

## اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبریز آجی چای و ورودی آن به دریاچه ارومیه

میثم قدوسی<sup>۱</sup>، مجید دلاور<sup>۲\*</sup>، و سعید مرید<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد منابع آب دانشگاه تربیت مدرس

۲. استادیار گروه منابع آب دانشگاه تربیت مدرس

۳. استاد گروه منابع آب دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۱۷)

### چکیده

دریاچه ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه داخل کشور است که در سال‌های اخیر تراز سطح آب آن به میزان چشمگیری کاهش یافته است. تغییر اقلیم، خشک‌سالی‌های مستمر، توسعه سطح زیر کشت، تغییر کاربری اراضی، و احداث سدها از دلایل این مشکل شناخته شده است. ولی کمتر مستندات و ادله علمی ارائه کرده‌اند. تحقیق حاضر با این نگاه به این مهم می‌پردازد و در این زمینه اثر تغییرات کاربری اراضی را بر ورودی رودخانه آجی چای به دریاچه بررسی می‌کند. بدین منظور از مدل مفهومی SWAT همراه اطلاعات زمینی ایستگاه‌های باران‌سنجی، دماسنجی، آب‌سنجی، و ماهواره‌ای استفاده شد. برای بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی، نقشه‌های تهیه‌شده با تصاویر Landsat سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۲، و ۲۰۰۸ به عنوان ورودی به مدل SWAT معرفی و با اطلاعات ورودی یکسان مدل در محدوده سال کاربری واسنجی شد. مدل برای سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ به صورت ماهیانه اجرا شد. نتایج خروجی مدل با چهار نقشه کاربری اراضی حاکی از کاهش قابل توجه حجم آب خروجی از حوضه به میزان ۵۱ درصد و افزایش تبخیر و تعرق واقعی به میزان ۱۳ درصد طی این سال‌ها بود. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد تغییر کاربری اراضی در سه دهه گذشته بر کاهش تراز آب دریاچه ارومیه نقشی مهم داشته است.

**کلیدواژگان:** حوضه آجی چای، دریاچه ارومیه، کاربری اراضی، SWAT.

### مقدمه

است. یکی از روش‌شناسی‌های آن استفاده از مدل‌های مفهومی است. مدل SWAT یکی از این‌گونه مدل‌هاست که در برخی مطالعات برای ارزیابی فوق استفاده می‌شود.

در مطالعه *Pikounis et al* (2003)، به منظور بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر جریان حوضه آبریز رودخانه Pinios در کشور یونان، از سه سناریوی کاربری اراضی استفاده شد؛ شامل گسترش زمین‌های کشاورزی، جنگل‌زدایی کامل از یک زیرحوضه، و گسترش مناطق شهری. نتایج حاکی از افزایش رواناب در ماه‌های مرطوب و کاهش آن در دوره‌های خشک بود؛ در حالی که سناریوی جنگل‌زدایی منجر به بیشترین تغییر در مجموع رواناب ماهیانه می‌شد. *Hundecha and Bardossy* (2004) نیز در تحقیقی اثر تغییرات کاربری اراضی را بر تولید رواناب حوضه رودخانه راین آلمان در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۹۹۵ بررسی کردند. بدین منظور دو سناریو، شامل کاربری سال ۱۹۸۵ و نیز افزایش مناطق جنگلی و شهری در کاربری سال ۲۰۱۰، با مدل SWAT مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد گسترش شهرنشینی منجر به افزایش رواناب‌های تابستانه می‌شود؛ در حالی که افزایش رواناب‌های زمستانه بسیار کمتر است. همچنین

دریاچه ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه داخل کشور است و اهمیت بسیاری در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی منطقه دارد. وضعیت افت تراز آب دریاچه و فرآیند تدریجی خشک‌شدن آن در سال‌های اخیر مشکلات عدیده‌ای برای این منطقه و نگرانی‌هایی در سطح ملی و بین‌المللی ایجاد کرده است.

دلایل مختلفی برای تغییرات دریاچه مطرح شده است که تغییر کاربری اراضی یکی از آنهاست. ولی هرگز این عامل در قالب مهندسی و مدل‌سازی بررسی نشده است. از این رو، این مهم هدف این تحقیق است. اما به دلیل وسعت حوضه دریاچه ارومیه برای منطقه مطالعاتی فقط زیرحوضه آجی چای در نظر گرفته شد که شاید بیشترین تغییرات را از این منظر داشته است (Fathian, 2010). ارزیابی و کمی‌سازی اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه از منظرهای مختلف بررسی شده

\* نویسنده مسئول: m.delavar@modares.ac.ir

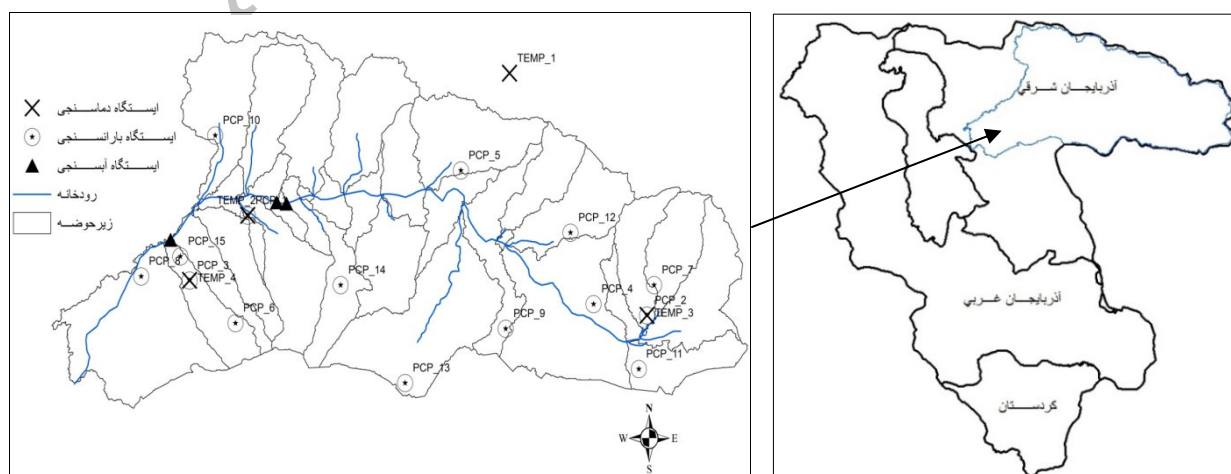
برای سال‌های آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ واسنجی شد. آن‌ها با معرفی نقشه‌های کاربری به مدل و اجرای آن به صورت جداگانه نتیجه گرفتند که تغییر در کاربری اراضی از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶ منجر به افزایش مقدار رواناب سطحی در حدود ۳۳ درصد شده است. همچنین گزارش کردند مقدار متوسط سالیانه رواناب سطحی و تبخیر و تعرق واقعی برای کاربری سال ۱۳۸۶ بیشتر از کاربری سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۷۳ بوده در حالی که میزان جریان رودخانه و آب زیرزمینی در کاربری سال ۱۳۴۶ بیشتر از کاربری سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۶ بوده است.

