

## 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 جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.  
سیدموسی پورموسوی- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه امام حسین.

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

### چکیده

ژئومورفولوژی؛ علمی است که به مطالعه لندفرم‌ها می‌پردازد، نقش اساسی را در زمینه برنامه‌ریزی، توسعه و مدیریت مناطق شهری بویژه 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 کانال 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 شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب مبتنی بر سناریوی توسعه فیزیکی شهر، نشان می‌دهد که میانگین بارش در حوضه برابر با ۴۳۰/۴ میلی متر است که از این مقدار بارش در دوره قبل ۱۴۲/۶ میلی متر و در سال ۲۰۱۸، به میزان ۱۴۶/۸ 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 ۱۳۷۷ برابر با ۸۴/۰۱ و ۱۰۶/۶۶ میلی متر و در سال ۱۳۹۷ این مقدار به ۸۴/۷۶ و ۱۱۶/۲۸ میلی متر افزایش داشته است. بر اساس 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 کانال رودخانه اوین-درکه به صورت کاهش مقطع و عرض کانال در بازه‌های شهری، تغییر نیمرخ عرضی و طولی، جابجایی مسیر رودخانه و افزایش ماندر و فرسایش جانبی در بازه‌های در حال تعدیل و قابل‌بازیابی طی دوره زمانی بیست سال می‌باشد.

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

## مقدمه

یکی از سیستم های طبیعی، رودخانه ها هستند که در نواحی شهری تحت تاثیر فعالیت های انسان قرار می گیرند لذا، نقش انسان در تغییر مجرای رودخانه غیر قابل اجتناب است (باوس و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۳۵۵)<sup>۱</sup>. امروزه ژئومورفولوژی رودخانه، پایه ای برای مطالعه تغییرات محیطی است که برای مدیریت کانال های رودخانه ای به کار می رود، که این جنبه های کاربردی بیشتر در زمینه تغییرات مجاری رودخانه ای و در رابطه با فرآیند و فرم، ارزیابی تغییرات مجرا، شهرنشینی، کانالسازی، صنایع استخراجی، کارهای مهندسی، تغییرات گذشته در کاربری اراضی و تجدید و نوسازی است (گرگوری، ۲۰۰۲: ۱)<sup>۲</sup>. تغییرات شهرنشینی بیش از هر عامل انسانی دیگری بر روی سیستم های رودخانه ای تاثیر می گذارد. تغییرات کانال های رودخانه در اثر توسعه شهری بسیار قابل توجه است. تغییرات فیزیکی و بیولوژیکی که با شهرنشینی رخ میدهد با چارچوب مقررات، سیاست ها و فعالیت های طراحی/ساخت و ساز که با کنترل و چگونگی زیرساخت های شهری مرتبط می باشد، در هم تنیده است (چین و گرگوری، ۲۰۰۹: ۳۱۵)<sup>۳</sup>.

اندازه و سرعت شهرنشینی در دهه های اخیر نسبت به هر زمان دیگر در تاریخ زمین افزایش قابل توجهی داشته است (چین، ۲۰۱۳: ۸۱۱)<sup>۴</sup>. توسعه شهری، تغییرات سطح زمین را بدنبال دارد در واقع پوشش طبیعی زمین با سطوح غیرقابل نفوذ جایگزین میشود. مجاری آب و شبکه های رودخانه ای توسط زهکشهای مصنوعی و سازه ها مانند مجاری فاضلاب، نگهداری استخرها و زیرساخت های لازم برای کنترل سیل جایگزین و تغییر داده شده اند. چنین تغییراتی منجر به تغییر ماهیت فرایندهای رسوب گذاری و آبرفتی شده است (تیلور و همکاران، ۲۰۰۹: ۶۱۵)<sup>۵</sup>. درک بیشتر و عمیقتر اثرات شهری بر روی کانالها و سیستم های رودخانه ای به منظور چگونگی مدیریت رودخانه های شهری در جوامع و چگونگی پاسخ به تغییرات ضروری و حیاتی می باشد (چین و گرگوری، ۲۰۰۵: ۳۶)<sup>۶</sup>. فعالیت های مدیریتی انسان بر روی کانال رود که در مجموع کانال سازی نام دارند شامل مستقیم سازی کانال رود، تغییر ابعاد کانال، ساختن خاکریزها و دیواره های سیل بند، تثبیت کانال و کرانه رود، رفع موانع در بستر رود، لایروبی و احداث سرریزها در رودخانه ها می شوند (برایلی و فرایرز، ۲۰۰۵)<sup>۷</sup>. احمددار و همکاران (۲۰۱۸)<sup>۸</sup>، تأثیر فعالیت های ژئومورفیک و انسانی بر روی مورفولوژی کانال رودخانه یلوم دره کشمیر در شمال غرب هیمالیا را بررسی کرده اند. براساس تحقیقات این مطالعه نشان داده شد که فرایندهای متنوع ژئومورفیک و فعالیت های انسانی باعث تغییرات قابل ملاحظه ای بر روی مورفولوژی کانال ها شده است. لی ویو و همکاران (۲۰۱۸)<sup>۹</sup>، اثرات تغییرات کاربری اراضی بر روی سیستم های رودخانه برای یه شبکه دشت رودخانه بررسی کرده اند. در این مطالعه داده های سیستم رودخانه و داده های کاربری اراضی از دهه ۱۹۶۰ تا سال ۲۰۱۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند نتایج تغییرات گسترده سیستم های رودخانه در بازه مشخص شده نشان داد. جی ایکس (۲۰۱۴)<sup>۱۰</sup>، اثرات توسعه شهر بر ساختار سیستم های رودخانه دلتا یانگ تسه مطالعه کرده اند. در این مطالعه، ساختار جریان رودخانه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۹ بررسی شده است. نتایج نشان می دهد، توسعه شهر باعث افزایش چشمگیر نقاط غیرقابل نفوذ و کاهش تعداد رودخانه ها و همچنین طول رودخانه ها شده است.

