نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۲، ص. ۱۲۰۶-۱۱۹۰

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 6, Jan.-Feb. 2014, p. 1190-1206

مدل‌سازی تولید گیاهی بر اساس عوامل آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی در مراتع منتخب استان‌های مرکزی و قم

سمانه محمدی مقدم[۱]- ابوالفضل مساعدی[۲*]- محمد جنگجو[۳]- منصور مصداقی[۴]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۲/۴
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۷/۳۰

چکیده

پیش‌بینی تولید گیاهی و استراتژی‌های مدیریتی مناسب نیاز به شناخت عوامل آب و هوایی اصلی در مناطق مختلف دارد. هدف از انجام این تحقیق مقایسه تولید علوفه در مناطق مختلف بر اساس عوامل آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی است. این مناطق شامل دو منطقه در استان مرکزی و دو منطقه در استان قم می‌باشند. عوامل آب و هوایی مورد بررسی شامل بارندگی، دما و تبخیر و تعرق و شاخص‌های خشکسالی شامل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) می‌باشند. برای هر یک از متغیرها، سی و سه دوره‌ی زمانی مختلف، شامل: دوره‌های یک‌ماهه تا نه‌ماهه در نظر گرفته شده‌است. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای مستقل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای کاهش حجم داده‌ها استفاده شد. رابطه تولید علوفه مرتع با هریک از عوامل آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی با استفاده از روش‌های رگرسیونی چند متغیره شامل stepwise و bestsubset مدل‌سازی شد. علاوه‌براین، رابطه تولید مرتع با همه این عوامل به صورت یک مدل ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. برای انتخاب مدل از معیارهای ارزیابی خطا استفاده شد. در نهایت در مناطق رودشور، باغیک و قره‌سو به ترتیب مدل‌هایی که بر اساس تبخیر و تعرق (RMSE=۷/۷Kg, r=۰/۹۹)، شاخص شناسایی خشکسالی (RMSE=۳/۱Kg, r=۰/۹۹) و بارندگی (RMSE=۴/۰Kg, r=۰/۹۹) تولید را پیش‌بینی می‌نمایند، به عنوان مدل مناسب پیش‌بینی تولید علوفه مرتع در هر منطقه انتخاب شدند. ضمن آن‌که در منطقه اراک مدلی که ترکیبی از عوامل آب و هوایی (RMSE=۰/۲Kg, r=۰/۹۹) است، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. به‌طور کلی ارتباط تولید مرتع با وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی قوی‌تر از ارتباط آن با بارندگی و دما است. همچنین به‌منظور برآورد تولید مرتع، شاخص شناسایی خشکسالی نسبت به شاخص بارش استاندارد شده از دقت بیشتری برخوردار است. زیرا، این شاخص به‌طور هم‌زمان وضعیت بارندگی و تبخیر و تعرق را در نظر می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تولید علوفه، بارندگی، دما، تبخیر و تعرق، شاخص خشکسالی

مقدمه

استفاده پایدار از اراضی که تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی قرار دارند، نیازمند آگاهی از پویایی سیستم است. این امر به ویژه در سیستم‌های چرایی مناطق خشک و نیمه‌خشک که در آن تغییرات آب و هوایی و خطر تخریب بالا است به‌منظور مدیریت دام اهمیت بیشتری دارد. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی یک راه مناسب برای بررسی روند تغییرات این سیستم‌های پیچیده در آینده است (۳۴). این مسئله نیاز به درک درست از روابط بین عوامل متعدد محیط و اثر آن بر رشد گیاه دارد. اکوسیستم‌های زمین عمدتا توسط آب و هوا و خاک تعیین می‌شود. پوشش گیاهی در تعامل با خاک و اتمسفر به وجود می‌آید (۳۹). همچنین نتایج تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در طولانی مدت هر دو عامل چرا و آب و هوا از عوامل مهم موثر بر پوشش گیاهی هستند (۲۲). مراحل فنولوژیکی گیاه تابعی از شرایط آب و هوایی است به‌طوری که با خنک‌شدن هوا رشد رویشی آغاز و دوران رکود فعالیت‌های گیاه با افزایش و شدت گرما در فصل خشک هم‌زمان می‌شود (۱۵). بنابراین، آب و هوا یک عامل مهم در تعیین ویژگی‌های سطح زمین شامل توزیع بیومس، فنولوژی گیاهان و تعادل انرژی است (۳۶). تفاوت آب و هوا در مناطق مختلف باعث ایجاد پوشش گیاهی متفاوت شده‌است و در نتیجه با تغییر مکان عوامل مهم موثر بر پوشش گیاهی نیز تغییر خواهند کرد. به‌طور مثال هولچک و همکاران (۲۵) معتقد هستند که در مناطقی با بارندگی بیش از ۵۰۰ میلی‌متر بارندگی بیش از سایر عوامل بر پوشش گیاهی موثر است در حالی که در مناطقی با بارندگی کم‌تر از ۵۰۰ میلی‌متر، رطوبت خاک دارای اهمیت بیشتری است. وایت و همکاران (۳۷) سه جامعه گیاهی

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیاران و استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mosaedi@um.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

با ترکیب گیاهان سه کربنه و چهار کربنه و آب و هوای متفاوت را در نیوزلند مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در هر سه جامعه افزایش دما باعث کاهش تولید و بارندگی باعث افزایش بیومس می‌شود، اما افزایش دما باعث کاهش بیشتری در بیومس جامعه ماناواتو شده و دلیل آن حساسیت بیشتری است که این جامعه (ترکیب گیاهی متفاوت) نسبت به دو جامعه دیگر به دما دارد. دلیوو و نیامباکا (۱۹) در هشت سایت در مناطق خشک و نیمه‌خشک کنیا و شمال تانزانیا تولید را با استفاده از داده‌های بارندگی مدل‌سازی نمودند. میانگین بارندگی سالانه این سایت‌ها از ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر متغیر بود. نتایج ایشان نشان داد که معادلات پیش‌بینی تولید برای این مناطق از ۵۶ تا ۹۹ درصد تغییرات تولید در این مناطق را می‌توانند پیش‌بینی کنند. تفاوت بین سایت‌ها به دلیل تفاوت آن‌ها در ترکیب گونه‌ها، تراکم پوشش گیاهی و نوع خاک می‌باشد. همچنین پاسخ پوشش گیاهی در این مناطق به هر واحد بارندگی متفاوت می‌باشد. به نظر می‌رسد که مراتع شرق آفریقا نسبت به مراتع غرب و جنوب آفریقا در برابر هر واحد بارندگی تولید بیشتری دارند.

گونه‌های گیاهی مختلف واکنش متفاوتی نسبت به عوامل آب و هوایی دارند. به‌طور مثال با توجه به فرم رویشی، سیستم ریشه‌ای و زمان و کیفیت بارش واکنش گیاهان یکسان نیست (۱۶). در مناطقی مانند شمال دشت‌های بزرگ ایالات متحده آمریکا، قسمت بیشتر بارندگی سالانه در فصل زمستان و اوایل بهار اتفاق می‌افتد. این نوع از بارندگی برای رشد و توسعه بوته‌های ریشه عمیق و سرمادوست که سیستم تنفسی آن‌ها سه کربنه می‌باشد مناسب است (۱۸)، در حالی که در مناطقی مانند فلات کلرادو که قسمت اعظم بارندگی در تابستان و بهار اتفاق می‌افتد گیاهان چهار کربنه با سیستم ریشه‌ای سطحی غالب هستند (۱۷).

از طرفی در مورد یک عامل آب و هوایی نیز دوره‌های زمانی خاصی از آن عامل بر تولید گیاه و یا مقدار پوشش موثرتر هستند. نتایج مطالعات ران و همکاران (۲۹) نشان داد که عامل کلیدی در تولید علف‌زار مقدار بارندگی در یک دوره خاص است که در علف‌زارهای مختلف این دوره‌ی زمانی متفاوت است. مثلا برای استپ معتدل بارندگی در ماه‌های آگوست تا می به عنوان ماه‌های موثر بر تولید شناخته شده‌اند، در حالی که در منطقه بیابانی بارندگی ماه‌های آوریل تا جون دارای اهمیت بیشتری هستند. مطالعه تغییرات پوشش گیاهی تحت تاثیر نوسانات بارندگی در منطقه ندوشن یزد نشان می‌دهد که تولید کل به همراه تولید گونه‌های غالب منطقه بر اساس داده‌های بارش دی و دوره آذر تا اسفند به خوبی قابل برآورد می‌باشند (۱۰)، در حالی که مطالعه در منطقه پلور نشان می‌دهد که بارندگی بهار ارتباط بیشتری با تولید دارد (۵).

به نظر می‌رسد با توجه به عوامل متعددی که در مناطق مختلف می‌توانند بر پوشش گیاهی و به‌ویژه تولید علوفه موثر باشند، اگر از پدیده‌هایی مانند خشکسالی که برآیندی از مجموعه این عوامل است به‌منظور مدل‌سازی تولید استفاده شود، مناسب‌تر خواهد بود. زیرا با توجه به استاندارد بودن بسیاری از شاخص‌های خشکسالی، امکان مقایسه میان مناطق مختلف فراهم می‌شود. در یک تعریف برای خشکسالی از دیدگاه گیاهی، خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که کم‌بود رطوبت خاک باعث استرس شدید به گیاه و پژمردگی شده و در نتیجه تولید علوفه کم‌تر از حد انتظار باشد. بر اساس این تعریف در نظر گرفتن خشکسالی باعث می‌شود که زمان و مقدار بارش، تقاضای آبی گیاه (که می تواند توسط دمای بالا و یا باد تحت تاثیر قرار گیرد) و مقدار آب در دسترس خاک را با یکدیگر ادغام کرد (۳۳). چندین شاخص خشکسالی از دیدگاه کشاورزی ارائه شده‌اند، اما این نوع شاخص‌ها عموما از دیدگاه زراعی ارائه شده و مستقیما در مورد گونه‌های علوفه‌ای ارائه نشده‌اند (۳۳).

