

## ارزیابی اثرات تخریب پوشش گیاهی بر تغییرات رواناب و پتانسیل آلودگی آب در زیرحوضه‌های آبخیز استان آذربایجان شرقی

اردوان زرنردیان<sup>۱\*</sup> و مجید رضانی مهریان<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> استادیار گروه ارزیابی و مخاطرات محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم محیطی، پژوهشکده تحقیق و توسعه علوم انسانی (سمت)، تهران ایران.

\* ایمیل نویسنده مسئول: azarandian@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸

### چکیده:

پوشش گیاهی عاملی مهم مؤثر بر رواناب، کمیت و کیفیت آب در یک حوضه آبخیز است. این تحقیق به بررسی اثرات کاهش پوشش گیاهی در آبخیز شرق دریاچه ارومیه بر دو پارامتر رواناب و پتانسیل ایجاد آلودگی آب می‌پردازد. برای ارزیابی هم‌زمان سه پارامتر موردنظر از مدل WWPSS، استفاده شد. پوشش گیاهی نمایشگر کسری از انواع پوشش علفی، درختی و اراضی فاقد پوشش گیاهی است که از تصاویر ماهواره‌ای MODIS VCF اخذ گردید. رواناب به‌صورت بوجه آبی انباشت شده در پایین‌دست مورد محاسبه قرار گرفت. همچنین این مدل شاخصی را برای تعیین سطح بالقوه آلاینده‌گی آب تدارک می‌نماید. نتایج نشان داد که پوشش مرتعی به‌طور میانگین حدود ۳۲ درصد کاهش یافته است. همچنین میانگین تولید رواناب در شرایط موجود در ۴ زیرحوضه آبی، قله چای، مردوق چای و صوفی چای به ترتیب به مقدار ۲/۶، ۳/۱۶، ۲/۹ و ۳/۲۵ درصد اولیه در مقایسه با وضعیت قبل از کاهش پوشش گیاهی افزایش یافته است. بر اساس نتایج، اختلاف در پتانسیل آلودگی آب در نقاط مختلف حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه بین دو وضعیت پایه و موجود، در طیفی بین ۹- تا ۱۵ درصد و به‌طور میانگین معادل ۰/۶ درصد نوسان داشته است. این تغییر، موجب افزایش بار آلودگی در بعضی نقاط و کاهش آن در نقاط دیگر شده است؛ اما در مجموع به تغییرات افزایشی در پتانسیل آلودگی آب با میانگین حدود ۲/۵ درصد در کل آبخیز انجامیده است. روش مورد استفاده می‌تواند برای کمی‌سازی و نقشه‌سازی تغییرات آبی اکوسیستم و کاربست آن در ارزیابی و مدیریت محیط‌زیست مورد استفاده قرار گیرد.

**کلید واژه‌ها:** ارزیابی؛ پوشش گیاهی؛ رواناب؛ پتانسیل آلودگی آب؛ آبخیز

### مقدمه

است (Gaitan et al., 2014). این رویشگاه‌ها به‌ویژه در مدیریت اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای پوشش گیاهی ضعیفی هستند، نقش حیاتی دارند (چاهوکی و دیگران، ۱۳۹۵).

رویشگاه‌های پوشش گیاهی به لحاظ نقش زیستگاهی آن‌ها از یکسو و کارکردهای مختلف اکولوژیکی که در حفظ تعادل طبیعی یک منطقه دارند و نقش تنظیمی آن‌ها در رابطه بین آب، هوا و خاک، دارای اهمیت بسزایی

روند تغییرات رواناب زیرحوضه صوفی چای در شرق دریاچه ارومیه را با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS موردبررسی قراردادند. بر اساس مطالعه آن‌ها طی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۸۷، کاربری‌های مراتع درجه ۱ و ۲ و ۳ کاهش و پوشش زمینی بایر افزایش یافته است. همچنین بر اساس روش بارش شبیه‌سازی‌شده، ۱۰۰ میلی‌متر حجم رواناب حاصل از بارش افزوده شده است. بر این اساس با تداوم روند کاهش مراتع و افزایش اراضی بایر، پتانسیل سیل‌خیزی در محدوده مورد مطالعه آن‌ها افزایش قابل توجهی داشته است.

در مطالعات دیگری، در محدوده حوضه آبخیز دریاچه ارومیه که با محوریت اثرات تغییرات اقلیمی بر بارندگی صورت پذیرفته است، اگرچه ارزیابی‌های وضع موجود و پیش‌بینی‌های آینده، حکایت از کاهش میزان تولید رواناب‌های سطحی به دلیل تغییر در پارامترهای اقلیمی مانند افزایش دما و کاهش بارش دارند (ثانی خانی و دیگران، ۱۳۹۲؛ غریب دوست و دیگران، ۱۳۹۵؛ رضایی مقدم و دیگران، ۱۳۹۱)، اما این نکته که همین رواناب موجود در صورت تخریب پوشش گیاهی می‌تواند مخاطراتی چون سیلاب (محمودزاده و دیگران، ۱۳۹۶)، افزایش فرسایش خاک (Malian, et al., 2017) و کدورت منابع آب سطحی را به دنبال داشته باشد، نباید مغفول بماند.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثرات کاهش و تخریب پوشش گیاهی مرتعی در حوضه و زیرحوضه‌های آبخیز در محدوده شرقی دریاچه ارومیه بر دو پارامتر هیدرو- اکولوژیک تغییرات رواناب و پتانسیل ایجاد آلودگی آب با استفاده از یک رویکرد مدل‌سازی هیدرولوژیک است. در این تحقیق برای بررسی هم‌زمان تغییرات پوشش گیاهی، تولید رواناب و پتانسیل توزیع آلاینده‌های آب‌های سطحی از مدل سامانه پشتیبان سیاست‌گذاری آب جهانی (Water World Policy Support System) که از این به بعد به اختصار مدل

تغییر پوشش/کاربری زمین - به‌ویژه تغییر پوشش گیاهی - یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر جریان رواناب و ذخیره آب‌های زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. پوشش گیاهی دست‌نخورده همچنین ممکن است با فیلتر کردن رسوبات و کاهش ورودی‌های کشاورزی موجب تولید آب باکیفیت شوند. از این رو اتلاف پوشش گیاهی در یک منطقه، می‌تواند اثرات شگرفی بر هر دو مقوله کمیت و کیفیت آب به دنبال داشته باشد (Pissarra et al., 2019).

قسمت‌های شرقی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه واقع در استان آذربایجان شرقی، به‌ویژه با روند خشکیدن دریاچه منحصربه‌فرد ارومیه طی چند دهه اخیر، با مخاطرات جدی در زمینه از بین رفتن پوشش گیاهی اراضی اطراف دریاچه و پهنه آبخیزی آن مواجه شده است که به تدریج اثرات آن بر گونه‌های شاخص گیاهی منطقه در حال هویدا شدن است (هراتی و دیگران، ۱۳۹۹). به‌ویژه آنکه اثرات تجمعی مربوط به عواملی چون تغییرات کاربری و تغییرات اقلیمی به وخیم‌تر شدن وضعیت پوشش گیاهی منطقه انجامیده است (کمالی و یونس زاده جلیلی، ۱۳۹۴).

بر اساس مطالعات قبلی، حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۷، به لحاظ تغییرات پوشش/ کاربری زمین، تغییرات و انتقالات شدیدی را تجربه کرده است و مراتع آن بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه کرده‌اند که نشان از افزایش اراضی فاقد پوشش گیاهی است (امینی و دیگران، ۱۳۹۶؛ احمدی و دیگران، ۱۳۹۷؛ رستمی و دیگران، ۱۳۹۸). همچنین بر اساس مطالعه یاراحمدی و نیک جو در سال ۱۳۹۱، در محدوده موردنظر، بیشترین تغییرات در گروه کاربری‌های کلاس مرتع صورت پذیرفته به‌نحوی که طی بازه زمانی موردنظر عمده مراتع خوب از بین رفته و به سایر کاربری‌ها به‌ویژه اراضی دیم و باغات تبدیل شده است.

به‌منظور، بررسی اثر کاهش پوشش گیاهی بر مقدار تولید رواناب، رضایی مقدم و دیگران در سال ۱۳۹۴،

WWPSS نامیده می‌شود، استفاده شد (Mulligan, 2013). مطالعات مختلفی در سطح بین‌المللی انجام شده است که برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی و رابطه آن با پارامترهای هیدرولوژیک از جمله رواناب از این مدل استفاده نموده‌اند (Mulligan, 2016, Van Soesbergen, 2013, Zarandian et al., 2016). کاربرد این مدل توسط محققین در نقاط مختلف دنیا، علیرغم اینکه مدت زیادی از معرفی آن نگذشته است، به‌طور قابل توجهی در حال افزایش است. به‌عنوان مثال، وان سوس برگن و مولیگان (۲۰۱۴)، از مدل WWPSS برای سنجش اثرات تهدیدهای چندگانه جنگل‌زدایی، در جنگل‌های آمازون در کشور پرو از هر دو منظر اثر فرسایش بر کیفیت و کمیت آب استفاده نموده‌اند (van Soesbergen and Mulligan, 2014). همچنین موارد متعدد دیگری از کاربرد این مدل در نقاط مختلف وجود دارد که ارائه همه آن‌ها در این مقاله میسر نیست. با این حال چند مورد مهم از کاربردهای مدل توسط مجامع معتبر بین‌المللی عبارت‌اند از: ارزیابی اثرات اکتشاف معدن در بولیوی توسط بانک جهانی، ارزیابی خدمات آبی اکوسیستم در پارک ملی شیواپوری در کشور نپال توسط دانشگاه کمبریج، استفاده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (US EPA) جهت ارزیابی اثرات سوخت زیستی بر منابع آبی و ارزیابی اثرات تغییر کاربری زمین بر منابع آبی در ماداگاسکار (Mulligan, 2012, Mulligan, 2013).

