نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی
فصلنامه علمی دانشگاه گلستان
سال سوم/ شماره مسلسل نهم/ بهار ۱۴۰۱ / صفحات: ۵۲-۴۱
DOI: 10.30488/CCR.2022.337104.1073

ارزیابی حساسیت خاک‌های دوره کوارترنری با شاخص‌های NDVI و رطوبت خاک در ارتباط با تغییرات آب و هوایی به روش ناپارامتریک

فرزام فاروقی[۱]، زهره ابراهیمی[۲]، میلاد رحیمی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری مدیریت محیطزیست، دانشکده محیطزیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
[۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مخاطرات آب و هوای (اقلیم شناسی)، دانشگاه گلستان، ایران
[۳]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، نور

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۹

چکیده

آگاهی از تأثیر خاک‌ها بر پویایی منابع آبی، جهت ارتقاء مدیریت در مقابل تنش‌ها اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد؛ در سال‌های اخیر نگرانی‌ها از تغییر اقلیم توجه به حفظ بستر خاکی و تنظیم شیوه فعالیت‌های که کمترین آسیب را داشته باشند موردتوجه قرار گرفته است؛ لذا در تحقیق اخیر باهدف کمی‌سازی حساسیت مکانی-زمانی خاک در دوران کوارترنری بر اثر نوسانات شاخص پوشش گیاهی و منابع آبی به اهمیت موضوع خاک‌ها و پهنه‌بندی پاسخ اکولوژیک در مقابل تغییرات پرداخت، در این رابطه با استفاده از روش سری‌های زمانی من کندال (ناپارامتریک) به مطالعه تغییرات پوشش گیاهی و آبی روی خاک‌های کوارترنی در مقایسه با سایر خاک‌ها در کشور ایران پرداخته شد. در مطالعه از داده‌های مودیس و مدل MERA ورژن۲ در دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ به مدت ۳۶ ماه استفاده گردید. نتایج مطالعه نشان داد؛ متوسط حجم آب ذخیره شده در خاک‌های ایران ۳۴۵ میلی‌لیتر در مترمربع است. بر طبق نتایج ذخایر آب در مناطق کوارترنری با اقلیم فوق‌العاده مرطوب ۲۰٪ و مناطق نیمه مرطوب ۱۸٪ و همچنین مناطق مدیترانه‌ای ۸٪- مناطق شبه خشک ۱۲٪+ ، مناطق خشک ۲۱٪+ و مناطق بیابانی با ۲۵٪+ نسبت به اقلیم مشابه خود تغییر در حجم دارند. همچنین سواحل دریاچه ارومیه و استان خوزستان اثر نوع خاک بر پوشش و منابع آبی دارای حساسیت بالا و مساحت ۶۵۰ هزار هکتار را در بر دارد. در دشت گلستان ۲۲ هزار هکتار در تهدید وجود دارد و حساسیت بالا از خود نشان می‌دهد. نتایج اخیر نشان‌دهنده حساسیت و شکنندگی بالای مناطق خاک کوارترنی در مقابل تغییرات اقلیمی است، لذا برنامه‌ریزی و مطالعه آمایش کشور با توجه به پتانسیل‌های خاک اهمیت فوق العاده دارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص پوشش گیاهی، تغییرات آب و هوایی، چرخه آب، حفاظت از خاک، سری زمانی منکندال

مقدمه

تغییرات اقلیمی پدیده جهانی می‌باشد که در عرض‌های پایین زمین سبب ناهماهنگی‌های عمده در جریان‌های متداول زندگی و اکوسیستم شده است. هرچند عوامل مختلفی بر تغییرات اقلیمی اثر دارد ولی امروزه اثر انسان بر سرعت بخشیدن به این پدیده را نمی توان نادیده گرفت؛ بزرگترین تأثیر بشری بر اقلیم محلی احتمالاً استفاده از زمین حاصل شده‌است. آبیاری، تخریب جنگلها، و کشاورزی اصولاً باعث تغییر محیط می‌شود. تأثیرگذاری پوشش زمین و تغییر مقدار نور خورشید که جذب می‌شود، بازتابش ناحیه‌ای آن را دستخوش تغییر ساخته است؛ خاک بستری برای حفظ و احیاء چرخه آب و پوشش گیاهی است (Alem et al., 2021). پوشش گیاهی با رشد و چرخه حیات خود پاسخ اکولوژیک به الگوهای اقلیمی و حامی ایجاد حیات پیچیده می‌باشد (Fischer et al., 2008). توسعه و تیپ خاک در محیط زیست سبب

*نویسنده مسئول:

ایجاد بازخوردهای از شرایط می گردد به عنوان مثال که در یک منطقه خشک و نیمه خشک، توسعه خاک و پوشش گیاهی از حداقل بارندگی بیشترین استفاده را داشته باشند (Smith, 2012). چرخه کامل تر خاک و گیاه در اولویت بعدی امکان نفوذ و جذب آب بیشتر را دارد (Houghton, 2003). با توجه به مقدمات بیان شده برای کشور ایران که سه برابر متوسط جهانی تبخیر دارد صرفاً بخش زیادی از آب را از طریق تبخیر از دست می‌دهیم در حالی‌که با حفاظت از خاک می‌توانیم آب را زیر زمین نگهداری کنیم و منابع آبی بیشتری در دسترس داشته باشیم (Naqi et al., 2021). در کشور ایران حدود ۱۶/۷ تن در هکتار در سال خاک از دست می‌دهیم همچنین ۱۲۵ میلیون هکتار از اراضی این کشور تحت فرسایش آبی و ۳۲ میلیون هکتار تحت فرسایش بادی قرار دارند بنابراین نکته‌ای که باید به آن توجه کنیم کنترل فرسایش خاک و هدر رفت آن از بالا دست حوضه‌های آبخیز مناطق کوهستانی و زراعی است (Adhami et al., 2016). بنابراین حفاظت از خاک اهمیت فوق العاده ای برای پایداری خدمات اکوسیستمی خشکی مختلف دارد (Ricci et al., 2019). در مطالعه کمیت و کیفیت خاک‌ها توجه به شرایط تشکیل اهمیت دارد، تشکیل خاک‌های با توجه به سنگ‌های بستر و مادر در شرایط مختلف سنگ، آب و هوا و عوامل دیگر دارای ویژگی‌های مختلف هستند (Basayigit et al., 2008). تأثیرات فیزیکی مواد آلی موجود در خاک، ذخیره رطوبت بیشتر در این خاک‌ها در مقایسه با خاک‌های با شرایط فیزیکی مشابه ولی فاقد مواد آلی است، پارامتر دیگر در این تشکیل زمان است، هر قدر مدت عمل فرسایش کانی‌ها و سنگ‌ها بیشتر باشد عمل تخریب فیزیکی و شیمیایی کامل‌تر انجام می‌گیرد (Saha et al., 2016). پارامتر اقلیم و توپوگرافی نیز در تشکیل و تغییر ویژگی‌های خاک اهمیت فوق العاده ای دارد. وفور آب‌های نفوذی و عوامل آب و هوا از قبیل حرارت، رطوبت و غیره در کیفیت خاک‌ها اثر بسزایی دارند.