<sup>1</sup> - Booth, D.B., & etal

<sup>2</sup> - Gregory, K.J.,

<sup>3</sup> - Chin, A., Gregory, K.J.,

<sup>4</sup> - Chin, A.,

<sup>5</sup> - Taylor, K.G., Owens, P.N.,

<sup>6</sup> - Chin, A., Gregory, K.J.,

<sup>7</sup> - Brierley, G.L., & Fryirs, K.,

<sup>8</sup> - Ahmad Dar, R, Sareer, A., M, Ahakil, A., R.,

<sup>9</sup> - Lei Wu, Youpeng Xu, Jia Yuan & et al

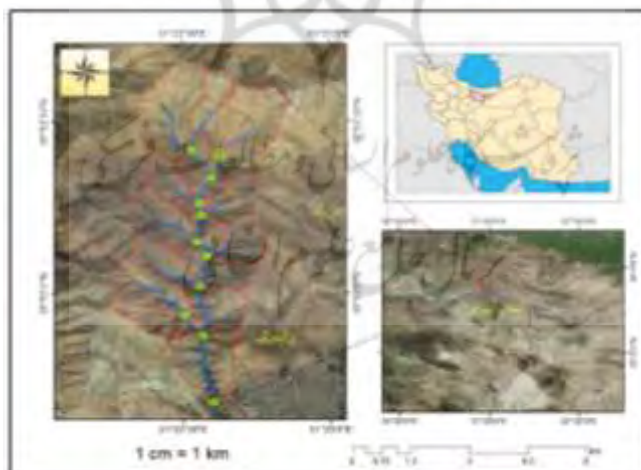
<sup>10</sup> - Ji X, Xu Y, Han L, Yang L

از طرفی، زاهاریا و همکاران (۲۰۱۶)<sup>۱</sup>، هادیسون و همکاران (۲۰۰۹)<sup>۲</sup>، کانگ و مارستن (۲۰۰۶)<sup>۳</sup>، دوایل و همکاران (۲۰۰۰)<sup>۴</sup> 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 هیدروژئومورفولوژیکی 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 متروک 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 کانال 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 - درکه طی دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۸) می‌باشد.

#### محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز 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 دربند محدود شده است. این حوضه‌ها در مختصات جغرافیایی ۴۸، ۳۵ درجه تا ۵۴، ۳۵ درجه عرض شمالی و ۲۱،۵۱ تا ۲۵،۵۱ درجه طول شرقی قرار دارد. حوضه آبخیز 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., & etal

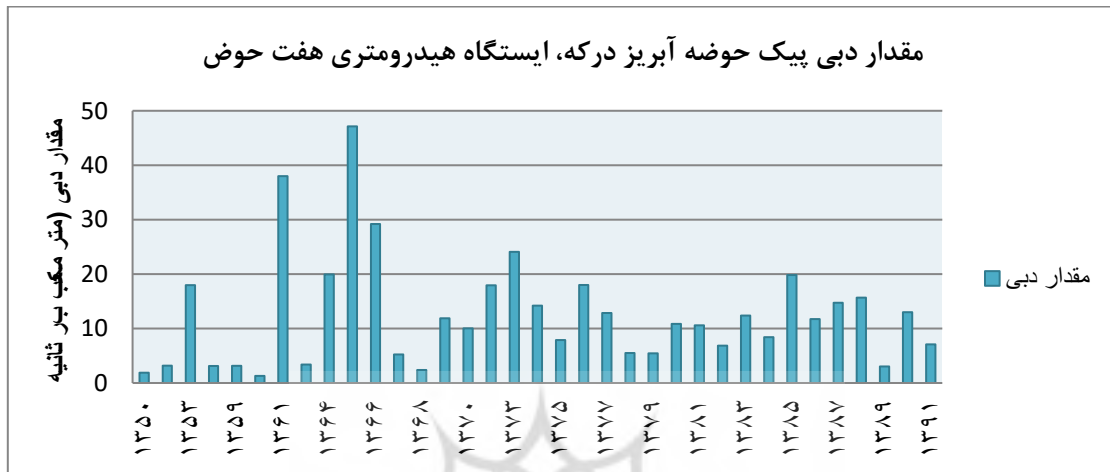
2 - Hardison, E.C., & et al

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

4 - Doyle, M.W., Jonathan, M.H., & etal

## دبی رودخانه اوین - درکه

رودخانه درکه از رودخانه‌های شمال تهران می‌باشد که از قله توچال و شاه نشین سرچشمه گرفته و به صورت شمالی - جنوبی به سمت شهر تهران تخلیه می‌گردد. 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 می‌شود (شکل شماره ۲).



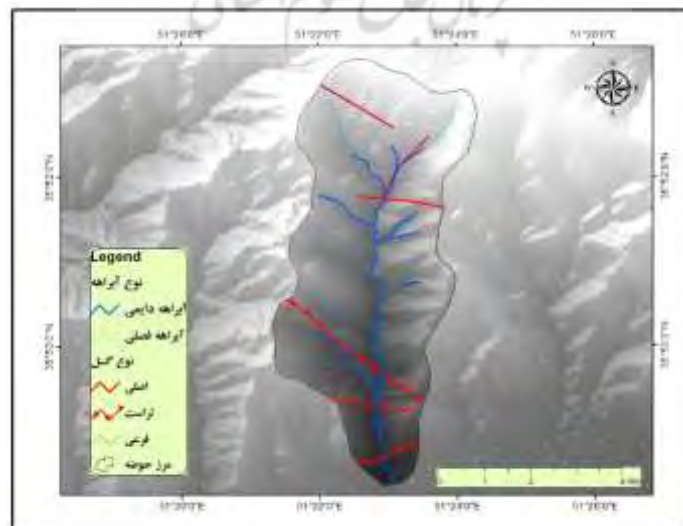
شکل شماره ۲: میزان دبی بیک حوضه اوین - درکه (در بازه ۴۱ ساله)، ایستگاه هیدرومتری هفت حوض