با توجه به نیاز موجود برای نقشه‌سازی تغییرات مکانی کارکردهای آبی اکوسیستم‌های طبیعی با هدف تعیین دقیق‌تر اثرات محیط زیستی آن‌ها و ضرورت جایگزینی روش‌های کمی سنجش اثرات (Mazzei, et al., 2018) به‌جای روش‌های صرفاً توصیفی رایج، روش به‌کاررفته در این تحقیق و سایر روش‌های مشابه آن دارای اهمیت تأثیرگذاری در ارتقاء شیوه انجام فرایندهای ارزیابی محیط‌زیست خواهد بود.

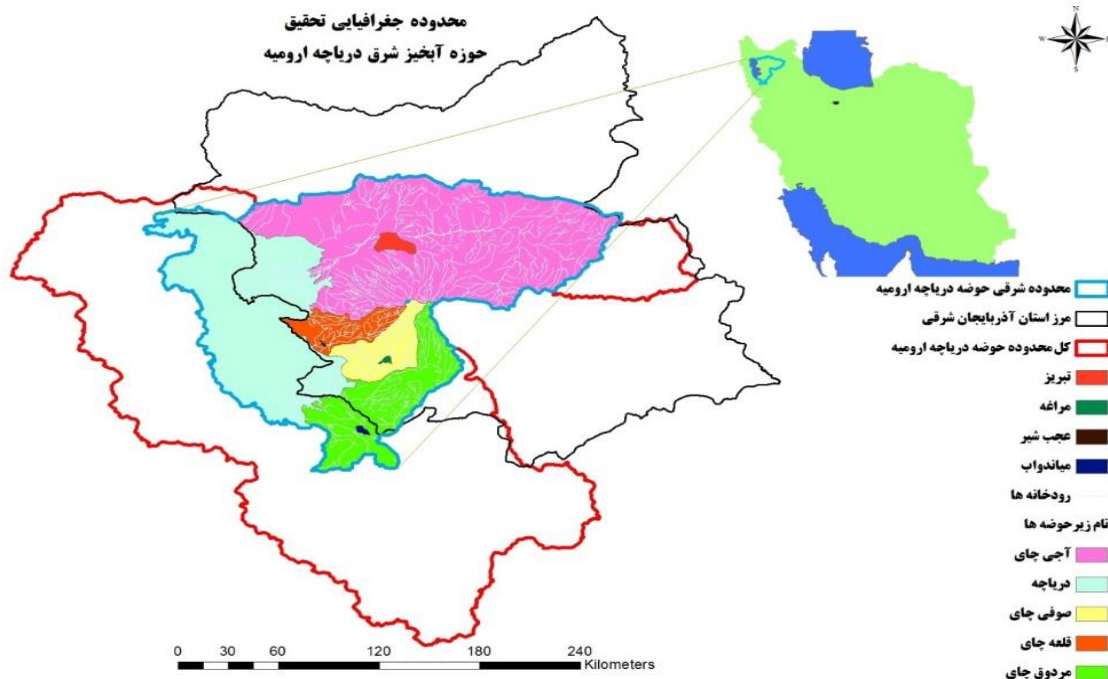
## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

چهار زیرحوضه آبخیز در محدوده شرقی دریاچه ارومیه واقع در استان آذربایجان شرقی، به‌عنوان محدوده جغرافیایی انجام مطالعات ارزیابی و تعیین اثرات اتلاف پوشش گیاهی بر تغییرات رواناب و پتانسیل آلودگی آب انتخاب شده است. این چهار زیرحوضه عبارت‌اند از: آجی چای، قلعه چای، صوفی چای و مردوق چای، به مساحت تقریبی ۲۳۱۶۰ کیلومترمربع که با هم می‌توان آن‌ها را به‌عنوان حوضه بزرگ‌تر آبخیز شرق دریاچه ارومیه در نظر گرفت. دلیل بررسی متمایز در این چهار زیرحوضه وجود تفاوت‌های ساختاری در پوشش/ کاربری زمین و مقدار پوشش گیاهی مرتعی و تفاوت در سایر پارامترهای فیزیکی مانند توپوگرافی، شیب، نوع خاک، شکل زمین در آن‌هاست که بر این اساس انتظار می‌رود، تفاوت‌های بارزی در ظرفیت تولید و جاری بودن رواناب و پتانسیل توزیع آلودگی آب در هر یک از این زیر حوضه‌ها با همدیگر وجود داشته باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه و زیرحوضه‌های شرقی را در ایران، استان آذربایجان شرقی و همچنین در محدوده حوضه کلان دریاچه ارومیه نشان می‌دهد.

### روش تحقیق

مدل WW PSS، یکی از انواع مدل‌های نظام جهانی دینامیک است که در مقیاس‌های فضایی مختلف از جهانی تا منطقه‌ای و همچنین تا سطوح آبخیز تا لندسکیپ قابل استفاده است. این سامانه با تجهیز کاربران به امکان ارزیابی اثرات طیفی از سناریوهای طبیعی و انسانی بر روی شرایط پایه هیدرولوژیک یک منطقه، می‌تواند کمک زیادی به رفع چالش پیچیدگی انجام چنین ارزیابی‌هایی بنماید. به‌علاوه، این سامانه، اطلاعات علمی و تحلیل سناریویی را برای کاربرانی که دارای ظرفیت‌های فنی لازم



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران و چهار زیرحوضه مورد مطالعه آن

است که از تصاویر ماهواره‌ای MODIS VCF (Zarandian et al., 2016) اخذ می‌گردد. در این تصاویر ماهواره‌ای، هر سلول از شبکه رستری به سه نوع پوشش درختی، گیاهی (پوشش غیرچوبی) و فاقد پوشش گیاهی (اراضی لخت و بایر) متمایز می‌گردد (Carroll et al., 2010).

این مدل قادر است برای هرکجای جهان، با استفاده از بیش از ۱۴۰ داده‌ی نقشه شده و بر مبنای ویژگی‌های فضایی، یک شرایط پایه یا وضعیت مرجع هیدرولوژیکی مربوط به دوره زمانی سال‌های ۱۹۵۰-۲۰۰۰ را تعریف نماید. نقشه‌های پوشش گیاهی علفی، پوشش گیاهی درختی و پوشش اراضی بایر سه تا از داده‌های کلیدی پایه هستند که با اجرای اولیه مدل و در فرایند آماده‌سازی داده‌ها، با اتصال به پایگاه داده‌های جهانی ماهواره مودیس تهیه می‌شوند. پس از تهیه نقشه‌های پایه پوشش گیاهی برای سال پایه ۲۰۰۰، می‌توان با استفاده از ابزار سناریو ساز این مدل، با اعمال تغییرات لازم نقشه وضعیت جاری (موجود) پوشش گیاهی را نیز با کاربست نرخ تغییرات پوشش بر اساس اطلاعات موجود تولید نمود.

برای انجام محاسبات هیدرولوژیک نیستند و از جمله مدیران و ارزیابان محیط زیستی فراهم می‌نماید. (<http://www.policysupport.org/waterworld>).

معادلات اصلی مربوط به برآورد و محاسبه رواناب توسط این مدل در قسمت‌های بعدی روش‌های معرفی شده تشریح شده است.

**روش ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان (تعیین روند افزایش، کاهش یا اتلاف پوشش گیاهی)**

پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از مدل PSS WW، بدین صورت است که پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از پارامترهای کلیدی در سنجش شرایط هیدرولوژیک و همچنین سناریوسازی تغییرات پوشش/ کاربری زمین، در این مدل لحاظ گردیده است. پوشش زمین در این مدل نمایش‌دهنده کسری از انواع پوشش درختی، علفی و اراضی بایر (لخت بدون پوشش گیاهی) در موزائیک‌هایی با دو قدرت تفکیک متفاوت ۱ کیلومتر مربع برای ارزیابی‌های وسیع مقیاس (مثلاً قاره‌ای) و ۱ هکتاری برای ارزیابی‌های محلی (مثلاً آبخیز)، بسته به انتخاب کاربر

که در آن:  $AET(x)$  تبخیر تعرق واقعی سالانه برای پیکسل  $x$  و  $P(x)$  بارش سالانه در پیکسل  $x$  است. برای محدوده‌هایی که دارای پوشش گیاهی هستند، سهم تبخیر و تعرق در بودجه آبی،  $\frac{AET(x)}{P(x)}$ ، بر مبنای منحنی بودیکو (Zhang, et al., 2017) در نظر گرفته می‌شود:

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[ 1 + \left( \frac{PET(x)}{P(x)} \right)^\omega \right]^{1/\omega} \quad (2)$$

که در آن:  $PET(x)$  پتانسیل تبخیر و تعرق و  $\omega(x)$  یک پارامتر غیر فیزیکی است که به ویژگی‌های اقلیمی - خاک مربوط می‌شود. جزئیات این موارد عبارت‌اند از:  $T(x)$  پتانسیل تبخیر و تعرق به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$PET(x) = K_c(\ell_x) \cdot ET_0(x) \quad (3)$$

که در آن:  $ET_0(x)$  تبخیر و تعرق مرجع در پیکسل  $x$  و  $K_c(\ell_x)$  ضریب تبخیر و تعرق گیاه (پوشش) در ارتباط با پوشش/ کاربری  $\ell_x$  در پیکسل  $x$  است.  $ET_0(x)$  بازتاب‌دهنده شرایط محلی اقلیمی بر مبنای تبخیر و تعرق از پوشش گیاهی رشد یافته در محل است.  $K_c(\ell_x)$  تا حد زیادی به واسطه ویژگی‌های پوشش گیاهی در پوشش/ کاربری موجود در یک پیکسل تعیین می‌شود.