یکی از شاخص‌هایی که کاربرد فراوانی پیدا نموده‌است، شاخص بارش استاندارد شده (SPI[1]) است. شاخص بارش استاندارد شده که توسط مک‌کی و همکاران (۲۶) ارائه شده‌است، بر مبنای مقدار بارندگی پایش خشکسالی را انجام می‌دهد. این شاخص قادر است خشکسالی را در دوره‌های زمانی کوتاه مدت و بلند مدت (۱ ماهه تا ۴۸ ماهه) بررسی کند. در حال حاضر شاخص SPI به‌طور گسترده‌ای در امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان جهت پایش خشکسالی استفاده می‌شود (۲۷). 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، به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی شناخته می‌شود (۱۲). شاخص شناسایی خشکسالی (RDI[2]) در سالهای اخیر توسط ساکریس و وانگلیس (۳۵) معرفی شده‌است که به دلیل نیاز به داده‌های کم، حساسیت بالا و انعطاف‌پذیری زیاد در حال فراگیر شدن است. این شاخص با توجه به این که بر مبنای بارندگی و تبخیر و تعرق محاسبه می‌شود، نسبت به SPI به متغیرها و تغییرات آب و هوایی حساسیت بیش‌تری دارد. این شاخص مقایسه منطقی از وضعیت خشکسالی را در مناطق با آب و هوای متفاوت نشان می‌دهد (۲۰).

بنابراین با توجه به تاثیرپذیری تولید مراتع از عوامل آب و هوایی و همچنین خشکسالی، هدف از انجام این تحقیق تعیین مهم‌ترین عوامل آب و هوایی از میان عوامل بارندگی، دما، تبخیر و تعرق بر تولید مراتع در تعدادی از سایت‌های تحقیقاتی استان‌های مرکزی و قم می‌باشد. علاوه بر این رابطه تولید مرتع با شاخص‌هایی مانند SPI و RDI مورد بررسی قرار خواهد گرفت تا میزان همبستگی تولید مرتع

1- Standardized Precipitation Index
2- Reconnaissance Drought Index

Archive of SID

www.SID.ir

با عوامل آب و هوایی و یا خشکسالی مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت مهم‌ترین عوامل و دوره‌های زمانی موثر بر تولید علوفه در هر منطقه شناسایی خواهند شد.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه (شکل ۱) در ۴ منطقه از استان‌های مرکزی و قم به شرح زیر واقع شده‌اند.

منطقه اراک که به عنوان وضعیت متوسط شهرستان اراک قلمداد می‌شود و شامل دو سایت شانق و چزان در استان مرکزی می‌باشد. شانق در طول جغرافیایی ´۱۲ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۰۳ °۳۴ شمالی و چزان در طول جغرافیایی ´۰۸ °۴۹ شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۳ °۳۴ شمالی قرار دارد. ارتفاع متوسط این سایت‌ها به ترتیب ۱۹۷۵ و ۱۷۰۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی ۵۰ ساله منطقه (از سال ۱۳۳۵) بر اساس آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک اراک، ۳۴۴/۴ میلی‌متر می‌باشد. حدود ۶۰/۵ درصد بارندگی در ماه‌های آذر تا فروردین اتفاق می‌افتد. متوسط دمای منطقه ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گونه‌های غالب منطقه شامل *Artimisia sieberi*، *Stipa barbata*، *Camphorosma monspeliacum* و *Halimione verrucifera* می‌باشد (۲).

رودشور در شهرستان ساوه از توابع استان مرکزی در طول جغرافیایی ´۵۳ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۲۵ °۳۵ شمالی واقع شده‌است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۱۲۵ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی منطقه براساس ایستگاه کلیماتولوژی امین‌آباد ۱۹۳/۹۲ میلی‌متر می‌باشد. حدود ۷۰ درصد بارندگی در ماه‌های آذر تا فروردین اتفاق می‌افتد. متوسط دمای منطقه ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. پوشش گیاهی غالب منطقه را گونه‌های *Artemisia sieberi*، *Salsol laricina* و *Stipa hohenackeriana* تشکیل می‌دهند (۷).

سایت باغیک در طول جغرافیایی ´۲۷ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۰ °۳۴ شمالی و در استان قم واقع شده‌است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۴۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی منطقه براساس ایستگاه کلیماتولوژی سلفچگان ۱۹۷/۵۹ میلی‌متر می‌باشد. فصل‌های پاییز، زمستان و بهار به ترتیب ۲۴، ۴۱ و ۳۱ درصد بارندگی منطقه را شامل می‌شوند. متوسط دمای منطقه ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد است. پوشش گیاهی غالب منطقه *Buffonia macrocarpa*، *Stipa hohenackeriana* و *Artemisia sieberi* می‌باشد (۳).

سایت حسین‌آباد قره‌سو در طول جغرافیایی ´۳۱ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۰ °۳۴ شمالی و در استان قم واقع شده‌است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۲۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی منطقه ۱۹۷/۵۹ میلی‌متر می‌باشد. فصل‌های پاییز، زمستان و بهار به ترتیب ۲۴، ۴۱ و ۳۱ درصد بارندگی منطقه را شامل می‌شوند. متوسط دمای منطقه ۱۶/۲۷ درجه سانتی‌گراد است. پوشش گیاهی غالب منطقه *Artemisia sieberi*، *Acantolimon tragacanthinum* و *Stipa hohenackeriana* می‌باشد (۳).

داده‌های تولید

داده‌های تولید علوفه مرتع از مقالات منتشر شده توسط سایر محققین (۲، ۳ و ۷) که تولید را در سال‌های مختلف اندازه‌گیری کرده‌اند، استخراج شده‌است. از استان مرکزی، شهرستان اراک پنج سال داده تولید (۲) از سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ و منطقه رودشور هشت سال داده تولید (۷) از سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۶ (سال ۱۳۸۲ فاقد داده است) موجود است. از استان قم از سایت باغیک و قره‌سو هر یک شش سال داده تولید (۳) از سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ موجود می‌باشد.

داده‌های هواشناسی

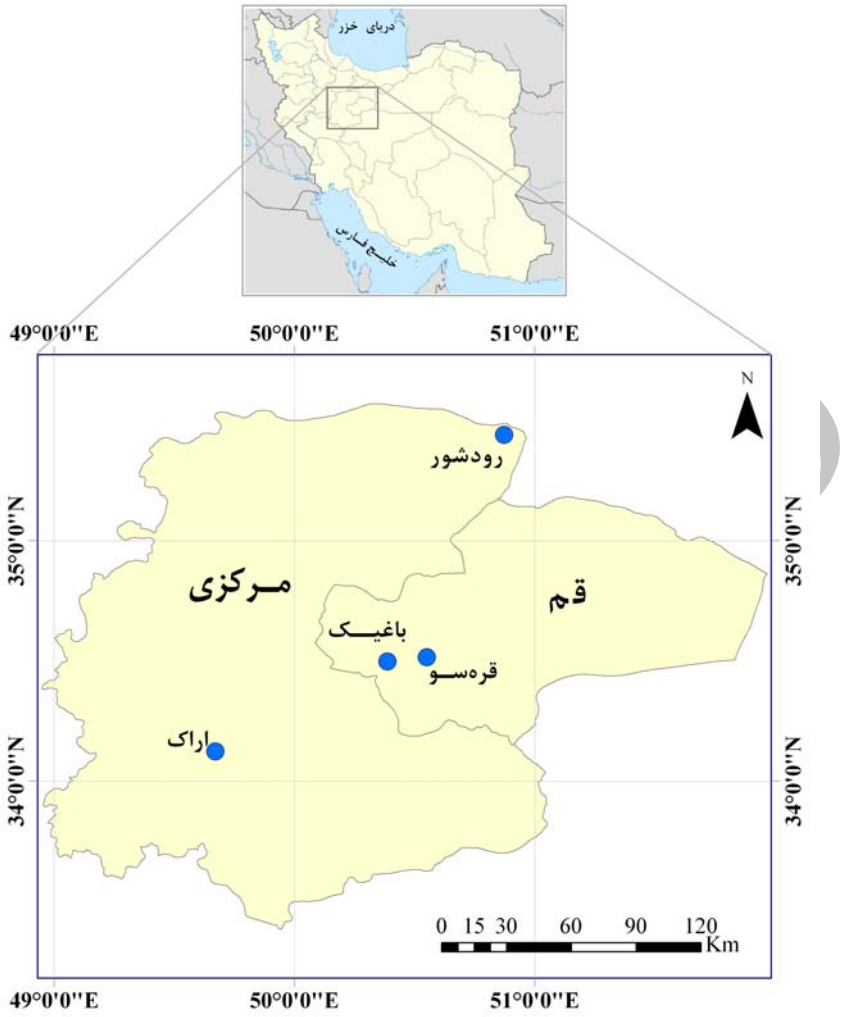
داده‌های هواشناسی شامل بارندگی و میانگین دما (دمای حداقل، متوسط و حداکثر) از سایت هواشناسی کشور دریافت شد. با توجه به نواقص موجود در آمار ایستگاه‌ها نیاز به بازسازی داده‌ها می‌باشد. برای بازسازی داده‌ها از آمار نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به ایستگاه مورد نظر و از روش نسبت‌ها (۱۱) استفاده شد. موقعیت جغرافیایی و خصوصیات آب و هوایی مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

تعیین دوره‌های زمانی

با توجه به این که دوره‌های کوتاه مدت خشکسالی و پارامترهای آب و هوایی بر روی پوشش گیاهی می‌توانند موثر باشند، دوره‌های زمانی ۱ تا ۴ ماهه، ۶ ماهه پاییز و زمستان، ۶ ماهه زمستان و بهار و همچنین ۹ ماهه منتهی به خرداد (مهر الی خرداد)، به عنوان دوره‌هایی که ممکن است بر تولید موثر باشند، در نظر گرفته شدند (جدول ۲). به این ترتیب برای هر پارامتر سی و سه متغیر مستقل به عنوان ورودی‌های اولیه مدل مورد بررسی قرار گرفت. ماه‌های فصل تابستان از محاسبات حذف شدند. به این دلیل که در این مناطق در فصل تابستان بارندگی تقریبا در حد صفر است و رشد گیاهان مرتعی نیز تقریبا متوقف شده‌است. همچنین تولید در خرداد ماه یا اوایل تیر اندازه‌گیری شده‌است که در نتیجه رشد گیاهان در تابستان در تولید اندازه‌گیری شده لحاظ نشده‌است. برای نام‌گذاری فاکتورها هر فاکتور با یک حرف و یک عدد دو رقمی مشخص می‌شود. حرف‌ها نشانه عوامل بارندگی (P)، دما (T)، تبخیر و تعرق (E)، شاخص بارش استاندارد شده (S) و شاخص شناسایی خشکسالی (R) می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در کشور و استان‌های مرکزی و قم

رقم یکان اعداد نشان‌دهنده شماره ماه منتهی به آن ماه و رقم دهگان نشان‌دهنده تعداد ماه‌های مورد نظر می‌باشد. ضمن آن که شماره‌گذاری ماه‌ها براساس سال آبی می‌باشد.