در چند سال اخیر روند خشکسالی‌های مداوم و تغییرات آب و هوایی سبب شده که منابع آب زیرزمینی و پوشش گیاهی دچار استرس و تخریب گردند. بسیاری از ویژگی‌های پویایی فضایی-زمانی حرکت آب در سیستم خاک-گیاه به سبب این نوسانات تغییر یافته است (Basupi et al., 2019). نحوه تأثیر خاک‌ها بر پویایی آب و انعطاف پذیری در مقابل خشکسالی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در رابطه با مطالعه اثر خاک بر حفظ پایداری پوشش گیاهی و منابع آبی مطالعات زیادی شده است. ازجمله این مطالعات می‌توان به بررسی تأثیر اقلیم و توپوگرافی در تحول خاک‌ها در استان کهگلویه و بویراحمد که خاک‌ها با افزایش بارندگی و کاهش درجه حرارت، از تکامل پروفیلی و تنوع افق‌های بیش‌تری برخوردار می‌باشند. به‌طوری‌که در منطقه ای با حداقل بارندگی و حداکثر درجه حرارت، فقط افق کلسیک با ساختمان ضعیف، در منطقه ی دیگر با بارندگی و حرارت متوسط افق‌های کلسیک و کمبیک به نسبت قوی و در منطقه‌ای با حداکثر بارندگی افق‌های کلسیک و کمبیک به نسبت قوی تا قوی، آرجیلیک و افق سطحی مالیک نمایانگر می‌شوند یا مطالعه (1997) Blecker et al. با تجزیه اندازه ذرات خاک‌های تشکیل شده در کلرادو، به این نتیجه دست یافتند که خاک‌های اوایل و اواسط هولوسن بر روی ته‌نشست‌های رسوبی قرار دارند. آن‌ها همچنین با اندازه‌گیری داده‌های گلسنگ و کربن آلی دریافتند که خاک در ایجاد رطوبت بالا و ایجاد شرایطی مطلوب برای باروری گیاهان اثر دارد در نتیجه تجمع هوموس در اوایل و اواسط هولوسن بیش‌تر از حال حاضر بود. مطالعه دیگر در این سلسله مطالعات بررسی خصوصیات شیمیایی و رده‌بندی خاک‌های قهوه‌ای جنگلی در مواد مادری مختلف در ژاپن و بیان کردند که مواد مادری بر روی مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، اشباع بازی و اسیدیته خاک‌های مطالعه شده تأثیرگذار است (Maheshwari et al., 2012) در مطالعه دیگر (Potter et al., 2005) آزمایش فرضیه تعادل بلند مدت آب تنها با تعامل محلی نوسان عرضه

آب (بارش) و تقاضا (تبخیر و تعرق بالقوه) ، با واسطه ذخیره آب در خاک تعیین می شود پرداختند. مطالعه در ایالات متحده در شرق کوه‌های راکی، صورت گرفت میانگین منطقه مطالعه رواناب و تبخیر و تعرق، بر اساس مشاهدات، به‌ترتیب ۲۶۳ میلی متر و ۷۲۸ میلی متر است. مدل برآورد مربوطه را به ترتیب ۲۵۰ میلی‌متر و ۷۴۱ میلی‌متر نشان می‌دهد و ۸۸ درصد از واریانس جغرافیایی رواناب مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه را توضیح می دهد. مطالعه آنها ثابت کرد در قسمت‌های مرطوب (شاخص خشکی <۱) ، عامل غالب تولید رواناب ، بارش سالانه بیش از تبخیر و تعرق بالقوه سالانه است ، لذا جنس خاک بنا بر دوره تشکیل و ساختار بر نفوذ رواناب اضافی و سایر اثرات نفوذپذیری محدود بر تراز آب خاک اثر معنی داری دارد.

(Costantini et al., 2004) به ارزیابی تکامل و کانی‌شناسی رس‌ها در خاک‌های کواترنری در مرکز ایتالیا پرداختند. این پژوهش نشان داد که ترکیب کانی‌های رسی از جمله مهم‌ترین شواهد تشکیل خاک در طول دوره کواترنری می‌باشد. این پژوهشگران همچنین به این نتیجه دست یافتند که ایلایت و کائولینایت فراوان‌ترین کانی‌های موجود در خاک‌های این منطقه می‌باشند همچنین کلرایت هم در رسوبات هولوسن و مقدار کمی هم در افق‌های قدیمی وجود داشت

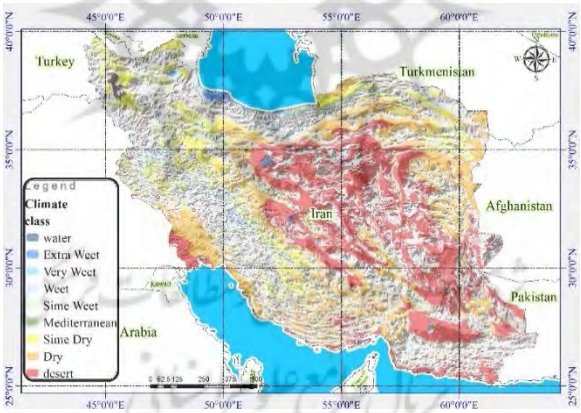
(Shaw, 2004) در پژوهشی به بررسی تأثیر مواد مادری در توزیع و تکامل خاک‌های پالئویودالت و کندی‌یودالت در جنوب غربی آمریکا پرداختند و معتقدند تشکیل خاک، به خصوص مقدار رس خاک‌های تحت‌الارض که تعیین‌کننده فامیل خاک در سیستم رده‌بندی آمریکایی می‌باشد، کاملاً تحت کنترل ماده مادری است. در پژوهشی در منطقه هیمالیا (Rolke et al., 2005) خصوصیات خاک‌ها را با مواد مادری مختلف مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که در خاک‌های تشکیل شده بر روی مواد دگرگونی، ذرات در اندازه سیلت ریز، بیش‌ترین فراوانی را داشته و در خاک‌های بوجود آمده از میکاشیست، شن زیادی در افق A گزارش شده است (Srivastava, 2007). در بررسی‌های میکرومورفولوژیکی پالئوسول‌های کواترنر و خاک‌های پلی‌ژنتیک دشت‌های گنگ اظهار داشته‌اند که عوارض پدولوژیکی موجود در خاک‌های مذکور، نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی در طول کواترنر فوقانی می‌باشند. بنابراین کیفیت و جنس خاک بر پارامترهای تغییر اقلیمی اثر دارد. در آخرین مطالعه سال (Guillén et al., 2021) در یک مطالعه کلی در کوههای مرکزی آپالاچی واقع در شرق ایالات متحده به بررسی اهمیت و جایگاه خاک و سیمای سرزمین بر منابع آبی پرداختند. نتایج نشان داد اهمیت پوشش گیاهی به عنوان محرک اصلی در منابع آبی را نمی توان بر اساس منطقه ای یا منطقه ای تأیید کرد، لیکن توپوگرافی و مناطق کوهستانی اثر بسزای در منابع آبی ایفا میکنند. کواترنر در ایران با بسیاری از مناطق دیگر کره زمین، متفاوت است. فعالیت و پویایی زمین در ایران در تمام دنیا بی‌سابقه بوده و حتی رسوبات آبرفتی کواترنر، چین‌خورده و گسل‌دار شده است. این حوادث، به‌طور دائم بر شرایط طبیعی ما تأثیرگذار است. قوانین طبیعی به ما می‌آموزند که پاسخ زمین در موقعیت‌های مشخصی است که این حوادث به آستانه تعادلی و تحریکی زمین نزدیک می‌شوند. فرسایش شدید زمین‌ها، زلزله، سیل، بهمن، از بین رفتن تعادل‌های دامنه‌ای، لغزش‌ها، آتشفشان‌ها و تغییرات اقلیمی از مسائلی است که دوره کواترنر در ایران به آن‌ها مبتلا شده و گاهی باران تبدیل به فاجعه می‌شود، سدها را پر می‌کند، برنامه‌های بیابان‌زدایی در حد شعار باقی می‌ماند و پروژه‌های شهری، آبخیزداری، کشاورزی، پوشش‌گیاهی و فضای سبز موفقیت‌آمیز نمی‌باشند. طرح‌های مسکن و شهرسازی و حتی محاسبه یک پل ساده از اعتبار می‌افتند و خطرات ریزش و اخیراً نشست زمین در اثر پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در ایران مرکزی و در مقیاس وسیع کشوری، همه جا را تهدید می‌کند و منابع آب و آبخوان‌های وسیع کواترنر در اثر پدیده اختلاط یا نفوذ نمک در مناطق مجاور کویر، آلوده شده و در نتیجه، حاصلخیزی زمین