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های منطقه تحقیق

حوضه آبریز آجی‌چای با وسعتی معادل ۱۰۳۰۴ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های بزرگ هفت‌گانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه بعد از زیرحوضه سیمینه‌رود و زرینه‌رود است که در موقعیت  $26^{\circ}$ - $45^{\circ}$  تا  $26^{\circ}$ - $50^{\circ}$  طول جغرافیایی و  $37^{\circ}$ - $39^{\circ}$  تا  $28^{\circ}$ - $38^{\circ}$  عرض جغرافیایی قرار دارد. این حوضه از شرق به حوضه آبریز قره‌سو، از جنوب به سرشاخه‌های قزل‌اوزن، از شمال به حوضه آبریز اهرچای، و از غرب به دریاچه ارومیه محدود شده است که طول رودخانه اصلی آن حدود ۲۶۵ کیلومتر است. از لحاظ ارتفاعی بلندترین نقطه حوضه در کوهستان سبلان، به ارتفاع ۴۸۵۰ متر، و پست‌ترین نقطه حوضه، به ارتفاع ۱۳۰۰ متر، در مصب رودخانه به دریاچه ارومیه قرار گرفته است. لذا اختلاف ارتفاعی معادل ۳۵۵۰ متر داخل حوضه مشاهده می‌شود (Rasuli and Adhami, 2007). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و شبکه رودخانه‌های این حوضه مشاهده می‌شود.

توسعه جنگل‌کاری حجم کل رواناب را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. در تحقیق دیگری (Kepner et al 2004) پاسخ هیدرولوژیکی حوضه رودخانه San Pedro امریکا را در اثر تغییرات زیست‌محیطی آینده بررسی کردند. در این تحقیق، بر اساس نقشه کاربری سال ۲۰۰۰، مدل در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۲ اجرا شد. همچنین آن‌ها از سه سناریوی کاربری اراضی، شامل افزایش و کاهش مناطق شهری و نیز کاهش مناطق جنگلی در سال ۲۰۲۰، استفاده کردند. نتایج نشان داد تغییرات کاربری اراضی، به‌ویژه افزایش شهرنشینی، به میزان قابل توجهی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه را تغییر می‌دهد؛ به طوری که میزان رواناب و بار رسوب سال ۲۰۲۰ در مقایسه با سال ۲۰۰۰ افزایش و نفوذ کاهش می‌یابد. در حوضه کشاورزی Heihe، در دشت لس چین، Li et al (2009) اثر تغییر کاربری اراضی و تغییرپذیری اقلیم را بر متغیرهای مؤثر بر هیدرولوژی سطحی، مانند رواناب و رطوبت خاک و تبخیر و تعرق، بررسی کردند. حدود ۴۵ درصد مساحت این حوضه در سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ به طور عمده از بوته‌ای و زمین‌های جنگلی پراکنده به علفزار متوسط و متراکم تغییر یافته است. آن‌ها، بعد از واسنجی مدل، آن را برای چهار سناریو اجرا کردند؛ شامل دو دوره زمانی (سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰) و دو نقشه کاربری اراضی (سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰). نتایج نشان داد با تغییر کاربری و تنوع اقلیم رواناب به ترتیب ۹/۶ درصد و ۹۵/۸ درصد و رطوبت خاک ۱۸/۸ درصد و ۷۷/۱ درصد کاهش و تبخیر و تعرق به میزان ۸ درصد و ۱۰۳ درصد افزایش می‌یابد. در ایران نیز (Gafari et al 2009) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژی حوضه آبریز زنگان‌رود را در سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶ بررسی کردند. در این تحقیق، با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، سه نقشه کاربری سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۷۳ و ۱۳۸۶ تهیه و مدل



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز آجی‌چای

## آمار و اطلاعات استفاده شده

### داده‌های هواشناسی و هیدرومتری

شبیه‌سازی فرآیندهای مورد نظر در مدل SWAT، از سال ۱۹۷۶ تا سال ۲۰۰۸، تهیه شد. همچنین جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل آمار ماهیانه دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی و نیار و آخولا تهیه شد. مشخصات آن‌ها همراه طول دوره آماری در جدول‌های ۱ تا ۳ می‌آید.

برای این تحقیق داده‌های روزانه بارش و دما از پانزده ایستگاه باران‌سنجی و چهار ایستگاه دماسنجی سازمان هواشناسی، که بهترین توزیع مکانی را داخل حوضه داشتند، به منظور

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های دماسنجی استفاده شده در تحقیق

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
اهر	۴۷٫۴	۳۸٫۲۶	۱۳۹۰٫۵	۱۹۸۶-۲۰۰۸
تبریز	۴۶٫۱۷	۳۸٫۵	۱۳۶۱	۱۹۵۶-۲۰۰۸
سراب	۴۷٫۳۲	۳۷٫۵۶	۱۶۸۲	۱۹۸۷-۲۰۰۸
سهند	۴۶٫۷	۳۷٫۵۶	۱۶۴۱	۱۹۹۶-۲۰۰۸

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده شده در تحقیق

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری	متوسط بارش سالانه
تبریز	۴۶٫۱۷	۳۸٫۵	۱۳۶۱	۱۹۵۶-۲۰۰۸	۲۸۴٫۸
سراب	۴۷٫۳۲	۳۷٫۵۶	۱۶۸۲	۱۹۸۷-۲۰۰۸	۲۳۹٫۶
سهند	۴۶٫۷	۳۷٫۵۶	۱۶۴۱	۱۹۹۶-۲۰۰۸	۱۵۹٫۸
خاتون‌آباد	۴۷٫۳۶	۳۷٫۹۵	۱۶۸۸	۱۹۹۵-۲۰۰۷	۲۸۳٫۹
سارای	۴۶٫۹۳	۳۸٫۲۱	۱۵۴۵	۱۹۷۶-۲۰۰۷	۳۰۲٫۲
زینجان	۴۶٫۲۶	۳۷٫۸۵	۲۰۵۷	۱۹۷۶-۲۰۰۷	۲۸۶٫۵
رزلیق	۴۷٫۵۵	۳۸	۱۷۴۷	۱۹۹۵-۲۰۰۷	۲۵۰٫۱
ایلخچی	۴۵٫۹۶	۳۷٫۹۳	۱۳۴۸	۱۹۹۸-۲۰۰۷	۲۲۷٫۸
شربیان	۴۷٫۱	۳۷٫۸۸	۱۷۴۶	۲۰۰۰-۲۰۰۷	۲۸۷٫۱
آمند	۴۶٫۱۶	۳۸٫۲۵	۱۴۸۸	۱۹۹۶-۲۰۰۷	۲۸۴٫۴
هریس	۴۷٫۵۱	۳۷٫۸۱	۱۷۳۱	۱۹۷۶-۲۰۰۷	۴۰۵٫۸
قرلچی‌سادات	۴۷٫۲۸	۳۸٫۱	۱۷۵۲	۱۹۹۵-۲۰۰۷	۳۵۴٫۸
آقچک‌هال‌زمان	۴۶٫۸	۳۷٫۷۵	۱۸۸۸	۱۹۷۶-۲۰۰۷	۴۲۵٫۵
سعیدآباد	۴۶٫۵۸	۳۷٫۹۵	۱۸۶۱	۱۹۹۲-۲۰۰۷	۳۴۹٫۹
اسفهلان	۴۶٫۰۸	۳۷٫۹۸	۱۳۶۴	۱۹۹۵-۲۰۰۷	۲۴۲٫۷

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی استفاده شده در تحقیق

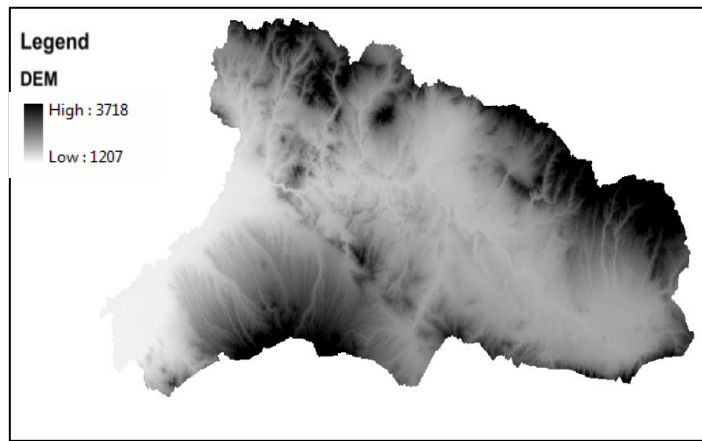
ایستگاه	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
ونیار	آجی‌چای	۴۶٫۴	۳۸٫۱۱	۱۴۵۰	۱۹۷۶-۲۰۰۸
آخولا	آجی‌چای	۴۶٫۰۵	۳۸٫۰۱	۱۳۱۰	۱۹۸۶-۲۰۰۸

### لایه‌های رقومی

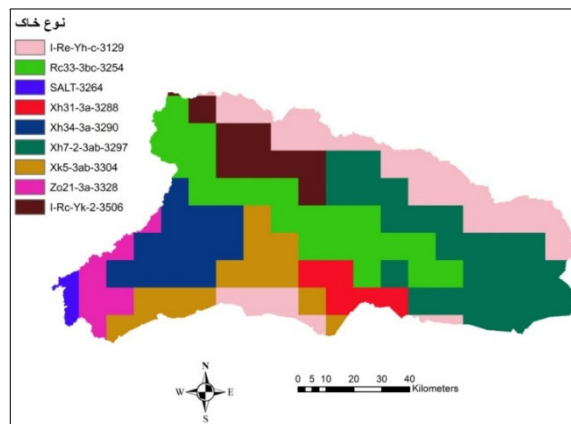
لایه کاربری اراضی: از آنجا که هدف این تحقیق بررسی میزان تأثیرپذیری هیدرولوژی حوضه آجی‌چای از تغییرات کاربری اراضی در دهه‌های گذشته است، چهار نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۲، و ۲۰۰۸ تهیه شد. این نقشه‌ها و برداشت‌های آن حاصل تحقیق Fathian (2010) با استفاده از تصاویر Landsat بود که به طور مستقیم استفاده شد (شکل ۴).

لایه DEM حوضه: بدین منظور لایه DEM با دقت ۳۰ متری جهت تولید اطلاعات حوضه، زیرحوضه‌ها، شبکه رودخانه‌ها، و سایر موارد استفاده شد (شکل ۲).

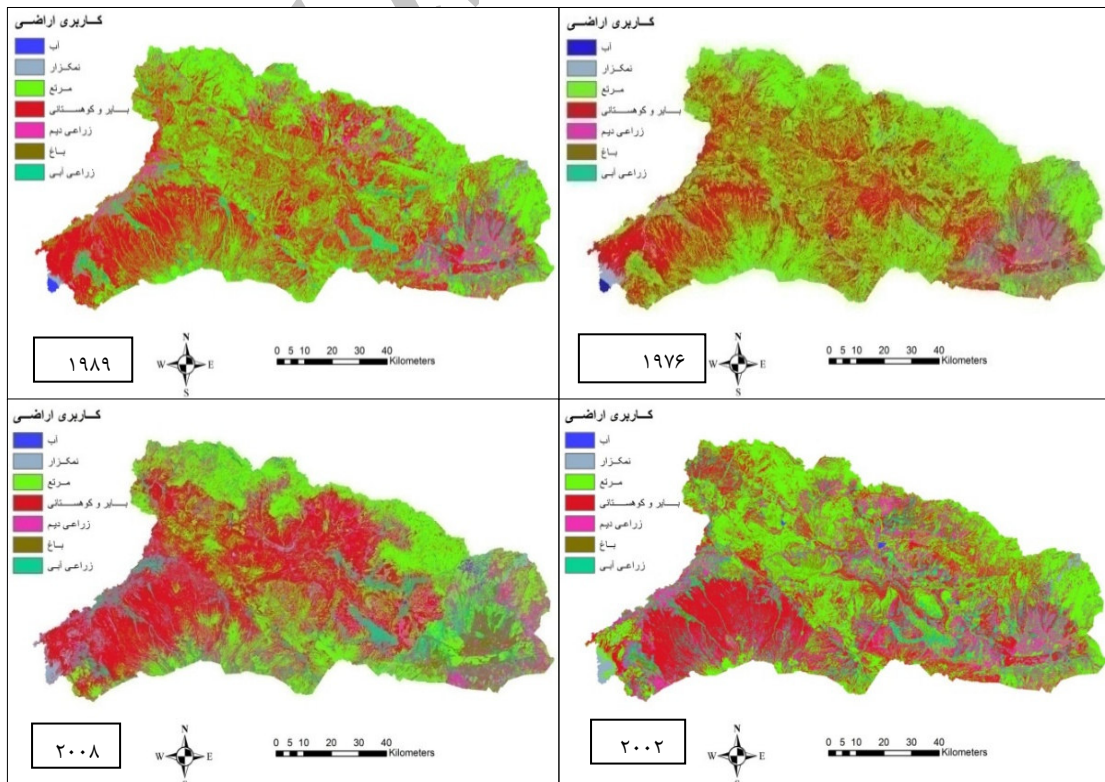
لایه پراکندگی خاک: لایه خاک سومین لایه اطلاعاتی است که از داده‌های مهم برای تولید HURUها و شبیه‌سازی فرآیندهای مورد نظر در مدل است. در شکل ۳ نقشه خاک و در جدول ۴ مشخصات آن می‌آید.



شکل ۲. نقشه DEM حوضه آبی چای (NASA, 2009)



شکل ۳. لایه خاک حوضه (FAO, 1996)



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۸، ۲۰۰۲، ۱۹۸۹، ۱۹۷۶

جدول ۴. مشخصات انواع خاک‌های موجود در نقشه خاک حوضه

نام خاک در مدل SWAT	نوع خاک	گروه هیدرولوژیکی	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
I-Rc-Yk-2-3506	LOAM	D	۲۶	۳۹	۳۵
I-Re-Yh-c-3129	LOAM	C	۲۰	۳۳	۴۷
Rc33-3bc-3254	LOAM	D	۲۷	۳۹	۳۴
SALT-3264	UWB	D	۵	۲۵	۷۰
Xh31-3a-3288	CLAY-LOAM	D	۳۴	۳۴	۳۱
Xh34-3a-3290	CLAY-LOAM	D	۳۵	۴۱	۲۵
Xh7-2-3ab-3297	CLAY-LOAM	D	۲۹	۴۸	۲۳
Xk5-3ab-3304	CLAY-LOAM	D	۳۶	۲۲	۴۲
Zo21-3a-3328	CLAY-LOAM	D	۳۷	۳۸	۲۵

### الگوی کشت محصولات

سیب‌زمینی، گوجه، چغندرقد، یونجه، سیب درختی- در مدل‌سازی‌های این تحقیق به عنوان نماینده محصولات منطقه در دستور کار قرار گرفت و سایر گیاهان نیز، با توجه به زمان کشت و طول دوره رشد و نیاز آبی، در این هفت دسته طبقه‌بندی شدند. در جدول ۵ مقدار عمق آبیاری اعمال شده به مدل برای این محصولات می‌آید. گفتنی است الگوی کشت استفاده شده در مدل برگرفته از تحقیق Ahmadzadeh (2012) است.

بر اساس مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم، که دفتر برنامه‌ریزی آب و آبفای وزارت نیرو در سال ۱۳۸۴ انجام داد، حوضه آبریز آبی‌چای با داشتن ۷۹۸۱۹ هکتار سطح زیر کشت آبی، بعد از زیرحوضه زولانازلوچای، بیشترین مقدار را در این خصوص بین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه دارد. گیاهان متنوعی در منطقه کشت می‌شود که شبیه‌سازی همه آن‌ها میسر نیست. از این رو فقط گیاهان غالب منطقه شامل گندم، جو،

جدول ۵. مقدار عمق آب آبیاری اعمال شده به مدل برای محصولات مختلف

محصول	ماه	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	دور آبیاری
گندم		-	۳۶۰	۳۶۰	-	-	-	۱۵
جو		-	۲۶۰	۲۶۰	-	-	-	۱۵
سیب‌زمینی		-	۱۱۵	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۱۰
گوجه		-	-	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۱۰
چغندرقد		۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۰
یونجه		-	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۰	۱۰
سیب		-	۳۱۰	۳۱۰	۳۱۰	۳۱۰	۳۱۰	۱۰

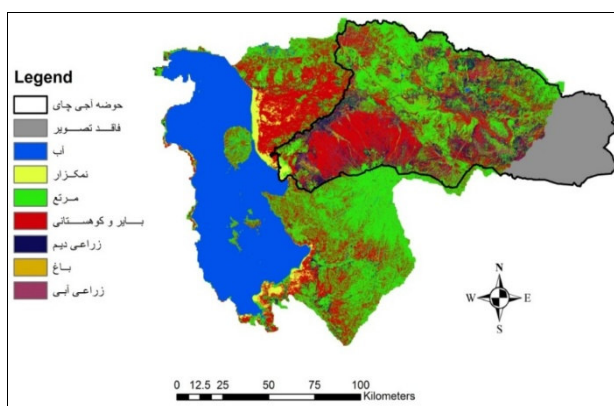
میزان تنوع خاک و کاربری اراضی و شیب، به قسمت‌های کوچک‌تر، به نام واحدهای همگن هیدرولوژیکی<sup>۱</sup> (HRUs)، تقسیم می‌شود. در واقع این واحدها قسمت‌های درون هر زیرحوضه‌اند که نوع خاک، کاربری اراضی، و شیب یکسان دارند. ورودی‌های اصلی مدل شامل بارش، دمای حداکثر و حداقل، تابش خورشید، سرعت باد، رطوبت نسبی، پوشش زمین، خاک، و ارتفاع است. خروجی‌های آن مانند رواناب سطحی در هر

### اصول اولیه حاکم بر شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT

هدف اصلی مدل SWAT (Arnold et al, 1993) شبیه‌سازی اثر شیوه‌های مختلف مدیریتی زمین (مکانی- زمانی) بر کمیت و کیفیت آب و رسوب در حوضه‌های پیچیده با توجه به شرایط مختلف اقلیمی و کاربری اراضی و نوع خاک در دوره‌های درازمدت است (Neitsch et al, 2009). مدل SWAT مدلی نیمه‌توزیعی است که ابتدا حوضه را به قسمت‌های کوچک‌تر، به عنوان زیرحوضه، تقسیم می‌کند. هر زیرحوضه نیز، بسته به

1. Hydrological Response Unit

اراضی است (شکل ۵). به همین منظور، برای تکمیل آن، از گزینه‌های جدید در SWAT با نام Landuse Update استفاده شد. این گزینه می‌تواند پس از ارائه نقشه مبنای، که کل سطح حوضه را زیر پوشش قرار می‌دهد، در تاریخ مورد نظر و حین محاسبات کاربری را تغییر دهد. این تغییرات بر نسبت واحدهای همگن هیدرولوژیکی<sup>۱</sup> در هر زیرحوضه اعمال می‌شود. به این صورت که بر اساس تغییر مساحت هر واحد همگن نسبت مساحت آن به مساحت زیرحوضه مورد نظر نیز تغییر می‌کند.



شکل ۵. نمود تصاویر ماهواره‌ای برای قسمتی از حوضه آبی چای در سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۹

از این رو، برای تکمیل نقشه سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۹ نقشه کاربری سال ۲۰۰۸ به عنوان مبنای مدل معرفی شد. سپس بر اساس روند تغییرات کاربری، که در حوضه طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ وجود داشت، در قسمت Landuse Update و در سال ۱۹۷۶ نسبت مساحت واحدهای همگن هیدرولوژیکی در زیرحوضه‌های مذکور تغییر داده شد.

با توجه به کار Fathian (2010) و آنچه آمد، تغییرات طبقات کاربری اراضی حوضه در دوره این مطالعه در شکل ۶ می‌آید. ملاحظه می‌شود که روند تغییرات کاربری‌های کشاورزی، شامل اراضی کشاورزی زراعی آبی و دیم و اراضی باغی، در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ افزایشی بوده است؛ به طوری که سطح اراضی زراعی آبی از ۲۷۵ کیلومتر مربع با ۲۲۳ درصد افزایش به ۸۸۸ کیلومتر مربع، اراضی زراعی دیم از ۴۰۶ کیلومتر مربع با ۲۷۲ درصد افزایش به ۱۵۱۱ کیلومتر مربع، و اراضی باغی از ۸۱ کیلومتر مربع با ۵۶۵ درصد افزایش به ۵۳۹ کیلومتر مربع رسیده است. به طور کلی سطح زیر کشت آبی (اراضی زراعی آبی و باغی) منطقه مطالعه‌شده با نرخ رشد ۳۰۰

زیرحوضه از برآورد میانگین وزنی نتایج آن برای HRUها و با توجه به سطح آن‌ها به دست می‌آیند (Nazari et al, 2011).

معادله بیلان آب از روابط اصلی در شبیه‌سازی‌های مدل SWAT است و به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})_i$$

در این معادله  $SW_t$  مقدار نهایی آب در خاک (mm) در روز  $t$ ،  $SW_0$  مقدار اولیه آب در خاک (mm) در روز  $i$ ،  $t$  زمان بر حسب روز،  $R_{day}$  مقدار بارندگی (mm) در روز  $i$ ،  $Q_{surf}$  مقدار رواناب سطحی (mm) در روز  $i$ ،  $E_a$  مقدار تبخیر و تعرق واقعی (mm) در روز  $i$ ،  $W_{seep}$  مقدار آبی که در روز  $i$  از منطقه ریشه خارج می‌شود (mm)، و  $Q_{gw}$  مقدار جریان برگشتی (mm) در روز  $i$  است.

## یافته‌ها و بحث

### ساختار بندی حوضه و تنظیم مدل SWAT

برای شبیه‌سازی مد نظر، کل حوضه آبی چای به سی و شش زیرحوضه تقسیم شد و سپس، با شرحی که پیش‌تر آمد و هم‌پوشانی لایه‌ها، HRUها تعریف شدند. یادآوری می‌شود با تعیین درصد‌های آستانه برای هر لایه اطلاعاتی از ازدیاد این واحدها جلوگیری شد. درصد‌های آستانه‌ای برای هر لایه اطلاعاتی و تعداد HRUها برای کاربری‌های سال‌های مختلف در جدول ۶ می‌آید.

جدول ۶. درصد آستانه هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی و تعداد HRU با

نقشه‌های کاربری مختلف

درصد آستانه				
لایه اطلاعاتی	کاربری ۱۹۷۶	کاربری ۱۹۸۹	کاربری ۲۰۰۲	کاربری ۲۰۰۸
کاربری اراضی	۰	۰	۰	۱
خاک	۲۰	۲۰	۲۰	۱۵
شیب	۰	۰	۰	۰
تعداد HRU	۳۶۵	۳۴۶	۳۵۴	۳۵۰

### بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضه

همان‌گونه که آمد، نقشه‌های کاربری اراضی استفاده‌شده حاصل کار Fathian (2010) است. اما گفتنی است در نقشه‌های کاربری ارائه‌شده وی برای سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۹ قسمتی از شرق حوضه آبی چای- شامل زیرحوضه‌های شماره ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۵- به علت نبودن تصاویر ماهواره‌ای فاقد اطلاعات کاربری

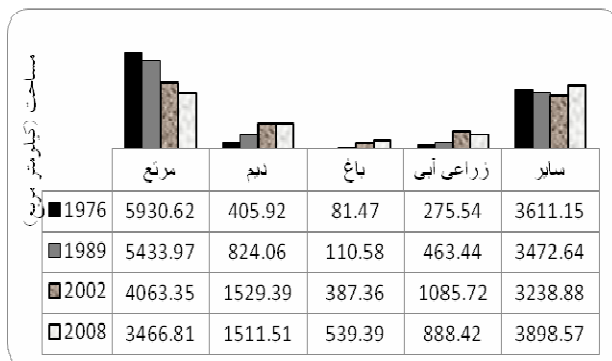
1. HRU Fraction

### تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

قبل از مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل، با تحلیل حساسیت، پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر دبی خروجی از حوضه داشتند، بر اساس مقادیر ضریب (t-stat) و درصد معناداری (p-value) مشخص شدند. این کار با نرم افزار SWAT CUP انجام شد. نتایج این تحلیل که بر سیزده پارامتر صورت گرفت در جدول ۷ می‌آید.

جدول ۷ نشان می‌دهد پارامتر شماره منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی (CN2) بیشترین تأثیر را بر دبی خروجی از حوضه دارد و بیشترین t-stat و همچنین کمترین مقدار p-value مربوط به این پارامتر است. پس از CN2، پارامترهای ESCO و SOL-BD(1)، که به ترتیب ضریب جبران تبخیر خاک و چگالی ظاهری خاک در لایه سطحی هستند، در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

درصدی از ۳۵۷۰۰ هکتار به ۱۴۲۷۸۱ هکتار افزایش یافته است. در مقابل، سطح اراضی مرتع از ۵۹۳۰ کیلومتر مربع با ۴۲ درصد کاهش به ۳۴۶۶ کیلومتر مربع و اراضی نمکزار از ۸۹ کیلومتر مربع با ۳۷۶ درصد افزایش به ۴۲۴ کیلومتر مربع رسیده است.



شکل ۶. روند تغییرات مساحت کاربری اراضی در منطقه مطالعه شده

جدول ۷. نتایج تحلیل حساسیت مدل و مقادیر t-stat و p-value هر یک از پارامترها

رتبه	نام پارامتر	t-stat	p-value	محدوده اولیه	محدوده نهایی
۱	CN2	۳۹۵	۰	۳۵-۸۰	۶۰-۷۰
۲	ESCO	۲۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱-۱	۰٫۹۵-۱
۳	SOL-BD(1)	۲۰۸	۰٫۰۴	۱٫۲-۱٫۶	۱٫۳-۱٫۵
۴	GWQMN	۱٫۹۳	۰٫۰۶	۱۰۰-۳۰۰۰	۰-۲
۵	ALPHA-BNK	۱٫۰۹	۰٫۲۸	۰-۱	۰٫۴-۰٫۶
۶	CH-N2	۰٫۹۲	۰٫۳۶	۰٫۰۱-۰٫۳	۰٫۰۱۳-۰٫۰۱۶
۷	ALPHA-BF	۰٫۸۴	۰٫۴۱	۰-۱	۰٫۱-۰٫۴
۸	GW-REVAP	۰٫۷۹	۰٫۴۴	۰٫۰۲-۰٫۲	۰٫۰۲-۰٫۲۵
۹	SOL-K(1)	۰٫۶۹	۰٫۴۹	۰٫۱-۲۰۰	۲۰-۳۰
۱۰	SOL-AWC(1)	۰٫۴۸	۰٫۶۳	۰٫۱-۰٫۳۲	۰٫۲۸-۰٫۳۲
۱۱	GW-DELAY	۰٫۴۳	۰٫۶۷	۱-۶۰	۲۰-۳۵
۱۲	SFTMP	۰٫۲۴	۰٫۸۱	(-۵) -۵	(-۵) -۵
۱۳	CH-K2	۰٫۲۲	۰٫۸۳	۰٫۱-۱۰۰۰	۲۰-۵۰

کاربری اراضی سال ۱۹۸۹، سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۵ در نظر گرفته شود. این دیدگاه بر مبنای رویکردی بود که Koch (2011) از آن استفاده کرد. البته به دلیل اینکه طول دوره آماری ایستگاه هیدرومتری آخولا برای واسنجی نقشه کاربری سال ۱۹۷۶ کوتاه بود، واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای این سال فقط با ایستگاه ونیارس صورت پذیرفت.

در نهایت ارزیابی مدل با استفاده از دو شاخص ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) انجام شد که نتایج

### واسنجی و اعتبارسنجی مدل

پس از مرحله تحلیل حساسیت، به کمک نرم افزار SWAT CUP و همچنین آمار ماهیانه دبی در ایستگاه‌های ونیارس و آخولا، واسنجی و اعتبارسنجی مدل صورت گرفت. اما، با توجه به اینکه هدف تحقیق حاضر نقش تغییرات کاربری بر جریان خروجی بود، در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به نکته مهمی توجه شد؛ اینکه این مراحل به تفکیک برای سال‌های نزدیک به تصویر مورد بررسی انجام شود. مثلاً برای واسنجی مدل، بر مبنای نقشه

و Gul and Rosbjerg (2010) و Jain *et al* (2010) اشاره شده است.

آن در جدول ۸ می‌آید. ارقام حاصل برای  $R^2$  پذیرفتنی و در محدوده ارقامی است که در تحقیقات (2011) Naghnilchi *et al*

جدول ۸. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل تحت نقشه‌های کاربری مختلف

نقشه کاربری		سال ۱۹۷۶	سال ۱۹۸۹	سال ۲۰۰۲	سال ۲۰۰۸
دوره واسنجی		۱۹۷۶-۱۹۸۵	۱۹۸۶-۱۹۹۵	۱۹۹۶-۲۰۰۳	۲۰۰۴-۲۰۰۸
دوره اعتبارسنجی	ایستگاه ونیار	۱۹۸۶-۱۹۹۵	۱۹۷۶-۱۹۸۵	۲۰۰۴-۲۰۰۸	۱۹۹۳-۲۰۰۳
	ایستگاه آخولا	-	۱۹۹۳-۱۹۹۵	۲۰۰۴-۲۰۰۸	۱۹۹۳-۲۰۰۳
نتایج واسنجی	ایستگاه ونیار	$R^2$ NS	۰٫۵۳ ۰٫۵۲	۰٫۵۵ ۰٫۵۴	۰٫۵۷ ۰٫۵۶
	ایستگاه آخولا	$R^2$ NS	۰٫۵۲ ۰٫۵۱	۰٫۵۴ ۰٫۵۰	۰٫۵۴ ۰٫۵۲
نتایج اعتبارسنجی	ایستگاه ونیار	$R^2$ NS	۰٫۴۶ ۰٫۴۵	۰٫۴۶ ۰٫۲۰	۰٫۴۱ ۰٫۴۰
	ایستگاه آخولا	$R^2$ NS	۰٫۵۵ ۰٫۴۷	۰٫۴۶ ۰٫۱۹	۰٫۳۳ ۰٫۲۱

میلی‌متر (کاربری سال ۱۹۷۶) به ۲۸٫۷ میلی‌متر (کاربری سال ۲۰۰۸) رسیده است. البته، همان‌گونه که دیده می‌شود، عمده اختلافات بعد از سال ۱۹۸۹ به وقوع پیوسته است؛ طوری که اختلاف در حجم آب خروجی از حوضه در اثر تغییر کاربری از وضعیت سال ۱۹۸۹ به سال ۲۰۰۲ حدود ۴۴٫۶ درصد کاهش یافته است. همچنین شکل ۸ و جدول ۹ روند افزایشی تبخیر و تعرق واقعی سالیانه از سال ۱۹۷۶ تا سال ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد؛ طوری که مقدار میانگین سالیانه آن طی دوره سی‌وسه ساله از ۲۲۷٫۸ میلی‌متر (کاربری سال ۱۹۷۶) به ۲۵۸٫۲ میلی‌متر (کاربری سال ۲۰۰۸) رسیده است. در زمینه تبخیر و تعرق واقعی سالیانه نیز، همانند حجم آب خروجی از حوضه، بیشترین اختلاف بین کاربری سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲ است که حدود ۱۱٫۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. تأکید می‌شود در اجرای مدل‌ها فقط کاربری‌ها تغییر کرده و سایر اطلاعات اقلیمی ثابت بوده‌اند. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که افزایش ۳۰۰ درصدی اراضی کشاورزی آبی و کاهش ۴۲ درصدی مراتع از سال ۱۹۷۶ تا سال ۲۰۰۸ باعث شده حجم آب خروجی از حوضه ۵۱ درصد کاهش و تبخیر و تعرق واقعی نیز ۱۳٫۳ درصد افزایش یابد. در جدول ۱۰ این تغییرات با جزئیات بیشتری می‌آید.

## اثر تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبی‌چای

برای بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبی‌چای، مدل SWAT بر مبنای چهار نقشه کاربری اراضی یادشده واسنجی و هر یک به تفکیک برای سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ اجرا شد.<sup>۱</sup> در این مدل، به جز نقشه کاربری اراضی، همه اطلاعات ورودی، از جمله داده‌های هواشناسی، یکسان در نظر گرفته شد. به منظور بررسی تأثیر هر یک از کاربری‌ها بر هیدرولوژی حوضه، مقادیر شبیه‌سازی‌شده حجم آب سالیانه خروجی از حوضه و تبخیر و تعرق واقعی چهار مدل مقایسه شد. نتایج در شکل ۷ و ۸ می‌آید. همچنین در جدول ۹ مقدار متوسط سالیانه بارش، حجم آب خروجی از حوضه، و تبخیر و تعرق واقعی در دوره شبیه‌سازی مدل می‌آید.

همان‌گونه که در شکل ۷ و جدول ۹ ملاحظه می‌شود، تغییر کاربری اراضی از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ موجب افت رواناب حوضه شده است؛ به طوری که مقدار میانگین سالیانه آن در دوره سی و سه ساله، که با مدل شبیه‌سازی شده، از ۵۸٫۶

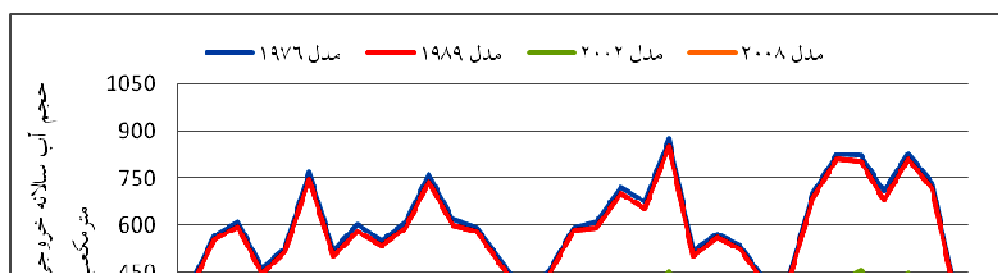
۱. در ادامه منظور از چهار مدل واسنجی SWAT در منطقه مطالعاتی برای چهار لایه کاربری اراضی ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۲، ۲۰۰۸ است.



مارس تا سپتامبر است که فصل عمده رشد منطقه مطالعاتی و تأییدی بر نتایج مدل سازی‌هاست.

همچنین، مقایسه نتایج سالیانه و ماهیانه حجم آب خروجی و تبخیر و تعرق واقعی از حوضه نشان می‌دهد مدل تحت کاربری سال ۱۹۷۶ تفاوت چندانی با سال ۱۹۸۹ ندارد. این مطلب برای سال ۲۰۰۲ نسبت به سال ۲۰۰۸ نیز صدق می‌کند. بیشترین تغییر در کاربری سال ۱۹۸۹ نسبت به سال ۲۰۰۲ رخ داده است. تحلیل تغییرات کاربری اراضی نیز مؤید همین مطلب بود.

در جدول ۱۰ مقدار متوسط ماهیانه بارش، حجم آب خروجی از حوضه، و تبخیر و تعرق واقعی در دوره سی و سه ساله تحت نقشه‌های کاربری مختلف آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ماهی مانند می، که پرآب‌ترین ماه سال است، حجم آب خروجی از حوضه و تبخیر و تعرق واقعی به ترتیب ۴۹/۸ درصد کاهش و ۲۶/۵ درصد افزایش تحت نقشه کاربری سال ۲۰۰۸ نسبت به نقشه کاربری سال ۱۹۷۶ داشته است. در این جدول نیز تفاوت تبخیر و تعرق واقعی ماهیانه بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ قابل توجه است. تفاوت در ماه‌های



Archive of SID

جدول ۱۰. مقادیر متوسط ماهیانه بارش، حجم آب خروجی، و تبخیر و تعرق واقعی از حوضه در کاربری‌های مختلف

ماه	بارش (mm)	تفاوت بین کاربری ۱۹۷۶ و ۲۰۰۸					حجم آب خروجی (mm)					تفاوت بین کاربری ۱۹۷۶ و ۲۰۰۸
		کاربری ۱۹۷۶	کاربری ۱۹۸۹	کاربری ۲۰۰۲	کاربری ۲۰۰۸	تفاوت بین کاربری ۱۹۷۶ و ۲۰۰۸	کاربری ۱۹۷۶	کاربری ۲۰۰۲	کاربری ۱۹۸۹	کاربری ۲۰۰۸		
Jan	۲۲٫۳۱	۲٫۷۱	۲٫۵۸	۱٫۷۹	۱٫۵	-۱٫۲۱	۶٫۱۲	۶٫۲۴	۷٫۰۲	۷٫۱۴	۱٫۰۲	۲۲٫۳۱
Feb	۲۱٫۹۱	۲٫۵۷	۲٫۲۳	۱٫۱۲	۰٫۹۶	-۱٫۶۱	۱۰٫۷۹	۱۰٫۶۵	۱۱٫۲۵	۱۱٫۳۲	۰٫۵۳	۲۱٫۹۱
Mar	۳۳٫۴۵	۵٫۱۱	۴٫۶۵	۱٫۸	۲٫۰۴	-۳٫۰۷	۲۲٫۵۵	۲۲٫۰۳	۲۵٫۶۹	۲۷٫۵۸	۵٫۰۳	۳۳٫۴۵
Apr	۴۹٫۸۳	۱۰٫۷۷	۱۰٫۲۲	۳٫۷۶	۴٫۱۵	-۶٫۶۲	۳۴٫۸	۳۵٫۱۴	۴۰٫۲۳	۴۰٫۵	۵٫۷	۴۹٫۸۳
May	۴۶٫۶۴	۱۲٫۱۸	۱۲٫۱۲	۶٫۴۵	۶٫۱۱	-۶٫۰۷	۴۵٫۹	۴۵٫۱۹	۵۲٫۰۱	۵۰٫۲۵	۴٫۳۵	۴۶٫۶۴
Jun	۱۴٫۱۵	۵٫۲۳	۵٫۵۹	۴٫۹۷	۳٫۹	-۱٫۳۳	۳۸٫۷۶	۳۹٫۹۹	۴۲٫۹۶	۴۳٫۰۸	۴٫۳۲	۱۴٫۱۵
Jul	۸٫۹۲	۲٫۳۶	۲٫۴۳	۲٫۱۹	۱٫۴۵	-۰٫۹۱	۲۲٫۸۶	۲۳٫۵۶	۲۶٫۳۱	۲۶٫۲۹	۳٫۴۳	۸٫۹۲
Aug	۶٫۴۶	۱٫۶	۱٫۵۹	۱٫۱۶	۰٫۷۶	-۰٫۸۴	۹٫۰۱	۹٫۶	۱۰٫۵۱	۱۱٫۴۳	۲٫۴۲	۶٫۴۶
Sep	۵٫۹۱	۱٫۲	۱٫۲	۰٫۷۹	۰٫۵۵	-۰٫۶۵	۵٫۱۱	۵٫۲۵	۵٫۶۳	۶٫۲۳	۱٫۱۲	۵٫۹۱
Oct	۲۴٫۲۸	۳٫۵۱	۳٫۲۲	۱٫۳۲	۱٫۳۳	-۲٫۱۸	۱۲٫۴۵	۱۲٫۵۹	۱۲٫۷۱	۱۲٫۹۱	۰٫۴۶	۲۴٫۲۸
Nov	۳۰٫۹۷	۶٫۶۶	۶٫۳۹	۲٫۹۳	۳٫۰۳	-۳٫۶۳	۱۱٫۸۵	۱۱٫۸۷	۱۲٫۶	۱۲٫۹۴	۱٫۰۹	۳۰٫۹۷
Dec	۲۴٫۳۳	۴٫۸۹	۴٫۸۷	۳٫۳۸	۲٫۹۹	-۱٫۹	۷٫۶	۷٫۶۹	۸٫۴۵	۸٫۵۵	۰٫۹۵	۲۴٫۳۳
جمع کل	۲۸۹٫۱۶	۵۸٫۷۹	۵۷٫۰۹	۳۱٫۶۶	۲۸٫۷۷	-۳۰٫۰۲	۲۲۷٫۸	۲۲۹٫۸	۲۵۵٫۳۷	۲۵۸٫۲۲	۳۰٫۴۲	۲۸۹٫۱۶

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تلاشی بود برای ارزیابی نقش تغییر کاربری اراضی در کاهش ورودی‌های آب به دریاچه ارومیه که در این مرحله فقط حوضه آبی‌چای، به‌منزله یکی از ورودی‌های اصلی به دریاچه، بررسی شد. بدین منظور شبیه‌سازی‌های بارش- رواناب با استفاده از مدل SWAT و اطلاعات گسترده اقلیمی، هیدرولوژیکی، و تصاویر ماهواره‌ای (تهیه‌شده از تحقیق Fathian (2010) جهت تولید نقشه‌های کاربری) در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ انجام شد. نتایج زیر از این تحقیق قابل ارائه است:

خروجی مدل واسنجی‌شده SWAT برای منطقه مطالعاتی تحت چهار لایه کاربری اراضی (سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۲، ۲۰۰۸) نشان داد تغییرات فوق منجر به کاهش قابل ملاحظه ورودی به دریاچه ارومیه شده است؛ به طوری که مقدار آن از ۵۸٫۶ میلی‌متر به ۲۸٫۷ میلی‌متر رسیده است. تأکید می‌شود سطح اراضی کشاورزی آبی در این دوره حدود ۳۰۰ درصد و نمکزار حدود ۳۷۶ درصد افزایش داشته است. البته تفاوت عمده در کاربری سال ۱۹۸۹ نسبت به ۲۰۰۲ بود که حدود ۴۴٫۶

### درصد کاهش را نشان می‌دهد.

مقایسه تبخیر و تعرق واقعی در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ روند افزایشی آن را به میزان ۳۰٫۴ میلی‌متر در این سال‌ها نشان می‌دهد. در این مورد نیز بیشترین اختلاف بین کاربری سال ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۰۲ بوده است و افزایش ۱۱٫۱ درصد را نشان می‌دهد.

نتایج این تحقیق توانایی مدل SWAT را برای چنین ارزیابی‌هایی نشان داد. به‌خصوص امکانات جدید آن در خصوص به‌هنگام‌سازی کاربری اراضی توانست برخی نیازهای محاسباتی خاص آن را پاسخگو باشد.

با توجه به نقش مؤثر تغییرات کاربری اراضی در کاهش جریان ورودی به دریاچه ارومیه پیشنهاد می‌شود راهکارهایی همچون کم‌آبیاری، تغییر بهینه الگوی کشت، و افزایش راندمان آبیاری به منظور تطبیق با شرایط موجود و تأمین نیاز زیست‌محیطی دریاچه از طریق شبیه‌سازی جامع حوضه آبریز بررسی شود.

### REFERENCES

- Ahmadzadeh, H. (2012). Assessment of agricultural water productivity using SWAT model, Case study: Zarineh road Basin, Iran. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran. (In Farsi)
- Arnold, J. G., Allen, P. M., and Bernhardt, G. (1993). A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 142: 47-69.
- Fathian, F. (2010). Assessment of land use changes trend using remote sensing and climate variables in uremia basin. M. Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran. (In Farsi)
- Ghafari, G., Ghodusi, J., and Ahmadi, H. (2009). Assessment of land use changes on basin hydrological response, Case study: Zanjan road basin. *Water and Soil Conservation*, 9(1), 163-180. (In Farsi)
- Gul, G. O., and Rosbjerg, D. (2010). Modeling of hydrologic processes and potential response to

- climate change through the use of multisite SWAT. *Water and Environment Journal*, 24: 21-31.
- Hundecha, Y. and Bardossy, A. (2004). Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a Watershed model. *Journal of Hydrology*, 292: 281-295.
- Jain, S. K., Tyagi, J., and Singh, V. (2010). Simulation of Runoff and Sediment Yield for a Himalayan Watershed Using SWAT Model. *J. Water Resource and Protection*, 2010, 2: 267-281.
- Kepner, W. G., Semmens, D. J., Bassett, S. D., Mouat, D. A., and Goodrich, D. C. (2004). Scenario analysis for the San Pedro River, analyzing hydrological consequences of a future environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 94: 115-127.
- Koch, F. J. (2011). SWAT Optimization for Land Use Dynamics, Automated Land Use, Slope and Soil update in SWAT and its Effects on the Hydrological Response in the Choke Mountain Range (Ethiopia). Master of Science Thesis, Technical University of Cottbus, August 2011.
- Li, Z., Liu, W. Z., Zhang, X. C., and Zheng, F. (2009). Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agriculture catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*, 377: 35-42.
- Naghnilchi, N., Mousavi, J., and Faramarzi, M. (2011). Simulation of climate change impacts on Kharkhe river basin water allocation. In: *Proceedings of 7th International Watershed Engineering*, 17-28Apr., Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran. (In Farsi)
- Nazari, M. Nasiri, S., Chavoshian, S., and Alavinia, M. (2011) Simulation of river inflow in Talar basin using SWAT model. In: *Proceedings of 9th Iranian Hydraulic Conference*, November, Tarbiat modares university, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. (2009). *Soil and Water Assessment Tools. Theoretical Documentation: Version (2009)*.
- Pikounis, M., Varanou, E., Baltas, E., Dassaklis, A., and Mimikou, M. (2003). Application of the SWAT model in the Piniou River basin under different land-use scenarios. *Global Nest: the Int. J.*, 5(2): 71-79.
- Rasuli, A. A. and Adhami, S. (2007). Estimation of Snow water equivalent using MODIS satellite images. *Geography and Development Iranian Journal*, 10, 23-36. (In Farsi)

Archive of SID