$K_c$  مقدار ارزشی  $ET_0(x)$  را برای محصول زراعی یا نوع پوشش گیاهی در هر پیکسل از نقشه کاربری/ پوشش تعدیل یا اصلاح می‌نماید. تشریح بیشتر جزئیات معادلات و فرایندهای مربوط به این مدل به دلیل حجم بالایی از محاسبات مربوط به انواع گوناگونی از متغیرهای اقلیمی، فیزیکی و اکولوژیکی، در دستور کار این مقاله نیست. برای دسترسی به جزئیات بیشتر در مورد چگونگی محاسبات، می‌توان به مقالات مولیگان و بورک (Mulligan, 2013) ارجاع داد. همچنین لازم به ذکر است که آزمایش این مدل و اعتبار سنجی آن در منابع (Bruijnzeel et al., 2011, Van Soesbergen, 2013) تشریح شده است.

در این تحقیق، برای تولید نقشه پایه پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه، از داده‌های رستری ۹ موزاییک ۱ درجه‌ای (۱۰۰ کیلومتری) با قدرت تفکیک ۱ هکتار مدل برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای MODIS VCF استفاده شد. با توجه به اینکه نقشه پایه مربوط به مقطع زمانی گذشته حوضه آبخیز و قبل از کاهش یا تخریب پوشش گیاهی در دو دهه اخیر است، داده‌های مدل همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد مربوط به دوره زمانی سال‌های ۱۹۵۰-۲۰۰۰ میلادی بوده است. سپس با طی گام‌های آماده‌سازی داده‌ها که گام اولیه در فرایند اجرای مدل محسوب می‌شود و انتقال خروجی آن به نرم‌افزار Arc GIS 10.3 و با انجام پردازش‌های لازم، نقشه پایه موردنظر تولید شد. سپس برای تعیین تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی در بازه زمانی دو دهه اخیر از قابلیت ابزار سناریو ساز مدل به نام Policy Exercise استفاده گردید. بدین مفهوم که نرخ کاهش مساحت اراضی تحت پوشش گیاهی و مرتعی از مطالعات قبلی تغییرات پوشش/ کاربری زمین که بر اساس تحلیل تصاویر ماهواره‌ای تعیین شده بود، به عنوان نرخ اتلاف پوشش گیاهی وارد ابزار سناریو ساز نرم‌افزار شد تا بر این اساس نقشه جاری پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه با انجام تغییرات لازم در نقشه پایه پوشش گیاهی تولید گردد. در این تحقیق، برای تعیین نرخ اتلاف پوشش گیاهی از نتایج مطالعات دانشگاه صنعتی شریف در چارچوب طرح احیای دریاچه ارومیه (کمالی و یونس زاده جلیلی، ۱۳۹۴) استفاده و بر همین اساس نرخ اتلاف پوشش گیاهی مرتعی در بازه زمانی ۲۰ سال اخیر در محدوده‌های شرقی دریاچه ارومیه ۴۰ درصد در نظر گرفته شد.

روش برآورد میزان تولید رواناب و تغییرات آن در طول زمان (قبل و بعد از اتلاف پوشش گیاهی)

در این مدل ابتدا محصول سالانه آب  $Y(x)$  برای هر پیکسل در لندسکیپ  $x$ ، از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$Y(x) = \left( 1 - \frac{AET(x)}{P(x)} \right) \cdot P(x) \quad (1)$$

در ارتباط با جاهایی دارد که بارش نزول می‌نماید. در مجموع رویکرد علمی این مدل برای تعیین پتانسیل آلودگی و تغییر کیفیت آب، بر مبنای محاسبه شاخص میانگین ردپای انسانی است و بر اساس آن درصد آبی که ممکن است به واسطه ورود آلاینده‌های آبی آلوده گردد محاسبه می‌شود.

### نتایج و بحث

#### تحلیل تغییرات پوشش گیاهی طی بازه زمانی پایه (۲۰۰۰) تا جاری (۲۰۲۰)

شکل ۲ مقدار پوشش گیاهی علفی - مرتعی محدوده شرقی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را در دو وضعیت پایه و گذشته (الف) و موجود و حال (ب) نشان می‌دهد. برای تعیین میزان تغییرات پوشش گیاهی از گذشته تا حال، کافی است ارزش عددی هر یک از سلول‌های رستری در نقشه‌های وضعیت پایه و جاری که نمایانگر درصد توزیع فضایی پوشش گیاهی علفی (غیردرختی) در هر سلول است، مورد مقایسه قرار گیرد. به عبارت دیگر محاسبه تفاوت بین نقشه پایه و جاری (نقشه پایه منهای نقشه جاری) در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 و تغییرات عددی رخ داده در هر یک از دو نقشه مذکور، می‌تواند تعیین‌کننده مقدار تغییرات رخ داده باشد.

بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل، بیشینه درصد پوشش علفی از ۱۰۰ به ۹۰ درصد کاهش یافته است. بازه تغییرات در شکل ۲ (الف و ب) قابل مشاهده است. بر این اساس میانگین پوشش علفی مرتعی کل حوضه آبخیز از وضعیت پایه تا موجود دارای کاهش نسبتاً چشمگیری بوده است و از ۷۸/۳۶ درصد در شرایط پایه به حدود ۴۷ درصد در شرایط موجود کاهش یافته است؛ بنابراین طی بازه زمانی موردنظر، روند تخریبی پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه به‌طور میانگین حدود ۳۲ درصد بوده است. به‌عنوان پیامد چنین تغییری پوشش بایر در محدوده مورد مطالعه افزایش یافته است. با توجه به تغییرات ناشی از کاهش منابع آبی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه و اثرات

به‌طور خلاصه، در این مدل رواناب به‌صورت بودجه آبی انباشت شده در پایین‌دست مورد محاسبه قرار می‌گیرد. بودجه آبی منفی (بارش > تبخیر تعرق واقعی) در یک سلول به مفهوم مصرف رواناب در بالادست است. در این تحقیق برای برآورد رواناب در شرایط پایه قبل از اتلاف پوشش گیاهی یک بار مدل WWPSS با استفاده از نقشه پایه پوشش گیاهی اجرا شد. سپس برای بار دوم مدل بر اساس نقشه وضع موجود پوشش گیاهی پس از کاهش/ اتلاف آن اجرا گردید. سپس نتایج حاصل از خروجی‌های حاصل از دو مرحله اجرای مدل باهم مقایسه شد تا میزان تغییرات در تولید رواناب مشخص گردد.

#### روش تعیین پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی

مدل WWPSS، همچنین قادر است از طریق مدل‌سازی کمیت آب (تعادل آبی انباشت شده در پایین‌دست به‌عنوان رواناب)، شاخصی را برای تعیین سطح بالقوه آلاینده‌گی آب در اثر اقدامات انسانی، تحت عنوان نمایه ردپای انسانی بر روی کیفیت آب (Water Quality Human Footprint)، تدارک نماید. تعادل آبی در واقع مقدار آبی است که به‌عنوان منبع در سطح زمین در دسترس است (Armstrong, et al., 2017). نمایه مذکور همچنین نشان می‌دهد، با توجه به اثرات اقدامات انسانی در تغییر پوشش طبیعی زمین تا چه حد ممکن است آب در پایین‌دست تحت تأثیر محرکه آلودگی ناشی از بالادست قرار گیرد. این شاخص فرض می‌نماید که بارش باران بر زمین تحت تصرف پوشش انسان‌ساخت، می‌تواند به تشکیل منابع آلاینده نقطه‌ای (معادن، چاه‌های نفت، جاده و شهر) و غیر نقطه‌ای (نواحی زراعی و چراگاهی) و تولید هرزاب‌های آلوده بیانجامد. از این‌رو شاخص ردپای انسانی بر کیفیت آب در یک نقطه، عبارت است از سهم آبی که به‌صورت بارش در آن نقطه بر پوشش‌های انسان‌ساخت می‌بارد و بنابراین شاخصی از سطح بالقوه آلودگی آب محسوب می‌گردد (Jia et al., 2010)؛ بنابراین اثرات بر کیفیت آب بستگی به اندازه و توزیع کاربری‌های انسانی در بالادست

مستقیم آن بر پوشش گیاهی، بروز این تغییرات، به مفهوم تبدیل تدریجی اراضی مرتعی به بایر در محدوده مورد مطالعه قابل تفسیر است. این نتیجه با نتایج تحقیق یاراحمدی و نیک جو در سال ۱۳۹۱ که روند بیشترین تغییرات کاهشی در پوشش مراتع فقیر تا متوسط را در حوضه آبخیز ارومیه ۲۵-۷ درصد برآورد کرده بودند، مطابقت دارد. بر این اساس برآورد نرخ میانگین کاهشی ۳۲ درصد پوشش‌های علفی- مرتعی در این تحقیق را می‌توان به‌عنوان تداوم روند کاهش و تخریب مراتع در طی دهه اخیر در نظر گرفت.

#### تولید رواناب در شرایط پایه در زیر حوضه‌های مورد مطالعه

جدول ۱، کمینه، بیشینه و میانگین تولید رواناب در هر یک از زیر حوضه‌های چهارگانه قلعه چای، آجی چای، صوفی چای و مردوق چای در حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه را در شرایط پایه مورد مقایسه می‌دهد. بر اساس اطلاعات حاصله از محاسبات مدل، در شرایط پایه حوضه آبخیز، کمترین تولید رواناب در زیرحوضه قلعه چای با میانگین  $20/239516$  و بیشترین تولید آن در زیرحوضه مردوق چای با میانگین  $59/1245909$  مترمکعب در سال برقرار است.

