

## تأثیر تغییر کاربری اراضی بر مقدار رواناب در حوضه آبخیز چالوس رود

مهدی وفاخواه<sup>۱\*</sup>، محمدرضا جوادی<sup>۲</sup>، جوانشیر نجفی مجد<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۶/۳۰)

## چکیده

به دلیل اهمیت تأثیر تغییر کاربری اراضی بر تغییر رواناب، تاکنون مطالعات متعددی برای توسعه مدل‌های با رویکرد شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته است. در این تحقیق از مدل L-THIA برای تخمین رواناب ناشی از تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز چالوس استفاده شد. نتایج مدلسازی رواناب با استفاده از مدل L-THIA در حوضه آبخیز چالوس نشان داد که عمق رواناب به ترتیب از ۴۲۲/۹۸ به ۸۰۹/۱۶۸ میلی‌متر طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۹ رسید که بیانگر افزایش ۳۶۸/۱۸۸ میلی‌متری عمق رواناب طی ۱۶ سال است؛ از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ نیز از ۸۰۹/۱۶۸ به ۸۲۵/۴۹۴ میلی‌متر رسید که بیانگر افزایش ۱۶/۳۲۶ میلی‌متری طی ۶ سال است. نتایج به دست آمده بیان می‌کند که در حوضه آبخیز چالوس کاهش مساحت اراضی جنگلی به میزان ۳۵۲۷/۱۳ هکتار از ۵۸۹۰۷/۳۱ هکتار به ۵۵۳۸۰/۰۸ هکتار و افزایش مناطق شهری به میزان ۷۷۵۷/۵۸ هکتار از ۳۶۲/۵۰ هکتار به ۸۱۲۰/۰۸ هکتار و افزایش اراضی بایر به میزان ۲۳۱۷۶/۰۱ هکتار از ۷۲۰/۲۹ هکتار به ۲۳۹۹۶/۳ هکتار سبب افزایش عمق رواناب سطحی شده است. همان‌طور که از نتایج این تحقیق بر می‌آید مدل L-THIA قابلیت مناسبی در بیان نحوه اثر تغییر کاربری بر مقادیر حجم و عمق رواناب دارد. این مدل با ارائه نقشه توزیع مکانی رواناب، امکان شناسایی مناطق حادثه‌خیز، پهنه‌بندی سیل و همچنین مدیریت سیل را فراهم می‌سازد.

**واژه‌های کلیدی:** استان مازندران، تصاویر ماهواره‌ای، مدل بارش-رواناب، مدل سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS)، مدلسازی.

## مقدمه

حیات بشر روی کره زمین موجب بروز تحولات عظیمی بر سطح زمین شده است که از آن جمله می‌توان به تخریب جنگل‌ها و مراتع در سطح وسیع و ایجاد زمین‌های کشاورزی دیم اشاره کرد. این عوامل تأثیر زیادی در سیل‌خیزی دارند. با پیشرفت علوم و فناوری در زمینه سیل، سیاست‌ها و برنامه‌های علمی جدیدی در خصوص کاهش خطر سیلاب به‌وجود آمده است. تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز تأثیرهایی مانند تغییر خصوصیات دبی اوج، تغییر حجم کل رواناب، تغییر کیفیت آب و تغییر تعادل هیدرولوژیک دارد [۱]. با توجه به اینکه برای جلوگیری از بروز این‌گونه پدیده‌های زیانبار در حال حاضر نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد کرد، هر گونه راه‌حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه‌های آبخیز جست‌وجو کرد [۲]. در یک اکوسیستم طبیعی، بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در شرایط به‌ویژه پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم، بر پاسخ‌های هیدرولوژی مانند جاری شدن سیلاب و میزان فرسایش و رسوب منطقه تأثیرگذار است، زیرا کاربری اراضی و پوشش زمین از عوامل اصلی در مطالعات منابع آب و فرسایش و رسوب حوضه آبخیزند [۲۷]. در زمینه تأثیرات کمی تغییرات کاربری اراضی بر مقدار رواناب حوضه در مناطق مختلف جهان و ایران تحقیقاتی انجام گرفته است. چوی و دیل تأثیرات هیدرولوژیکی تغییر کاربری اراضی را با استفاده از مدل‌سازی تغییرات هیدرولوژیکی و کاربری اراضی برای حوضه رودخانه کیشواکی در نیمه غربی آمریکا ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌سازی شبیه‌سازی پویا به‌وسیله الحاق یک مدل تغییر کاربری اراضی توزیعی و یک مدل هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی می‌تواند ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری مفیدی باشد [۱۳]. یانگ و همکاران برای تعیین تأثیرات بلندمدت شهرسازی منطقه‌ای بر رواناب آلودگی از منابع غیرنقطه‌ای از L-THIA<sup>۱</sup> استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در دوره زمانی ۲۰۰۳-۱۹۸۷ اراضی مسکونی ۳۰/۴ درصد افزایش یافته است. همچنین ترکیب یک مدل رگرسیون و L-THIA ابزار پشتیبان مفیدی برای برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای

فراهم می‌کند [۲۹]. محمد و همکاران تأثیر تغییر کاربری بر رواناب سطحی در حوضه آبخیز لایب‌نولاه در اسلام‌آباد پاکستان را با استفاده از HEC-HMS بعد از واسنجی و ارزیابی بررسی کردند و دریافتند که کاربری اراضی آینده سبب افزایش ۵۱/۶ تا ۱۰۰ درصدی مقدار کل رواناب خواهد شد [۲۲]. فوکس و همکاران تأثیر تغییر کاربری اراضی را بر مقدار کل رواناب در بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۳ در حوضه آبخیز مدیترانه‌ای در نزدیک سنت‌روپه در فرانسه بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که تغییر کاربری اراضی بیشتر در مناطق دشتی اتفاق افتاده و کاربری اراضی شهری از ۳۰/۱ هکتار به ۳۹۳/۸ هکتار در بین سال‌های فوق افزایش یافته است که این افزایش در اثر تغییر کاربری اراضی روستایی به شهری اتفاق افتاده است. اما تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب کم ارزیابی شده است [۱۶]. مالیم و همکاران تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب و رسوب را با استفاده از مدل GeoWEPP در حوضه آبخیز لسیور در ایالت مینه‌سوتا در آمریکا بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که بالاترین ارتفاع رواناب در کاربری شهری ۲۱۱/۴ میلی‌متر است؛ در حالی که قبل از تغییر کاربری اراضی، کاربری اراضی جنگلی با ۹۱/۹ میلی‌متر بالاترین ارتفاع رواناب تولیدی را داشته است. الگوی مدیریت اراضی کشاورزی و تغییر کاربری اراضی در رواناب تولیدی تأثیر زیادی داشته‌اند. ارتفاع رواناب تولیدی ۸۵/۹۷، ۷۳/۷۵ و ۷۰/۹۴ میلی‌متر به ترتیب برای سناریوهای شخم با مالچ گیاهی، بدون شخم و کشاورزی نکردن قبل از فصل رشد پوشش گیاهی به‌دست آمد [۲۰]. ساجکومار و رمیا تأثیر تغییر پوشش گیاهی و کاربری اراضی را بر خصوصیات رواناب با استفاده از مدل SWAT در دو حوضه آبخیز در کرالا در هند بررسی کردند و دریافتند که سطح اراضی جنگلی به میزان ۶۰ و ۳۲ درصد در حوضه‌های بررسی شده کاهش یافته است. اما مقدار و حداکثر رواناب سطحی به ترتیب ۲۰ و ۱۵ درصد افزایش یافته است که با میزان تغییر در سطح اراضی جنگلی مقایسه‌شدنی نیست [۲۶]. گومیندوگا و همکاران تأثیر تغییر کاربری اراضی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سه سال ۱۹۷۳، ۱۹۸۶ و ۲۰۰۱ و مدل TOPMODEL در حوضه آبخیز جیلجل‌ابای بالایی اتیوپی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اراضی کشاورزی در سه دوره زمانی

### مواد و روش‌ها

#### خصوصیات منطقه تحقیق

حوضه آبخیز رودخانه چالوس بخشی از حوضه آبریز بزرگ چالوس و یکی از زیرحوضه‌های هفت‌گانه حوضه آبخیز دریای خزر است. این حوضه آبخیز در مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و ۵۶ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۱ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. حوضه آبخیز رودخانه چالوس از غرب به حوضه آبریز رودخانه سردآبرود، از شرق به حوضه آبریز رودخانه کورکورسر، از جنوب به حوضه آبریز کرج و از شمال به دریای مازندران منتهی می‌شود. مساحت آن حدود ۱۵۱۶۲۰/۶۰ هکتار و محیط آن حدود ۲۱۰/۶۶ کیلومتر است [۹، ۱۰].

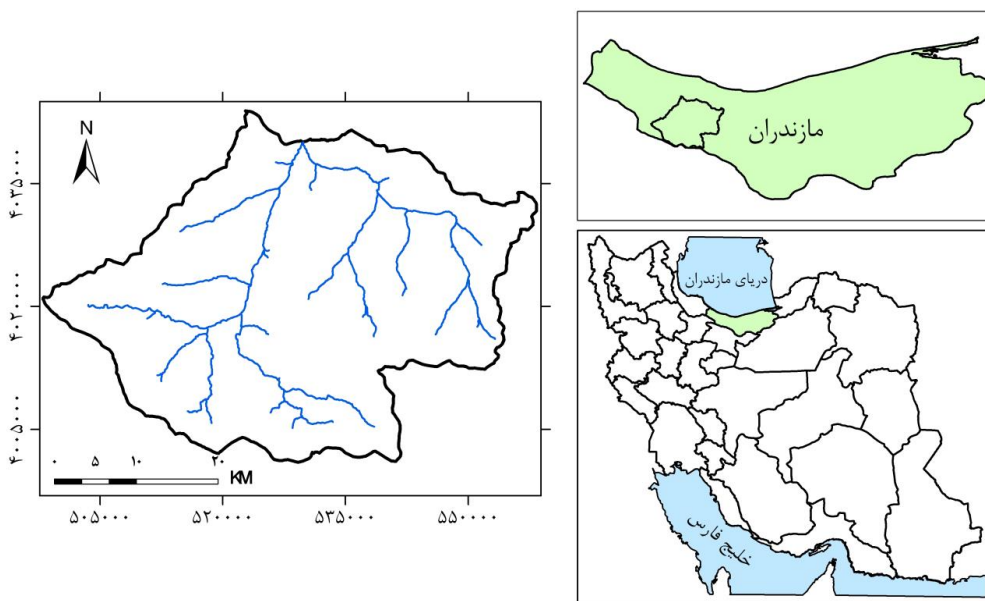
#### روش تحقیق

در این تحقیق برای رسیدن به هدف با استفاده از مدل ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیکی بلندمدت، L-THIA، حجم رواناب در گذشته و حال محاسبه شد. در مرحله بعد، اثر تغییر کاربری اراضی بر حجم رواناب بررسی شد.