به این ترتیب مهر با شماره ۱، آبان عدد ۲، آذر عدد ۳،... و خرداد با شماره ۹ مشخص شده‌است. برای مثال P_{45} به مفهوم بارندگی چهار ماهه منتهی به ماه پنجم از سال آبی می‌باشد (به عبارت دیگر این نماد مقادیر بارندگی در ۴ ماه آبان، آذر، دی و بهمن را شامل می‌شود). نمادهای مربوط به هر یک از متغیرهای آب و هوایی و یا خشکسالی در دوره‌های زمانی تعیین شده در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

پایش خشکسالی

خشکسالی بر اساس دو شاخص بارش استاندار شده و شاخص شناسایی خشکسالی و برای یک دوره سی ساله پایش شده‌است.

پایش خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده توسط مک‌کی و همکاران (۲۶) ابداع گردید. این شاخص فقط بر اساس مقادیر بارندگی محاسبه می‌شود. برای محاسبه این شاخص می‌توان بارندگی ماهیانه یا بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (۱، ۲، ۴، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) را بر یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما برازش داد و سپس بر اساس مقادیر استاندارد شده بارش وضعیت خشکسالی را تعیین نمود. طبق این روش دوره‌ی خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد.

www.SID.ir

جدول۱- موقعیت جغرافیایی و خصوصیات آب و هوایی مناطق مورد بررسی

نام منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	وضعیت اقلیمی (دمارتون)	بارندگی (میلی‌متر)				دما (درجه‌سانتی‌گراد)				تبخیر و تعرق (میلی‌متر)			
					متوسط سالانه	دوره رشد	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	متوسط حداقل سالانه	متوسط سالانه	متوسط حداکثر سالانه	متوسط سالانه	دوره رشد	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
اراک (مرکزی)	۵۰° ۱۲′	۳۴°۰۳′	۱۹۷۵	نیمه‌خشک	۳۲۶/۱۹	۳۲۲/۷۳	۸۵/۷۸	۱۴۲/۴۴	۹۴/۴۹	۳/۴۶	۶/۸۸	۱۳/۸۰	۲۰/۵۵	۳۴۳۵/۳۶	۱۸۳۷/۸۴	۴۷۱/۸۳	۳۰۲/۲۱	۱۰۶۳/۷۹	۱۵۹۷/۳۱
	۴۹° ۰۸′	۳۴° ۳۳′	۱۷۰۰																
رودشور (مرکزی)	۵۰° ۵۳′	۳۵° ۲۵′	۱۱۲۵	خشک	۱۹۳/۹۲	۱۸۹/۰۷	۵۲/۶۹	۸۷/۷۹	۴۸/۵۸	۴/۸۵	۱۰/۲۸	۱۷/۱۳	۲۴/۰۱	۳۶۹۶/۳۲	۲۰۵۹/۳۷	۴۹۳/۱۵	۳۶۰/۸۸	۱۲۰۵/۳۲	۱۶۳۶/۹۵
باغبک (قم)	۵۰° ۲۷′	۳۴° ۳۰′	۱۴۵۰	خشک	۱۹۷/۵۹	۱۸۱/۵۲	۴۴/۷۷	۷۷/۶۰	۵۹/۱۴	۳/۷۱	۱۰/۶۳	۱۶/۲۰	۲۲/۶۷	۳۱۸۸/۲۲	۱۹۰۱/۸۳	۴۳۹/۳۵	۳۴۱/۳۰	۱۱۲۱/۱۷	۱۲۸۶/۳۹
قرمسو (قم)	۵۰° ۳۱′	۳۴° ۳۰′	۱۲۰۰	خشک	۱۹۷/۵۹	۱۸۱/۵۲	۴۴/۷۷	۷۷/۶۰	۵۹/۱۴	۳/۷۱	۱۰/۶۳	۱۶/۲۰	۲۲/۶۷	۳۱۸۸/۲۲	۱۹۰۱/۸۳	۴۳۹/۳۵	۳۴۱/۳۰	۱۱۲۱/۱۷	۱۲۸۶/۳۹

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- دوره‌های زمانی تعیین شده مؤثر بر تولید و علامت اختصاری آن‌ها*

۱ ماهه	علامت اختصاری	۲ ماهه	علامت اختصاری	۳ ماهه	علامت اختصاری	٤ ماهه	علامت اختصاری	٦ ماهه	علامت اختصاری	۹ ماهه	علامت اختصاری
مهر	X_{11}	مهر- آبان	X_{22}	مهر- آذر	X_{33}	مهر- دی	X_{44}	مهر- اسفند	X_{66}	مهر- خرداد	X_{99}
آبان	X_{12}	آبان- آذر	X_{23}	آبان- دی	X_{34}	آبان- بهمن	X_{45}	دی- خرداد	X_{69}		
آذر	X_{13}	آذر- دی	X_{24}	آذر- بهمن	X_{35}	آذر- اسفند	X_{46}				
دی	X_{14}	دی- بهمن	X_{25}	دی- اسفند	X_{36}	دی- فروردین	X_{47}				
بهمن	X_{15}	بهمن- اسفند	X_{26}	بهمن- فروردین	X_{37}	بهمن- اردیبهشت	X_{48}				
اسفند	X_{16}	اسفند- فروردین	X_{27}	اسفند- اردیبهشت	X_{38}	اسفند- خرداد	X_{49}				
فروردین	X_{17}	فروردین- اردیبهشت	X_{28}	فروردین- خرداد	X_{39}						
اردیبهشت	X_{18}	اردیبهشت- خرداد	X_{29}								
خرداد	X_{19}										

*- در داخل متن به جای X هر یک از عوامل آب و هوایی (P، T و یا E) یا شاخص‌های خشکسالی (S و یا R) قرار می‌گیرند.

Archive of SID

www.SID.ir

پایش خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

شاخص شناسایی خشکسالی شاخص نسبتا جدیدی است که توسط ساکریس و وانگلیس (۳۵) ارائه شده‌است. این شاخص بر اساس نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق و در دوره‌های زمانی مشابه شاخص بارش استاندارد شده محاسبه می‌شود. طبقات خشکسالی در این شاخص نیز مشابه شاخص بارش استاندارد شده می‌باشد.

محاسبه تبخیر و تعرق

در طی نیم قرن اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط محققان برای محاسبه تبخیر و تعرق در سراسر جهان ارائه شده‌است. این روش‌ها در پنج گروه ترکیبی، دمایی، تشعشعی، رطوبتی و تشت تبخیر طبقه‌بندی می‌شوند. از میان این روش‌ها روش پنمن مانتیث به عنوان روش استاندارد در سطح جهان شناخته شده‌است (۹). بر اساس پیشنهاد ساکریس و وانگلیس (۳۵) در شاخص RDI مقدار ETo با استفاده از دمای متوسط و از روش ترنت وایت (Th) محاسبه می‌شود. اما این روش مقدار ETo را کم‌تر از مقدار واقعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران برآورد می‌کند (۱۳). از طرفی امکان محاسبه تبخیر و تعرق براساس روش فائو-پنمن-مانتیث در مناطق مورد مطالعه وجود ندارد. زیرا این روش به داده‌های زیادی نیاز دارد و ایستگاه‌های مورد بررسی دارای نقص در این پارامترها می‌باشند یا داده‌های مورد نیاز برای این روش در آن‌ها اندازه‌گیری نشده‌است. براساس یافته‌های مساعدی و قبائی سوق (۱۳) روش هارگریوز-سامانی (در صورت عدم امکان استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیث) روش مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق در اکثر مناطق ایران می‌باشد. این روش بر اساس مقادیر میانگین درجه حرارت (دمای حداقل، متوسط و حداکثر) تعیین می‌شود (۲۴).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA[1])

عوامل تاثیر گذار بر رشد و نمو گیاهان متعدد هستند. از طرف دیگر بسیاری از این عوامل هم بر یکدیگر اثرگذار می‌باشند. ضمن آنکه تعداد زیاد عوامل باعث پیچیدگی مدل می‌شود و حتی ارائه مدل را غیر ممکن می‌سازد. هم‌پوشانی میان متغیرهای مستقل باعث کاهش دقت مدل‌های ساخته شده می‌شود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که برای کاهش حجم داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این تجزیه، یافتن ترکیباتی از P متغیر $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_P$ برای ایجاد شاخص‌های مستقل (غیرهمبسته) $Z_1, Z_2, Z_3, \ldots, Z_P$ می‌باشد. عدم همبستگی بین این شاخص‌ها یک ویژگی مفید است، زیرا عدم همبستگی به این معنی است که شاخص‌ها جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند. شاخص‌ها نیز طوری مرتب می‌شوند که Z_1 بیشترین مقدار تغییرات را داشته باشد، Z_2 در مرتبه بعدی قرار گیرد و به همین ترتیب، به طوری که $\text{var}(Z_1) \geq \text{var}(Z_2) \geq \ldots \geq \text{var}(Z_P)$. بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که متغیرهای اولیه همبستگی زیادی داشته باشند (۱۴).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای هر یک از آب و هوایی شامل: بارندگی، دما و تبخیر و تعرق و شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده و شناسایی خشکسالی (هر عامل ۳۳ دوره با توجه به جدول ۱) به صورت مجزا انجام شد. همچنین PCA برای مجموع دوره‌های زمانی موجود در تمام متغیرها و شاخص‌های خشکسالی (۱۶۵ دوره شامل ۵ متغییر در ۳۳ دوره) انجام شد.

