

بازسازی فراوانی و سطح سیلابهای قدیمی رودخانه نکا با استفاده از دندروژئومورفولوژی

مریم قاسم نژاد- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
سید رضا حسین زاده^۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
کامبیز پورطهماسی- استاد آناتومی چوب و گاه‌شناسی درختی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
محمد شریفی کیا- دانشیار سنجش‌ازدور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۵

چکیده

سیلاب به‌عنوان یک فرایند ژئومورفیک رودخانه‌ای بر مورفولوژی درختان حواشی و بستر رود اثر می‌گذارد و منجر به پاسخ‌های رشدی متفاوتی در سری حلقه‌های درخت می‌شود. درختان کج‌شده و زخم‌خورده یکی از رایج‌ترین انواع شواهد دندروژئومورفولوژیکی رخدادهای سیلابی گذشته در حواشی رودخانه‌ها هستند و برای تاریخ‌گذاری و بازسازی رخدادهای ژئومورفیک گذشته مورد استفاده قرار می‌گیرند. زخم‌های ایجاد شده بر تنه درختان می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های پالئوستیج برای بازسازی سطح و حجم سیلاب‌های قدیمی بکار رود. هدف این تحقیق بازسازی فراوانی رخدادهای سیلابی و سطح آن‌ها در رودخانه نکا با استفاده از آنالیز حلقه‌های رشد در درختان زخم‌خورده و پاسخ به این فرضیه است که "سطح سیلاب برآوردی از داده‌های دندروژئومورفولوژی در حوضه آبریز نکا بیشتر از داده‌های ایستگاهی است"؛ بنابراین پس از بازدید منطقه و جمع‌آوری داده‌های اولیه و تعیین موقعیت نمونه‌ها، تعداد ۱۸ نمونه از تنه درختان زخم‌خورده در حاشیه و کناره‌های بستر نکارود برداشت شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها تعداد و عرض حلقه‌ها با استفاده از میز دیجیتالی LINTAB و برنامه نرم‌افزاری TSAPWIN با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر شمارش و اندازه‌گیری شد و سال وقوع سیلابها از طریق کاهش ناگهانی در روند افزایشی پهنای حلقه درخت بازسازی گردید؛ اما به‌منظور برآورد سطح سیلاب و تخمین دبی پالئوسیلاب‌ها بالاترین نقاط از بالاترین زخم‌ها به‌عنوان تخمینی برای دبی اوج در نظر گرفته شد و چهار مقطع عرضی از بستر اصلی رودخانه نقشه‌برداری شد تا ارتفاع سیل بر مبنای

زخم‌های تنه درختان برآورد گردد. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد زخم‌ها به ترتیب از سیلاب سال‌های ۱۳۸۷ با دبی پیک $130 \text{ m}^3/\text{sec}$ و ۱۳۷۸ با دبی پیک $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ منشأ گرفته‌اند. علاوه بر این سیل سال ۱۹۹۹ و نیز سیل سال ۲۰۰۳ با دبی پیک $361 \text{ m}^3/\text{sec}$ بیشترین تأثیر را در روند رشد درختان حاشیه بستر داشته‌اند. همچنین دو سیلاب دیگر در سال ۱۳۲۰ و ۱۳۳۶ و مربوط به قبل از تأسیس ایستگاه هیدرومتری در منطقه بازسازی شد. این سیلاب‌ها زخم بزرگی را با ارتفاع حد بالایی زخم به طول 270 cm از سطح زمین، بر روی ساقه درخت بر جای نهاده و سطح سیلاب از طریق این زخم به مقدار $4277/37$ مترمکعب در ثانیه برآورد گردید که بزرگ‌ترین دبی سیلابی رودخانه نکا در طی صد سال اخیر است و نشان می‌دهد که دبی‌های سیلابی و پیک رودخانه نکا که از طریق دندروژئومورفولوژی بازسازی شده‌اند بسیار بیشتر از دبی‌های ایستگاهی این رودخانه است.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، حلقه‌های درخت، پالئوفلاد، دندروژئومورفولوژی، نکارود.

۱. مقدمه

سیلاب‌های بزرگ مهم‌ترین و تأثیرگذارترین فرایندهای رودخانه‌ای هستند که مقادیر زیادی از رسوبات را حمل کرده و اثرات طولانی مدتی بر روی مورفولوژی مجرا داشته و بر سایر فرایندها و فرم‌های رودخانه‌ای تأثیرگذارند. سیلاب‌ها همچنین بر روی مورفولوژی درختان حاشیه و درون بستر رود اثر می‌گذارند و منجر به پاسخ‌های رشدی متفاوتی در سری حلقه‌های درخت می‌شوند و این پاسخ‌های رشدی در چوب درخت که به عبارتی حافظه بلندمدت تاریخ درخت است ثبت می‌شوند (دمیکو و همکاران^۱، ۲۰۱۴: ۱)، در نتیجه زخم‌های درختان می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های پالئواستیک (PSI^۲)، در مطالعه سیلاب‌های قدیمی و پالئوسیلابها بکار رود. اما دقیق‌ترین روش تعیین سن فرایندهای ژئومورفیکی در دوره‌های زمانی چند صد تا چندین هزار ساله دندروکرونولوژی است (بولشویلر و همکاران^۳، ۲۰۰۸: ۶۷؛ گاتنر^۴، ۲۰۰۷: ۲۴۳؛ می و همکاران^۵، ۲۰۱۱: ۲۳۳). دندروکرونولوژی که در حقیقت استفاده از درختان به‌عنوان آرشیوهای طبیعی یا "شاهدان خاموش"^۶ می‌باشد (بریولت^۷، ۲۰۰۵: ۸؛ استوفل و همکاران^۸، ۲۰۱۳: ۱۲۶)، رشته‌ای است که به مطالعه

1 De Micco et al.

2 Paleo Stage Indicator

3 Bollschweiler et al.

4 Gartner

5 Mei et al.

6 Silent Witnesses

7 Beriault

8 Stoffel et al.

حلقه‌های رشد سالانه درختان، با استفاده از اندازه‌گیری تعداد و تغییرات پهنای حلقه‌ها می‌پردازد؛ اما دندروژئومورفولوژی از رشته‌های زیر مجموعه دندروکرونولوژی است که بر اساس تجزیه و تحلیل حلقه‌های رشد سالانه درختان و فرم رشد آن‌ها به بررسی جنبه‌های فضایی و مکانی فرایندهای سطحی زمین می‌پردازد. این شاخه به‌طور گسترده‌ای برای مطالعه و تاریخ‌گذاری فرایندهای ژئومورفولوژیکی گذشته استفاده می‌شود و دارای دقت سالانه و حتی فصلی است (استوفل، ۲۰۰۶: ۵۳؛ باتلر و استوفل^۱، ۲۰۱۳: ۱؛ بادکیو و همکاران^۲، ۲۰۰۵: ۸۲؛ ویلانوا و همکاران^۳، ۲۰۱۳: ۳۳؛ گودی^۴، ۲۰۰۵: ۲۳۹).

دندروژئومورفولوژی بر این اصل استوار است که درختان اقلیم‌های معتدل در هر سال یک حلقه رشدی تشکیل می‌دهند و درختانی که تحت تأثیر فرایندهای ژئومورفیک قرار گیرند نسبت به این فرایندها و رخدادهای به شکل اختلال‌های رشدی^۵ (GD) مشخصی واکنش نشان می‌دهند که این واکنش در سری حلقه‌های آن‌ها ثبت می‌شود (کرونا و همکاران^۶، ۲۰۱۱: ۲). دندروژئومورفولوژی کاربردهای گسترده‌ای دارد و از جمله شامل تعیین سن و همچنین مقدار تغییر در فرایندهایی مانند تغییر مجرای رود، سیلاب، آبرفت‌گذاری، فرسایش، حرکات دامنه‌ای، بهمن و دیگر فرایندها است. همچنان که شرودر^۷ (۱۹۷۸) بیان می‌دارد تحقیق دندروژئومورفولوژی به‌طور معمول بر پایه سه مفهوم "فرایند - رخداد - پاسخ" استوار است (شکل ۱)، که در این رابطه "فرایند" اشاره به هریک از عوامل ژئومورفیک فوق دارد. "رخدادهای" ژئومورفیک بر درخت تأثیر می‌گذارند و درخت به این آشفتگی‌ها با "پاسخ‌های" رشدی مشخصی واکنش نشان می‌دهد (استوفل و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۲۶؛ برام و همکاران^۸، ۱۹۸۷: ۵۷۴؛ بالستروس و همکاران^۹، ۲۰۱۵: ۲).

دندروژئومورفولوژی بر اساس شواهد آسیب فیزیکی تولید شده توسط فعالیت‌ها و فرایندهای رودخانه‌ای بر روی ریشه، تنه و شاخه‌های درختان سواحل رودخانه، موانع طولی یا دشت‌های سیلابی، به بازسازی و تاریخ‌گذاری فرایندهای ژئومورفولوژی رودخانه‌ای می‌پردازد و از آن جمله می‌توان به کاربرد داده‌های دندروژئومورفولوژی در بازسازی سیلاب اشاره داشت که این روش تقریباً بیش از چهل سال است که منجر به بهبود برآورد فراوانی و قدرت سیلاب‌ها شده است

1 Butler & Stoffel

2 Bodoque et al.

3 Villanueva et al.

4 Goudie

5 Growth Disturbance

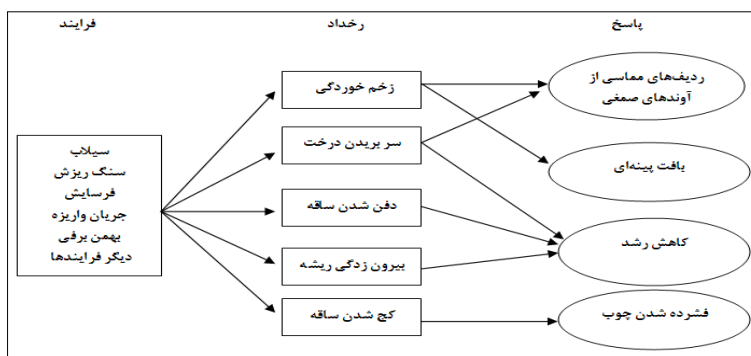
6 Corona et al.

