداشته باشد، برگ‌ها پژمرده می‌شوند و شدت عمل فتوسنتز کاهش می‌یابد. در صورت ادامه خشکی عمل فتوسنتز قطع می‌شود. در صورتی که افزایش بارندگی باعث افزایش سرعت فتوسنتز و، در نتیجه، افزایش تعداد و مقدار برگ‌ها می‌شود [۲۰].

با توجه به روابط ارائه شده (روابط ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲) و جدول ۶، مشاهده می‌شود که تولید مرتع به تنهایی می‌تواند تابع هر یک از متغیرهای بارندگی، دما، تبخیر و تعرق، و خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI یا RDI باشد. ولی با مقایسه ضرایب همبستگی و سایر آماره‌های ارزیابی خطا در مورد این معادلات مشاهده می‌شود که بیشترین ارتباط تولید مرتع با وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص RDI (با مقدار  $R=0.969$ ) وجود دارد. این وضع نشان می‌دهد که تولید مرتع از وضعیت خشکسالی نسبت به بارندگی یا دما تأثیر بیشتری می‌پذیرد. در بررسی مقدار تولید مرتعی در قم، با در نظر گرفتن شاخص‌های خشکسالی، بیشترین همبستگی با شاخص بارش استاندارد شده سه ماهه (SPI) و سپس شاخص پالمر (PDSI) گزارش شده است [۶]. البته، در تحقیق ذکر شده شاخص شناسایی خشکسالی بررسی نشده است.

در مقایسه ضرایب همبستگی در رابطه ۱۱ و ۱۲ و جدول ۷ مشاهده می‌شود که تعیین وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص RDI (شاخص شناسایی خشکسالی) می‌تواند میزان تولید را با دقت بیشتری



## References

- [1] Abdollahi, J., Arzani, H., Baghestani, N. and Askarshahi, F.S.M. (2007). Rainfall and ground water table change influencing the *seidletzia rosmarinous* growth and development at the Chah-Afzal Ardakan, *Journal of Range and Desert Reseach*, 13(2), 74-81.
- [2] Abdollahi, J., Arzani, H. and Naderi, H. (2011). Climatic factors affecting on production of forage Noudushan rangelands in Yazd Province, *Journal of rangland*, 5(1), 45-56.
- [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 Natural Resources*, 60(1), 307-322.
- [4] Alizadeh, A. (2013). *Applied principle of hydrology*, imam Reza University press, Mashhad.
- [5] Andales, A., Derner, J., Ahuja, L. and Hart, R. (2006). Strategic and Tactical Precipitation of forage Production in North Mixed-Grass Prairie, *Rangland Ecology & Management*, 59(6), 576-584.
- [6] Azarakhshi, M., Mahdavi, M. and Arzani, H. (2009). Determining the best drought indices in arid and semi-arid regions of the seen product of rangeland plants (Case Study: Qom, Markazi and Ilam). Ph.D. thesis. 203PP.
- [7] Baghestani Maybodi, N. and Zare, M.T. (2007). Investigation of relationship between annual precipitation and yield in steppic of Poosht-kooch region of Yazd province. *Journal of Pajouhesh & Sazandegi*, 75, 103-107.
- [8] Bates, J.D., Svejcar, T., Miller, R.F. and Angell, R.A. (2006). The effects of precipitation timing on sagebrush steppe vegetation, *Journal of Arid Environments*, 67, 670-697.
- [9] Benie, G., Kabore, S., Goita, K. and Courel, M. (2005). Remote sensing-based spatio-temporal modeling to predict biomass in Sahelian grazing ecosystem, *Journal of Ecological Modelling*, 184, 341-354.
- [10] Borg, D. (2009). An Application of Drought Indices in Malta, Case Study, *European Water*, 26, 38-25.
- [11] Elagib, N. and Elhag, M. (2011). Major climate indicators of ongoing drought Sudan, *Journal of Hydrology*, 409, 612-625.
- [12] Evans, S., Byrne, K., K.Lauenroth, W.C. and Burke, I. (2011). Defining the limit to resistant in drought-tolerant grassland: long-term severe drought significantly reduces the dominant species and increases ruderals, *Journal of Ecology*, 99, 1500-1507.
- [13] Ehsani, A., Arzani, H., Farahpour, M., Ahmadi, H., Jafari, H., Jalili, A., Mirdavoudi, H.R., Abasi, H.R. and Azimi, M.S. (2007). The effect of climatic conditions on range forage production in steppe rangelands, Akhtarabad of Saveh, *Journal of Range and Desert Research*, 14(2), 260-249.
- [14] 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 & Geological Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, CANADA. 49 p.
- [15] Forrest, A.S. and hyder, S.N. (1985). Estimating herbage production on semi-arid ranges in the intermountain region, *Journal of Range Management*, 15, 88-93.
- [16] Hein, L. (2006). The impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a sahelian rangeland, *Journal of Arid Environments*, 64, 488-504.