کم، شوری و آلودگی‌ها در خاک، آب و هوا گسترش می‌یابد.

با توجه به مرور مطالعات پارامتر زمان، مکان یا توپوگرافی و خاک بر کمیت منابع آبی و کیفیت پوشش گیاهی اثر دارند. هنوز مطالعه جدی در یک مقیاس کلان برای آنالیز این موضوع که خاک‌ها چگونه بر کارکرد اکوسیستمی منابع آب و پوشش گیاهی در مقابل تغییرات اقلیمی اثر دارند، سوال اصلی بوجود آمده از مرور مطالعات آیا خاک بوجود آمده از دوران مختلف میتواند سازو کاری برای حفظ ذخایر آبی و منابع طبیعی از تغییرات اقلیمی ایجاد کنند. بنابراین هدف مطالعه اخیر به مطالعه چگونگی تغییرات پوشش گیاهی و منابع آب موجود در خاک‌های رده کوارتنری موجود در اقالیم مختلف ایران خواهد پرداخت و رابطه همبستگی و معادلات مکانی این تغییرات به بحث گذاشته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه خاکهای مربوط به دوره کوارترنری در کشور ایران در مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و ۵۳ درجه شرقی قرار دارد و از شمال به آذربایجان، ارمنستان، ترکمنستان و دریای خزر، از شرق به پاکستان و افغانستان، از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان و از غرب به ترکیه و عراق محدود می‌شود. کل گستره ایران، ۱،۶۴۸،۱۹۵ کیلومتر مربع است که ۱۱۶،۶۰۰ کیلومتر مربع آن را آب‌های این کشور تشکیل می‌دهند (Atashgahi et al., 2009). اقلیم ایران بسیار متنوع است و از نیمه‌گرمسیری تا زیرشمالگانی را شامل می‌شود. بلندی، عرض جغرافیایی، تأثیرات دریایی، بادهای فصلی و نزدیکی به دامنه‌های کوهستانی یا بیابان‌ها، نقش مهمی در نوسانات دمای روزانه و فصلی در این کشور ایفا می‌کند. از ویژگی‌های آب و هوای ایران این است که مناطق مختلف آن، می‌توانند دارای چهار فصل جدا از هم باشند (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه مناطق مربوط به دوره کوراترنری در اقالیم مختلف

منابع داده‌ها: جهت مطالعه تغییرات پوشش گیاهی و نوسانات مربوطه از یک سری از داده‌های ماهانه ماهواره مودیس مرتبط با دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ به مدت ۳۶ ماه با مقیاس ۵۰۰ متر استفاده گردید. جهت مطالعه کمیت منابع آبی ذخایر زیر زمینی از مدل MERA ورژن ۲ استفاده گردید و دامنه زمانی نیز به ۳۶ ماه از ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ انتخاب شد. جهت مطالعه ناپارامتریک عوامل اعلام شده و بدست آوردن نرخ واقعی تغییرات با حذف اثر فطل و دوره رویش و چرخه آب از سری زمانی استفاده گردید. که مراحل زیل را شامل میگردد:

خودهمبستگی سریالی: خودهمبستگی سریالی یک مشکل رایج در داده‌های سری زمانی است که می‌توان با کاهش حجم نمونه مؤثر، تنظیم واریانس

(Semenov et al., 2015) و یا پیش سفید کردن[1] آن را رفع کرد. کاهش حجم نمونه مؤثر زمانی که اندازه نمونه کوچک باشد ممکی است به دلیل تأثیر جدی بر روی تجزیه‌وتحلیل مؤثر واقع نشود. با توجه به مطالب ذکرشده می‌توان از پیش سفید کردن برای خودهمبستگی سریالی استفاده کرد (Eastman, 1983).

پیش سفید کردن: این رویه توسط بسیاری از محققین برای از بین بردن اثر خودهمبستگی سریالی بر روی آزمون من-کندال استفاده‌شده است. پیش سفید کردن شامل برآوردی از همبستگی ρ طی سری است. اگر مقدار ρ کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد؛ می‌توانیم مستقیم از رویه‌ها برای محاسبه روندهای سری زمانی استفاده کنیم در غیر این صورت ابتدا از رویه پیش سفید کردن استفاده می‌شود سپس از انواع رویه‌های سری زمانی جهت محاسبه روند استفاده گردد. تا زمانی که مقدار ρ کوچک‌تر از ۰/۰۵ شود پیش سفید کردن انجام می‌گیرد (Wan et al., 2010).

