

تحلیل اثر توسعه شهری تهران بر چرخه هیدرولوژی و ژئومورفولوژی رودخانه اوین-درکه

سمیه خسروی- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان.
مژگان انتظاری*- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان.
علی احمدآبادی - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیائی، دانشگاه خوارزمی.
سیدموسی پورموسی- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه امام حسین.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۲۹ تائید نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷

چکیده

ژئومورفولوژی؛ علمی است که به مطالعه لندفرم‌ها می‌پردازد، نقش اساسی را در زمینه برنامه‌ریزی، توسعه و مدیریت مناطق شهری بويژه در ارزیابی مناطق قبل و بعد از توسعه شهری بازی می‌کند. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی اثرات گسترش فیزیکی شهر بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی، دبی و رسوب رودخانه و ویژگی‌های کanal رود حوضه آبریز اوین - درکه طی دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۷) است. این پژوهش در سه گام، مطالعات هیدرولوژی با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT، مطالعات دبی و رسوب و مطالعات ژئومورفولوژی، مورد مطالعه قرار گرفت. در مطالعات هیدرولوژی نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند بارش - رواناب مبتنی بر ستاریوی توسعه فیزیکی شهر، نشان می‌دهد که میانگین بارش در حوضه برابر با $430/4$ میلی متر است که از این مقدار بارش در دوره قبل $142/6$ میلی متر و در سال 2018 ، به میزان $146/8$ میلی متر به صورت تبخیر و تعرق واقعی از سطح زمین و گیاه تبخیر می‌گردد. هم‌چنین میانگین شماره منحنی (CN) و رواناب سطحی به ترتیب در سال 1377 برابر با $84/01$ و $6/28$ میلی متر و در سال 1397 این مقدار به $84/76$ و $106/6$ میلی متر افزایش داشته است. براساس نتایج تغییرات رسوب و دبی، روند رسوب به مرور کاهش یافته است که متعاقب با آن دبی نیز تغییرات نزولی را نشان می‌دهد. هم‌چنین، نتایج بررسی شاخص‌های مورفولوژیکی و مشاهدات میدانی نشان داد که تغییرات مورفولوژی کanal رودخانه اوین- درکه به صورت کاهش مقطع و عرض کanal در بازه‌های شهری، تغییر نیميخ عرضی و طولی، جابجایی مسیر رودخانه و افزایش مناندر و فرسایش جانبی در بازه‌های در حال تعدیل و قابل بازیابی طی دوره زمانی بیست سال می‌باشد.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، توسعه شهر، SWAT، حوضه آبریز اوین-درکه.

مقدمه

یکی از سیستم‌های طبیعی، رودخانه‌ها هستند که در نواحی شهری تحت تأثیر فعالیت‌های انسان قرار می‌گیرند لذا، نقش انسان در تعییر مجرای رودخانه غیر قابل اجتناب است (باوس و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۳۵۵) ^۱. امروزه ژئومورفولوژی رودخانه، پایه‌ای برای مطالعه تعییرات محیطی است که برای مدیریت کanal‌های رودخانه‌ای به کار می‌رود، که این جنبه‌های کاربردی بیشتر در زمینه تعییرات مجاری رودخانه‌ای و در رابطه با فرآیند و فرم، ارزیابی تعییرات مجراء، شهرنشینی، کanal‌سازی، صنایع استخراجی، کارهای مهندسی، تعییرات گذشته در کاربری اراضی و تجدید و نوسازی است (گرگوری، ۲۰۰۲: ۱) ^۲. تعییرات شهرنشینی بیش از هر عامل انسانی دیگری بر روی سیستم‌های رودخانه‌ای تأثیر می‌گذارد. تعییرات کanal‌های رودخانه در اثر توسعه شهری بسیار قابل توجه است. تعییرات فیزیکی و بیولوژیکی که با شهرنشینی رخ میدهد با چارچوب مقررات، سیاست‌ها و فعالیت‌های طراحی/اساخت و ساز که با کنترل و چگونگی زیرساخت‌های شهری مرتبط می‌باشد، در هم تنیده است (چین و گرگوری، ۲۰۰۹: ۳۱۵) ^۳.

اندازه و سرعت شهرنشینی در دهه‌های اخیر نسبت به هر زمان دیگر در تاریخ زمین افزایش قابل توجهی داشته است (چین، ۲۰۱۳: ۸۱۱) ^۴. توسعه شهری، تعییرات سطح زمین را بدنیال دارد در واقع پوشش طبیعی زمین با سطوح غیرقابل نفوذ جایگزین می‌شود. مجاری آب و شبکه‌های رودخانه‌ای توسط زهکش‌های مصنوعی و سازه‌ها مانند مجاری فاضلاب، نگهداری استخراها و زیرساخت‌های لازم برای کنترل سیل جایگزین و تعییر داده شده‌اند. چنین تعییراتی منجر به تعییر ماهیت فرایندهای رسوب گذاری و آبرفتی شده است (تیلور و همکاران، ۲۰۰۹: ۶۱۵) ^۵. در ک بیشتر و عمیقتر اثرات شهری بر روی کanal‌ها و سیستم‌های رودخانه‌ای به منظور چگونگی مدیریت رودخانه‌های شهری در جوامع و چگونگی پاسخ به تعییرات ضروری و حیاتی می‌باشد (چین و گرگوری، ۲۰۰۵: ۳۶) ^۶. فعالیت‌های مدیریتی انسان بر روی کanal رود که در مجموع کanal سازی نام دارند شامل مستقیم سازی کanal رود، تعییر ابعاد کanal، ساختن خاکریزه‌ها و دیواره‌های سیل بند، تثبیت کanal و کرانه رود، رفع موانع در بستر رود، لاپرواژی و احداث سرریزه‌ها در رودخانه‌ها می‌شوند (برایلی و فرایز، ۲۰۰۵: ۷) ^۷. احمددار و همکاران (۲۰۱۸) ^۸، تأثیر فعالیت‌های ژئومورفیک و انسانی بر روی مورفولوژی کanal رودخانه یلوم دره کشمیر در شمال غرب هیمالیا را بررسی کرده‌اند. براساس تحقیقات این مطالعه نشان داده شد که فرایندهای متنوع ژئومورفیک و فعالیت‌های انسانی باعث تعییرات قابل ملاحظه‌ای بر روی مورفولوژی کanal ها شده است. لی ویو و همکاران (۲۰۱۸) ^۹، اثرات تعییرات کاربری اراضی بر روی سیستم‌های رودخانه برای یه شبکه دشت رودخانه بررسی کرده‌اند. در این مطالعه داده‌های سیستم رودخانه و داده‌های کاربری اراضی از دهه ۱۹۶۰ تا سال ۲۰۱۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌ند نتایج تعییرات گسترده سیستم‌های رودخانه در بازه مشخص شده نشان داد. جی ایکس (۲۰۱۴) ^{۱۰}، اثرات توسعه شهر بر ساختار سیستم‌های رودخانه دلتا یانگ تسه مطالعه کرده‌اند. در این مطالعه، ساختار جریان رودخانه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۹ بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد، توسعه شهر باعث افزایش چشمگیر نقاط غیرقابل نفوذ و کاهش تعداد رودخانه‌ها و همچنین طول رودخانه‌ها شده است.

¹ - Booth, D.B., & et al

² - Gregory, K.J.,

³ - Chin, A., Gregory, K.J.,

⁴ - Chin, A.,

⁵ - Taylor, K.G., Owens, P.N.,

⁶ - Chin, A., Gregory, K.J.,

⁷ - Brierley, G.L., & Fryirs, K.,

⁸ - Ahmad Dar, R, Sareer, A., M, Ahakil, A., R.,

⁹ - Lei Wu, Youpeng Xu, Jia Yuan & et al

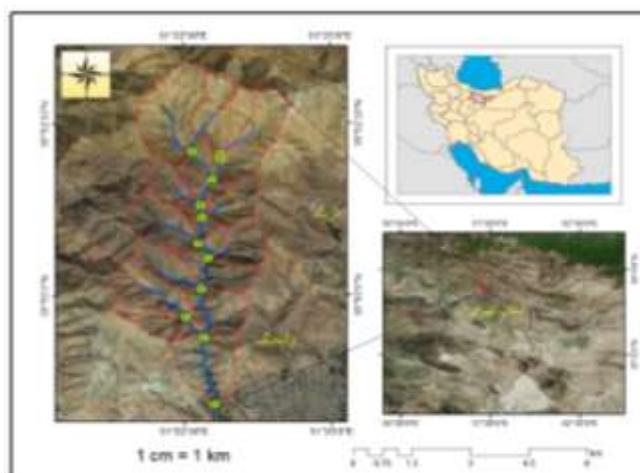
¹⁰ - Ji X, Xu Y, Han L, Yang L

از طرفی، زاهاریا و همکاران^۱(۲۰۱۶)، هادیسون و همکاران(۲۰۰۹)^۲، کانگ و مارستن(۲۰۰۶)^۳، دوبل و همکاران (۲۰۰۰)^۴ و اسماعیلی و لرستانی(۱۳۹۴) اثرات تغییرات کاربری را بر سیستم‌های رودخانه‌ای بررسی کرده‌اند. احمدآبادی و همکاران(۱۳۹۵) به تحلیل اثرات عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز عنبران چای با استفاده از مدل SWAT پرداخته‌اند. که نتایج نشان می‌دهد مدل SWAT به خوبی توانسته فرایندهای چرخه هیدرولوژیکی را شبیه‌سازی نماید و اطلاعات ارزشمندی برای مطالعات ژئومورفولوژی ارائه نماید.