جدول شماره ۱: مشخصات فیزیوگرافیکی حوضه اوین - درکه

مشخصات نام حوضه	طول آبراهه اصلی (km)	طول حوضه (km)	مساحت (km <sup>2</sup> )	محیط (km)	ارتفاع حداقل (M)	ارتفاع حداکثر (M)
درکه	۱۰/۱	۹/۵	۲۵/۹۴	۲۴/۰۸	۱۶۸۶	۳۸۵۳

## وضعیت تکتونیک اوین - درکه

البرز یکی از زون‌های پرجنبش ایران است به سبب تاریخ پیچیده آن دارای دگرریختی‌های شکننده بوده که این دگرریختی‌ها عموماً دارای نظم خاصی نمی‌باشند. در محدوده حوضه آبریز اوین - درکه راندگی شمال تهران در جنوب، گسل امزاده داوود با شعبات متعدد آن در قسمت‌های میانی، گسل شیرپلا با شاخه‌های فرعی متعدد در شمال و گسل فرحزاد در غرب حوضه از مهمترین گسل‌ها در سطح حوضه می‌باشد.



شکل شماره ۳: تکتونیک و آبراهه‌های حوضه آبریز اوین - درکه

## 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 کانال 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 - درکه پرداخته شده است. شرایط فعلی رودخانه اوین - درکه پس از انجام مشاهدات میدانی، به صورت بازه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش سعی گردیده است تا تغییرات ناشی از فعالیت‌های مدیریتی یا توسعه کالبدی شهری در بازه‌های رودخانه اوین - درکه، بررسی شود. جدول زیرنوع کانال، ویژگی‌های ژئومورفیک و تغییرات ایجاد شده (توسعه شهری، فعالیت‌های مدیریتی)، ارائه شده است.

تغییرات ایجاد شده توسط فعالیت انسانی	ویژگی‌های ژئومورفیک	نوع کانال غالب	بازه
ساخت و ساز و تجاوز به حریم رودخانه	اشکال چالاب - سکو، سواحل صخره‌ای، موانع قطعه سنگی، بستر سنگی	در حال تعدیل و قابل بازبایی	۱
عملیات مکانیکی (سدهای رسوب‌گیر)، ساخت و ساز یا رستورانها	بستر سنگی، رخنمون سنگی در نقاطی از مسیر رودخانه، موانع قطعه سنگی	در حال تعدیل و قابل بازبایی	۲
دیوارکشی و خشکه‌چین جهت تثبیت کرانه‌های رودخانه، عملیات مکانیکی (سدهای رسوب‌گیر)، پل	بستر هموار، کرانه‌های با برونزد صخره‌ای، واریزه‌ها در امتداد بازه	کانالیزه - کانال تغییر یافته	۳
دیواره‌های بتنی، پل، ساخت و ساز شهری	کانال محدود، بستر سنگی، موانع طولی، چالاب- سکو	کانالیزه - کانال تغییر یافته	۴
کانال سازی، ساخت و ساز در امتداد بازه	کانال محدود در دیواره‌ی بتنی	کانالیزه - 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 (وربیتین و برنت، ۲۰۰۷: ۵). در این مدل به‌جای آن که از معادلات رگرسیونی جهت توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده نماید، اطلاعات ویژه‌ای راجع به هوا، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پوشش اراضی در حوضه آبریز دریافت می‌کند. این مدل به‌صورت 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 شبیه سازی به‌صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود. این مدل حوضه آبریز را به زیر حوضه های آبریز تقسیم می‌کند که با هر کدام

به عنوان یک واحد مجزا رفتار می کند. همچنین زیرحوضه ها به بخش های پاسخ هیدرولوژی (HRU)<sup>۱</sup> تقسیم می شوند که بخش هایی از زیرحوضه ها با پوشش ها، مدیریت و خصوصیات خاک می باشد. این مدل از روش عدد منحنی اصلاح شده ۲ یا روش نفوذ گرین-امپت<sup>۳</sup> جهت محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر پاسخ هیدرولوژی استفاده می کند. (HRUS) براساس نقاط متقاطع لایه های رستری یا وکتوری مربوط به کاربری های زمین، انواع خاک ها، زمین شناسی و زیرحوضه ها فراهم می آیند. از نقشه های خطی مربوط به نهرآب ها و شبکه های زهکشی رودخانه ها نیز می توان برا ایجاد (HRUS) استفاده کرد (لاگچری و همکاران، ۲۰۱۰)<sup>۴</sup>.

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

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

در این رابطه،  $SW_t$  مقدار نهایی آب خاک (mm)،  $SW_o$  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 می شود و  $Q_{gw}$  جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه برحسب میلی متر می باشد (منگستو، ۲۰۰۹)<sup>۵</sup>.

### یافته های پژوهش

#### مطالعات هیدرولوژی رودخانه

برای این امر، تمام ورودی های مدل اعم از خاک، شیب و اطلاعات هواشناسی، ثابت در نظر گرفته شد و نقشه ی کاربری جدید به عنوان ورودی متغیر وارد مدل شد. بعد از مدلسازی سناریوی تعریف شده، نتایج شبیه سازی 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 ۱۸۹۹۰۰ مترمربع و در سال ۲۰۱۸ برابر با ۷۶۶۸۰۰ می باشد میزان تغییرات مساحت کاربری شهری بالغ بر ۵۷۶۹۰۰ مترمربع طی دوره بیست ساله از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ می باشد. همچنین طی روند بیست ساله مطالعاتی، نوع کاربری باغ افزایش را نشان می دهد اما کاربری از نوع مرتع کاهش یافته است (جدول شماره ۲).