7 Shroder

8 Braam et al.

9 Ballesteros et al.

(دیزه‌ررو و همکاران^۱، ۲۰۱۳: ۲۱۱؛ بالستروس و همکاران^۲، ۲۰۱۲: ۱۳۰؛ یانوسکی و جررت^۳، ۲۰۰۲: ۳؛ بالستروس و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۳؛ بالستروس و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۶۵۱؛ بالستروس و همکاران، ۲۰۱۰: ۷۷۳؛ بریولت^۴، ۲۰۰۵: ۸؛ سیلهن^۵، ۲۰۱۵: ۲۴۳)، زیرا وجود درختان در دشت‌های سیلابی عادی بوده و می‌توان از طریق اختلالات رشدی ایجاد شده در آن‌ها، تاریخ بارش‌ها، تناوب ذوب یخ‌ها، فرسایش جریان‌ی و رسوبگذاری و جابجایی کانال‌های اصلی در عرض دشت‌های سیلابی را تعیین سن کرد (مریگیلیان و همکاران^۶، ۲۰۱۳: ۱۴۶؛ کامپرو^۷، ۲۰۰۹؛ جرج و نیلسون^۸، ۲۰۰۲: ۱۰۳؛ چن و همکاران^۹، ۲۰۱۴: ۲۶۶؛ آلمان و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۴: ۲۱۰)، و از این طریق می‌توان بازسازی طولانی مدتی از سیل‌های گذشته انجام داد (جرج و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۲: ۳؛ ایکسیونگ و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۰: ۱۸۲؛ دنیلز^{۱۳}، ۲۰۰۶: ۲۸۶).



شکل ۱. مفهوم فرایند - رخداد - پاسخ که توسط شرودر توصیف شده است (استوفل، ۲۰۱۱: ۶۴).

آنالیز فراوانی سیلاب‌های دوران گذشته زمینه پیش‌بینی سیلاب‌های آینده را براساس ثبت تاریخ زمان‌های اوج سیلاب فراهم می‌آورد و تعیین زمان برگشت سیلاب‌ها را ممکن می‌سازد (جرج و نیلسون، ۲۰۰۲: ۲۸۳؛ جرج و نیلسون، ۲۰۰۳: ۲۰۳).

- 1 Diez-Herrero et al.
- 2 Ballesteros et al.
- 3 Yanosky & Jarrett
- 4 Beriault
- 5 Silhan
- 6 Merigliano et al.
- 7 Komperod
- 8 George & Nielsen
- 9 Chen et al.
- 10 Alma et al.
- 11 George et al.
- 12 Xiong et al.
- 13 Daniels

۵۴۷؛ گلاک^۱، ۱۹۵۱: ۲۸؛ باوچر و همکاران^۲، ۲۰۰۹: ۲۷۳؛ گوتزفلد^۳، ۱۹۹۶: ۳۲۰، و به تحقق نقشه‌های خطر سیلاب امکان می‌دهد.

اصطلاح دندروژئومورفولوژی اولین بار توسط جغرافیدان فنلاندی جوکو آلستالو^۴ در سال ۱۹۷۱ رسماً معرفی (استرانک^۵، ۱۹۹۷: ۱۳۸؛ بادکیو و همکاران^۶، ۲۰۰۵: ۸۲؛ میزوگاکي و همکاران^۷، ۲۰۰۶: ۲۶؛ فانتوچی و ساریسوالو^۸، ۱۹۹۹: ۱۶۵؛ بادکیو و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۱)، و توسط شرودر (۱۹۷۸) توسعه یافت (استوفل و بولشویلر^۹، ۲۰۰۸: ۱۸۷-۱۹۵؛ استوفل^{۱۰}، ۲۰۰۶: ۵۳). با این حال، تحقیق دندروژئومورفولوژیکی از فرایندهای ژئومورفیک با آنالیزهای نمونه‌های ساقه درخت شروع نشد، بلکه با آنالیز ریشه‌ها شروع شد و لامارچ^{۱۱} در اوایل سال ۱۹۶۰ برای اولین بار میزان فرسایش را با ریشه‌های آشکار شده در کوه‌های سفید کالیفرنیا ارزیابی کرد (استوفل و بولشویلر^۹، ۲۰۰۸: ۱۹۵)؛ اما اولین مطالعات دندروژئومورفولوژیکی بر روی ساقه و شاخه درخت از اواخر دهه ۱۹۶۰ با مطالعه بازسازی سیلاب‌ها از طریق تاریخ‌گذاری زخم‌های ایجاد شده می‌باشد (بالستروس و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۳)، و سپس زمینه‌تئوریک برای مطالعه سیلاب و فرایند رسوب‌گذاری توسط سیگافوس^{۱۱} (۱۹۶۴) ارائه شد (گوتزفلد و جانسون^{۱۲}، ۱۹۹۰: ۱۶۳). هلی و لامارچ^{۱۳} (۱۹۶۸) تکنیک‌هایی را به‌منظور تعیین دوره بازگشت رخداد‌های سیلابی به کار بردند (استوفل و بولشویلر^۹، ۲۰۰۸: ۱۹۵)، هم‌چنین اگیتون و دی^{۱۴} (۱۹۷۷) روابط قدرت - فراوانی سیلاب‌های ناگهانی را با استفاده از زخم‌های درختان در آبراهه‌های با شیب کم بررسی کردند و گوتزفلد^{۱۵} (۱۹۹۶) روابط بین ارتفاع زخم درخت و نشانه‌های ارتفاع آب^{۱۶} (HWMs) را مطالعه کرد (بالستروس و همکاران^{۱۷}، ۲۰۱۱: ۹۷۱). زیلونکا و همکاران^{۱۸} (۲۰۰۸)

1 Glock

2 Boucher et al.

3 Gottesfeld

4 Jouko Alestalo

5 Strunk

6-Bodoque et al.

7 Mizugaki et al.

8 Fantucci & Sorriso-Valvo

9 Stoffel & Bollschweiler

10 La Marche

11 Sigafos

12 Gottesfeld & Johnson

13 Helley & LaMarche

14 Egginton & Day

15 Gottesfeld

16 High Water marks

17 Ballesteros et al.

18 Zielonka et al.

رخداد‌های سیلابی را بر اساس تطابق زمانی زخم‌های یافت شده در درختان رشد کرده در امتداد کناره‌های آبراهه بازسازی کردند (زیلونکا و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۳). بالستروس و همکاران (۲۰۱۱) نیز بر اساس شواهد حلقه درخت و مدل‌سازی هیدرولیکی به درجه‌بندی زبری سیلاب دشت و تخمین دبی سیلاب پرداختند (بالستروس و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۰۳)، و ویلانوا و همکاران^۱ (۲۰۱۳) با استفاده از رویکردی ترکیبی به تشخیص سیلاب‌های ناگهانی^۲ در حوضه‌های کوهستانی بدون ایستگاه اندازه‌گیری یا با تعداد ایستگاه محدود با هدف بازسازی و آنالیز فراوانی و شدت سیلاب‌های ناگهانی و نیز تخمین اوج دبی تاریخی این سیلاب‌ها پرداختند (کاستلر و همکاران^۳، ۲۰۱۵: ۱۱۶؛ ویلانوا و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۲). علاوه بر این، شا و همکاران^۴ (۲۰۱۴) بر پایه داده‌های حلقه درخت دبی رود لاجن چو^۵ را با استفاده از کروئولوژی چوب زودرس بازسازی کردند (شا و همکاران، ۲۰۱۴: ۹۷).

در مورد گاه‌شناسی درختی تحقیقاتی در ایران انجام شده که بیشتر در زمینه دندروکلیماتولوژی بوده و از آن جمله مطالعاتی است که توسط آقایان ارسلائی و عزیزی صورت گرفته است (ارسلائی، ۱۳۹۰: ۵؛ ارسلائی و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۷؛ ارسلائی و عزیزی، ۱۳۹۲: ۴۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱الف: ۵۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱ب: ۳۷)؛ اما در ایران دندروژئومورفولوژی علمی نوپا است و مطالعات و کاربرد آن در تعیین فرایندهای ژئومورفیک بسیار جدید می‌باشد. در زمینه دندروژئومورفولوژی تنها دو مطالعه صورت گرفته که اولین پژوهش در سال ۱۳۹۰ توسط بهرامی و همکاران انجام شده و با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه‌های برونزد یافته درخت در حوضه قره‌چای (رامیان) در استان گلستان به برآورد میزان فرسایش ورقه‌ای پرداختند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). همچنین حسین زاده و جهادی طرقی در سال ۱۳۹۱ با استفاده از این تکنیک سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه هزار را بازسازی و بر اساس نوع تغییرات و واکنش تنه و ریشه درختان به فرایند سیلاب، زمان وقوع سیلاب‌های بزرگ را مشخص و دبی تقریبی آن‌ها را برآورد کردند (حسین زاده و جهادی طرقی، ۱۳۹۱: ۲۹). هدف این تحقیق نیز پاسخ به این فرضیه است که "سطح سیلاب برآوردی از داده‌های دندروژئومورفولوژی در حوضه آبریز نکا بیشتر از داده‌های ایستگاهی است"، و به این منظور به بازسازی فراوانی و سطح رخداد‌های سیلابی نکارود با استفاده از آنالیز حلقه‌های رشد در درختان زخم‌خورده پرداخته شده است.

1 Villanueva et al.

2 Flash floods

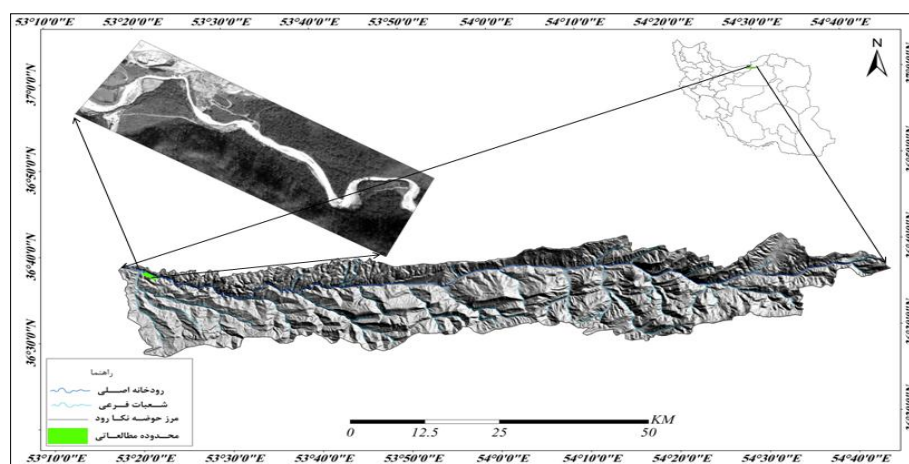
3 Casteller et al.

