هیدرودینامیک آب‌های سطحی و نقش آن در پایداری راه هراز

دکتر مجتبی یمانی، دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه تهران
اسماعیل دانشمندی، دانشجوی دوره دکتری جغرافیا دانشگاه تهران

چکیده

شبکه زهکشی نقش زیادی درتخریب وفرسایش ترانشه حفرشده در دامنه مسلط به جاده دارد. این تخریب عموماً خسارات عمده‌ای را بـه مـسیر سـواره‌رو وارد مـی‌آورد. این خسارات از دو دسته عوامل ناشی می‌شود: اول عوامل اقلیمی ناشـی از بارنـدگی یـا ذوب برف است که مستقیماً بر روی جاده و اجزاء جـاده تأثیرگـذار هـستند. دوم تـأثیر رودخانه بر روی جاده می‌باشد و شامل مجاورت (دوری و نزدیکـی) جـاده- رودخانـه و تقاطع‌های جاده- جریان می‌شوند. هدف از این مقالـه، بررسـی تـأثیر رودخانـه هـراز و زیرحوضه‌های آن و نیز آبراهه‌های فرعی، همچنین مجاورت (دوری و نزدیکی) جـاده - رودخانه و تقاطع‌های جاده- جریان و نیز بررسی وتشخیص بخش‌ها ومسیرهای بحرانی است. برای دست‌یابی به این هدف حدود ۸۵ کیلومتر از جاده هراز که از گردنه امامزاده هاشم شروع و تا ۴۰ کیلومتری آمل ادامه داشته و اکثر زیرحوضه‌های رودخانـه هـراز را دربرمی‌گیرد، موردبررسی و تحلیل قرار گرفته است. تعیین حدود جاده و رودخانه هـراز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوائی صورت پذیرفته اسـت و بـا انجـام کارهای میدانی نواقص آن تکمیل شده است. نتایج نشان مـی‌دهـد کـه از مجمـوع ۸۵ کیلومتر جاده تحت بررسی، بیش از ۳۰ درصد (۲۶,۱ کیلومتر) در محـدوده ۵۰ متـری رودخانه قرار گرفته است. مطالعات و مشاهدات نشان داده است که رودخانـه تـا فاصـله ۵۰ متری بر روی جاده اثرگذاربوده است. هم بـه علـت تـأثیر آب رودخانـه در خـاکریز جاده که موجب بغلبری و زیربری خاکریز جاده مـی‌شـود و نیـز نفـوذ آب کـه موجـب فرونشینی جاده در بعضی نقاط شـده اسـت و ۷۰ درصـد (۵۸,۹ کیلـومتر) از جـاده در محدوده ۱۰۰متری و بیش از ۱۰۰ متری رودخانه قرار گرفته اسـت. همچنـین بررسـی تقاطع‌های جاده با رودخانه نشان داد که در ۷ نقطه دارای تغییـر مـسیر، ۹ زیرحوضـه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

اصلی دارای تقاطع اصلی، ۱۱۹ زیرحوضه فرعی دارای تقاطع فرعی و از میان این ۱۱۹ تقاطع فرعی، ۶۲ تقاطع به سطح ترانشه منتهی می‌شوند.

کلید واژگان: جاده هراز، هیدرولوژی، مخاطرات جاده‌ای، مجاورت جاده - رودخانه، تقاطعات جاده- رودخانه.

مقدمه

جاده‌سازی در نواحی کوهستانی عموماً منجر به تنش و تغییر شکل در سیستم‌های طبیعی رودخانه می‌شود. همچنین جاده معمولاً به عنوان یک محرک مهم تغییر شکل‌دهنده فرایندهای طبیعی کانال رودخانه مطرح می‌باشند. از انقلاب صنعتی تا زمان حاضر، جاده ها به شدت تعادل ژئومورفیک و هیدرولوژیک اکوسیستم‌های جویباری و رودخانه‌ای را به هم ریخته‌اند. (ایمهوف، ۱۹۹۴، ص۲۷۰)[1] به هرحال تعیین اثرات شدید و پیچیده جاده‌سازی روی فرایندهای پویای طبیعی آبراهه‌ها می‌تواند به چالش کشیده شود. تا به حال درک این مسأله که جاده‌سازی موجب فروسایی آبراهه‌ها می‌شود و این مسأله که چگونه و چرا این فروسایی رخ می‌دهد، کمتر موردتوجه قرارگرفته است. بررسی‌های متعدد نشان داده است که جاده‌ها به سطوح غیرقابل‌نفوذ در داخل یک حوضه اضافه می‌شوندو معادل زهکشی و رواناب متمرکز شده هستند. (مونتگومری، ۱۹۹۴، ص۱۹۲۶)[2] بعلاوه جاده‌ها مناطق رودکناری و محدوده‌های حائل کنار رودخانه‌ها را قطعه قطعه می‌کنند. (لوس و ومپل، ۲۰۰۱، ص ۱۱۱)[3]

در این زمینه ابتدا توضیح دو مسأله ضروری به نظر می‌رسد :

1- Imhof
2- Montgomery
3- Luce & Wemple

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

۱- مجاورت (دوری و نزدیکی) جاده - رودخانه[1]

احداث جاده در نواحی کوهستانی، به منظور حمل و نقل مسافر و کالا بین نواحی مختلف امری اجتناب‌ناپذیر است اما عموماً به منظور عبور جاده، از یک معبر طبیعی که همان دره رودخانه باشد استفاده می‌شود. عبور جاده از مجاورت رودخانه معمولاً تجاوزاتی به آن تحمیل می‌کند. این تجاوزات عموماً در دشت سیلابی رودخانه یا درون بستراصلی صورت می‌گیرد و موجب تخریب آن می‌گردد. زیرا نیاز است که بخشی ازمسیررودخانه مستقیم شده و نیزقسمت‌هایی ازپیچ‌های بستر اصلی رودخانه به منظور تعبیه جاده حذف شوند. همچنین ایجاد خاکریز در بستراصلی رودخانه برای ساختن بدنه جاده امری اجتناب‌ناپذیر است. ساخت جاده دراین مناطق منجربه انقباض‌مسیررودخانه درنتیجه سرعت بیشتر جریان رودخانه در این مکان شده که تأثیراتی را در بالا دست و پائین دست این محل می‌گذارد که تأثیر اصلی آن افزایش قابلیت حمل رسوبات تا مسافتی طولانی تا پائین دست جریان می‌باشد. این سرعت افزایش یافته ناشی از انقباض مسیر همچنین ممکن است پایداری عمومی جانبی رودخانه را در پائین دست به خطر افکند.