- [17] Heitschmidt, R.K., Klement, K.D. and Haferkamp, M.R. (2005). Interactive Effects of drought and Grazing Northern Great Plains Rangelands, *Rangeland Ecology & Management*, 58, 19-11.
- [18] Jankju, M. (2008). Individual Performances and the Interaction between Arid Land Plants Affected by the Growth Season Water Pulses, *Arid Land Research and Management*, 22, 123-133.
- [19] Khumalo, G. and Holechek, J. (2005). Relationship between Chihuahan Desert Perennial Grass Product and Precipitation, *Rangeland Ecology & Management*, 58, 239-246.
- [20] Liu, Y., Pan, Q., Zheng, S., Bai, Y. and Han, X. (2012). Intra-seasonal precipitation amount and pattern differentially affect primary production of two dominant species Inner Mongolia grassland, *Acta Oecologia*, 44, 2-10.
- [21] McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, *Paper Presented at 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Anaheim, CA.
- [22] Mirjalili, A.B. and moosaei sanjareei, M. (2009). The effect of climate on range forage production in tangelaybid, Yazd, *Second Regional Conference on Natural Resources and the Environment*, Arsanjan.
- [23] Mishra, A.K. and Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- [24] Moghaddam, M., mohammadi, A. and Aghaei, M. (2010). *Introduction to multivariate statistical methods*, Paryvar press, Azarbaygan sharghi.
- [25] Mosaedi, A. and Ghabaei Sough, M. (2012). Modification of Standardized Precipitation Index (SPI) Based on Relative Probability Distribution Function, *Journal of Water and Soil*, 25(5), 1206-1216.
- [26] Munkhtsetseg, E., Kimura, R., Wang, J. and Shinoda, M. (2007). Pasture yield response to precipitation and high temperature in Mongolia, *Journal of Arid Environments*, 70, 94-110.
- [27] Sharifan, H., Ghahreman, B., Alizadeh, A. and Mir.latif, M. (2006). Comparison of the different methods of estimated Reference Evapotranspiration (Compound and Temperature) with standard method and analysis of aridity effects, *Journal of Agric. Sci.Natur.Resour*, 13(1), 19-30.
- [28] Smart, A., Dunn, B. and Gates, R. (2005). Historical Weather Patterns: A Guide for Drought Planning, *Rangelands*, 27(2), 10-12.
- [29] Smart, A., Dunn, B., Johnson, P., Xu, L., and Gates, R. (2007). Using weather data to explain herbage yield on three great plain plant communities, *Rangeland Ecology & Management*, 60(2), 146-153.
- [30] Schwinning, S., Starr, B.I. and Ehleringer, J.R. (2005). Summer and winter drought in cold desert ecosystem (Colorado Plateau) part II: effects on plant carbon assimilation and growth, *Journal of Arid Environments*, 61, 61-78.
- [31] Torell, L.A., McDaniel, K.C. and Koren, V. (2011). Estimating grass yield on blue grama range from seasonal rainfall and soil moisture measurements, *Rangeland Ecology & Management*, 64(1), 56-66.
- [32] Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI, *Journal of Water Resources Management*, 18, 1-12.