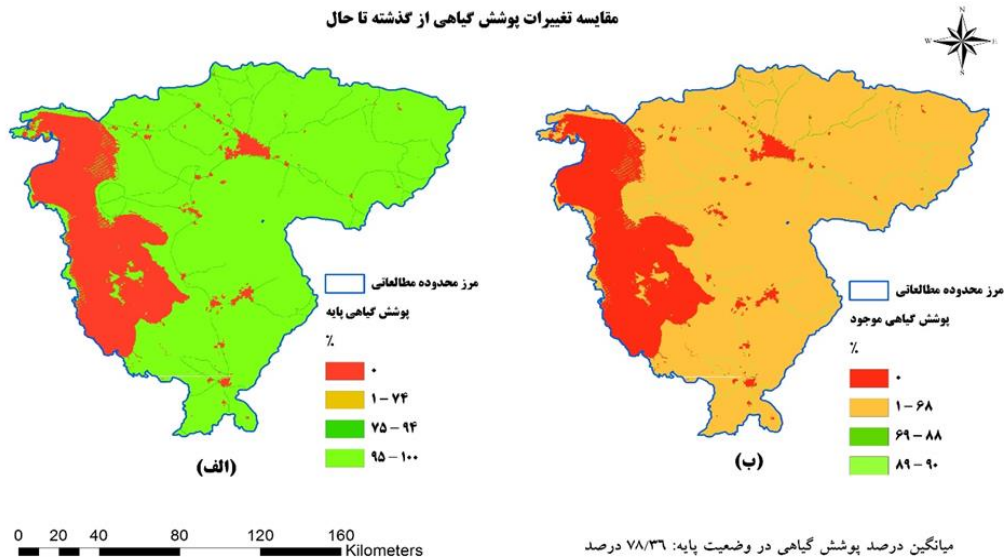
#### برآورد تغییرات تولید رواناب در زیر حوضه‌های مورد مطالعه در شرایط موجود و پس از اتلاف پوشش گیاهی

تغییرات کمیت میانگین تولید رواناب از وضعیت پایه تا موجود (قبل و بعد از اتلاف پوشش گیاهی) در زیر حوضه‌های آجی چای، قلعه چای، مردوق چای و صوفی چای در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین شکل‌های ۳ و ۴، وضعیت تغییرات در تولید رواناب را برحسب مترمکعب/سال و درصد تغییرات به ترتیب در زیر حوضه‌های قلعه چای و صوفی چای که بیشترین مقدار افزایش رواناب را داشته‌اند، نشان می‌دهد.

بر اساس محاسبات حاصل از اجرای مدل، میانگین تولید رواناب در شرایط موجود و پس از اتلاف پوشش گیاهی در زیر حوضه‌های آجی چای، قلعه چای، مردوق چای و صوفی چای به ترتیب به مقدار  $2/6$ ،  $3/16$ ،  $2/9$  و  $3/25$  درصد اولیه یعنی در مقایسه با وضعیت پایه و قبل از اتلاف پوشش گیاهی در محدوده‌های شرقی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه افزایش یافته است. با نگاهی به شکل‌های ۳ و ۴ مشخص می‌شود که سطوح بیشینه تولید رواناب سطحی با تفاوتی نسبتاً چشمگیر با سطوح میانگین آن، به ترتیب در زیرحوضه‌های قلعه چای و صوفی چای ۸ تا ۱۲ درصد است که با توجه به پوشش مرتعی ضعیف‌تر این دو زیرحوضه نسبت به کل حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه و کاهش ۱۹ تا ۲۸ درصدی پوشش گیاهی آن‌ها نسبت به وضعیت پایه می‌تواند به لحاظ ایجاد مخاطرات ناشی از افزایش رواناب پیامدهای سنگین‌تری به همراه داشته باشد.

بر این اساس در کل محدوده حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه، میانگین رواناب تولیدشده از  $33/833998$  مترمکعب در سال در وضعیت پایه به  $29/853655$  در وضعیت موجود و به‌طور میانگین  $19657$  مترمکعب در سال افزایش یافته است که چنین امری به مفهوم افزایش  $2/3$  درصدی بار رواناب، افزایش پتانسیل مخاطرات بروز سیل، افزایش رسوبات ناشی از فرسایش آبی در شیب تپه‌ها و کانال‌های آبی، افزایش فرسایش خالص خاک، افزایش کدورت آب و کاهش کیفیت آب در آب‌های سطحی در پهنه حوضه آبخیز است. روند افزایشی رواناب به دلیل کاهش پوشش گیاهی منطقه و به‌تبع آن کاهش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، با نتایج تحقیق رضایی مقدم و همکاران که افزایش  $1/5$  درصدی حجم رواناب تولیدی در حوضه آبریز سد علویان در استان آذربایجان شرقی و محدوده‌ای نزدیک به لحاظ جغرافیایی به محدوده این تحقیق را برآورد نمودند، انطباق دارد.

مقایسه تغییرات پوشش گیاهی از گذشته تا حال



میانگین درصد پوشش گیاهی در وضعیت پایه: ۷۸/۳۶ درصد  
 میانگین درصد پوشش گیاهی در وضعیت موجود: ۴۶/۹۳ درصد  
 میانگین اختلاف از وضعیت پایه تا موجود: ۳۱/۴۳- درصد

شکل ۲. وضعیت پایه پوشش گیاهی (الف)، وضعیت موجود پوشش گیاهی (ب)

جدول ۱. تغییرات در میانگین تولید رواناب در زیرحوضه‌های آبخیز

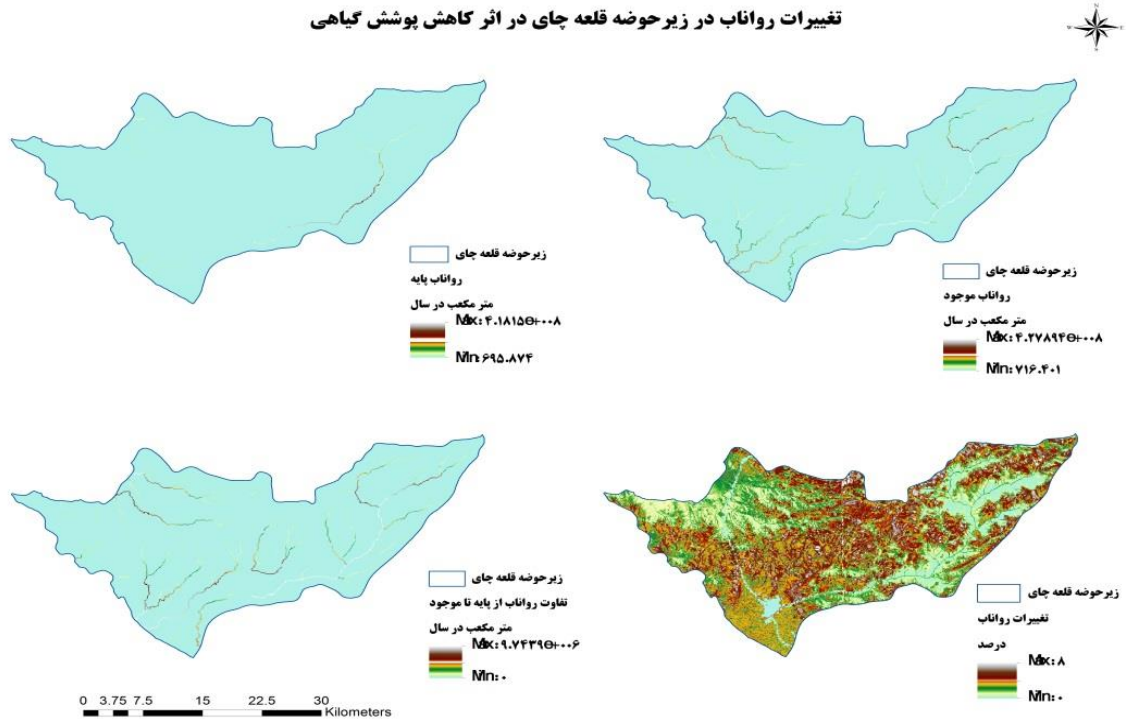
نام زیر حوضه آبخیز	وضعیت پایه		وضعیت موجود		تغییرات تراکم پوشش گیاهی		تغییرات تولید رواناب (کمینه، بیشینه و میانگین)		میانگین تغییرات درصد	
	وضعیت پایه (درصد)	وضعیت موجود (درصد)	وضعیت پایه (هزار مترمکعب/سال)	وضعیت موجود (هزار مترمکعب/سال)	بیشینه	کمینه	تفاوت در میانگین رواناب (هزار مترمکعب/سال)	میانگین		
آجی چای	۰	۹۰	۱۰۰	۵۴,۰	۵۹۰۵۸۱,۵	۶۶۴۹۸,۱	۱,۸	۶۰۵۰۱,۳	۶۸۱۴۵,۳	۲,۶۰
قلعه چای	۰	۹۰	۱۰۰	۴۶,۱	۴۱۸۱۵۰,۴	۲۳۹۵۱,۶	۷۱,۶	۴۲۷۸۹۴,۴	۲۴۵۵۸,۹	۳,۱۶
مردوق چای	۰	۹۰	۱۰۰	۵۴,۳	۱۸۴۲۴۷۴,۸	۱۲۴۵۹۰,۹	۱۰,۳	۱۸۷۹۸۸۲,۴	۱۲۷۵۰۵,۱	۲,۹۰
صوفی چای	۰	۹۰	۱۰۰	۵۷,۴	۱۹۸۶۱۴,۴	۵۵۰۰۲,۷	۶,۴	۲۰۴۶۰۹,۵	۵۶۶۳۷,۴	۳,۲۵

رهاسازی یکباره آب در طبیعت به‌جای نگه‌داشت و رهاسازی تدریجی آن طی فصول مختلف سال، موجب افزایش رژیم‌های سیلابی گردیده است که به دنبال آن انتظار می‌رود با افزایش فرسایش خاک و ورود بار رسوبات ناشی از خاک تخریب‌شده، کاهش کیفیت آب نیز اتفاق افتاده باشد. تغییرات کیفی آب در قسمت بعدی بر اساس نتایج اجرای مدل در ارتباط با پتانسیل توزیع آلودگی آب‌های سطحی موردبررسی قرار گرفته است.