4 Shah et al.

5 Lachen choo

۲. منطقه مورد مطالعه

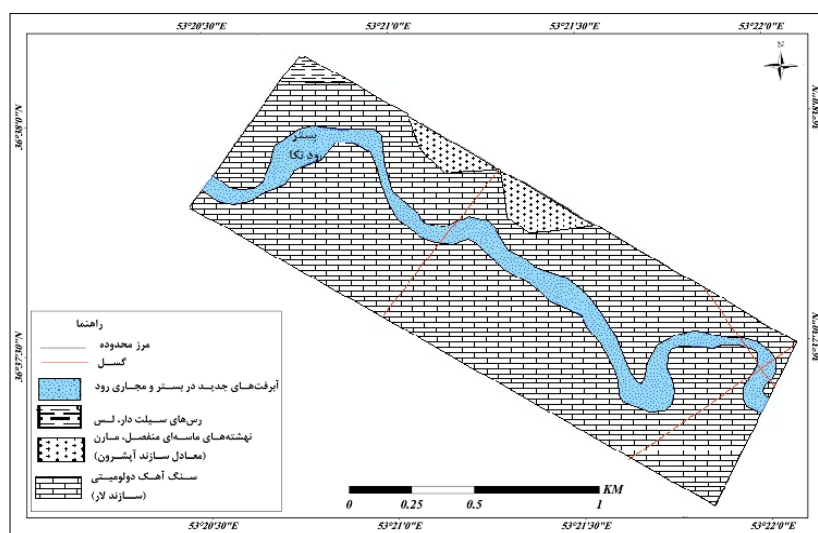
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از بستر اصلی رودخانه نکا در جنوب شهر نکا و به طول تقریبی ۳ کیلومتر است (شکل ۲). بازه مورد مطالعه و سایت‌های نمونه‌گیری در این تحقیق در بالارود از مختصات $36^{\circ}37'24''$ عرض شمالی و $53^{\circ}21'52''$ طول شرقی شروع و انتهای آن به سد انحرافی آبلو و محل خروج رود از کوهستان و ورود به دشت ختم می‌شود. حوضه آبریز نکا رود حوضه‌ای کشیده با مساحتی بالغ بر 1903 کیلومترمربع تا محل ایستگاه آبلو است. ارتفاع بلندترین نقطه حوضه 3802 متر و پست‌ترین محل حوضه در نقطه خروجی حدود 43 متر و در محل اتصال به دریای خزر 20 - متر می‌باشد. حدود 61 درصد حوضه در محدوده استان مازندران و 39 درصد آن در محدوده استان گلستان واقع شده است.



شکل ۲. موقعیت حوضه آبریز نکا رود و بخش مورد مطالعه در این تحقیق

رودخانه نکا به‌عنوان مهم‌ترین زهکش این حوضه از ارتفاعات شاهکوه در جنوب گرگان سرچشمه گرفته و شاخه‌های اولیه آن به نام‌های چهارباغ و شاهکوه بهم پیوسته و پس از دریافت دو شاخه دیگر به نام‌های رادکان و گلدین دره در جنوب شرق آبادی رادکان، رودخانه نکا را به وجود می‌آورد. غیر از شاخه‌های مذکور رودهای لکشا، کیاسر، تسکارود، رینو، باریک آب، شمشیر بر، سنکروچ، شلیرود و نیز رودآب به نکارود وصل می‌شوند. این رود پس از گذر از مرکز شهر نکا در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. نکا رود در بخش کوهستانی دارای روند شرقی - غربی و سپس در نزدیک شهر نکا و محلی به نام آبلو جهت جریان آن از جنوب به شمال تغییر می‌کند. طول رودخانه تا ایستگاه آبلو حدود 150 کیلومتر دارای جریان دائمی است. رژیم این رودخانه در سراب برفی - بارانی و در میانه و پایاب بارانی - برفی تا

بارانی است و به‌طور کلی سیلاب‌ها در رودخانه نکا در اثر وقوع بارندگی جریان می‌یابند. دبی سالیانه نکا رود ۱۵۴ میلیون متر مکعب و رسوب سالیانه آن نیز ۰/۴۲۲ میلیون تن می‌باشد (عمادالدین، ۱۳۹۲: ۶۹). بستر رود نکا در بالادست گراولی و به سوی پایین دست ماسه‌ای و سیلتی می‌شود. حوضه آبریز رودخانه نکا در بخش شمالی زون البرز مرکزی با ساختمان‌های زمین‌شناسی و لیتولوژیکی دارای روند شرق به غرب و محدود به دو گسل مهم لرزه‌زای مازندران و شمال البرز است (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۰۰۳). رودخانه نکا نیز از روند زمین ساخت حاکم تبعیت می‌کند به گونه‌ای که این رودخانه از نوع آبراهه‌های Subsequent و سرشاخه‌های آن از نوع Consequent می‌باشد (صفایی، ۱۳۷۶: ۹). نکا رود در مسیر خود از بالادست ابتدا از شیست‌های گرگان، سنگ آهک دولومیتی، سنگ آهک ضخیم لایه کرتاسه و سازند لار با سنگ‌شناسی آهک دولومیتی عبور کرده و پس از عبور از دشت ساحلی به دریای خزر می‌ریزد (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

۳. مواد و روش‌ها

روش انجام این تحقیق روشی تاریخی- تجربی (آزمایشگاهی- پیمایشی و تحلیلی) است و طی مراحل زیر انجام شده است:

ابتدا پس از جمع‌آوری اطلاعات نوشتاری، داده‌های آماری و فرم‌های رقومی و پیمایش مقدماتی از منطقه، داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای آب رودخانه نکا در ایستگاه هیدرومتری آبلو تجزیه و تحلیل شد و هم‌چنین نقشه‌های پایه مورد نیاز

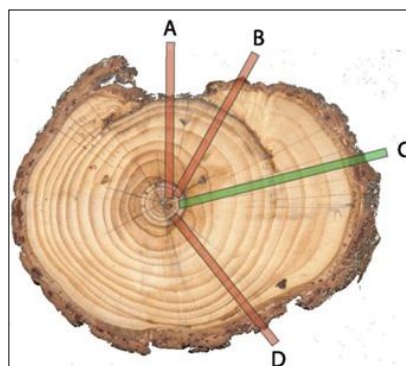
و نقشه ژئومورفولوژی با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورق ساری، تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاع (DEM) تولیدی از تصاویر راداری سنجنده ALOS در باند L با دقت ۱۲ متر تهیه شد.

روش نمونه‌برداری در این تحقیق به صورت انتخابی و از نوع مکانی بر مبنای موقعیت ژئومورفولوژیکی درخت بوده و پس از تهیه نقشه ژئومورفولوژی بستر رودخانه، درختانی برای نمونه‌گیری انتخاب شدند که به‌طور واضح ناهنجاری‌هایی را در مورفولوژی خود در ارتباط با فرایند سیل نشان داده‌اند. سپس از تنه درختان زخم‌خورده به صورت مغزی و با استفاده از مته رویش‌سنج^۱ (با قطر ۰/۵ سانتی‌متر) تعداد ۱۸ نمونه برداشت شد تا سال‌های سیلابی گذشته از طریق این زخم‌ها بازسازی گردد. در حین نمونه‌برداری برای هر درختی که مورد نمونه‌برداری قرار گرفت شناسنامه‌ای تهیه شد و تمام اطلاعات مربوط به نمونه شامل شماره نمونه، نوع درخت، ارتفاع درخت، قطر درخت در محل نمونه‌برداری، ارتفاع حد بالای زخم درخت و مواردی دیگر برداشت گردید. لازم به ذکر است که نمونه‌های مغزه باید تا مرکز درخت برداشت شود و تعیین بهترین موقعیت نمونه‌گیری در عمل می‌تواند مشکل باشد و زمان نمونه‌گیری از درختان زخمی باید توجه ویژه‌ای به موقعیت نمونه‌برداری معطوف گردد. در توضیح بیشتر همانگونه که در شکل (۴) دیده می‌شود، نمونه‌های برداشت شده در کنار زخم‌خوردگی (A) یا از بافت پینه‌ای با رشد زیاد (B) و نیز لبه‌های نزدیک به زخم‌ها، داده‌ها و رکوردهای ناقصی از حلقه‌های درخت ارائه می‌دهند. نمونه (C) نمونه مناسبی است و فقط مغزی‌های استخراج شده از نزدیک زخم، جایی که بافت پینه‌ای با رشد زیاد و ردیف‌های مماسی از کانال‌های صمغی زخمی (TRD^۲) وجود دارد منجر به تاریخ‌گذاری درست می‌شود. نمونه (D) مغزی برداشت شده خیلی دور از زخم خوردگی می‌باشد و هیچ نشانه‌ای از رخداد آشفستگی را نشان نمی‌دهد و بنابراین مانع تاریخ‌گذاری درست است.

علاوه بر درختان آسیب‌دیده در محل، لازم است تا از درختان غیر آشفته و سالم موجود در منطقه نمونه‌هایی به‌عنوان نمونه مرجع برداشت شود. نمونه‌های مرجع که ارائه دهنده شرایط رشد در محل مطالعه است باید از درختانی که فاقد وجود هر گونه نشانه آشکار از زخم‌خوردگی، کج‌شدگی، بیرون‌زدگی ریشه و یا بیماری و نیز از قدیمی‌ترین درختان برداشت شوند. از این درختان نیز در ارتفاع سینه (تقریباً ۱۳۰ سانتی‌متر) و عمود بر شیب نمونه‌های مغزی برداشت شد و اطلاعات آن‌ها نیز در برگ شناسنامه مربوط به خود ثبت گردید. این نمونه‌ها نیز مانند نمونه‌های آسیب‌دیده مراحل آماده‌سازی و آنالیز را طی و داده‌های بدست آمده به‌عنوان کرونولوژی مرجع برای تطابق زمانی با داده‌های درختان آسیب‌دیده استفاده شد.

1 Increment Corer

2 Tangential Rows of Traumatic Resin Ducts



شکل ۴. موقعیت درست استخراج نمونه مغزه از درختان زخم خورده. (استوفل و بولشویبر، ۲۰۰۸: ۱۹۳).

پس از انجام نمونه‌گیری نمونه‌های مغزی برداشت شده بر روی چوب‌های نگه دارنده ثابت شد تا تارهای چوبی بر روی چوب نگه دارنده چسبیده و آنالیزهای مقاطع عرضی را امکان‌پذیر سازند. سپس همه نمونه‌ها در معرض هوای آزاد قرار داده شد تا خشک گردند و به‌منظور وضوح تشخیص حلقه‌ها و شمارش تعداد و اندازه‌گیری عرض آن‌ها سطح نمونه‌ها توسط اسکالپل^۱ و تیغ‌های مخصوص برش داده و صاف شدند. البته چون نمونه‌های این تحقیق همه از درختان سپیدار بوده و این درختان پراکنده آوند می‌باشند لذا در این نمونه‌ها با سمباده خوردن کار تشخیص و اندازه‌گیری عرض حلقه‌ها بسیار سخت گردید و سطح نمونه‌ها فقط با تیغ‌های مخصوص و اسکالپل صاف گردیده است. در نهایت پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، تعداد حلقه‌های درخت و همچنین عرض حلقه‌ها با استفاده از میز دیجیتالی LINTAB که متصل به استریومیکروسکوپ^۲ و نیز برنامه نرم‌افزاری TSAPWIN است، نمونه‌ها با بزرگ‌نمایی ۲۵ و دقت ۰/۰۱ میلی‌متر شمارش و اندازه‌گیری شد. با استفاده از این برنامه حلقه‌های درخت دسته‌بندی و منحنی رشدی نمونه‌ها ترسیم شد و مورد تحلیل قرار گرفتند و بر طبق سال زخم‌خوردگی درخت سال رخداد سیلاب بازسازی گردید و نتایج حاصله از مطالعات گاه‌شناسی درختی با نتایج بدست آمده از تحلیل داده‌های ایستگاهی مقایسه و ارتباط بین آن‌ها برقرار شد. همچنین با استفاده از ارتفاع حد بالای زخم درخت و مقاطع عرضی نقشه‌برداری شده از بستر رودخانه سطح سیلاب‌های بازسازی شده تخمین زده شد.

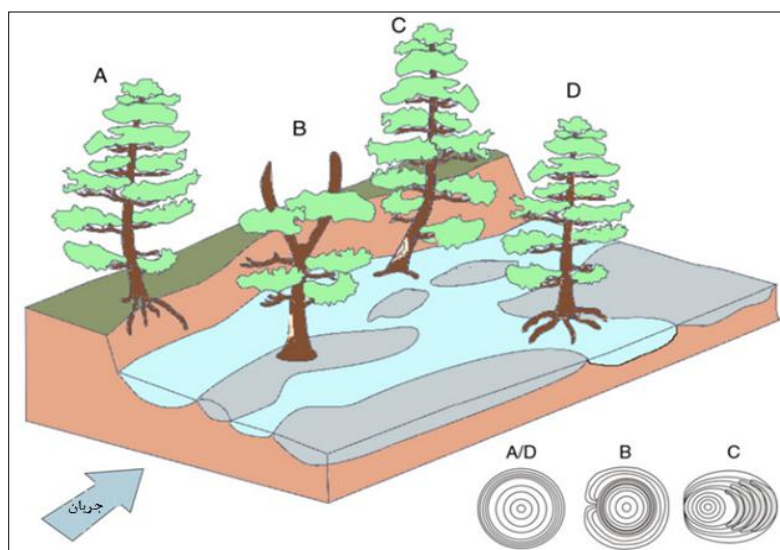
1 Scalpel

2 Leica Stereomicroscop

۴. بحث و نتایج

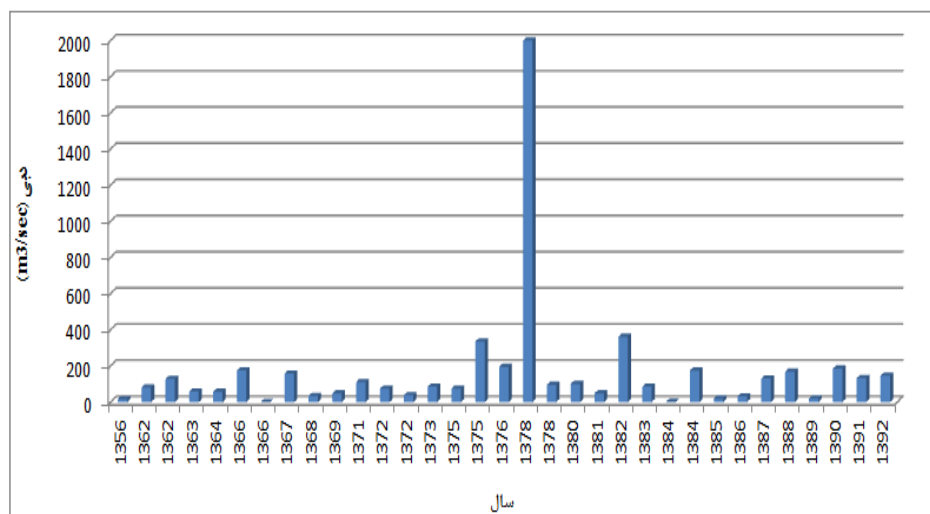
سیلاب به‌عنوان یک فرایند ژئومورفیک رودخانه‌ای بر روی مورفولوژی درختان اثر می‌گذارد و منجر به پاسخ‌های رشدی متفاوتی در سری‌های حلقه درخت می‌شود. درختان کج‌شده و زخم‌خورده یکی از رایج‌ترین انواع شواهد دندروژئومورفولوژیکی رخدادهای سیلابی گذشته در کناره رودخانه‌ها هستند (شکل ۵)، که به‌طور گسترده‌ای برای تاریخ‌گذاری و بازسازی رخدادهای ژئومورفیک گذشته از طریق مطالعه و تشخیص چوب واکنشی در رکورد پیوسته حلقه درخت استفاده شده‌اند (دیزه‌رو و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۱۷). همچنین واریزه‌ها در آب‌های جاری، سنگ‌های بزرگ و تخته سنگ‌ها، جریان‌های واریزه و غیره ممکن است سبب سر بریدن یا حذف شاخه‌های درختان شود (شکل ۵). درختان واکنش شدیدی را به سر بریدن یا از بین رفتن شاخه‌ها با توقف مشخص رشد شعاعی در سال‌های متعاقب با اثر رخداد نشان می‌دهند سپس یک یا چند شاخه جانبی جایگزین تاج شکسته می‌شوند که منجر به نوعی از مورفولوژی درخت به نام رشد "کاندلابرای" می‌شود. آشفتگی رشدی چنین آسیب‌های بیرونی به تاریخ‌گذاری دقیق سیلاب با دقت سالانه و یا حتی فصلی امکان می‌دهد. همچنین از ارتفاع زخم‌های درخت می‌توان به‌عنوان شاخص پالئواستیج برای تخمین دبی سیلاب استفاده کرد (دیزه‌رو و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۱۲).

قبل از بررسی و تحلیل داده‌های دندروژئومورفولوژی نگاهی به داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه نکا انداخته تا بتوان ارتباط بین سیلاب‌های بازسازی شده را با حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه برقرار کرد. بر این اساس در شکل (۶) داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه نکا در ایستگاه آبلو از سال ۱۳۵۶ تا سال ۱۳۹۲ ارائه شده است. با توجه شکل (۶) حداکثر دبی ثبت شده در طی این دوره آماری مربوط به سیل تاریخی نکا با دبی ایستگاهی ۲۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه در تاریخ ۱۳۷۸/۵/۴ است که خسارات جانی و مالی زیادی را به شهر نکا و روستاهای حاشیه رودخانه وارد کرده و اثرات ژئومورفولوژیکی قابل توجهی را در بستر رود نکا بر جای گذاشته است. پس از آن دبی‌های ۳۶۱، ۳۳۵ و ۳۲۳/۵ متر مکعب بر ثانیه به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۷۵ و ۱۳۶۶ قرار دارند و کمترین میزان دبی حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در طی این دوره آماری مربوط به سال ۱۳۸۴ و به میزان ۱/۴ متر مکعب بر ثانیه است. بیشتر این سیلاب‌ها در فصل پاییز و بزرگ‌ترین آن‌ها نیز در مردادماه رخ داده است.



شکل ۵. شواهد غالب دندروژنومورفولوژیکی درختان تأثیر پذیرفته از سیلاب‌ها و پاسخ‌های مرتبط در ساختار سلول‌ها و عرض حلقه‌های درختی: (A/D) برونزدگی ریشه؛ (B) سر بریدن درخت و رشد کاندلا برای آن؛ (C) کج‌شدگی ساقه؛ (B/C) زخم شدن ساقه‌ها (ویلانووا و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۸۵).

حال به منظور مطالعه رابطه دبی‌های ثبت شده ایستگاهی با حلقه‌های درختان منطقه و همچنین بازسازی فراوانی رخداد‌های سیلابی ثبت نشده در ایستگاه تعداد ۱۸ نمونه مغزه از درختان سپیدار زخم‌خورده حاشیه بستر رود نکا برداشت شد که داده‌های مربوط به آن در جدول (۱) ارائه شده موقیعت نمونه‌های برداشت شده ۱ در محدوده مطالعاتی نیز در شکل (۷) نمایش داده شده است. تمام نمونه‌های گرفته شده در این مطالعه از درختان سپیدار یعنی از گونه‌ای که در کل حاشیه بستر و بر روی پادگانه‌های آبرفتی و حتی سیلاب دشت رشد یافته بود برداشت شدند. در بازدیدهای میدانی از منطقه دیده شد که هر جا سیلاب گونه‌های قبلی را ریشه کن کرده درختان سپیدار جایگزین شده و رشد کرده‌اند، بنابراین می‌توان این درختان را در این محل به عنوان شاهدهی از مرز سیلاب دشت در نظر گرفت. هر چند که آوندهای چوبی این درختان که تشخیص مرز حلقه‌های سالانه بر طبق آن‌ها صورت می‌گیرد بسیار پراکنده بوده و این ویژگی کار تشخیص حلقه‌های سالانه و اندازه‌گیری عرض آن‌ها را بسیار سخت کرده است. به همین علت تعداد حلقه‌ها در هر کدام از این نمونه‌ها چندین بار در آزمایشگاه مورد بررسی و شمارش قرار گرفتند تا تشخیص حلقه‌ها و اندازه‌گیری عرض آن‌ها با دقت بیشتری انجام گیرد.