همبستگی متقابل فضایی[2]: سری‌های پیش سفید شده برای آزمون معنی‌داری در نظر گرفته می‌شوند؛ بااین‌حال گنجانیدن پیکسل‌های مجاور باعث افزایش واریانس در آزمون‌های معنی‌داری می‌شود که به‌احتمال‌زیاد منجر به رد فرض صفر می‌شود (بدون روند) که درست خواهد بود. تصحیح همبستگی متقابل فضایی در طول روند معنی‌داری با تنظیم واریانس در نظر گرفته می‌شود (Jackson et al., 2005) که می‌تواند به‌صورت درجه‌ای از ارتباط دو سری زمانی با یکدیگر در وقفه زمانی صفر یا بالاتر تعریف شود؛ که در وقفه زمانی صفر یا بالاتر از صفر به دلیل همبستگی سریالی در سری‌های تکی اتفاق می‌افتد؛ بنابراین پس از پیش سفید کردن نیاز به تصحیح در وقفه زمانی صفر است. تنظیم واریانس همبستگی متقابل با در نظر گرفته شدن همبستگی متقابل فضایی در طی روند برای آزمون معنی‌داری محاسبه می‌شود. واریانس به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Var=\frac{1}{m^2}=\left[\sum_{j=1}^{m}Var(S_j)+2\sum_{j=1}^{m-1}\sum_{i=1}^{m-j}Cov(S_j,S_{j+i})\right] \quad \text{(معادله ۱)}$$

کوواریانس بین همسایه j و j+1 از طریق فرمول زیر قابل‌محاسبه است:

$$Cov\,(S_j,S_{j+1})=\sigma^2\rho_{j,j+1} \quad \text{(معادله ۲)}$$

که $\rho_{j,j+1}$ ضریب همبستگی متقابل بین همسایه j و j+1 است که از طریق فرمول محاسباتی زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_{j,j+1}=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i^j-\bar{x}^j)(x_i^{j+1}-\bar{x}^{j+1})}{\sqrt{\mathrm{var}(x^j)\,\mathrm{var}(x^{j+1})}} \quad \text{(معادله ۳)}$$

حذف روند: از این‌رویِ برای حذف خودهمبستگی سریالی استفاده می‌شود که شامل موارد زیر می‌باشند (Pavlickova et al., 2015):

Durbin Watson: ارتباطی سریالی برای هر پیکسل را محاسبه می‌کند مقدار آن همیشه بین ۴-۰ است. ارزش ۲ نشان‌دهنده این است که خودهمبستگی سریالی وجود ندارد، کمتر از ۲ شواهدی از ارتباط مثبت و بیش‌تر از آن خودهمبستگی سریالی منفی است.

حذف آثار فصل: برای از بین بردن آثار فصلی ازاین‌رویِ استفاده می‌شود که خود شامل موارد زیر است:

ناهنجاری[3]: مهم‌ترین پیش‌پردازش، محاسبه ناهنجاری است که Deseason برای حذف آثار فصل گفته می‌شود و انحراف هر پیکسل از میانه ماه مربوطه محاسبه می‌شود. نتایج این رویه به‌طورکلی برای تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی مانند تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود.

ناهنجاری‌های استاندارد شده[4]: ازاین‌رویِ به‌منظور محاسبه ناهنجاری در سری زمانی طولانی‌مدت از طریق ناهنجاری محاسبه‌شده (انحراف هر پیکسل از میانه ماه مربوطه) با تقسیم‌بر انحراف استاندارد

1.Prewhitening
2. Spatial cross-correlation
3. Anomalies
4. Standardized anomalies

ناهنجاری‌های استانداردشده و یا به‌عبارت‌دیگر نمره Z (Score Z-) محاسبه می‌گردد.

تجزیه تحلیل روند

وجود یا عدم وجود روند و تحلیل سری زمانی بر مبنای دو روش پارامتریک یا نا پارامتریک انجام می‌شود. روش پارامتریک بر اساس یک روش رگرسیونی بین داده‌های سری زمانی و زمان استوار است. درحالی‌که روش نا پارامتریک برای سری‌های زمانی که دارای تابع توزیع آماری خاصی نیستند استفاده بیشتری دارند (Pere et al., 2014). برای تحلیل روند مهم‌ترین رویه‌های تحلیل استفاده گردید که عبارت‌اند از:

همبستگی خطی (R): این رویه ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر پیکسل‌های سری زمانی بازمان را نشان می‌دهد و به همین دلیل از آن برای تحلیل سری زمانی استفاده می‌شود؛ اما به اختلالات در زمان کوتاه حساس است.

روند یکنواخت[1] (Mann-kendall): شاخص Mann-kendall یک‌روند غیرخطی بوده و درجه‌ای که یک‌روند به‌طور مداوم افزایش یا کاهش می‌یابد را محاسبه می‌نماید و دامنه آن بین ۱+ و ۱- است؛ ارزش مثبت نشان‌دهنده این است که روند به‌طور مداوم افزایش و ارزش منفی روند به‌طور مدام کاهش‌یافته است و صفر نیز نشان‌دهنده عدم وجود روند است. کندال s به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sign(x_i - x_j) \quad \text{(معادله-۴)}$$

$$sign(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & if \quad x_i - x_j < 0 \\ 0 & if \quad x_i - x_j = 0 \\ 1 & if \quad x_i - x_j > 0 \end{cases} \quad \text{(معادله-۵)}$$

که در آن n طول مدت‌زمان سری است و xi و xj مشاهدات در زمان i و j است.

معنی‌داری Mann-Kendall: معنی‌داری بر اساس اهمیت بیان‌شده به‌عنوان نمرات Z و احتمال رخداد تصادفی روند مشاهده‌شده (p) بیان می‌گردد:

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & for \quad s > 0 \\ 0 & for \quad s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & for \quad s < 0 \end{cases} \quad \text{(معادله ۶)}$$

$$\rho = 2\left[1 - \varphi(|z|)\right]$$

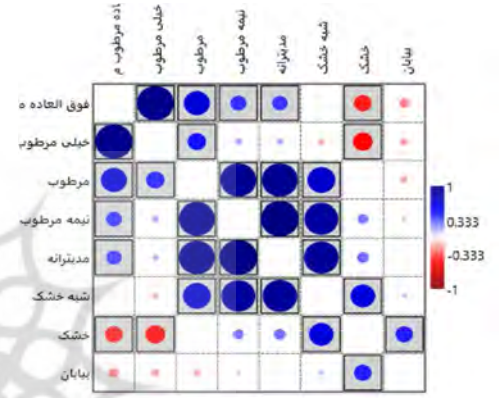
در واقع آزمون آماری برای فرضیه H0 مورداستفاده قرار می‌گیرد، اگر قدر مطلق Z بزرگ‌تر از Zα/2 باشد که در آن α نشان‌دهنده پایین‌ترین سطح معنی‌داری (بدین معنی با سطح ۵٪، Z0.025=1.96) که فرض صفر را تأیید می‌کند یعنی روند معنی‌دار است (Zhou et al., 2017).