از دیگر اثرات احداث جاده در حریم رودخانه این است که معمولاً سطح وسیعی از خود جاده و اطراف آن در مقابل فرسایش بسیار آسیب‌پذیر می‌شوند در نتیجه مقادیر بسیار زیادی از رسوبات را به جریان تحویل دهند.

پویایی رودخانه نیز مسئله مهم دیگری است که می بایست موردنظر قرار گیرد زیرا رودخانه‌ها دارای شدیدترین حالت تغییرپذیری در بین کلیه اشکال ژئومورفیک می‌باشند. به علت عمل نیروهای هیدرولیکی بر بستر و سواحل رودخانه‌ها، عموماً تغییرات دائمی در شکل و وضعیت آنها وجود دارد که این

1 - Stream- Road Proximity

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

تغییرات ممکن است کند یا سریع بوده و ناشی از تغییر شرایط زیست‌محیطی رودخانه یا نتیجه فعالیت‌های انسانی باشند. مآندر رودخانه و فرسایش در قسمت قوس محدب مآندر مسئله دیگری است که می‌بایست مدنظر قرارگیرد. عبور جاده و ایجادخاکریز جاده در قسمتی که محدوده عمل و فرسایش قوس مآندر می‌باشد، می‌تواند خاکریز جاده را شسته و موجب نشست آن شود. در نتیجه لزوماً دیواری سنگچین در این محل تعبیه می‌شود تا جلوی تخریب خاکریز را بگیرد. همین ایجاد سنگچین موجب ایجاد تغییرات دیگری در بستر رودخانه خواهدشد که این مسئله در مورد جاده هراز به کرات مشاهده می‌شود.

۲- تقاطع جاده - رودخانه[1]

هر تقاطع جاده- رودخانه می‌تواند یک اتصال هیدرولوژیکی بین جاده و رودخانه را بوجود آورد. تعریف علمی اتصال هیدرولوژیکی عبارت است از:

«هر قطعه از جاده که در اثنای یک واقعه رواناب طراحی، مسیر جریان پیوسته‌ای بین هر قسمت از منشور جاده و یک مجرای جریان طبیعی (هر سرازیری در سطح زمین که شواهدی از یک مجرای طبیعی برای فرسایش و رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد) دارد» (USDA Forest Service, 1999, p.59)

اتصال هیدرولوژیکی با افزایش مدت بارندگی و یا ذوب برف و نیز افزایش مقداررطوبت پیشین خاک افزایش‌می‌یابد. بعلاوه جاده‌هادائماً ازسطح غیرقابل نفوذ خودوسطح ترانشه‌هاتولیدآب‌های سطحی‌می‌نمایند. همچنین‌جریان‌های زیرزمینی که با ایجاد ترانشه قطع شده‌اند مقادیر پر اهمیتی از رواناب را ایجاد می‌کنند (تبدیل جریان‌های زیرسطحی به جریان‌های سطحی) جائی که این جریان‌های

[1] - Stream- Road Crossings

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

سطحی بین جاده‌ها و مجراهای جریان پیوسته هستند، مانند جائیکه جوی‌های کنار جاده، رواناب جاده را به مجراهای جریان وصل می‌کنند، رواناب ایجادشده یا دریافت شده توسط جاده از نظر هیدرولوژیکی به شبکه جریان متصل است.

هرجا یک اتصال هیدرولوژیکی وجود دارد، رواناب و رسوبات همراه آن از روی سطح جاده و سطح ترانشه، مسیر مشخصی را به سمت شبکه جریان طبیعی دنبال می‌کنند.

معمولاً در تقاطع بین جاده و هرگونه جریانی یک آبرو یا پل تعبیه می‌شود. آبروهایی که در محل تقاطع جاده با رودخانه تعبیه می‌شوند، موقعی که سیلاب از گنجایش هیدرولوژیکی آبرو یا پل تجاوزمی‌نماید و یا دهانه آبرو بوسیله رسوبات و غیره بندمی‌آید، جریان بر روی جاده سرریز می‌شود. نتیجه اغلب فرسایش خاکریز تقاطع جاده و جریان و همچنین تغییر مسیرآب درسطح جاده یا جوی‌های کناری است که سبب ورود مقادیر زیادی رسوب به داخل جاده و جریان‌ها می‌شود. همچنین جریان‌هایی که به سطح ترانشه ختم می‌شوند می‌توانند بطور بالقوه برای جاده پرخطر باشند مخصوصاً در مواقع بارندگی، رسوبات موجود در مسیر آبراهه به طرف جاده حرکت کرده و از بالای ترانشه به روی جاده ریزش می‌نمایند.

بنابراین فهرستی از همه تقاطع‌های جاده- رودخانه، اجازه برآورد شدت مخاطرات را برای تحلیل هیدرولوژی بدست می‌دهد. واحدهایی که برای بیان این شاخص به کار می‌رود نیز متفاوت هستند. مثلاً می‌توان از تقاطع‌های با وقوع خطر زیاد، متوسط و یا کم استفاده نمود و یامی‌توان از مشخصه هر تقاطع استفاده کرد مثلاًتقاطع جاده- جریان با پتانسیل تغییرمسیر، تقاطع جاده- جریان با ریزش‌های زیاد و یا تقاطع‌های مسدود شده بوسیله رسوبات و شاخ و برگ گیاهان و غیره استفاده نمود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

تاکنون مطالعات متعددی در مورد اثرات جاده‌سازی در حریم رودخانه‌ها و نیز اثرات تقاطع جاده و رودخانه روی هیدرولوژی رودخانه‌ها صورت گرفته است

جونز و همکاران (۲۰۰۰)[1] به چگونگی تأثیر جاده‌ها بر شبکه‌های جریان در نواحی کوهستانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جاده‌ها می‌توانند موازنه بین جریان‌ها و سیل‌های حداکثر و انعطاف‌پذیری شبکه جریان را به این تغییر در میزان آب تا حدود زیادی تغییر دهند و نیز دریافتند که مکان جاده‌ها در روی دامنه، موقع ملاحظه اثرات جاده روی واکنش جریان‌های پیک، تولید و حمل رسوب، مهم و قابل‌ملاحظه است و همچنین جاده‌هایی که در کف دره‌ها و مجاورت رودخانه‌ها احداث می‌شوند و موازی با مجرای جریان اصلی رودخانه هستند، بیشترین اثر را بر حرکت کناری و مهاجرت مآندرها می‌گذارند. لامارچ و لتن میر (۲۰۰۱)[2] به بررسی اثرات جاده‌های جنگلی بر روی جریان‌های پیک پرداختند و دریافتند که جاده‌ها موجب افزایش جریان‌ها و سیل‌های پیک و نیز باعث افزایش بزرگی میانگین سیل سالیانه شده‌اند. مدیج (۲۰۰۱)[3] به بررسی اثرات مجاورت و نزدیکی جاده به رودخانه و نیز اثرات تقاطعات جاده- جریان پرداخت و به این نتیجه رسید که حرکات توده‌ای عمدتاً با قطعاتی که در دامنه‌ها ایجاد شده‌اند، همراه می‌شوند درحالیکه فرسایش آبراهه و ساحل رودخانه عمومی‌ترین و رایج‌ترین اثرات تقاطع جاده با جریان رودخانه است. مونتگومری (۱۹۹۴) در کار پژوهشی خود به این نتیجه رسید که شبکه‌های زهکشی همراه با جاده، اثرات مهم و قابل‌ملاحظه‌ای روی مجرای رودخانه و استحکام و پایداری

1- Jones, et al

2- LaMarche & Lettenmaier

3- Madej

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

دامنه در نواحی کوهستانی دارند. به طوری که جاده‌ها در نواحی کوهستانی، حتی جاده‌های خط‌الرأسی[1]، عمدتاً به علت همراهیشان با زهکشی متمرکز، تأثیر مهمی بر روی ژئومورفولوژی جریان دارند.

مواد و روش‌ها

استخراج زیرحوضه‌ها و تقاطع‌های جاده- رودخانه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر و عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی مربوط به سال ۱۳۴۴ که دارای پوشش و دید استرئوسکوپیک می‌باشند، صورت گرفته است و نقایص آن با مطالعات میدانی تکمیل گردید. همچنین برای تحلیل مجاورت جاده- رودخانه، بعد از رقومی‌نمودن مسیر جاده و رودخانه، از بافر[2]های مختلف برای بخش‌هائی از جاده که در فواصل مختلف از رودخانه قرار گرفته‌اند استفاده شده است. همچنین برای تعیین میزان پیچ و خم رودخانه، از شاخصی بنام سینوزیتی[3] (ضریب ماپیچی) استفاده شده است. سینوزیتی رودخانه مقیاسی جهت اندازه‌گیری پیچ و خم‌های آن می‌باشد و عبارت است از طول تالوگ رودخانه به طول دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد. پس از رسم پلان رودخانه از روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تطابق آن با عکس‌های هوایی موجود، مکان‌هایی که دارای بیشترین سینوزیتی بودند استخراج گردید.

1-Ridgetop Roads
2-Buffer
3- Sinosity

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

موقعیت و حدود منطقه

راه هراز به طول تقریبی ۱۸۴ کیلومتر تهران را به آمل وصل می‌کند. این جاده در سال ۱۳۳۳ بوسیله مهندسین مشاور کامپساکس با بودجه‌ای نزدیک به چهار میلیارد ریال احداث و در سال ۱۳۴۲ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این جاده دارای دو خط[1] بوده و از کوه‌های البرز با امتداد تقریبی جنوب به شمال می-گذرد و در قسمت اعظم طول بعد از پلور مسیر این راه در امتداد رودخانه هراز قرار می‌گیرد. غالباً راه بصورت بغل بری (تراشه) در کوه احداث شده و به این ترتیب کناره مرتفعی برای رودخانه بوجود آمده است. در محل تلاقی با خط القعرها، راه روی خاکریز قرار دارد و یا از روی پل‌هائی که ساخته شده عبور کرده است. همچنین جمعاً در طول این راه ۱۴ تونل وجود داردکه طول طویل‌ترین آنها حدود ۲ کیلومتر است. مسیر جاده بین ۵۲/۵ - ۵۱/۵ درجه طول و ۳۶/۵ - ۳۵/۵ درجه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. ارتفاع نقاط مختلف جاده متفاوت است (۷۰ متر در نزدیکی شهر آمل تا ۲۶۴۰ متر در گردنه امامزاده هاشم و ۱۲۰۰ متر در اطراف تهران). این جاده مابین استان‌های مازندران و تهران قرار گرفته است. در این مقاله حدود ۸۵ کیلومتر از جاده هراز بین امامزاده هاشم و ۴۰ کیلومتری آمل موردبررسی قرار گرفته است. (نقشه شماره ۱)

[1] - یک خط عبور ترافیکی ، قسمتی از سواره‌رو است که برای استفاده یک ردیف وسایل نقلیه اختصاص داده شده است. (شاهی ، ۱۳۸۱، ص۱۷)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نقشه شماره ۱ مسیر جاده هراز

مبانی نظری زهکشی سطح جاده، عوارض و اشکال زهکشی و تقطعات جاده - رودخانه

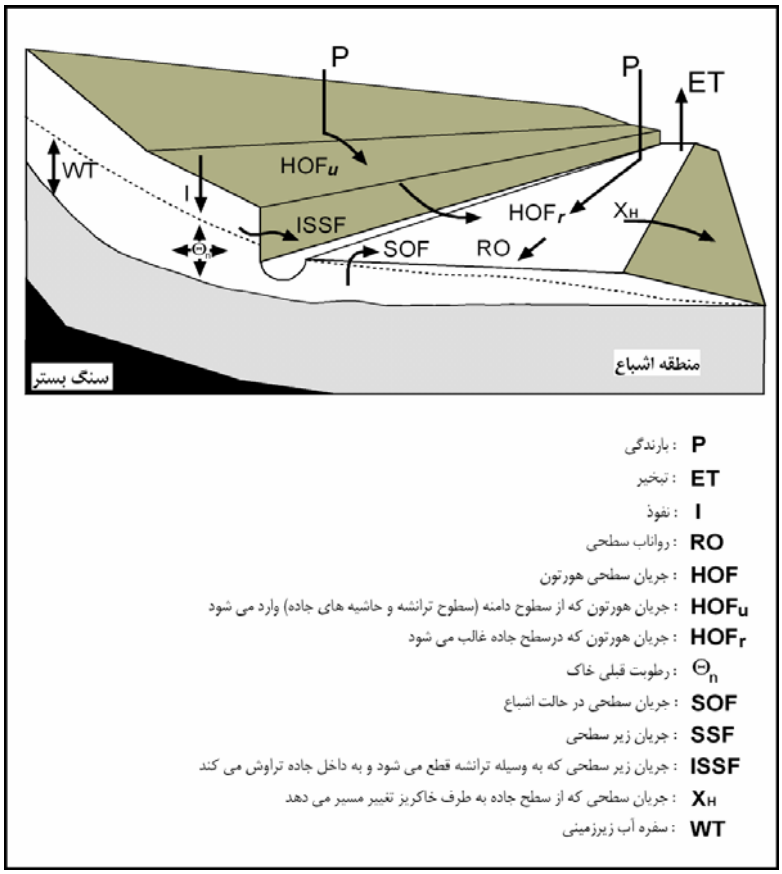
شکل ۱ مفاهیم مربوط به انواع جریان‌های سطحی در سطح یک جاده را نمایش می‌دهد. یک منبع مشترک رواناب سطحی جاده (Ro)، جریان سطحی هورتون (HoF) می‌باشد (در صورتی که مقدار بارندگی (P) از مقدار نفوذ (I) و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

ذخیره بیشتر باشد و درسطح جاری شود (هورتون ۱۹۳۳). جریان هورتون موقعی می‌تواند در سطح جاده غالب شود (HoFr) که مقدار نفوذ (I) کاهش یابد. رسانایی هیدرولیک در حالت اشباع اغلب بعنوان شاخص قابلیت نفوذ بکار گرفته می‌شود. در برخی موارد، جریان هورتون که از سطوح دامنه بالایی (HoFu) وارد می‌شوندممکن است مجموع جریان روی سطح جاده را افزایش دهند. حاشیه‌های جاده و سطوح ترانشه اغلب منابع مشترک (HoFu) هستند. رطوبت قبلی خاک (Θn) تولید HoF را متأثر می‌سازدبرای مثال در اثنای دوره مرطوب در مقایسه با شرایط خشک، مقدار بارندگی کمتری نیاز است که خاک به حالت اشباع در آمده و جریان سطحی ایجاد شود. رطوبت قبلی خاک (Θn) بوسیله بارندگی P و تبخیر ET متأثر می‌شود. عمق سفره آب زیرزمینی (WT) نیز، رطوبت قبلی خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و نقش بسیار مهمی را در تولید رواناب سطحی بازی می‌کند. برای مثال جریان سطحی در حالت اشباع (SoF) وقتی که سفره آب زیرزمینی بالاتر از سطح جاده قرار می‌گیرد بوقوع می‌پیوندد. خطوط نقطه چین و فلش رو به بالا و پائین در شکل دلالت بر تغییرپذیری در ارتفاع سفره آب زیرزمینی دارند. همچنین ممکن است آب موقعی که مسیر جریان زیر سطحی (SSF)بوسیله ترانشه قطع شودبداخل جاده تراوش کند(ISSF). این فرایند جائی که خاک‌ها کم عمق هستند عمومی‌تر است. در مورد خاک‌های عمیق، ISSF به ندرت رخ می‌دهد زیرا محل اتصال خاک- سنگ مادر، حتی وقتی که ترانشه‌ها عمیق هستنددر زیر سطوح جاده واقع می‌شود. (Ziegler,A.D.,et al.,2004,p 5)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

شکل۱- مفاهیم مربوط به انواع جریان‌های سطحی و زیرسطحی در یک برش جاده



(مأخذ: **Ziegler,A.D.,Giambelluca,T.W.,Sutherland,R.A.,2004,p 4**)

آبی که در سطح جاده جریان می‌یابد می‌بایست زهکشی شده تا آسیبی به جسم راه نرساند. بطورکلی برای آنکه آب و برف و باران به راه آسیب نرسانند، در جسم و کناره‌های آن ساختمان‌هایی می‌سازندکه آنها را ساختمان‌های فنی

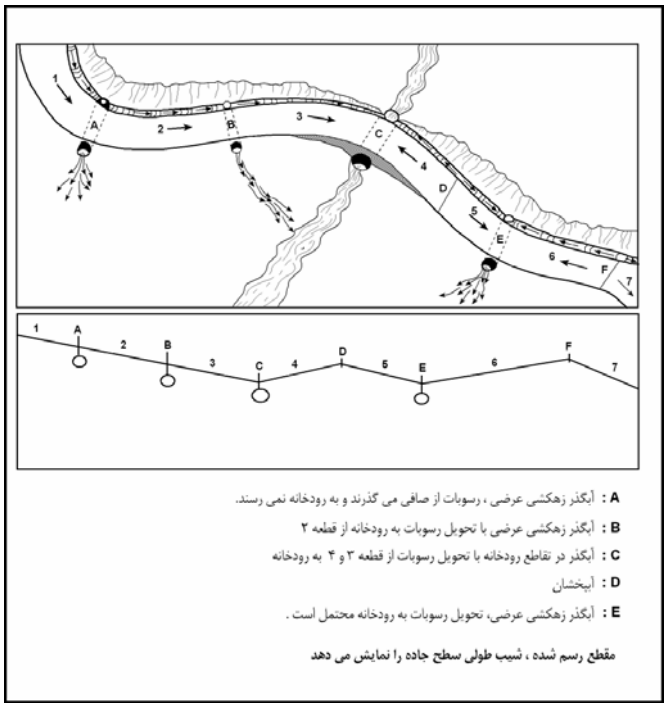
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نامیده‌اند. (بزازان، ۱۳۷۰، ص۱۰۸)

دورکردن آب از راه و خشک‌نگهداشتن آن، مهم‌ترین کار راهسازی است. به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک که دامنه‌های سنگی کوه‌ها برهنه هستند، تقریباً اکثر آب ناشی از بارندگی تبدیل به رواناب می‌شود. بعلاوه بارندگی‌های بهاری بیشتربه صورت رگباری می‌بارندکه نمی‌توان زمان و مکان آنها را پیش‌بینی کرد. کمی پس از باریدن هر رگبار، سیل روان می‌گردد و به راه‌هایی که در مسیل یا دامنه کوه و تپه ساخته شده‌اند آسیب می‌رسانند، مگر آنکه برای گذشتن سیلاب در جسم راه آبگذری تعبیه شده باشد. (حامی، ۱۳۷۴، ص۱۲۲)

شکل ۲ عوارض و اشکال زهکشی سطح جاده را نمایش می‌دهد. این عوارض عبارتند از:

شکل ۲- زهکشی سطح جاده و عوارض زهکشی



(مأخذ: **Mills, P.E. 1997, p 8**)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

الف) آبگذر درتقاطع‌رودخانه[۱] ب)پل‌ها[۲] ج)گدارها[۳] د)آبگذرزهکشی عرضی[۴] هـ) جوی وپشته[۵] و) آب‌پخشان[۶] (USDA Forest Service, 1999, p59-63)

در شکل شماره ۳ مقطعی از جاده را نمایش می‌دهد که در دامنه یک کوه واقع شده است. در این شکل آب و رسوبات سطح ترانشه بداخل جوی کنار جاده می‌آید. شیب جوی کنار جاده به گونه‌ای است که آب را به یک آبگذر زهکشی عرضی و یا آبگذر در تقاطع رودخانه انتقال داده و به این صورت از مسیر جاده دور می‌سازد. (USDA Forest Service. 1999 ,p 55-57)

شکل۳- مقطعی از جاده نزدیک یک جریان که بیشتر عوامل زهکشی سطحی را نشان می‌دهد (**مأخذ: Mills, P.E. 1997, p 13**).

1- stream crossing culverts

2-Bridges

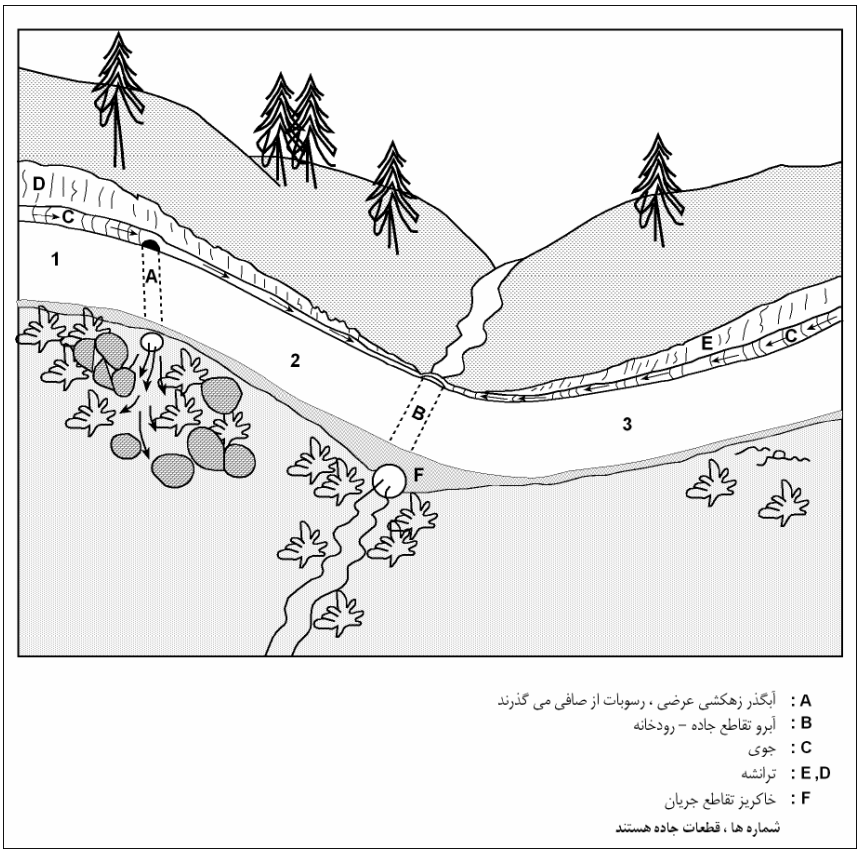
3-Fords

4 -Cross – drain Culverts

5- Water bars

6- Drainage divide

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



بحث و نتایج

الف) بررسی مجاورت و نزدیکی رودخانه به جاده در محدوده موردمطالعه

در محدوده موردمطالعه به منظوربررسی تأثیر رودخانه بر جاده هراز و تعیین نقاط پرخطر، نسبتاً خطرناک، با خطر متوسط و کم‌خطر از لحاظ دوری و نزدیکی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

جاده به رودخانه، از بافرهای ۱۰،۲۰،۳۰،۴۰،۵۰،۱۰۰ ،۲۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ متری رودخانه استفاده شده است. به منظور محاسبات دقیق‌تر کل جاده تحت‌بررسی، به قطعات و بازه‌های ۱۰۰متری تقسیم شد تا مقدار دوری و نزدیکی هر بـازه نـسبت به رودخانه محاسبه شود. نتایج به دست‌آمده عبارتند از:

از مجموع ۸۵ کیلـومتر جـاده تحـت بررسـی، ۲,۷ کیلـومتر (۳,۲درصـد) در محدوده ۱۰ متری رودخانـه، ۴,۱کیلـومتر (۴,۸ درصـد) در محـدوده ۲۰ متـری، ۷,۵کیلومتر (۸,۹ درصد) در محدوده ۳۰متـری، ۱۱,۸کیلـومتر (۱۳,۸ درصـد) در محدوده ۵۰ متری و ۲۲,۷ کیلومتر (۲۶,۶ درصد) از جاده در محدوده ۱۰۰متری، ۲۴ کیلومتر (۲۸,۱ درصـد) در فاصـله۲۰۰ متـری و ۱۲,۶ کیلـومتر از جـاده در فاصله بیشتر از ۲۰۰ متری رودخانه قرار گرفته است (جدول۱، نمودار ۱).

جهت تعیین مخاطرات ناشی از دوری و نزدیکی جاده به رودخانـه، محـدوده مورد بررسی به چهار گروه خطرناک (صفر تا ۲۰ متر)، نسبتاً خطرناک (۲۰ تا ۵۰ متر)، با خطر متوسط (۵۰ تا ۱۰۰ متر) و کم خطر (بیـشتر از ۱۰۰ متـر) اسـتاده شده است که نتایج آن در نقشه شماره ۲ آمده است.

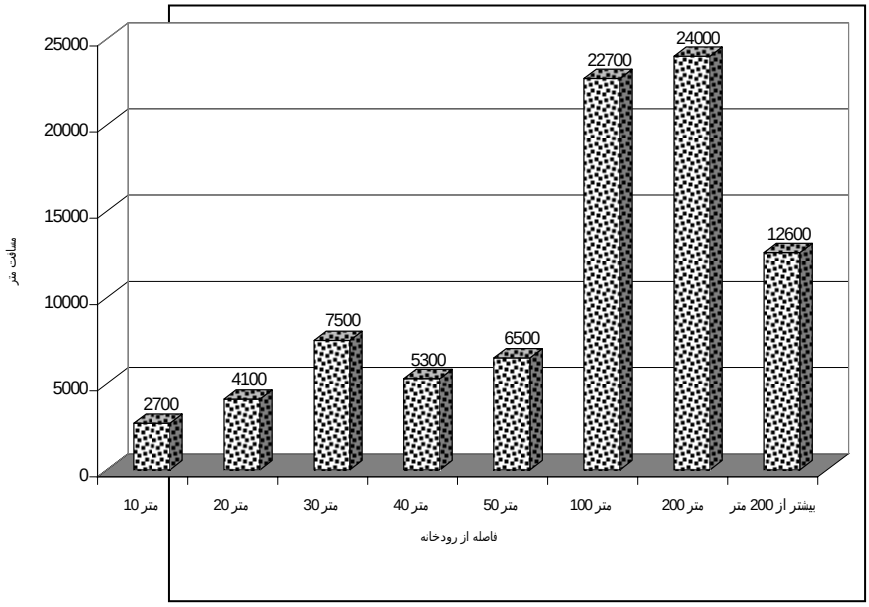
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

جدول۱- مسافت‌هائی از جاده که در فواصل مختلف از رودخانه قرار گرفته‌اند

بافر	موارد	مسافت متر	مسافت کیلومتر	مسافت تجمعی متر	درصد	درصد تجمعی
۱۰ متر	۲۷	۲۷۰۰	۲,۷	۲۷۰۰	۳,۲	۳,۲
۲۰ متر	۴۱	۴۱۰۰	۴,۱	۶۱۰۰	۴,۸	۸
۳۰ متر	۷۵	۷۵۰۰	۷,۵	۱۳۶۰۰	۸,۹	۱۶,۹
۴۰ متر	۵۳	۵۳۰۰	۵,۳	۱۸۹۰۰	۶,۲	۲۳,۱
۵۰ متر	۶۵	۶۵۰۰	۶,۵	۲۵۴۰۰	۷,۶	۳۰,۷
۱۰۰ متر	۲۲۷	۲۲۷۰۰	۲۲,۷	۴۸۱۰۰	۲۶,۶	۵۷,۴
۲۰۰ متر	۲۴۰	۲۴۰۰۰	۲۴	۷۲۱۰۰	۲۸,۱	۸۵,۵
بیشتر از ۲۰۰ متر	۱۲۶	۱۲۶۰۰	۱۲,۶	۸۵۴۰۰	۱۴,۵	۱۰۰
مجموع	۸۵۴	۸۵۴۰۰	۸۵,۴		۱۰۰	

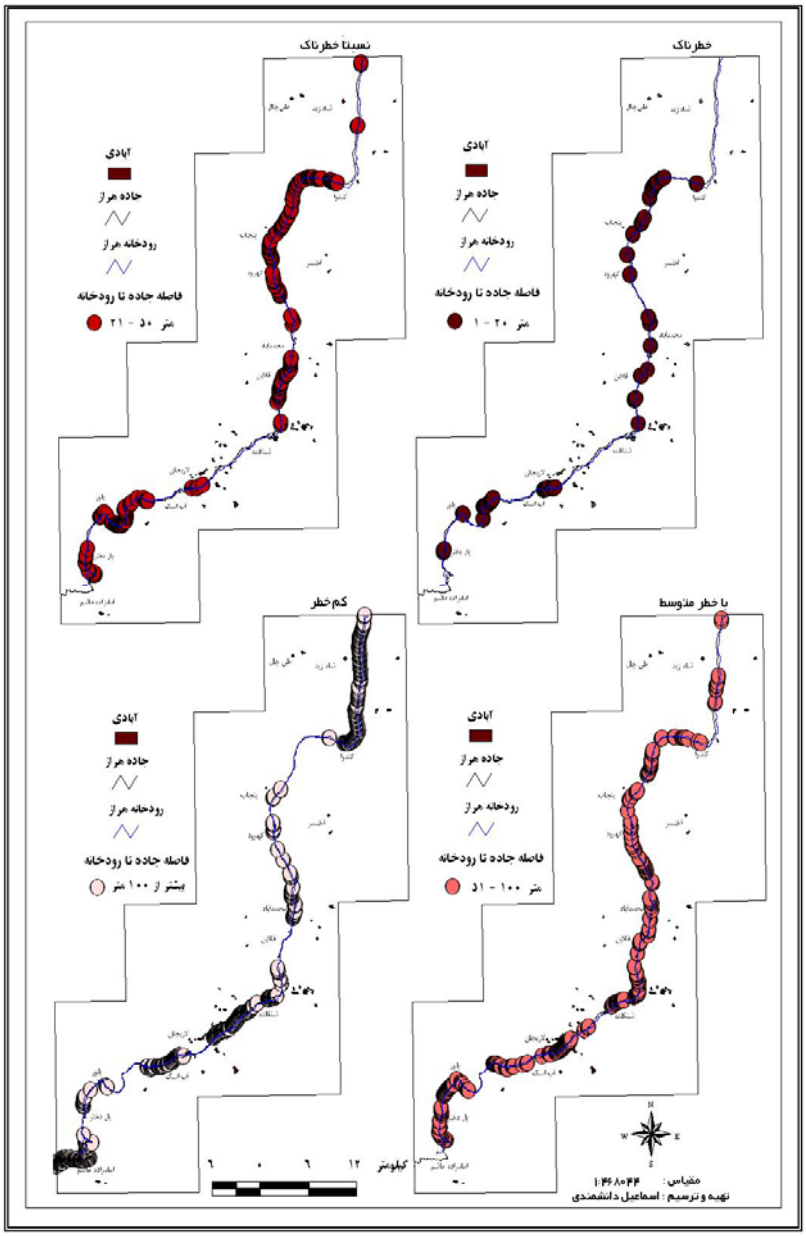
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نمودار ۱- مسافت‌هائی از جاده که در فواصل مختلف از رودخانه قرارگرفته است



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نقشه شماره۲- مسافت‌هایی از جاده که در فواصل۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و بیش از۱۰۰ متری رودخانه قرار گرفته‌اند.



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

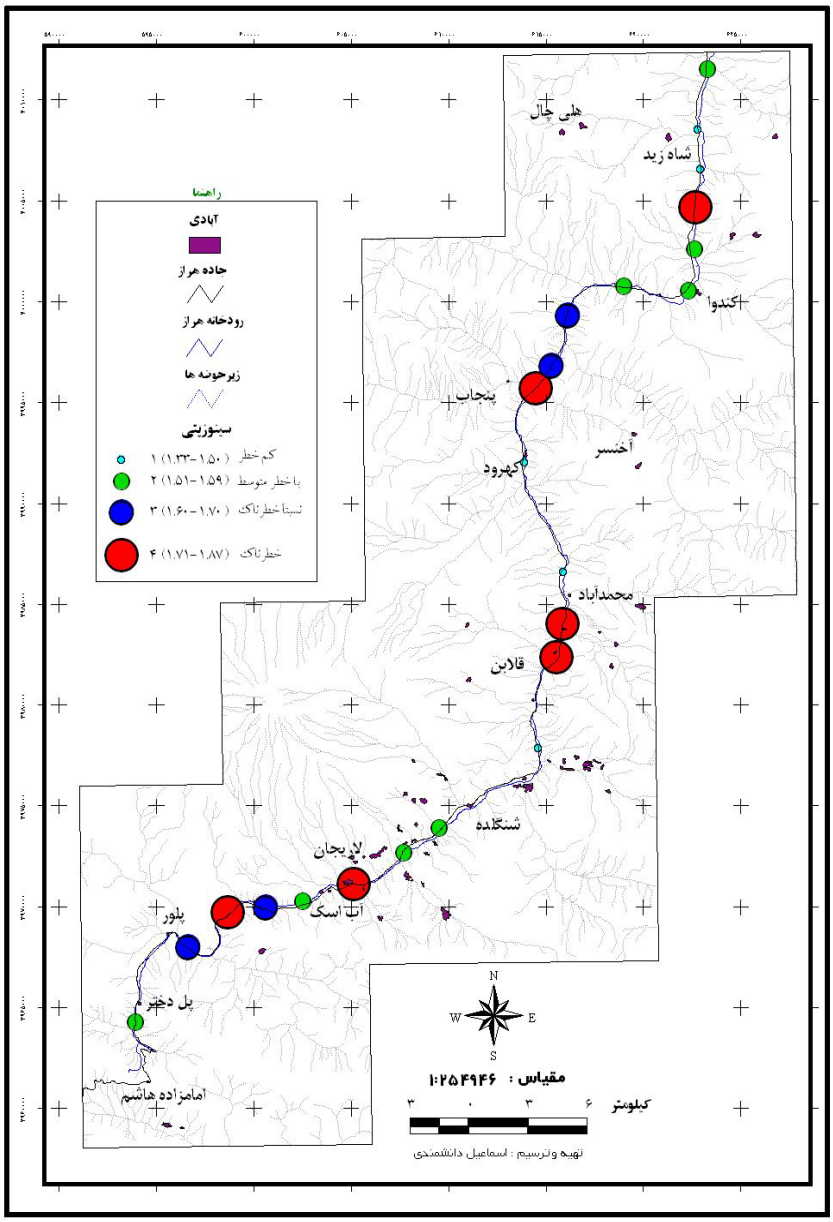
همچنین برای تعیین میزان پیچ و خم رودخانه، از شاخصی بنـام سـینوزیتی (ضریب مارپیچی) استفاده شده‌است. سینوزیتی رودخانه‌مقیاسی‌جهت اندازه‌گیری پیچ و خم‌های آن می‌باشد و عبارت است از طول تالوگ رودخانه بـه طـول دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد. رودخانه‌های مستقیم رودخانـه‌هـایی هـستند کـه سینوزیتی آنها کمتـر از ۱/۵ باشـد. (صـلواتی، ۱۳۸۴، ص۵) پـس از رسـم پـلان رودخانه از روی نقـشه توپـوگرافی۵۰۰۰۰ :۱ و تطـابق آن بـا عکـس‌هـای هـوایی موجود، تعداد ۲۳محل که دارای بیشترین سینوزیتی بودند استخراج گردیـد و در چهـار گـروه خطرنـاک (۱,۸۷-۱,۷۱)، نـسبتاً خطرنـاک (۱,۷۰-۱,۶۰)، بـا خطـر متوسط (۱,۵۹-۱,۵۱) و کم‌خطر (۱,۵۰-۱,۳۳) طبقه‌بندی شـدند کـه نتـایج آن در نقشه شماره ۳ آمده است. (جدول۲، نقشه۳)

جدول۲- سینوزیتی محاسبه شده برای تعیین مقدار پیچ و خم رودخانه (مآندر) در نقاط انتخابی در رودخانه هراز

ID	طول تالوگ (متر)	طول مقطع (متر)	طول دره (متر)	سینوزیتی
1	2140.8	1891.64	1903.2	1.53
2	1224.41	971.66	1082.68	1.65
3	1686.58	1180.54	1556.22	1.75
4	1755.63	1287.35	1588.97	1.63
5	1098.44	1034.54	1039.84	1.58
6	1298.49	814.87	1132.24	1.87
7	1995.75	1732.35	1747.82	1.53
8	1847.56	1566.9	1620.32	1.55
9	1958.48	1846.68	1870.64	1.42
10	1517.57	1061.91	1343.42	1.78
11	1162.91	857.41	1065.06	1.84
12	1857.6	1742.81	1746.53	1.44
13	3830.09	3304.75	3396.5	1.33
14	2181.82	1424.71	1846.15	1.77
15	1895.76	1377.91	1389.14	1.63
16	1237.58	1034.44	1052.45	1.61
17	1930.06	1657.21	1677.04	1.54
18	1421.4	1280.55	1339.46	1.56
19	1436.77	1274.25	1325.93	1.57
20	1257.08	986.32	1204.2	1.73
21	1472.09	1415.65	1417.11	1.49
22	3177.26	2667.43	2694.5	1.46
23	2034.14	1657.87	1674.67	1.57

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نقشه شماره ۳– گروه‌بندی مآندرهای رودخانه هراز بر اساس شدت سینوزیتی



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

ب) بررسی تقاطعات جاده - رودخانه در محدوده موردمطالعه

در بررسی تغییر مسیرها و تقاطعات بین جاده و رودخانه در جاده هراز در محدوده موردبررسی نتایج زیر حاصل شده است:

اول: تغییر مسیرهای جاده است بطوری که بنابر تمهیدات مهندسی و راهسازی، جاده در ۷ نقطه تغییر مسیر داده و از سمت راست رودخانه به سمت چپ یا بالعکس رفته است. (شکل ۴، الف)

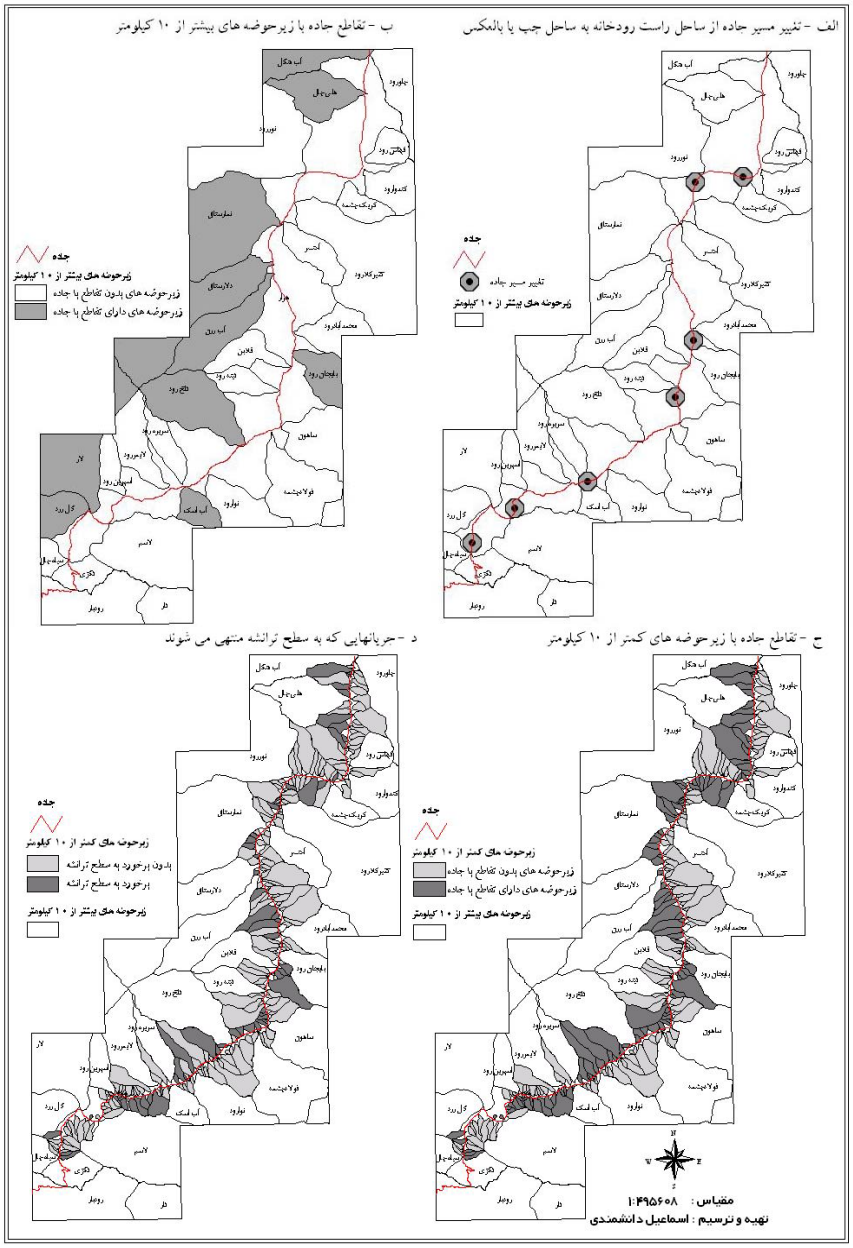
دوم: تقاطع‌های اصلی می‌باشد. یعنی در قسمت‌هایی که جریانی با حوضه آبخیز بیش از ۱۰کیلومتر توسط جاده قطع می‌شود. در محدوده موردبررسی، تعداد ۲۷زیر حوضه بیشتر از ۱۰کیلومتر شناسایی شد که در این میان ۹زیر حوضه دارای تقاطعات اصلی با جاده هستند. (شکل ۴، ب)

سوم: تقاطع‌های فرعی می‌باشند. یعنی در مکان‌هایی که جاده، جریانی را با حوضه آبخیز کمتر از ۱۰کیلومتر قطع می‌نماید. در محدوده موردبررسی تعداد ۲۵۰ زیرحوضه فرعی با مساحت کمتر از ۱۰کیلومتر شناسایی شده است که از این میان تعداد ۱۱۹ زیرحوضه فرعی توسط جاده قطع می‌شود. (شکل ۴، ج)

چهارم: جریان‌هایی در میان زیرحوضه‌های فرعی هستند که به سطح ترانشه منتهی می‌شوند. از میان ۱۱۹جریانی که توسط جاده قطع می‌شوند، ۶۲ جریان به سطح ترانشه منتهی می‌شوند که به علت اهمیت خاصی که در مخاطرات جاده‌ای دارند بطور مجزا مشخص شده‌اند. (شکل۴ ، د)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نقشه ۴ – تغییر مسیرها و تقاطعات جاده هراز با رودخانه هراز و جریان‌هایی که به سطح ترانشه منتهی می‌شوند



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

منابع و مآخذ

۱- بزازان، محمود، ۱۳۷۰، راهداری و روش‌های نگهداری از راه‌ها، مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری.

۲- حامی، احمد، ۱۳۷۴، راهسازی، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

۳- ریچاردسون، سیمونز. ترجمه صلواتی، عبدالامیر، ۱۳۸۴، اثرات جاده‌سازی در حریم رودخانه‌ها، انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ :۱ لشگرک، لواسان، رینه، شنگلده، ارجمند، گاجره، ناحیه، بلده، نمار، شاه‌زید، فیلبند، مرزن‌آباد، پل، کپ، چمستان و آمل.

۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس‌های هوائی با مقیاس ۵۵۰۰۰ :۱ پوشش سراسری عملیات مشترک تهیه شده در سال ۱۳۳۴.

۶- شاهی، جلیل، ۱۳۸۱، اصولی برای طرح هندسی راه‌های برون‌شهری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

7- Avolio, CM, 2003 . **The Local Impacts of Road Crossings on Puget Lowland Creeks ,** MS thesis in Civil Engineering , University of Washington.

8- Imhof, J., R. J. Planck, F. Johnson, and L. Halyk. 1991. **Watershed Urbanization and Managing Stream Habitat for Fish**. Proceedings of the 56th N.A. Wildlife and Natural Resources Conference. pp. 269-285.

9- Jones, J.A., F.J. Swanson, B.C. Wemple, and K.U. Snyder. 2000. **Effects of Roads on Hydrology, Geomorphology, and Disturbance Patches in Stream Networks** Conservation Biology 14(1): 76-85.

10- LaMarche, J.L. and D.P. Lettenmaier. 2001. **Effects of Forest Roads on Flood Flows in the Deschutes River**, Washington. Earth Surface Processes and Landforms 26: 115-134.

11- Luce, C.H. and B.C. Wemple. 2001. **Introduction to Special Issue on Hydrologic and Geomorphic Effects of Forest Roads**.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

Earth Surface Processes and Landforms 26: 111-113.

12- Madej, M.A. 2001. **Erosion and Sediment Delivery Following Removal of Forest Roads**. Earth Surface Processes and Landforms 26: 175-190.

13- Mills, P.E., 1997, **Forest Roads, Drainage, and Sediment Delivery in the Kilchis River Watershed**,Staff Geotechnical Engineer, Forest Practices Program, Oregon Department of Forestry,1-38.

14- Montgomery, D.R. 1994. **Road Surface Drainage, Channel Initiation, and Slope Instability**. Water Resources Research 30(6): 1925-1932.

15- USDA,1997, **The Water/Road Interaction Technology Series: An Introduction** .Ronald Copstead, P.E. San Dimas, California.

16- USDA Forest Service. 1999.**Roads Analysis: Informing Decisions about Managing the National Forest Transportation System**. Misc. Rep. FS-643. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture Forest Service. 222 p.

17- Wemple BC. 1994. **Hydrologic integration of forest roads with stream networks in two basins, western Cascades, Oregon**. MS thesis . Oregon State University, Corvallis, Oregon.

18- Ziegler,A.D.,Giambelluca,T.W.,Sutherland,R.A.,2004.**Toward understanding the cumulative impacts of roads In upland agricultural watersheds of northern Thailand**. Agriculture, EcosystemsandEnvironment .1–14.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]