در حوزه مورد مطالعه، احداث ساختمان‌ها، پل‌ها و کانال‌های هدایت آب، ماهیت طبیعی دره‌ها را به کلی دستخوش تغییر و دگرگونی ساخته و در نهایت آنها را به صورت فضاهای متراکم و غیرقابل استفاده درآورده است که به جای ارائه خدمات، به نارسایی‌هایی در اداره امور توسعه شهری تبدیل شده‌اند. این تغییر کاربری و تبدیل مسیرهای طبیعی رودها به مسیرهای مصنوعی و سیمانی و همچنین رعایت نکردن محدوده رودها، باعث افزایش آسیب‌پذیری این محدوده‌ها شده و در صورت بروز سیلاب‌ها با دوره بازگشت طولانی مدت، به دلیل عدم نفوذپذیری مسیر، با سیلاب مواجه خواهیم بود. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی اثرات گسترش فیزیکی شهر، بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی، دبی و رسوب رودخانه و ویژگی‌های کanal رود از جمله پلانفرم یا الگوی فضایی رود، نیمتر عرضی و طولی، تعداد پیچانزدها، ضرب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اشکال ژئومورفیک رودخانه حوضه آبریز اوین – درکه طی دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۸ ساله(۲۰۱۸-۱۹۹۸) می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز اوین – درکه از شمال به آبخیزهای آهار و شهرستانک، از غرب به آبخیزهای کن و یونجهزار، از جنوب به درکه و شهر تهران و از شرق به آبخیز دریند محدود شده است. این حوضه‌ها در مختصات جغرافیایی ۴۸، ۵۴ درجه تا ۳۵، ۳۵ درجه عرض شمالی و ۲۱،۵۱ تا ۲۵،۵۱ درجه طول شرقی قرار دارد. حوضه آبریز اوین – درکه و قله توچال با مساحت ۳۲۴۰ هکتار یکی از زیر حوضه‌های شمال تهران می‌باشد(طرح تفصیلی منطقه ۱ تهران، ۱۳۸۶)(شکل شماره ۱).



شکل شماره ۱: موقعیت سیاسی حوضه آبریز اوین – درکه

1- Zaharia, L., Ioana, G., & et al

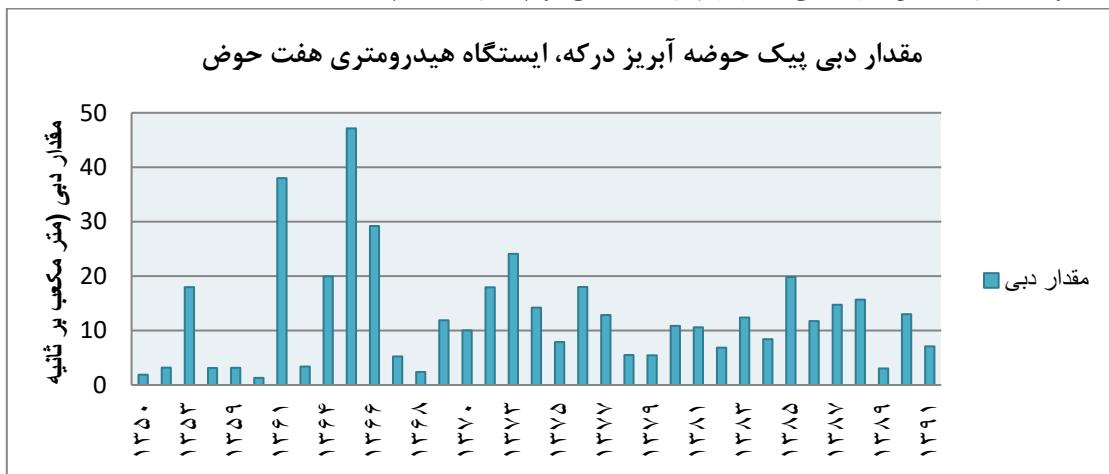
2 - Hardison, E.C., & et al

3 - Kang, R.S. and Marston, R.A.,

4 - Doyle, M.W., Jonathan, M.H., & et al

دبی رودخانه اوین- در که

رودخانه در که از رودخانه های شمال تهران می باشد که از قله توچال و شاه نشین سرچشمه گرفته و به صورت شمالی - جنوبی به سمت شهر تهران تخلیه می گردد. تنها آبخیز قله توچال به صورت چال طبیعی بوده و خروجی به سمت خارج نداشته و به شکل زهکش زیر زمینی از مرکز چال تخلیه می شود(شکل شماره ۲).



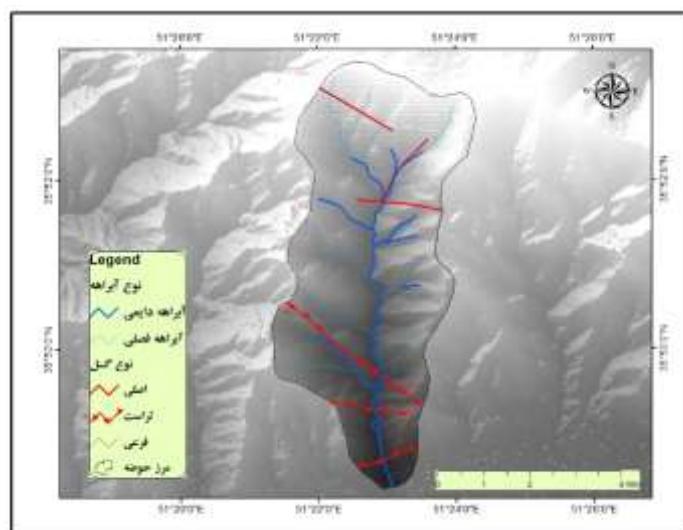
شکل شماره ۲ : میزان دبی پیک حوضه اوین- در که (در بازه ۴۱ ساله)، ایستگاه هیدرومتری هفت حوض

جدول شماره ۱: مشخصات فیزیوگرافیکی حوضه اوین - در که

مشخصات نام حوضه	طول آبراهه اصلی(km)	طول آبراهه(km)	مساحت(km)	محیط(km)	ارتفاع حداقل(M)	ارتفاع حداکثر(M)
در که	۱۰/۱	۹/۵	۲۵/۹۴	۲۴/۰۸	۱۶۸۶	۳۸۵۳

وضعیت تکتونیک اوین-در که

البرز یکی از زون های پرجنبش ایران است به سبب تاریخ پیچیده آن دارای دگر ریختی های شکننده بوده که این دگر ریختی ها عموماً دارای نظم خاصی نمی باشند. در محدوده حوضه آبریز اوین - در که راندگی شمال تهران در جنوب، گسل امزاده داوود با شعبات متعدد آن در قسمت های میانی، گسل شیرپلا با شاخه های فرعی متعدد در شمال و گسل فر حزاد در غرب حوضه از مهم ترین گسل ها در سطح حوضه می باشد.



شکل شماره ۳: تکتونیک و آبراهه های حوضه آبریز اوین- در که

مواد و روش

در این پژوهش از روش‌های کتابخانه‌ای، تجربی و توصیفی-تحلیلی استفاده شده است. تحقیق حاضر در سه بخش، ابتدا با استفاده از مدل SWAT اطلاعات هیدرولوژیکی حوزه بررسی، سپس مطالعات دبی و رسوب و در نهایت اثرات گسترش فیزیکی شهر، بر ویژگی‌های کanal رود از جمله پلانفرم یا الگوی فضایی رود، نیمرخ عرضی و طولی، تعداد پیچانرودها، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اشکال ژئومورفیک رودخانه حوضه آبریز اوین – در که پرداخته شده است. شرایط فعلی رودخانه اوین – در که پس از انجام مشاهدات میدانی، به صورت بازمای مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش سعی گردیده است تا تغییرات ناشی از فعالیت‌های مدیریتی یا توسعه کالبدی شهری در بازه‌های رودخانه اوین – در که، بررسی شود. جدول زیرنوع کanal، ویژگی‌های ژئومورفیک و تغییرات ایجاد شده (توسعه شهری، فعالیت‌های مدیریتی)، ارائه شده است.

تغییرات ایجاد شده توسط فعالیت انسانی	ویژگی‌های ژئومورفیک	نوع کanal غالب	بازه
ساخت و ساز و تجاوز به حریم رودخانه	اشکال چالاب – سکو، سواحل صخره‌ای، موانع قطعه سنگی، بستر سنگی	در حال تعديل و قابل بازیابی	۱
عملیات مکانیکی (سدهای رسوب‌گیر)، ساخت و ساز یا رستورانها	بستر سنگی، رخمنون سنگی در نقاطی از مسیر رودخانه، موانع قطعه سنگی	در حال تعديل و قابل بازیابی	۲
دیوارکشی و خشکه چن جهت ثابتیت کرانه‌های رودخانه، عملیات مکانیکی (سدهای رسوب‌گیر)، پل	بستر هموار، کرانه‌های با بروزند صخره‌ای، واریزه‌ها در امتداد بازه	کanalیزه – کanal تغییر یافته	۳
دیواره‌های بتُنی، پل، ساخت و ساز شهری	کanal محدود، بستر سنگی، موانع طولی، چالاب – سکو	کanalیزه – کanal تغییر یافته	۴
کanal سازی، ساخت و ساز در امتداد بازه	کanal محدود در دیواره‌ی بتُنی	کanalیزه – مهندسی	۵

همچنین، جهت دستیابی به اهداف تحقیق از ابزارهایی مانند نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر (DEM)، کاربری اراضی، نقشه خاک و داده‌های هواشناسی از قبیل بارش، حداقل و حداکثر دما، تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی که بصورت اطلاعات روزانه برای دو دوره حال حاضر و ۲۰ سال گذشته استفاده شده است. میزان تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک سنجش از دور، نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی در محیط نرم‌افزاری ENVI طی یک روند بیست ساله (۱۹۹۸–۲۰۱۸) استخراج گردید. در نهایت از مدل SWAT که یک مدل فیزیکی و نیمه توزیعی می‌باشد بهره گرفته شده است.

مدل SWAT یک مدل جامع در مقیاس حوضه‌ای می‌باشد که توسط سرویس تحقیقاتی کشاورزی آمریکا (USDA-ARS) ارائه شده است (حاجی حسینی، ۱۳۹۴:۵). این مدل، برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، مواد مغذی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی مختلف (تغییر کاربری) برای دوره‌های زمانی طولانی توسعه داده شده است (وریتین و برنت، ۲۰۰۷:۵). در این مدل به جای آن که از معادلات رگرسیونی جهت توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده نماید، اطلاعات ویژه‌ای راجع به هوا، خاک، توبوگرافی، پوشش گیاهی و پوشش اراضی در حوضه آبریز دریافت می‌کند. این مدل به صورت یک الحاقی نرم افزار GIS می‌باشد و از قابلیت‌های آن بهره می‌گیرد. در این مدل فیزیک حرکت آب و رسوب، رشد گیاه، چرخه عناصر و جهت شیبیه سازی به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود. این مدل حوضه آبریز را به زیر حوضه‌های آبریز تقسیم می‌کند که با هر کدام

^۱ - Verbeeten E and Barendregt A

به عنوان یک واحد مجزا رفتار می‌کند. همچنین زیرحوضه‌ها به بخش‌های پاسخ هیدرولوژی (HRU)^۱ تقسیم می‌شوند که بخش‌هایی از زیرحوضه‌ها با پوشش‌ها، مدیریت و خصوصیات خاک می‌باشد. این مدل از روش عدد منحنی اصلاح شده^۲ یا روش نفوذ گرین-امپت^۳-جهت محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر پاسخ هیدرولوژی استفاده می‌کند.

(HRUS) براساس نقاط متقاطع لایه‌های رسوبی یا وکتوری مربوط به کاربری‌های زمین، انواع خاک‌ها، زمین‌شناسی و زیرحوضه‌ها فراهم می‌آیند. از نقشه‌های خطی مربوط به نهرآب‌ها و شبکه‌های زهکشی رودخانه‌ها نیز می‌توان برای ایجاد (HRUS) استفاده کرد (لاگچری و همکاران، ۲۰۱۰).^۴

مدل SWAT در شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژی از معادله توازن هیدرولوژیک (برای هر HRU) زیر رابطه (۱) استفاده می‌کند (گودرزی، ۱۳۹۱: ۵).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^i (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (6)$$

در این رابطه، SW_t مقدار نهایی آب خاک (mm)، SW_0 مقدار اولیه آب خاک در روز (mm)، R_{day} بارش روزانه، Q_{surf} رواناب سطحی، E_a تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep} آبی که از پروفیل خاک به منطقه غیراشباع وارد می‌شود و Q_{gw} جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه بر حسب میلی متر می‌باشد (منگیستو، ۲۰۰۹).^۵

یافته‌های پژوهش مطالعات هیدرولوژی رودخانه

برای این امر، تمام ورودی‌های مدل اعم از خاک، شبیب و اطلاعات هواشناسی، ثابت در نظر گرفته شد و نقشه‌های کاربری جدید به عنوان ورودی متغیر وارد مدل شد. بعد از مدل‌سازی سناریوی تعریف شده، نتایج شبیه‌سازی با موقعیت فعلی (سال ۲۰۱۸) برای درک بهتر تغییرات بر متغیرهای هیدرولوژیکی مقایسه شود. نقشه تغییرات کاربری حوضه اوین-درکه طی بیست سال (۱۹۹۸-۲۰۱۸) در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج نقشه کاربری، مساحت کاربری شهری در حوضه اوین-درکه، در سال ۱۹۹۸ برابر با ۱۸۹۰۰ مترمربع و در سال ۲۰۱۸ برابر با ۷۶۸۰۰ می‌باشد میزان تغییرات مساحت کاربری شهری بالغ بر ۵۷۶۹۰۰ مترمربع طی دوره بیست ساله از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ می‌باشد. همچنین طی روند بیست ساله مطالعاتی، نوع کاربری باغ افزایش را نشان می‌دهد اما کاربری از نوع مرتع کاهش یافته است (جدول شماره ۲).

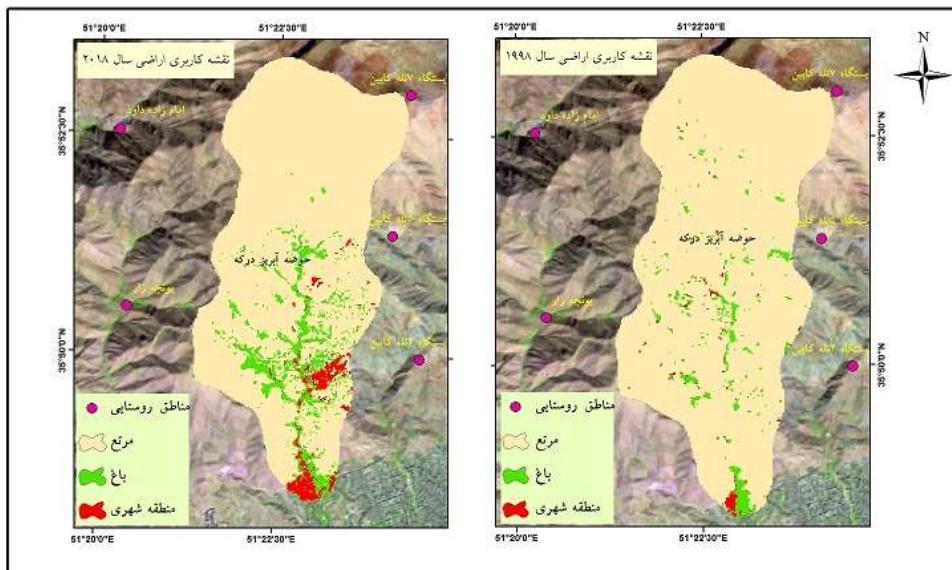
¹- Hydrologic Response Unit

² - soil Conservation Service

³ -Green and Ampt

⁴ - Lagacherie, P., & etal

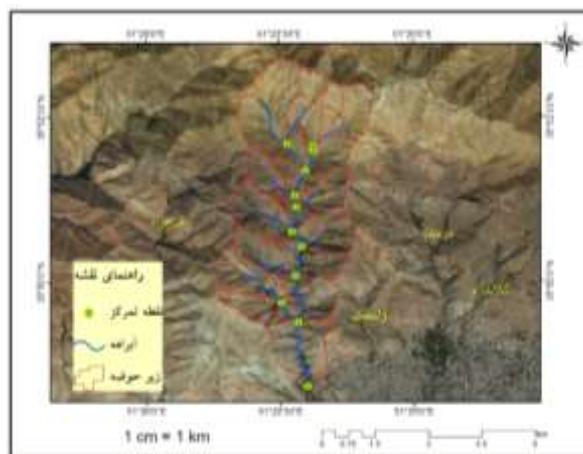
⁵ - Mengistu KT



شکل شماره ۴: نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز اوین - در که برای دوره قبل (۱۹۹۸) و وضع موجود (۲۰۱۸) جدول شماره ۲: مساحت و درصد نوع کاربری اراضی حوضه آبریز اوین - در که برای دوره قبل (۱۹۹۸) و وضع موجود (۲۰۱۸)

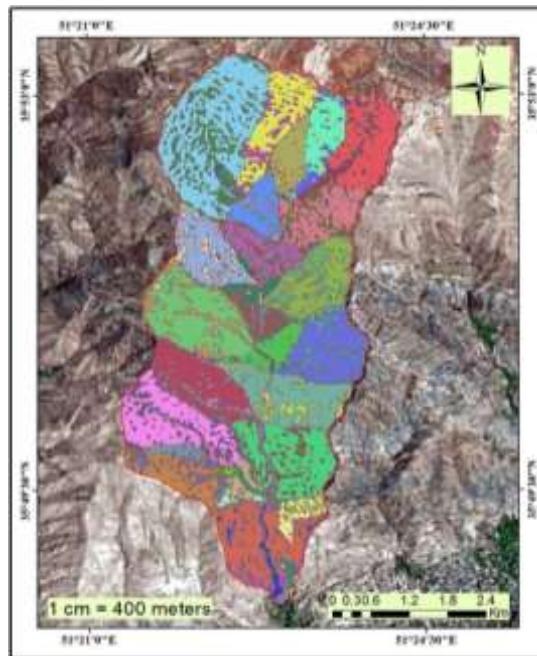
سال ۲۰۱۸		سال ۱۹۹۸		نوع کاربری
درصد	مساحت(مترمربع)	درصد	مساحت(مترمربع)	
۸۸/۵۵	۲۲۹۷۳۴۰۰	۹۵/۸۱	۲۴۸۵۸۰۰	مرتع
۸/۵۰	۲۲۰۵۰۰۰	۳/۴۶	۸۹۷۳۰۰	باغ
۲/۹۶	۷۶۶۸۰۰	۰/۷۳	۱۸۹۹۰۰	منطقه شهری

استخراج خصوصیات فیزیوگرافی حوضه اوین - در که: حوضه اوین - در که در قالب ۲۳ زیر حوضه تقسیم بندی شده است. نقشه محدوده حوضه آبریز، زیر حوضه ها و شبکه جریان در شکل شماره ۴ نشان داده شده است.



شکل شماره ۵: نقشه زیر حوضه ها و شبکه جریان به همراه نقاط تمرکز حوضه آبریز اوین - در که، استخراج از ARC SWAT

واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU): در این پژوهش با استفاده از همپوشانی سه لایه کاربری اراضی، شیب و نوع خاک، تعداد ۷۱ واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) استخراج گردید (شکل شماره ۵).



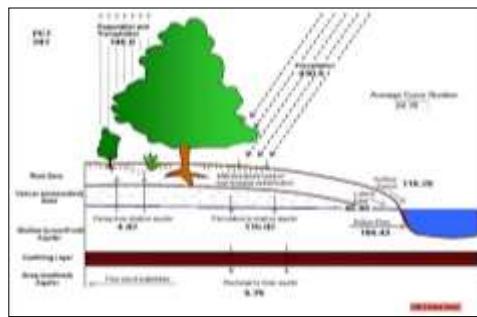
شکل شماره ۶: نقشه واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه اوین - در که

نتایج شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب حوضه اوین - در که

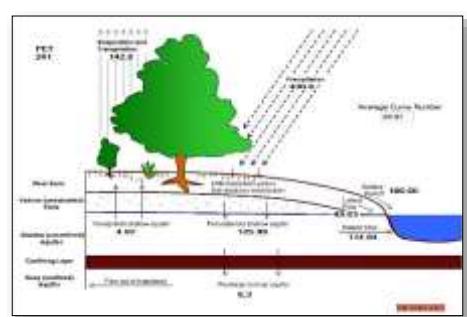
در مدل SWAT، بعد از استخراج نقشه محدوده حوضه و زیرحوضه‌ها و همچنین واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی و معرفی داده‌های هواشناسی به صورت روزانه، مدل اجرا می‌گردد. در این پژوهش از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شمال تهران براساس دوره آماری ۲۱ ساله از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ مورد استفاده قرار گرفت. میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی، میزان نفوذپذیری، شماره منحنی(CN)، میزان رواناب و جریان‌های زیر قشری و جریان بازگشتی از جمله پارامترهایی هستند که در شبیه سازی چرخه هیدرولوژیکی طی دوره بیست ساله(۱۹۹۸-۲۰۱۸) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. که در شکل شماره ۶ ارائه شده است.

نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند بارش - رواناب مبتنی بر سناریوی توسعه فیزیکی شهر، نشان می‌دهد که میانگین بارش در حوضه آبریز اوین - در که برابر با $430/4$ میلی متر می‌باشد که از این مقدار بارش در دوره قبل $142/6$ میلی متر و در سال ۲۰۱۸، به میزان $146/8$ میلی متر به صورت تبخیر و تعرق واقعی از سطح زمین و گیاه تبخیر می‌گردد. یکی از دلایل افزایش میزان تبخیر و تعرق می‌تواند افزایش میزان و مساحت پوشش گیاهی در سطح حوضه باشد. همچنین میانگین شماره منحنی(CN) که نشان‌هندۀ میزان نگهداری آب بر روی حوضه آبریز می‌باشد در فرآیند شبیه‌سازی، این مقدار در سال ۱۹۹۸ برابر با $84/1$ و در سال ۲۰۱۸ این مقدار به $84/76$ افزایش داشته است. مقدار شماره منحنی متاثر از شرایط هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی و شیب منطقه می‌باشد که با افزایش روزافزون فضای کالبدی شهری، تجاوز به حریم رودخانه‌های شهری و کاهش سطوح نفوذپذیر در اثر ساخت و ساز، شرایط هیدرولوژیکی خاک و کاربری دستخوش تغییرات شده است که به تبع آن میزان شماره منحنی نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه این امر، کاهش نفوذپذیری و افزایش میزان رواناب سطحی را در حوضه اوین - در که در پی داشته است و به نحو بارزی بر تحولات و عملکرد و رفتار آب حوضه‌های آبریز تاثیر گذاشته است. میزان رواناب سطحی در دوره قبل(۱۹۹۸)، $106/66$ میلی متر و در (۲۰۱۸) این مقدار به $116/28$ میلی متر افزایش یافته است. با توجه به اینکه سطوح آسفالت شده و ساخت و سازهای شهری از نفوذپذیری زمین کاسته و بر افزایش رواناب تاثیرات کلی می‌گذارد همین امر باعث شده است که میزان زیادی به حجم رواناب‌ها افزوده شود که در

این صورت میزان اوج جریان افزایش یافته و جریان پایه کاهش می‌یابد. همچنین از میزان آبهای نفوذی به سفرهای زیرزمینی کاسته شود و بدین طریق اثرات منفی را بر حجم سفرهای زیرزمینی و سطح ایستابی آن خواهد گذاشت. به همین دلیل، میزان جریان بازگشتی به حوضه آبریز، نفوذ به آبخوان‌های سطحی و عمیق نیز روند کاهشی و منفی را به همراه داشته است. تغییر رواناب و کاهش جریان آب زیرزمینی و تغذیه آبخوان عمیق سبب افزایش سیلاب، فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی در حوضه آبریز می‌شود. این وقایع سیلابی، مقادیر زیادی رسوبات را با خود حمل کرده و موجب افزایش میزان رسوب و کاهش حاصلخیزی خاک می‌گردد. بنابراین، جهت غلبه بر مشکلات ناشی از تغییر سیلکل هیدرولوژیکی و افزایش رواناب و افزایش مقادیر جریان سیلابی، لازم است تا در حوضه مورد مطالعه، مدیریتی منظم و برنامه‌ریزی شده در نظر گرفته شود.



شکل شماره ۸: تحلیل شماتیک فرآیند بارش - رواناب
حوضه اوین-درکه سال ۱۹۹۸-درکه سال ۲۰۱۸



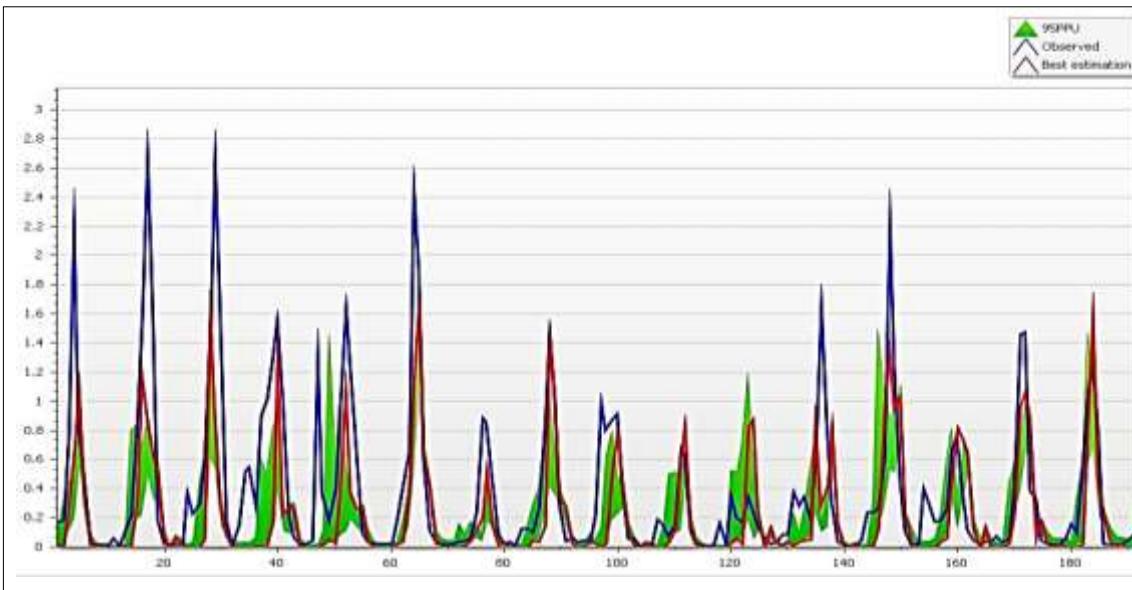
شکل شماره ۷: تحلیل شماتیک فرآیند بارش - رواناب
حوضه اوین-درکه سال ۱۹۹۸

آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT حوضه اوین-درکه

شناسایی پارامترهایی که بر نتایج خروجی مدل موثر می‌باشند ضروری است. که از آن تحت عنوان آنالیز حساسیت یاد می‌شود. بهینه‌سازی و عدم قطعیت مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI2 در برنامه SWAT-CUP انجام می‌شود. شاخص‌های مختلفی جهت ارزیابی مدل ارائه شده است در این تحقیق از ضریب کارایی نش-ساتکلیف(NS) و ضریب تعیین(R^2) استفاده شده است. ضریب نش-ساتکلیف، ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد مقدار این ضریب بین یک تا منفی بین نهایت متغیر می‌باشد. بهترین مقدار آن یک است. ضریب تعیین(R^2) نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است.

در این مطالعه، داده‌های اندازه‌گیری شده دبی روزانه در طول سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ میلادی در ایستگاه هیدرومتری هفت حوض مورد استفاده قرار گرفت دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ میلادی جهت واسنجی و آمار دبی سالهای ۲۰۰۷، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. برای متعادل شدن مدل با شرایط محیطی دو سال ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ به عنوان warm up مدل اختصاص یافت. در الگوریتم SUFI2 با انجام آنالیز حساسیت به صورت خودکار و دستی، که هر کدام ۵۰۰ شبیه‌سازی بود پارامترهایی که بیشترین تاثیر را در نتایج شبیه‌سازی داشتند، انتخاب و مقادیر بهینه آنها حاصل گردید. تعداد ۲۱ پارامتر به عنوان پارامترهای حساس تعیین شد. در بین پارامترهای استفاده ذکر شده، پارامتر CN دارای بیشترین حساسیت می‌باشد. بعد از اعمال پارامترهای بهینه شده، مقدار ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تعیین به ترتیب برابر به ترتیب معادل 0.51 و 0.50 می‌باشد برای دوره زمانی مقدار ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تعیین به ترتیب برابر با 0.45 و 0.40 می‌باشد. اگر شاخص نش-ساتکلیف بیشتر از 0.75 باشد، مدل عالی و کامل، و اگر بین 0.75 و 0.36 باشد، رضایت بخش و کمتر از 0.36 غیرقابل قبول فرض می‌شود. براساس این مطلب، نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل SWAT، دقت قابل قبول و رضایت بخش را دارا می‌باشد.

همچنین، مدل SWAT-CUP در وضعیت موجود حوضه اوین – در که برای سال ۲۰۱۸ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و مقادیر ارزیابی کارایی مدل در ادامه ارائه شده است. طبق نتایج ارزیابی کارایی مدل براساس ضریب نش ساتکلیف(R^2) و ضریب تعیین(NS)، نشان از توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه دارد. مقدار ضریب نش ساتکلیف(NS) و ضریب تعیین(R^2)، به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۵۱ در دوره واسنجی ، ۰/۴۲ و ۰/۴۳ در دوره اعتبارسنجی برآورد شده است.



شکل شماره ۹: نتایج هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی بر پایه زمانی ماهانه، حوضه اوین-در که سال ۲۰۱۸

جدول شماره ۳: ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، حوضه اوین-در که سال ۲۰۱۸

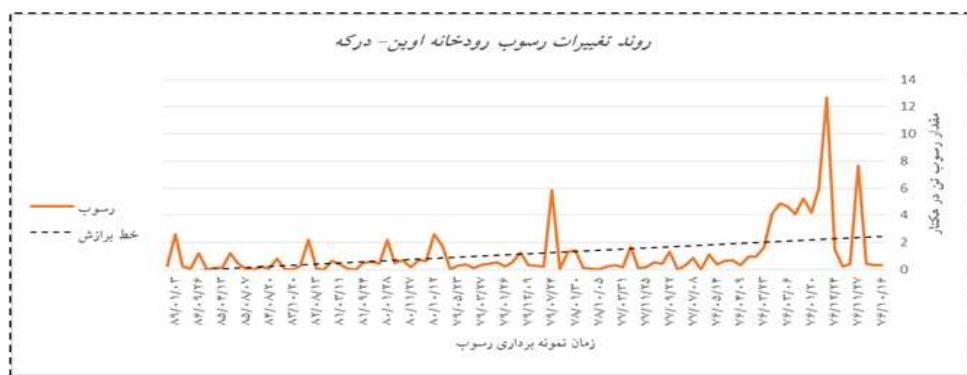
پارامترهای ارزیابی	واسنجی	مشخصه	اعتبارسنجی
ضریب نش ساتکلیف	۰/۴۲	NS	
ضریب تعیین	۰/۵۱	R^2	۰/۴۳

نتایج واسنجی مدل نشان از همبستگی مناسب و قابل قبول داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی حوضه اوین – در که در ایستگاه هفت حوض دارد و انطباق خوبی در بیشتر نقاط هیدروگراف مشاهده می‌شود. در برخی از ماههای مورد بررسی، تخمین کمتر از مقدار واقعی داده‌های دبی، نشان می‌دهد. مهمترین علت آن ضعف مدل در شبیه‌سازی فرآیند ذوب برف عنوان شده است. که مدل در برآورد دبی اوج بخصوص در فصل بهار با مشکل مواجه می‌شود و این ضعف در حوضه‌های کوهستانی اهمیت بیشتری دارد.

مطالعات دبی و رسوب

در ادامه، جهت بررسی روند تغییرات رسوب و دبی، از داده‌های رسوب و دبی طی دوره آماری سال ۱۳۷۵-۱۳۹۰ ایستگاه هفت حوض واقع در مسیر رودخانه در که استفاده شد و تغییرات، به صورت نمودار در محیط نرم افزاری اکسل، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج روند تغییرات رسوب در شکل (۹)، روند رسوب به مرور کاهش یافته است که متعاقب با آن دبی نیز تغییرات نزولی را نشان می‌دهد. به طوری که هرچه آبدهی رودخانه کاهش پیدا کند، میزان بار رسوب کاهش می‌یابد. بیشترین میزان دبی و رسوب در فروردین ماه سال ۱۳۷۶ و بهمن ماه سال ۱۳۷۶ قابل مشاهده است. همچنین

نتایج نشان‌دهنده این است که از نظر میزان آبدهی در فصل‌های مختلف در ایستگاه هفت حوض، فصل بهار بیشترین آبدهی و تابستان کمترین آبدهی را دارد. طبق نمودار، کاهش محسوسی در دبی و درنتیجه تولید رسوب نشان می‌دهد (شکل ۱۰). این روند نزولی در میزان دبی و تولید رسوب، نشان دهنده کاهش سهم آب زیر زمینی و ذوب برف در تامین آبدهی رودخانه و استفاده از آب چشمی در مناطق تفرجگاهی و گردشگری در حوضه اوین – درکه می‌باشد. عامل توسعه کالبدی شهری و دخالت‌های انسانی با توجه به نتایج مدل SWAT حاکی از افزایش قابلیت تولید رواناب و کاهش توان نفوذپذیری حوضه بوده است. بنابراین تاثیر توسعه کالبدی شهری و دخالت‌های مدیریتی انسان در حوضه اوین – درکه به شکل افزایش رواناب و رسوب بوده است. بنابراین در این امر، نباید دخالت عوامل تغییرات اقلیمی و افزایش مناطق تفرجی و گردشگری و استفاده از جریان آب رودخانه و چشمی را در کاهش دبی و رسوب را نادیده گرفت. چون یکی از دلایل کاهش آبدهی رودخانه‌ها، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی‌های اخیر بوده است.



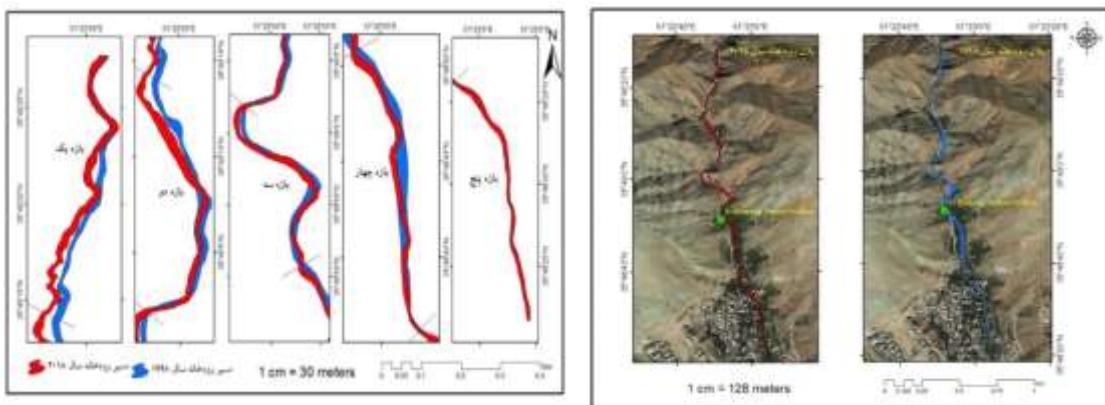
شکل شماره ۱۰: روند تغییرات رسوب حوضه اوین – درکه،



شکل شماره ۱۱. روند تغییرات دبی رودخانه اوین – درکه،

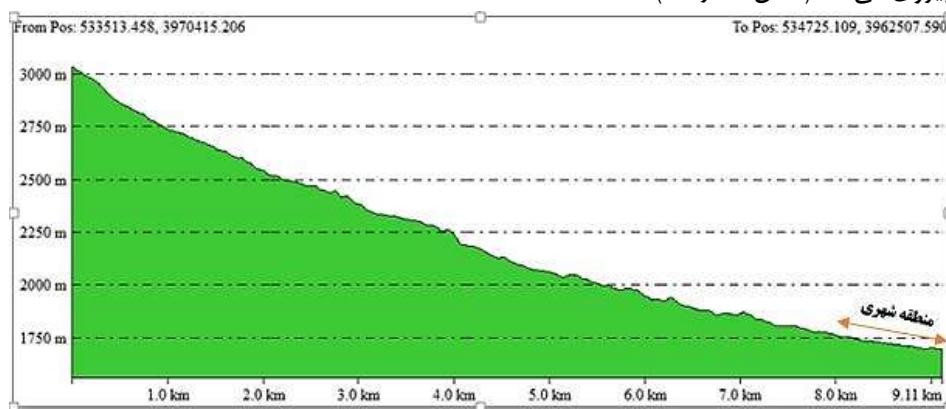
مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه

بررسی الگوی فضایی کanal: پلانفرم رود، شکل پلانیمتری (دوبعدی) رودها را تشریح می‌کند که ویژگی‌های کanal و دشت سیلابی را در یک رودخانه آبرفتی نشان می‌دهد. به منظور بررسی الگو و پلانفرم رودخانه از عکس هوایی ۱۳۷۵ و تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۱۸ استفاده شده است. بررسی عکس هوایی و گوگل ارث، تغییراتی را در مسیر رودخانه به صورت افزایش پیچ و خم رودخانه نشان می‌دهد (شماره شماره ۱۱ و ۱۲).



شکل شماره ۱۳: الگوی فضایی رودخانه اوین - در که طی دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۱ دوره زمانی بیست ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۸)

نتایج بررسی عکس هوایی، تصاویر گوگل ارث و بازدید میدانی، تغییراتی را در مسیر رودخانه به صورت افزایش پیچ و خم رودخانه نشان می‌دهد که رودخانه در طی بیست سال مطالعاتی، کرانه رودخانه در قسمت سواحل راست، دچار فرسایش‌پذیری و تغییرات جانبی شده است و رودخانه دچار انحراف مسیر به سمت کرانه راست شده پیچ و خم‌هایی در دو بازه شماره یک و دو رودخانه بیشتر صورت گرفته است. در بازه شماره پنج (بازه شهری) به دلیل کانالیزه کردن مسیر رودخانه و مستقیم کردن مجراء، الگوی رودخانه تابع عوامل کنترل کننده رودخانه نبوده و توسط عملیات مدیریتی انسانی شکل گرفته است از این رو، امکان یا پتانسیل تغییرات احتمالی مسیر رودخانه به علت دیوارکشی‌های وسیع و بسترهای بتی وجود نخواهد داشت. به طور کلی، در بخش‌هایی از مسیر، که رودخانه توسط رخمنون و سازندهای مقاوم محدود شده‌اند حرکات پیچانروندی به حداقل رسیده، امکان تغییر جانبی و جابجایی بستر آبراهه وجود ندارد و پتانسیل رودخانه را برای ایجاد تغییرات محدود می‌کند همچنین، امکان رسوبگذاری در چنین شرایطی انجام نمی‌گیرد و بستر رودخانه حالت پایداری دارد. در چنین بازه‌ای، رودخانه تابع شرایط کناره و بستر رودخانه می‌باشد. از سوی دیگر، جابجایی بستر و انحراف رودخانه به سمت راست جریان، بیشتر در کناره‌های با مقاومت کمتر از نظر لیتوژوژی و دارای سیلان داشت قابل مشاهده است. در واقع رودخانه، آزادی عمل بیشتری جهت جابجایی در بستر و افزایش پیچش‌ها را خواهد داشت. بررسی نیمرخ طولی رودخانه و مسیلهای حوضه آبریز اوین - درکه: یکی از مهمترین مشخصه‌های ریخت‌شناسی رودخانه به منظور بررسی تغییرات راستای رودخانه، نیمرخ طولی می‌باشد که بیانگر شبیب بستر در هر نقطه از رودخانه در نتیجه واکنش ژئومورفولوژیک، سنگ‌شناصی و آب و هوا می‌باشد. نیمرخ طولی رود از یک روند عمومی با کاهش شبیب به سمت پایین دست رود پیروی می‌کنند (شکل شماره ۱۴).



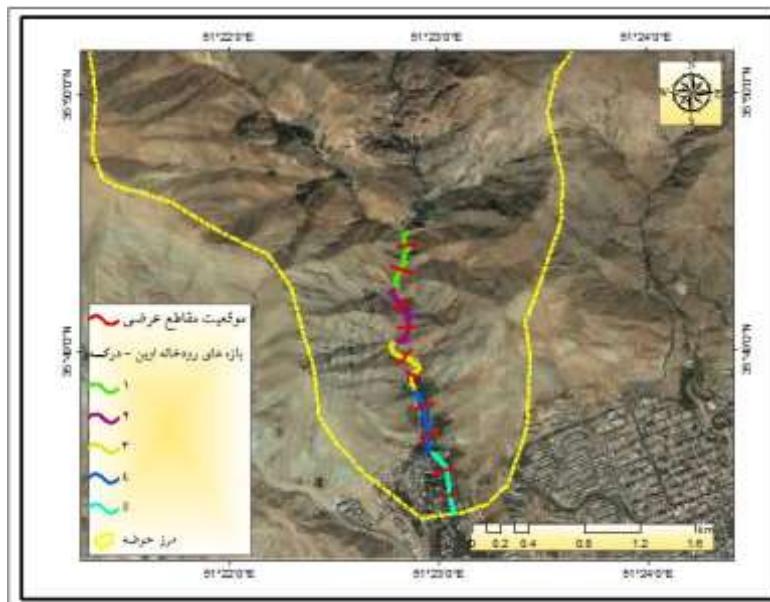
شکل شماره ۱۴: نیمرخ طولی رودخانه اوین - درکه

جدول شماره ۴: پارامترهای مربوط به نیمرخ طولی رودخانه اوین- درکه با استفاده از نرم‌افزار Global mapper

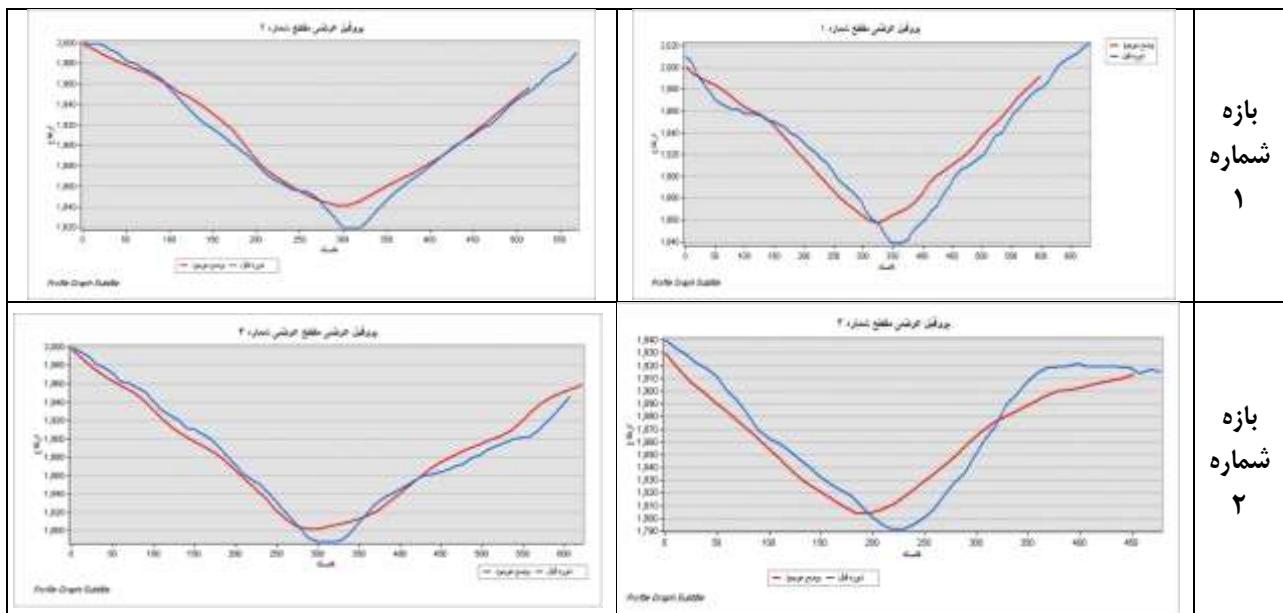
نام رودخانه	طول رودخانه(Km)	شیب حداقل ارتفاع(درجه)	حداقل ارتفاع(M)	حداکثر ارتفاع(M)	اختلاف ارتفاع(M)
اوین - درکه	۹/۱۱	۳۸/۰۵	۱۶۹۴/۹۵	۳۰۳۴/۸۰	۱۳۳۹/۸۵

در جدول شماره ۴، پارامترهای مرتبط با نیمرخ طولی رودخانه اوین- درکه با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper استخراج گردید. میزان اختلاف ارتفاع بالادست نسبت به پایین دست ۱۳۳۹/۸۵ متر می‌باشد که نشان‌دهنده اختلاف ارتفاع و شیب زیاد رودخانه اوین- درکه است که این امر می‌تواند سرعت و قدرت آبهای جاری در طول رودخانه را افزایش دهد. همچنین به دلیل کanalیزه شدن رودخانه در قسمت خروجی و گسترش فضای کالبدی شهر و سطوح نفوذناپذیر شهری، رواناب حاصل از بارندگی در مدت زمان کمتری وارد محدوده شهری شده و منجر به سیل‌گیری و آبگرفتگی می‌گردد. طول رودخانه از قسمت بالادست تا خروجی حوضه، برابر با ۹/۱۱ کیلومتر می‌باشد که طول کم رودخانه، زمان تمرکز کمتر و سیل خیزی بالایی را به همراه دارد. اختلاف ارتفاع و شیب زیاد، توسعه فضای کالبدی شهری در قسمت خروجی، کanalیزه شدن مسیل‌ها و زمان تمرکز کم، شرایط ایجاد و تشدید مخاطرات از جمله سیلاب و آبگرفتگی در سطح شهر را فراهم می‌آورند.

بررسی مقاطع عرضی حوضه آبریز اوین- درکه: اندازه‌گیری مقاطع عرضی کanal، داده‌های شامل عرض و عمق کanal فعال، محیط مرطوب، ارتفاع و زاویه کرانه، ارتفاع و گسترش دشت سیلابی و تراس‌های آبرفتی مجاور را فراهم می‌آورد. با این داده‌ها می‌توان مساحت مقطع عرضی، عمق متوسط، شعاع هیدرولیک و نسبت پهنا به عمق کanal رود را نیز بدست آورد (اسماعیلی و حسین‌زاده، ۱۳۹۰: ۴۶). جهت بررسی مقاطع عرضی رودخانه اوین- درکه، کanal‌های رودخانه‌ای که متاثر از توسعه کالبدی شهری قرار گرفته‌اند، از طریق مشاهدات میدانی تعیین و سپس به ۵ بازه تقسیم‌بندی گردید. در هر بازه دو مقاطع عرضی در نظر گرفته شد که در شکل شماره ۱۵ موقوعیت بازه‌ها و مقاطع عرضی نمایش داده شده است (قابل ذکر است در این پژوهش جهت نمونه فقط دو بازه ارائه می‌شود). از طرفی، با ارزیابی مقاطع عرضی در بازه‌های مختلف، مراحل تغییر کanal رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در مقاطع عرضی مشاهده شد طی بیست سال، با افزایش دبی جریان و توسعه کالبدی شهری، نیمرخ رودخانه در دوره قبل، تمایل به حفر بستر داشته و مقاطع به شکل V شکل یافته‌اند. اما در دوره جدید، پهنانی نیمرخ به دلیل افزایش رواناب و فرسایش جانبی کرانه رودخانه، گسترش یافته است و نیمرخ مقاطع به شکل U تغییر یافته است. از این نظر می‌توان گفت که رودخانه روند فرسایش کاوشی در قسمت سواحل راست و رسوبگذاری در بستر را داشته است و رودخانه در ارتفاعی بالاتری نسبت به دوره قبل جریان دارد. در واقع رودخانه، با حفر سواحل کناری و رسوبگذاری بستر در جهت رسیدن به تعادل می‌باشد. بیشترین تغییرات در مقطع عرضی در بازه شماره پنج (مقاطع ۹ و ۱۰) مشاهده می‌شود. این بازه به دلیل کanalیزه شدن و هدایت آبهای سطحی به کanal‌های بتی و افزایش تراکم شهری، کرانه راست جریان رودخانه، مسطح و هموار شده است.



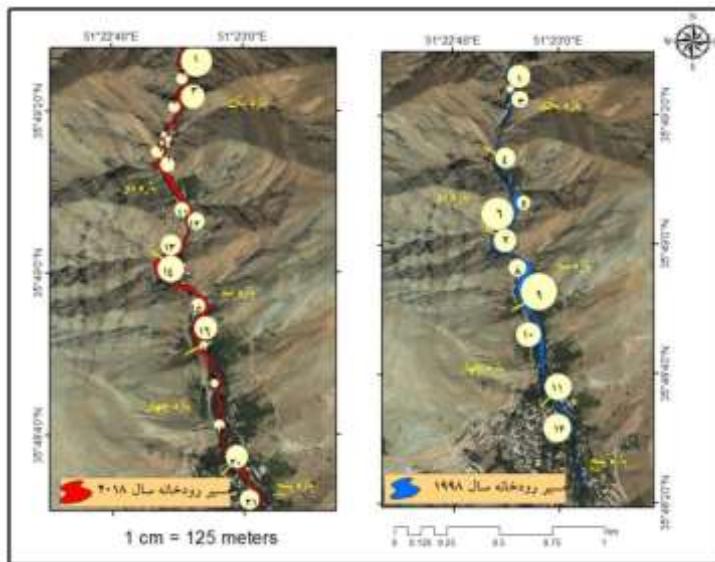
شکل شماره ۱۵: موقعیت نقاط برداشت مقاطع عرضی و بازه‌های رودخانه اوین - درکه



شکل شماره ۱۶: نیموج عرضی رودخانه اوین - درکه برای دوره زمانی بیست سال مطالعاتی

تعداد پیچانرود: در این مطالعه، از نظر بررسی تغییرات پلان رودخانه و تعداد پیچانرود، با استفاده از روش برآشش حلقه‌های مثاندر با قوس دوایر مماس، پیچانرودهای رودخانه‌ی اوین-درکه در هر یک از سالهای ۱۹۹۸ و ۲۰۱۸ به صورت محزا ترسیم شد که نتایج آن در شکل شماره ۱۸ه مذکور است. بررسی تغییرات زمانی و مکانی مورفولوژی رودخانه نشان داده که تعداد پیچانرودهای رودخانه اوین-درکه در طی بیست سال مطالعه، از ۱۲ عدد در سال ۱۹۹۸ به ۲۱ عدد در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است(شکل شماره ۱۶). بیشترین تغییرات تعداد پیچانرود در بازه شماره یک مشاهده می‌شود که در سال ۱۹۹۸ تعداد ۴ پیچش و در سال ۲۰۱۸ به ۱۰ پیچش افزایش یافته است. در حوضه اوین-درکه به دلیل لیتوولوژی مقاوم، مستقیم‌سازی و دیوارکشی در قسمتی از سواحل رودخانه و ساخت و ساز در مسیر رودخانه به ویژه در بازه شماره چهار و پنج، افزایش پیچ و خم در مسیر رودخانه صورت نگرفته است. بنابراین، تغییرات ضربی خمیدگی در

نقاطی دیده می‌شود که در کناره‌های رودخانه تشکیلات فرسایش‌پذیر و سست وجود داشته و عکس‌العمل مورفولوژیکی رودخانه تحت چنین شرایطی، باعث تغییر در مشخصات کمی پیچانرودها بروز پیدا کرده است.



شکل شماره ۱۷: شاخص تعداد پیچانرود بازه‌های رودخانه اوین-درکه طی دوره زمانی بیست ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۸)

جدول شماره ۵: مقایسه تعداد پیچانرود در بازه‌های مورد مطالعه، در سالهای ۲۰۱۸-۱۹۹۸

تعداد پیچانرود سال ۲۰۱۸	تعداد پیچانرود سال ۱۹۹۸	بازه
۱۰	۴	۱
۳	۲	۲
۳	۳	۳
۴	۲	۴
۱	۱	۵
۲۱	۱۲	جمع

-سینوزیته کanal رود: یکی دیگر از مشخصات مورفومتری رودخانه که جهت بررسی میزان تغییرات مسیر آبراهه استفاده می‌گردد شاخص سینوزیته می‌باشد. سینوزیته یا ضربی خمیدگی پارامتری است که الگوی پیچانرودی (مئاندری) یک رود را نشان می‌دهد. و به صورت نسبت طول کanal به طول دره (در یک خط مستقیم) تعریف می‌شود. به عبارت دیگر نسبت شبیب دره به شبیب کanal است. برای بررسی تغییرات الگوی رفتاری کanal رودخانه مقادیر ضربی خمیدگی در ۵ بازه در طول رودخانه اوین-درکه برای دو دوره قبل و جدید (۲۰۱۸-۱۹۹۸) محاسبه شد. مقادیر جدول، بیانگر تغییرات الگوی کanal رودخانه در طی بیست سال می‌باشد (جداول شماره ۶ و ۷).

جدول شماره ۶: تقسیم‌بندی رودخانه براساس ضربی خمیدگی

ضربی خمیدگی	۱-۱/۰۵	۱/۰۶-۱/۲۵	۱/۲-۲۵	بیشتر از ۲
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچان‌رودی	پیچان‌رودی شدید

جدول شماره ۷: شاخص ضریب خمیدگی بازه‌های رودخانه اوین - درکه طی دوره زمانی بیست ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۸)

سال ۲۰۱۸					سال ۱۹۹۸					شماره بازه
نوع بازه	ضریب خمیدگی	طول دره	طول کanal	نوع بازه	ضریب خمیدگی	طول دره	طول کanal			
سینوسی	۱/۱۳	۴۲۷/۴۲	۴۸۴/۷۲	مستقیم	۱/۰۷	۴۴۳/۰۵	۴۷۵/۷۴	۱		
پیچانروودی	۱/۳۱	۳۷۷/۳۵	۴۹۵/۳۱	سینوسی	۱/۲۴	۳۸۶/۰۵	۴۸۰/۴۵	۲		
پیچانروودی	۱/۲۹	۳۷۸/۵۰	۴۸۹/۳۱	پیچانروودی	۱/۲۵	۳۷۰/۶۰	۴۶۵/۴۵	۳		
سینوسی	۱/۰۶	۴۶۲/۷۲	۴۹۴/۵۱	مستقیم	۱/۰۵	۴۶۴/۷۶	۴۹۰/۴۰	۴		
مستقیم	۱/۰۵	۴۶۹/۶۵	۴۹۴/۷۷	مستقیم	۱/۰۵	۴۵۷/۵۷	۴۸۳/۳۷	۵		

در طی سالهای ۱۹۹۸-۲۰۱۸، بازه شماره ۱ از الگوی مستقیم به سینوسی، بازه شماره ۲ از الگوی سینوسی به پیچانروودی و بازه شماره ۴ از الگوی مستقیم به الگوی سینوسی تغییر وضعیت داده است. در بازه شماره پنج، به دلیل مستقیم سازی کanal و تثبیت کناره کanal و کرانه رودخانه با استفاده از دیواره‌های بتُنی، تغییر الگو مشاهده نشده است. در بازه شماره ۱، ضریب خمیدگی کanal از ۱/۰۷ در سال ۱۹۹۸، به ۱/۱۳ در سال ۲۰۱۸ افزایش داشته است. در بازه شماره ۲، مقادیر ضریب خمیدگی، از ۱/۲۴ در سال ۱۹۹۸ به ۱/۳۱ در سال ۲۰۱۸ روند افزایشی را نشان می‌دهد. همچنین در بازه شماره ۳، میزان ضریب خمیدگی از ۱/۲۵ در سال ۱۹۹۸ به ۱/۲۹ در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است اما الگو بازه طی بیست سال تغییری نداشته و به شکل مئاندri مشاهده می‌شود. به دلیل وجود موائع طبیعی (رخمنون سازند مقاوم) در بازه شماره سه، الگوی پیچانروودی حاکمیت دارد. در بازه شماره ۴ و ۵ رودخانه از نظر مقادیر ضریب خمیدگی تفاوت چندانی ملاحظه نمی‌شود. نسبت عرض به عمق کanal رودخانه اوین - درکه: نسبت عرض به عمق، شکل و ابعاد کanal رود را تشریح می‌کند و به صورت نسبتی از پهنه‌ای مقطع دبی لبالی به عمق متوسط این مقطع است. مقادیر کمتر از ۱۲ نشان‌دهنده نسبت کم پهنا به عمق بوده و مقادیر بیش از ۱۲ نشان‌دهنده نسبت متوسط یا زیاد پهنا به عمق هستند (اسماعیلی و حسین زاده، ۱۳۹۴: ۶۹). برای تعیین نسبت عرض به عمق از نیمرخ‌های عرضی هر مقطع استفاده شد. نتایج اندازه‌گیری نسبت عمق به عرض، نشان‌دهنده این امر است که پهنه‌ای رودخانه در دوره بیست سال عرض کanal در تمامی بازه‌ها در اثر فرسایش کرانه‌ها، افزایش یافته است. در بازه شماره پنج (بازه شهری)، تغییراتی از نظر پهنه‌ای رودخانه صورت نگرفته است. اطراف مسیل‌ها و رودخانه به صورت کanal‌های بتُنی بازسازی و محدود شده است. در واقع رودخانه اوین - درکه پس از گذر از محدوده کوهستانی، وارد محدوده شهری شده و به وسیله کanal بتُنی با عرض حدود ۵ تا ۷ متر و عمق ۳ تا ۶ متر ادامه مسیر داده و وارد کanal سیل برگردان غرب می‌شود.

جدول شماره ۸: شاخص نسبت عرض به عمق بازه‌های رودخانه اوین - درکه طی دوره زمانی بیست ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۸)

سال ۲۰۱۸			سال ۱۹۹۸			شماره بازه	
نسبت عرض / عمق	متوسط عمق کanal(متر)	عرض کanal(متر)	نسبت عرض / عمق	متوسط عمق کanal(متر)	عرض کanal(متر)		
۶/۶۱	۱۷/۷۳	۹۹/۴۷	۳/۷۷	۲۰/۶۲	۷۷/۸۵	۱	بازه
۶/۲۲	۱۴/۷۶	۹۱/۸۴	۲/۷۳	۲۹/۰۶	۷۹/۴۲	۲	
۴/۴۹	۲۶/۷۱	۱۲۰/۱۵	۳/۶۴	۲۷/۱۶	۹۹/۱۲	۳	بازه
۴/۴۹	۴۴/۱۴	۱۹۸/۴۹	۳/۰۴	۴۵/۶۵	۱۳۸/۸۸	۴	
۷/۱۳	۱۹/۵۹	۱۳۹/۷	۴/۲۰	۲۵/۴۹	۱۰۷/۲۱	۵	بازه
۷/۳۲	۲۰/۱۳	۱۴۷/۳۷	۳/۶۹	۲۲/۲۵	۸۲/۲۵	۶	
۶/۱۹	۱۷/۵۰	۱۰۸/۴۶	۲/۷۵	۱۹/۴۳	۷۳/۰۲	۷	بازه
۱۵/۳۲	۵/۹۴	۹۱/۰۶	۷/۲۹	۱۰/۸۵	۷۹/۱۱	۸	
۷/۵۸	۶/۱۲	۴۶/۴۳	۷/۵۸	۶/۱۲	۴۶/۴۳	۹	بازه
۷/۰۲	۳/۲۸	۲۳/۰۴	۷/۰۲	۳/۲۸	۲۳/۰۴	۱۰	

❖ در نهایت، براساس بازدیدهای میدانی از بازه‌های مختلف محدوده مورد مطالعه تصاویر زیر ارائه می‌گردد:



شکل شماره ۱۹- واحد ژئومورفیک از نوع موانع قطعه سنگی در بازه
شماره چهار رودخانه اوین - درکه



شکل شماره ۱۸- واحد ژئومورفیک از نوع موانع قطعه سنگی در بازه
شماره یک رودخانه اوین - درکه



شکل شماره ۲۱- واحد ژئومورفیک پستر کانال از نوع پستر هموار



شکل شماره ۲۰- واحد ژئومورفیک پستر کانال از نوع سکو- چالاب بازه
شماره یک



شکل شماره ۲۳- قطعه سنگ‌های مسیر رودخانه اوین - درکه، بازه
شماره ۳



شکل شماره ۲۲- مواد واریزه‌ای پای دامنه منبع تولید رسوب رودخانه
اوین - درکه

نتیجه‌گیری

با گسترش شهرنشینی و توسعه فعالیت‌های انسانی در محدوده مورد مطالعه، سیستم رودخانه تغییر کرده است. در گام نخست مطالعات هیدرولوژیکی حوزه آبریز اوین-درکه، نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند بارش - رواناب مبتنی بر سناربودی توسعه فیزیکی شهر، نشان می‌دهد که توسعه کالبدی- فضایی شهری بر ویژگی‌های هیدرولوژی چرخه آب از جمله شماره منحنی (CN)، ضریب نفوذپذیری، میزان رواناب و رسوب اثر گذاشته است که نتیجه این امر، واکنش مورفولوژی کانال رودخانه به شکل فرسایش کرانه رودخانه و عریض شدن مجرای آن، جابجایی مسیر رودخانه، افزایش پیچانروز در بازه‌های در حال تعدیل و قابل بازیابی در محدوده کوهستانی می‌باشد. در بازه‌هایی در حال تعدیل و قابل بازیابی که از نظر جانبی محدودیت نداشته و فعل هستند، تغییر ماجرا و تغییر پلتفرم رودخانه مشاهده می‌شود. این گونه بازه‌ها قادر به بازیابی و تعدیل مسیر می‌باشند. در

حقیقت، با توجه به افزایش میزان رواناب، باید حفر و عریض شدن کرانه رودخانه وجود داشته باشد. در بازه‌های شهری، فعالیت‌های مدیریتی و توسعه شهری به صورت دخل و تصرف در حریم و بستر مسیل‌ها، شهرسازی، ایجاد سطوح نفوذناپذیر، مستقیم‌سازی رودخانه، تغییر ابعاد کanal، ثبت کanal و کرانه رود پیامدی‌هایی همچون کاهش مقطع جریان، کاهش زمان تمرکز حوضه، افزایش حجم رواناب و سیلان را به دنبال داشته است. به طور کلی، توسعه کالبدی شهری به عنوان تغییری که به رودخانه تحمیل شده است موجب پاسخ متفاوت رودخانه و برهم زدن تعادل رودخانه شده و عکس العمل رودخانه به صورت تغییر در الگو و شکل هندسی رودخانه در جهت ایجاد تعادل در مسیر آن، نمایان شده است. نتایج کلی حاکی از آن است که با وجود اثرات شدید فعالیت‌های انسانی بر سیستم‌های محیطی، برآورد میزان تاثیر تغییرات انسان ساز بر سیستم رودخانه ای دشوار است. همچنین تفکیک تغییرات انسانی از تغییرات ناشی از فرآیندهای طبیعی دشوار است و در اغلب موارد تغییرات و پاسخ رودخانه به توسعه شهری از نظر تغییرات مورفولوژیکی به صورت رابطه مستقیم نمی‌باشد و عوامل کنترل کننده دیگر می‌تواند در فرسایش جانبی رودخانه و جابجایی مسیر و به طور کلی در تغییر مورفولوژی رودخانه نقش داشته باشد. اما در بازه‌های شهری که مسیر رودخانه به دلیل اقدامات مدیریتی و انسانی به صورت کanal‌های مصنوعی و دیوارکشی و بستر بتُنی و ساخت و ساز در حریم رودخانه تغییر یافته است، می‌توان گفت ارتباط مستقیمی بین توسعه کالبدی شهری و تغییرات مورفولوژی رودخانه وجود دارد. در چنین بازه‌هایی، در اثر کanalیزه شدن مجرأ و مستقیم سازی کanal، باریک شدن مجرأ اتفاق افتاده است و رودخانه در بستری که از حالت طبیعی خارج شده است و توسط مواد بتُنی پوشیده شده است، جریان دارد. در چنین بازه‌هایی، مورفولوژی رودخانه به دلیل شرایط کanalی بودن مسیر، از بین رفته است و رودخانه تابع شرایط کنترل کننده و عوامل طبیعی نبوده و فعالیت‌های انسانی و مدیریتی، شکل و مورفولوژی رودخانه را به صورت الگوی مستقیم شکل داده است. اما در بازه‌هایی که قابلیت تعديل و بازیابی را دارا می‌باشند و مسیر رودخانه کمتر دستخوش اقدامات توسعه شهری قرار گرفته است، تفکیک تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی دشوار است از این رو، بخشی از این تغییرات در ارتباط با توسعه کالبدی شهری و اقدامات مدیریتی رودخانه می‌باشد.

منابع

- احمدآبادی، علی و همکاران، ۱۳۹۵. تحلیل اثرات عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز عینبران چای با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT، فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا دانشگاه تربیت مدرس، دوره ۲۱، شماره ۲، صفحات ۳۵-۵۵.
- اسماعیلی، رضا و قاسم لرستانی(۱۳۹۴)، ارزیابی اثرات شهرنشینی بر ویژگی‌های ژئومورفیک رودخانه‌ها، فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین، سال ششم، شماره ۲۴، صفحات ۷۸-۹۳.
- حسین زاده، محمدمهردی، اسماعیلی، رضا(۱۳۹۴)، ژئومورفولوژی رودخانه ای، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ اول، ۳۳۸ ص.
- طرح تفصیلی منطقه یک تهران (۱۳۸۶) نهاد مدیریت و برنامه‌ریزی تهیه طرح‌های توسعه شهری تهران، وزارت مسکن و شهرسازی- شهرداری تهران.
- گودرزی، محمدرضا و همکاران(۱۳۹۱)، مقایسه عملکرد سه مدل هیدرولوژیکی SWAT و IHACRES در شبیه سازی رواناب حوضه قره سو، مدیریت آب و آبیاری، دوره ۲، شماره ۱، صص ۲۵-۴۰.
- Ahmad Dar, R., Sareer, A., M., Ahakil, A., R., (2018). Influence of Geomorphology and Anthropogenic Activities on Channel Morphology of River Jhelum in Kashmir Valley, NW Himalayas. *Journal of Quaternary international*.
- Booth, D.B., Karr, J.R., Schauman, S., Konrad, C.P., Morley, S.A., Larson, M.G., Burges, S.J., (2004), Reviving urban streams: land use, hydrology, biology, and human behavior. *Journal of the American Water Resources Association* 40(5), 1351-1364.

- Brierley, G.L., & Fryirs, K., 2005. *Geomorphology and River Management; Application of the River Style framework*. Blackwell publishing, UK.
- Chin, A., Gregory, K.J.,(2005), Managing urban river channel adjustments. *Geomorphology* 69, 28–45.
- Chin, A., Gregory, K.J., (2009), From research to application: management implications from studies of urban river channel adjustment. *Geography Compass* 3(1),pp.297–328.
- Chin, A.,(2013), Urbanization and River Channels. *Osmania Journal of Social Sciences, Volume 9: Fluvial Geomorphology*, Chapter: 9.39.
- Doyle, M.W., Jonathan, M.H., & etal (2000). Examining The Effects Of Urbanization on Streams Using Indicators of Geomorphic Stability, *Physical Geography*, v. 21(2), p. 155-181.
- Gregory, K.J., (2002), Urban channel adjustments in a management context: an Australian example. *Environmental Management* 29, 620–633.
- Hardison, E.C., O'Driscoll, M.A., DeLoatch, J.P., Howard, R.J. and Brinson, M.M, 2009. Urban land use, channel incision and water table decline along coastal plain streams, north Carolina, *Journal of the American water resources association*, V54(4), pp. 1032-1046.
- Ji X, Xu Y, Han L, Yang L(2014). Impacts of Urbanization on River System Structure: A Case Study on Qinhai River Basin, Yangtze River Delta. *Journal of Water Sci Technol*, Ni 70, pp, 671-7.
- Lagacherie, P., Rabotin, M., Colin, F., Moussa, R., Voltz, M,(2010). Geo-MHYDAS: A landscape discretization tool for distributed hydrological modeling of cultivated areas, *Computers & geosciences*, No. 36, pp 1021-1032.
- Lei Wu, Youpeng Xu, Jia Yuan & et al (2018). Impacts of Land Use Change on River Systems for a River Network Plain. *Journal of Hydrological Processes*, No. 30, pp 2401-2412.
- Kang, R.S. and Marston, R.A., (2006). Geomorphic Effects Of Rural-to-Urban Land Use Conversion on Three Streams in The Central Redbed Plains Of Oklahoma, *Geomorphology*, v.79, p. 488-506.
- Mengistu KT (2009) Watershed hydrological responses to changes in land use and land cover, and management practises at Hare Watershed, Ethiopia.
- Verbeeten E and Barendregt A (2007) The Impacts Of Climate Change On Hydrological Services Provided By Dry Forest Ecosystems In West Africa, 4th International SWAT Conference.
- Taylor, K.G., Owens, P.N., (2009), Sediment in urban river basins: a review of sediment-contaminated dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *Journal of Soils and Sediments* 9, 281–303.
- Zaharia, L., Ioana, G., & teal (2016). Urbanization Effects on The River Systems in the Bucharest City Region (Romania). *Journal of Ecosystem Health and Sustainability*, Volume 2, Issue 11.