بنابراین با توجه به اینکه، اتلاف پوشش گیاهی در یک منطقه، می‌تواند اثرات شگرفی بر هر دو مقوله کمیت و کیفیت آب به دنبال داشته باشد. به لحاظ تغییرات کمیتی اتلاف پوشش گیاهی در حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه، بر وضعیت بودجه آبی و تولید رواناب طی دهه گذشته تأثیرگذار بوده است. عمده این تأثیرات نیز به دلیل کاهش میزان تبخیر و تعرق گیاهی (محمودی و دیگران، ۱۳۹۵) که دارای نقش تنظیم‌کنندگی برای تعادل هیدرولوژیک و بودجه آبی منطقه است رخ داده و با

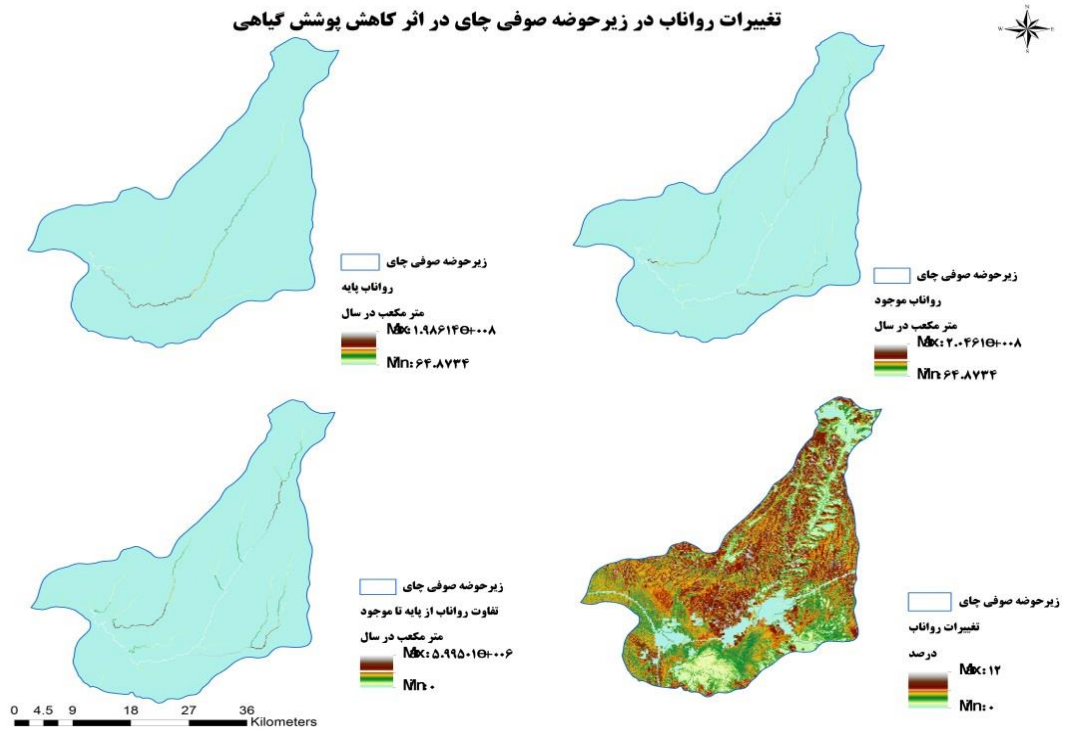


تغییرات رواناب در زیرحوضه قلعه چای در اثر کاهش پوشش گیاهی



شکل ۳. تغییرات تولید رواناب در زیرحوضه قلعه چای برحسب مترمکعب/ سال و درصد در شرایط موجود

تغییرات رواناب در زیرحوضه صوفی چای در اثر کاهش پوشش گیاهی



شکل ۴. تغییرات تولید رواناب در زیرحوضه آبخیز صوفی چای برحسب مترمکعب/ سال و درصد در شرایط موجود

### برآورد تغییرات در پتانسیل توزیع آلودگی آب‌های سطحی در زیر حوضه‌های مورد مطالعه در شرایط موجود و پس از کاهش پوشش گیاهی

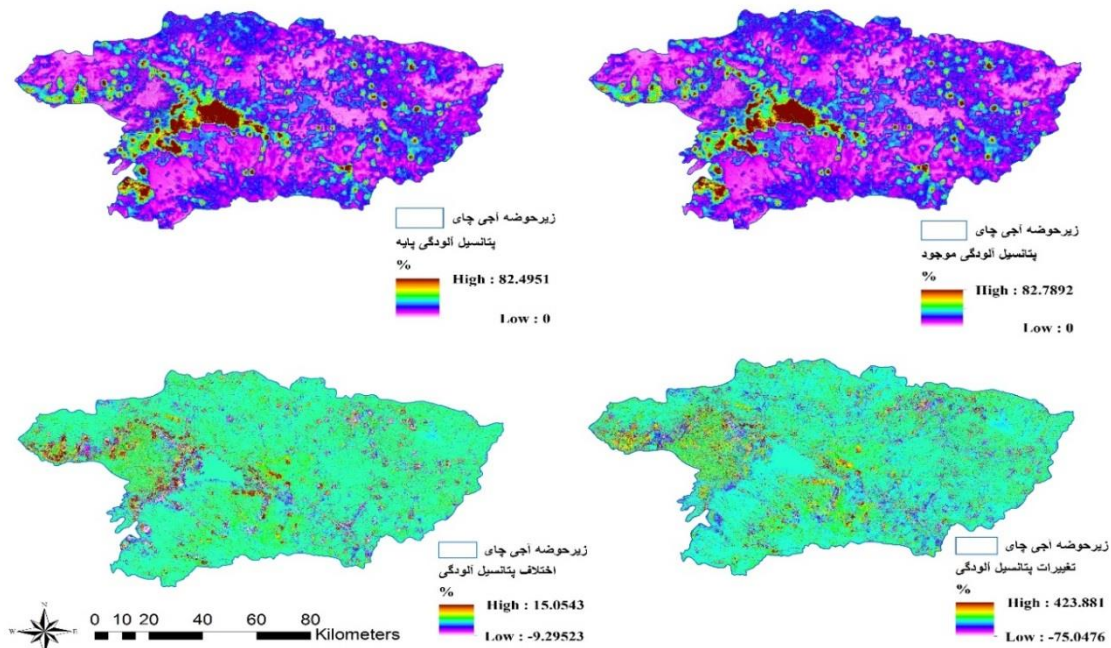
بر اساس خروجی‌های مدل، اختلاف پتانسیل آلودگی آب در محدوده آبخیز شرق دریاچه ارومیه بین دو وضعیت پایه و موجود، در طیفی بین ۱۵ تا ۹- درصد و به‌طور میانگین معادل ۰/۶ درصد افزایش پیدا نموده است. چنانچه قبلاً توضیح داده شد، پتانسیل آلودگی در مدل بر اساس اثرات تغییرات پوشش طبیعی زمین بر کمیت و چگونگی شکل‌گیری جریان رواناب و عبور آن از سطوح آلاینده نقطه‌ای (مثلاً نواحی مسکونی) و غیر نقطه‌ای (مثلاً نواحی زراعی) تعیین می‌شود؛ بنابراین کیفیت آب در جاهای مختلف آبخیز بسته به اندازه و نوع تغییرات پوشش / کاربری زمین در گذر زمان تغییر می‌یابد که مدل درصد این تغییرات را به‌عنوان شاخص ردپای انسانی با اعداد منفی و مثبت نشان می‌دهد. از این‌رو منفی شدن شاخص مذکور به مفهوم بهبود کیفیت و مثبت شدن آن به مفهوم کاهش کیفیت آب‌های سطحی است. در محدوده مورد مطالعه این تحقیق، مقدار میانگین کم آلودگی بدین معناست که نواحی با پتانسیل آلودگی زیاد و کم در مقیاس کل حوضه آبخیز همدیگر را خنثی می‌کنند. باین‌حال، بر اساس خروجی‌های مدل، اختلاف پتانسیل آلودگی آب در محدوده مورد مطالعه بین دو وضعیت پایه و موجود، در طیفی بین ۱۵ تا ۹- درصد است و این مقدار اختلاف، به تغییراتی در پتانسیل آلودگی با میانگین حدود ۲/۵ درصد در کل پهنه مورد مطالعه انجامیده است.

البته با توجه به کاربرد انواع کودها و سموم شیمیایی در اراضی با کاربری زراعی و نیز سایر آلاینده‌های شیمیایی و خطرناک احتمالی در کاربری‌های صنعتی، حتی همین مقدار افزایش نیز باید مورد توجه قرار گیرد و به مفهوم

روند افزایشی میزان آلودگی تفسیر گردد چراکه بسیاری از آلاینده‌ها حتی در اندازه‌های خیلی ناچیز نیز دارای پتانسیل مسمومیت و آسیب‌زایی هستند. باین‌حال، این مقدار می‌بایست به دلیل وسیع بودن محدوده آبخیز در مقیاس زیر حوضه‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد که در شکل‌های شماره ۵ تا ۸ نشان داده شده است.