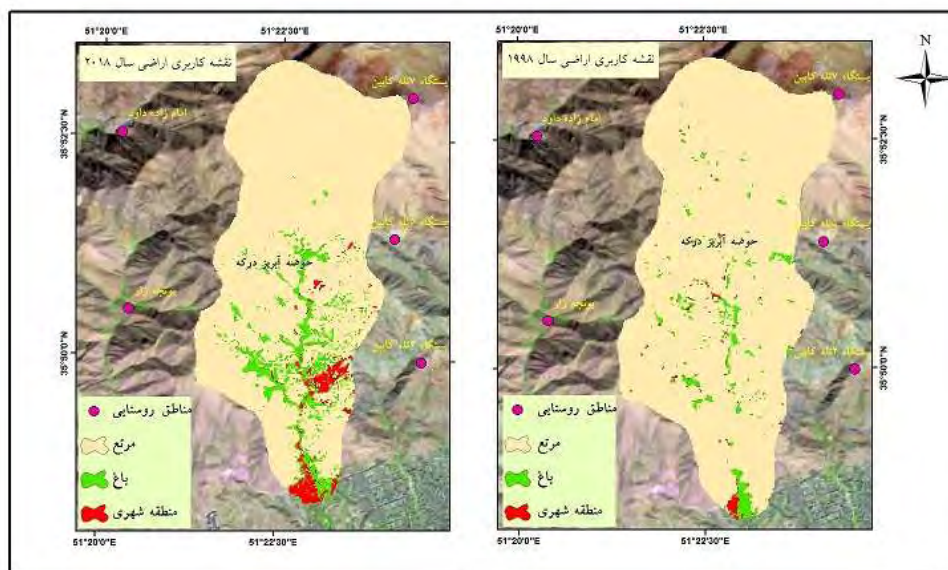
<sup>1</sup> - Hydrologic Response Unit

<sup>2</sup> - soil Conservation Service

<sup>3</sup> - Green and Ampt

<sup>4</sup> - Lagacherie, P., & etal

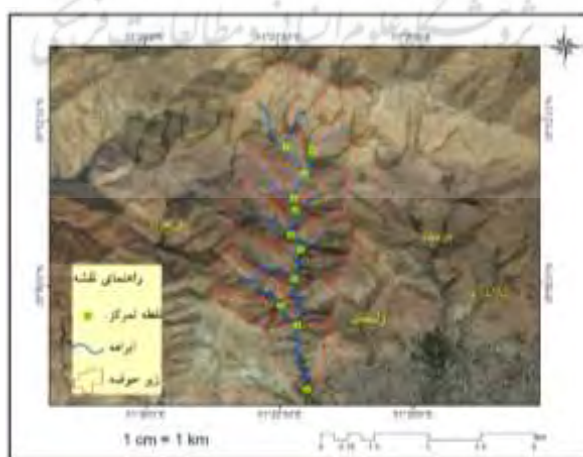
<sup>5</sup> - Mengistu KT



شکل شماره ۴: نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز اوین - درکه برای دوره قبل (۱۹۹۸) و وضع موجود (۲۰۱۸)  
جدول شماره ۲: مساحت و درصد نوع کاربری اراضی حوضه آبریز اوین - درکه 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	۲۴۸۵۸۰۰۰	مرتع
۸/۵۰	۲۲۰۵۰۰۰	۳/۴۶	۸۹۷۳۰۰	باغ
۲/۹۶	۷۶۶۸۰۰	۰/۷۳	۱۸۹۹۰۰	منطقه شهری

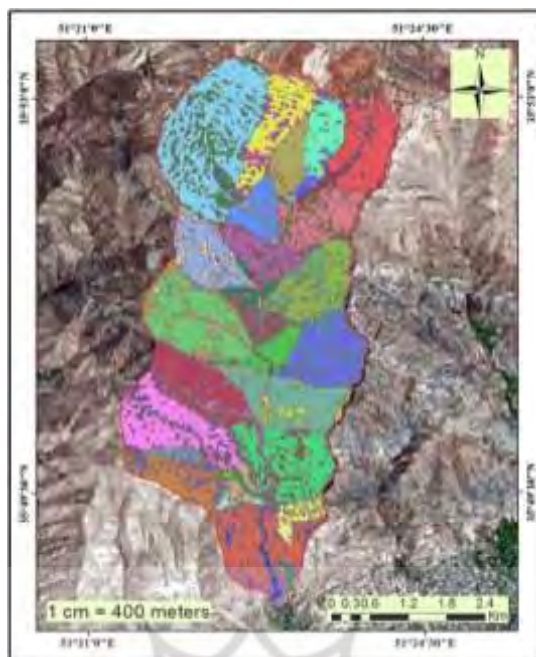
استخراج خصوصیات فیزیوگرافی حوضه اوین - درکه: حوضه اوین - درکه در قالب ۲۳ زیرحوضه تقسیم بندی شده است. نقشه محدوده حوضه آبریز، زیرحوضه‌ها و شبکه جریان در شکل شماره ۴ نشان داده شده است.



شکل شماره ۵: نقشه زیرحوضه‌ها و شبکه جریان به همراه نقاط تمرکز حوضه آبریز اوین - درکه، 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 - درکه

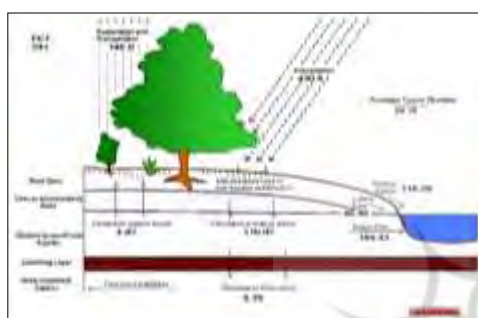
#### نتایج شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب حوضه اوین - درکه

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 شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی طی دوره بیست ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۸) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. که در شکل شماره ۷ عوارض شده است.

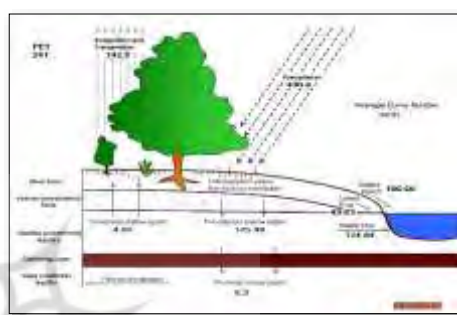
نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب مبتنی بر سناریوی توسعه فیزیکی شهر، نشان می‌دهد که میانگین بارش در حوضه آبریز اوین - درکه برابر با  $430/4$  میلی‌متر می‌باشد که از این مقدار بارش در دوره قبل  $142/6$  میلی‌متر و در سال ۲۰۱۸، به میزان  $146/8$  میلی‌متر به صورت تبخیر و تعرق واقعی از سطح زمین 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 نشان‌دهنده میزان نگهداشت آب بر روی حوضه آبریز می‌باشد در فرآیند شبیه‌سازی، این مقدار در سال ۱۹۹۸ برابر با  $84/01$  و در سال ۲۰۱۸ این مقدار به  $84/76$  افزایش داشته است. مقدار شماره منحنی متأثر 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 - درکه 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)،  $106/66$  میلی‌متر و در (۲۰۱۸) این مقدار به  $116/28$  میلی‌متر افزایش یافته است. با توجه به اینکه سطوح آسفالت شده و ساخت و سازهای شهری از نفوذپذیری زمین کاسته و بر افزایش رواناب تأثیرات 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 سیکل 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 ۲۰۱۸



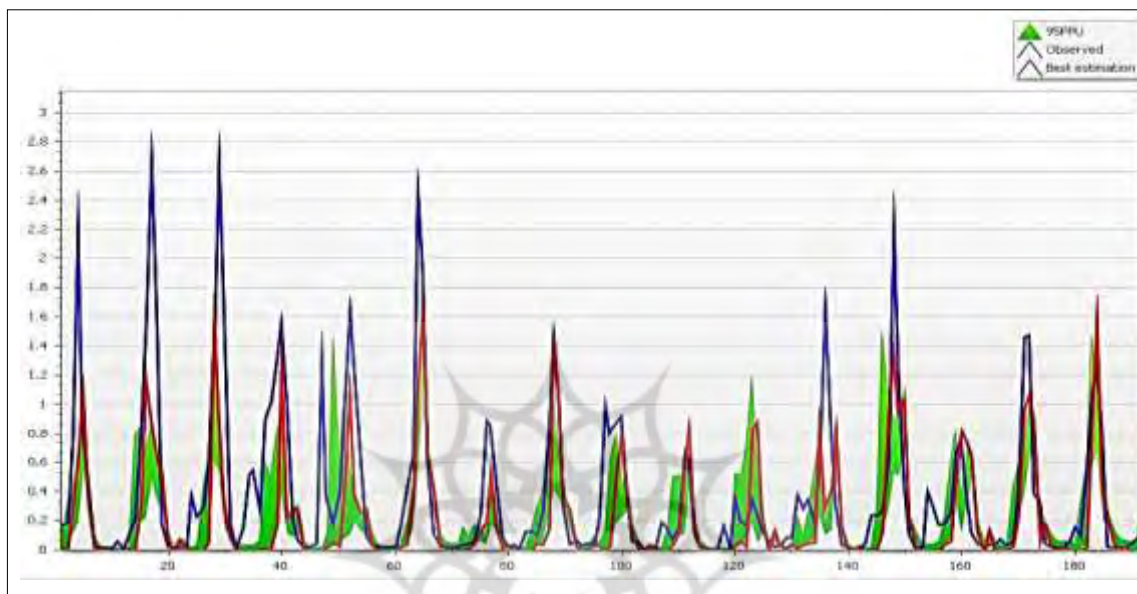
شکل شماره ۷: تحلیل شماتیک فرآیند بارش - رواناب حوضه اوین-درکه سال ۱۹۹۸

### 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 بی‌نهایت 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 ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ 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  $CN^2$  دارای بیشترین حساسیت می‌باشد. بعد از اعمال پارامترهای بهینه شده، مقدار ضریب نش- ساتکلیف و ضریب تعیین در مرحله واسنجی به ترتیب معادل ۰/۳۹ و ۰/۵۱ می‌باشد برای دوره اعتبارسنجی مقدار ضریب نش- ساتکلیف و ضریب تعیین به ترتیب برابر با ۰/۳۹ و ۰/۴۵ می‌باشد. اگر شاخص نش- ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد، مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۷۵ و ۰/۳۶ باشد، رضایت بخش و کمتر از ۰/۳۶ 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 - درکه 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 (NS) و ضریب تعیین ( $R^2$ )، نشان از توانایی مدل SWAT در شبیه سازی 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-درکه سال ۲۰۱۸

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

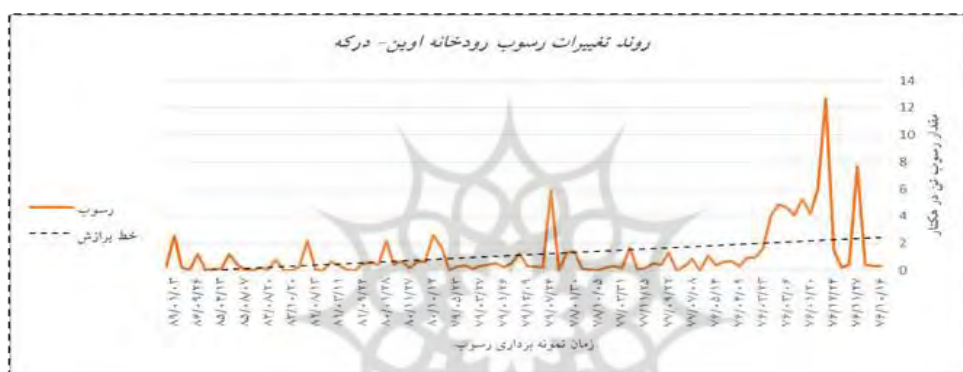
پارامترهای ارزیابی	مشخصه	واسنجی	اعتبارسنجی
ضریب نش ساتکلیف	NS	۰/۴۲	۰/۴۲
ضریب تعیین	$R^2$	۰/۵۱	۰/۴۳