روش PCA به تعداد متغیرها، مؤلفه تعیین می‌کند. برای انتخاب متغیرهای مؤثر بر تولید در ابتداد تعداد مؤلفه‌های مؤثر بر تولید تعیین می‌شوند. تعداد مؤلفه‌ها بستگی به واریانس هر مولفه و واریانس تجمعی مؤلفه‌ها دارد. واریانس هر مؤلفه و واریانس تجمعی مؤلفه‌ها نباید به ترتیب از پنج و۹۰ درصد کم‌تر باشد. با توجه به این که مؤلفه اول بیشترین واریانس را دارد، تعداد متغیر بیشتری از این مؤلفه انتخاب می‌شود.

مدل‌سازی

مدل‌سازی بر اساس متغیرهای انتخاب شده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شده‌است. برای مدل‌سازی از روش‌های رگرسیونی چند متغیره خطی و غیر خطی بهترین زیر مجموعه (best subset)، گام‌به‌گام (Stepwise)، همراه با لگاریتم مقدار تولید، توان دوم مقدار تولید و یا ... استفاده شد.

انتخاب مدل مناسب بر اساس آماره‌های خطا سنجی

دقت پیش‌بینی مدل‌ها از طریق معیارهای ارزیابی خطا شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE[2])، میانگین مطلق خطای نسبی (MARE[3])، میانگین انحراف خطا (MBE[4])، و ضریب همبستگی (r) صورت می‌گیرد. بهترین حالت برای سه معیار اول زمانی است که مقادیر به‌دست آمده صفر باشد و برای r هر چه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است. گاهی اوقات نتایج به‌دست آمده از چهار معیار متفاوت هستند و منجر به انتخاب مدل‌های متفاوت به عنوان مدل‌های

1- principal Components Analysis

2- Root Mean of Square Error
3- Mean of Absolute Relative Error
4- Mean of Bias Error

Archive of SID

www.SID.ir

مناسب برای پیش‌بینی تولید علوفه می‌شود. در این حالت شاخص جدید خطای نقطه ایده‌آل (IPE[1]) به صورت ترکیبی از چهار آماره دیگر در انتخاب بهترین مدل کمک خواهد کرد. این شاخص بدون بعد بوده و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است (معادله ۱) و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد مدل از دقت و صحت بیشتری برخوردار است (۲۱).

$$IPE = \left\{ 0.25 \left[\left(\frac{RMSE_{ij}}{\max RMSE_{ij}} \right)^2 + \left(\frac{MARE_{ij}}{\max MARE_{ij}} \right)^2 + \left(\frac{MBE_{ij}}{\max |MBE_{ij}|} \right)^2 + \left(\frac{R_{ij} - 1.0}{1/\max R_{ij}} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (۱)$$

اندیس i برای سال‌های مختلف و اندیس j برای روابط مختلف تعریف شده‌است.

نتایج و بحث

در منطقه اراک از میان مدل‌های ساخته شده تنها برای دما، تبخیر و تعرق و بارندگی مدل مناسب و با همبستگی بالا قابل انتخاب است و سایر معادلات در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند. از میان مدل‌های دما، تبخیر و تعرق و بارندگی بر اساس آماره خطای نقطه ایده‌ال مدل ترکیبی با IPE = ۰/۳۸ بهترین مدل برای پیش‌بینی تولید علوفه مرتع در این منطقه می‌باشد. سپس به ترتیب مدل‌های ساخته شده براساس دما (IPE = ۰/۷۰) و تبخیر و تعرق (IPE = ۰/۸۴) قرار دارند. نتایج تحقیقات اسمارت و همکاران (۳۰) بر روی سه جامعه گیاهی مختلف در داکوتای جنوبی (واقع در غرب آمریکا) نیز نشان داد که جوامع گیاهی مورد بررسی بیشترین همبستگی را با مدل ترکیبی حاصل از بارندگی و دما دارند. به‌طور مثال برای تولید گراس‌های مخلوط مدل حاصل از بارندگی بهار اخیر و تعداد روزهایی که از ژوئن تا آخر بهار دما کم‌تر از ۱- درجه سلسیوس است، مناسب‌ترین مدل می‌باشد.

بر اساس نتایج مدل برتر، خشکسالی در سه ماهه منتهی به اسفند (S_{36}) و سه ماهه منتهی به فروردین (S_{37}) و دما در دو ماهه منتهی به اسفند (T_{26}) بیشترین تاثیر را در تولید علوفه منطقه دارد. خشکسالی در فصل زمستان و سه ماهه منتهی به فروردین باعث کاهش تولید می‌شود. ضمن آن که مقدار دما در دو ماهه بهمن و اسفند با تولید رابطه معکوس دارد. نتایج نشان می‌دهد که در این منطقه شرایط آب و هوایی (و خشکسالی) در ماه‌های زمستان اهمیت بیشتری در تولید گیاهان مرتعی نسبت به سایر ماه‌ها دارد (جدول ۳). با توجه به جدول ۳ در منطقه اراک مدلی که در آن فقط مقدار بارندگی در نظر گرفته شود، ارائه نشده است. نتایج تحقیقات ارزانی و همکاران (۲) در این منطقه نشان می‌دهد که بارندگی در سال ۱۳۸۱ بالاترین میزان را داشته است. پوشش گیاهی در این سال ۳۱ درصد بوده است در حالی که در سال ۱۳۷۹ با کم‌ترین میزان بارندگی میزان تولید بیشتر بوده است. علت این امر حضور گونه‌های *Camphorosma monspeliacum* و *Halimione verrucifera* در یکی از سایت‌های این شهرستان می‌باشد که تولید علوفه آن‌ها کم‌تر تحت تاثیر میزان بارندگی کوتاه مدت قرار دارد. غالبیت گونه‌های بوته‌ای در منطقه اراک نیز می‌تواند دلیل عدم معنی‌داری روابط تولید با بارندگی باشد. آن‌ها بیان می‌کنند که بین بارندگی سالانه و تولید در این منطقه هماهنگی وجود ندارد. چون سطح آب‌های زیر زمینی در این منطقه بالا است و گونه‌های بوته‌ای وابسته به میزان بارندگی نیستند. این مسئله به دلیل مسائل مدیریتی مانند چرای نامناسب دام، عدم رعایت زمان ورود و خروج دام به مرتع می‌تواند باشد.

آذرخشی و همکاران (۱) هم به این نتیجه رسیدند که در منطقه قم در طی سال‌های اندازه‌گیری، بوته‌ها کم‌تر از فورب‌ها تحت تاثیر بارندگی هستند، زیرا گیاهان بوته‌ای با استفاده از ریشه‌های عمیق از آب ذخیره شده در اعماق خاک استفاده می‌کنند. مطالعه اکبرزاده و میرحاجی (۴) نیز در منطقه رودشور نشان می‌دهد که پهن‌برگان علفی بیش از گیاهان بوته‌ای تحت تاثیر کاهش بارندگی قرار دارند. همچنین تولید گونه *Aellenia glauca* (که یک گونه بوته‌ای است) در طی سال‌های نسبتا مرطوب، در مقایسه با سال‌ها با بارندگی کم‌تر، کاهش داشته‌است. به‌طوری که میزان تولید در سال ۱۳۷۵ که سال مرطوب می‌باشد کم است، اما از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ که بارندگی کاهش داشته‌است در میزان تولید کاهشی مشاهده نشده‌است.

مدل برتر در این منطقه نشان می‌دهد که وضعیت خشکسالی و دما در ماه‌های زمستان برای تولید علوفه دارای اهمیت بیشتری است. با توجه به این که در فصل زمستان گیاهان در مرحله رکود هستند و فعالیت رشدی ندارد کم‌تر از بارندگی استفاده می‌کنند. بنابراین ذخیره آب و عواملی مانند دما و تبخیر و تعرق که بر میزان این ذخیره تاثیر می‌گذارند اهمیت دارند. از طرفی حداکثر بارش‌ها در زمستان اتفاق می‌افتد و گیاهان منطقه نیز گیاهان بوته‌ای و چندساله می‌باشند که وابسته به وضعیت رطوبت خاک می‌باشند در نتیجه خشکسالی در این دوره برای آن‌ها اهمیت دارد.

براساس مدل‌های ارائه شده برای منطقه اراک (جدول ۳) مشاهده می‌شود که میانگین دما در دوره دی تا بهمن (T_{25}) و اسفند تا فروردین (T_{27}) نسبت به سایر دوره‌ها تاثیر بیشتری بر تولید دارد و با افزایش میانگین دما در این دوره‌ها تولید کاهش می‌یابد. بررسی رابطه تولید با دما در کانادا توسط اسمولایک (۳۲) هم نشان داده‌است که تولید با دما در ماه‌های جولای و می رابطه دارد. این محقق اضافه می‌نماید که افزودن دما به مدل بارندگی (آوریل تا جولای) باعث بهبود ضریب همبستگی مدل می‌شود، اما اضافه کردن عوامل باد،

1- Ideal Point Error

Archive of SID

www.SID.ir

ساعات آفتابی و تبخیر و تعرق به مدل تاثیری در افزایش دقت آن ندارد. در این تحقیق هم در این منطقه اضافه نمودن دما در دوره بهمن تا اسفند در مدلی که خشکسالی را به عنوان پارامتر مهم در نظر گرفته‌است، باعث افزایش دقت مدل شده و ضریب همبستگی به ۰/۹۹۹ رسیده‌است (جدول ۳).

در منطقه رودشور مدل حاصل از تبخیر و تعرق (IPE =۰/۰۸) بهتر از سایر مدل‌ها و با تفاوت زیادی می‌تواند تولید را پیش‌بینی کند. سپس به ترتیب مدل‌های ترکیبی (IPE =۰/۱۴)، شاخص شناسایی خشکسالی (IPE =۰/۳۱)، بارندگی (IPE =۰/۶۹) و دما (IPE =۰/۸۷) قرار می‌گیرد. در میان دو شاخص خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده مدلی را ارائه نداده‌است. در حالی که مدل حاصل از شاخص شناسایی خشکسالی در رتبه سوم مدل‌ها قرار می‌گیرد. تبخیر و تعرق در فروردین (E_{17}) و دو ماهه دی و بهمن (E_{25}) دارای تاثیر منفی بر تولید است. در صورتی که تبخیر و تعرق در سه ماهه منتهی به فروردین (E_{37}) و دو ماهه منتهی به آبان (E_{22}) دارای تاثیر مثبت بر تولید است (جدول۳). همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود در این منطقه هم مدلی که فقط بر اساس بارندگی بتواند تولید را برآورد نماید، نتوانسته است به عنوان مدل مناسب ارائه شود. این موضوع نشان می‌دهد که در این منطقه همانند اراک عواملی مانند دما و تبخیر و تعرق نسبت به بارندگی تاثیر بیشتری بر تولید دارند. نتایج تحقیقات اکبرزاده و میرحاجی (۴) در رودشور نشان می‌دهد که رابطه نوسانات بارندگی با برخی گونه‌های دائمی مرتع در سطح ۱۰درصد معنی‌دار بوده‌است و در مورد برخی دیگر از گونه‌های دائمی معنی‌دار نبوده‌است. البته آن‌ها بیان می‌کنند که تولید کل بیشترین همبستگی را با بارندگی دی تا خرداد دارد. احسانی و همکاران (۷) در رودشور نیز بیان می‌کنند که گیاهان بیش از آن که به‌طور مستقیم از بارندگی استفاده کنند، رطوبت ذخیره شده در خاک را مورد استفاده قرار می‌دهند و در نتیجه کمتر تحت تاثیر مستقیم مقدار بارندگی سالانه می‌باشند.

در منطقه قم (باغیک) مدل حاصل از شاخص شناسایی خشکسالی با کم‌ترین میزان خطای نقطه ایده‌آل (IPE =۰/۳۰) به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. سپس به ترتیب مدل حاصل از شاخص بارش استاندارد شده (IPE = ۰/۵۵)، بارندگی (IPE = ۰/۷۱) و تبخیر و تعرق (IPE = ۰/۸۱) قرار گرفته‌است. بنابراین از میان دو شاخص خشکسالی، شاخص شناسایی خشکسالی نسبت به شاخص بارش استاندارد شده بهتر می‌تواند تغییرات تولید را پیش‌بینی دهد. آذرخشی و همکاران (۱) نیز به این نتیجه رسیدند که در منطقه قم مناسب‌ترین شاخص از میان شاخص‌های مورد بررسی (شاخص بارش استاندارد شده، شاخص پالمر و شاخص نرمال بارندگی) شاخص بارش استاندارد شده سه ماهه (SPI3) می‌باشد. ایشان در تحقیق خود شاخص شناسایی خشکسالی را مورد بررسی قرار نداده‌اند. در این منطقه مدل مناسبی که تولید را بتواند بر اساس دما و یا ترکیب پارامترهای آب و هوایی ذکر شده و خشکسالی پیش‌بینی نماید، قابل استخراج نمی‌باشد. بر اساس مدل برتر، خشکسالی در کل دوره رشد (R_{99}) دارای تاثیر منفی بر تولید است. هم‌چنین خشکسالی در دو ماه دی و بهمن (R_{25}) و بهمن و اسفند (R_{26}) دارای تاثیر منفی بر تولید است. اهمیت خشکسالی در دو ماه دی و بهمن حدود سه برابر خشکسالی در کل دوره است (جدول ۳). ضمن آن که وضعیت خشکسالی در دو ماه متوالی بهمن و اسفند ماه اهمیت کم‌تری نسبت به وضعیت خشکسالی در دو ماه متوالی دی و بهمن دارد. از نظر رابطه بارش با تولید هم می‌توان به این نتیجه رسید که وضعیت بارندگی در ماه اردیبهشت و هم‌چنین مقدار کل بارندگی در شش ماهه دی تا خرداد در مقایسه با سایر دوره‌ها اهمیت بیشتری برای تولید در این منطقه دارد (جدول ۳).

در منطقه قره‌سو مدل ساخته شده بر اساس بارندگی (IPE = ۰/۳۷) بهتر می‌تواند تولید را پیش‌بینی کند. پس از آن شاخص شناسایی خشکسالی (IPE = ۰/۴۷)، مدل ترکیبی (IPE = ۰/۶۹) و در نهایت شاخص بارش استاندارد شده (IPE = ۰/۷۱) قرار گرفته است. برای دما و تبخیر و تعرق مدل مناسبی استخراج نشده‌است. در میان شاخص‌های خشکسالی نیز شاخص شناسایی خشکسالی نسبت به شاخص بارش استاندارد شده از صحت و دقت بیشتری در پیش‌بینی تولید برخوردار است (جدول ۳). نتایج تحقیقات احسانی و همکاران (۶) در اخترآباد ساوه نشان می‌دهد که تولید با بارندگی سالانه رابطه معنی‌داری نداشته‌است، اما با بارندگی فصل رویش به اضافه بارندگی پیشین (سال قبل) همبستگی بالایی (R=۰/۷۲) داشته‌است. بررسی آن‌ها نشان داد که از میان عوامل مورد بررسی (بارندگی، دما، سرعت باد و ساعات آفتابی)، تولید بیشترین همبستگی را با بارندگی فصل رویش به علاوه پیشین دارد.

علاوه بر تحلیل نتایج بر اساس منطقه مورد بررسی، نتایج را بر اساس تاثیر هر یک از عوامل آب و هوایی و یا خشکسالی بر تولید می‌توان تحلیل نمود که تاثیر هر یک از عوامل آب و هوایی و یا خشکسالی بر تولید در مناطق مورد بررسی به شرح زیر بیان می‌شود.

بارندگی: بر اساس مدل‌های استخراج شده، بارندگی تنها در دو منطقه قره‌سو و باغیک همبستگی بالایی با تولید مرتع داشته است. مقدار بارندگی در ماه‌های فصل بهار و ماه اسفند در هر دو منطقه در مدل وارد شده‌است. در تحقیق باغستانی میبدی و زارع (۸) در پشتکوه یزد میزان بارندگی فصل‌های زمستان و پاییز تاثیر معنی‌داری بر تولید گونه‌های گیاهی چندساله نداشته و از مدل‌های رگرسیونی حذف شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های خطا سنجی در روابط تولید با پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های خشکسالی در مناطق مختلف مورد بررسی

نام منطقه	عامل یا عوامل مورد بررسی	مدل	معیارهای ارزیابی خطا				
			(MBE) Kg	(RMSE) Kg	(MARE) Kg	(r) [-]	(IPE) [-]
اراک (مرکزی)	دما	$Y=۵۰۰/۱۹۱۷-۱۳/۱۳۶۹T_{27}-۱۹/۳۹۵۳T_{25}$	۰/۰۰۰	۱/۲۲۸	۰/۰۰۴	۰/۹۹۸	۰/۷۰۷
	تبخیر و تعرق	$Y=۲۸۴/۲۰۱۳+۲/۰۱۶۴E_{11}+۰/۷۱۸۸E_{17}-۰/۳۳۰۱E_{99}$	۰/۰۰۴	۱/۷۰۳	۰/۰۰۴	۰/۹۹۸	۰/۸۴۳
	ترکیبی	$Y=۴۴۱/۶۴۸+۲۹/۶۵۵۳S_{36}+۱۳/۷۲۶۸S_{37}-۱۶/۸۵۶T_{26}$	۰/۰۰۳	۰/۲۴۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۳۸۳
روذشور (مرکزی)	دما	$Y=۸۱۲/۶۸-۱۵۰/۴۵T_{47}+۸۵/۸۶T_{16}$	۰/۰۲۷	۵۲/۶۲۳	۰/۱۸۶	۰/۸۳۱	۰/۸۷۰
	تبخیر و تعرق	$Y=۱۷۸۹/۷۱۳۴-۱۲/۳۶۴۱E_{25}+۳/۲۶۳۱E_{37}+۱/۶۲۰۷E_{22}-۵/۹۳۸۰E_{17}$	۰/۰۰۰	۷/۷۰۹	۰/۰۲۱	۰/۹۹۷	۰/۰۸۵
	شاخص شناسایی خشکسالی	$Y=۳۸۱/۰۲+۲۸۶/۹۴R_{16}-۱۳۲/۶۲R_{49}-۵۴/۰۱R_{37}$	-۰/۰۰۵	۲۱/۹۱۲	۰/۰۷۹	۰/۹۷۲	۰/۳۱۵
	ترکیبی	$Y=۸۱۹/۳۲+۷۲/۲۳۶S_{69}+۳/۲۵۰E_{34}-۶/۹۷E_{25}-۱/۷۰۰E_{47}+۰/۴۵۸E_{99}$	-۰/۰۰۷	۱/۷۷۲	۰/۰۰۷	۰/۹۹۹	۰/۱۴۱
باغبک (قم)	بارندگی	$Y=۴۹/۹۰۳-۲/۲۲۳P_{49}+۱/۹۲۴P_{69}+۱/۹۶۴P_{18}$	-۰/۰۰۲	۶/۶۵۳	۰/۰۳۵	۰/۹۸۴	۰/۷۱۰
	تبخیر و تعرق	$Y=-۸۲۴/۲۵۸-۳/۶۶۷E_{18}+۲/۱۸۲E_{29}+۰/۷۴۴E_{66}$	۰/۰۱۹	۶/۲۷۱	۰/۰۳۱	۰/۹۸۶	۰/۸۱۸
	شاخص بارش استاندارد شده	$Y=۱۵۲/۶۷۳-۱۰۲/۴۴۶S_{38}+۹۸/۶۸۲S_{69}+۱۲/۱۳۱S_{24}$	-۰/۰۰۸	۴/۹۳۴	۰/۰۲۵	۰/۹۹۱	۰/۵۵۴
	شاخص شناسایی خشکسالی	$Y=۱۶۷/۹۴۵+۲۱/۷۸۴R_{99}+۷۵/۷۳۹R_{25}+۱۴/۵۵۴R_{26}$	۰/۰۰۰	۳/۱۳۳	۰/۰۱۳	۰/۹۹۶	۰/۳۰۵
قره‌سو (قم)	بارندگی	$Y=۳۸۱/۹۲۶-۳/۰۲۳P_{16}-۱/۹۱۱P_{48}+۵/۰۸۲P_{19}$	۰/۰۰۰	۴/۰۴۱	۰/۰۱۶	۰/۹۹۵	۰/۳۷۲
	شاخص بارش استاندارد شده	$Y=۱۹۲/۲۴+۶۲/۱۸۸S_{22}+۲۲/۲۴۸S_{24}+۳۶/۷۶۱S_{69}$	۰/۰۰۰	۸/۰۷۶	۰/۰۳۷	۰/۹۸۳	۰/۷۱۱
	شاخص شناسایی خشکسالی	$Y=۱۷۳/۳۲۶-۱۷/۰۱۲R_{16}+۲۱/۳۳۹R_{23}-۱۷/۵۴۶R_{27}$	۰/۰۰۰	۵/۲۴۴	۰/۰۲۵	۰/۹۹۲	۰/۴۷۳
	ترکیبی	$Y=۲۸۲/۴۳۹-۲۵/۵۶۱R_{39}+۲۶/۲۸۱R_{34}-۱۵/۶۴۱T_{46}$	۰/۰۰۲	۵/۸۶۰	۰/۰۲۳	۰/۹۹۱	۰/۶۹۲

www.SID.ir

از طرفی بارندگی مهر و آبان و بهار بر تولید علوفه گیاهان مورد بررسی متفاوت عمل نموده‌اند. در منطقه قره‌سو بارندگی خردادماه به تنهایی به عنوان ماهی که بیشترین تاثیر را بر تولید علوفه داشته‌است، انتخاب شده است و دارای تاثیر مثبت است. در حالی که در منطقه باغیک، اردیبهشت به تنهایی به عنوان ماهی که بیشترین تاثیر را بر تولید علوفه داشته‌است، انتخاب شده است. ضمن آن که بارندگی در این ماه‌ها تاثیر مثبتی بر تولید علوفه داشته‌است. شروع رشد رویشی پوشش گیاهی غالب این مناطق مانند *Artemisia sieberi* اواسط تا اواخر اسفند و *Stipa hohenackeriana* اواسط اسفند تا اواخر فروردین می‌باشد. پوشش گیاهی بیشترین رشد را در فاصله ماه‌های بهار دارند. بنابراین بیشتر تحت تاثیر بارندگی در این دوره می‌باشد. از طرفی چون گیاهان چند ساله هستند و ریشه‌های عمیق دارند و وابسته به رطوبت ذخیره شده در خاک در فصل بهار هستند، بارندگی‌های زمستان تامین کننده این رطوبت می‌باشند. به همین دلیل بارندگی در این دوره نیز برای گیاهان اهمیت دارد. مطالعات اسمولایک (۳۱) در منطقه آلبرتای کانادا نشان می‌دهد که در میان مدل‌های ساخته شده برای دوره‌های زمانی مختلف بارندگی، بارندگی در آگوست و می بهترین رابطه را با تولید دارد. در حالی که جئورگه و همکاران (۲۳) نشان دادند با توجه به آن که در کالیفرنیا حداکثر تولید مرتع در ماه‌های مارس و آوریل می‌باشد، بارندگی فصل رشد یعنی بارندگی اوایل فصل (نوامبر) و آخر فصل (آوریل) بیشترین تاثیر را بر تولید دارد. بنابراین کاهش یا افزایش مقدار بارندگی در این دوره برای تولید گیاهان در این منطقه اهمیت دارد.

دما: بر اساس مدل‌های استخراج شده، دما تنها در دو منطقه اراک و رودشور که در استان مرکزی قرار گرفته‌اند، همبستگی بالایی با تولید مرتع داشته‌است. ضمن آن که برای دو منطقه باغیک و قره‌سو که در استان قم واقع شده‌اند مدلی که همبستگی بالایی داشته باشد، ارائه نشده‌است. دوره‌های انتخاب شده در دو منطقه متفاوت می‌باشد اما ماه‌های اسفند و فروردین در هر دو منطقه به عنوان دوره‌های موثر بر تولید وارد مدل شده‌اند. در رودشور مقدار دما در اسفندماه به تنهایی دارای تاثیر مثبت می‌باشد و با افزایش مقدار دما در این ماه تولید هم افزایش یافته‌است. در حالی که در اراک افزایش دما در دوره‌ی دی و بهمن و هم‌چنین فروردین و اردیبهشت و در رودشور در دوره‌ی دی تا فروردین تاثیر منفی بر تولید دارد (جداول۳ و۴). براساس بررسی‌های عبداللهی و همکاران (۱۰) در منطقه یزد، تولید با دمای اردیبهشت همبستگی بیشتری دارد. نتایج تحقیقات اسمولایک در آلبرتای جنوب‌شرقی نشان می‌دهد که تولید بیشترین همبستگی را با دمای متوسط آوریل تا جولای (r=-۰/۶۲) دارد (۳۲).

تبخیر و تعرق: در منطقه قره‌سو مدلی که در آن تولید همبستگی بالایی با تبخیر و تعرق داشته باشد، ارائه نشده‌است. در منطقه اراک تبخیر و تعرق در ماه‌های مهر و فروردین تاثیر مثبتی بر تولید داشته است در حالی که مقدار تبخیر و تعرق در دوره رشد تاثیر منفی بر تولید داشته‌است. دلیل این امر را می‌توان به تنش آبی ناشی از تبخیر و تعرق در گیاه نسبت داد. زیرا در مراتع با افزایش تبخیر و تعرق نیاز آبی گیاه نیز افزایش یافته ولی معمولا به دلیل کم‌بود بارندگی این نیاز تامین نشده و گیاه با تنش آبی مواجه می‌شود. در منطقه رودشور هم تبخیر و تعرق در دو ماهه ابتدایی فصل رشد (مهر و آبان) و سه ماهه بهمن تا فروردین تاثیر مثبتی بر تولید داشته است در حالی که تبخیر و تعرق در دو ماهه دی و بهمن و همچنین فروردین تاثیر منفی بر تولید دارد. در منطقه باغیک نیز تبخیر و تعرق در اردیبهشت ماه باعث تنش آبی شده و تاثیر منفی بر تولید دارد، در حالی که در شش ماهه اول سال زراعی و هم‌چنین دوره اردیبهشت و خرداد می‌تواند بر تولید تاثیر مثبتی داشته باشد (جداول۳ و۴). با توجه به شاخص خطای نقطه ایده‌آل بهترین مدل برای منطقه رودشور مدل حاصل از تبخیر و تعرق می‌باشد. در منطقه رودشور میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ۶/۱۶ برابر تبخیر و تعرق واقعی است. تحقیقات احسانی و همکاران (۷) در این منطقه نیز نشان می‌دهد که همبستگی شدیدی بین مقدار کل تولید با مقدار کل تبخیر و تعرق واقعی وجود دارد.

شاخص بارش استاندارد شده: تنها برای دو منطقه قره‌سو و باغیک که در استان قم قرار گرفته‌اند، مدل مناسبی بر اساس این شاخص ارائه شده‌است. در هر دو منطقه خشکسالی شش ماهه منتهی به خرداد و دو ماهه منتهی به دی وارد مدل شده است و هر دو دوره در هر دو منطقه تاثیر مهمی بر تولید دارند. به عبارت دیگر خشکسالی در این دوره‌ها باعث کاهش تولید و ترسالی باعث افزایش تولید خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده در دوره‌های کوتاه مدت، رابطه بهتری با تولید دارد. از این رو، در هیچ‌یک از مدل‌های استخراج شده دوره ۹ ماهه وارد نشده‌است. آذرخشی و همکاران (۱) نیز در نتایج تحقیق خود بیان کرده‌اند که مناسب‌ترین پایه زمانی برای برآورد تولید (بر اساس شاخص‌هایی از خشکسالی که مورد بررسی قرار داده‌اند)، فصل رویش و ابتدای فصل رویش (۸۸ درصد رابطه با تولید) می‌باشد و تنها در ۱۲ درصد پایه زمانی سالانه رابطه معنی‌داری با تولید داشته‌است. بررسی معنی‌دارترین روابط بین مقدار تولید و شاخص‌های خشکسالی (شامل شاخص بارش استاندارد شده، شاخص پالمر و شاخص نرمال بارندگی) در منطقه قم نشان داده‌است که به ترتیب مناسب‌ترین شاخص‌ها SPI3، شاخص شدت خشکسالی پالمر، SPI24 و SPI6 می‌باشد.

شاخص شناسایی خشکسالی: این شاخص فقط در سایت اراک نتوانسته است مدل قابل قبولی را ارائه دهد و در سایر سایت‌ها رابطه تولید با خشکسالی بر اساس این شاخص همبستگی بالاتر از ۰/۹۷۲را داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول٤- عوامل و دوره‌های زمانی موثر بر تولید در هر یک از مناطق

متغیر هواشناسی و شاخص خشکسالی	مناطق مورد مطالعه			
	اراک	رودشور	باغیک	قره سو
بارندگی			P_{18} P_{49} P_{69}	P_{16} P_{19} P_{48}
دما	T_{25} T_{26} T_{27}	T_{16} T_{47}		T_{46}
تبخیر و تعرق	E_{11} E_{29} E_{66}	E_{17} E_{22} E_{25} E_{25} E_{34} E_{37} E_{47} E_{99}	E_{18} E_{29} E_{66}	
شاخص بارش استاندارد شده	S_{36} S_{37}	S_{69}	S_{24} S_{38} S_{69}	S_{22} S_{24} S_{69}
شاخص شناسایی خشکسالی		R_{16} R_{37} R_{49}	R_{25} R_{26} R_{99}	R_{16} R_{23} R_{27} R_{34} R_{39}

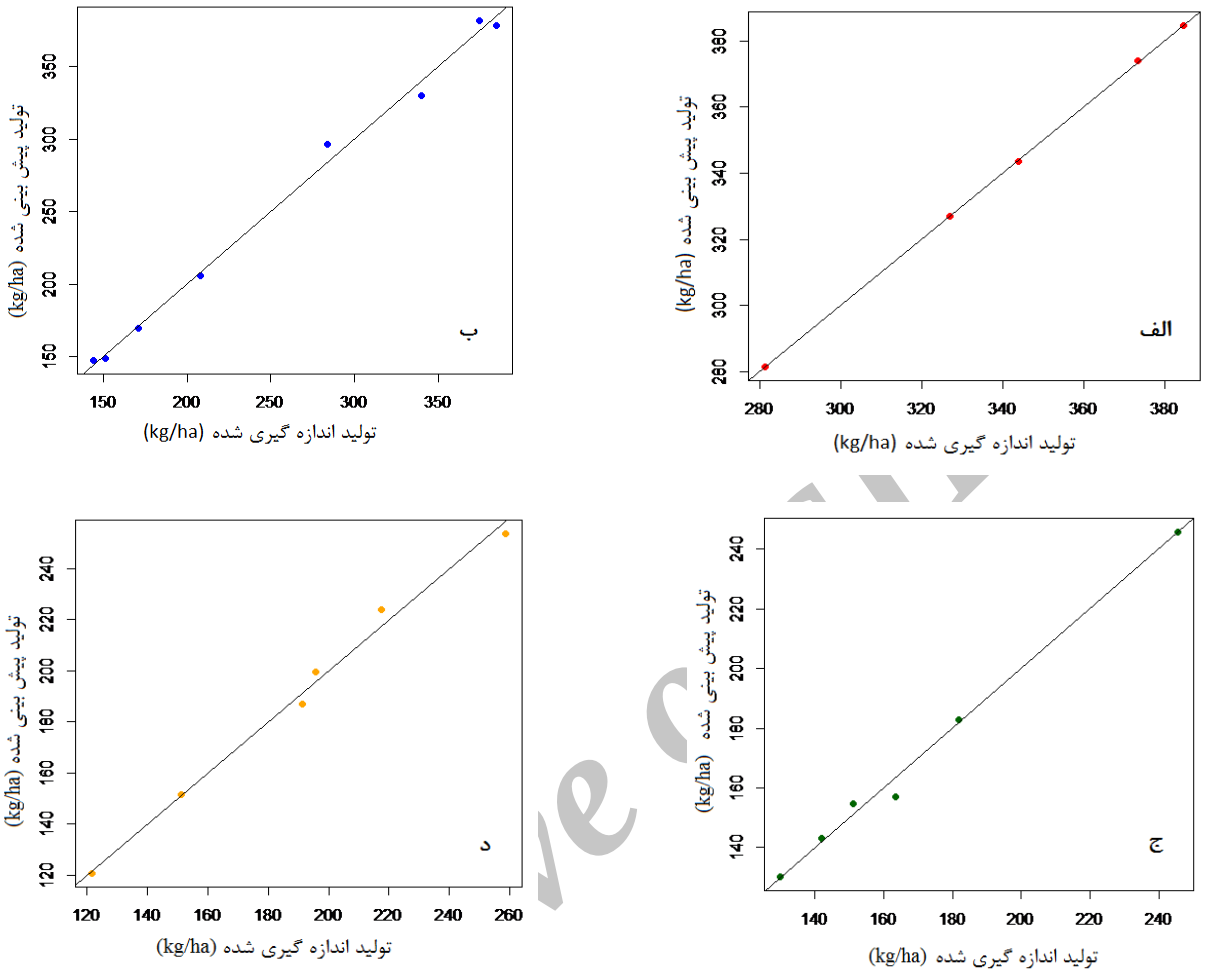
در منطقه باغیک که بیشترین همبستگی بین تولید مرتع و شاخص شناسایی خشکسالی r = ۰/۹۹۶ وجود دارد، مهم‌ترین دوره‌های موثر بر تولید عبارتند از وضعیت متوسط خشکسالی در طول دوره رشد (R_{99})، وضعیت خشکسالی در دوماهه دی و بهمن (R_{25}) و هم‌چنین وضعیت خشکسالی در دوماهه بهمن و اسفند ماه (R_{26}). بر اساس معادله استخراج شده در این منطقه در صورت بروز ترسالی در این دوره‌ها تولید محصول به شدت افزایش خواهد یافت (جدول ۳). این شاخص در مقایسه با شاخص بارش استاندارد شده برآورد بهتری از تولید مرتع دارد.

معادلات استخراج شده در دو منطقه باغیک و قره‌سو نشان می‌دهد که از میان متغیرها و شاخص‌های خشکسالی، وضعیت خشکسالی در منطقه بیش از سایر پارامترها اهمیت دارد. در استان قم مقدار بارندگی کم است (میانگین بارندگی ۱۸۵ میلی‌متر) در حالی که با توجه به اقلیم نیمه‌خشک منطقه تبخیر و تعرق بسیار زیاد می‌باشد. این موضوع می‌تواند سبب شود که تولید علوفه منطقه نسبت به خشکسالی (و بخصوص خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی) حساسیت بیشتری داشته باشد

ترکیبی: همان‌گونه که بیان شد مدل ترکیبی مدلی است که از بین ۳ عامل آب و هوایی مورد بررسی و دو شاخص خشکسالی مهم‌ترین این عوامل را مشخص نماید. بر این اساس مدل ترکیبی تنها برای منطقه باغیک نتوانست همبستگی بالایی را داشته باشد و در سایر ایستگاه‌ها مدل ترکیبی همبستگی بالاتر از ۰/۹۹ را به خود اختصاص داده‌است (جدول ۳). در دو منطقه اراک و قره‌سو وضعیت توام خشکسالی و دما به عنوان مهم‌ترین عوامل در تولید شناخته شدند. نتایج تحقیق مانخستسگ (۲۸) در منطقه مغولستان نشان داد که همبستگی تولید با ترکیب بارندگی و دما بیش از همبستگی تولید با هر یک از متغیرهای بارندگی و دما به تنهایی بوده‌است. در منطقه اراک وضعیت خشکسالی بر اساس بارش استاندارد شده اما در منطقه قره‌سو خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی بر تولید موثرتر می‌باشد. دما در هر دو منطقه دارای تاثیر منفی می‌باشد. در منطقه اراک افزایش دما در دو ماه بهمن و اسفند و در منطقه قره‌سو در چهار ماه آذر تا اسفند بر تولید تاثیر منفی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۲- مقادیر تولید واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده بر اساس مناسب‌ترین مدل انتخاب شده
الف) اراک، ب) رودشور، ج) باغیک، د) قره‌سو

در همه مدل‌های ترکیبی وضعیت خشکسالی در مدل‌ها وارد شده‌اند، اما در هیچ‌یک از مدل‌های ترکیبی وضعیت بارندگی مستقیما وارد معادلات نشده‌اند که این موضوع می‌تواند اهمیت وضعیت خشکسالی را نسبت به مقدار بارندگی نشان دهد (جدول ۳و۴). آذرخشی و همکاران (۱) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تولید با وضعیت خشکسالی رابطه بهتری از بارندگی دارد زیرا در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ که شاخص‌های خشکسالی آن‌ها را به عنوان سال‌های خشک تشخیص داده‌است تولید نیز در تمام مناطق مورد مطالعه آن‌ها بیش از ۵۵ درصد کاهش داشته‌است.

نمودار مقادیر تولید اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده بر اساس مناسب‌ترین مدل در شکل ۲ نشان داده شده‌است. با توجه به جدول ۳ و همچنین شکل ۲ بر اساس عوامل آب و هوایی و وضعیت خشکسالی و با استفاده از مدل‌های ارائه شده می‌توان تولید را به‌خوبی برآورد نمود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق در مناطق مختلف، مهم‌ترین عامل موثر بر پوشش گیاهی متفاوت می‌باشد. محققین دیگر نیز در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند. در واقع به‌طور اطمینان نمی‌توان بیان کرد که کدام عامل آب و هوایی نقش مهم‌تری در تغییرات تولید مرتع دارد. اهمیت عوامل نسبی می‌باشد و بستگی به شرایط محیطی منطقه مورد بررسی دارد. بنابراین در مدل‌سازی تولید

Archive of SID

www.SID.ir

مرتع نباید نقش سایر عوامل نادیده گرفته شود. به‌طور مثال در سه منطقه از مناطق مورد بررسی مدل مناسبی بر اساس مقدار دما به تنهایی قابل استخراج نیست. اما حضور این عامل در مدل ترکیبی به افزایش ضریب همبستگی کمک کرده‌است. از طرفی با وجود تاکید بر بارندگی در مدل‌سازی‌های تولید مرتع در این تحقیق عامل تبخیر و تعرق بیش از بارندگی در مدل‌های شاخته شده حضور دارد. از این‌رو، در مناطق مختلف مدل مناسب برای پیش‌بینی تولید متفاوت می‌باشد، اما نکته قابل توجه این است که در تمام مناطق شاخص شناسایی خشکسالی و یا مدپل ترکیبی در رتبه دوم (جز در منطقه باغیک که شاخص شناسایی خشکسالی در رتبه اول قرار دارد) قرار دارند. از طرفی در تمام مدل‌های ترکیبی ساخته شده شاخص‌های خشکسالی حضور دارند. بنابراین با ترکیب عوامل آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی (در کنار هم قرار دادن عوامل آب و هوایی و یا استفاده از شاخص‌های خشکسالی) مدل قابل قبولی استخراج می‌شود.

همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد که دوره‌های کوتاه مدت عوامل آب و هوایی در مقابل دوره‌های طولانی مدت (مثلا نه ماهه) از اهمیت بیشتری برخوردار هستند که با نتایج وایل و همکاران (۳۸) هم‌خوانی دارد. دوره‌های موثر نیز برای عوامل آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی متفاوت می‌باشد و بستگی به پوشش گیاهی، اقلیم، خاک و... در منطقه دارد.

از میان دو شاخص خشکسالی، با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی مدل‌های مناسب‌تری ارائه شده‌است. زیرا این شاخص علاوه بر بارندگی، تحت تاثیر سایر عوامل آب و هوایی (از جمله تبخیر و تعرق) هم می‌باشد. عامل تبخیر و تعرق خود نیز متاثر از سایر عوامل آب و هوایی (دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و ...) می‌باشد. در واقع شاخص RDI می‌تواند به‌طور غیر مستقیم منعکس‌کننده تنش‌های رطوبتی و دمایی به گیاه باشد، در حالی که شاخص SPI فقط می‌تواند وضعیت تنش رطوبتی را مشخص کند.

پیشنهاد می‌شود مشابه این تحقیق در سایر مناطق آب و هوایی که تولید مراتع در آن‌ها طی سالیان متمادی اندازه‌گیری شده‌است، به انجام برسد. ضمن آن که توصیه می‌شود به جای برآورد تولید بر اساس مقادیر بارندگی سالانه تولید بر اساس ترکیبی از عوامل آب و هوایی و خشکسالی برآورد شود.