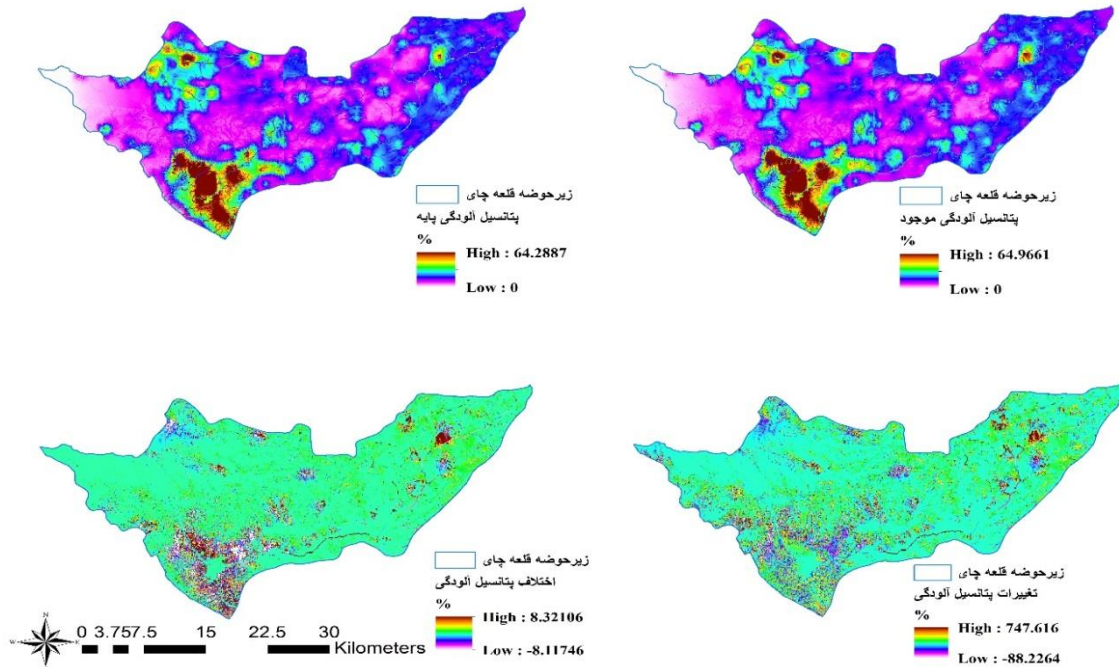
بر اساس اطلاعات حاصل از مدل، میانگین تغییرات در پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی در زیر حوضه‌های آجی چای، قلعه چای، مردوق چای و صوفی چای به ترتیب معادل ۳/۰۵، ۲/۳۷، ۱/۵۶ و ۱/۶۴ درصد برآورد شده است که بر این اساس پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی در زیرحوضه آجی چای از تغییرات بیشتری نسبت به سه زیرحوضه دیگر برخوردار خواهد بود. در مجموع با توجه به محاسبات انجام‌شده می‌توان چنین تفسیر نمود که کاهش پوشش گیاهی بر اساس خروجی‌های حاصل از مدل، تأثیر چندانی بر پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی ندارد، باین‌حال تغییرات بیشتر در حوضه آجی چای می‌تواند علاوه بر پوشش مرتعی محدود به دلایل دیگری از جمله وجود حداکثر بار جمعیت شهری و تراکم شدید نواحی صنعتی در این محدوده باشد. در این زمینه لازم به ذکر است که ۲۱ شهر از مجموع ۲۶ شهر حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه و از جمله تبریز به‌عنوان مرکز استان در زیرحوضه آجی چای واقع شده‌اند. همچنین ۱۶ شهرک از ۲۵ شهرک صنعتی کل حوضه، در این زیرحوضه استقرار یافته‌اند که این دو عامل انسانی می‌توانند پتانسیل ایجاد آلودگی آب را نسبت به زیر حوضه‌های مجاور تا حد زیادی افزایش دهند.

**تغییرات پتانسیل آلودگی آب در زیرحوضه آجی چای در اثر کاهش پوشش گیاهی**



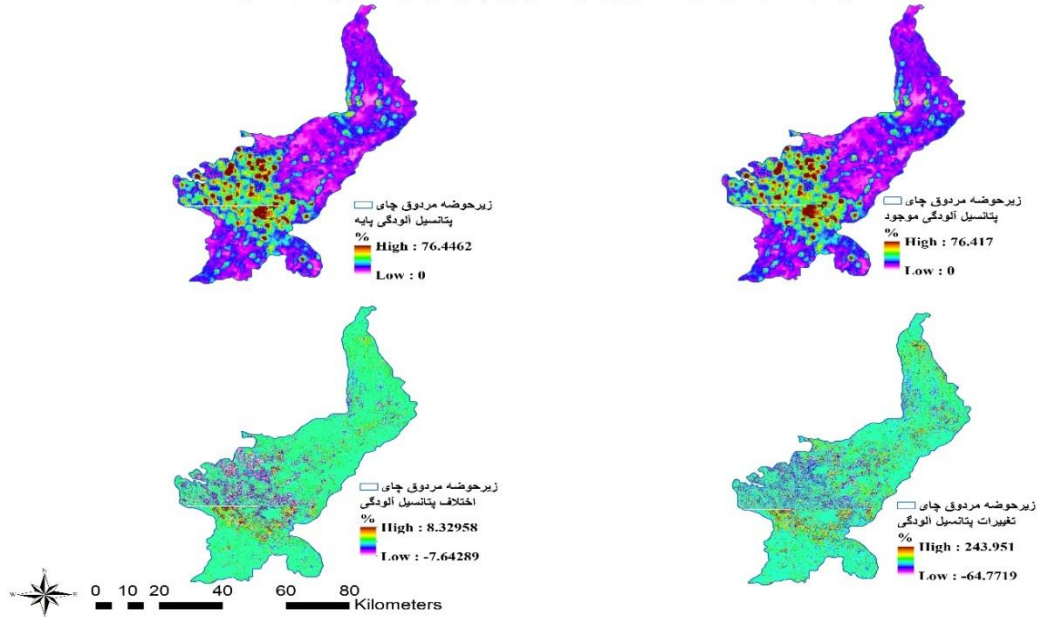
شکل ۵. مقایسه پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی در زیرحوضه آجی چای در شرایط پایه و موجود

**تغییرات پتانسیل آلودگی آب در زیر حوضه قلعه چای در اثر کاهش پوشش گیاهی**



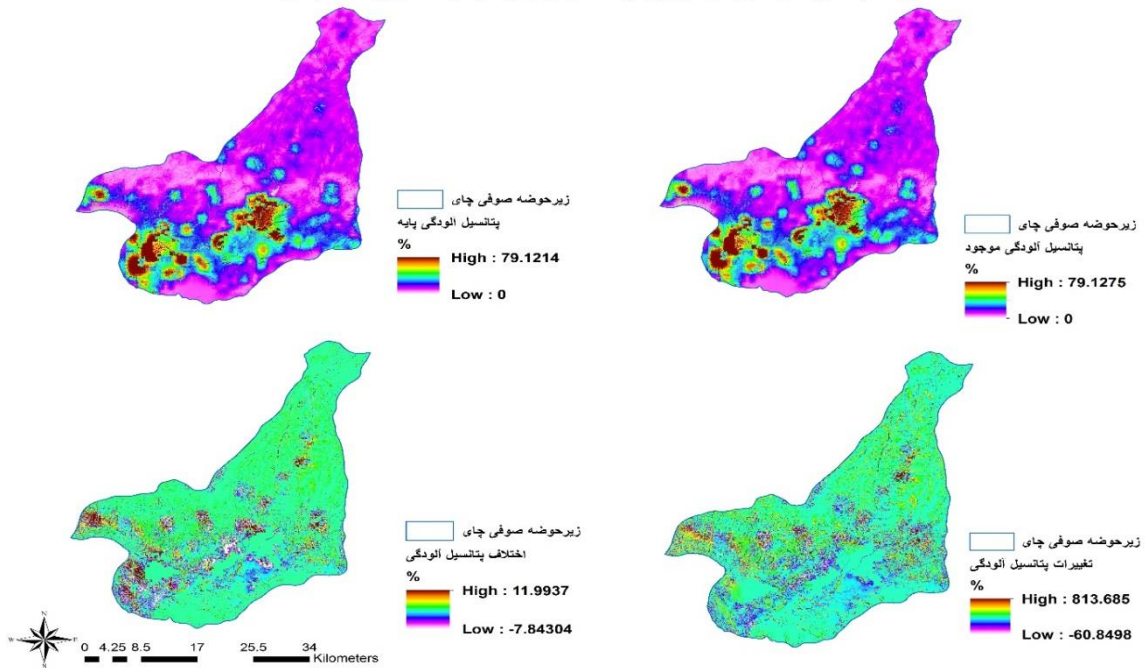
شکل ۶. مقایسه پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی در زیرحوضه قلعه چای در شرایط پایه و موجود

تغييرات پتانسيل آلودگي آب در زيرحوضه مردوق چاي در اثر کاهش پوشش گياهي



شکل ۷. مقایسه پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی در زیرحوضه مردوق چای در شرایط پایه و موجود

تغييرات پتانسيل آلودگي آب در زيرحوضه صوفي چاي در اثر کاهش پوشش گياهي



شکل ۸. مقایسه پتانسیل آلودگی آب‌های سطحی در زیرحوضه صوفی چای در شرایط پایه و موجود

موردمطالعه و همچنین پیشگیری از افزایش بیشتر بار آلودگی موجود مفید خواهد بود. طبقه‌بندی محدوده حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه به لحاظ بار آلودگی آب‌های سطحی

