

ارزیابی آثار تغییر کاربری زمین بر آب‌های سطحی با استفاده از مدل L-THIA در منطقه گرگان

سمیه گلدوی*^۱، مرجان محمدزاده^۲، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، علی نجفی‌نژاد^۴

۱ دانشجوی دکتری محیط‌زیست، آمایش محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲ استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳ دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴ دانشیار گروه آب‌خیزداری، دانشکده آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۰۷؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱)

چکیده

تغییرات کاربری زمین، عمدتاً فواید اقتصادی-اجتماعی زیادی به دنبال دارد. با این حال، این تغییرات آثار منفی را به محیط‌زیست طبیعی وارد می‌کند. یکی از آثار مهم آن، کاهش مستقیم منابع آبی و کیفیت آب است. یک رهیافت موثر در ارزیابی آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین بر آب‌های سطحی، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی است. در مطالعه حاضر، آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین در منطقه گرگان با استفاده از مدل L-THIA ارزیابی شده است. مدل L-THIA، مدلی برای ارزیابی آثار بلند مدت حاصل از تغییر کاربری زمین بر منابع آبی است که با استفاده از داده‌های در دسترس و ساده نظیر «داده‌های اقلیمی بلند مدت و نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک» قابل اجراست. این مطالعه، در دوره زمانی ۲۰ ساله و در فاصله زمانی ۱۹۸۸-۲۰۰۷ انجام شد. نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های بارش روزانه ۳۰ ساله منطقه تهیه شد و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک نیز با استفاده از نقشه خاک منطقه به دست آمد. طبق نتایج مدل، میانگین میزان عمق رواناب منطقه از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۰۷ از مقدار ۲۸/۵۵ به مقدار ۲۹/۱۸ رسیده است. نتایج حاصل از اجرای مدل افزایش حجم و عمق رواناب سطحی را در فاصله زمانی موردنظر نشان داد. این امر، ضرورت کنترل و نظارت بر تغییرات کاربری زمین برای کنترل میزان عمق و حجم رواناب، نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه می‌تواند جهت تصمیم‌گیری و نظارت بر تغییرات کاربری زمین در راستای کنترل تغییرات عمق و حجم رواناب منطقه مفید باشد. با استفاده از نقشه‌های خروجی مدل می‌توان مناطقی را که میانگین رواناب بالایی دارند، مشخص و برنامه‌های مدیریتی برای کنترل میزان رواناب در این نواحی تعیین و اجرا نمود. همچنین، با استفاده از نتایج مطالعه می‌توان برنامه‌های کنترلی برای تغییرات کاربری زمین جهت جلوگیری از افزایش رواناب در منطقه تهیه کرد.

کلید واژه‌ها: تغییرات کاربری زمین، مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مدل L-THIA، منطقه گرگان، ایران

سراغاز

در سراسر جهان تغییرات کاربری زمین در حال انجام است که آثار مهمی بر ساختار و کارکرد اکوسیستم‌ها دارد (Oluseyi, 2006). این تغییرات به طور طبیعی، به صورت تدریجی اتفاق می‌افتد. اما، گاهی به دلیل فعالیت‌های انسانی به صورت سریع و ناگهانی روی می‌دهد (ثنایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۷). تغییر الگوهای کاربری زمین، عمدتاً فواید اقتصادی-اجتماعی زیادی ایجاد می‌کند. با این حال، این تغییرات آثار زیادی را نیز به محیط‌زیست طبیعی وارد می‌کند (Lim et al., 2001). تبدیل اراضی کشاورزی، جنگل‌ها، علفزارها و تالاب‌ها به مناطق شهری همراه با افزایش سریع و گسترده در سطوح غیرقابل نفوذ شرایط هیدرولوژیکی طبیعی را در آبخیز تغییر دهد. نتیجه این تغییر، به‌طور کلی در افزایش حجم و مقدار رواناب سطحی، کاهش ذخیره آب زیرزمینی، کاهش جریان پایه، کاهش کیفیت آب در رودخانه‌ها و آب‌های کم‌عمق منعکس (Engle et al., 2003; Tang et al., 2005 a) و در نهایت، منجر به بیش‌تر و بزرگ‌تر شدن دفعات حوادث سیل محلی، کاهش منابع آب شهری و روستایی و کاهش جریان پایه در کانال‌های آب طی فصول خشک می‌شود. این امر سبب شده تا طراحان کاربری زمین تلاش کنند آثار تغییر کاربری زمین را بر محیط‌زیست بیابند و تعادلی بین محیط‌زیست و نیازهای مردم برقرار نمایند (Verburg et al., 2002).

برای ارزیابی آثار تغییر کاربری زمین بر کیفیت و کمیت آب از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (Lim et al., 2001). اگرچه بعضی از مدل‌های هیدرولوژیکی موجود توانایی ارزیابی آثار بلندمدت را دارند. اما، بیشتر برای ارزیابی اولیه به دلیل پیچیدگی آن‌ها و هم‌چنین گران بودن و هزینه‌بر بودن داده‌های مورد استفاده، مناسب نیستند. ارزیابی اولیه آثار هیدرولوژیکی تغییرات کاربری زمین، نیازمند یک مدل ساده است که بتواند با داده‌های ورودی در دسترس و آماده ارزیابی اولیه‌ای از آثار مطلق و نسبی توسعه آبخیز تهیه کند و نیاز به استفاده از مدل‌های پیشرفته‌تر را تشخیص دهد (Bhadori et al., 2000). در میان مدل‌های هیدرولوژیکی، مدل L-THIA^(۱) یک مدل هیدرولوژیکی است که به ارزیابی آثار هیدرولوژیکی بلند مدت با استفاده از داده‌های در دسترس می‌پردازد (Lim et al., 2006; Lin et al., 2007). در واقع، مدل L-THIA یک مدل ساده و مرتبط با GIS است که رواناب مستقیم^(۲) را از داده‌های ورودی پایه شامل داده‌های اقلیمی بلند مدت، کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک^(۳) برآورد می‌نماید (Lim et al., 2001). L-THIA، میانگین رواناب سالانه طولانی مدت را