#### معرفی L-THIA

مدل L-THIA ابزاری مناسبی برای کمک به سنجش تأثیرات بالقوه تغییر کاربری زمین بر رواناب سطحی است

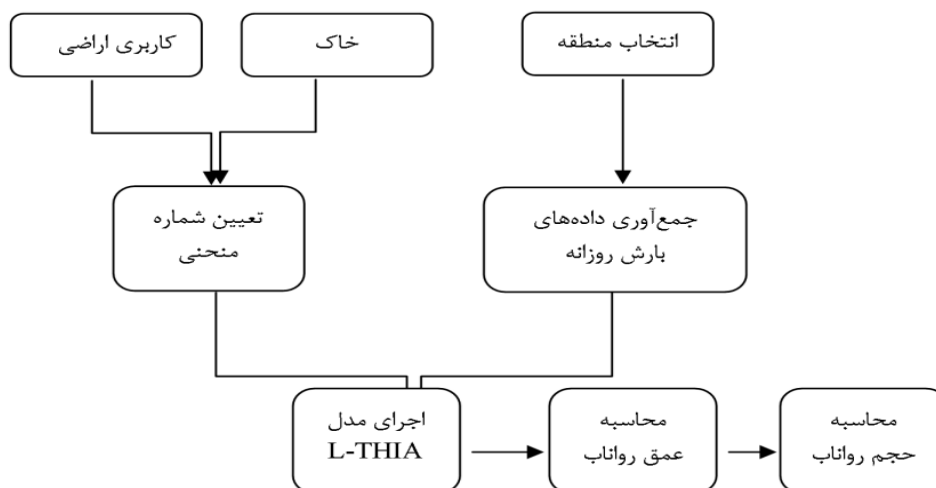
مذکور افزایش یافته که سبب افزایش حداکثر سیلاب در این سه دوره شده است [۱۷]. محمدی کنگرانی و همکاران در بررسی ارتباط میان تغییر کاربری اراضی و میزان نفوذپذیری خاک و تأثیر آن در وقوع سیل سال ۱۳۷۸ در حوضه آبخیز جنگلی نکارود نشان دادند که تغییرات پوشش گیاهی در بالادست، عاملی مؤثر در نفوذپذیری خاک و حجم سیلاب‌ها در آن سال بوده است [۸]. زاهدی و همکاران به بررسی پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز زیارت‌گران نسبت به تغییر کاربری اراضی پرداختند؛ آنان ابتدا نقشه کاربری اراضی فعلی و کاربری اراضی سال ۱۳۵۲ آبخیز زیارت را تهیه کردند و برای تعیین تأثیر روند ساخت‌وساز و تغییر کاربری اراضی شهری زیارت بر هیدرولوژی آبخیز، شش سناریو در نظر گرفتند. سپس با استفاده از روش شماره منحنی و به کمک نرم‌افزار GIS واکنش هیدرولوژیکی آبخیز نسبت به سناریوها تهیه شد. بررسی سناریوها نشان داد که در صورت ادامه روند ساخت‌وساز و تغییر کاربری اراضی در آینده سیلاب‌های شدیدتری به وقوع خواهد پیوست [۴]. به‌طور کلی با توجه به تأثیر کاربری اراضی بر وقوع سیلاب و تولید رواناب، هدف این تحقیق، تعیین تأثیر تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز چالوس رود بر مقدار رواناب حوضه است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز چالوس در ایران

(CN) هسته اصلی مدل L-THIA است (شکل ۲). استفاده از CN یک جایگزین ساده برای مدل‌های هیدرولوژیکی پیچیده‌ای است که به داده‌های زیادی نیاز دارند و اغلب برای بیشتر مناطق در دسترس نیستند [۱۹]. مدل L-THIA با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه، رواناب روزانه را تخمین می‌زند.

و بهترین مکان برای یک کاربری خاص را شناسایی می‌کند تا تأثیرات محیط‌زیستی منطقه مثل پتانسیل تولید سیل، تخریب رودخانه و از دست رفتن منابع آب زیرزمینی حداقل شود. مدل L-THIA به‌عنوان ابزاری سریع و در دسترس برای استفاده در ارزیابی تأثیرات بلندمدت تغییر کاربری، توسعه یافته است [۱۹]. روش شماره منحنی



شکل ۲. روند اجرای مدل L-THIA [۱۵]

رنگی کاذب، گوگل‌ارث و باز دیده‌های میدانی و دستگاه موقعیت‌یاب جهانی<sup>۱</sup> نمونه‌های تعلیمی برای هر کاربری تهیه شد. نمونه‌های تعلیمی به دو دسته تقسیم شد: ۸۰ درصد نمونه‌ها برای استفاده در طبقه‌بندی و ۲۰ درصد نمونه‌ها برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شد [۲۵]. برای بیان صحت نقشه‌های تولیدی می‌توان از معیارهای کمی نظیر ضریب کاپا<sup>۲</sup> استفاده کرد. کاپا شاخص توافق واقعی بین داده‌های واقعیت زمینی و طبقه‌بندی نظارت‌شده و توافق شانس بین داده‌های واقعیت زمینی و طبقه‌بندی تصافی است. کاپا بین صفر و یک متغیر است. زمانی که کاپا صفر باشد، نشان‌دهنده این است که طبقه‌بندی انجام‌گرفته بهتر از طبقه‌بندی تصادفی پیکسل‌ها نبوده است [۷، ۱۱، ۱۲، ۱۴]. طبقات کاربری شامل ۱. اراضی کشاورزی؛ ۲. اراضی مرتعی؛ ۳. مناطق شهری؛ ۴. اراضی بایر؛ و ۵. اراضی جنگلی است. پس از طبقه‌بندی، فیلتر نما<sup>۳</sup> به‌منظور حذف تک‌پیکسل‌ها و قطعات کوچک اجرا شد.

#### آماده‌سازی لایه‌ها

تمام داده‌های استفاده‌شده در GIS باید از نظر هندسی همخوانی و مطابقت داشته باشند و همچنین از سامانه مختصات و سیستم تصویر واحدی تبعیت کنند [۳]. بنابراین، در این تحقیق تمام داده‌های استفاده‌شده به‌کمک نقاط کنترل و نقشه ۱/۲۵۰۰۰ توپوگرافی به‌عنوان مبنا مورد تطابق هندسی قرار گرفته‌اند.