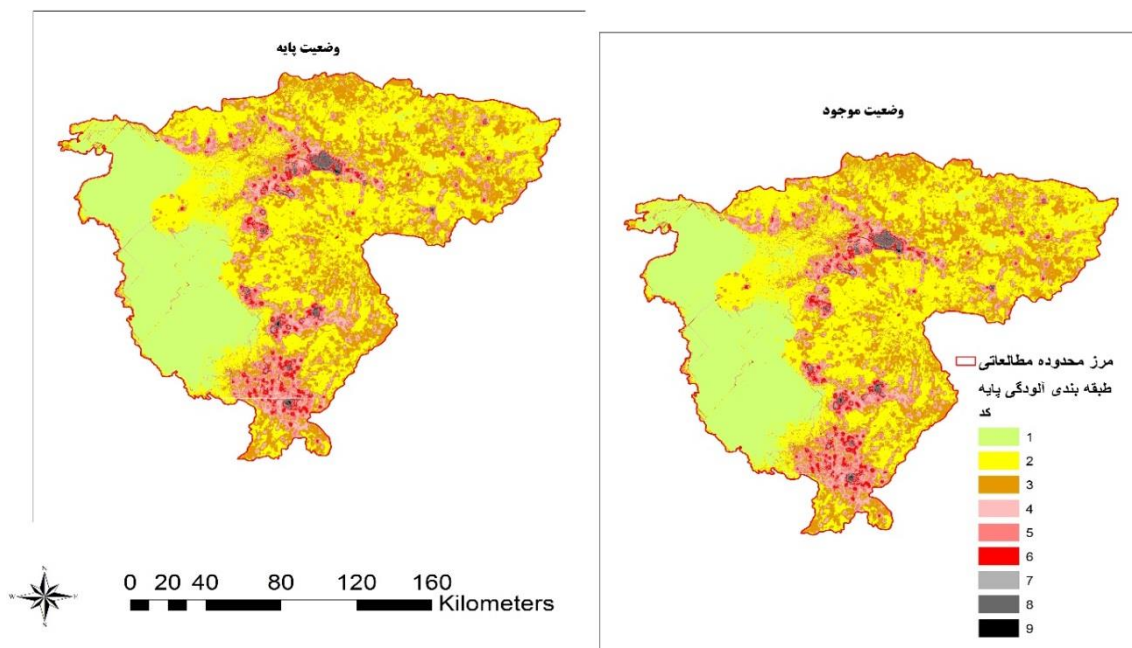
بالین‌حال نقشه‌های حاصله داده‌های مفیدی را به لحاظ طبقه‌بندی اراضی از منظر توزیع هرزاب‌های آلوده و منابع آلاینده غیر نقطه‌ای فراهم می‌نماید که در مدیریت کاربری اراضی و جهت پایش آلاینده‌های آبی در محدوده

منطق حاکم بر مدل مناطق دارای بار آلودگی بیشتر در واقع پایین‌دست نواحی هستند که در بالادست آن‌ها محرکه ایجاد بار آلودگی مانند مراکز صنعتی یا سکونتگاه‌های انسانی وجود دارد و بنابراین با کاهش پوشش طبیعی زمین از جمله پوشش گیاهی و تبدیل آن به کاربری‌های انسان‌ساخت، انتظار می‌رود که بار آلودگی در این نواحی پایین‌دست تشدید شود که خروجی‌های مدل نیز این موضوع را تأیید می‌کند. با این حال کاهش مساحت محدوده‌های دارای بار آلودگی کمتر، بسیار ناچیز است که نمی‌توان آن را به مفهوم بهبود وضعیت آلودگی در این محدوده‌ها تفسیر نمود. این تغییرات اگرچه در حال حاضر کم است، اما در مجموع اتلاف پوشش گیاهی منجر به افزایش توزیع فضایی بار ناشی از آلاینده‌های منابع غیر نقطه‌ای در پهنه حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه شده است.

خروجی‌های مدل WWPSS، داده‌های مناسبی را جهت طبقه‌بندی اراضی از منظر توزیع هرزب‌های آلوده و منابع آلاینده غیر نقطه‌ای فراهم می‌نماید که در مدیریت کاربری اراضی و جهت پایش آلاینده‌های آبی در محدوده مورد مطالعه و همچنین پیشگیری از افزایش بیشتر بار آلودگی موجود مفید خواهد بود. در این راستا، محدوده حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه به لحاظ بار آلودگی آب‌های سطحی در هر دو وضعیت پایه و موجود با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 مورد طبقه‌بندی قرار گرفت که نتایج آن در شکل شماره ۹ و جدول ۲ ارائه شده است.

چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مساحت تحت پوشش سطوح پایین آلودگی آب دارای روند کاهشی و بقیه اراضی تحت پوشش سطوح بالاتر آلودگی آب دارای روند افزایشی بوده‌اند. این بدان دلیل است که بر اساس

شکل ۹. طبقه‌بندی اراضی حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه از نظر پتانسیل توزیع آلودگی آب‌های سطحی



شکل ۹. طبقه‌بندی وضعیت توزیع فضایی پتانسیل آلودگی آب در حوضه آبخیز شرق دریاچه ارومیه قبل و بعد از اتلاف پوشش گیاهی

جدول ۲. تغييرات مساحتي اراضي تحت پوشش سطوح مختلف آلودگي آب در حوضه آبخيز شرق درياچه اروميه در اثر اتلاف پوشش گياهي

کد آلودگي	سطح آلودگي (درصد)	مساحت اراضي تحت پوشش در وضعيت پايه (هکتار)	مساحت اراضي تحت پوشش در وضعيت موجود (هکتار)	روند آلودگي (افزايش / کاهش)
۱	۰-۱/۵	۵۹۷۵۸۷,۱۹	۵۸۵۴۷۷,۱۰	↓
۲	۱/۵-۵	۹۹۹۲۴۹,۰۰	۹۸۷۴۴۶,۷۰	↓
۳	۵-۸	۴۳۴۹۲۷,۲۹	۴۵۲۲۵۸,۵۲	↑
۴	۸-۱۲	۱۳۶۸۸۳,۱۳	۱۴۰۶۷۳,۸۱	↑
۵	۱۲-۲۰	۸۹۹۴۶,۰۹	۹۲۴۴۷,۵۶	↑
۶	۲۰-۳۰	۳۳۱۸۰,۹۹	۳۳۲۸۳,۰۱	↑
۷	۳۰-۴۰	۸۱۶۸,۲۱	۸۲۸۱,۰۴	↑
۸	۴۰-۵۰	۳۹۷۳,۱۸	۳۹۷۴,۶۱	↑
۹	۵۰-۸۳	۱۷۲۷,۰۸	۱۸۰۸,۹۲	↑

### نتيجه گيري

در اين تحقيق از مدل WWPSS براي ارزيابي و برآورد تغييرات رواناب و پتانسيل آلودگي آب‌هاي سطحي ناشي از کاهش پوشش گياهي مرتعي در چهار زيرحوضه آبخيز واقع در محدوده شرقي درياچه اروميه استفاده شد. نتايج کلي تحقيق حاكي از افزايش توليد رواناب در هر چهار زيرحوضه پس از اتلاف ۳۲ درصد پوشش گياهي مرتعي بود. علت اصلي چنين امري مي‌تواند در نقش تنظيمي پوشش گياهي به‌عنوان مخزن نگه‌داري آب و رهاسازي تدريجي آن به طبيعت بر اساس مکانيسم تبخير و تعرق گياهي باشد؛ بنابراین با کاهش درصد پوشش گياهي همان‌طور که انتظار مي‌رفت بار رواناب سطحي افزايش پيدا کرد که نتايج توسط مدل تائيد شد. همچنين نتايج اين تحقيق در مورد تغييرات در پتانسيل توزيع آلاينده‌هاي آب، نشان داد اگرچه تغييرات نسبتاً افزايشي در اين پارامتر پس از اتلاف ۳۲ درصد پوشش گياهي اتفاق افتاده است، اما اينکه اين تغييرات لزوماً به‌واسطه اتلاف پوشش گياهي باشد، چندان ملموس و بارز نيست. اگرچه نقش پوشش گياهي در فیتراسيون آلاينده‌هاي آبي مکرراً در مطالعات قبلي اثبات شده است (رجائي و ديگران، ۱۳۹۵)، اما در محدوده مورد مطالعه اين تحقيق به دو دليل احتمالي اين نقش چندان برجسته نبوده است. اول اينکه محدوده‌هاي شرقي درياچه اروميه به لحاظ

شرائط پوشش گياهي به‌طور ذاتي با ويژگي‌هاي چو ن مراتع محدود، تراکم پوشش کم و درمجموع پوشش گياهي ضعيف تعريف مي‌شود. از اين رو نمي‌توان انتظار داشت که پارامتر پوشش گياهي در اين محدوده بتواند نقش برجسته‌اي در کنترل آلاينده‌هاي آب سطحي ايفا نمايد. ثانياً غالب بودن کاربري زراعي شامل کشت فارياب، ديم و باغ داري در کل پهنة حوضه آبخيز از يکسو و غلبه توزيع فضايي کاربري‌هاي انسان‌ساخت (سکونتگاه، مراکز صنعتي و...) نسبت به پوشش‌هاي طبيعي سرزمين (مراتع، اراضي درختکاري شده و...) مي‌تواند عامل مستقيم افزايش بار آلودگي آب‌هاي سطحي باشد.

با اين حال نتايج حاصل از اين تحقيق نشان داد که مدل WWPSS مي‌تواند مدل مناسبي با قابليت کاربرد نسبتاً آسان براي سنجش اثرات متقابل پوشش گياهي، توليد رواناب و پتانسيل آلودگي آب باشد. لذا کاربست اين مدل در مناطقي با وضعيت پوشش گياهي بيشتري و توسعه‌يافته به لحاظ وجود کاربري‌هاي زراعي، صنعتي و ساير استفاده‌هاي انساني سرزمين که مي‌توانند منبع توزيع آلاينده‌هاي مختلف براي منابع آب سطحي از جمله رودخانه‌ها و تالاب‌ها باشند توصيه مي‌گردد.