شکل ۶. حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری آبلو (سازمان مرکز تحقیقات منابع آب- تماب).

جدول ۱. موقعیت نمونه درختان زخم‌خورده حاشیه بستر رودخانه نکا و اطلاعات حاصل از تحلیل نمودار روند رشد

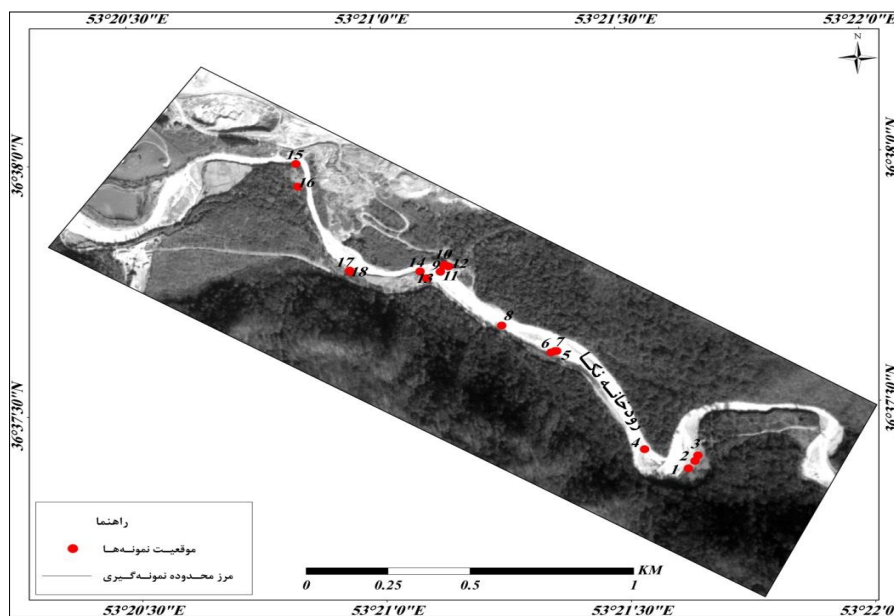
حلقه‌های آن‌ها.

شماره نمونه	موقعیت جغرافیایی	گونه	قطر درخت (cm)	ارتفاع حد بالای زخم (cm)	سن و سال رشد درخت	سیلاب مؤثر در رشد	سال زخم خوردگی و سیلاب عامل آن	دبی سیلاب عامل زخم (m³/sec)	سال ترمیم زخم
۱	N۴۰۵۶۵۸ E۷۱۱۰۸۳	سپیدار	۴۰	۹۳	۲۰ (۱۹۹۶)	۱۹۹۶	۱۹۹۹ (۱۳۷۸/۵/۴)	۲۰۰۰	۲۰۱۲
۲	N۴۰۵۶۳۷۶ E۷۱۰۳۳۱	سپیدار	۱۵	۸۰	۲۰ (۱۹۹۶)	۱۹۹۶ ۱۹۹۹	۲۰۰۳ (۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۱۳ (۱۳۹۲/۹/۱۳)	۳۶۱ ۱۴۵/۵	۲۰۰۸ ---
۳	N۴۰۵۶۷۸ E۷۱۱۰۹۲	سپیدار	۲۰	۱۰۰	۱۸ (۱۹۹۸)	۱۹۹۹	۲۰۰۸ (۱۳۸۷/۱۱/۲۴)	۱۳۰	---
۴	N۴۰۵۶۳۵۸ E۷۱۰۲۴۴	سپیدار	۲۳	۱۶۵	۱۸ (۱۹۹۸)	۱۹۹۹	۲۰۰۳ (۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۱۲ (۱۳۹۱/۷/۲۷)	۳۶۱ ۱۳۳	۲۰۰۶ ---
۵	N۴۰۵۶۰۶۴ E۷۱۰۶۶۱	سپیدار	۳۰	۸۰	۱۴ (۲۰۰۲)	۲۰۰۳	۲۰۰۸ (۱۳۸۷/۱۱/۲۴)	۱۳۰	۲۰۱۰
۶	N۴۰۵۶۳۸۲ E۷۱۰۳۱۸	سپیدار	۳۰	۱۶۵	۱۴ (۲۰۰۲)	۲۰۰۳	۲۰۰۸ (۱۳۸۷/۱۱/۲۴)	۱۳۰	۲۰۱۳
۷	N۴۰۵۶۳۵۵ E۷۱۰۰۳۳	سپیدار	۱۰	۸۰	۱۲ (۲۰۰۴)	۲۰۰۹	۲۰۱۱ (۱۳۹۰/۷/۳۰)	۱۸۵	---

ادامه جدول ۱.

شماره نمونه	موقعیت جغرافیایی	گونه	قطر درخت (cm)	ارتفاع حد بالای زخم (cm)	سن و سال رشد درخت	سیلاب مؤثر در رشد	سال زخم خوردگی و سیلاب عامل آن	دبی سیلاب عامل زخم (m ³ /sec)	سال ترمیم زخم
۸	N۴۰۵۶۳۶۱ E۷۱۰۰۲۹	سپیدار	۱۲	۲۱۰	۱۲ (۲۰۰۴)	۲۰۰۹	(۱۳۹۰/۷/۳۰)۲۰۱۱	۱۸۵	---
۹	N۴۰۵۶۰۵۹ E۷۱۰۰۶۴۴	سپیدار	۳۰	۶۰	۱۲ (۲۰۰۴)	۲۰۱۴	(۱۳۸۴/۸/۱۸)۲۰۰۵	۱۷۴	۲۰۱۴
۱۰	N۴۰۵۶۳۵۷ E۷۱۰۰۳۰۶	سپیدار	۱۷	۲۱۵	۱۱ (۲۰۰۵)	۲۰۱۴	(۱۳۸۷/۱۲/۴)۲۰۰۹	۱۶۹	۲۰۱۳
۱۱	N۴۰۵۶۰۶۴ E۷۱۰۰۶۵۶	سپیدار	۱۸	۱۱۰	۱۷ (۱۹۹۹)	۱۹۹۹	(۱۳۸۴/۸/۱۸)۲۰۰۵	۱۷۴	۲۰۱۴
۱۲	N۴۰۵۵۶۳۰ E۷۱۱۰۰۶۳	سپیدار	۳۵	۱۴۴	۲۴ (۱۹۹۲)	۱۹۹۶	(۱۳۷۸/۵/۴)۱۹۹۹	۲۰۰۰	---
۱۳	N۴۰۵۵۷۰۱ E۷۱۰۰۹۲۹	سپیدار	۱۶	۸۰	۱۳ (۲۰۰۳)	۲۰۰۳	(۱۳۸۷/۱۱/۲۴)۲۰۰۸	۱۳۰	۲۰۱۲
۱۴	N۴۰۵۶۱۵۸ E۷۱۰۰۴۹۳	سپیدار	۳۵	۱۱۰	۲۳ (۱۹۹۳)	۲۰۰۳ ۱۹۹۹	(۱۳۸۷/۱۱/۲۴)۲۰۰۸	۳۶۱	---
۱۵	N۴۰۵۶۳۷۹ E۷۱۰۰۳۱۶	سپیدار	۳۰	۹۰	۲۸ (۱۹۸۸)	۲۰۰۸ ۲۰۱۳	(۱۳۷۸/۵/۴)۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۸
۱۶	N۴۰۵۶۳۳۳ E۷۱۰۰۲۶۳	سپیدار	۷۵	۲۷۰	۸۱ (۱۹۳۵)	۱۹۹۹	۱۹۴۱ ۱۹۵۵ (۱۳۸۲/۳/۴)۲۰۰۳	۴۲۷/۳۷ ---	۱۹۴۵ ۱۹۹۷
۱۷	N۴۰۵۶۷۵۵ E۷۰۹۸۶۵	سپیدار	۱۸	۱۶۰	۱۵ (۲۰۰۱)	۲۰۰۳	(۱۳۸۴/۸/۱۸)۲۰۰۵	۱۷۴	۲۰۰۹
۱۸	N۴۰۵۶۶۷۱ E۷۰۹۸۷۱	سپیدار	۴۰	۲۵۰	۱۹ (۱۹۹۷)	۲۰۰۸	(۱۳۷۸/۵/۴)۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۶

قابل توجه است که ارتفاع حد بالایی زخم درختان از سطح زمین به نوعی بیانگر ارتفاع سیل و قدرت آن در محل رشد درخت می باشد. و نشان دهنده آن است که سیلاب تنه های قطع شده درختان را حمل و سبب زخم خوردگی درختان حاشیه و کف بستر شده است. پس این زخم ها نشان دهنده عمق های جریان در دبی های اوج است و با توجه به ارتفاع زخم در درخت می توان به عمق جریان پی برد.



شکل ۷. موقعیت نمونه‌های گرفته شده از درختان زخم‌خورده به منظور بازسازی فراوانی رخدادهای سیلابی.

در این مطالعه سال زخم‌خوردگی درختان (جدول ۱) بر طبق کاهش ناگهانی در روند رشد حلقه درخت و تغییر در الگوی رشد آن‌ها مشخص شد و بازسازی بر اساس تطابق زمانی زخم‌های درختان کناره‌های آبراهه با دبی‌های ایستگاهی ثبت شده انجام گرفت. این زخم‌خوردگی بر روی درختان زمانی شکل می‌گیرد که کنده‌های در حال حمل در حین دبی‌های اوج سیلاب برخلاف جهت جریان قرار گیرند یا بر درختان حاشیه مجرا اثر بگذارند. حمل کنده و واریزه‌های چوبی غالباً هنگامی که هیدروگراف سیلاب بالا باشد رخ می‌دهد. چوب و کنده حمل شده در طول سیلاب‌ها زخم‌های سایشی فراوانی را بر روی درختان حواشی مجرا بر جای می‌گذارد، پس اطلاعات سیلاب از طریق زخم‌ها بر روی درختان حاشیه مجرای رودخانه حفظ می‌شود. مطالعه دندروژئومورفیکی این زخم‌ها اطلاعات با ارزشی از سیلاب‌هایی به دست می‌دهد که یا قبل از استقرار ایستگاه اندازه‌گیری در محل رخ داده‌اند و یا اینکه ایستگاه اندازه‌گیری در حین سیلاب تخریب شده و دبی آن توسط ایستگاه ثبت نشده است. هم‌چنین طول رکورد بدست آمده از طریق دندروکرونولوژی بستگی به طول عمر درختان کناره و مقاومت سطوح سیلاب دشتی دارد.

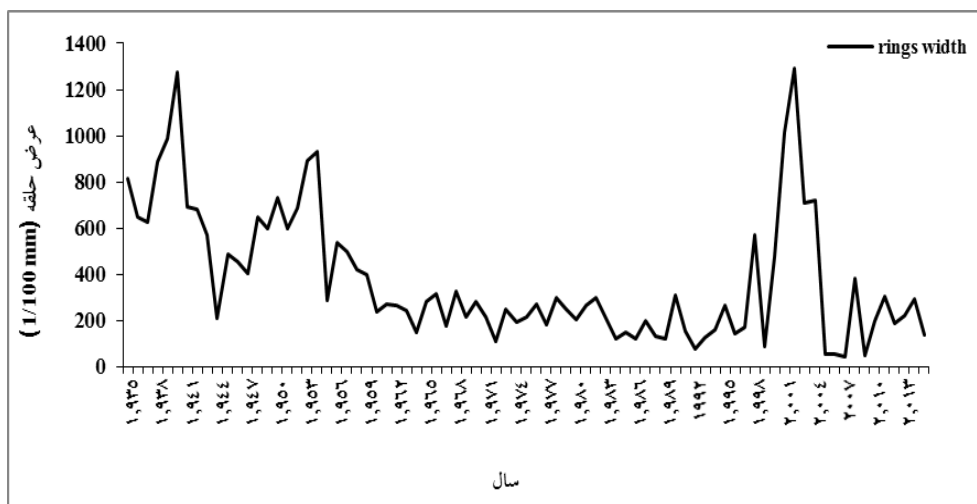
بر طبق نتایج حاصل از تحلیل‌های دندروژئومورفولوژیکی و با توجه به جدول (۱) می‌توان گفت که بیشترین تعداد زخم‌ها به ترتیب از سیلاب سال‌های ۲۰۰۸ با دبی پیک ۱۳۰ متر مکعب بر ثانیه و ۱۹۹۹ با دبی پیک ۲۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه منشأ گرفته‌اند. این دو سیلاب دارای بیشترین رکورد ثبت شده در حلقه‌های درختان محدوده مطالعاتی هستند. علاوه

بر این سیل سال ۱۹۹۹ و نیز سیل سال ۲۰۰۳ با دبی پیک ۳۶۱ متر مکعب بر ثانیه بیشترین تأثیر را بر روند رشد درختان حاشیه بستر داشته‌اند، به گونه‌ای که علاوه بر تأثیری که این سیلاب‌ها در برخی درختان به صورت زخم خوردگی بر جای گذاشته، سبب کاهش ناگهانی رشد در آن‌ها شده‌اند. این سیلاب‌ها با نقشی که در برخی نقاط بستر رود از طریق رسوب‌گذاری ایفا کرده‌اند توانسته‌اند سبب افزایش و بهبود رشد در برخی دیگر از درختان حاشیه بستر شوند و علاوه بر نقش منفی که از طریق زخم خوردگی در برخی درختان به جای گذاشته‌اند در برخی دیگر نقش مثبت را در رشد ایفا کرده‌اند. بالاترین ارتفاع زخم خوردگی در نمونه شماره ۱۶ و با ۲۷۰ سانتی‌متر ارتفاع حد بالایی زخم و سال رشد ۱۹۳۵ (۱۳۱۴) است. این درخت مسن‌ترین و قدیمی‌ترین درخت در میان تمام نمونه‌های گرفته شده در این رساله با سن ۸۱ سال می‌باشد و بعد از آن نمونه شماره ۱۸ با سن ۱۹ سال و ارتفاع حد بالایی زخم آن ۲۵۰ سانتی‌متر است که این ارتفاع‌ها نشان دهنده بالابودن سطح این سیلاب‌ها می‌باشد.

هم‌چنین در این مطالعه سال‌های سیلابی بازسازی شده از طریق حلقه‌های درخت با داده‌های دبی پیک ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری آبلو مقایسه و انطباق داده شد و در همه موارد سال‌های بازسازی شده با داده‌های ایستگاهی انطباق و همخوانی داشت. لازم به ذکر است که داده‌های ایستگاه هیدرومتری این منطقه از سال آبی ۵۶-۱۳۵۵ (۷۷-۱۹۷۶) موجود می‌باشد هر چند که در برخی سال‌ها این داده‌ها ثبت نشده‌اند. علاوه بر این در این مطالعه دو سیلاب دیگر در حوضه نکا رود بازسازی گردید که مربوط به قبل از تأسیس ایستگاه هیدرومتری بوده و با توجه به شواهد پالئوستیج و نشانه‌های ارتفاع آب (HWMS) یادگار سیلاب‌های بسیار بزرگی بوده‌اند. این سیلاب‌ها از طریق حلقه‌های درختی نمونه شماره ۱۶ که مسن‌ترین درخت در میان نمونه‌های گرفته شده است بازسازی شدند و سال‌های رخداد آن‌ها بر طبق تغییرات روند رشد در حلقه‌های درخت برابر با سال‌های ۱۹۴۱ و ۱۹۵۵ می‌باشد. این سیلاب‌ها زخم بزرگی را با ارتفاع حد بالایی زخم به طول ۲۷۰ سانتی‌متر از سطح زمین بر روی ساقه درخت بر جای نهاده‌اند (شکل ۸ و ۹).



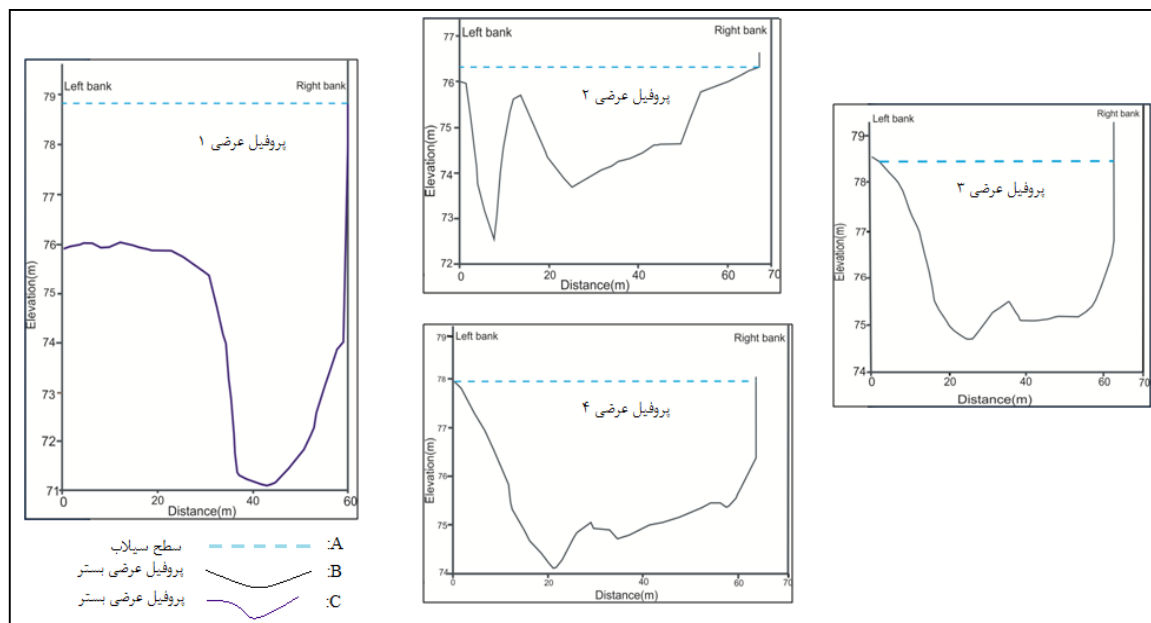
شکل ۸. درخت نمونه شماره ۱۶ با سن ۸۱ سال مسن‌ترین درخت مورد نمونه‌برداری در این مطالعه است. بر طبق روند رشد حلقه‌های مغزی گرفته شده از محل زخم این درخت، دو سیلاب در سال‌های ۱۹۴۱ و ۱۹۵۵ بازسازی شد.



شکل ۹. روند رشد در عرض حلقه‌های نمونه زخم‌خورده شماره ۱۶. بر طبق روند رشد سه تغییر ناگهانی در رشد عرض حلقه‌ها دیده می‌شود که به علت زخم‌خوردگی درخت در جریان سیلاب‌هایی در همان سال‌ها است.

با توجه به شکل (۹)، این نمونه از درخت سپیداری (شکل ۸)، با سن ۸۱ سال و سال رشد ۱۹۳۵ (۱۳۱۴) برداشت شده و بر روی پادگانه آبرفتی در بخش کوژ مئاندر قرار گرفته است و قدیمی‌ترین درخت در میان نمونه‌های برداشت شده در این مطالعه است. بر طبق نمودار رشد (شکل ۹)، این درخت از شروع رشد تا سال ۱۹۴۰ دارای رشد نرمال با افزایش در عرض حلقه‌ها بوده است؛ اما از سال ۱۹۴۱ اولین دوره کاهش رشد در این درخت مشاهده می‌شود که احتمالاً این کاهش در ارتباط با زخم خوردگی درخت باشد زخمی که درخت توانسته آن را تا سال ۱۹۴۵ ترمیم نماید و از این سال به بعد مجدداً رشد افزایش یافته است؛ اما در سال ۱۹۵۵ (۱۳۳۴) اختلال رشدی دیگری در نمودار رشد این درخت مشاهده می‌گردد که بی‌شک این اختلال رشدی مربوط به زخم خوردگی بزرگ روی تنه درخت در جریان سیلابی عظیم می‌باشد که به علت عدم وجود ایستگاه اندازه‌گیری و داده‌های ایستگاهی برای این سال‌ها نمی‌توان سال رخداد این اختلال و کاهش رشد را با داده‌های ایستگاهی تطبیق داد. این روند کاهش هم‌چنان تا سال ۱۹۹۷ ادامه دارد و در این سال‌ها احتمالاً به دلیل توانایی درخت در ترمیم زخم، روند رشد درخت رو به افزایش نهاده است؛ اما در سال ۱۹۹۹ به علت سیل $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ ابتدا رشد درخت در همان سال کاهش یافته که این احتمالاً به علت حالت غرقاب شدگی درخت و حجم بالای رسوب آب باشد؛ اما از سال ۲۰۰۰ روند رشد مجدداً افزایش یافته که این افزایش علاوه بر فراهم شدن مواد مغذی رشد درخت در جریان سیلاب سال ۱۹۹۹ می‌تواند در نتیجه از بین رفتن تعدادی از درختان همسایه و مجاور این درخت باشد که سبب شده تا فضای زیستی بیشتر و رقابت کمتری برای رشد درخت فراهم گردد تا اینکه در سال ۲۰۰۳ اختلال رشدی دیگری در رشد درخت رخ می‌دهد و این اختلال در ارتباط با سیل با دبی پیک $361 \text{ m}^3/\text{sec}$ در سال (۱۳۸۲) و زخم خوردگی درخت در جریان این سیل می‌باشد و سومین دوره کاهش رشد را در این نمودار رشدی به وجود آورده است. همچنین لازم به ذکر است که علاوه بر زخم خوردگی، بخشی از این کاهش رشد در سال‌های اخیر در درخت می‌تواند ناشی از روند کلی رشد در درختان سپیدار باشد زیرا این درختان به‌طور متوسط عمری حدود ۸۰ تا ۹۰ سال دارند.

هم‌چنین در این مطالعه به‌منظور تعیین سطح سیلاب و به دست آوردن دبی‌های پیک پائوسیلاب‌ها در تنه‌های درختی با چندین زخم در ارتفاع‌های مختلف، بالاترین نقطه از بالاترین زخم به‌عنوان تخمینی برای دبی اوج در نظر گرفته شد تا دبی مرتبط با بزرگ‌ترین سیلاب رخ داده در رودخانه بر پایه ارتفاع زخم‌ها به دست آید؛ بنابراین در این مطالعه برای محاسبه دبی سیلاب‌هایی که آثار آن در زخم‌های درختان و مورفولوژی بستر رود قابل تشخیص است چهار مقطع عرضی (شکل ۱۰) از بستر اصلی رودخانه نکا نقشه‌برداری شد تا ارتفاع سیل بر مبنای زخم‌های تنه درختان برآورد گردد. سپس پارامترهای مساحت، محیط و شیب و ضریب زبری بستر در آن‌ها تعیین و دبی سیلاب‌ها محاسبه گردید.



شکل ۱۰. پروفیل‌های عرضی بستر نکارود. پروفیل ۱ بیانگر سطح سیلاب بر طبق زخم با ارتفاع ۲۷۰ cm از سطح زمین؛ پروفیل‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه دهنده سطح سیلاب در پادگانه واقع در زیر درختان زخم‌خورده بر اثر سیلاب.

با توجه به پروفیل‌های عرضی، در پروفیل ۱ سطح سیلاب از روی زخم‌خوردگی درخت نمونه شماره ۱۶ با ارتفاع حد بالای زخم از سطح زمین (۲۷۰ cm) محاسبه شد که مقدار دبی این سیلاب $4277/37 \text{ m}^3/\text{sec}$ برآورد گردید که بزرگترین دبی سیلابی نکارود در طی صد سال گذشته است. همچنین در پروفیل‌های شماره ۲، ۳ و ۴ که بر اساس حد نهایی گسترش درختان زخم‌خورده بر روی سطح پادگانه آبرفتی نقشه‌برداری و ترسیم شده‌اند سطح سیلاب آن‌ها به ترتیب مقادیر $1057/48 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، $1975/46 \text{ m}^3/\text{sec}$ و $2021/05 \text{ m}^3/\text{sec}$ برآورد گردید و این دبی‌ها بسیار بیشتر از دبی‌های سیلابی ثبت شده در ایستگاه آبلو است.

با توجه به دبی‌های تخمینی می‌توان گفت که دبی‌های سیلابی و پیک رودخانه نکا بسیار بیشتر از دبی‌های ایستگاهی این رودخانه بوده و ارتفاع زخم‌های موجود در تنه درختان که شاهدی از سطح سیلاب هستند ابزار بسیار ارزشمندی برای به دست آوردن داده‌های دقیق دبی پیک سیلاب‌ها هستند.

۵. نتیجه‌گیری

تحلیل نمودارهای روند رشد در درختان زخم‌خورده در اثر سیلاب و ارتفاع حد بالای این زخم‌ها اطلاعات مفیدی را در مورد سال رخداد‌های سیلابی و حتی دبی سیلاب‌ها به دست می‌دهد. بر طبق نتایج حاصل از تحلیل‌های دندروژئومورفولوژیکی می‌توان گفت که بیشترین تعداد زخم‌ها به ترتیب از سیلاب سال‌های ۲۰۰۸ با دبی پیک ۱۳۰ متر مکعب بر ثانیه و ۱۹۹۹ با دبی پیک ۲۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه منشأ گرفته‌اند. این دو سیلاب دارای بیشترین رکورد ثبت شده در حلقه‌های درختان محدوده مطالعاتی هستند. همچنین علاوه بر سیل سال ۱۹۹۹، سیل سال ۲۰۰۳ با دبی پیک ۳۶۱ متر مکعب بر ثانیه بیشترین تأثیر را در روند رشد درختان حاشیه بستر داشته است. علاوه بر رخداد‌های سیلابی که در ایستگاه هیدرومتری آبلو ثبت شده بودند و در رکورد‌های حلقه درخت از طریق تغییر و تأثیر در روند رشد حلقه‌ها قابل تشخیص بودند، دو سیلاب دیگر در حوضه نکا رود در سال‌های ۱۹۴۱ و ۱۹۵۵ بازسازی گردید. با توجه به شواهد پالئواستیک و نشانه‌های ارتفاع آب بر جای مانده سطح این سیلاب‌ها بسیار بزرگ بوده به گونه‌ای که زخم بزرگی را به طول ۲۷۰ سانتی‌متر از سطح زمین بر روی درخت بر جای نهاده است. بر طبق ارتفاع این زخم و نیز نقشه‌برداری از مقاطع عرضی بستر رود سطح این سیلاب حدود ۴۲۷۷/۳۷ متر مکعب بر ثانیه تخمین زده شد که بزرگ‌ترین دبی سیلابی این رودخانه در طی صد سال گذشته می‌باشد. همچنین سال‌های سیلابی بازسازی شده توسط زخم درختان در هماهنگی با دبی‌های سیلابی ثبت شده توسط ایستگاه هیدرومتری آبلو بود؛ اما مقدار دبی‌های سیلابی به دست آمده در روش دندروژئومورفولوژی بیشتر از دبی‌های ایستگاهی است. از آنجا که حداکثر سن درختان نمونه گرفته شده ۸۱ سال بود و عمدتاً گونه درختی سپیدار سنی حدود ۸۰-۹۰ سال دارد به‌طور قطع اگر درختان مسن‌تری در محدوده مطالعاتی وجود داشت بازسازی سیلاب‌های قدیمی‌تر نیز در حوضه امکان‌پذیر بود. در نهایت می‌توان گفت که آنالیز حلقه‌های درختان زخم‌شده و ارتفاع زخم‌های موجود در ساقه درختان، ابزارهای بسیار ارزشمندی برای بازسازی رخداد‌های سیلابی و تخمین دبی در بستر رودخانه‌ها است.

کتابنامه

- ارسلانی، محسن؛ عزیزی، قاسم، خوش اخلاق، فرامرزی؛ ۱۳۹۱. بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره اول. صص ۹۷-۱۱۰.
- ارسلانی، محسن؛ عزیزی، قاسم؛ ۱۳۹۲. بررسی ارتباط بین شاخص نوسان جنوبی (SOI) و بارش بازسازی شده زاگرس میانی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. سال ۲۴. پیاپی ۵۱. شماره ۳. صص ۴۱-۵۴.

- ارسلانی، محسن؛ ۱۳۹۰. بازسازی تغییرات دما و بارش زاگرس میانی با استفاده از حلقه‌های درخت. پایان نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: دکتر قاسم عزیزی. دانشگاه تهران. دانشکده جغرافیا. تهران. ایران.
- بهرامی، شهرام؛ محبوبی، فاطمه؛ سدیدی، فاطمه؛ جعفری اقدم، مریم؛ ۱۳۹۰. برآورد میزان فرسایش ورقه‌ای، با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه‌های درخت در حوضه قره چای (رامیان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۵. صص ۱-۱۷.
- حسین زاده، سیدرضا؛ جهادی طرقی، مهناز؛ ۱۳۹۱. بازسازی سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه هزار با استفاده از دندروژئومورفولوژی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۲. صص ۲۹-۵۳.
- خدابخش، سعید؛ رحیمی، الهه؛ ماهفروزی، علی؛ ربیعی، بهروز؛ ۱۳۸۵. بررسی نوع رودخانه و روند ریزشوندگی رسوبات حوضه آبریز نکارود. دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت مدرس. صص ۲۰۰۲-۲۰۰۹.
- صفایی، مهرداد؛ ۱۳۷۶. بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی و کاربری زمین حوضه آبریز نکا رود. استاد راهنما: علی ارومیه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم. تهران. ایران.
- عزیزی، قاسم؛ ارسلانی، محسن؛ ارسلانی، عزت‌اله؛ صفایی راد، رضا؛ ۱۳۹۱ الف. بازسازی دمای بیشینه بهار - تابستان در ریال غربی زاگرس میانی با استفاده از یک گاه‌شناسی منطقه‌ای. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره چهارم. صص ۵۱-۶۴.
- عزیزی، قاسم؛ ارسلانی، محسن؛ یمانی، مجتبی؛ ۱۳۹۱ ب. بازسازی تغییرات بارش اکتبر تا می شهر کرمانشاه، طی دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۷۰۵ با استفاده از حلقه‌های درختی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۹. صص ۳۷-۵۳.
- عمادالدین، سمیه؛ ۱۳۹۲. بررسی تغییر سطح اساس نکا رود تحت تأثیر نوسانات سطح آب دریای خزر و زمین ساخت البرز. مجله آمایش جغرافیایی فضا. سال سوم. شماره ۱۰. صص ۶۳-۷۹.

- Alma, P., Matteo, G., Carlo, U. (2014). Structural attributes, tree-ring growth and climate sensitivity of *Pinus nigra* Arn at high altitude: common patterns of a possible tree line shift in the central Apennines (Italy). *Dendrochronologia*, 32, 210-219.
- Ballesteros, J.A., Eguibar, M., Bodoque, J.M., Gutierrez-Perez, I., Diez-Herrero, A., Stoffel, M. (2009). Combining dendrogeomorphological and topographical techniques for hydraulic modelling in mountain streams, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia, 2651-2657.
- Ballesteros, J.A., Stoffel, M., Bodoque, J.M., Bollschweiler, M., Hitz, O., Diez-Herrero, A. (2010). Changes in wood anatomy in tree rings of *pinus pinaster* ait. Following wounding by Flash floods. *Tree ring Research*, 66 (2), 93-103.
- Ballesteros, J.A., Stoffel, M., Bollschwiler, M., Bodoque, J.M., Diez-Herrero, A. (2010). Flash-flood impacts cause changes in wood anatomy of *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia* and *Quercus pyrenaica*. *Tree Physiology*, 30, 773-781.
- Ballesteros, J.A., Stoffel, M., George, S.St., Hirschboeck, K. (2015). A review of flood records from tree rings, *Progress in Physical Geography*, 1-23, DOI: 10.1177/0309133315608758.

- Ballesteros, J.A., Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Sanchez-Silva, M., Stoffel, M. (2011). Calibration of floodplain roughness and estimation of flood discharge based on tree-ring evidence and hydraulic modeling. *Journal of Hydrology*, 403, 103–115.
- Ballesteros, J.A., Díez-Herrero, A., Bodoque, J.M. (2012). Searching for useful non-systematic tree-ring data sources for flood hazard analysis using GIS tools. *Catena*, 92, 130–138.
- Ballesteros, J.A., Eguibar, M., Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Stoffel, M., Gutierrez-Perez, I. (2011). Estimating flash flood discharge in an ungauged mountain catchment with 2D hydraulic models and dendrogeomorphic palaeostage indicators. *Hydrological Processes*, 25, 970–979.
- Berault, Antoine Lucien., 2005. Using tree rings to infer annual stream discharge in the Churchill River basin. A Thesis for the Degree of Master of Science in Geography University of Regina, pp. 93.
- Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Eguibar, M.A., Benito, G., Ruiz-Villanueva, V., Ballesteros, J.A. (2014). Challenges in paleoflood hydrology applied to risk analysis in mountainous watersheds- a review. *Journal of Hydrology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.004>.
- Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Martín-Duque, J.F., Rubiales, J.M., Godfrey, A., Pedraza, J., Carrasco, R.M., Sanz, M.A. (2005). Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain., *Catena*, 64, 81–102.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Schneuwly, D. M. (2008). Dynamics in debris-flow activity on a forested cone- A case study using different dendroecological approaches. *Catena*, 72, 67–78.
- Boucher, E., Begin, Y., Arseneault, D. (2009). Impacts of recurring ice jams on channel geometry and geomorphology in a small high-boreal watershed. *Geomorphology*, 108, 273–281.
- Braam, R.R., Weiss, E.E.J., Burrough, P.A. (1987). Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology. *Catena*, 14, 573–584.
- Butler, D.R., Stoffel, M. (2013). John F. Shroder, Jr.'s 1978 and 1980 papers on dendrogeomorphology. *Progress in Physical Geography*, 1–5.
- Casteller, A., Stoffel, M., Crespo, S., Villalba, R., Corona, C., Bianchi, E. (2015). Dendrogeomorphic reconstruction of flash floods in the Patagonian Andes. *Geomorphology*, 228, 116–123.
- Chen, F., Yuan, Y.-j., Wei, W.-s., Zhang, T.-w., Shang, H.-m., Zhang, R., 2014. Precipitation
- Corona, C., Saez, J. L., Stoffel, M., Bonnefoy, M., Richard, Didier, Astrade, Laurent, Berger, Frederic. 2011. How much of the real avalanche activity can be captured with tree rings? an evaluation of classic dendrogeomorphic approaches and comparison with historical archives. *Cold Regions Science and Technology*, doi: 10.1016/j.coldregions.2012.01.003, journal homepage: www.elsevier.com/locate/coldregions.
- Daniels, M.D., 2006. Distribution and dynamics of large woody debris and organic matter in a low-energy meandering stream. *Geomorphology*, 77, 286–298.

- De Micco, V., Battipaglia, G., Cherubini, P., Aronne, G., 2014. Comparing methods to analyse anatomical features of tree rings with and without intra-annual density fluctuations (IADFs). *Dendrochronologia*, 32, 1–6.
- Diez-Herrero, A., Ballesteros, J.A., Ruiz-Villanueva, V., Bodoque, J.M., 2013. A review of dendrogeomorphological research applied to flood risk analysis in Spain. *Geomorphology*, 196, 211–220.
- Fantucci, R., Sorriso-Valvo, M., 1999. Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy). *Geomorphology*, 30, 165–174.
- Gartner, H., 2007. Tree roots-Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology* 86, 243–251.
- George, S. ST., Nielsen, E., 2002. Hydroclimatic Change in Southern Manitoba Since A.D. 1409 Inferred from Tree Rings. *Quaternary Research*, 58, 103–111.
- George, S.St, Nielsen, E., 2002. Contributions of dendrochronology to flood hazard analysis in the Red River basin Manitoba. In Report of Activities 2002, Manitoba Industry, Trade and Mines, Manitoba Geological Survey, 283–286.
- George, S.St, Nielsen, E., 2003. Palaeoflood records for the Red River, Manitoba, Canada, derived from anatomical tree-ring Signatures. *The Holocene*, 13, 4, 547–555.
- George, S.St., Nielsen, E., Conciatori, F., Tardif, J., 2002. Trends in quercus macrocarpa vessel areas and their implication for tree- ring paleoflood studies. *Tree Ring research*, 58 (1/2), 3 - 10.
- Glock, W.S., 1951. Cambial frost injuries and multiple growth layers at Lubbock, Texas. *Ecology*, 32, 28–36.
- Gottesfeld, A.S., 1996. British Columbia flood scars: maximum flood-stage indicators. *Geomorphology*, 14, 319-325.
- Gottesfeld, A.S., Johnson, L.M. (1990). Floodplain dynamics of a wandering river, dendrochronology of the Morice River, British Columbia, Canada. *Geomorphology*, 3, 159-179.
- Goudie, A.S., 2005. Encyclopedia of Geomorphology. Vo. 1, Routledge Ltd., P. 578.
- Komperod, B.A. M., 2009. The impact of climate and flooding on tree ring growth of Fraxinus pennsylvanica in north central TEXAS. Thesis for Degree of Master of Science, university of north TEXAS.
- Mei, L., Yunchao, Z., Ke Ke, W. (2011). Response of Anatomical Features of Broadleaf Tree Root in Karst Area to Soil Erosion. *Procedia Engineering*, 18, 232 – 239.
- Merigliano, M.F., Friedman, J.M., Scott, M.L. (2013). Tree ring records of variation in flow and channel geometry. *Geomorphology*, 12, 145-164.
- Mizugaki, Sh., Nakamura, F., Araya, T., 2006. Using dendrogeomorphology and ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb radiochronology to estimate recent changes in sedimentation rates in Kushiro Mire, Northern Japan, resulting from land use change and river channelization. *Catena*, 68, 25–40.
- reconstruction for the southern Altay Mountains (China) from tree rings of Siberian spruce, reveals recent wetting trend. *Dendrochronologia*, 32, 266–272.

- Shah, S.K., Bhattacharyya, A., Chaudhary, V., 2014. Streamflow reconstruction of Eastern Himalaya River, Lachen 'Chhu', North Sikkim, based on tree-ring data of *Larix griffithiana* from Zemu Glacier basin. *Dendrochronology*, 32, 97–106.
- Silhan, K., 2015. Frequency, predisposition, and triggers of floods in flysch Carpathians: regional study using dendrogeomorphic methods. *Geomorphology*, 234, 243–253.
- Stoffel, M. (2006). A Review of Studies Dealing with Tree Rings and Rockfall Activity: The Role of Dendrogeomorphology in Natural Hazard Research. *Natural Hazards*, 39, 51–70.
- Stoffel, M., 2011. Tree rings and natural hazards: principles and applications (1). *riscuri si catastrofe*, NR.X, VOL.9, no. 1, 61-72.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M. (2008). Tree-ring analysis in natural hazards research-an overview. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 8, 187–202.
- Stoffel, M., Luckman, B.H., Butler, D.R., Bollschweiler, M., 2013. Dendrogeomorphology: dating earth-surface processes with tree rings, In: Shroder, J. (Editor in Chief), Butler, D.R., Hupp, C.R. (Eds.). *Treatise on Geomorphology*, Academic Press, San Diego, CA. *Ecogeomorphology*, 12, 125–144.
- Strunk, H. (1997). Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena* 31, 137-151.
- Villanueva, V.R., Diez-Herrero, A., Stoffel, M., Bollschweiler, M., Bodoque, J.M., Ballesteros, J.A., 2010. Dendrogeomorphic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (Central Spain). *Geomorphology*, 118, 383–392.
- Villanueva, V.R., Diez-Herrero, A., Bodoque, J.M., Ballesteros, J.A., Stoffel, M. (2013). Characterisation of flash floods in small ungauged mountain basins of Central Spain using an integrated approach. *Catena*, 110, 32–43.
- Xiong, L., Okada, N., Fujiwara, T. (2000). The dendrochronological potential of ten species in the Three Gorges reservoir region of China. *IWA Journal*, 21 (2), 181–196.
- Yanosky, T. M., Jarrett, R. D., 2002. Dendrochronologic evidence for the frequency and magnitude of paleofloods, in ancient floods, modern hazards (eds P. K. House, R. H. Webb, V. R. Baker and D. R. Levish. American Geophysical Union, Washington, D. C. doi: 10.1029 /WS 005p0077.
- Zielonka, T., Holeksa, J., Ciapała, S. (2008). A reconstruction of flood events using scarred trees in the Tatra Mountains, Poland. *Dendrochronologia*, 26, 173–183.