نتایج واسنجی مدل نشان از همبستگی مناسب و قابل قبول داده‌های شبیه سازی شده با مقادیر مشاهداتی حوضه اوین - درکه 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 شبیه سازی 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 روخانه درکه 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 آبدی 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 در نتیجه تولید رسوب نشان می‌دهد (شکل ۱۰). این روند نزولی در میزان دبی و تولید رسوب، نشان‌دهنده کاهش سهم آب زیر زمینی و ذوب برف در تامین آبدهی رودخانه و استفاده از آب چشمه در مناطق تفرجگاهی و گردشگری در حوضه اوین - درکه می باشد. 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 چشمه را در کاهش دبی و رسوب را نادیده گرفت. چون یکی از دلایل کاهش آبدهی رودخانه‌ها، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی‌های اخیر بوده است.



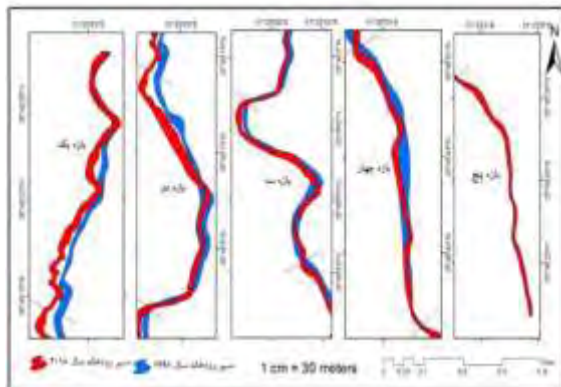
شکل شماره ۱۰: روند تغییرات رسوب حوضه اوین - درکه،



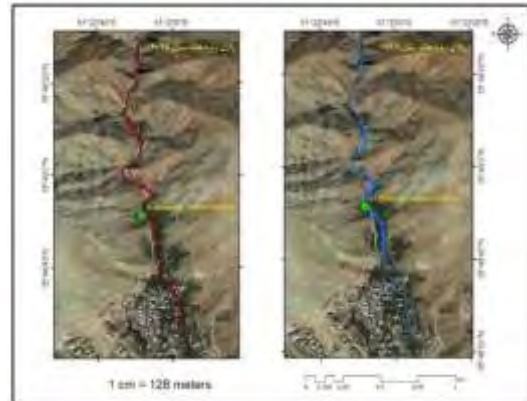
شکل شماره ۱۱. روند تغییرات دبی رودخانه اوین - درکه،

### مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه

**بررسی الگوی فضایی کانال:** پلانفرم رود، شکل پلانیمتری (دوبعدی) رودها را تشریح می‌کند که ویژگی‌های کانال 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).

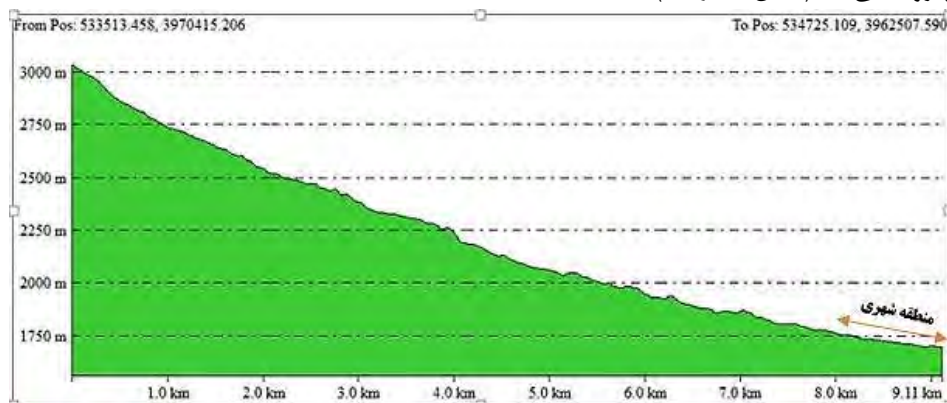


شکل شماره ۱۳: جابجایی مسیر رودخانه اوین - درکه طی دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۸



شکل شماره ۱۲: الگوی فضایی رودخانه اوین - درکه طی دوره زمانی بیست ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۸)

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 بازه‌ی شماره یک و دو رودخانه بیشتر صورت گرفته است. در بازه شماره پنج (بازه شهری) به دلیل کانالیزه کردن مسیر رودخانه و مستقیم کردن مجرا، 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 بتنی وجود نخواهد داشت. به طور کلی، در بخش‌هایی از مسیر، که رودخانه توسط رخنمون و سازندهای مقاوم محدود شده‌اند حرکات پیچانرودی 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 لیتولوژی و دارای سیلاب دشت 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 شیب بستر در هر نقطه از رودخانه در نتیجه واکنش ژئومورفولوژیک، سنگ‌شناسی و آب و هوا می‌باشد. نیمرخ طولی رود از یک روند عمومی با کاهش شیب 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

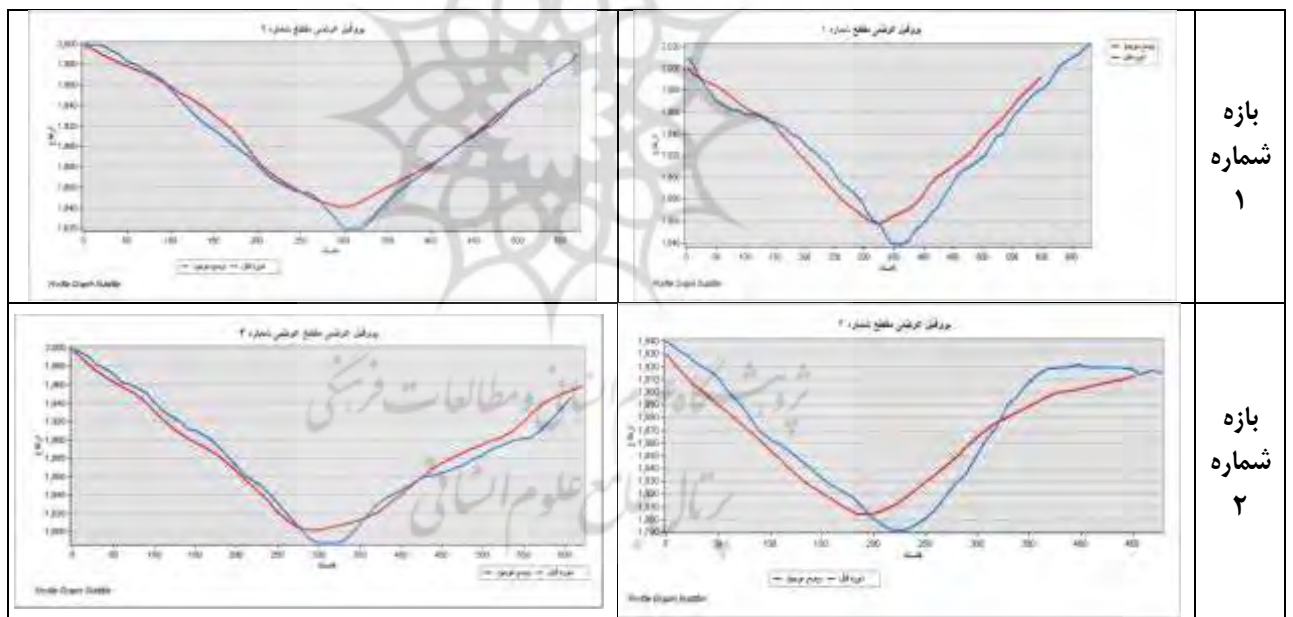
نام رودخانه	طول رودخانه (Km)	شیب حداکثر (درجه)	حداقل ارتفاع (M)	حداکثر ارتفاع (M)	اختلاف ارتفاع (M)
اوین - درکه	۹/۱۱	۳۸/۰۵	۱۶۹۴/۹۵	۳۰۳۴/۸۰	۱۳۳۹/۸۵

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 کانالیزه 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 سیل‌خیزی بالایی را به همراه دارد. اختلاف ارتفاع و شیب زیاد، توسعه فضای کالبدی شهری در قسمت خروجی، کانالیزه 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 کانال، داده‌هایی شامل عرض و عمق کانال 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 کانال رود را نیز بدست آورد (اسماعیلی و حسین‌زاده، ۱۳۹۰: ۴۶). جهت بررسی مقاطع عرضی رودخانه اوین - درکه، کانال‌های 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 مقطع عرضی در نظر گرفته شد که در شکل شماره ۱۵ موقعیت 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 کانال 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، پهناي 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 کاووشی 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 کانالیزه شدن و هدایت آبهای سطحی به کانال‌های بتنی و افزایش تراکم شهری، کرانه راست جریان رودخانه، مسطح و هموار شده است.



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

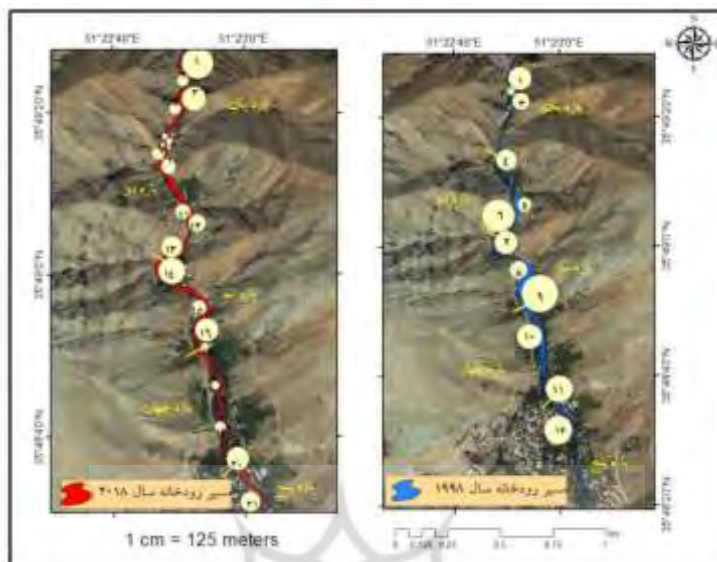


شکل شماره ۱۶: نیمرخ عرضی رودخانه اوین - درکه برای دوره زمانی بیست سال مطالعاتی

**تعداد پیچانرود:** در این مطالعه، از نظر بررسی تغییرات پلان رودخانه و تعداد پیچانرود، با استفاده از روش برازش حلقه های متاندر با قوس دوایر مماس، پیچانرودهای رودخانه اوین - درکه در هر یک از سالهای ۱۹۹۸ و ۲۰۱۸ به صورت مجزا ترسیم شد که نتایج آن در شکل شماره ۱۸ ارایه شده است. بررسی تغییرات زمانی و مکانی مورفولوژی رودخانه نشان داده که تعداد پیچانرودهای رودخانه اوین - درکه در طی بیست سال مورد 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 می شود که در سال ۱۹۹۸ تعداد ۴ پیچش و در سال ۲۰۱۸ به ۱۰ پیچش افزایش یافته است. در حوضه اوین - درکه به دلیل لیتولوژی مقاوم، مستقیم سازی 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 ضریب 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 (۱۹۹۸-۲۰۱۸)

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

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

جدول شماره ۶: تقسیم بندی رودخانه براساس ضریب خمیدگی

ضریب 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 (۱۹۹۸-۲۰۱۸)

سال ۲۰۱۸				سال ۱۹۹۸				شماره بازه
نوع بازه	ضریب خمیدگی	طول دره	طول کانال	نوع بازه	ضریب خمیدگی	طول دره	طول کانال	
سینوسی	۱/۱۳	۴۲۷/۴۲	۴۸۴/۷۲	مستقیم	۱/۰۷	۴۴۳/۰۵	۴۷۵/۷۴	۱
پیچانرودی	۱/۳۱	۳۷۷/۳۵	۴۹۵/۳۱	سینوسی	۱/۲۴	۳۸۶/۰۵	۴۸۰/۴۵	۲
پیچانرودی	۱/۲۹	۳۷۸/۵۰	۴۸۹/۳۱	پیچانرودی	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 پیچانرودی و بازه شماره ۴ از الگوی مستقیم به الگوی سینوسی تغییر وضعیت داده است. در بازه شماره پنج، به دلیل مستقیم سازی کانال و تثبیت کناره کانال و کرانه رودخانه با استفاده از دیواره‌های بتنی، تغییر الگو مشاهده نشده است. در بازه شماره ۱، ضریب خمیدگی کانال 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 ماندری مشاهده می‌شود. به دلیل وجود موانع طبیعی (رخمون سازند مقاوم) در بازه شماره سه، الگوی پیچانرودی حاکمیت دارد. در بازه شماره ۴ و ۵ رودخانه از نظر مقادیر ضریب خمیدگی تفاوت چندانی ملاحظه نمی‌شود.

**نسبت عرض به عمق کانال رودخانه اوین - درکه:** نسبت عرض به عمق، شکل و ابعاد کانال رود را تشریح می‌کند و به صورت نسبتی از پهنای مقطع دبی لبالی به عمق متوسط این مقطع است. مقادیر کمتر از ۱۲ نشان‌دهنده نسبت کم پهنای به عمق بوده و مقادیر بیش از ۱۲ نشان‌دهنده نسبت متوسط یا زیاد پهنای 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 عرض به عمق، نشان‌دهنده این امر است که پهنای رودخانه در دوره بیست سال عرض کانال در تمامی بازه‌ها در اثر فرسایش کرانه‌ها، افزایش یافته است. در بازه شماره پنج (بازه شهری)، تغییراتی از نظر پهنای رودخانه صورت نگرفته است. اطراف مسیل‌ها و رودخانه به صورت کانال‌های بتنی بازسازی و محدود شده است. در واقع رودخانه اوین - درکه پس از گذر از محدوده کوهستانی، وارد محدوده شهری شده و به وسیله کانال بتنی با عرض حدود ۵ تا ۷ متر و عمق ۳ تا ۶ متر ادامه مسیر داده و وارد کانال سیل برگردان غرب می‌شود.

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

سال ۲۰۱۸			سال ۱۹۹۸			شماره مقطع	شماره بازه
نسبت عرض / عمق	متوسط عمق کانال (متر)	عرض کانال (متر)	نسبت عرض / عمق	متوسط عمق کانال (متر)	عرض کانال (متر)		
۶/۶۱	۱۷/۷۳	۹۹/۴۷	۳/۷۷	۲۰/۶۲	۷۷/۸۵	۱	بازه ۱
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 ۲
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 ۳
۷/۳۲	۲۰/۱۳	۱۴۷/۳۷	۳/۶۹	۲۲/۲۵	۸۲/۲۵	۶	
۶/۱۹	۱۷/۵۰	۱۰۸/۴۶	۳/۷۵	۱۹/۴۳	۷۳/۰۲	۷	بازه ۴
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 ۵
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 بستر کانال از نوع بستر هموار



شکل شماره ۲۰- واحد ژئومورفیک بستر کانال از نوع سکو- جالاب 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 شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب مبتنی بر سناریوی 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 پیچانرود 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 فعال هستند، تغییر مجرا و تغییر پلانفرم 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 کانال، تثبیت کانال و کرانه رود پیامدی‌هایی همچون کاهش مقطع جریان، کاهش زمان تمرکز حوضه، افزایش حجم رواناب و سیلاب 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 عکس‌العمل 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 نمی باشد و عوامل کنترل کننده دیگر می تواند در فرسایش جانبی رودخانه و جابجایی مسیر و به طور کلی در تغییر مورفولوژی رودخانه نقش داشته باشد. اما در بازه های شهری که مسیر رودخانه به دلیل اقدامات مدیریتی و انسانی به صورت کانال‌های مصنوعی و دیوارکشی و بستر بتنی 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 کانالیزه شدن مجرا و مستقیم سازی کانال، باریک شدن مجرا اتفاق افتاده است و رودخانه در بستری که از حالت طبیعی خارج شده است و توسط مواد بتنی پوشیده شده است، جریان دارد. در چنین بازه‌هایی، مورفولوژی رودخانه به دلیل شرایط کانالی 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 تعدیل و بازیابی را دارا می باشند 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 هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبران 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، محمدمهدی، اسماعیلی، رضا(۱۳۹۴)، ژئومورفولوژی رودخانه ای، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ اول، ص ۳۳۸.
- طرح تفصیلی منطقه یک تهران(۱۳۸۶) نهاد مدیریت و برنامه ریزی تهیه طرح های توسعه شهری تهران، وزارت مسکن و شهرسازی- شهرداری تهران.
- گودرزی، محمدرضا و همکاران(۱۳۹۱)، مقایسه عملکرد سه مدل هیدرولوژیکی SWAT، IHACRES و SIMHYD 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., & et al (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.