الف) لایه کاربری اراضی: یک تحلیل ارزیابی L-THIA می‌تواند با استفاده از حداقل سه لایه کاربری فعلی انجام گیرد تا انواع نتایج به‌دست‌آمده از این روش را نشان دهد و توضیح دهد که چگونه تأثیرات تغییر کاربری‌های فعلی بر مقدار رواناب تولیدشده به‌وسیله تغییر کاربری‌های مختلف تخمین زده می‌شود [۱۵]. کاربری‌های سال ۱۳۶۳ و ۱۳۷۹ از ادارات مربوط تهیه شد. برای تهیه لایه کاربری اراضی از داده‌های رقومی سنجنده<sup>+</sup> ETM ماهواره لندست ۷ مربوط به سال ۱۳۸۵ استفاده شد. برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در مرحله اول تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI4.7 خوانده شد. سپس برای کاربری‌های موجود در منطقه با استفاده از تصویر

1. Global Positioning System  
2. Kappa  
3. Mode

آبخیز چالوس محاسبه شد. در L-THIA داده‌های بارندگی به صورت فایل متنی با فرمت txt استفاده می‌شود. از آنجا که تنظیم داده‌ها در TextPad کار دشواری است و کوچک‌ترین اشتباه سبب رد آن توسط مدل می‌شود، ابتدا داده‌ها در محیط نرم‌افزار Excel به فرمت قابل قبول برای L-THIA تبدیل شد و سپس به TextPad که یک نرم‌افزار متنی است، منتقل و ذخیره شد.

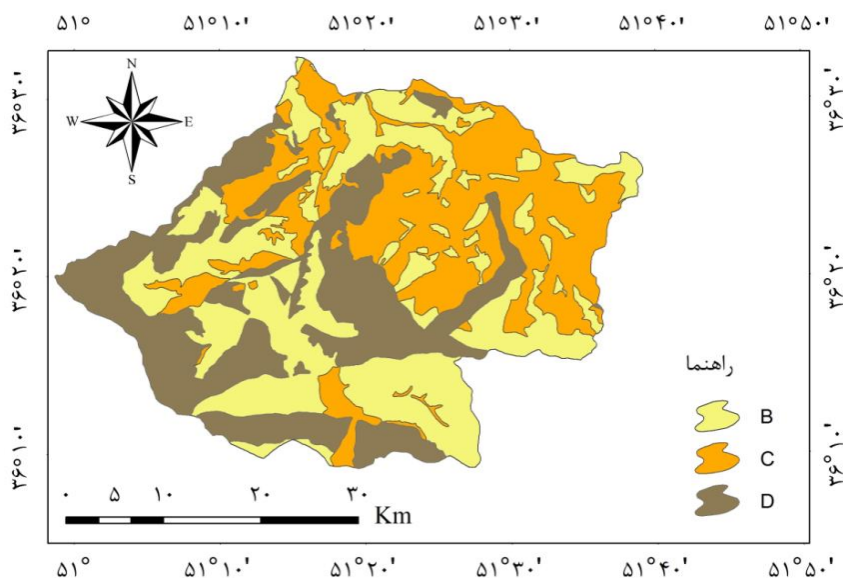
**یافته‌ها**

**نقشه‌های کاربری اراضی**

برای تصویر سال ۱۳۸۵ ضرایب ارزیابی صحت طبقه‌بندی به صورت جدول ۲ است. نقشه کاربری اراضی برای هر یک از سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۵ (شکل ۴ و جدول ۳) تهیه شد.

ب) لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک: در L-THIA خاک بر مبنای پتانسیل تولید رواناب به چهار گروه هیدرولوژیکی طبقه‌بندی می‌شوند [۲۴، ۲۵]. در ابتدا لایه خاک‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه منابع و قابلیت اراضی تهیه شد. سپس با استفاده از این نقشه، ویژگی‌های خاک منطقه مشخص و بر مبنای تعریف سازمان کشاورزی آمریکا [۲۸] نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 تهیه شد (شکل ۳).

ج) داده‌های اقلیمی: مدل L-THIA برای ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیکی بلندمدت به داده‌های بارندگی روزانه نیاز دارد. این داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای مازندران تهیه شد. ایستگاه‌های استفاده‌شده به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای داده‌های بارش روزانه باشند (جدول ۱). سپس با استفاده از معادله گرادیان سالانه، مقدار بارندگی حوضه



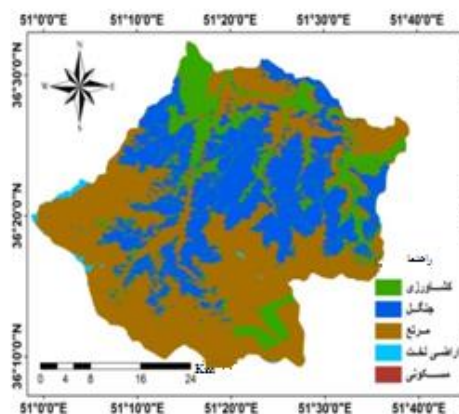
شکل ۳. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز چالوس

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی داخل آبخیز

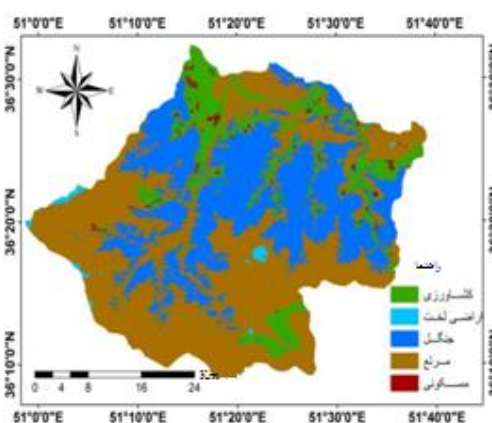
نام ایستگاه	نام رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
پل ذغال	چالوس رود	۵۱°۵۴'۱۹"	۳۶°۱۰'۴۰"	۳۰۰
معین دره (آبشار)	چالوس رود	۱۸°۱۵'۵۱"	۳۶°۴۰'۱۹"	۸۵۰
ولی آباد	چالوس رود	۵۱°۸'۱۸"	۳۶°۳'۱۴"	۱۷۵۰
دو آب	هنپسک رود	۵۱°۲۰'۴۰"	۳۶°۳۷'۴۹"	۳۵۰
پل مرگن	زنگوله	۵۱°۴۷'۱۹"	۳۶°۴۶'۱۲"	۲۲۰۰

جدول ۲. ضرایب ارزیابی صحت طبقه‌بندی به‌روش نقاط کنترل زمینی

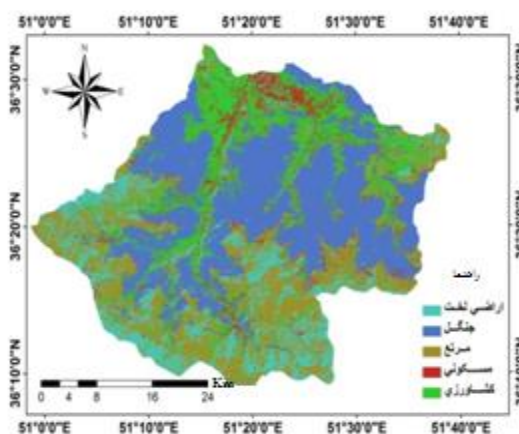
صحت تولید‌کننده جنگل	صحت کاربر جنگل	صحت تولید‌کننده کشاورزی	صحت کاربر کشاورزی	صحت تولید‌کننده اراضی لغت	صحت کاربر اراضی لغت	صحت تولید‌کننده مرتع	صحت کاربر مرتع	صحت تولید‌کننده مسکونی	صحت کاربر مسکونی	صحت کلی	ضریب کاپا
۸۷/۸۳	۹۱/۷۱	۷۹/۲۸	۹۴/۸۲	۹۹/۸۷	۱۰۰	۴۳/۴۸	۹/۹۰	۹۴/۲۹	۶۲/۲۶	۹۰/۳۰	۰/۸۴



ب) سال ۱۳۷۹



الف) سال ۱۳۶۳



ج) سال ۱۳۸۵

شکل ۴. کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۵ حوضه آبخیز رودخانه چالوس

جدول ۳. مساحت کاربری‌های مختلف اراضی (هکتار) در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۵ در حوضه آبخیز چالوس

نوع کاربری	سال ۱۳۶۳	درصد	سال ۱۳۷۹	درصد	سال ۱۳۸۵	درصد
اراضی کشاورزی	۲۰۶۱۴/۸۸	۱۳/۵۹	۲۲۷۷۷/۵	۱۵/۰۲	۲۷۰۴۳/۴۷	۱۷/۸۴
اراضی مرتعی	۷۱۰۱۵/۵۸	۴۶/۸۴	۷۲۸۳۶/۱	۴۸/۰۴	۳۷۰۸۰/۶۷	۲۴/۴۶
اراضی جنگلی	۵۸۹۰۷/۳۱	۳۸/۸۵	۵۴۲۶۱/۹	۳۵/۷۹	۵۵۳۸۰/۰۸	۳۶/۵۲
اراضی بایر	۷۲۰/۲۹	۰/۴۸	۱۲۳۰/۱	۰/۸۱	۲۳۹۹۶/۳	۱۵/۸۲
شهر	۳۶۲/۵۰	۰/۲۴	۵۱۵	۰/۳۴	۸۱۲۰/۰۸	۵/۳۶
مجموع	۱۵۱۶۲۰/۶	۱۰۰	۱۵۱۶۲۰/۶	۱۰۰	۱۵۱۶۲۰/۶	۱۰۰

۰/۳۴ درصد، از ۰/۴۸ درصد به ۰/۸۱ درصد، از ۱۳/۵۹ درصد به ۴۸/۰۴ درصد و از ۱۵/۰۲ درصد به ۴۶/۸۴ درصد به ۴۸/۰۴ درصد افزایش یافته است؛ درحالی که اراضی جنگلی از ۳۸/۸۵ درصد به ۳۵/۷۹ درصد کاهش یافته است.

**اجرای مدل L-THIA**

زیرمدل ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیکی بلندمدت با توجه به نقشه کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و بارندگی روزانه در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۵ اجرا شد و عمق رواناب تولیدی به دست آمد (شکل ۵). به منظور محاسبه متوسط عمق رواناب، متوسط حسابی عمق رواناب کاربری‌های مختلف محاسبه شد. سپس حجم رواناب و درصد تغییرات برای هر یک از سال‌ها محاسبه شد (جدول‌های ۵ و ۶).

جدول ۵ نشان‌دهنده این است که در حوضه آبخیز چالوس، عمق رواناب به ترتیب از ۴۲۲/۹۸ به ۸۰۹/۱۶۸ میلی‌متر طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۰ افزایش یافت که بیانگر افزایش ۳۶۸/۱۸۸ میلی‌متری عمق رواناب است و از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ از ۸۰۹/۱۶۸ به ۸۲۵/۴۹۴ میلی‌متر افزایش یافت که بیانگر افزایش ۱۶/۳۲۶ میلی‌متری عمق رواناب است.

با توجه به جدول ۳، بیشترین تغییرات مربوط به کاربری شهر و اراضی بایر است؛ بدین ترتیب که مساحت شهر از ۳۶۲/۵۰ هکتار (۰/۲۴ درصد) در سال ۱۳۶۳ به ۸۱۲۰/۰۸ هکتار (۵/۳۶ درصد) در سال ۱۳۸۵ و اراضی بایر از ۷۲۰/۲۹ هکتار (۰/۴۸ درصد) در سال ۱۳۶۳ به ۲۳۹۹۶/۳ هکتار (۱۵/۸۲ درصد) در سال ۱۳۸۵ افزایش یافته است. افزایش به ترتیب ۲۱۴۰/۰۲ و ۳۲۳۱/۴۶ درصدی اراضی شهری و بایر، سبب کاهش اراضی مرتعی و جنگلی شده است؛ به طوری که کاهش مساحت در اراضی مرتعی ۴۷/۷۹- درصد (از ۷۱۰/۱۵/۵۸ هکتار به ۳۷۰۸۰/۶۷ هکتار) و در اراضی جنگلی ۵/۹۹- درصد (از ۵۸۹۰۷/۳۱ هکتار به ۵۵۳۸۰/۰۸ هکتار) است. همچنین اراضی کشاورزی از ۱۳/۵۹ درصد به ۱۷/۸۴ درصد افزایش یافته؛ به طوری که ۳۱/۱۸ درصد افزایش یافته است. براساس جدول ۳، درصد تغییرات کاربری‌های اراضی مختلف در حوضه آبخیز چالوس محاسبه شد (جدول ۴).

با دقت در جدول ۴ مشخص می‌شود که بیشترین تغییر کاربری اراضی در بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ اتفاق افتاده و در خلال ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۹ تغییر کاربری اراضی اندک بوده است؛ به طوری که طی این دوره، اراضی شهری، بایر، کشاورزی و مرتعی به ترتیب از ۰/۲۴ درصد به

جدول ۴. درصد تغییرات کاربری‌های اراضی مختلف در حوضه آبخیز چالوس

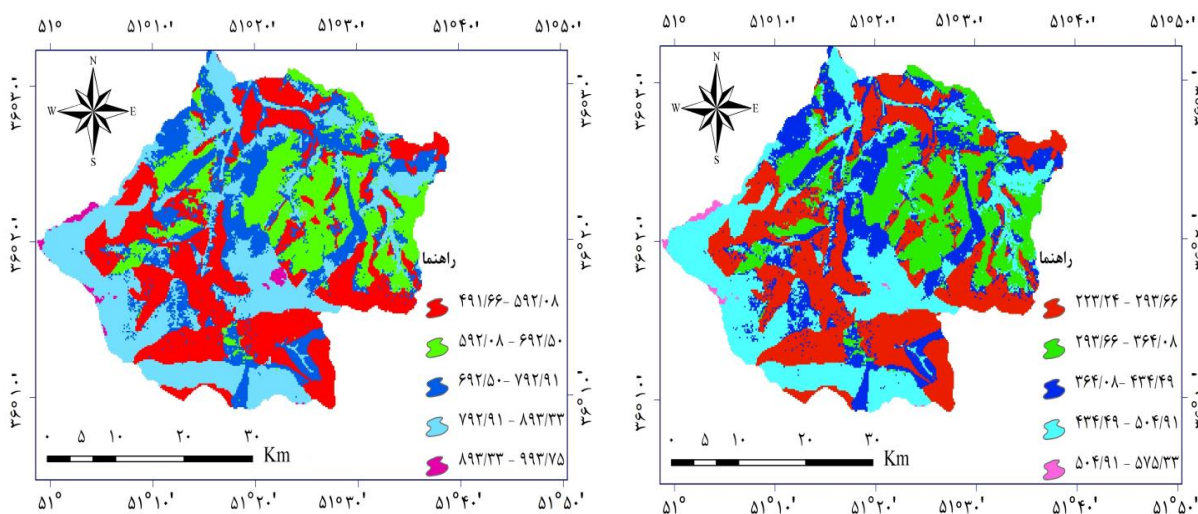
نوع کاربری	درصد تغییرات سال ۱۳۷۹ نسبت درصد تغییرات سال ۱۳۸۵ نسبت		
	نسبت به سال ۱۳۶۳	به سال ۱۳۷۹	نسبت به سال ۱۳۶۳
اراضی کشاورزی	۱۰/۴۹	۱۸/۷۳	۳۱/۱۸
اراضی مرتعی	۲/۵۶	-۴۹/۰۹	-۴۷/۷۹
اراضی جنگلی	-۷/۸۹	۲/۰۶	-۵/۹۹
اراضی بایر	۷۰/۷۷	۱۸۵۰/۸۱	۳۲۳۱/۴۶
شهر	۴۲/۰۸	۱۴۷۶/۵۷	۲۱۴۰/۰۲

جدول ۵. حجم (مترمکعب) و عمق رواناب (میلی‌متر) طی سال‌های مختلف در حوضه آبخیز چالوس

نوع کاربری	۱۳۶۳		۱۳۷۹		۱۳۸۵	
	عمق رواناب	حجم رواناب	عمق رواناب	حجم رواناب	عمق رواناب	حجم رواناب
کشاورزی	۴۵۰/۸۸	۹۲۹۴۸۳۵۶	۸۱۷/۲۴	۱۸۶۱۴۷۱۰۳	۸۴۸/۵۲	۲۲۹۴۶۹۲۹۳
مرتعی	۵۴۰/۵۳	۳۸۹۳۴۰۴	۹۴۴/۲۴	۱۱۶۱۴۸۰۷	۹۶۳/۴۳	۲۳۱۱۸۷۵۲۶
جنگلی	۳۲۸/۳۴	۱۹۳۴۱۶۲۴۹	۶۴۲/۷۶	۳۴۸۷۷۳۸۱۱	۶۷۰/۲۷	۳۷۱۱۹۶۰۳۴
بایر	۳۶۶/۳۸	۲۶۰۱۸۶۸۸۱	۶۹۷/۳۷	۵۰۷۹۳۶۷۷۰	۷۲۷/۹۷	۲۶۹۹۳۶۱۶۹
شهر	۴۲۸/۷۷	۱۵۴۷۴۰۵۳	۹۴۴/۲۳	۴۸۶۳۲۴۶	۹۱۷/۲۸	۷۴۴۸۳۹۱۷
متوسط	۴۲۲/۹۸	۵۶۵۹۱۸۹۴۳	۸۰۹/۱۶۸	۱۰۵۹۳۳۵۷۳۷	۸۲۵/۴۹۴	۱۱۷۶۲۷۲۹۳۹

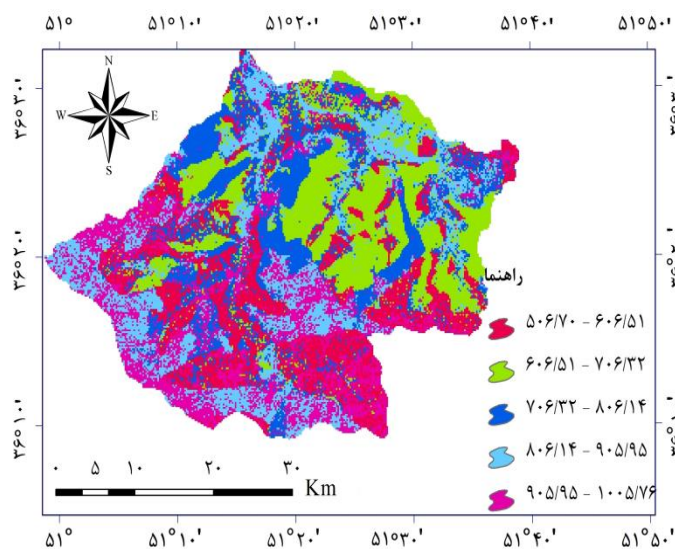
جدول ۶. درصد تغییرات عمق رواناب در حوضه آبخیز چالوس

نوع کاربری	درصد تغییرات سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۸۵		
	نسبت به سال ۱۳۶۳	به سال ۱۳۷۹	نسبت به سال ۱۳۸۵
اراضی کشاورزی	۸۱/۲۵	۳/۸۳	۸۸/۱۹
اراضی مرتعی	۹۰/۳۴	۲/۰۳	۷۸/۲۳
اراضی جنگلی	۹۵/۷۶	۴/۲۸	۱۰۴/۱۴
اراضی بایر	۹۰/۳۴	۲/۰۳	۹۸/۶۹
شهر	۱۲۰/۲۲	۲/۸۵	۱۱۳/۹۳
متوسط	۹۱/۳۰	۲/۰۱	۹۵/۱۶



ب) سال ۱۳۷۹

الف) سال ۱۳۶۳



ج) سال ۱۳۸۵

شکل ۵. عمق رواناب سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۵ در حوضه آبخیز رودخانه چالوس



### بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به‌منظور پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی بر مقدار رواناب انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که سامانه L-THIA ابزاری قوی برای ارزیابی تأثیر تغییر کاربری بر هیدرولوژی است [۲۱، ۱۹]. استفاده از مدل‌ها برای مدیران و برنامه‌ریزان فرصت کنترل و مدیریت حوادث قبل از وقوع آنها را فراهم می‌کند. همان‌طور که از نتایج این تحقیق بر می‌آید، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز برای اجرای اقدامات کنترل سیلاب از دیگر قابلیت‌های این روش مدلسازی است. همچنین یافته‌ها بیانگر نتایج قابل قبول مدل L-THIA در مدیریت و طرح‌ریزی‌های کاربری و کنترل رواناب در منطقه تحقیق است. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز مطالعه‌شده در اثر دخالت‌های انسان سبب شده است که مساحت شهر، اراضی سایر و کشاورزی طی دوره بررسی شده افزایش یابد و از طرف دیگر افزایش این اراضی سبب کاهش اراضی مرتعی و جنگلی شده است. همچنین مشخص شد که بیشترین تغییر کاربری اراضی در بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ اتفاق افتاده است و از ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۹ تغییر کاربری اراضی اندک بوده است که دلیل آن را می‌توان دخالت‌های شدیدتر انسان طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ نسبت به دوره ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۹ دانست. نتایج بیان می‌کند که در حوضه آبخیز چالوس، کاهش مساحت اراضی جنگلی و افزایش مناطق شهری و سایر سبب افزایش عمق رواناب سطحی شده است. از آنجا که افزایش گستره شهری سبب کاهش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش رواناب می‌شود [۲۴]، اثر رشد شهر در این حوضه آبخیز نیز بر افزایش رواناب سطحی مشهود است که با نتایج مطالعات [۲۳، ۱۸، ۱۵، ۶، ۵] مبنی بر نقش تغییر کاربری بر تغییرات مؤلفه‌های رواناب همخوانی دارد. اگرچه این تحقیق حاصل تلاش‌های بسیار زیاد در جمع‌آوری اطلاعات، پردازش و بررسی داده‌ها، در راستای درک فرایندهای هیدرولوژیکی حاکم بر حوضه آبخیز چالوس است، اجرای تحقیقات مختلف از جمله استفاده از سایر روش‌های محاسبه رواناب و مقایسه آن با روش انجام‌گرفته در تحقیق حاضر، نصب ایستگاه‌های متعدد باران‌سنجی در منطقه برای بهبود وضعیت آمار بارندگی و کاهش خطا در مطالعات آینده، اجرای تحقیقات مشابه در حوضه‌های آبخیز واقع در شرایط اقلیمی متفاوت و مقایسه نتایج آنها با تحقیق

حاضر و اجرای سناریوهای مدیریتی در منطقه به‌منظور بررسی پیامدهای ناشی از آن پیشنهاد می‌شود.

### منابع

- [۱]. آذری، محمد، ۱۳۸۵. شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی حوضه آبخیز جاغرق به‌منظور کنترل سیلاب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷ ص.
- [۲]. امیری، مریم، ۱۳۸۵. کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWRRB به‌منظور شبیه‌سازی رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کسلیان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران ۱۳۴ ص.
- [۳]. درویش‌صفت، علی‌اصغر، ۱۳۸۰. ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۴]. زاهدی، احسان؛ محمدی، مجتبی؛ بردی شیخ، واحد، ۱۳۹۰. بررسی تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن بر هیدرولوژی حوضه آبخیز شهری زیارت‌گران، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۵]. سعادت، حسین؛ غلامی، شعبانعلی؛ شریفی، فرود؛ ایوب‌زاده، سیدعلی، ۱۳۸۵. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی در رواناب سطحی مدل شبیه‌سازی، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹(۲): ۳۱۲-۳۰۱.
- [۶]. غفاری، گلاره؛ قدوسی، جمال؛ احمدی، حسن، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه آبخیز: مطالعه موردی: حوضه آبخیز زنجان رود، فصلنامه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۶(۱): ۱۸۰-۱۶۳.
- [۷]. المیرین، حمید، ۱۳۸۰. پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای. انتشارات وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۲۷۹ ص.
- [۸]. محمدی کنگرانی، حنا؛ خلیلی‌زاده، مجتبی؛ حلی‌ساز، ارشک، ۱۳۹۰. بررسی ارتباط میان تغییر کاربری اراضی و نرخ نفوذپذیری خاک و تأثیر آن در وقوع سیل سال

- [18]. Hollis, G.E., 1975. The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water Resources Research*, 11, 431-435.
- [19]. Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Muthkrishnan, S., Choi, J., Kim, K., 2006. Effects of calibration on L-THIA GIS runoff and pollutant estimation. *Journal of Environmental Management*, 78, 35-43.
- [20]. Maalim, F. K., Melesse, A. M., Belmont, P., Gran, K. B., 2013. Modeling the impact of land use changes on runoff and sediment yield in the Le Sueur watershed, Minnesota using GeoWEPP. *Catena*, 107, 35-45.
- [21]. Mitsch, W. J., Gosselink, J. G., 2000. *Wetlands*. John Wiley and Sons, New York. 3rd Ed, 920p.
- [22]. Muhammad, A., Aslam, Sh. J. Kh., Zahiruddin Khan, I., 2011. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan, *Landscape and Urban Planning*, 102 (2011), 271-279.
- [23]. Pauleit, S., Ennos, R., Golding, Y., 2005. Modelling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK. *Landscape Urban Plan.* 71 (2-4), 295-310.
- [24]. Perry, P., Nawaz, R., 2008. An investigation into the extent and impacts of hard surfacing of domestic gardens in an area of Leeds, United Kingdom. *Landscape and Urban Planning*. 86. 1-13.
- [25]. Perumal, K., Bhaskaran, R., 2010. Supervised classification performance of multispectral images. *Journal of Computing*, 2 (2): 124-129.
- [26]. Sajikumar, N., Remya, R. S., 2014. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041>.
- [27]. Sika, A. K., Sarma, J., Sharda, S.V. N., Samraj, P. and Akashmanam, S., 2003. Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland in to Blugeum (Eucalyptus Globules) in Nilgiris Watersheds of South India. *Journal of Hydrology*, 270, 12-26.
- [28]. US Department of Agriculture, 1986. Soil Conservation Service, Urban hydrology for small watersheds, Technical Release 55.
- [29]. Yang, L., Ma, K., Guo, Q., Bai, X., 2008. Evaluating long-term hydrological impacts of regional urbanisation in Hanyang, China, using a GIS model and remote sensing. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15, 350-356.
- ۱۳۷۸ در حوزه آبخیز جنگلی نکارود، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۱(۴): ۷۵-۸۸.
- [۹]. مقیمی، علی؛ موسوی حرمی، سیدرضا؛ معتمد، احمد؛ احمدی، حسن، ۱۳۸۸، بررسی تأثیر متغیرهای مورفومتری حوضه روی دبی حداکثر سیل در حوضه آبریز رودخانه چالوس با استفاده از روش‌های آماری و مدل‌های ریاضی، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، ۲(۱): ۶۵-۸۰.
- [۱۰]. مهدوی، محمد، ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۵۶ ص.
- [11]. Afifi, A.A., Clark, V., 1984. Computer-aided multivariate analysis, Lifetime Learning Pub., 458p.
- [12]. Bronstert, A., Niehoff, D., Bürger, G., 2002. Effects of Climate and Landuse Change on Storm Runoff Generation: Present Knowledge and Modelling Capabilities. *Hydrological Processes*, 16(2), 509-529.
- [13]. Chio, W., and Deal, B. M., 2008. Assessing Hydrological Impact of Potential Land use Change through Hydrological and Land use Change Modeling for the Kishwaukee River Basin (USA). *Journal of Environmental Management*, 86 (2008), 1119-1130.
- [14]. Cowden, J. R., Watkins, D., Croley, T. E., 2006. Investigating Urban Land Use Effects on Runoff by Using the Distributed Large Basin Runoff Model. The World Environmental and Water Resource Congress 2006 Examining the Confluence of Environmental Water Concerns Environmental and Water Resource Institute American Society of Civil Engineers. Omaha, Nebraska, May 21-25, 2006 (CD).
- [15]. Engel, B. A., Choi, J. Y., Harbor, J., Pandey, Sh. 2003. Web based DSS for hydrologic impact evaluation of small watershed land use changes. *Computers and Electronics in Agriculture*. 39, 241-249.
- [16]. Fox, D. M., E. W., Violaine, B., Cécile, S., Marc, P. N., Alain, D., 2012. A case study of land cover change (1950-2003) and runoff in a Mediterranean catchment, *Applied Geography*, 32 (2012), 810-821.
- [17]. Gumindoga, W., Rientjes, T. H. M., Haile, A. T., Dube, T. 2015. Predicting streamflow for land cover changes in the Upper Gilgel Abay River Basin, Ethiopia: A TOPMODEL based approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2014.11.012>