منابع

۱- آذرخشی م.، فرخزاده ب.، مهدوی م.، ارزانی ح. و احمدی ح. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های معیار بارش سالانه، شاخص بارش استاندارد شده و شدت خشکسالی پالمر در مراتع استان قم. نشریه مرتع و آبخیزداری ۶۵(۲): ۱۷۳- ۱۵۹.

۲- ارزانی ح.، میرداوودی ح.، فرحپور م.، عظیمی م.، کابلی ح.، سندگل ع.، اکبرزاده م. و مظفریان و. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی و تولید مراتع در استان مرکزی طی یک دوره ۵ ساله (۱۳۷۷-۱۳۸۱). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۲(۴): ۴۳۶-۴۰۹.

۳- ارزانی ح.، ادنانی م.، عظیمی م.، باقری ح.، اکبرزاده م. و کابلی ح. ۱۳۸۵. پایش پوشش گیاهی و تولید مراتع استپی استان قم طی یک دوره شش ساله. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۳(۴): ۳۱۳-۲۹۶.

۴- اکبرزاده م. و میرحاجی ت. ۱۳۸۵. تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر بارندگی در مراتع استپی رودشور، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۳(۳): ۲۲۲-۲۳۵.

۵- اکبرزاده م.، مقدم م.، جلیلی ع.، جعفری م. و ارزانی ح. ۱۳۸۶. تأثیر بارندگی بر تغییرات پوشش تاجی و تولید گیاهان در پلور. نشریه منابع طبیعی ایران ۶۰(۱): ۳۲۲-۳۰۷.

۶- احسانی ع.، ارزانی ح.، فرحپور م.، احمدی ح.، جعفری م.، جلیلی ع.، میرداودی ح.، عباسی ح. و عظیمی م. ۱۳۸۶. تأثیر شرایط اقلیمی بر تولید علوفه مراتع در منطقه استپی اخترآباد ساوه. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع وبیابان ایران ۱۴(۲): ۲۶۰ - ۲۴۹.

۷- احسانی ع.، ارزانی ح.، فرحپور م.، احمدی ح.، جعفری م. و اکبرزاده م. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه Cropwat 0.8 (مطالعه موردی:منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رودشور). ۱۹(۱): ۱۶-۱.

۸- باغستانی میبدی ن. و زارع م. ۱۳۸۶. بررسی روابط بارندگی و تولید علوفه سالانه در مراتع استپی منطقه پشتکوه یزد. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۷۵: ۱۰۷ - ۱۰۳.

۹- شریفان ح.، قهرمان ب.، علیزاده ا. و میرلطفی م. ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ترکیبی و دمایی) با روش استاندارد و بررسی اثرات خشکی هوا بر آن. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳(۱): ۳۰-۱۹.

۱۰- عبداللهی ج.، ارزانی ح. و نادری ح. ۱۳۹۰. عوامل اقلیمی مؤثر بر تولید علوفه مراتع استپی ندوشن در استان یزد. مجله علمی-پژوهشی مرتع.

Archive of SID

www.SID.ir

۵(۱): ۵۶-۴۵.
۱۱- علیزاده ا. ۱۳۹۲. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد.
۱۲- مساعدی ا. و قبائی سوق م. ۱۳۹۰. تصحیح شاخص بارش استاندارد شده (SPI) براساس انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال. نشریه آب و خاک، ۲۵(۵): ۱۲۱۶-۱۲۰۶.
۱۳- مساعدی ا. و قبائی سوق م. ۱۳۹۲. ارزیابی معادله‌های مختلف تجربی برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط مختلف نبود پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در چند ناحیه آب و هوایی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۰(۳): ۲۷-۵۰.
۱۴- مقدم م.، محمدی شوطی الف. و آقائی‌سربرزه م. ۱۳۸۸. آشنایی با روش‌های آماری چند متغیره. انتشارات پریور. آذربایجان شرقی.
۱۵- نجفی تیره شبانکاره ک. ۱۳۸۳. بررسی فنولوژیکی گونه قیچ در مناطق مختلف ارتفاعی استان هرمزگان. فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۱(۱): ۸۳-۱۱۲.
16- Bates J.D., Svejcar T., Miller R.F., and Angell R.A. 2006. The effects of precipitation timing on sagebrush steppe vegetation. J. of Arid Environments, 64: 670–697.
17- Comstock J.P., and Ehleringer J.R. 1992. Plant adaptation in the Great basin and Colorado Plateau. Great Basin Naturalist, 52: 195–215.
18- Cook J.G., and Irwin L.L. 1992. Climate–vegetation relationships between the Great Plains and Great Basin. American Midland Naturalist, 127: 316–326.
19- De Leeuw P N. and Nyambaka R. 1987. The prediction of rangeland production from rainfall data in arid and semi-arid Eastern Africa. In: Dzowela B H. African forage plant genetic resources, evaluation of forage germplasm and extensive livestock production systems. Proceedings of the third workshop held at the international conference centre Arusha, Tanzania.
20- Elagib N.A., and Elhag M. 2011. Major climate indicators of ongoing drought in Sudan. Journal of Hydrology 409: 612–625.
21- 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.
22- Fuhlendorf S.D., Briske D.D., and Smeins F.E. 2001. Herbaceous vegetation change in variable rangeland environments: The relative contribution of grazing and climatic variability. Applied Vegetation Science, 4: 177-188.
23- George M.R., Larsen R.E., McDougald N.M., Vaughn C.E., Flavell D.K., Dudley D.M., Frost W.E., Striby K.D. and Forero L.C. 2010. Determining Drought on California's Mediterranean-Type Rangelands: The Noninsured Crop Disaster Assistance Program. Rangelands, 32 (3):16-20.
24- Hargreaves G.H., and A.Samani Z. 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. American Society of Agricultural Engineers 85, 1-12.
25- Khumalo G., and Holechek J. 2005. Relationships Between Chihuahuan Desert Perennial Grass Production and Precipitation. Rangeland Ecology & Management, 58(3):239-246.
26- 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.
27- Mishra A., and Singh V. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391: 202–216.
28- 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: 110-94.
29- Ran G., WANG X., Zhi-yun O., and Ying-nian L. 2006.Spatial and temporal relationships between precipitation and ANPP of four types of grasslands in northern China. Journal of Environmental science, 18:1024-1030.
30- Smart A., Dunn B., Johnson P., Xu L. and Gates R. 2007. Using Weather Data to Explain Herbage Yeild on Three Greate Plain Plant Communities. Rangland Ecology and Management, 60 (2): 146-153.
31- Smoliak S. 1956. Influence of Climatic Conditions on Forage Production of Shortgrass Rangeland. Journal of Range Management, 9: 89-91.
32- Smoliak S. 1986. Influence of Climatic Conditions on Production of Stipa- Bouteloua Prairie over a 5O-year Period. Journal of Range Management, 39(2): 100-103.
33- Thurow T.L., and Charles A.T. 1999. Viewpoint: The role of drought in range management. J. Range Management, 52: 413-419.
34- Tietjen B., and Jeltsch F. 2007. Semi-arid grazing systems and climate change: a survey of present modelling potential and future needs. Journal of Applied Ecology, 44: 425-434.
35- Tsakiris G., and Vangelis H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. Journal of Water Resources Management, 18: 1-12.
36- Weiss J.L., Gutzler D.S., Allred Coonrod J.E., and Dahm C.N. 2004. Seasonal and inter-annual relationships

Archive of SID

www.SID.ir

between vegetation and climate in central NewMexico, USA. Journal of Arid Environments, 57:507–534.
37- White T.D., Campbell B.D., Kem P.D., and Hunt C.L. 2000. Sensitivity of three grassland communities to simulated extreme temperature and rainfall events. Global Change Biology, 6:671-684.
38- Wiles L.J., Dunn G., Printz J., Patton B., and Nyren A. 2011. Spring Precipitation as a Predictor for Peak Standing Crop of Mixed-Grass Prairie. Rangeland Ecol Manage, 64:215–222.
39- Yahdjian L., and Sala O.E. 2002. A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall. Oecologia, 133:95–101.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 6, Jan.-Feb. 2014, p. 1190-1206

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۲، ص. ۱۲۰۶-۱۱۹۰

Modeling Plants Yield Based on Climatic Factors and Drought Indices in Selected Sites of the Provinces of Markazi and Qom in Iran

S. Mohammadi Moghaddam[1]- A. Mosaedi[2*]- M. Jangju[3]- M. Mesdaghi[4]

Received: 24-04-2013
Accepted: 22-10-2013

Abstract

Prediction of precise forage production and proper management strategies requires identifying key climatic factors in different regions. The objective of this research is to compare forage production in different region based on climatic factors and drought indices. The study sites include Arak, Roudshore, Baghic, and Gharahso in Central and Qom provinces. Climatic factors and drought indices include precipitation, temperature, evapotranspiration, standardized precipitation index (SPI), and Reconnaissance Drought Index (RDI). For each climatic variable/or indices, 33 time periods of 1, 2, 3, 4, 6, and 9-month were specified. We have used Principle Component Analysis to decline the number of variables and then, the appropriate time periods were selected. By using stepwise and best subset, the relationship between forage production and each of the climate factors and indices was modeled. To select model, assessment statistics of R, MBE, RMSE, MARE, and IPE were used. Finally, to predict forage production in Roudshore, Baghic, and Gharahso sites, models based on evapotranspiration (RMSE=7.7, r=0.99), RDI (RMSE=3.1, r=0.99) and precipitation (RMSE=4.0, r=0.99) were selected respectively. The best model was based on the combinations of climatic factors and drought indices (RMSE=0.2, r=0.99) for Arak. In general, the relation between forage production and drought condition based on RDI is stronger than its relationship with precipitation and temperature. As we have used precipitation and evapotranspiration simultaneously in RDI, so this index is more precise than SPI.

Keywords: Forage production, Precipitation, Temperature, Evapotranspiration, Drought indices

Archive of SID

1 ,2, 3, 4- M.Sc. Student of Rangeland Management, Associate Professors and Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)

www.SID.ir