برای وضعیت کاربری زمین بر مبنای داده‌های اقلیم طولانی مدت آن منطقه تهیه می‌کند (Ma, 2004). این مدل، با استفاده از داده‌های اقلیم طولانی مدت در آنالیز، بر آثار میانگین نسبت به یک سال یا یک حادثه شدید تمرکز می‌نماید (Tang et al., 2005). خروجی‌های مدل L-THIA شامل نقشه‌های عمق رواناب و حجم رواناب است (Ma, 2004). در مدل L-THIA دو مولفه وجود دارد: یکی از آن‌ها عنصر هیدرولوژی و دیگری عنصر کیفیت آب است. برای عنصر هیدرولوژی، مدل L-THIA، رواناب مستقیم را بر مبنای روش شماره منحنی^(۴) و داده‌های بارندگی روزانه برآورد می‌کند. عنصر کیفیت آب، بار آلودگی را از رواناب مستقیم و ضرایب مربوط به کاربری زمین برآورد می‌نماید (Lim et al., 2006). در این مطالعه مولفه اول مورد بررسی قرار گرفته است.

مدل L-THIA، به دو شکل اجرا می‌شود: L-THIA وب مینا^(۵) و L-THIA بر مبنای GIS^(۶) که از طریق آدرس سایت زیر برای عموم در دسترس است (Tang et al., 2005 b):

<http://www.ecn.purdue.edu/runoff>

این مدل، توسط (Bhadori et al., 2000, Tang et al., 2005 a; Tang et al., 2005 b; Li et al., 2007; Perry & Nawaz, 2008) به طور موفقیت‌آمیز برای ارزیابی آثار گسترش شهر بر منابع آب سطحی استفاده شده است. نتایج حاصل در تمام موارد فوق، افزایش میانگین حجم و عمق رواناب سطحی را در دوره‌های زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

در مطالعه حاضر، مدل L-THIA، برای بررسی آثار تغییر کاربری زمین بر آب‌های سطحی استفاده شد. برای این کار، ابتدا نقشه‌ها کاربری زمین منطقه، داده‌های اقلیم طولانی مدت و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک تهیه شد. سپس، این اطلاعات برای اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفت.

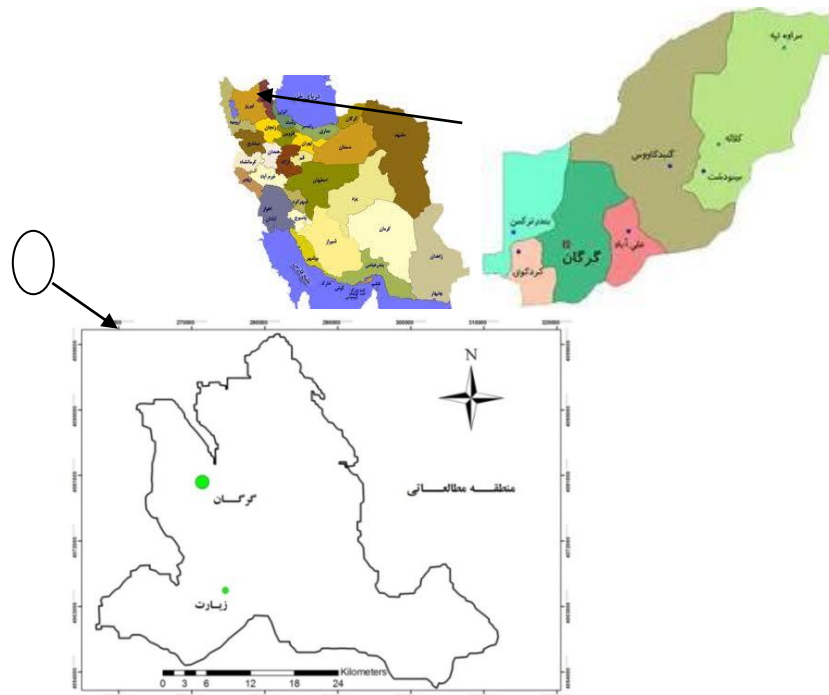
مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین و پوشش گیاهی بر منابع آب سطحی در منطقه گرگان در استان گلستان بررسی شد. این منطقه، در محدوده جغرافیایی ۳۶° ۳۲' تا ۳۷° ۲' عرض شمالی و ۵۴° ۱۲' تا ۵۴° ۵۸' طول شرقی قرار دارد و از دو بخش کوهستانی (جنوب منطقه) و بخش دشتی (شمال منطقه) تشکیل شده است. اراضی جنگلی منطقه در جنوب حوضه و شامل بخش‌هایی از مناطق جنگلی توسکاستان، شصت کلاته، محمدآباد و زیارت هستند.

کاربری‌های کشاورزی و مسکونی و نیز تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی و تاسیسات انسان‌ساخت در سال‌های اخیر در این حوضه مشاهده شده که این عوامل در انتخاب این منطقه جهت مطالعه نقش داشته است. شکل (۱)، تصویری از منطقه تحت مطالعه را نشان می‌دهد.

هدف از انتخاب این منطقه برای مطالعه، تغییرات شدید کاربری زمین ایجاد شده در بخش‌هایی از حوضه در سال‌های گذشته است. بخش‌هایی از حوضه نیز از جنبه توریسم اهمیت دارند که سبب انجام فرایندهای ساخت و ساز گسترده و تغییرات کاربری زمین در این حوضه شده است. همچنین، تبدیل اراضی جنگلی به



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

بیان نمودند که چون هدف از انجام مطالعه، بررسی تغییرات رواناب نسبت به تغییرات کاربری زمین و نه تغییرات اقلیمی است، بنابراین عدم در دسترس بودن داده‌های اقلیمی پس از سال ۲۰۰۰، اثری روی نتایج نمی‌گذارد.

داده‌های بارش مربوط به ایستگاه فاضل‌آباد در محدوده جغرافیایی $36^{\circ} 54'$ عرض شمالی و $54^{\circ} 45'$ طول شرقی است. این داده‌ها، پس از انجام آماده‌سازی اولیه برای اجرای مدل استفاده شدند. برای اجرای این مدل به نقشه خاک منطقه جهت تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک نیاز است، که نقشه خاک مورد استفاده در این مطالعه توسط موسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شده است. جدول (۱)، داده‌های مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

• روش مدل‌سازی هیدرولوژیکی

مدل‌های هیدرولوژیکی گوناگونی برای ارزیابی آثار هیدرولوژیکی حاصل از تغییرات کاربری زمین وجود دارد. این مدل‌ها، اغلب پیچیده و نیازمند به داده‌های زیاد و پرهزینه برای اجرا هستند

روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده

برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین، از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دو دوره زمانی استفاده شد. این تصاویر، شامل تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به سال ۱۹۸۸ و سال ۱۹۹۸ و تصاویر سنجنده LISSIII ماهواره IRS مربوط به سال ۲۰۰۷ است. همچنین، جهت اجرای مدل L-THIA نیاز به داده‌های بارش بلند مدت (۳۰ ساله) است که این داده‌ها از سازمان آب گرگان برای دوره زمانی ۳۰ ساله (۱۳۵۵-۱۳۸۵) تهیه شد. از آنجا که هدف مطالعه حاضر بررسی نحوه تغییرات رواناب در بازه زمانی مورد مطالعه نسبت به تغییرات کاربری زمین و نه تغییرات اقلیمی است، عدم وجود داده‌های اقلیمی سال ۲۰۰۷ تأثیری بر نتایج نمی‌گذارد. این موضوع توسط سایر محققین نظیر (Perry & Nawaz, 2008) قابل تأیید است. آن‌ها در مطالعه‌ای که در بازه زمانی ۱۹۷۱-۲۰۰۴ با استفاده از مدل L-THIA انجام دادند، از داده‌های اقلیمی مربوط به سال‌های ۱۹۶۹-۱۹۹۹ استفاده کردند. آن‌ها نیز

مدل‌های هیدرولوژیکی، سادگی آن و استفاده از داده‌های در دسترس برای اجراست.

(Bhadori et al., 2000). در این مطالعه، از مدل L-THIA برای بررسی آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین بر تغییرات کمی آب‌های سطحی استفاده شد. مزیت این مدل نسبت به سایر

جدول (۱): داده‌های مورد استفاده در مطالعه

Path/Row	تاریخ	توصیف داده‌ها	داده‌های مورد استفاده
۱۶۲/۳۵	۱۹۸۸/۹/۵	مربوط به سنجنده TM ماهواره لندست	تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۸۸
۱۶۳/۳۴	۱۹۹۸/۶/۱۲	مربوط به سنجنده TM ماهواره لندست	تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۹۸
۷۲/۴۴	۲۰۰۷/۱۰/۱۵	مربوط به سنجنده IRS ماهواره LissIII	تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۷
-	۱۳۸۵-۱۳۵۵	تهیه شده از سازمان آب گرگان	داده‌های بارش ۳۰ ساله

زمین مورد نظر مدل L-THIA قرار ندارد، با توجه به ویژگی تولید رواناب در این طبقه، برای استفاده در مدل L-THIA در طبقه «مناطق مسکونی متراکم» قرار گرفت. دلیل این امر توانایی مشابه دو کاربری در تولید رواناب است. در مورد طبقه پوشش گیاهی شهر نیز به همین طریق طبقه‌بندی صورت گرفت و این طبقه براساس تشابه در توانایی تولید رواناب طبقه‌بندی شد.

به این ترتیب، نقشه‌های کاربری زمین سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ دوباره طبقه‌بندی شدند تا اجرای فرایند مدل‌سازی برای هر یک از آن‌ها انجام‌پذیر شود. پس از انجام این کار، با استفاده از ماژول Land use Classification در برنامه L-THIA GIS/NPS به هر یک از طبقات کاربری زمین کدهایی از ۱۰۰۰ تا ۷۰۰۰ اختصاص داده شد و نقشه‌های کاربری زمین به صورت لایه‌های رستری مورد نیاز برای اجرای مدل تبدیل شدند. جدول (۲)، چگونگی طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری زمین بر حسب طبقات مدل L-THIA و کدهای طبقات کاربری زمین در مدل L-THIA را نشان می‌دهد.

• اجرای مدل L-THIA

این مدل، در محیط نرم‌افزار Arcview و با استفاده از برنامه L-THIA GIS/NPS اجرا می‌شود. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل شامل نقشه‌های کاربری زمین چند زمانه، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و داده‌های بارش بلند مدت (۳۰ ساله) است.

• آماده‌سازی نقشه‌های کاربری زمین

این مدل، ۸ طبقه کاربری زمین جهت اجرای مدل‌سازی در نظر می‌گیرد. این طبقات عبارت از: مناطق آبی، تجاری، کشاورزی، مناطق مسکونی متراکم، مناطق مسکونی کم‌تراکم، مرتع و یا علفزار، جنگل و مناطق صنعتی می‌باشند. بنابراین برای اجرای مدل، نقشه‌های کاربری زمین منطقه مطالعاتی باید دوباره طبقه‌بندی شوند. همچنین، اگر برخی از طبقات متفاوت با طبقات این مدل هستند، باید آن‌ها را در طبقه‌ای قرار داد که بیش‌ترین شباهت از لحاظ خصوصیات تولید رواناب، با آن طبقه را دارد (Engel, 2005). برای مثال، طبقه کاربری زمین بایر که در طبقات کاربری

جدول (۲): چگونگی طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری زمین بر حسب طبقات مدل L-THIA

کد طبقات کاربری زمین	طبقات حاصل از طبقه‌بندی براساس مدل L-THIA	طبقات کاربری زمین منطقه
۷۰۰۰	جنگل	جنگل
۶۰۰۰	مرتع / علفزار	مرتع
۳۰۰۰	کشاورزی	کشاورزی
۴۰۰۰	مناطق مسکونی متراکم	بایر
۱۰۰۰	آب	آب
۴۰۰۰	مناطق مسکونی متراکم	شهر
۶۰۰۰	مرتع / علفزار	فضای سبز شهر

• آماده‌سازی نقشه خاک

برای اجرای مدل L-THIA، نقشه خاک باید براساس گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه طبقه‌بندی شود. گروه‌های هیدرولوژیک خاک طبق تعریف سازمان حفاظت خاک ایالات متحده در چهار گروه شامل گروه‌های A, B, C, D قرار دارند. این گروه‌ها نشان‌دهنده قابلیت نفوذپذیری خاک و یا تولید رواناب هستند. گروه A، دارای بیش‌ترین قدرت نفوذ و کم‌ترین توانایی تولید رواناب و گروه D کم‌ترین قدرت نفوذ و بیش‌ترین توانایی تولید رواناب را دارد. در این مطالعه، برای تعیین گروه‌های هیدرولوژیک خاک از ویژگی «استعداد و قابلیت اراضی» و «نوع کاربری زمین» استفاده شد. به این منظور، نقشه کاربری زمین سال ۱۹۸۸ منطقه مطالعاتی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه خاک منطقه با استفاده از تابع Intersect در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3.1 روی هم‌گذاری شدند. تابع Intersect، محدوده مشترک بین نقشه‌های ورودی را در فرایند روی هم‌گذاری نقشه‌ها استفاده می‌نماید و هنگام روی هم‌گذاری نقشه‌ها، جداول اطلاعاتی نقشه‌ها را نیز با هم تلفیق می‌نماید. به این ترتیب، جدول اطلاعاتی نقشه خروجی حاصل از اجرای تابع Intersect، تلفیقی از جداول اطلاعاتی نقشه‌های ورودی است. اطلاعات موجود در جدول اطلاعاتی حاصل، جهت استخراج گروه‌های هیدرولوژیک خاک استفاده شد.

برای اجرای فرایند Intersect از لایه‌های برداری استفاده می‌شود. بنابراین، ابتدا نقشه کاربری زمین موردنظر به فرمت برداری Shape file تبدیل شد. در مرحله بعد، عملیات Intersect برای دو نقشه کاربری زمین سال ۱۹۸۸ و نقشه خاک انجام و از نقشه حاصل از آن جهت تعیین گروه‌های هیدرولوژیک خاک استفاده شد. ضمن این که گروه‌های هیدرولوژیک خاک در کوتاه مدت تغییر نمی‌نمایند (Li et al., 2007)، بنابراین از نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک مشابه‌ای برای برآورد حجم و عمق رواناب سطحی در بازه‌های زمانی مورد مطالعه، استفاده شد.

• آماده‌سازی داده‌های بارش

برای اجرای این مدل نیاز به داده‌های بارش روزانه مربوط به ۳۰ سال است که این داده‌ها برای بازه زمانی ۱۳۵۵-۱۳۸۵ تهیه شد و پس از آماده‌سازی اولیه، جهت استفاده در فرایند مدل‌سازی هیدرولوژیکی به روش L-THIA، به فایل متنی منتقل شد. شکل (۲)، مراحل اجرای مدل L-THIA را نشان می‌دهد.

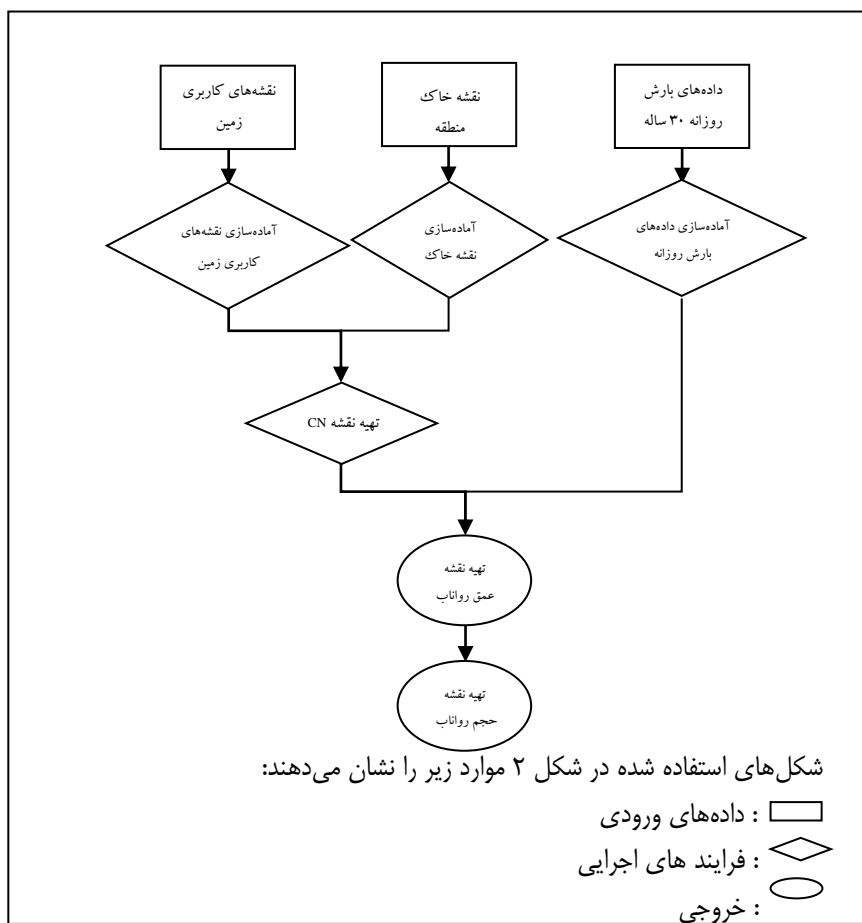
بنابراین، برای اجرای مدل باید نقشه شماره منحنی (CN)^(۴) را برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه به طور جداگانه تهیه نمود. این نقشه با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و نیز جدول CN تهیه می‌شود. جدول CN باید به صورت یک فایل متنی تهیه شود. این جدول، در واقع نشان‌دهنده میزان رواناب موجود در سطح زمین، در هر یک از انواع ترکیبات کاربری زمین و گروه‌های هیدرولوژیک منطقه مطالعاتی است. اطلاعات موجود در این جدول با استفاده از راه‌کار سازمان حفاظت خاک آمریکا تهیه شده است (Engel, 2005). در مرحله بعد، نقشه عمق رواناب با استفاده از نقشه CN و فایل خروجی حاصل از اجرای مدل L-THIA، برای سال‌های مورد مطالعه به طور جداگانه تهیه شد. سپس، نقشه حجم رواناب، با استفاده از نقشه عمق رواناب تهیه شده، به دست آمد. در مرحله بعد، میزان تغییر حجم و عمق رواناب در بازه زمانی مورد نظر بررسی و آثار تغییر کاربری زمین بر حجم و عمق رواناب مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها

در این مطالعه آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین بر آب‌های سطحی در بازه زمانی ۲۰ ساله در منطقه مطالعاتی با استفاده از مدل L-THIA ارزیابی شد. برای انجام این کار، ابتدا نیاز به تهیه نقشه‌های کاربری زمین چند زمانه برای بازه زمانی مورد نظر بود. این نقشه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شدند. سپس، نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیک خاک و نقشه CN تهیه شد و جهت اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از این مطالعه در ادامه ارائه شده است:

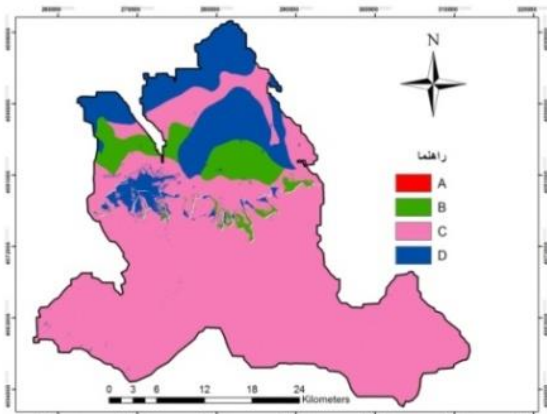
• بررسی درستی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

بررسی درستی طبقه‌بندی با روش استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام شد. در این روش، برای بررسی درستی طبقه‌بندی، تصویر طبقه‌بندی شده با یک تصویر حاوی نقاط کنترل زمینی مقایسه می‌شود. این روش، برای هر یک از نقشه‌های کاربری زمین انجام شد و مقادیر کاپا و درستی کل به دست آمد. مقدار آماره کاپا و درستی کل در گستره ۰-۱ است. هر چه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد، نقشه طبقه‌بندی شده از صحت بالاتری برخوردار است. نتایج حاصل از این بررسی در جدول (۳)، ارائه شده است.



شکل (۲): مراحل اجرای مدل L-THIA

شد. شکل (۳)، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل (۳): نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه مطالعاتی

بیش‌ترین سطح منطقه در گروه هیدرولوژیک C قرار دارد و گروه هیدرولوژیک A کم‌ترین سطح منطقه را تشکیل داده است. جدول

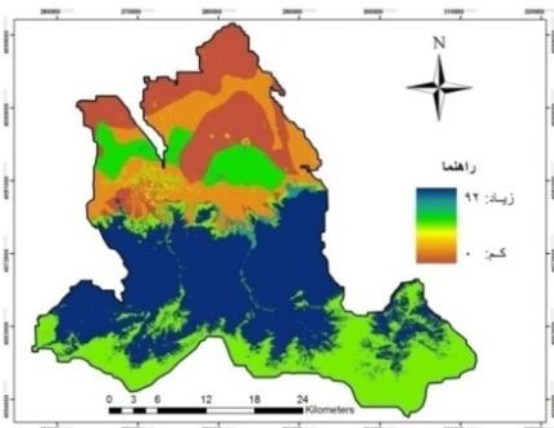
جدول (۳): نتایج حاصل از بررسی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

معیار درستی کل	معیار کاپا	نقشه‌های کاربری زمین
۰/۹۳۶۰	۰/۹۱۴۰	نقشه کاربری زمین ۱۹۸۸
۰/۹۷۱۴	۰/۹۶۰۲	نقشه کاربری زمین ۱۹۹۸
۰/۹۴۷۰	۰/۹۳۰۴	نقشه کاربری زمین ۲۰۰۷

• مدل‌سازی هیدرولوژیکی

در این مطالعه، مدل L-THIA به عنوان یک مدل هیدرولوژیکی جهت ارزیابی آثار حاصل از تغییر کاربری زمین بر آب‌های سطحی استفاده شد. این مدل بر مبنای داده‌های در دسترس شامل نقشه‌های کاربری زمین، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و داده‌های بارش بلند مدت ۳۰ ساله اجرا می‌شود. برای اجرای این مدل، ابتدا باید نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک تهیه شود. این نقشه با استفاده از نقشه کاربری زمین و نقشه قابلیت اراضی تهیه

رواناب سالانه و حجم رواناب سالانه در سال ۱۹۸۸ را نشان می‌دهند.



شکل (۴): نقشه CN مربوط به سال ۱۹۸۸

هم‌چنین، جدول (۵)، نتایج حاصل از بررسی عمق و حجم رواناب را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اجرای مدل L-THIA در دوره زمانی مورد مطالعه نشان داد، مقادیر عمق و حجم رواناب سالانه در گذر زمان افزایش یافته است که دلیل اصلی آن فرایندهای زمان چگونگی تغییر نموده‌اند. در این شکل‌ها، L_n مجموع مقادیر عمق و حجم رواناب سالانه جهت نمایش نحوه تغییرات حجم و عمق رواناب طی زمان ارایه شده‌اند. تغییر کاربری زمین آثار مهم و مستقیمی بر شرایط هیدرولوژیک حوضه آبخیز دارد که یکی از اثرات آن ایجاد تغییرات کمی در آب‌های سطحی است. ضمن این که توسعه مناطق مسکونی در منطقه نقش مهمی در افزایش عمق و حجم رواناب سطحی دارد. در منطقه مورد مطالعه از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۰۷، مناطق مسکونی گسترش یافته‌اند. این امر، سبب ایجاد سطوح غیر قابل نفوذ در سطح زمین و افزایش عمق و حجم رواناب منجر شده است. هم‌چنین، تغییر اراضی جنگلی به سایر کاربری‌ها، که در این حوضه روی داده است، نقش مهمی در افزایش رواناب سطحی داشته است. زیرا، رواناب در مناطق باز سریع‌تر از مناطق جنگلی جریان می‌یابد و این امر در افزایش عمق و حجم رواناب سطحی موثر است. هم‌چنین، تخریب اراضی مرتعی و کشاورزی و تبدیل آن‌ها به مناطق مسکونی و یا اراضی بایر که در این حوضه مشاهده شده است، با گذشت زمان نقش مهمی در تغییر شرایط هیدرولوژیکی حوضه داشته است که نتایج حاصل از اجرای مدل و مقادیر عمق و حجم رواناب به‌دست آمده، این مطلب را تایید می‌نماید (شکل‌های ۷ و ۸).

(۴)، مساحت تحت پوشش گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه را نشان می‌دهد.

جدول (۴): مساحت تحت پوشش گروه‌های

هیدرولوژیک خاک منطقه مورد مطالعه

گروه‌های هیدرولوژیک خاک	مساحت (ha)	درصد مساحت در حوضه
گروه A	۰/۱۱۵۲	۰/۰۰۰۹۴
گروه B	۸۷۲۳/۷	۷/۰۸۲
گروه C	۹۴۲۱۵/۱	۷۶/۴۹۷
گروه D	۲۰۲۲۳	۱۶/۴۱۹

گروه‌های هیدرولوژیک خاک توانایی خاک منطقه را برای تولید رواناب نشان می‌دهند. گروه هیدرولوژیک A دارای کم‌ترین توان برای تولید رواناب و گروه هیدرولوژیک D دارای بیش‌ترین توان برای تولید رواناب است. بنابراین منطقه مورد مطالعه به طور کلی توان بالایی برای تولید رواناب دارد. این امر، نشان می‌دهد که فرایندهای تغییر کاربری زمین در کنار توانایی بالای خاک در تولید رواناب، نقش مهمی در افزایش رواناب در منطقه مطالعاتی طی زمان دارد.

پس از تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک، مدل L-THIA برای منطقه مطالعاتی در بازه زمانی مورد نظر بر مبنای نقشه‌های کاربری زمین مربوط به سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ و داده‌های بارش ۳۰ ساله منطقه اجرا شد. سپس، نقشه‌های عمق رواناب سالانه و حجم رواناب سالانه تهیه شد.

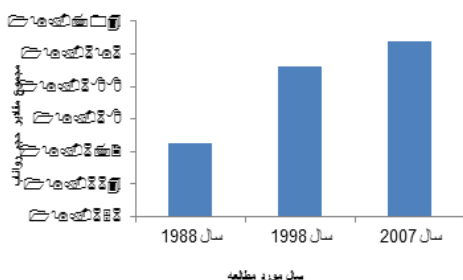
• اجرای مدل L-THIA

مدل L-THIA برای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین سال‌های مورد نظر، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و داده‌های بارندگی ۳۰ ساله منطقه اجرا شد. برای تهیه نقشه‌های عمق رواناب سالانه و حجم رواناب سالانه، ابتدا باید نقشه CN تهیه شود. این نقشه با استفاده از نقشه کاربری زمین هر سال و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک به طور جداگانه برای هر سال تهیه شد. به عنوان نمونه، شکل (۴)، نقشه CN مربوط به سال ۱۹۸۸ را نشان می‌دهد.

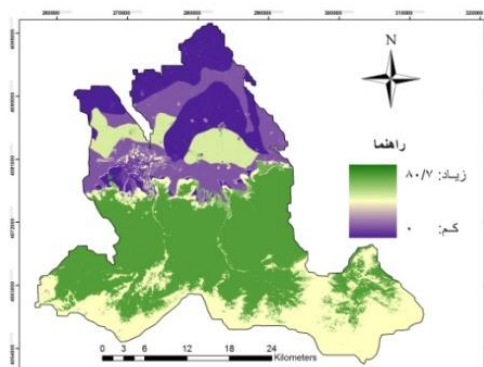
پس از تهیه نقشه CN، نقشه‌های عمق رواناب سالانه و حجم رواناب سالانه، با استفاده از مدل L-THIA تهیه شدند. به عنوان نمونه، شکل‌های (۵ و ۶)، به ترتیب مربوط به نقشه‌های عمق

جدول (۵): نتایج حاصل از بررسی مقادیر عمق و حجم رواناب سالانه برای سال ۱۹۸۸

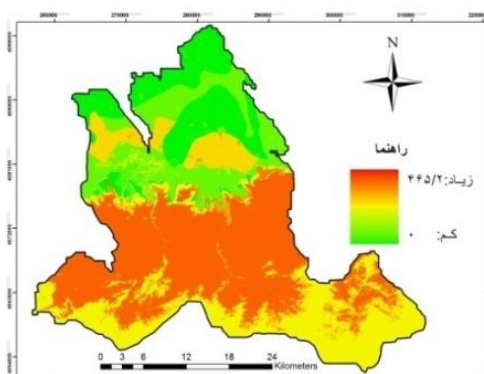
سال مورد مطالعه	عمق رواناب		مقادیر حجم رواناب	
	مجموع مقادیر عمق رواناب (m)	میانگین عمق رواناب (cm)	مجموع مقادیر حجم رواناب (m ³)	میانگین عمق رواناب (m ³)
سال ۱۹۸۸	۶۰۸۲۲۴/۷	۲۸/۵۵	۳۵۰۳۳۷۴۴۲/۴	۱۶۴/۴۷
سال ۱۹۹۸	۶۲۰۱۳۳/۴	۲۹	۳۵۷۱۹۶۸۴۳/۴	۱۶۷/۰۶
سال ۲۰۰۷	۶۲۳۹۳۹/۷	۲۹/۱۸	۳۵۹۳۸۹۲۶۷/۲	۱۶۸/۰۹



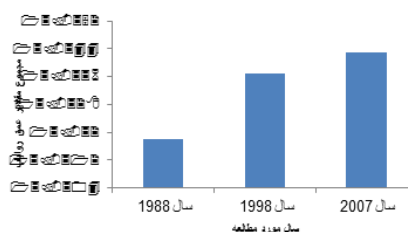
شکل (۸): تغییرات مقادیر حجم رواناب سالانه در دوره مورد مطالعه



شکل (۵): نقشه عمق رواناب سالانه در سال ۱۹۸۸



شکل (۶): نقشه حجم رواناب سالانه در سال ۱۹۸۸



شکل (۷): تغییرات مقادیر عمق رواناب سالانه در دوره مورد مطالعه

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه از مدل L-THIA برای ارزیابی اثرات حاصل از

تغییرات کاربری زمین بر منابع آب سطحی استفاده شد. این مدل با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین چند زمانه و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه اجرا گردید. نتایج نشان‌دهنده افزایش مجموع عمق و حجم رواناب در بازه زمانی مورد مطالعه است. این موضوع اثرات حاصل از تغییرات کاربری زمین بر رواناب سطحی را در منطقه مورد مطالعه تایید می‌نماید.

این نتایج با نتایج سایر محققین نظیر (Bhadori et al, 2000) مطابقت و هم‌خوانی دارد. آن‌ها به ارزیابی آثار هیدرولوژیکی بلند مدت حاصل از تغییرات کاربری زمین با استفاده از روش L-THIA پرداختند. نتایج نشان داد که تغییر کاربری زمین بیشتر با افزایش مناطق غیر قابل نفوذ (با افزایش شهرها) در منطقه منجر به ۸۰ درصد افزایش در میانگین حجم رواناب سالانه شده است. نتایج این بررسی نشان داد که مدل L-THIA، یک ابزار قوی برای شناسایی مناطق حساس محیط‌زیستی جهت پتانسیل آلودگی منابع غیرنقطه‌ای^(۷) و برای ارزیابی تغییرات سناریوهای کاربری اراضی برای مدیریت آلودگی منابع غیرنقطه‌ای است.

همچنین، (Tang et al., 2005 a) بیان نمودند که گسترش شهرها و فرایندهای تغییر کاربری زمین بر شرایط هیدرولوژیکی آبخیز اثر می‌گذارد. آن‌ها به بررسی آثار حاصل از تغییر کاربری زمین بر رواناب سطحی با استفاده از مدل L-THIA پرداختند. نتایج نشان داد که گسترش شهرها سبب افزایش حجم و عمق رواناب و افزایش آلودگی منابع غیرنقطه‌ای می‌شوند. ضمن این که

منطقه به مناطق مسکونی شهری بود که این امر نقش مهمی در افزایش رواناب تولیدی در این حوضه آبخیز داشته است. همچنین، (Weng, 2001) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی آثار رشد شهری بر رواناب سطحی با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداخت. وی از مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا برای مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی منطقه استفاده نمود. نتایج نشان داد که در محل‌هایی که به مناطق مسکونی تبدیل شده‌اند، میزان رواناب افزایش یافته است. این افزایش در بخش‌هایی که به مناطق مسکونی متراکم تبدیل شده‌اند، بیش‌تر از سایر مناطق محسوس است. در این مناطق، حداکثر ذخیره آب کاهش و در نتیجه سیل‌خیزی افزایش یافته است. نتایج حاصل از مطالعه حاضر با این نتایج مطابقت دارد.

همچنین، نتایج این بخش با نتایج (Shi et al., 2007) مطابقت دارد. آن‌ها از مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا برای ارزیابی آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین بر رواناب سطحی در آبخیز رودخانه Buji در منطقه Shenzhen در چین استفاده نمودند. تغییر کاربری زمین غالب در این منطقه، تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی شهری بود. نتایج حاصل از این مدل نشان داد که با تغییرات کاربری زمین ایجاد شده، میزان رواناب در بازه زمانی مفروض ۲۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۰۰) افزایش یافته است.

همان‌طور که بیان شد، تغییرات کاربری زمین بر شرایط اکوسیستم تاثیر می‌گذارند. از جمله آثار تغییر کاربری زمین، تغییر ویژگی‌های هیدرولوژیک منطقه است. یکی از ابزارهای موثر در ارزیابی آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین بر منابع آبی، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی است. در مطالعه حاضر، از این مدل برای ارزیابی اثرات حاصل از تغییرات کاربری زمین بر منابع آب سطحی استفاده شد. این مدل با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین چند زمانه، داده‌های اقلیمی بلندمدت (۳۰ ساله) و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه اجرا می‌شود. مطالعه حاضر در بازه زمانی ۲۰ ساله و در فاصله زمانی ۱۹۸۸-۲۰۰۷ انجام شد. نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه و همراه با سایر داده‌های مورد نیاز، جهت اجرای مدل L-THIA استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش مجموع عمق و حجم رواناب در این بازه زمانی است. این مطلب آثار تغییر کاربری زمین را بر رواناب سطحی تایید می‌نماید. بنابراین نیاز به اجرای برنامه‌های صحیح برای کنترل تغییرات کاربری زمین جهت حفظ تعادل اکولوژیک منطقه وجود دارد. طراحی فیزیکی دقیق کاربری اراضی منطقه می‌تواند آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین از جمله

با طراحی مناسب کاربری اراضی می‌توان این آثار را کاهش و به حداقل رسانید که نتایج مطالعه حاضر، با نتایج آن‌ها هم‌خوانی دارد. (Tang et al., 2005 b) نیز به پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین و ارزیابی آثار محیط‌زیستی حاصل از آن پرداختند. آن‌ها از مدل L-THIA برای ارزیابی آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین بر رواناب سطحی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که گسترش شهرها در منطقه، نقش مهمی در تغییر شرایط هیدرولوژیکی آبخیز شامل افزایش حجم و عمق رواناب سطحی در منطقه داشته است. نتایج این مطالعه بر دقت بیش‌تر در طراحی شهرها و تصمیم‌گیری در مورد نحوه استفاده از اراضی در سطح آبخیز تاکید می‌کند. آن‌ها بیان نمودند که توسعه شهرها نیرو محرک اصلی تغییرات شرایط هیدرولوژیکی منطقه و آلودگی منابع غیرنقطه‌ای است که نتایج مطالعه حاضر، با این نتایج هم‌خوانی دارد.

نتایج این مطالعه با نتایج (Perry & Nawaz, 2008) مطابقت دارد. آن‌ها از مدل L-THIA برای بررسی آثار هیدرولوژیکی حاصل از تغییرات کاربری زمین در منطقه‌ای در انگلستان در بازه زمانی ۱۹۷۱-۲۰۰۴ استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده افزایش عمق و حجم رواناب در منطقه با تغییر کاربری زمین و توسعه مناطق مسکونی و سطوح غیرقابل نفوذ در دوره زمانی موردنظر است. به طوری که میانگین رواناب سالانه حدود ۱۲ درصد افزایش یافته است. همچنین، نتایج نشان داد که مناطق غیر قابل نفوذ (مناطق مسکونی شهری) نقش مهمی در افزایش رواناب دارند.

همچنین، نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج سایر محققان که از روش‌های دیگری برای مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی استفاده نمودند، مطابقت دارد و آثار تغییر کاربری زمین را بر رواناب سطحی تایید می‌نماید. از جمله این پژوهش‌ها، (فرج‌زاده و فلاح، ۱۳۸۷) است. آن‌ها تغییرات کاربری و پوشش اراضی و اثرات آن بر رواناب سطحی را در حوضه آبخیز تجن مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با وجود سیر نزولی بارندگی در دوره زمانی مورد مطالعه، دبی افزایش یافته است. در این مطالعه بیان شده است که افزایش رواناب بیش‌تر به دلیل کاهش اراضی جنگل و مرتع در سطح منطقه بوده است.

نتایج این بخش با نتایج (Gholami et al., 2010) نیز مطابقت و هم‌خوانی دارد. آن‌ها به بررسی آثار هیدرولوژیکی حاصل از تغییرات کاربری زمین در یک آبخیز شهری در شمال ایران در دوره زمانی ۴۰ ساله پرداختند. آن‌ها از مدل HEC-HMS برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در مدت زمان مورد مطالعه، تغییر کاربری زمین غالب، تبدیل اراضی

اثرات هیدرولوژیکی حاصل از آن را کاهش دهد.

یادداشت‌ها

1. Long-Term Hydrological Impact Assessment
2. Straight Runoff
3. Hydrological Soil Group
4. Curve Number
5. Web-Base L-THIA
6. GIS-Base L-THIA
7. None-point resources

تشکر و قدردانی

نویسندگان از «سازمان فضایی ایران» و «سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور» به دلیل در اختیار قرار دادن تصاویر ماهواره‌ای و از «سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان» به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های بارندگی منطقه سپاسگزاری می‌نمایند.

فهرست منابع

ثنایی‌نژاد، ح؛ آراستایی، ع. ر؛ میرحسینی، پ؛ کشاورزی، ع. و قائمی، م. ۱۳۸۷. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعات پوشش گیاهی (مقایسه شاخص‌های مختلف گیاهی - مطالعه موردی منطقه نیشابور). مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۶-۷ شهریور، مشهد.

فرج‌زاده، م. و فلاح، م. ۱۳۸۷. ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر رژیم سیلابی رودخانه تجن با استفاده سنجش از دور. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. (۶۴): ۱۰۴-۸۹.

Bhadori, B; Harbor, J; Engel, B. and Grove, M. 2000. Assessing Watershed-Scale, Long-Term Hydrologic Impacts of Land-Use change Using a GIS-NPS Model. *Environmental Management*. (26): 643-658.

Engel, B. 2005. Long-Term Hydrological Impact Assessment version-2.3. United States Environmental Protection Agency (EPA). <http://www.ecn.purdue.edu/runoff>.

Engle, B. A; Choi, J. Y. and Harbor, J. and Pandey, S. 2003. Web-based DSS for hydrologic impact evaluation of small watershed land use changes. *Computers and electronics in agriculture*. (39): 241-249.

Gholami, V; Mohseni Saravi, M. and Ahmadi, H. 2010. Effects of impervious surfaces and urban development on runoff generation and flood hazard in the Hajighoshan watershed. *Caspian Journal of Environment sciences*. (8): 1-12.

<http://www.ecn.purdue.edu/runoff>. viewed at 02.11.2008.

Li, N., Xu, Y-P, and Guo, H. C. 2007. Analysis of Long-Term Impact of urbanization on surface runoff in Xitiao river basin. *Environmental Informatics Archives*. (5): 346-353.

Lim, K. J; Engel, B. A; Kim, Y; Bhadori, B and Harbor, J. 2001. Development of the long term hydrologic impact assessment (LTHIA) WWW systems. This paper was peer-reviewed for scientific content. Pages 1018- 1023. In: D. e. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). *Sustaining the global fram*. Selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting held may 24- 29, 1999 at purdue university and the USDA- ARS national soil erosion research laboratory.

Lim, K. J; Engel, B. A; Tang, Z; Muthukrishnan, S; Choi, J. and Kim, K. 2006. Effects of calibration on L-THIA GIS runoff and pollutant estimation. *Journal of Environmental Management*. (78): 35-43.

Lin, Y. P; Hong, N. M; Wu, P. J; Wu, C. F. and Verburg, P. H. 2007. Impacts of land use change Wu-Tu watershed in Northern Taiwan. *Landscape and Urban planning*. (80): 111-126.

Ma, Y. 2004. L-THI: A Useful Hydrologic Impact Assessment Model. *Nature and Science*. (2): 68-73.

Oluseyi, O.F. 2006. Urban Land Use Change Analysis of a Traditional City from Remote Sensing Data: The Case of Ibadan Metropolitan Area, Nigeria. *Humanity & Social Sciences Journal*. (1): 42- 61

Perry, T. and 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.

Shi, P. J; Yuan, Y; Zheng, J. and Wang, J. A. 2007. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzen region, China. *Catend*. (69): 31-35.

Tang, Z; Engel, B. A; Lim, K. J; Pijanowski, B. C. and Harbor, J. 2005 a. Minimising the impact of urbanization on long term runoff. *Journal of the American Water Resources Association*. (41): 1347-1359.

Tang, Z; Engel, B. A; Pihanowski, B. C. and Lim, K. J. 2005 b. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*. (76): 35-45.

Verburg, P. H; Soepboer, W; Veldkamp, A; Espaldon, V; Limpiadi, R. and Mastura SH, S. A. 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the clue-s model. *Environmental management*. (30): 391-405.

Weng, Q. 2001. Modeling Urban Growth Effects on Surface Runoff with the Integration of Remote Sensing and GIS. *Environment Management*. (28): 737-748.