## سیاسگزاری

محیط‌زیست پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار انجام شده است. بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی نویسندگان این مقاله، از دو مجموعه فوق‌الذکر، اعلام می‌گردد.

تحقیقات منجر به تهیه این مقاله، با تصویب و حمایت اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان آذربایجان شرقی و با محوریت گروه ارزیابی و مخاطرات

## منابع مورد استفاده

- احمدی، ا.، و عصری، ی.، و طاطیان، م.، و تمرتاش، ر.، و یگانه، ح. ۱۳۹۷. بررسی اثر خشک شدن دریاچه ارومیه بر تغییرات جوامع گیاهی. مرتع، ۱۲(۲)، ۱۳۸-۱۵۲.
- امینی، ی. خورانی، ا. بختیاری کیا، م. آرخی. ص. ۱۳۹۶. ارزیابی آماری از انتقالات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از ماتریس انتقال. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال پانزدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۶، شماره پیاپی ۲۸.
- ثانی خانی، ه. دین‌پژوه، ی. یوسف پور، س. قویدل زمان زاد، س. صولتی، ب. ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آچی چای در استان آذربایجان شرقی). نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن- اسفند ۹۲، صفحات ۱۲۳۴-۱۲۲۵.
- چاهوکی، ز. طاهری محمدآبادی، ن. آذرینوند، ح. ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات مکانی پوشش گیاهی مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از سنج‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین. مدیریت بیابان، دوره ۴، شماره ۷.
- رجائی، ف. اسماعیلی ساری، ع. سلمان ماهینی، ع. دلاور، م. مساح بوانی، ع. ۱۳۹۵. بررسی ارتباط شکل و ساختار پوشش گیاهی با منابع آلودگی غیر نقطه‌ای جهت ارائه راهکارهای مدیریتی بهبود کیفیت آب. علوم و مهندسی محیط‌زیست، شماره ۱۱، صفحات ۴۹-۶۰.
- رستمی، ر. خورشید دوست، ع. م. نیک جو، م. ر. محمود زاده، ح. ۱۳۹۸. بررسی روند تغییرات کاربری شهرستان‌های شرق دریاچه ارومیه و شناسایی مناطق دارای قابلیت کشت گیاهان شوری پسند. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۵، زمستان ۹۸، صفحات ۱۵۲-۱۳۵.
- رضایی مقدم، م. ح. اندریانی، ص. الماس پور، ف. ولی زاده کامران، خ. مختاری اصل، ا. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر کاربری و پوشش اراضی بر روی سیل‌خیزی و دبی رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد علویان). مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۵۷-۴۱.
- رضایی مقدم، م. ح. ولی زاده کامران، خ. رستم زاده، ه. رضایی، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده مودیس در برآورد خشک‌سالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه). جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۵، زمستان ۹۱، صفحات ۵۲-۳۷.
- غریب دوست، م. قربانی، م. ح. فروزنده شهرکی، ا. ۱۳۹۵. برآورد میزان تأثیر تغییر اقلیم بر بارش-رواناب حوضه ی آبخیز صوفی چای. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی منابع آب، سال نهم، تابستان ۹۵.
- کمالی، م.، س یونس زاده جلیلی، ۱۳۹۴. بررسی تغییرات کاربری زمین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. گزارش فنی دانشگاه صنعتی شریف.

- محمدي. م. سلماني. ح. روحاني. ح. شيخ. و. مرديان. م. ۱۳۹۵. مدلسازی اثر سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قراقلی. پژوهش‌های آبخیزداری، دوره ۲۹، شماره ۴.
- محمودزاده. ح. یاری. ف. واحدی. ع. ۱۳۹۶. کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه با رویکرد تحلیل چند معیاره. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۴، تابستان ۹۵.
- هراتی. ح. کیا دلیری. م. توانا. ا. راهنورد. آ. امیرنژاد. ر. ۱۳۹۹. ارتباط تغییرات پهنه آبی و پوشش گیاهی در شرق دریاچه ارومیه با پدیده ریزگردها. نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، انتشار آنلاین.
- یاراحمدی. ج. نیک جو. م. ر. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر وقوع سیلاب‌ها در حوضه صوفیچای. نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۶، شماره ۳۹، بهار ۱۳۹۱، صفحات ۱۶۹-۱۵۱.
- ALIZADEH-CHOOBARI, O., AHMADI-GIVI, F., MIRZAEI, N. & OWLAD, E. 2016. Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. *International Journal of Climatology*, 36, 4276-4286.
- Armstrong, Lawrence E., and Evan C. Johnson. 2018. Water intake, water balance, and the elusive daily water requirement. *Nutrients*, 10(12), 1928.
- BRUIJNZEEL, L., MULLIGAN, M. & SCATENA, F. N. 2011. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, 25, 46. ۴۹۸-۵۰
- CARROLL, M., TOWNSHEND, J., HANSEN, M., DIMICELI, C., SOHLBERG, R. & WURSTER, K. 2010. MODIS vegetative cover conversion and vegetation continuous fields. *Land Remote Sensing and Global Environmental Change*. Springer
- GAITAN, J. J., OLIVA, G. E., BRAN, D. E., MAESTRE, F. T., AGUIAR, M. R., JOBBAGY, E. G., BUONO, G. G., FERRANTE, D., NAKAMATSU, V. B. & CIARI, G. 2014. Vegetation structure is as important as climate for explaining ecosystem function across P atagonian rangelands. *Journal of Ecology*. ۱۰۲, ۱۴۱۹-۱۴۲۸.
- Jia, X., Varbanov, P. S., Klemeš, J. J., & Wan Alwi, S. R. 2019. W ater availability footprint addressing water quality. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(1), 72-86.
- Malian, A., Mohammadi, A., Valiollahi, J. 2017. Surrounding Environment Change during the Past 60 Years by Means of Remote Sensing Geobased Analyses. *Hydrogeomorphology*, 3(9), 43-62.
- Mazzei, C.A., Marangoni, T. T., Oliveira, J. N. D. 2018. Q uantitative analysis of environmental impact assessments of hydroelectric power plants on the IBAMA database and evaluation of the hydrological parameters used. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23, 425-429.
- MULLIGAN, M. 2012. WaterWorld: a self-parameterising, physically based model for application in data-poor but problem-rich environments globally. *Hydrology Research*, 44, 748-769.
- MULLIGAN, M. 2013. WaterWorld: a self-parameterising, physically based model for application in data-poor but problem-rich environments globally. *Hydrology Research*, 44, 748-769.
- MULLIGAN, M. 2016. Computational Policy Support Systems for Understanding Land Degradation Effects on Water and Food Security for and from Africa. *Land Restoration*. Elsevier.
- PISSARRA, T. C. T., VALERA, C. A., COSTA, R. C. A., SIQUEIRA, H. E., MARTINS FILHO, M. V., VALLE JÚNIOR, R. F. D., SANCHES FERNANDES, L. F. & PACHECO, F. A. L. 2019. A regression model of stream water quality based on interactions between landscape composition and riparian buffer width in small catchments. *Water*, 11, 1757.
- VAN SOESBERGEN, A. 2013. *Impacts of climate change on water resources of global dams*. King's College London (University of London).
- VAN SOESBERGEN, A. & MULLIGAN, M. 2014. Modelling multiple threats to water security in the Peruvian Amazon using the WaterWorld policy support system. *Earth System Dynamics*, 5, 55-65.
- YARAHMADI, J. & NIKJOO, M. R. 2012. The Study of the Effects of Landuse Changes on Flood Occurrence in Sofi Chai Basin. *Geography and planning*, 16 (39), 151-169
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W., Chiew, F.H., Western, A., Briggs, P., 2004. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resources Research* 40.
- ZARANDIAN, A., YAVARI, A. R. & REZA, H. 2016. Modeling Land Use Change Impacts on Water-Related Ecosystem Services Using a Policy Support System.





ISSN 2251-7480

## Assessment the Effects of Vegetation Degradation on Runoff Changes and Water Pollution Potential in the sub-watersheds of the Eastern Azerbaijan Province

Ardavan Zarandian<sup>1\*</sup> and Majid Ramezani Mehrian<sup>2</sup>

1\*) Assistant professor, Research Group of Environmental Assessment and Risks, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Tehran, Iran.

2) Assistant professor, Department of Environmental Studies, The Institute for Research and Development in Humanities (Samt), Tehran, Iran.

\*Corresponding author email: azarandian@gmail.com

Received: 29-05-2021

Accepted: 28-08-2021

### Abstract

Vegetation is an important factor affecting runoff, quantity and quality of water in a watershed. This study investigates the effects of vegetation reduction in the eastern watershed of Lake Urmia on two parameters of runoff and the potential for water pollution. The WWPSS model was used to simultaneously assess the three parameters. Vegetation shows a fraction of the types of grass, tree and land without vegetation that was obtained from MODIS VCF satellite images. Runoff was calculated as accumulated water budget downstream. This model also provides an indicator to determine the potential level of water pollution. The results showed that rangeland cover decreased by an average of about 32%. Also, the average runoff production increased by 2.6, 3.16, 2.9 and 3.25 percent, respectively, in the existing conditions in 4 sub-basins of Aji Chai, Qaleh Chai, Marduq Chai and Sufi Chai compared to the situation before the reduction of vegetation coverage. According to the results, the difference in water pollution potential between the baseline and existing conditions in different parts of the watershed has fluctuated in the range between -9 to 15% and an average of 0.6%. This change has increased the pollution load in some places and decreased it in others; but in general, it has led to incremental changes in water pollution potential with an average of about 2.5% in the total watershed. The method used can be used to quantify and map ecosystem water changes and its application in environmental assessment and management.

**Keywords:** Assessment, Vegetation, Runoff, Water pollution, Watershed