یافته‌ها و بحث

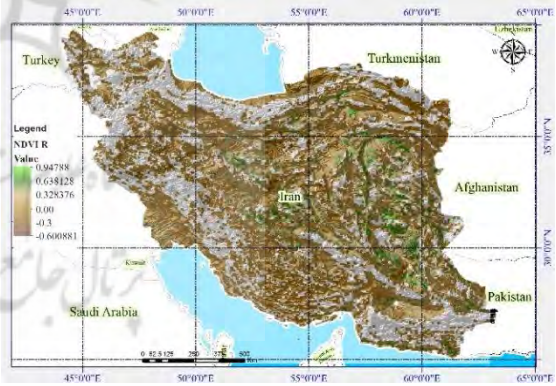
نتایج تحقق نشان داد؛ در کل پهنه‌های دوره کوارترنری در هشت کلاس اقلیمی دوره پویایی پوشش گیاهی با تأخیر یا فاصله زمانی چند هفته ای در سرتاسر ایران شروع به رویش مجدد خواهند کرد. موضوع مد نظر تاکید دارد، در کل مناطق بیابانی کمترین سطح پوشش گیاهی وجود دارد و نهایتاً در مناطق خشک پوشش گیاهی فقیر با شاخص NDVI یک دهم درصد میانگین تا ۱,۲ دهم نوسان دارد که نسبت به دوره بارش این نوسانات لحاظ میگردد. پوشش یکی از عوامل مهم در تغییر بافت خاک و تنظیم کننده توان خاک در حفظ و پایداری است. دوره زمانی کوتاه جهت حذف روند تغیر اقلیم در تحقیق اخیر بکار گرفته شد تا آماره‌های سری زمانی بهتر روند را به نمایش بگذارد. در طول دوره مطالعه مناطق خشک دارای روند افزایش شاخص NDVI با ۹۰ درصد همبستگی مثبت با گذشت زمان بودند. این بدان معنا میباشد هرچه زمان بیشتر بگذرد؛ توان شاخص NDVIبیشتر خواهد شد. در نتیجه با گذشت زمان پایداری بهتر در این مناطق بوجود خواهد آمد، بنابراین زمان عامل مثبت در استقرار پوشش گیاهی در منطقه خشک عنوان میگردد. باتوجه به اهمیت معنی دار بودن تغییرات پوشش گیاهی آماره‌های مکانی منکندال نشان داد که در ۶۰ درصد مناطق بیابانی و خشک تنها روند معنی دار وجود دارد و تغییرات قابل تأیید است، در مناطقی با اقلیم‌های نیمه خشک و مدیترانه ای تا خیلی مرطوب زمان و تغییرات

1. Monotonic trend

شاخص NDVI با توجه به حذف اثر فصل بر داده‌ها پایداری و ثبات قابل توجه تری دارند. لازم به ذکر است در مناطق بیابانی و خشک به علت ضعف پوشش خاک هرگونه تغییر کوچک نیز از لحاظ آماری معنی پیدا خواهد کرد. با توجه به (نمودار-۲) سیگنال‌های مناطق ۶ گانه اقلیمی (خیلی مرطوب تا نیمه خشک کشور) دارای بالاترین هماهنگی یا همبستگی معنی دار در ۳۶ ماهه می باشد. تنها در مناطق مرطوب به سبب وجود درختان خزان کننده هیرکانی، سیگنال شاخص NDVI کمترین همخوانی را دارد (شکل ۳).

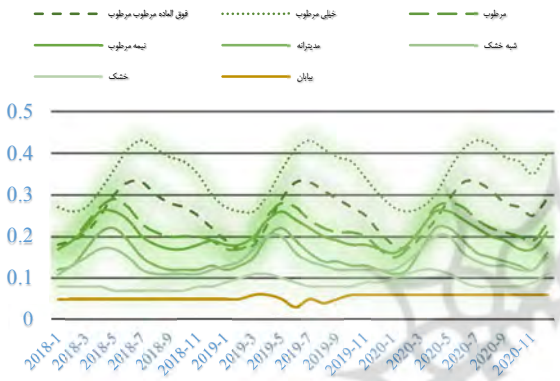


شکل ۳: الگوی همبستگی شاخص NDVI در اقلیم مختلف

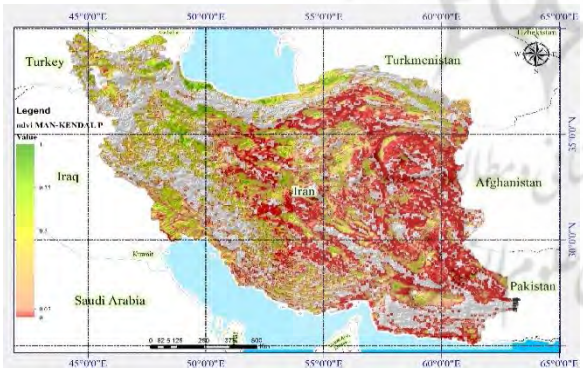


شکل ۴: اثر زمان بر تغییرات شاخص NDVI

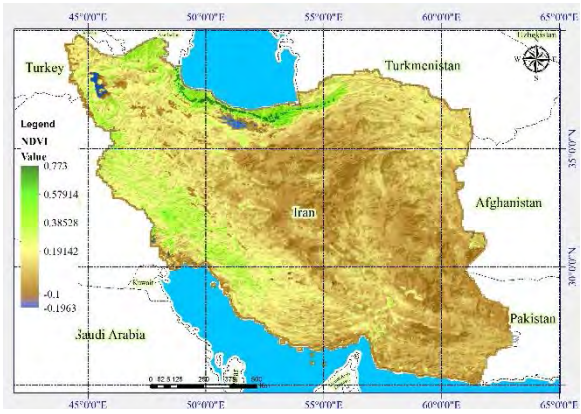
باتوجه به نتایج نمودار۲ سیگنال‌های شاخص NDVI با حذف اثر بارش و فصل به وضوح تأکید میکند؛ در مناطق تشکیل خاک با پوشش غنی‌تر در مناطق کوارترنری پایداری بیشتری از لحاظ رشد وجود دارد و تنش فصل و آب بر پوشش گیاهی در مناطق کوارترنری از لحاظ دامنه تغییرات کمترین اثر را دارد (شکل ۵)، هرچند نقطه پیک شادابی گیاهی و خشکی وابسته به تغییرات آب و هوایی و فصل است، ولی شیب تغییرات پوشش گیاهی وابسته به کیفیت خاک است (شکل ۶).



شکل ۲: نمودار سیگنال‌های الگوی شاخص NDVI در خاک‌های مختلف اقلیمی

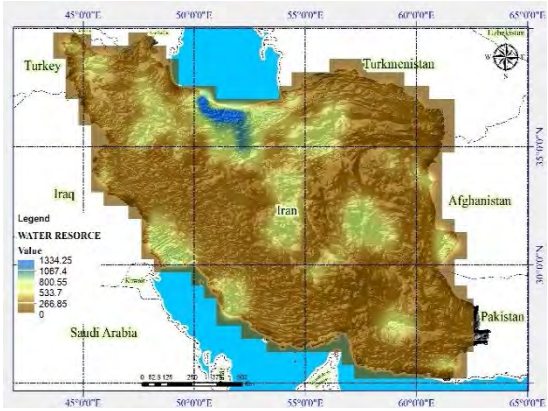


شکل ۵:معنی داری شاخص منکندال در رابطه تغییرات شاخص NDVI در دوره ۳۶ ماهه

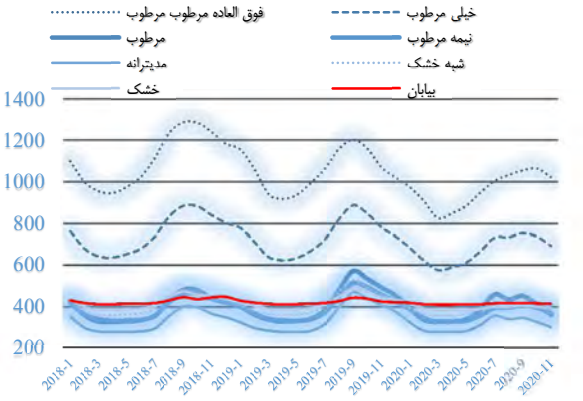


شکل ۶: شاخص NDVI مربوط به ۳۶ ماه

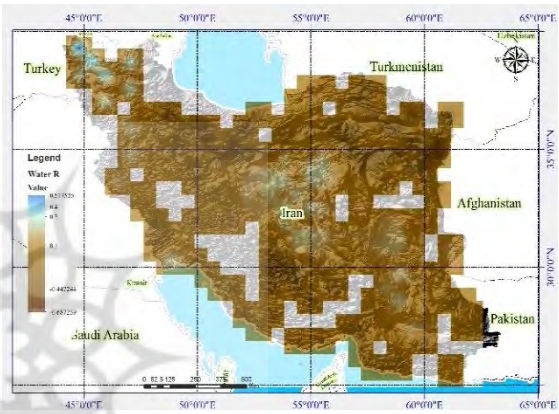
در ادامه مطالعه بررسی روند و تغییرات منابع آبی بر بدنه خاک‌های دوره کوارترنری نشان میدهد عمده ترین منابع آبی و آبخوان‌ها با پهنه خاک‌های دوره کوارترنری همپوشانی ۵۶,۲۵ درصدی دارند (شکل ۸). مطالعه نشان میدهد الگوی نوسانات حجم ذخایر موجود علی رغم تغییرات جوی و اقلیمی دارای پایین ترین تروالنس و شیب تغییرات در طی دو دوره تر و خشک است (شکل ۷). بنابر تقسیم بندی منابع و آب خوان‌های موجود متوسط حجم آب ذخیره شده در ایران ۳۴۵ میلی لیتر در متر مربع است. که از این میان دامنه البرز در اقلیم نیمه خشک تا فوق العاده مرطوب دارای بالاترین میانگین حجم آبخوان با ۶۵۲ میلی لیتر در متر مربع می باشد(شکل ۸). بنابر الگوهای اقلیمی مشخص گردید در مناطق کوارترنری به ترتیب مناطق فوق العاده مرطوب ۱۰۴۵ میلی لیتر، مناطق خیلی مرطوب ۷۲۲ میلی لیتر در متر مربع، مناطق مرطوب ۳۹۸ میلی لیتر و مناطق نیمه مرطوب ۳۸۸ و همچنین مناطق مدیترانه ای ۳۲۹ میلی لیتر، مناطق شبه خشک ۴۰۰ میلی لیتر، مناطق خشک ۴۱۴ میلی لیتر و مناطق بیابانی با ۴۲۱ میلی لیتر دارای حجم بالای آب در خود هستند که در مقایسه با سایر نقاط ایران دارای اختلاف هستند، بنابراین اقلیم فوق العاده مرطوب ۲۰ درصد بیشتر از اقلیم مشابه خود ، مناطق خیلی مرطوب ۲+درصد نسبت به اقلیم مشابه، مناطق مرطوب ۴+ درصد و مناطق نیمه مرطوب +۱۸ درصد و همچنین مناطق مدیترانه ای ۸- درصد اقلیم مشابه خود ، مناطق شبه خشک ۱۲+ درصد، مناطق خشک ۲۱+ درصد و مناطق بیابانی با ۲۵ درصد تفاوت هستند که موضوع اخیر میتواند نظر به اهمیت مناطق و خاک‌های دوره کوارترنری نسبت به سایر مناطق اهمیت پیدا کند(شکل۹). نتایج آنالیز آماری سری‌ها نشان میدهد زمان در مناطق کوارترنری بیشتر در دامنه ۵۲ درصد مثبت و ۶۸ درصد منفی اثر دارد (شکل۱۰)، همچنین آنالیزها نشان میدهد در دوره آماری مورد مطالعه افزایش حجم ذخایر آبی در دشت کویر در مرکز ایران با افزایش ۱۰ میلی لیتری در هر متر مربع به وسعت ۳۲,۵۲۴ هزار هکتار افزایش داشته است. لذا در کل پهنه‌های ایران روند کاهشی به چشم میخورد. با توجه به (شکل ۱۰)در چند نقطه از مناطق کوارترنر روند کاهش ذخایر آبی معنا دار نمی باشد، اولین لکه کل پهنه خوزستان بود که خشکی اقلیم و ابریز بودن منطقه از جمله این عوامل باشد، منطقه دیگر مناطق مدیترانه ای مرکزی زاگرس به سمت البرز که به فواصل ۱۰۰ تا ۲۱ کیلومتری در دشت‌ها تغییرات معنی پیدا نکرده است، این مناطق باتوجه به جنس خاک و دوره تکامل پایداری بالاتری را نشان می‌دهند.



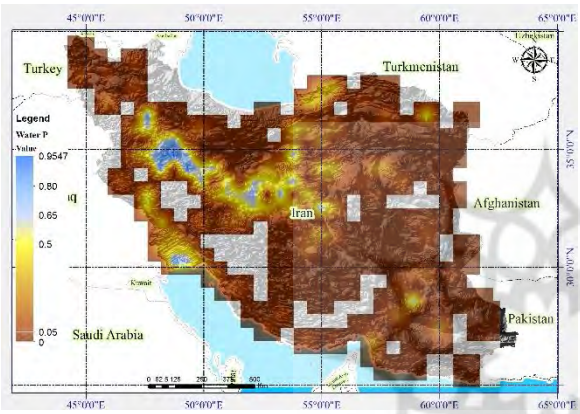
شکل۸: نقشه دخایر آبی کشور ایران برای دوره ۳۶ ماهه



شکل۷: روند ذخایر آب در اقلیم‌های مختلف در مناطق دوره کوارترنری



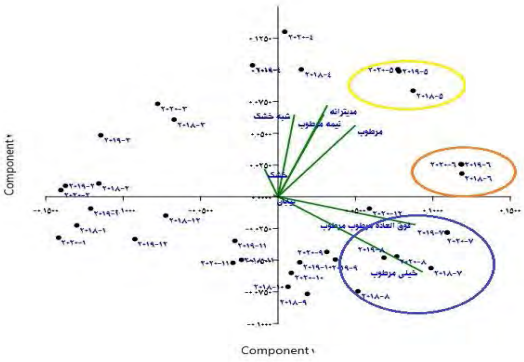
شکل ۱۰: همبستگی تغییرات ذخایر آب با گذشت زمان در مناطق کوارترنری



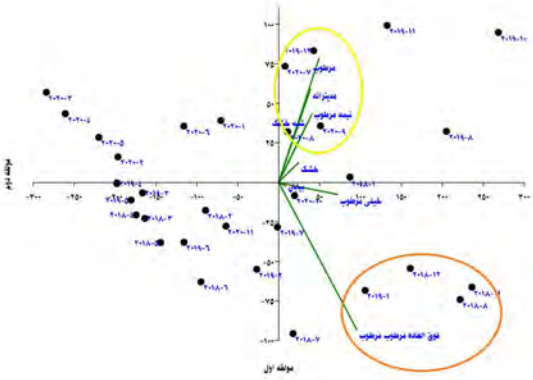
شکل ۹: روند معنی داری تغییرات ذخایر آبی در مناطق کوارترنر

در نهایت با تأکید بر دست آوردهای بخش‌های پیشین به آنالیز واکنش خاک‌های تکامل یافته در اقلیم‌های مختلف یک موضوع جدی به چشم میخورد، در بحث شاخص گیاهی پویایی و بیشترین واکنش در ماه می یا اردیبهشت صورت می گیرد. در این موقع از سال ذخایر آبی خاک بر طبق نمودار ۷ در پایین ترین سطح ممکن است و شاخص پوشش گیاهی درحال تقلیل به سمت خشکی، در واقع دوره تنش و خشکی گیاه شروع میگردد، بنابراین خاک در اقلیم‌های مرطوب، نیمه مرطوب و مدیترانه و شبه خشک به سبب پادمانه تکاملی خود در انتقال آب سطحی به عمق و حفظ کارکرد گیاهی در جذب آب شیب تغییرات کاهش NDVI تا ماه اگوست یا تیر ادامه پیدا میکند (شکل ۱۱). در مقابل در ماه‌های اگوست یا تیر در اقلیم‌های فوق مرطوب و خیلی مرطوب شاخص پوشش گیاهی در نمودار ۱۱ در ربع دوم بیشترین وابستگی مولفه را دارد، بنابراین در این ماه نیز حجم ذخیره آب در خاک برای این اقلیم به حداکثر خواهد رسید. اما ذخایر آب برای خاک‌های تکامل یافته در اقلیم‌های مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه و نیمه خشک در ماه‌های شهریور و مهر به پایین ترین سطح خود رسیده است. بنابراین مکانیسم موجود در خاکهای کوارترنی مشخصاً بیان میکند در دامنه‌های افزایش و کاهش ذخایر آب و پوشش گیاهی تغییرات و پایداری بوجود خواهد آمد (نمودار ۱۲).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

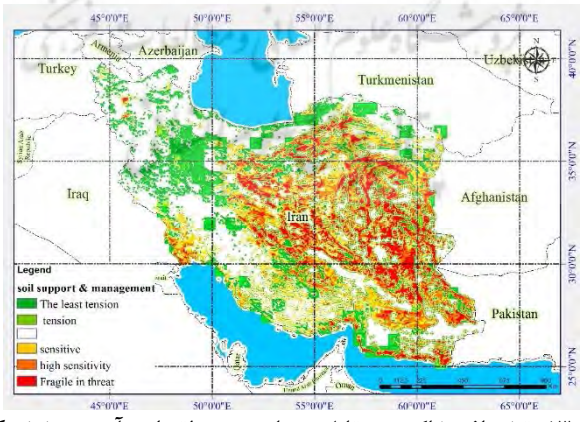


شکل ۱۱: نمودار مولفه‌های اصلی ماه‌های تعیین کننده ایجاد پوشش گیاهی در خاک‌های دوره کوارترنری



شکل ۱۲: نمودار مولفه‌های اصلی ماههای تعیین کننده تغییر ظرفیت آب در خاک‌های دوره کوارترنری

بر اساس مبانی نتایج اثر تکامل خاک در دوران کوارترنری بر تغیرات آب و پوشش گیاهی اثر منفی دارد، هر چند که بزرگی رابطه همبستگی پایین بوده و ۵۲ درصد همبستگی منفی را نشان میدهد. نتایج نشان میدهد تنش آب و خاک در مناطقی که خاک آنها در دوران کوارترنری تشکیل و تکامل یافته است به نسبت دارای خود تنظیمی بیشتر بوده و تأثیر نوسانات به نسبت سایر نقاط پایین تر است. آنچه از نقشه مکانی حساسیت و نیاز مدیریت بدست می آید، کوهستان مرکزی زاگرس با توجه به تشکیل خاک و تکامل آن در ارتفاعات بیشترین منطقه مناسب و بالاترین اثر خاک در پایداری را دارد. لذا در کویر با توجه به عدم تشکیل خاک و پایداری خیلی پایین هرگونه فعالیت و تغییر تهدید و خطر زا برای از دست رفت آب و پوشش گیاهی محسوب می گردد. در چند نقطه بخصوص سواحل دریاچه ارومیه و استان خوزستان اثر نوع خاک بر پوشش و منابع آبی دارای حساسیت بالا بوده و مساحتی حدود ۶۵۰ هزار هکتار را در بر دارد. در شرق خزر و دشت گلستان ۲۲ هزار هکتار در تهدید وجود دارد و حساسیت بالای در تنش‌ها از خود نشان میدهد در نتیجه نیازمند مدیریت و کنترل است (نمودار ۱۳).



شکل ۱۳: نقشه اثر خاک در مقابل حساسیت منطقه ایی آب و پوشش گاهی

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی اثر مخربی بر کلیه فرایندهای طبیعی از جمله چرخه آب، استقرار پوشش گیاهی دارد. خاک بستری حفاظتی برای استقرار پوشش گیاهی و ذخیره آب و جلوگیرنده از ایجاد فرسایش و ریزگردها دارد. در مطالعه کمیت و کیفیت خاک‌ها

توجه به شرایط تشکیل همچون اقلیم اهمیت دارد (Kallali et al., 2007)، تشکیل خاک‌های با توجه به سنگ‌های بستر و مادر در شرایط مختلف سنگ، آب و هوا و عوامل دیگر دارای ویژگی‌های مختلف هستند. پوشش گیاهی غالب هر منطقه و نوع و ترکیب مواد آلی حاصل از باقی‌مانده‌های گیاهی که مرتباً به خاک افزوده می‌شوند تأثیر به سزایی در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک دارند (Garrido-Sanz et al., 2018). نتایج تحقق نشان می دهد در کل پهنه‌های دوره کوارترنری در کل مناطق بیابانی کمترین سطح پوشش گیاهی وجود دارد و نهایتاً در مناطق خشک پوشش گیاهی فقیر با شاخص NDVI یک دهم درصد میانگین تا ۱,۲ دهم نوسان دارد، نتیجه گذشت زمان پایداری بهتر در این مناطق بوجود خواهد آمد، زمان عامل مثبت در استقرار پوشش گیاهی در منطقه خشک عنوان میگردد. سیگنال‌های مناطق ۶ گانه اقلیمی (خیلی مرطوب تا نیمه خشک) دارای بالاترین همخوانی در ۳۶ ماهه سال با همبستگی معنی دار می باشد که با توجه به نتایج (Filyushkina et al., 2018). این عامل روی شاخص پوشش هم موثر خواهد بود. در مناطق تشکیل خاک با پوشش غنی‌تر در مناطق کوارترنری پایداری بیشتری از لحاظ رشد وجود دارد و تنش فصل و آب بر این مناطق از لحاظ دامنه تغییرات کمتر اثر دارد، هرچند اوج و فرود بسته به تغییرات آب و هوایی است، ولی دامنه تغییرات عموماً به شاخص NDVI مربوط بوده و کیفیت خاک و کامل بودن آن سبب میگردد شیب تغییرات شاخص NDVI به کندی دچار نوسان گردد (Guillén et al., 2021). تغییرات منابع آبی بر بدنه خاک‌های دوره کوارترنری نشان میدهد عمده ترین منابع آبی و آبخوان‌ها با پهنه خاک‌های دوره کوارترنری همپوشانی ۶۰ درصدی دارند. لذا مدیریت و حراست از این پهنه‌ها در برنامه ریزی کلان اهمیت دارد. با توجه به نتایج فوق هرگونه تغییر ساختار خاک و ایجاد مراکز آلاینده خاک و آب در این حوضه‌ها اهمیت فوق العاده دارد. در چند نقطه مهم اکولوژی کشور بخصوص سواحل دریاچه ارومیه و استان خوزستان اثر نوع خاک بر پوشش و منابع آبی دارای حساسیت بالا بوده و مساحتی حدود ۶۵۰ هزار هکتار را در بر دارد. در شرق خزر و دشت گلستان ۲۲ هزار هکتار در تهدید وجود دارد و حساسیت بالای در تنش‌ها از خود نشان می‌دهد در نتیجه نیازمند مدیریت و کنترل است.

منابع

1. Adhami, M., and Sadeghi, S.H. (2016). Sub-watershed prioritization based on sediment yield using game theory. Journal of Hydrology, 541, 977–987. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.08.008
2. Alem, H., Esmaeilzadeh Soudejani, A., and Fallahi, M. (2021). Estimate the amount of ground water recharge in hard formations, case study: Mashhad, Iran. Applied Water Science, 11(1).
3. Atashgahi, Z., Ejtehadi, H., and Zare, H. (2009). Study of floristics, life form and chorology of plants in the east of Dodangeh forests, Mazandaran province, Iran. In Iranian Journal of Biology (Vol. 22, Issue 2, pp. 193–203).
4. Basayigit, L., and Senol, S. (2008). Comparison of soil maps with different scales and details belonging to the same area. Soil and Water Research, 3(1), 31–39.
5. Basupi, L.V., Quinn, C.H., and Dougill, A.J. (2019). Adaptation strategies to environmental and policy change in semi-arid pastoral landscapes: Evidence from Ngamiland, Botswana. Journal of Arid Environments, February 2018, 1–11.
6. Costantini, E., Geológicas, and D.D.-R.M. de C., (2004). Clay minerals and the development of Quaternary soils in central Italy. Redalyc.Org, 21(1), 144–159. Retrieved from
7. Eastman, J.R. (1983). Case Study | Environmental Modeling Analyzing Motion with Trend Surface Analysis Analyzing Motion with Trend Surface Analysis. 4–7.

8. Filyushkina, A., Strange, N., Löf, M., Ezebilo, E.E., and Boman, M. (2018). Applying the Delphi method to assess impacts of forest management on biodiversity and habitat preservation. Forest Ecology and Management, 409(July 2017), 179–189.
9. Fischer, E., Bock, M., and Gerold, G. (2008). Nturient in-and output fluxes of an agroforested sub-catchment of the hana at the border of Taï national park, Côte D'Ivoire. Contributions to Physical Geography and Landscape Ecology - Hamburg, 49–58.
10. Garrido-Sanz, D., Manzano, J., Martín, M., Redondo-Nieto, M., and Rivilla, R. (2018). Metagenomic analysis of a biphenyl-degrading soil bacterial consortium reveals the metabolic roles of specific populations. Frontiers in Microbiology, 9(FEB).
11. Guillén, M. T., Delgado, J., Gómez-Arias, A., Nieto-Liñán, J.M., and Castillo, J. (2021). Bioaccessibility and human exposure to metals in urban soils (Huelva, SW Spain): evaluation by in vitro gastric extraction. Environmental Geochemistry and Health.
12. Houghton, R.A. (2003). Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. Tellus B: Chemical and Physical Meteorology, 55(2), 378–390.
13. Jackson, J. L., Dezee, K., Douglas, K., and Shimeall, W. (2005). Introduction to structural equation modeling (path analysis). Precourse PA08. Society of General Internal Medicine (SGIM), Washington, DC Available from
14. Kallali, H., Anane, M., Jellali, S., and Tarhouni, J. (2007). GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites. 215(June 2006), 111–119.
15. Maheshwari, B., and Geotechnical, R. S.-I. J.(2012). Effects of soil nonlinearity and liquefaction on seismic response of pile groups. Taylor & Francis, 6(4), 497–506. doi: 10.3328/IJGE.2012.06.04.497-506
16. Naqi, N.M., Al-Jiboori, M.H., and Al-Madhhachi, A.-S. T. (2021). Statistical analysis of extreme weather events in the Diyala River basin, Iraq. Journal of Water and Climate Change, 00(0), 1–16.
17. Pavlickova, K., and Vyskupova, M. (2015). A method proposal for cumulative environmental impact assessment based on the landscape vulnerability evaluation. Environmental Impact Assessment Review, 50, 74–84.
18. Pere, D., Seekell, D. A., Carpenter, S.R., Pace, M.L., Hodgson, J.R., and Kitchell, J. F. (2014). Early warnings of regime shifts : evaluation of spatial indicators from a whole-ecosystem experiment. 5(August), 1–13.
19. Potter, N. J., Zhang, L., D Milly, P.C., McMahon, T.A., and Jakeman, A. J. (2005). Effects of rainfall seasonality and soil moisture capacity on mean annual water balance for Australian catchments. Wiley Online Library, 41(6), 6007.
20. Ricci, G.F., Romano, G., Leronni, V., and Gentile, F. (2019). Effect of check dams on riparian vegetation cover: A multiscale approach based on field measurements and satellite images for Leaf Area Index assessment. Science of the Total Environment, 657, 827–838.
21. Rolke, R., Magerl, W., Andrews Campbell, K., Schalber, C., Caspari, S., Birklein, F., and Treede, R.-D. (2005). New reconstruction of Krapina 5, a male Neandertal cranial vault from Krapina, Croatia. Wiley Online Library, 10(1), 77.
22. Saha, M.C., and Butler, T.J. (2016). Grassland. Encyclopedia of Applied Plant Sciences, 3, 180–185.
23. Semenov, M.A., and Stratonovitch, P. (2015). Adapting wheat ideotypes for climate change: Accounting for uncertainties in CMIP5 climate projections. Climate Research, 65, 123–139.
24. Shaw, E. (2004). Marketing in the social enterprise context: Is it entrepreneurial? Qualitative Market Research: An International Journal, 7(3), 194–205.
25. Smith, S. (2012). Throughfall , stemflow , and rainfall interception in a natural

pure forest of chestnut-leaved oak (Quercus castaneifolia C.A. Mey.) in the Caspian Forest of Iran. 55(2),

26. Srivastava, S.K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. International Journal of Management Reviews, 9(1), 53–80. Wan, H., Wang, X.L., and Swail, V.R. (2010). Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds. Journal of Climate, 23(5), 1209–1225.
27. Zhou, Y. G., Chen, J., Chen, Y. M., Kutter, B. L., Zheng, B. L., Wilson, D. W., Stringer, M. E., and Clukey, E.C. (2017). Centrifuge modeling and numerical analysis on seismic site response of deep offshore clay deposits. Engineering Geology, 227, 54–68.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی