پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۴، بهار ۱۴۰۰
صص. ۲۱۳-۲۰۳

بررسی خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز سد لتیان با استفاده از مدل SWAT

شیرین محمدخان- استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
محمد فتح اله زاده*- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، روه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۱ تائید نهایی: ۱۳۹۹/۰۶/۲۷

چکیده

فرسایش حوضه‌های آبریز و بار رسوب رودخانه‌ها، از چالش‌های جدی مدیریت منابع آب کشور است که تبعات منفی در بهره‌برداری از تأسیسات آبی و سدها دارد. از طرفی مقدار رواناب، فرسایش و انتقال رسوب بسته به شرایط هیدرولوژیکی، خاک و پوشش در سطح حوضه تغییر می‌کند و این امر باعث می‌شود که شبیه‌سازی فرایندهای فوق نیازمند ارائه اطلاعات لازم از چگونگی تغییرات مکانی این عوامل باشد. در این راستا بکارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی از جمله مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) می‌تواند کمک زیادی به شناسایی و حفظ ثبات و بازدهی مناسب حوضه های آبریز کند. در این پژوهش با استفاده از مدل SAWT، شبیه‌سازی رواناب و رسوب در بالا دست سد لتیان انجام شد و اثرات آن بر شرایط سد لتیان مورد بررسی قرار گرفت همچنین زیرحوضه‌ها و واحدهای پاسخ هیدرولوژیک منطقه شامل ۳۴ زیر حوضه و ۲۰۶ واحد پاسخ هیدرولوژیک(HRU) استخراج شد. پس از تعیین واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه مورد نظر با استفاده از داده‌های روزانه سینوپتیک، مقدار CN حوضه برابر ۸۲,۱ تعیین شد که به معنای آنست که از ۳۹۵,۹ میلی‌متر بارش سالانه در منطقه، خاک این حوضه تنها توانایی جذب ۱۷,۹ درصد آن را دارد و باقی بارش بر روی سطح به صورت رواناب سطحی و تبخیر و تعرق درمی‌آید. بنابر نتایج مدل مقدار رواناب سطحی حوضه برابر۶۷,۰۶ میلی متر و مقدار تبخیر و تعرق در حوضه آبریز مورد نظر برابر ۱۱۷,۷ میلی متر در سال می‌باشد. همچنین مقدار میانگین رسوب تولیدی در حوضه معادل ۱۲۴۰ میلی‌گرم بر هکتار و بیشینه رسوب تولیدی در حوضه آبریز ۳۳۶۹,۹۳ میلی‌گرم بر هکتار در سال است که ازین مقدار، ۱۲۳۱,۶۵ میلی‌گرم بر هکتار در پایین دست حوضه رسوب می‌کند بنابراین فرسایش آبی و تولید رسوب در حوضه آبریز لتیان قابل توجه است که این امر می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سد لتیان برجا گذارد.

واژگان کلیدی: حوضه آبریز ، لتیان ، هیدروژئومورفولوژی ، SAWT.

* نویسنده مسئول: E-mail: fathallahzadeh.m@ut.ac.ir

مقدمه

فرسایش حوضه‌های آبریز و بار رسوب رودخانه ها، از چالش‌های جدی مدیریت منابع آب کشور است که تبعات منفی در بهره‌برداری از تأسیسات آبی و سدها دارد. از طرفی مقدار رواناب، فرسایش و انتقال رسوب بسته به شرایط هیدرولوژیکی، خاک و پوشش در سطح حوضه تغییر می‌کند و این باعث می‌شود که شبیه‌سازی فرایندهای فوق نیازمند ارائه اطلاعات لازم از چگونگی تغییرات مکانی این عوامل باشد(جیرانی و همکاران، ۱۳۹۰، ۸۱). با توجه به تنوع شرایط توپوگرافی کشور، اکثریت حوضه‌های آبریز به ویژه در مناطق کوهستانی و صعب العبور، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری کافی می‌باشند و از آنجا که از آمار و اطلاعات این ایستگاه‌ها در بخش‌های مختلف مدیریت منابع آب استفاده می‌شود، شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی این حوضه‌ها راه حل بهینه‌ای برای این فقدان داده می باشد(رستمیان، ۱۳۸۷، ۵۱۷). مدل‌های زیادی برای شرح و پیش‌بینی هیدرولوژی حوضه آبریز پیشنهاد شده که از نظر اهداف و مقیاس زمانی و مکانی، بسیار متفاوت‌اند(سیتگن[۱] و همکاران، ۲۰۰۸، ۴۹). تفاوت شرایط و اطلاعات ناقص و نامناسب باعث می‌شود اعتبار مدل و تطابق آن با واقعیت امری دشوار و نسبی شود و بیان اینکه مدلی دقیقاً بیانگر واقعیت است غیرممکن گردد(رفاهی، ۱۳۹۶، ۱۱۷). محدود بودن روش‌های اندازه‌گیری در هیدرولوژی و نیاز به داشتن روشی برای تعمیم آمار موجود به حوضه‌های بدون آمار و یا مکان‌هایی که اندازه‌گیری در آنها امکانپذیر نیست، همچنین شبیه‌سازی تغییرات هیدرولوژیکی آینده، از دلایل اصلی استفاده از مدل‌های شبیه سازی هیدرولوژیکی می‌باشد(بورن[۲]، ۲۰۰۲، ۱۰۷). مدلسازی نیمه توزیعی، ابزاری مفید برای شناسایی مناطق مستعد فرسایش است. به طور کلی استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت تحلیلی مدل‌های هیدرولوژی را افزایش داده است(نارامانگام[۳]، ۲۰۰۸، ۲۱۷). از جمله این مدل‌ها، مدل نیمه توزیعی SAWT است که تاکنون پژوهش‌های متعددی در مناطق مختلف با استفاده از این مدل صورت گرفته است. بیرهانو[۴] و همکاران (۲۰۰۷، ۱۸۲)، عباسپور و همکاران (۲۰۰۷، ۹۵)، لی و همکاران (۲۰۱۰، ۸۲۶)، تیوپد[۵] و همکاران (۲۰۱۰، ۳۱۱۵)، اونیال[۶] و دایتریچ[۷] (۲۰۱۹)، بائوو[۸] و همکاران (۲۰۱۹، ۱۹۸) و لئونگ تان[۹] و همکاران (۲۰۲۰) از جمله کسانی هستند که پژوهش‌های جالب توجهی به کمک این مدل انجام داده‌اند. در این میان افرادی نیز به مطالعهٔ جزئی‌تر فرسایش و رسوب به کمک این مدل پرداختند. ساندیپ داش[۱۰] (۲۰۲۰) در پژوهشی به منظور پویایی فیزیکی جریان آب در مناطق موسمی هند، در فرآیند برآورد تبدیل بارش به رواناب حوضه آبریز با استفاده از SWAT ، مقدار رطوبت خاک را در دو حالت خیس و خشک در نظر گرفت و براساس آن میزان تبخیر و تعرق و تولید رواناب و رسوب را تحت شرایط مرطوب و خشک محاسبه و پیش‌بینی کرد. تعدادی از پژوهشگران ایرانی نیز در زمینه‌های فرسایش و رسوب از این مدل استفاده کرده‌اند که می‌توان به پژوهش رستمیان (۱۳۸۷، ۵۱۷) اشاره کرد که در حوضهٔ بهشت آباد، دبی و رسوب را با مدل SAWT مورد مطالعه قرار داده است. عمانی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از این مدل در حوضهٔ آبریز قره‌سو، نقشهٔ فرسایش زیر حوضه‌ها، پتانسیل فرسایش خاک و نواحی حساس به فرسایش را تعیین کرده‌اند. طالبی‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) دو روش SAWT و شبکه عصبی را در برآورد بار رسوب حوضهٔ

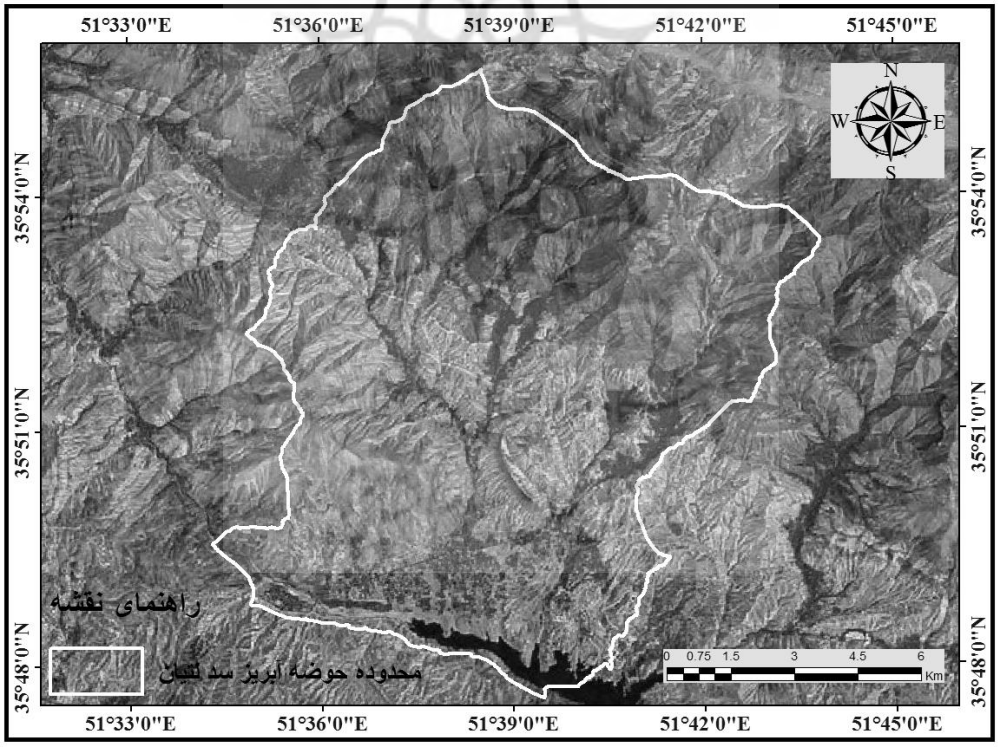
---

۱. Setegn.
۲. Burn.
۳. Naramangam.
۴. Birhanu.
8. Tuppad.
۶. Uniyal.
۷. Dietrich.
۸. Bauwe.
۹. Leong Tan.
۱۰. Sandeep Dash.

کسیلیان به کار برده و بر توانایی بیشتر مدل SAWT در برآورد مقادیر بالای رسوب اشاره نموده‌اند. احمدآبادی و همکاران(۱۳۹۷، ۱۰۳) در پژوهشی با استفاده از مدل SAWT به پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن براساس مدل ریز مقیاس نمایی آماری پرداختند و بدینوسیله میزان رواناب سطحی این منطقه را تا سال ۲۰۴۵ برآورد کردند. در این پژوهش با استفاده از مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SAWT) ،شبیه‌سازی رواناب و رسوب در بالا دست سد لتیان انجام می‌شود و اثرات آن بر شرایط سد لتیان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبریز لتیان شامل بخش‌های شمالی سد لتیان و قسمت های جنوبی شهر لواسان است که در حد فاصل عرض جغرافیایی۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۱ درجه ۳۴ دقیقه و ۱۱ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه قرار گرفته است. این منطقه نسبتا کوهستانی بوده و دارای ارتفاع متوسط ۲۲۴۷ متر می‌باشد. رودخانه جاجرود مهمترین رواناب سطحی و دائمی این حوضه و تأمین‌کننده اصلی آب سد لتیان است. رودخانه‌های کُندرود (لوارک)، افچه و برگ جهان از دیگر رودخانه‌های جاری در این حوضه آبریز هستند. این حوضه به دلیل قرار گرفتن سد لتیان در پایین دست آن به منظور تأمین آب آشامیدنی شهر تهران از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است(شکل۱).



شکل۱: تصویر هوایی از موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد لتیان

روش تحقیق

در مدیریت حوضه آبریز ارزیابی سناریوهای مختلف و انتخاب عملکرد مدیریتی مناسب برای بخش‌های مختلف حوضه بالاترین تاثیر را در برنامه‌ریزی طولانی مدت حوضه و ایجاد پایداری منابع آب خواهد داشت. در این راستا بکارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی از جمله مدل SAWT می‌تواند کمک زیادی به شناسایی و حفظ ثبات و بازدهی مناسب حوضه های آبریز کند. SAWT یک مدل فیزیکی و نیمه‌توزیعی است که برای پیش‌بینی اثر تغییر کاربری، تغییر اقلیم و مدیریت آب در حوضه‌های آبریز بزرگ و پیچیده توسعه داده شده است. SAWT یک مدل فیزیکی است و به جای آنکه از معادلات

رگرسیونی جهت توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده نماید اطلاعات ویژه‌ای راجع به اقلیم، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پوشش اراضی در حوضه آبریز دریافت می‌کند. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوب، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی در این مدل به طور مستقیم از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند. مزایای این روش آن است که: ۱- حوضه‌های فاقد داده‌های برداشت شده (اطلاعات اندازه‌گیری جریان) نیز قابل شبیه‌سازی هستند. ۲- تاثیر نسبی اطلاعات ورودی(تغییر در روش‌های مدیریتی، آب و هوا و پوشش گیاهی) بر روی کیفیت آب و دیگر متغیرهای مورد نظر قابل کمّی کردن می‌باشند. مدلSAWT از پارامترهای ورودی آسان و قابل دسترس استفاده می‌کند و از نظر محاسباتی بسیار کارآمد است. شبیه‌سازی بزرگ و پیچیده، با استراتژی‌های مختلف مدیریتی بدون صرف زمان و هزینه زیادی در آن قابل اجرا است، کاربر را قادر به مطالعه بلند مدت تاثیرات می‌کند. مدل SAWT دارای پارامترهای متعددی از جمله چندین متغیر خروجی و یک ساختار چندگانه برای تعیین مقدار تابع هدف می‌باشد. در این مدل با انجام آنالیز حساسیت می‌توان پارامترهای مهم و حساس را شناسایی کرد و با تمرکز بر روی آنها واسنجی مدل را سریعتر انجام داد. میزان تغییر خروجی مدل به ازای تغییر در میزان ورودی‌های آن را حساسیت سنجی می‌گویند. تحلیل حساسیت شامل وارد کردن یک دامنه از مقادیر برای ورودی‌های خاص و مشاهدهٔ تغییرات در مقادیر خروجی مدل است. متغیری که تغییرات کم آن باعث تغییر قابل توجه در خروجی مدل می‌شود، متغییر حساسیت نامیده می‌شود. بدلیل تاثیر این نوع متغیرها بر خروجی مدل، محاسبه و اندازه‌گیری آنها باید با دقت زیادی صورت گیرد. تحلیل حساسیت روش مناسبی برای تعیین رفتار مدل در مقابل ورودی‌های آن می‌باشد(انصاری، ۱۳۹۴).

در این مدل زیر حوضه ها با توجه به خصوصیات و ویژگی‌هایشان به بخش‌های کوچکتری به نام واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی(HRU) تقسیم می شوند(ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹). واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی براساس نقاط متقاطع لایه‌های رستری یا وکتوری مربوط به کاربری‌های زمین، انواع خاک‌ها، توپوگرافی و زیر حوضه‌ها فراهم می‌آیند. همچنین از نقشه‌های خطی مربوط به نهرآب‌ها و شبکه‌های زهکشی رودخانه‌ها نیز می‌توان برای ایجاد HRU استفاده کرد(لاگاچیر[1] و همکاران، ۲۰۱۰). تقسیم‌بندی زیر حوضه ها با توجه به ویژگی های پوشش سطحی، مدیریت اراضی و خصوصیات خاک صورت می گیرد. محاسبات در مدل SAWT برای تعیین HRU ها با استفاده از رابطه شماره(۱) انجام می گیرد(ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹).

رابطه (۱):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(Rday - Qsurf - Ea - Wseep - Qgw)$$

SW_t= مقدار نهایی آب خاک (mm)

SW_0= مقدار اولیه آب خاک در روز i ام(mm)

t = زمان (روزانه)

$Rday$= مقدار بارش در روز i ام (mm)

$Qsurf$= مقدار رواناب سطحی در روز i ام (mm)

Ea= مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (mm)

$Wseep$= مقدار آب ورودی از زون غیر اشباع در نیمرخ خاک در روز i ام (mm)

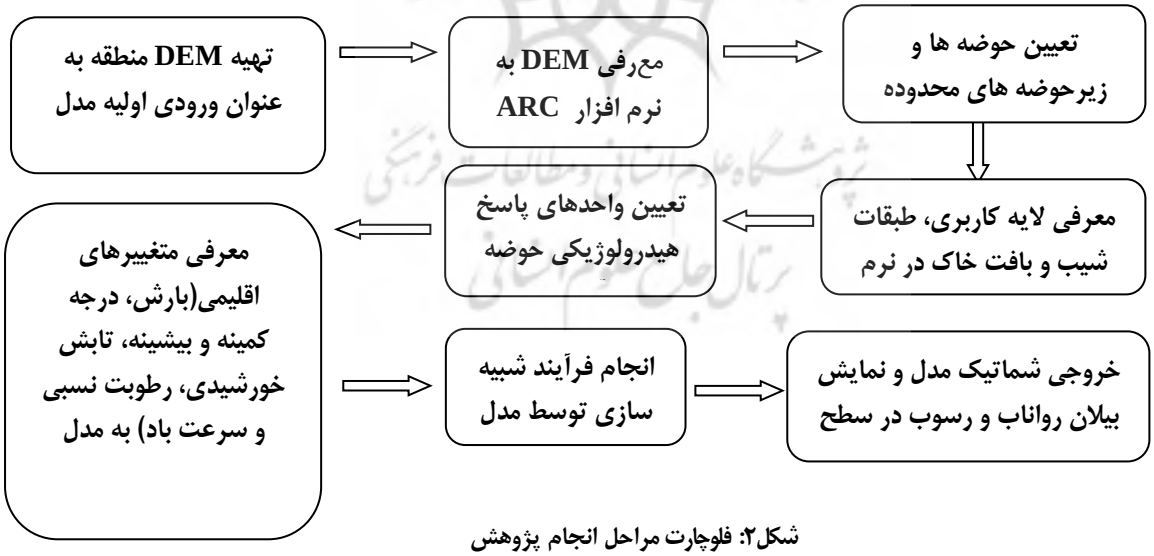
[1]. Lagacherie.

Qgw= مقدار جریان بازگشتی در روز i ام (mm)

این مدل همچنین از روش عدد منحنی اصلاح شده یا روش نفوذ گرین-آمپت جهت محاسبه حجم رواناب سطحی برای پاسخ هیدرولوژیکی استفاده می کند(گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱).

خصوصیات مدل SWAT

در مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز به زیرحوضه‌های کوچکتر تقسیم می‌شود. مدل SWAT با استفاده از داده‌های توپوگرافی در قالب مدل رقومی ارتفاع(DEM) و با توجه به تغییرات ارتفاع، حوضه را به تعدادی زیرحوضه تقسیم می‌کند. ورودی‌های مدل شامل خصوصیات هیدرولوژیکی و توپوگرافیک، عناصر اقلیمی، ویژگی خاک و کاربری اراضی و خروجی‌های مدل شامل واحدهای پاسخ هیدرولوژیک، میزان رواناب سطحی و مقادیر رسوب می‌باشد. تقسیم حوضه آبریز به زیرحوضه‌ها این امکان را فراهم می‌سازد که تغییرات و تفاوت‌ها در میزان تبخیر و تعرق برای هر نوع خاک و کاربری زمین مشخص و قابل اندازه‌گیری باشد. از سوی دیگر میزان رواناب به طور جداگانه برای هر یک از واحدهای پاسخ هیدرولوژیک محاسبه و در نهایت میزان رواناب کل برای حوضه آبریز تعیین و مشخص می‌شود. در یک حوضهٔ آبریز، اقلیم منطقه تامین‌کنندهٔ رطوبت و انرژی لازم برای تعادل آبی در سیستم است و اهمیت اجزای مختلف چرخه هیدرولوژی را تعیین می‌کند. متغییرهای اقلیمی مورد نیاز برای اجرای مدل SWAT عبارتند از: بارش روزانه(که مدل براساس متوسط درجه حرارت روزانه آن را به صورت باران یا برف طبقه‌بندی می‌کند)، درجه حرارت کمینه و بیشینه، تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی روزانه. این متغیرها که جز آمار و اطلاعات ورودی مدل هستند یا توسط مقادیر مشاهده‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه بدست می‌آیند و یا در صورت نبود ایستگاه در نزدیکی منطقهٔ مورد نظر توسط خود مدل با توجه به خصوصیات جغرافیایی و توپوگرافی منطقه شبیه‌سازی و بکار گرفته می‌شوند(شکل۲).

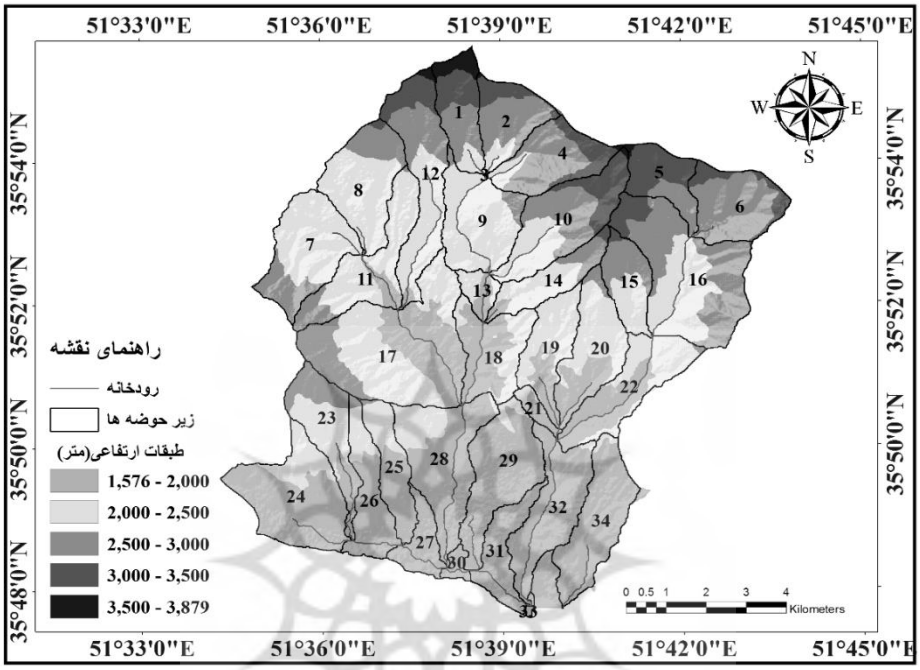


شکل۲: فلوچارت مراحل انجام پژوهش

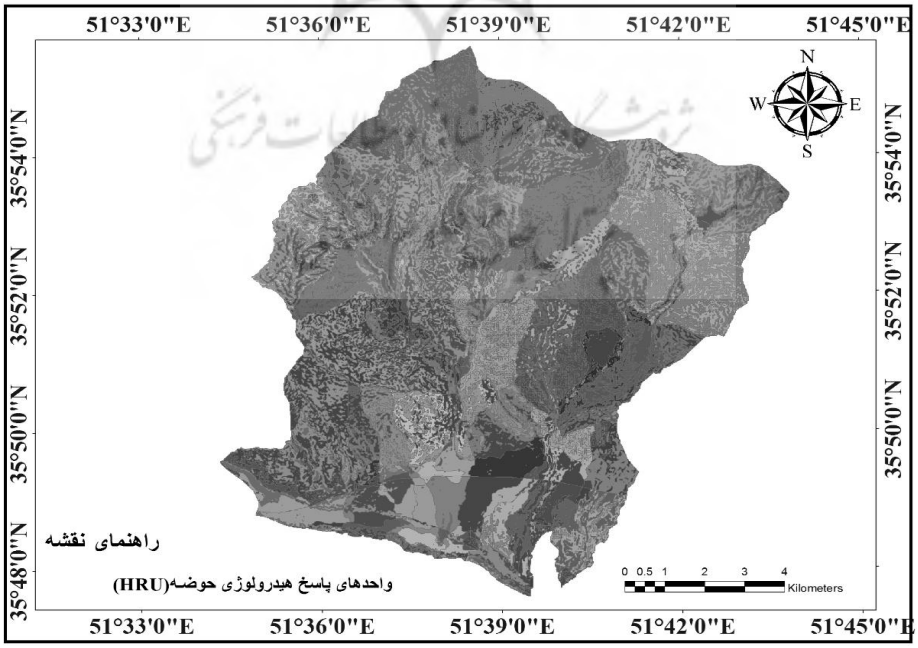
بحث و نتایج

اطلاعات ورودی مدل SWAT شامل مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی، خصوصیات خاک و داده‌های هواشناسی شامل بارش، کمینه و بیشنه دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و میزان تابش دریافتی به صورت روزانه می‌باشد. برای حوضه آبریز لتیان از DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۲,۵متر مستخرج از تصویر ماهواره‌ای ALOS PALSAR ، لایه وکتوری کاربری اراضی و بافت خاک منطقه لواسانات با دقت مناسب و ایستگاه‌های سینوپتیک لویزان و شمیران استفاده شد. براساس نقشه کاربری اراضی در منطقه، ۴ کاربری متفاوت شامل مرتع، منطقه مسکونی، باغ و دریاچه وجود دارد که با

توجه به وجود دو کلاس مختلف خاک در منطقه و سه کلاس شیب ۰تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰ و بیشتر از ۶۰ درجه زیرحوضه ها و واحدهای پاسخ هیدرولوژیک منطقه استخراج شد که شامل ۳۴ زیر حوضه و ۲۰۶ واحد پاسخ هیدرولوژیک می باشد(شکل۳و۴).

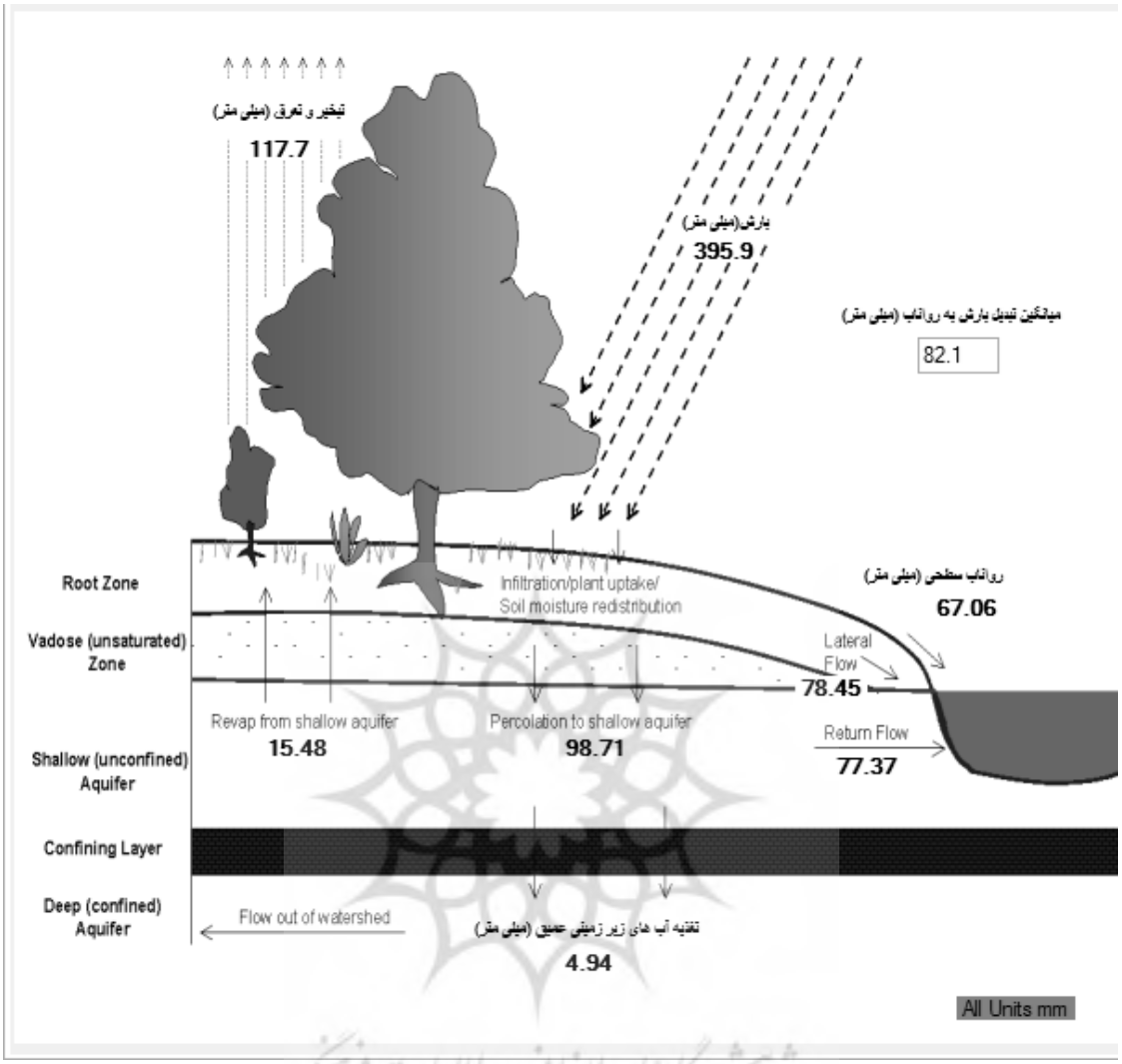


شکل۳: موقعیت و ارتفاع زیر حوضه‌های منطقه لتیان



شکل۴: واحدهای پاسخ هیدرولوژی (HRU)حوضه آبریز لتیان

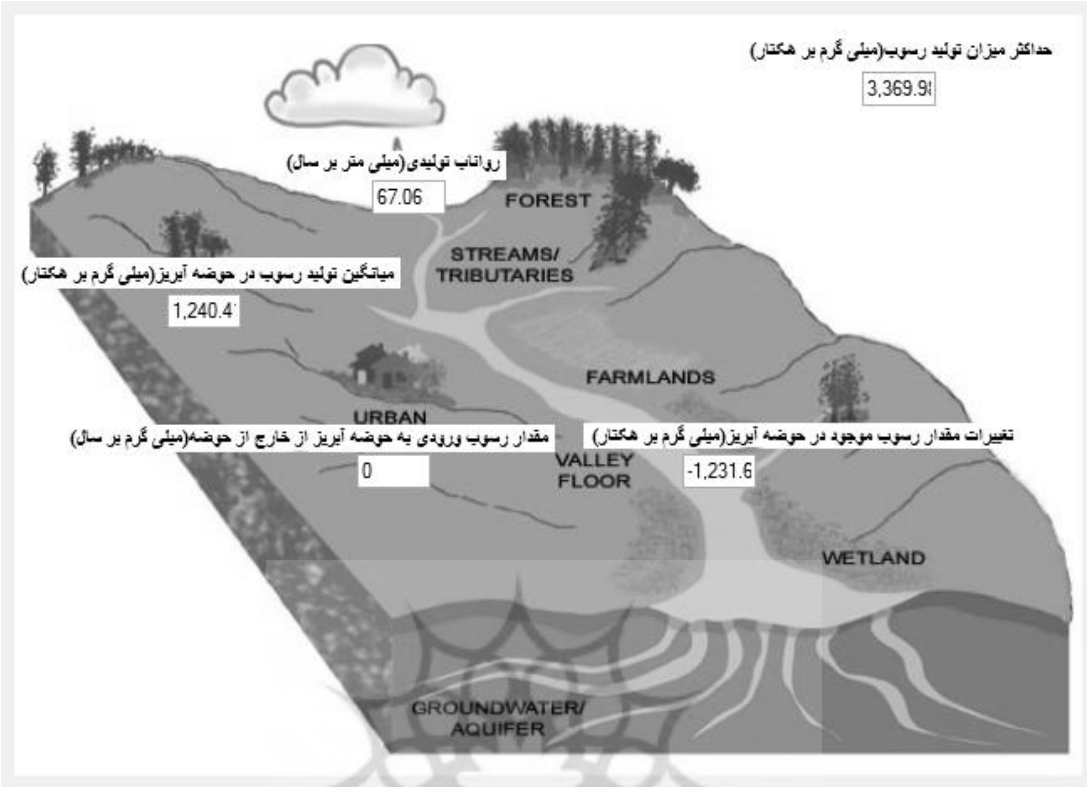
پس از تعیین واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی منطقه، با استفاده از خصوصیات کاربری زمین و بافت خاک، توسط داده‌های روزانه سینوپتیک با دوره زمانی۱۰ ساله لویزان و ۳۰ ساله شمیران چرخه هیدرولوژیک حوضه آبریز لواسان استخراج و شبیه‌سازی شد(شکل۵).



شکل۵: چرخه هیدرولوژیکی شبیه سازی شده توسط مدل SWAT در حوضه آبریز لتیان

همانطور که در شکل۵ مشخص است مقدار CN حوضه برابر ۸۲,۱ است که با توجه به تعریف CN به معنای آنست که از ۳۹۵,۹ میلی‌متر بارش سالانه، خاک این حوضه تنها توانایی جذب ۱۷,۹ درصد آن را دارد و باقی بارش بر روی سطح به صورت رواناب سطحی و تبخیر و تعرق درمی‌آید که مقدار نسبتا بالایی است و در توجیه آن می‌توان به موقعیت کوهستانی حوضه که موجب شیب زیاد زمین در کنار خاک تکامل نیافته و همراه با سنگ‌ریزه در سطح حوضه اشاره کرد که موجب کاهش نفوذ شده و حوضه آبریز را مستعد رخداد سیلاب می‌کند البته وجود سد لتیان در پایین دست حوضه نگرانی ناشی از خطر سیلاب را مرتفع می‌کند. همچنین طبق مدل به دست آمده مقدار رواناب سطحی حوضه برابر۶۷,۰۶ میلی متر و مقدار تبخیر و تعرق در حوضه آبریز مورد نظر برابر ۱۱۷,۷ میلی متر می باشد .

یکی دیگر از خروجی‌های مدل SWAT شبیه‌سازی و برآورد میزان رسوب در حوضه آبریز است که براساس خصوصیات کاربری زمین، خاک و شیب و میزان رواناب سطحی حوضه مشخص و تعیین می شود(شکل ۶).



شکل۶: بیلان رسوب شبیه سازی شده توسط مدل SWAT در حوضه آبریز لتیان

طبق شکل۶ با روانابی معادل ۶۷,۰۶ میلی متر بر سال، مقدار رسوب میانگین تولیدی در حوضه معادل ۱۲۴۰,۴۱ میلی‌گرم بر هکتار و بیشینه رسوب تولیدی در حوضه آبریز ۳۳۶۹,۹۳ میلی‌گرم بر هکتار است که از این مقدار، ۱۲۳۱,۶۵ میلی‌گرم بر هکتار در پایین دست حوضه، رسوب می‌کند. برای صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی SWAT در برآورد رسوب تولیدی حوضه آبریز سد لتیان از داده‌های رسوب‌سنجی ۲۰ ساله ایستگاه هیدرومتری رودخانه جاجرود به عنوان بزرگترین رودخانه جاری در منطقه استفاده شد که مقدار میانگین سالیانه آن حدود ۹۸۴,۷ میلی‌گرم بر هکتار می‌باشد که با توجه به وجود رودخانه‌های کُندرود (لوارک)، افچه و برگ جهان در کنار رودخانه جاجرود در تغذیه سد لتیان می توان گفت مقدار برآورد توسط مدل به مقدار واقعی نزدیک است. بنابراین فرسایش آبی و تولید رسوب در حوضه آبریز لتیان قابل توجه است که این امر می‌تواند اثرات نامطلوبی بر آب سد لتیان برجا گذارد(شکل۷).

شکل۷: وجود رسوبات معلق فراوان در پشت دیواره سد لتیان که موجب گل‌آلود شدن آب خروجی از سد می شود

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل SWAT خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز سد لتیان مورد بررسی قرار گرفت که براساس نتایج بدست آمده در منطقه، ۴ کاربری متفاوت شامل مرتع، منطقه مسکونی، باغ و دریاچه وجود دارد که با توجه به وجود دو کلاس مختلف خاک در منطقه و سه کلاس شیب ۰تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰ و بیشتر از ۶۰ درجه زیرحوضه ها و واحدهای پاسخ هیدرولوژیک منطقه استخراج شد که شامل ۳۴ زیر حوضه و ۲۰۶ واحد پاسخ هیدرولوژیک می باشد. پس از تعیین واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه مورد نظر با استفاده از داده‌های روزانه سینوپتیک، مقدار CN حوضه برابر ۸۲,۱ محاسبه شد. با توجه به مقدار CN از ۳۹۵,۹ میلی‌متر بارش سالانه، خاک این حوضه تنها توانایی جذب ۱۷,۹ درصد آن را دارد و باقیمانده بارش بر روی سطح به صورت رواناب سطحی و تبخیر و تعرق درمی‌آید. در توجیه مقدار نسبتا بالای رواناب تولیدی حوضه می‌توان به موقعیت کوهستانی حوضه اشاره کرد که موجب شیب زیاد زمین در کنار خاک تکامل نیافته و همراه با سنگ‌ریزه در سطح حوضه شده است. این خصوصیات موجب کاهش نفوذ قابل توجه در سطح حوضه آبریز شده است و خطر رخداد سیلاب را افزایش می دهد که احداث سد لتیان در پایین دست حوضه موجب مهار سیلاب برخواسته از بالا دست می‌شود. بنابر نتایج مدل مقدار رواناب سطحی حوضه برابر۶۷,۰۶ میلی متر و مقدار تبخیر و تعرق در حوضه آبریز مورد نظر برابر ۱۱۷,۷ میلی متر می باشد. همچنین مقدار رسوب میانگین تولیدی در حوضه معادل ۱۲۴۰,۴۱ میلی‌گرم بر هکتار و بیشینه رسوب تولیدی در حوضه آبریز ۳۳۶۹,۹۳ میلی‌گرم بر هکتار است که ازین مقدار، ۱۲۳۱,۶۵ میلی‌گرم بر هکتار در پایین دست حوضه رسوب می‌کند بنابراین فرسایش آبی و تولید رسوب در حوضه آبریز لتیان قابل توجه است که این امر می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سد لتیان برجا گذارد. با توجه به نتایج بدست آمده و تعیین مقدار میانگین رواناب و رسوب وارد شده به سد، می‌توان شرایط سد را در بارش‌های ناگهانی تعیین و از مخاطرات احتمالی جلوگیری کرد. از طرفی کاهش ورود رسوبات به مخزن سد و آثار نامطلوب آن بر ذخیره سازی آب، با شناسایی مناطق تولید رسوب بیشینه و اصلاح اراضی در بالا دست حوضه آبریز امکانپذیر است.

منابع

- احمدآبادی، ع.، صدیقی فر، ز.، ۱۳۹۷. پیش بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن براساس مدل ریز مقیاس نمایی آماری، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هجدهم، شماره ۱۵، صص ۱۱۴-۱۰۳.
- انصاری، م.، ۱۳۹۴. بررسی اثرات مدیریت خاک بر میزان رواناب و رسوب با استفاده از مدل *SWAT* و مقایسه روش ارزیابی چند معیاره *MCE* با مدل *SWAT* در پهنه بندی مناطق حساس به فرسایش خاک در حوضه معرف رود زرد، رساله دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- جیرانی، ف.، مرید، س.، مریدی، ع.، ۱۳۹۰. اثر دقت مکانی نقشه رقومی ارتفاع در واسنجی و برآورد رواناب و رسوب با استفاده از مدل *SWAT-CUP* ، پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۱۸، شماره ۴، صص ۸۱-۱۰۱.
- ذهبیون، ب.، گودرزی، م.، مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۹. کاربرد مدل *SWAT* در تخمین رواناب حوضه در دوره های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال اول، شماره ۳و۴، صص ۴۵-۶۰.
- رستمیان، ر.، موسوی، ف.، حیدرپور، م.، افیونی، م.، عباسپور، م.، ۱۳۸۷. کاربرد مدل *SWAT2000* در تخمین رواناب و رسوب حوضه بهشت‌آباد از زیرحوضه‌های کارون شمالی ، پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۱۲، شماره ۴۶، صص ۵۱۷-۵۳۱.
- رفاهی، ح.، ۱۳۹۶. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۱۷.
- طالبی زاده، م.، مرید، س.، ۱۳۸۷. کالیبراسیون و آنالیز عدم قطعیت یک مدل هیدرولوژی(*SWAT*) با روش *SUFI 2* در برآورد غلظت رسوب، سومین کنفرانس منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز.
- عمانی، ن.، تجریشی، م.، ابریشم چی، الف.، ۱۳۸۵. شبیه سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل *SWAT*، *GIS*، هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- گودرزی، م.، ذهبیون، ب.، مساح بوانی، ع.، کمالی، ع.، ۱۳۸۹. مقایسه عملکرد سه مدل *SWAT*، *IHACRES* و *SIMHYD* در شبیه سازی رواناب حوضه قره سو، مدیریت آب و آبیاری، شماره ۲، جلد۱، صص ۲۵-۴۰.
- *Abbaspour, k.c., 2007. User manual for swat-cup, swat calibration and uncertainly analysis programs,* Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland, p. 95.
- *Bauwe, Andreas& Eckhardt, Kai-Uwe& Lennartz, Bernd., 2019. Predicting dissolved reactive phosphorus in tile-drained basins using a modified SWAT model*, Ecohydrology & Hydrobiology, 19(2), pp. 198-209.
- *Birhanu, B, Z& Ndomba, P.M and Mtalo, F.W., 2007. Application of SWAT for Mountainous Basin,* FWU Water Resources Publications, 1613(1045), pp: 182-187.
- *Burn HB, Elnur MAH., 2002. Detection of hydrologic trends and variability,* Journal of Hydrology, 255, pp. 107 -122.
- *Ficklin, Darren L& Luo, Yuzhou& Luedeling, Eike and Zhang, Minghua., 2009. Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT,* Journal of Hydrology, 374, pp. 16–29.
- *Lagacherie, P& Rabotin, M& Colin, F& Moussa, R and Voltz, M., 2010. Geo-MHYDAS: A landscape discretization tool for distributed hydrological modeling of cultivated areas,* Computers & Geosciences, 36, pp. 1021-1032.
- *Lee, M& Park G& Park M& Park J.Y& Lee, J and Kim S., 2010. Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery,* Journal of Environmental Sciences, 22(6), pp. 826-833.

- *LeongTan, Mou& Gassman, Philip. W& Yang, Xiaoying and Haywood, James., 2020. A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes,* Advances in Water Resources, 143.
- *Naramangam, S., 2008. Modeling the impacts of agricultural management practices on water quality in the little Miami River Basin, PhD Dissertation in Geography, University of Cincinati, p. 217.*
- *Sandeep Dash, Sonam& Sahoo, Bhabagrahi& Raghuwanshi, Narendra Singh., 2020. A novel embedded pothole module for Soil and Water Assessment Tool (SWAT) improving streamflow estimation in paddy-dominated basins, Journal of Hydrology, 588.*
- *Setegn, S.G& Srinivasan, R and Dargahi, B., 2008. Hydrological Modelling in the Lake Tana Basin, Ethiopia Using SWAT Model, The Open Hydrology Journal, 2, pp. 49-62.*
- *Tuppad, P& Kannan, N& Srinivasan, R& Rossi, C.G and Arnold, J.G., 2010. Simulation ao Agricultural Management Alternatives for Watershed Protectio, Water Resour Manage, 24, pp. 3115-3144.*
- *Uniyal, Bhumika and Dietrich, Jörg., 2019. Modifying Automatic Irrigation in SWAT for Plant Water Stress scheduling, Agricultural Water Management, 223.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی