

اثرات تغییر پوشش و کاربری زمین در منطقه تجریش بر رژیم آبدی رودخانه دربند

منصور جعفر بیگلو* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
سیدموسی حسینی - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
سمانه ریاحی - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۰

چکیده

رودخانه‌های شهری به دلیل افزایش جمعیت و تغییرات پوشش و کاربری زمین در حوضه‌های آبخیز آنها در معرض آسیب‌های گوناگون می‌باشند. رودخانه دربند نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در طول نیم قرن گذشته توسعه شهری تهران، رژیم هیدرولوژیکی آن را تحت تأثیر قرار داده است. در این پژوهش با استفاده از عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۵، ۱۳۵۸ و تصاویر ETM+ و IKONOS سال ۱۳۸۹، میزان تغییرات پوشش و کاربری اراضی در منطقه تجریش شناسایی شده و بر اساس آن‌ها نقشه پوشش و کاربری زمین برای سه دوره زمانی تهیه شده است و با به کارگیری نقشه‌های مذکور، با روش SCS به تخمین میزان عددی منحنی و نگهداشت سطحی آباقدام شده است. همچنین با بهره‌گیری از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان، مدل‌سازی رواناب و بارش انجام گرفته و از آزمون من کندانال به عنوان روشی برای بررسی روند داده‌های دبی و بارش استفاده شده است. با آشکار سازی تغییرات پوشش و کاربری زمین در سه دوره زمانی، مشخص گردید که سطوح تولید کننده رواناب زیاد در طول این سه دوره افزایش یافته است. در همین راستا شماره منحنی و ضریب رواناب از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۹ افزایش یافته و ضریب نگهداشت سطحی از ۱۲۲/۶۶ در سال ۱۳۴۵ به ۱۰۷/۲۶ در سال ۱۳۵۸ و ۱۰۴/۷۶ در سال ۱۳۸۹ کاهش یافته است. در حالیکه بارش روند افزایشی خاصی نداشته، دبی دارای روند صعودی بوده که علت اصلی آن تغییرات پوشش و کاربری زمین بوده است.

واژگان کلیدی: رودخانه دربند، پوشش و کاربری زمین، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی، روش SCS.

مقدمه

شهرسازی، تبدیل مناطق طبیعی، جنگلی و کشاورزی به ساخت‌وسازهای شهری (نظیر مناطق تجاری، صنعتی، جاده، خانه‌سازی) است. بنابراین در توزیع فضایی پوشش گیاهی، مقاومت سطح، تبخیر و تعرق و در نهایت پاسخ جریان حوضه آبریز تغییر ایجاد می‌شود (کوستا^۱ و همکاران، ۲۰۰۳: ۲۰۶). گسترش ساخت‌وساز شهری باعث جایگزینی سطوح گیاهی نفوذپذیر به سطوح نفوذ ناپذیر و تغییرات معنادار در جریان حوضه زهکشی می‌شود. این تغییرات باعث می‌شود که نفوذ، دفع توسط تاج درختان و توانایی نگهداری آب در زمین به صورت محلی کاهش یابد (رز^۲ و پیتز^۳، ۲۰۰۱: ۱۴۴۱). افزایش شهرنشینی در رژیم جریان پایه ناشی از کاهش میزان تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد (اوت^۴ و اوهلنبروک^۵، ۲۰۰۴: ۶۲). تغییر در شبکه زهکشی و محیط فیزیکی باعث افزایش پیک رواناب ناشی از بارش و کاهش نفوذ می‌شود (سیریواندرا^۶ و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۹۹). نواحی شهری به طور متوسط ۹۰ درصد بارش را به رواناب تبدیل می‌کنند، درحالی‌که نواحی غیرشهری مثل جنگل، ۲۵ درصد از بارش را در خود نگه می‌دارد (شان^۷ و ویلنسون^۸، ۲۰۰۹: ۴۱). کریدورهای رودخانه‌های شهری می‌تواند ارزش‌های طبیعی رو به اضمحلال اکوسیستم شهری را تا حد قابل توجه حفظ نماید. با عنایت به این موضوع احیای رودخانه‌های شهری مستلزم برنامه‌ریزی و طراحی صحیح رودخانه می‌باشد (فرزادبهباش و همکاران، ۱۳۸۹: ۵).

در زمینه مطالعه و بررسی تأثیر تغییر پوشش و کاربری زمین بر رژیم آبدی رودخانه، پژوهش‌های فراوانی انجام گرفت است. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

جدول ۱: پیشینه تحقیق در زمینه تأثیر تغییر پوشش و کاربری زمین بر رژیم آبدی رودخانه

سال	خلاصه‌ی پژوهش	عنوان	پدیدآورنده
۲۰۱۳	افزایش قابل توجه تغییرات پوشش و کاربری اراضی بالادست باعث افزایش سطح رواناب و شار رسوب رود نیل شده‌است.	تحلیل روند شار رواناب و رسوب در بالادست حوضه نیل	گبرمیکال ^۹ و همکاران
۲۰۱۳	قابل توجه‌ترین تأثیر شهرسازی در رواناب سطحی، دبی پیک، سطح سیلاب می‌باشد	پاسخ هیدرولوژی به شهرسازی در مقیاس زمانی مکانی در منطقه‌ی دلتای رود یانگتس	ژو ^{۱۰} و همکاران
۲۰۱۲	تغییر کاربری اراضی علاوه بر افزایش ریسک سیلاب، تأثیر منفی در تاب‌آوری آب‌سطحی و زیرزمینی خواهد شد داشت.	ارزیابی تأثیر تغییر کاربری‌های آینده بر فرایندهای هیدرولوژی رودخانه البو	ویجسکارا ^{۱۱} و همکاران
۲۰۱۲	تغییر در پیک دبی و سطح سیل با افزایش سطح نفوذناپذیری که ناشی از شهرسازی می‌باشد، رابطه خطی را نشان می‌دهد و بیان می‌کند سیلاب‌های کوچک به شهرسازی حساس‌تر از سیلاب‌های	ارزیابی تأثیر شهرسازی در رواناب سالانه و رخدادهای سیلابی با استفاده از سیستم مدل‌سازی هیدرولوژی مختلط در حوضه	دو ^{۱۲} و همکاران

1Costa

2Rose

3Peters

4Ott

5Uhlenbrook

6Siriwardena

7Shang

8Wilson

9Gebremicael

10Zhou

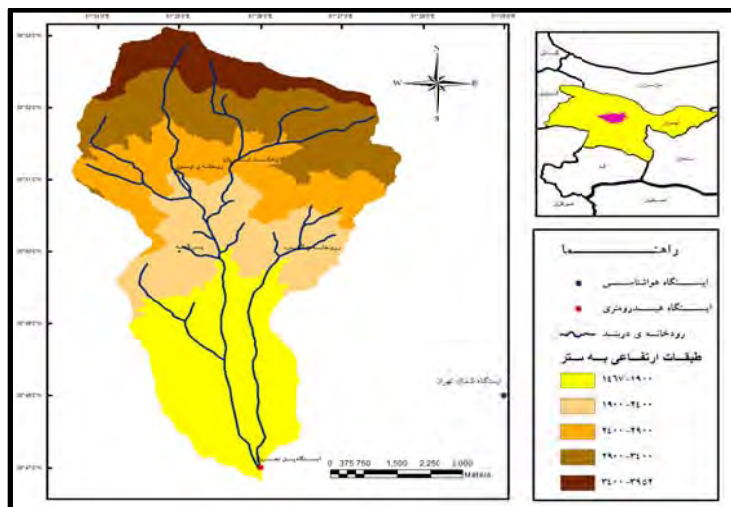
11Wijesekara

	بزرگ می‌باشد.	رودخانه کینه‌های چین	
۲۰۱۱	شهرنشینی و از بین بردن درختان از طریق ایجاد تنش محیطی به منابع آب منطقه از طریق کاهش جریان پایه و نفوذ تأثیر می‌گذارد.	تأثیر تغییر پوشش و کاربری اراضی بالادست حوضه آبخیز سانپرو در هیدرولوژی	نی ^۲ و همکاران
۱۳۹۱	بهبود کاربری حوضه‌ها باعث کاهش رواناب از طریق افزایش نفوذپذیری، آب‌گذری‌ها بخوان سطح حوضه عمیق و افزایش تبخیر و تعرق می‌شود از طرفی با تخریب منطقه در جهت هم‌مقدار رواناب افزایش یافته است.	ارزیابی تغییر کاربری تأثیر آن بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان	سلمانی و همکاران
۱۳۹۰	سهم کاربری شهری در حجم رواناب شهری تولید شده در منطقه ۲۲ تهران در سال ۱۳۶۷، ۴۸ درصد از رواناب منطقه است که در سال ۱۳۸۸ این رقم به ۶۴ درصد رسیده است.	تغییرات فضایی سیلاب در کلان‌شهر تهران	درفشی
۱۳۹۰	بارش دارای روند خاصی نبود و تغییر کاربری تنها عامل افزایش و کاهش در میزان رواناب می‌باشد.	بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر رفتار آب‌شناختی حوزه (مطالعه موردی زیرحوضه قلعه شاهرخ سد زاینده رود)	براتی قهفرخی و همکاران
۱۳۸۶	فرسایش و سیل در حوضه مادر سو ناشی از تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی، بهره‌برداری از بستر، شدت بارش و ... در بروز سیلاب نقش اساسی دارد.	بررسی علل بروز سیل در محدوده شرق استان گلستان (مطالعه موردی حوضه مادر سو)	رنجبر و ندیری

با توجه به رشد سریع جمعیت تهران به ویژه در منطقه ۱ شهرداری و تغییرات کاربری زمین ناشی از آن، رودخانه-های شهری این منطقه از جمله رودخانه دربند، به دلیل نیاز انسان به فضای زیست در معرض آسیب و تجاوز به حریم بوده و باعث تغییرات شدید در رژیم آبدی رودخانه شده است. با توجه به اینکه سیل‌های ایران معمولاً در فصل‌های خشک به وقوع می‌پیوندد، و به دنبال چند دقیقه یا حداکثر چند ساعت بارندگی حادث می‌شود و علیرغم میزان بارش به وقوع پیوسته، دامنه تخریب و ویرانی آن‌ها بسیار شدید است (اصغری مقدم، ۱۳۷۸، ۱۴۵). همچنین با ملاحظه اینکه سیلاب به وقوع پیوسته در تاریخ ۲۲ مرداد ۱۳۶۶ در منطقه تجریش نتیجه مستقیم بارش نبوده و ضعف مدیریت سیلاب‌های شهری منجر به ایجاد آن و وارد شدن خسارات فراوان مالی و جانی شده است (محسنی، ۱۳۸۲، ۷۴). لذا مطالعه تأثیر تغییر پوشش و کاربری زمین در رژیم آبدی رودخانه‌ها یکی از موضوعات ضروری و با اهمیت در مورد کلان‌شهر تهران می‌باشد که در این پژوهش سعی شده به بررسی میزان تغییرات پوشش و کاربری صورت گرفته در منطقه تجریش و تأثیر آن در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه دربند پرداخته شود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه دربند شامل دو رودخانه دربند و گلابدره می‌باشد که از رودخانه‌های بزرگ حوضه آبریز تهران-کرج به حساب می‌آید. این رودخانه از کوه‌های توچال واقع در شمال شهر تهران سرچشمه گرفته و جزء رودخانه‌های شهری محسوب می‌شود. حوضه مورد مطالعه از طول جغرافیایی ۲۴° ۵۱' الی ۲۸° ۵۱' و عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۷' تا ۳۵° ۵۳' واقع شده است. طول دره دربند در محدوده مورد مطالعه ۴۷۲۳ متر و عرض متوسط آن ۷ متر است. حوضه رودخانه دربند در محدوده مورد مطالعه دارای مساحت ۸۸ / ۳۹ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه ارتفاعی حوضه رودخانه دربند و موقعیت آن در منطقه

این محدوده مشتمل بر دو بخش است که بخش شمالی آن کوهستانی و مرتفع بوده و بخش جنوبی آن نسبتاً کم-شیب می‌باشد و قسمت‌های جنوبی جزء محدوده شهری منطقه ۱ تهران می‌باشد که از نظر کاربری زمین دستخوش تغییرات عمده‌ای شده است. مرتفع‌ترین نقطه در بخش شمالی (۳۹۵۷ متر) و پست‌ترین نقطه در بخش جنوبی آن (۱۴۷۶ متر) از سطح دریا می‌باشد.

روش پژوهش

این تحقیق از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی است. همچنین روش جمع‌آوری داده‌ها، کتابخانه‌ای می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل داده‌های دبی به صورت روزانه و سالانه (از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۹) مربوط به ایستگاه پل تجریش و داده‌های بارش به صورت روزانه و سالانه بوده که از ایستگاه شمال تهران سازمان هواشناسی برای دوره زمانی ۱۳۵۸ تا ۱۳۸۹ می‌باشد که داده‌های مربوط به سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۸ از طریق روش رگرسیون خطی و با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های مجاور بازسازی شده است. ابزارهای تحقیق شامل ابزارهای فیزیکی (عکس‌های هوایی ۱۳۴۵ و ۱۳۵۸ و تصاویر سنجه‌ ETM^+ و Ikonos سال ۱۳۸۹) و ابزارهای مفهومی که شامل نرم‌افزارها و مدل‌های (ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۱، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۲ و آزمون من-کندال^۳ و SCS^۴ استفاده شده است و به منظور برآورد ضریب نگهداشت سطحی و ارتفاع رواناب روش SCS مورد استفاده قرار گرفته است.

آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی

به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی از عکس‌های هوایی سازمان نقشه‌برداری کشور مربوط به سال‌های ۱۳۴۵ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ و سال ۱۳۵۸ با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر Ikonos سال ۲۰۱۰ (۱۳۸۹) و تصاویر ماهواره ای (سال ۲۰۱۰) ETM^+ استفاده شده است. در این راستا ابتدا با استفاده از نقاط کنترل زمینی (شکل ۲) و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، عکس-های هوایی زمین مرجع و سپس موزائیک شده و با انجام تصحیحات لازم امکان هم‌پوشانی آن‌ها با تصاویر ماهواره‌ای فراهم گردید، سپس نقشه کاربری و پوشش زمین برای محدوده زمانی ۱۳۴۵، ۱۳۸۹، ۱۳۵۸، تهیه گردید. برای تهیه نقشه پوشش و

^۱ Support Vector Machines

^۲ Artificial Neural Networks

^۳ Mann-Kendal

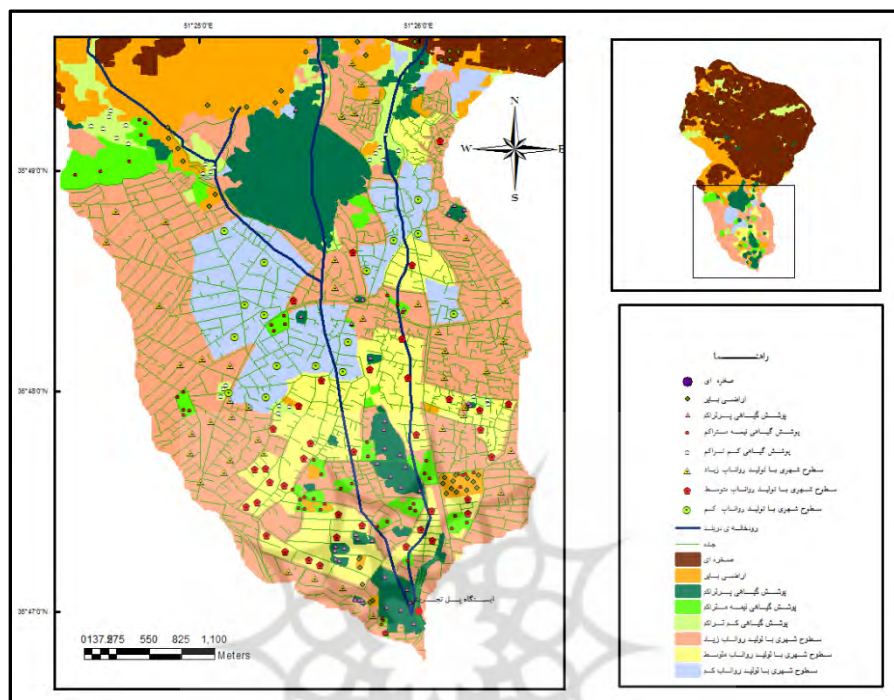
^۴ Soil conservation service

کاربری زمین سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۵۸ از تکنیک دیداری استفاده شد، ولی برای سال ۱۳۸۹ به صورت توأمان از تکنیک‌های پردازش رقومی و تفسیر دیداری به شرح زیر استفاده گردید. ابتدا بر اساس داده‌های سنجنده‌های ETM⁺ و IKONOS، طبقه‌بندی نظارت شده^۱ با روش حداکثر احتمال^۲ انجام گرفت که پس از ارزیابی صحت^۳ طبقه‌بندی با روش صحت کلی و ضریب کاپا که با بهره‌گیری از نمونه‌برداری زمینی صورت گرفت، نتایج بیان‌گر آن بود که کلیه طبقات محدوده‌های خارج از شهر به اضافه محدوده‌های فضای سبز شهری دارای دقت بسیار بالا بوده، ولی در مورد سایر طبقات داخل محدوده شهری به علت تنوع سطوح و ترکیبی بودن طبقات انتخاب شده، از دقت کافی برخوردار نبودند. به همین جهت در طبقه‌بندی انواع کاربری محدوده شهری به صورت توأمان از روش‌های کامپیوتری و تصاویر دیداری استفاده گردید و نهایتاً نقشه پوشش و کاربری زمین سال ۱۳۸۹ نیز تهیه شد که برای کنترل این نقشه، نمونه‌برداری‌های زمینی، صورت گرفت و با مطابقت نمونه‌ها با نقشه مذکور دقت آن ۹۷ درصد تعیین گردید.

با توجه به اهداف تحقیق در تقسیم‌بندی سطوح پوششی زمین میزان نفوذپذیری و تولید رواناب آن‌ها مدنظر بوده و مساحت کلی عوارض غالب در هر سطح در نظر گرفته شده است. لذا تصمیم بر این بوده که سطوح کوچک غیرهمگون واقع در داخل آن‌ها جنرالیزه گردد، بنابراین در نقشه‌های حاصله انواع سطوح طبقه‌بندی شده به شرح زیر می‌باشد:

- طبقه ۱) پوشش گیاهی متراکم: شامل سطوح متشکل از درختان متراکم، درختان با تاج بزرگ، چمن و فضای سبز متراکم.
- طبقه ۲) پوشش گیاهی نیمه‌متراکم: شامل سطوح متشکل از درختان نیمه‌متراکم، درختان با تاج کوچک (تاج درختان ۵۰٪ زمین را می‌پوشاند)، فضای سبز با تراکم متوسط.
- طبقه ۳) پوشش گیاهی کم‌تراکم: شامل سطوح متشکل بوته‌زارها خارج از شهر، درختان با فاصله‌های خیلی زیاد (تاج درختان کمتر از ۲۰٪ زمین را می‌پوشاند).
- طبقه ۴) سطوح با تولید رواناب زیاد: شامل سطوح متشکل مناطقی با بیش از ۹۰٪ دارای پوشش آسفالت و یا ساختمان می‌باشد. برج‌ها و آپارتمان‌های شهری، کوچه‌ها و خیابان‌ها، بزرگراه‌ها و سایر سطوح آسفالتی و سنگفرش.
- طبقه ۵) سطوح با تولید رواناب متوسط: که شامل سطوح متشکل مناطقی با بیش از ۷۰٪ دارای پوشش آسفالت و یا ساختمان می‌باشد (مجموعه‌ای از آپارتمان‌ها و ساختمان‌های ویلایی و اداری که دارای مقداری فضای سبز نیز می‌باشند و همچنین خیابان‌ها و معابر با حاشیه‌های از ردیف درختان و فضاها سبز کوچک).
- طبقه ۶) سطوح با رواناب کم: که شامل مناطقی که کمتر از ۵۰٪ آن با ساختمان‌ها و آسفالت پوشیده شده است (شامل مناطق ویلایی و مراکز درمانی و ورزشی و اداری که دارای فضای سبز با مساحت زیاد می‌باشند. مناطقی با ترکیب فضای سبز شهری و ساختمان‌ها.
- طبقه ۷) اراضی بایر: شامل اراضی بایر واقع در داخل و خارج از محدوده شهری که عمدتاً بدون پوشش گیاهی می‌باشد.
- طبقه ۸) سطوح صخره‌ای: شامل بخش‌هایی از منطقه که دارای بروزدگی‌های سنگی و دامنه‌های پرشیب می‌باشد.

در نهایت نقشه‌های پوشش و کاربری زمین مربوط به سه دوره زمانی به محیط GIS وارد شد و پس از انجام عملیات هم‌پوشانی و تجزیه و تحلیل فضایی به آشکارسازی تغییرات به وجود آمده در نوع پوشش و کاربری زمینی پرداخته شد که نتایج آن در جدول (۲) درج شده است.



شکل ۲: نقشه موقعیت نقاط کنترل زمینی حوضه در بند برای استخراج نقشه کاربری و پوشش زمین

روش SCS برای برآورد رواناب سطحی

از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی، روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است که محاسبه رواناب بر مبنای تعیین شماره منحنی می‌باشد و بر اساس مشاهدات متعدد در حوضه‌ها و اقلیم‌های مختلف در آمریکا ایجاد شده است. در این پژوهش جهت برآورد رواناب منطقه مورد مطالعه از روش SCS استفاده گردید که در آن با استفاده از شماره منحنی امکان برآوردهای نزدیک به واقعیت، از رواناب حوضه آبخیز وجود دارد. ارتفاع رواناب در روش SCS توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۱)

R ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر I ارتفاع بارندگی بر حسب میلی‌متر

S مقدار ذخیره سطحی خاک که بر حسب میلی‌متر می‌باشد است که مقدار آن برابر است با:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

رابطه (۲):

در این معادله CN، شماره منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه می‌باشد.

آزمون من-کندال برای تشخیص روند در داده‌ها

به منظور تعیین روند داده‌های بارش و دبی از مدل من-کندال استفاده شده است. در آزمون من-کندال یا MK(Mann-Kendal) هر مقدار سری زمانی به صورت به هم پیوسته و پشت سر هم با بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

برای اجرای آزمون من-کندال گام‌های زیر باید طی شود:

داده‌ها را به ترتیب وقوع ردیف کنید. فرض کنید تعداد آن‌ها n باشد.

اولین داده (X_1) را گرفته و به ترتیب آن‌ها را با سایر داده‌ها مقایسه کنید و تعیین کنید در چند مورد از دیگر داده‌ها بزرگ‌تر است و تعداد آن را P_{1ex} بنامید.

دومین داده (X_2) را گرفته و آن را با داده‌های بعد از خود مقایسه کنید و مشخص کنید در چند مورد از دیگر داده‌ها بزرگ‌تر است و تعداد آن را P_{2ex} بنامید.

عمل فوق را برای داده‌های دیگر (x_3, x_4, \dots, x_n) آزمایش کرده و مقادیر $P_{3ex}, P_{4ex}, \dots, P_{nex}$ را به دست آورید.

جمع مقادیر $P_{1ex}, P_{2ex}, \dots, P_{nex}$ را به دست آورید و آنرا P بنامید.

رابطه (۳):

مقدار $E(P)$ را از فرمول زیر به دست آورید.

رابطه (۴):

ضریب کندال (τ) را از فرمول زیر محاسبه کنید:

رابطه (۵):

واریانس (τ) را از فرمول زیر محاسبه کنید.

رابطه (۶):

مقدار Z را از فرمول زیر به دست آورید.

رابطه (۷):

چنانچه Z بزرگ‌تر از $1/96 +$ و یا کوچکتر از $1/96 -$ باشد خواهیم گفت داده‌ها دارای روند می‌باشد.

نمودار تابع همبستگی متقابل (CCF)

تابع همبستگی متقابل یا CCF، شاخص و معیار مناسبی بین سری‌های زمانی دو متغیر در تأخیرهای مختلف می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی همبستگی متقابل و مستقل بودن داده‌های بارش و داده‌های دبی در مقیاس سالیانه از تابع همبستگی متقابل استفاده شده است.

$$r_{qr}(k) = \frac{\sum_t^{n-k} (q_t - \bar{q})(R_t - \bar{R})}{\left(\sqrt{\sum_t^{n-k} (q_t - \bar{q})^2} \right) \left(\sqrt{\sum_t^{n-k} (R_t - \bar{R})^2} \right)} \quad \text{رابطه (۸)}$$

\bar{R}, \bar{q} به ترتیب دبی متوسط و بارش متوسط:

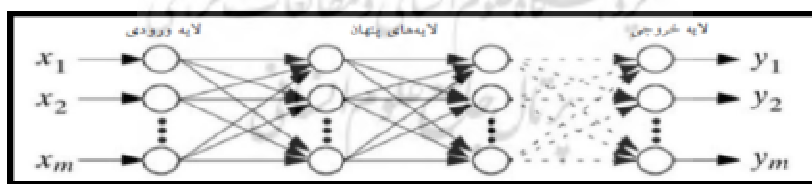
q_t, R_t به ترتیب دبی و بارش در زمان t

k شماره تأخیر یا Lag می‌باشند.

به همان ترتیب که تابع خودهمبستگی برای شناسایی مدل تصادفی به کار می‌رود، ابزار تحلیل داده‌هایی که به برای شناسایی مدل‌های انتقال به کار گرفته می‌شود، تابع همبستگی متقابل بین ورودی و خروجی است (بزرگ‌نیا، ۱۳۷۸). اگر ستون‌ها از خط همبستگی متقابل عبور نکند حاکی از عدم وابستگی می‌باشد.

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل مجموعه‌ای از نرون‌های به هم متصل می‌باشند که هر یک از این نرون‌ها یک لایه گفته می‌شود. این شبکه‌ها از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده‌اند. نحوه‌ی شکلات اتصال نرون‌ها در لایه‌ها مختلف، باعث ایجاد ساختارهای مختلف در شبکه‌های عصبی مصنوعی شده‌است. چنانچه در یک شبکه عصبی، خروجی نرون‌ها به نرون‌های لایه بعد وصل شود، به آن شبکه عصبی پیش‌خور، گفته می‌شود که در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: نمای کلی شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور چند لایه (کیم، ۲۰۰۸)

از نظر ریاضی، مقدار خروجی شبکه‌ی پیش‌خور می‌تواند به صورت زیر بیان گردد (کیم و والد، ۲۰۰۳).

رابطه (۹):

$$y_k = \phi_{out} \left[\sum_{i=1}^m w_{ig} \cdot \phi_h \left(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_i + b_{jh} \right) + b_o \right]$$

در این معادله، w_{ji} وزن اتصال دهنده i امین نرون در لایه ورودی به j امین نرون در لایه پنهان، b_{jh} بایاس مربوط به j امین نرون پنهان ϕ_h تابع فعالیت نرون پنهان، w_{ig} وزن اتصال دهنده i امین نرون در لایه پنهان و K امین نرون در لایه خروجی، b_o بایاس مربوط به K امین نرون خروجی می باشد. تعداد نرون‌های ورود متناظر با تعداد مشاهدات با وقفه برای کشف الگوی اصلی در یک سری زمانی به کار می‌رود تا مقادیر آینده را پیش‌بینی نمایند. لایه پنهان و نرون‌های آن، نقش مهمی را در موفقیت شبکه عصبی ایفا می‌کنند. نرون‌های پنهان، داده‌های ورودی را دریافت کرده و نگاشت غیرخطی و پیچیده‌ای را بین متغیرهای ورودی و خروجی اجرامی‌کنند. از متداولترین شبکه‌های عصبی پیش‌خور، پرسپترون چندلایه (MLP) می‌باشد که یک مدل پیش‌بینی کننده برای یک یا چند متغیر وابسته (هدف) بر اساس مقادیر متغیرهای پیش‌بینی کننده می‌باشد. در این مقاله از روش پرسپترون سه‌لایه استفاده شده است.

مدل‌سازی ماشین بردار پشتیبان (SVM)

به عنوان یکی از جوان‌ترین روش‌های آماری در اواسط ۱۹۹۰، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این روش دارای پایه‌ای نظری قوی با توانایی بالایی تعمیم دارد و موفقیت‌های بزرگی در شناختی الگوی مناطق مختلف داشته است. (شیجین^۱ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۳۷).

در مدل رگرسیونی SVM لازم است وابستگی تابعی متغیر وابسته y به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل x تخمین زده شود. فرض بر این است که مانند دیگر مسائل رگرسیونی، رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل توسط یک تابع معین f به علاوه یک مقدار اضافی نویز ϵ می‌باشد (یعنی داشته باشیم: $y = f(x) + noise$). بنابراین موضوع اصلی پیدا کردن فرم تابع f است که بتواند به صورت صحیح موارد جدیدی را پیش‌بینی کند که SVM تاکنون تجربه نکرده است. این تابع به وسیله آموزش مدل SVM بر روی مجموعه‌ای از داده‌ها به عنوان مجموعه آموزش قابل دسترس شامل پروسه‌ای جهت بهینه‌سازی دائمی تابع خطا می‌باشد. بر مبنای تعریف این تابع خطا، دو نمونه از مدل‌های SVM شناخته شده که عبارتند از الف) مدل‌های رگرسیونی SVM نوع اول که به مدل - های SVM (مشهورند، ب) مدل‌های رگرسیونی SVM نوع دوم که به مدل‌های SVM - ϵ مشهورند. در این مطالعه مدل - ϵ SVM به دلیل کاربرد گسترده آن در مسائل رگرسیونی استفاده گردیده است. برای این مدل تابع خطا به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۱۰):

$$\frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^N \xi_i + C \sum_{i=1}^N \xi_i^*$$

تابع خطای مذکور لازم است که با توجه به محدودیت‌های زیر کمینه گردد.

^۱.Shijin

r.Noise

رابطه شماره ۱۱

$$\begin{aligned} w^T \phi(x_i) + b - y_i &\leq \varepsilon + \xi_i^* \\ y_i - w^T \phi(x_i) - b &\leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* &\geq 0, \quad i = 1, \dots, N \end{aligned}$$

در روابط بالا، C ثابت گنجایش ۱، W بردار ضرایب، W^t ترانزپوز بردار ضرایب، ξ_i و ξ_i^* ضرایب کمبود ۲، b ضریبی ثابت و N الگوهای آموزش مدل و نهایتاً ϕ تابع کرنل می‌باشد. کرنل تابع پایه شعاعی (RBF) ۳ به عنوان بهترین انتخاب از بین دیگر توابع کرنل گزارش شده است (نوری، ۲۰۰۹). بنابراین در این تحقیق تابع مذکور که توسط γ در معادله (۱۲) تعریف شده به کار گرفته شده است.

رابطه (۱۲):

$$K(x_i, x) = \exp(-\gamma |x_i - x|^2)$$

با توجه به معادلات (۱۰) تا (۱۲) لازم است برای پیش‌بینی دبی ماهانه توسط مدل SVM سه پارامتر γ ، ε و C بهینه شوند.

۸.۲. ارزیابی خطا

به منظور ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها از پنج آماره ضریب تعیین (R^2) ۴ میانگین قدرمطلق خطا (MAE) ۵ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۶ و شاخص پراکندگی (SI) ۷ و ضریب نرمال (CE) ۸ که توضیحات بیشتر در ذیل آمده استفاده شده است.

روابط (۱۳) و (۱۴):

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (Q_{io} - \bar{Q}_o)(Q_{im} - \bar{Q}_M))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{io} - \bar{Q}_o)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{im} - \bar{Q}_M)^2} \quad CE = 1 - \frac{|Q_{io} - Q_{im}|}{|Q_{io} - \bar{Q}_o|}$$

روابط (۱۴) و (۱۵):

- 1- Capacity constant
- 2- Slack variables
- 3- Radial Base Function (RBF)
4. Determination Coefficient
5. Mean Absolute Error
- 6. Root Mean Square Error**
7. Scatter index
8. Coefficient normal

که در آن

$$Q_{i0} = \text{داده‌ی مشاهداتی دبی} \quad \bar{Q}_M = \text{میانگین مقادیر پیش‌بینی شده دبی}$$

$$\bar{Q}_0 = \text{میانگین مقادیر مشاهده‌شده دبی} \quad n = \text{تعداد داده‌های دبی}$$

هر چه مقادیر ضریب تعیین R^2 و GE به یک نزدیک باشد، نشان‌دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر پیش‌بینی‌شده به مقادیر واقعی خواهد بود. همچنین، مقدار کوچک هر یک از معیارهای خطا در روابط ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بیان‌گر دید بالای پیش‌بینی می‌باشد (شاه حسین دستجردی و همکاران، ۱۳۹۱).

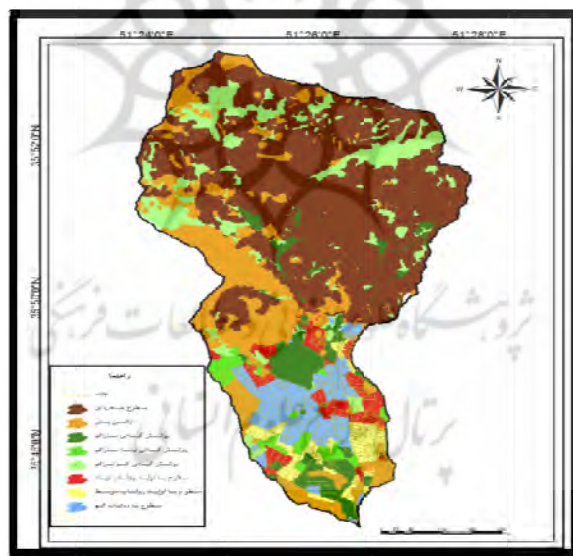
بحث و یافته‌ها

ارزیابی تغییرات پوشش و کاربری اراضی

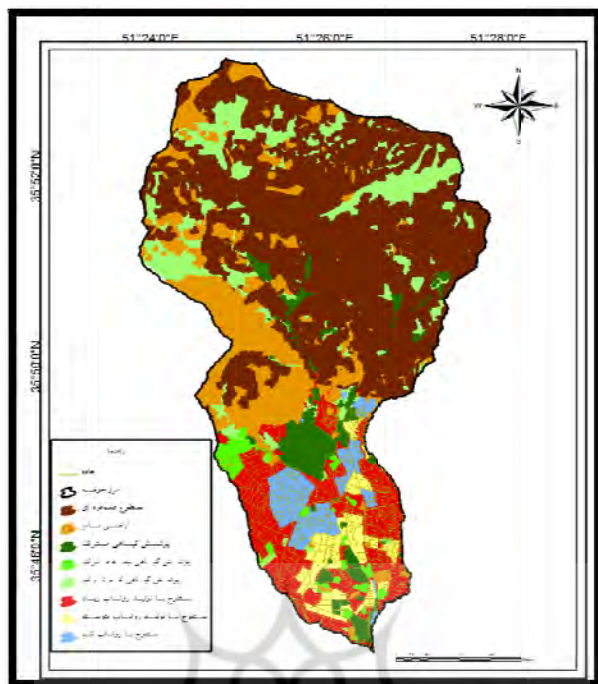
پس از بررسی‌های انجام شده، کاربری اراضی حوضه رودخانه دربند در سال‌های ۱۳۴۵، ۱۳۵۸، ۱۳۸۹ به شرح زیر می‌باشد که در جدول ۲ تهیه گردیده است و میزان تغییرات کاربری در هر یک از دوره‌ها در تصاویر ۳، ۴، ۵ آمده است. بر اساس جدول ۲، مساحت طبقه سطوح شهری با تولید رواناب کم (مانند منازل و مجتمع‌های ویلایی)، همانند طبقات پوشش گیاهی کم تراکم و نیمه متراکم و پرتراکم و اراضی بایر روند نزولی داشته است، ولی مساحت سطوح شهری با تولید رواناب متوسط در سال ۱۳۵۸ در مقایسه با سال ۱۳۴۵ افزایش یافته است. اما در سال ۱۳۸۹ میزان آن کمی کاهش یافته است که نشان‌گر آن است که مناطقی با سطوح رواناب متوسط تبدیل به سطوح دارای رواناب زیاد شده که علت آن تبدیل شدن ساختمان‌های ویلایی در گذشته به آپارتمان‌ها، سطوح شیروانی و بزرگراه‌ها در دوره جدید بوده و نیز میزان مساحت اراضی بایر در سال ۱۳۴۵ در مقایسه با سال‌های ۱۳۵۸ و ۱۳۸۹ بیشتر بوده و در دو دهه اخیر کاربری آن به بخش ساخت و ساز شهری تبدیل شده است. در مجموع می‌توان عنوان کرد میزان کاربری شهری افزایش یافته است و همچنین مقدار CN از ۶۷/۴۴ در سال ۱۳۴۵ به ۷۰/۳۱ در سال ۱۳۵۸ و ۷۰/۸۰ در سال ۱۳۸۹ متغیر بوده است و این فاکتور نیز افزایش یافته است و به همین نسبت میزان ضریب نگهداشت سطحی که از ۱۲۲/۶۶ در سال ۱۳۴۵ به ۱۰۷/۲۶ در سال ۱۳۵۸ و ۱۰۴/۷۶ در سال ۱۳۸۹ متغیر بوده و در واقع این ضریب کاهش یافته است. طبق روش SCS که به منظور برآورد ارتفاع رواناب استفاده شده است، ارتفاع رواناب در سال ۱۳۵۸ نسبت به ۱۳۴۵ افزایش یافته است اما در سال ۱۳۸۹ به دلیل کاهش بارش در آن سال، کاهش پیدا کرده است (شکل ۷)

جدول ۲. مقایسه میزان تغییرات پوشش و کاربری زمین و ضریب نگهداشت سطحی و ارتفاع رواناب در سال‌های ۱۳۴۵، ۱۳۵۸، ۱۳۸۹ (بر اساس نقشه‌های ۴، ۵ و ۶)

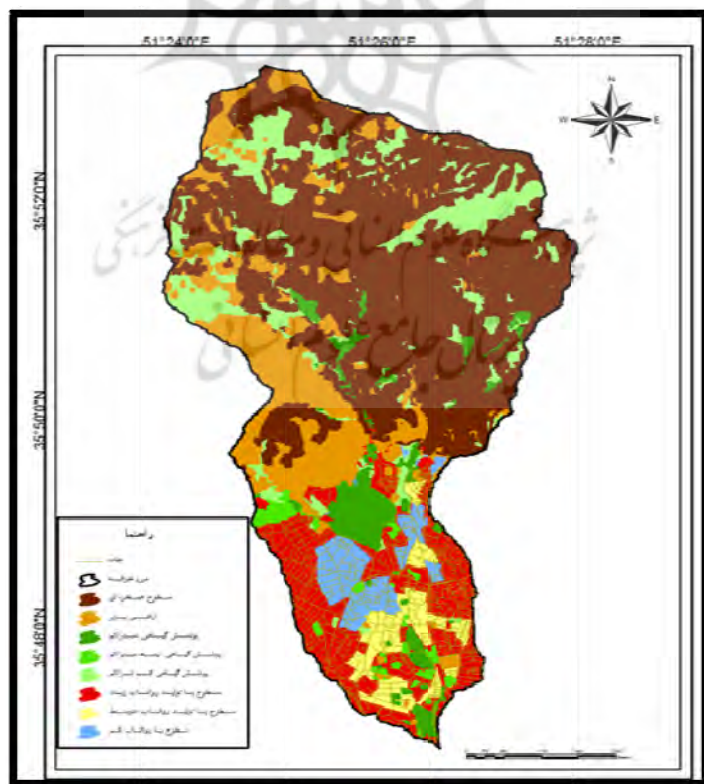
سال ۱۳۸۹			سال ۱۳۵۸			سال ۱۳۴۵			کاربری‌های زمین
CN	مساحت درخت (Km ²)	مساحت (Km ²)	CN	مساحت درخت (Km ²)	مساحت (Km ²)	CN	مساحت درخت (Km ²)	مساحت (Km ²)	
۸/۱۴	۱۶/۵۸	۶/۶۱	۸/۲۳	۱۶/۶۷	۶/۶۵	۱۰/۱۱	۱۹/۴۸	۷/۷۷	اراضی بایر
۳۶/۴۸	۴۰/۰۹	۱۵/۹۹	۳۶/۴۸	۴۰/۰۷	۱۵/۹۹	۳۶/۴۸	۴۰/۰۹	۱۵/۹۹	سطوح صخره‌ای
۱/۲۵	۴/۶۹	۱/۸۷	۱/۳۸	۵	۱/۹۹	۲/۰۱	۶/۲	۲/۴۷	پوشش گیاهی متراکم
-/۴۳	۰/۹۷	۰/۳۹	۰/۵۵	۱/۳۲	۰/۵۳	۰/۹۸	۲/۲۲	۰/۸۹	پوشش گیاهی نیمه‌متراکم
۵/۸۴	۱۶/۱۷	۶/۴۵	۵/۸۴	۱۶/۱۳	۶/۴۴	۵/۹۸	۱۶/۲۶	۶/۴۹	پوشش گیاهی کم‌تراکم
۱۲/۳۴	۱۲/۵۹	۵/۰۲	۱۱/۲۹	۱۱/۵۲	۴/۶۰	۴/۳۶	۴/۴۵	۱/۷۸	سطوح شهری با تولید رواناب زیاد
۳/۶۱	۴/۴۱	۱/۷۶	۳/۶۷	۴/۴۸	۱/۷۹	۲/۹۶	۳/۶۴	۱/۴۵	سطوح شهری با تولید رواناب متوسط
۲/۷۰	۴/۵	۱/۷۹	۲/۸۶	۴/۷۹	۱/۹۱	۴/۵۴	۷/۶۴	۳/۰۵	سطوح شهری با تولید رواناب کم
۷۰/۸۰			۷۰/۳۱			۶۷/۴۴			میانگین وزنی CN
۱۰۴/۷			۱۰۷/۲۶			۱۲۲/۶۶			ضریب نگهداشت سطحی
۳۱۲/۵			۵۰۰/۶۹			۳۴۴/۳۵			بارش سالیانه به میلی‌متر
۲۱۴/۴			۳۹۱/۶۰			۲۳۱/۱۶			ارتفاع رواناب با روش SCS (میلی‌متر)



شکل ۴: نقشه پوشش و کاربری زمین حوضه دریند در سال ۱۳۴۵



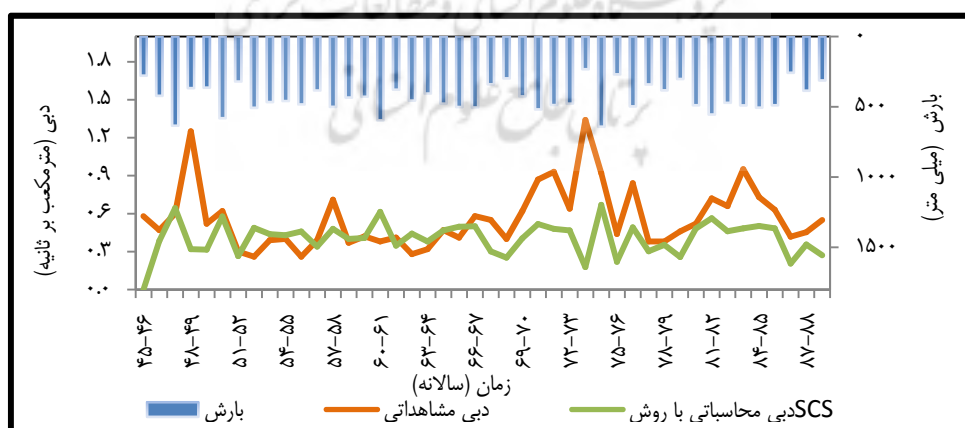
شکل ۵: نقشه پوشش و کاربری زمین حوضه دربنددر سال ۱۳۵۸



شکل ۶: نقشه پوشش و کاربری اراضی حوضه دربند در سال ۱۳۸۹

با توجه به جدول شماره ۲ استنباط می‌شود:

- میزان اراضی بایر در سال ۱۳۴۵ در مقایسه با سال‌های ۱۳۵۸ و ۱۳۸۹ بیشتر بوده است و در این سال‌ها کاربری آن به بخش شهری تبدیل شده و مساحت آن از ۱۹/۴۸٪ به ۱۶/۶۷٪ و ۱۶/۵۸٪ در سال ۱۳۵۸ و ۱۳۸۹ کاهش یافته است.
 - پوشش گیاهی کم‌تراکم، نیمه‌متراکم و پرتراکم به مرور زمان کاهش یافته است و در سال ۱۳۴۵ در مقایسه با سال‌های دیگر مساحت بیشتری را شامل می‌شود.
 - سطوح شهری با تولید رواناب زیاد در سال ۱۳۸۹ با دارا بودن مساحت ۵/۰۲ کیلومترمربع تفاوت چشمگیری (تقریباً سه برابر) در مقایسه با سال ۱۳۴۵ ایجاد شده که دارای مساحت ۱/۷۸ کیلومترمربع و نیز این مقدار در سال ۱۳۵۸، ۴/۶ کیلومترمربع بوده است. در خصوص سطوح شهری با تولید رواناب کم می‌توان گفت که همانند پوشش گیاهی کم‌تراکم و نیمه‌متراکم و پرتراکم و اراضی بایر روند نزولی داشته، ولی مساحت سطوح شهری با تولید رواناب متوسط در سال ۱۳۵۸ در مقایسه با سال ۱۳۴۵ افزایش یافته است. اما در سال ۱۳۸۹ میزان آن کمی کاهش یافته که نشان آن است که مناطقی با سطوح رواناب متوسط تبدیل به سطوح روانابزیاد شده است و ساختمان‌های ویلایی که در گذشته بوده تبدیل به آپارتمان‌ها و بزرگراه‌ها شده است.
 - در مجموع می‌توان عنوان کرد میزان کاربری شهری افزایش یافته است.
- در جدول (۲)، مقدار CN کاربری‌های شهری و فضای سبز و سایر کاربری‌ها (اراضی بایر و سطوح صخره‌ای) محاسبه شده است. مقدار CN از ۶۷/۴۴ در سال ۱۳۴۵ به ۷۰/۳۱ در سال ۱۳۵۸ و ۷۰/۸۰ در سال ۱۳۸۹ متغیر بود که این فاکتور نیز افزایش یافته است و به همین موازات میزان ضریب نگهداشت سطحی که از ۲۲/۶۶ در سال ۱۳۴۵ به ۱۰۷/۲۶ در سال ۱۳۵۸ و ۱۰۴/۷ در سال ۱۳۸۹ متغیر بوده در واقع این ضریب کاهش یافته است.



شکل ۷: هیدروگراف دبی مشاهداتی و مقایسه آن با دبی محاسباتی با روش SCS

بررسی روند آبدهی با استفاده از آماره من کندال

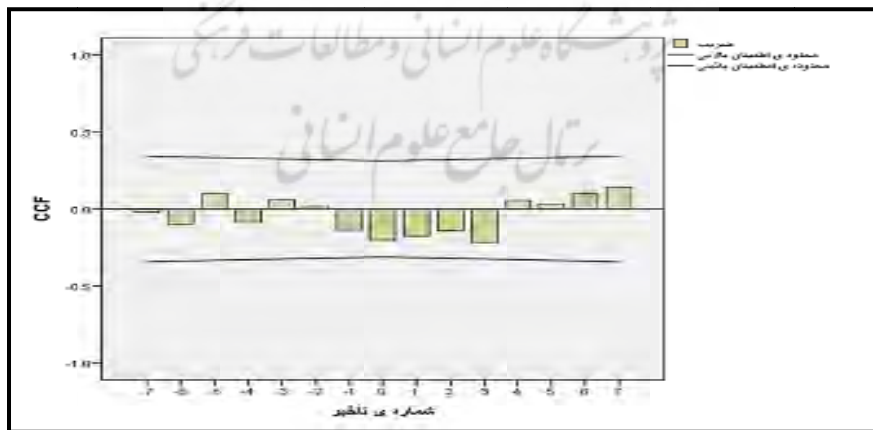
به منظور مقایسه روند دبی در ایستگاه پل تجریش در خروجی حوضه و داده‌های بارش ایستگاه شمال تهران از آماره من-کندال استفاده شده است. از آنجایی که ایستگاه شمال تهران از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۸ ناقص بوده است، بازسازی داده‌های ایستگاه مذکور با استفاده از روش رگرسیون به صورت گرفته است. ایستگاه مهرآباد به عنوان ایستگاه مرجع انتخاب شده است به دلیل آنکه در طول دوره ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۹ دارای داده بوده است و دوره‌خشکسالی و ترسالی دو ایستگاه تقریباً همزمان بوده و نیز همبستگی (۰/۸۵) و ضریب تعیین (۰/۷۳) بین ایستگاه شمال تهران و ایستگاه پل تجریش بسیار بالا بوده است.

پس از بازسازی داده‌های بارش ایستگاه شمال تهران بررسی روند داده‌ها از طریق آماره من کندال انجام گرفته است که بر اساس جدول زیر با در نظر گرفتن الفای ۰/۰۵، بارش ایستگاه شمال تجریش دارای روند خاصی نمی‌باشد اما داده‌های دبی ایستگاه پل تجریش روند رو به بالا داشته است.

جدول ۳: بررسی ایستگاه‌های پل تجریش و شمال تهران بر اساس آماره من کندال [نگارندگان]

ایستگاه	نوع ایستگاه	p-value فرضیه تحقیق (روند رو به بالا)	p-value فرضیه تحقیق (روند رو به پایین)	من-کندال محاسباتی	الفای	نوع‌روند
شمال تهران	سینوپتیک	۰/۳۵	۰/۶۴	۰/۳۸	۰/۰۵	بدون روند
پل تجریش	هیدرومتری	۰/۰۰۸	۰/۹۹	۲/۳۸	۰/۰۵	روند رو به بالا

به منظور بررسی استقلال داده‌ها از نمودار CCF استفاده شده است همانطور که در شکل ۸ آمده است، از آنجایی که مقادیر CCF به ازای تأخیرهای مختلف از خطوط مورد اعتماد در سطح معناداری ۹۵ درصد عبور نکرده است بنابراین در این سطح اعتماد، می‌توان استقلال داده‌ها را در نظر گرفت.



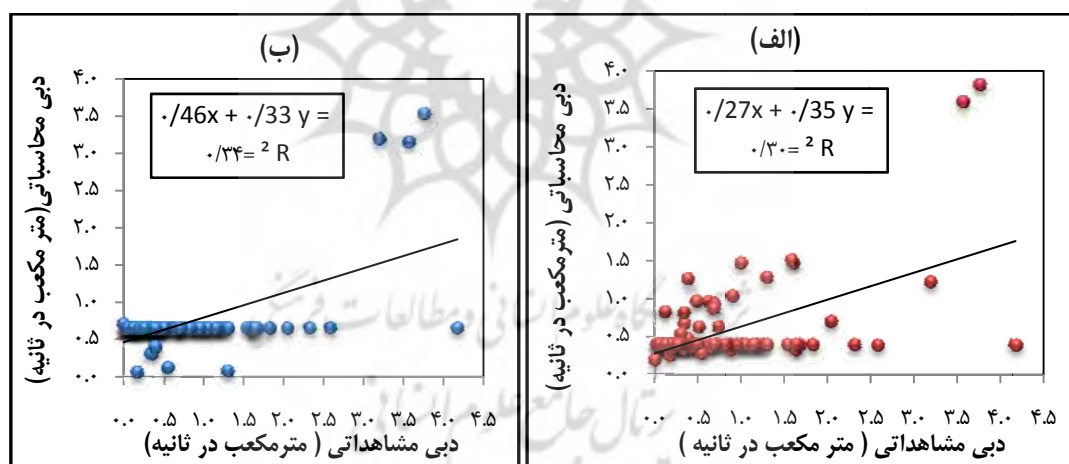
شکل ۸: نمودار CCF

مدل‌سازی رواناب و بارش

با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون بردار پشتیبان به شبیه‌سازی روزانه رواناب و بارش از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ پرداخته شده است که متغیر ورودی بارش و متغیر خروجی دبی بوده است. از آنجایی که داده‌های ایستگاه شمال تهران از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۹ بازسازی شده، داده‌های بارش و دبی نیز به صورت روزانه از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰ موجود بوده است، مدل‌سازی رواناب و بارش به صورت روزانه طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ صورت گرفته است. در بررسی بارش روزانه و دبی روزانه از بین ۱۱۴ داده، ۸۵ داده به عنوان آموزش و ۲۹ داده به عنوان تست انتخاب شده است. در زمینه مدل‌سازی رواناب و بارش، مدل ماشین بردار پشتیبان زمانی بهترین نتیجه را می‌دهد که پارامتر C، ۵۰ و ϵ ، $0/0001$ و γ ، ۵۰ بوده است. در خصوص مدل شبکه عصبی مصنوعی نرون ۶ و اپاک ۷ و کارکرد اعتبار $0/21$ بهترین نتیجه را می‌دهد.

جدول ۴: نتایج مراحل آموزش و آزمون مدل ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی دبی و بارش رودخانه دربند

مدل	آموزش				آزمون				
	RMSE	MAE	SI	CE	RMSE	MAE	SI	CE	
SVM	۰/۳۳	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۷۷	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۵۱
ANN	۰/۳۹	۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۶۹	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۵۳



شکل ۹: نمودار خط رگرسیون پیش بینی دبی روزانه رودخانه دربند طی سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۹۰: الف) با استفاده از مدل SVM، ب) با استفاده از مدل ANN

بر اساس جدول ۴ و نیز شکل شماره ۹، کم بودن میزان ضریب تعیین حاکی از آن است که همبستگی پائینی بین بارش و رواناب در حوضه (۳۴٪) در شبکه عصبی و $0/30$ در ماشین بردار پشتیبان) مورد مطالعه وجود دارد که ناشی از آن است که تغییر پوشش و کاربری اراضی از طریق کاهش ضریب نگهداشت سطحی در این منطقه مؤثر بوده و در میزان دبی تأثیر گذاشته است.

نتیجه گیری

توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن شهرها و جوامع تأثیرات نامطلوبی بر عملکرد حوضه‌های آبخیز می‌گذارد و باعث افزایش و شدت رواناب و آلودگی، کاهش جریان پایه و کاهش تغذیه سفره‌های آب زیر زمینی می‌شود. از این رو مسئولان شهری را بر آن می‌دارد که به اثرات مخرب محیطی این روند شهرنشینی و افزایش ساخت و سازها بیشتر توجه نمایند. در این راستا توجه به اثر نوع پوشش و کاربری اراضی در رواناب شهری حائز اهمیت می‌باشد.

با توجه به هدف پژوهش که بررسی تأثیر تغییر پوشش و کاربری اراضی شمال تجریش بر رژیم آبدی رودخانه دربند می‌باشد، از مدل هیدرولوژیکی SCS استفاده شده است که دلیل استفاده از این مدل، به کارگیری پارامتر کاربری اراضی برای تعیین شماره منحنی در این مدل هیدرولوژیکی بوده است.

برای تعیین پوشش و کاربری اراضی از عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۵۸ استفاده گردیده است و همچنین برای تعیین وضعیت پوشش و کاربری اراضی در سال ۱۳۸۹ از تصاویر ماهواره ای ETM⁺ و نیز تصاویر Ikonos مورد استفاده قرار گرفت. در این راستا ضمن استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده نتایج حاصله با استفاده از ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از استفاده از ابزارهای فوق، پوشش و کاربری منطقه مورد مطالعه تعیین شد که مبنای طبقه‌بندی پوشش گیاهی، میزان تراکم آن‌ها که به صورت پوشش گیاهی پرتراکم، نیمه متراکم و پرتراکم طبقه‌بندی شده است و اساس طبقه‌بندی حوضه شهری بر مبنای تولید رواناب بوده است که به صورت سطوح شهری با تولید رواناب کم، سطوح شهری با تولید رواناب متوسط و سطوح شهری با تولید رواناب زیاد دسته‌بندی شده است و در نهایت مشخص شد که سطح شهری با تولید رواناب کم در سال ۱۳۴۵ به سطوح با تولید رواناب متوسط یا زیاد (طبقه ۴ و ۵) شرح خصوصیات طبقات در صفحه ۷ آمده است) در سال‌های ۱۳۵۸ و ۱۳۸۹ تغییر یافته و میزان تغییرات قابل توجه بوده است (۳/۰۵ کیلومتر در سال ۱۳۴۵ به ۱/۹۱ کیلومتر مربع در سال ۵۸ و ۱/۷۹ در سال ۱۳۸۹ تبدیل شده است) و همچنین پس از آن سطوح مربوط به اراضی بایر و پوشش گیاهی متراکم در طول دوره مورد مطالعه کاهش یافته و در عوض سطوح شهری با تولید رواناب زیاد و پوشش گیاهی نیمه متراکم و کم تراکم جایگزین آن شده است که آثار این تغییرات سبب افزایش شماره منحنی (از ۶۷/۴۴ در سال ۱۳۴۵ به ۷۰/۳۱ در سال ۱۳۵۸ و ۷۰/۸۰ در سال ۱۳۸۹) و کاهش میزان نگهداشت سطحی (۱۲۲/۶۶ در سال ۱۳۴۵ به ۱۰۷/۲۶ در سال ۱۳۵۸ و ۱۰۴/۷۶ در سال ۱۳۸۹) شده است.

بر اساس آزمون من کندال، متغیر دبی در بخش شهری (ایستگاه پل تجریش) روند رو به بالا را از خود نشان می‌دهد در حالیکه بارش عدم روند در مشاهدات را نشان می‌داد. مدل‌سازی بارش و رواناب بر اساس مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه‌ی عصبی مصنوعی نیز همبستگی پایین بین داده‌های بارش و دبی را نشان داد که بر درستی ادعای که به علت تغییر پوشش و کاربری اراضی، دبی کاملاً از بارش تبعیت نکرده است عبارت دیگر به تناسب تغییر بارش، تغییر دبی رخ نداده است، صحت می‌گذارد.

از آنجایی که در روش SCS به عنوان یکی از روش‌های پرکاربرد در محاسبه ارتفاع رواناب در حوضه، از بارش تأثیر می‌پذیرد و از طرف دیگر همانطور که نتایج تحقیق نشان می‌دهد که رواناب سالیانه ایستگاه تجریش با مقادیر متناظر بارش ایستگاه شمال تهران همبستگی معناداری نداشته است، لذا می‌توان عدم کارایی روش SCS در محاسبه ارتفاع رواناب حوضه را اثبات کرد در نتیجه تفاوت مقادیر پیش‌بینی دبی از مقادیر مشاهداتی آن را به تغییر پوشش و کاربری اراضی این منطقه می‌توان نسبت داد.

منابع و مأخذ

- اصغری مقدم، محمدرضا، (۱۳۷۸)، جغرافیای طبیعی شهر (هیدرولوژی و سیلخیزی شهر)، انتشارات مسعی، چاپ اول، ص ۱۱۲
- براتی قهفرخی، سوسن، سعید سلطانی کوپایی و بهزاد رایگانی، (۱۳۹۰)، بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر رفتار آب شناختی حوضه (مطالعه موردی: زیرحوض قلع شاهرخ سد زاینده رود)، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال پنجم، شماره ۱۶، صص ۶۶-۶۳
- بزرگ‌نیا، ابوالقاسم، (۱۳۷۶)، تجزیه و تحلیل سری زمانی و پیش‌بینی، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۱۲۳

- درفشی، خهبات (۱۳۹۰)، تغییرات فضایی سیلاب در کلانشهر تهران، منیژه قهرودی تالی و محمدرضا ثروتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ص ۸۹.
- رنجبر، محسن، مژگان ندیری، (۱۳۸۶)، بررسی علل بروز سیل در محدوده شرق استان گلستان (مطالعه موردی حوضه مادر سو، فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی، سال دوم، شماره ۴، صص ۳۷-۴۹).
- سلمانی، ح.م. محسنی ساروی، ح. روحانیو ع. سلاجقه، (۱۳۹۱)، ارزیابی تغییر کاربری و تأثیر آن روی رژیم هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان، پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز سال سوم، شماره ۶، صص ۴۳-۶۰.
- شاه‌حسین دستجردی، سمانه، (۱۳۹۱)، کاربرد الگوهای شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی شدت خشکسالی (مطالعه موردی: ایستگاه ترشکلی استان گلستان)، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ۲۰ و ۲۱ شهریور ۱۳۹۱، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ص ۱۶۷.
- فرزاد بهتاش، محمدرضا، محمدتقی آقابابایی، مروارید محمدامینی، (۱۳۸۹)، بررسی وضعیت رود دره فرحزاد قبل و بعد از سازماندهی، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، دانش شهر، شماره ۱۵، ص ۲۰۹.
- محسنی، بهرام، (۱۳۸۲)، بررسی بزرگی، گستره و فراوانی سیل در حوضه رودخانه تجریش، حسنعلی غیور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان، ص ۱۳۵.
- Du J., Qian L., Rui H., Zuo T., Zheng D., Xu Y., Xu C-Y., (2012), *Assessing The Effects Of Urbanization On annual Runoff And Flood Events Using An Integrated Hydrological Modeling System For Qinhuai River Basin, China*, Hydrology, No. 464-465, pp 127-139.
- Mohseni, B., (2003), *Surveying Of Extent And Frequency Of Floods In Tajrish River Basin*, MA Dissertation, Ghayur Hassan Ail, Climatology, University of Esfahan university.
- Asghari Moghaddam, M (1999). *The Physical Geography Of The City (Hydrology and Flooding)*, Mosya Publications, First Edition.
- Barati Ghahfarokhi, S., Soltani Kupayi, S., Rayegani, B., (2011), *Examine The Impact Of Changes In Land Use On The Behavior Of Water In Basin (Case Study Sub-Basin Of Ghaleh Shahrokh Of Zayandehrud Dam)*, Science and Engineering, Watershed, Iran (In Persian), Issue 16. pp 66-63.
- Bozorgnia, A. (1997). *Time series analysis and forecasting*, Astanghods Razavi.
- Costa, M.H., Botta, A., Cardille, J.A, (2003), *Effects Of large-Scale Changes In Land Cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia*. *Jornal of Hydrology l.* 283, 206-217
- Farzad Behtash, MR; Aghababaei, MT, MA, Pearl (2010). *Investigate the situation of Farahzad River Valley (before and after the organization)*, Planning Center of Tehran, Knowledge City, No. 15. (In Persian)
- Gebremicael, T.G; Mohamed, Y.A; Betrie, G.D. ; van der Zaag, P. ; Teferi, E (2013). *Trend Analysis Of Runoff And Sediment Fluxes In The Upper Blue Nile Basin: A Cmbined Analysis of Statistical Tests, Physically-Based Models And Land Use Maps*, Hydrology, NO. 482, pp 57-68.
- Kim, H.K. (2008). *Multi-Scale Nonlinear Constitutive Models using Artificial Neural Networks*. Msc thesis of Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Kim, T.W., and Valdes, J.B, (2003), *A Nonlinear Model For Drought Forecasting Based On Conjunction Of Wavelet Transforms And Neural Networks*, Hydrologic Engineering, NO 8(6), pp 319-328.

- Nie, Wenming, Yuan ,Y., Kepner ,W ,. Nash, M S, l JacksonM., Erickson,C (2011),**Assessing Impacts Of Land Use And Land Cover Changes On Hydrology For The Upper San Pedro Watershed**, *Hydrology*, NO 407, pp105–114.
- Ott, B., Uhlenbrook, S.(2004). **Quantifying The Impact Of Land-Use Changes At The Event And Seasonal Time Scale Using A Process-Oriented Catchment Model***Hydrol, Earth Syst. Science.* 8 (1),pp 62–78.
- Ranjbar, M., Nadiri, M. (2007). **Investigate The Causes Of Flooding In The East Area Of Golestan Province (Basin Case Study:Ghazali Sub-Basin Of Golestan Province)**. *Geographical Perspective, The Second year, No. 4*, pp. 49-37. 23.
- Peters S., N.E(2001),**Effects Of Urbanization On Streamflow In The Atlanta Area (Georgia, USA): A comparative Hydrological Approach**,*Hydrol., Process.* 15,pp 1441–1457.
- Salmani, H.; SaraviMohseni, M., Rouhani, H. Salajegheh, A. (2012). **Assessment Of Land Use Changes And Their Impact On The Hydrological Regime In The Watershed Ghazali Golestan Province**, *Watershed Management In The Third year, No. 6, (In Persian)*, pp. 60-43.
- Shah Hussein Dastjerdi, S., et al, (2012),**Used Models Of Artificial Neural Network In Simulating Severe Drought) Case study: Station Torshakli Of Golestan Province)**, *Third National Conference on Integrated Water Resources Management, 20, and 21 Persian date September 2012, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Surrey,(In Persian)*.
- Shang, J., and Wilson, P, (2009),**Watershed Urbanization And Changing Flood Behavior Across The Los Angeles Metropolitan Region**, *Natural Hazard, NO 48*, pp41-57.
- Shijin,I. Lingling,J. Yuelong, ZHU and Ping, B(2012) . **A hybrid Forecasting Model Of Discharges Based On Support Vector Machine**, *Procedia Engineering*, pp 136 – 141.
- Siriwardena, L., Finlayson, B.L, McMahan, T.A., (2006),**The Impact Of Land Use Change On Catchment Hydrology In Large Catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia**. *Hydrology,NO. 326*,pp 199–214.
- Wijesekara, G.N., Gupta , A., Valeo, C., Hasbani, J.-G ,. Qiao , Y., Delaney, P. ,Marceau, D.J(2012). **Assessing the Impact Of Future Land-Use Changes On Hydrological Processes In The Elbow River Watershed In Southern Alberta, Canada** , *Hydrology, NO. 412–413*, pp 220–232.
- Zhou Z., Xu Y., Chen Y., XuY.,GaoY., Du J.,(2013),**Hydrological Response To Urbanization At Different Spatio-Temporal Scales simulated By Coupling Of CLUE-S And The SWAT Model In The Yangtze River Delta Region**, *Hydrology, NO. 485*,pp 113–125.
- Noori, R., Karbassi, A., Farokhnia, A., and Dehghani, M., (2009),**Predicting The Longitudinal Dispersion Coefficient Using Support Vector Machine And Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Techniques**, *Environmental Engineering Science*, 26 (10),pp 1503-1510.