

بازسازی فرایندهای فرسایش کاوشی و تراکمی در بستر رودخانه نکا با استفاده از دندروژئومورفولوژی

مریم قاسم نژاد - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

سید رضا حسین زاده* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

کامبیز پورطهماسی - استاد آناتومی چوب و گاهشناسی درختی، دانشگاه تهران، ایران

محمد شریفی کیا - دانشیار سنجش‌ازدور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۰۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۷/۰۶

چکیده

دندروژئومورفولوژی با استفاده از درختان به‌عنوان آرشیوهای طبیعی یا شاهدان خاموش به بازسازی فرایندهای ژئومورفولوژیکی می‌پردازد. در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، فرایندهای جریانی بر مورفولوژی درختان درون بستر و حواشی رودخانه تأثیر گذاشته و سبب زخم‌خوردگی، کج‌شدگی، شکستگی ساقه و شاخه و بیرون‌زدگی ریشه یا حتی مدفون شدن بخشی از ساقه درخت در آبرفت می‌شوند. بازسازی این تغییرات و تعیین سن رخداد این فرایندها از طریق آنالیز حلقه‌های رشدی ساقه و ریشه‌های بیرون‌زده درختان امکان‌پذیر است. هدف این تحقیق بازسازی فرایند فرسایش و آبرفت‌گذاری در حاشیه بستر رود نکا با استفاده از دندروژئومورفولوژی می‌باشد. بنابراین پس از بازدید منطقه و جمع‌آوری اطلاعات اولیه و تعیین موقعیت نمونه‌ها، تعداد ۷ نمونه ریشه و ۵۱ نمونه ساقه از درختان سپیدار حاشیه و درون بستر رودخانه برداشت شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها تعداد و عرض حلقه‌ها با استفاده از میز دیجیتالی LINTAB و برنامه نرم‌افزاری TSAPWIN با دقت ۱:۱۰۰ میلی‌متر شمارش و اندازه‌گیری شد و اولین سال برون‌زدگی ریشه و سن پادگانه‌های آبرفتی بازسازی گردید. نتایج نشان داد که سیل سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۸، ۱۹۹۹ و ۱۹۹۶ به ترتیب بیشترین نقش را در برون‌زدگی ریشه‌های این درختان داشته‌اند و از مجموع ۷ نمونه ریشه، اولین سال برون‌زدگی ریشه در ۳ مورد سال ۲۰۰۳، دو ریشه در سال ۱۹۹۹، یک ریشه در سال ۲۰۰۸ و یک ریشه در سال ۱۹۹۶ برون‌زد یافته است. همچنین از ۵۱ نمونه گرفته‌شده جهت بازسازی پادگانه‌های آبرفتی، سن ۳۴ نمونه در هماهنگی با سن پادگانه آبرفتی می‌باشد و تعداد ۷ قطعه پادگانه بازسازی و تعیین سن شد که قدیمی‌ترین آن‌ها ۳۳ سال سن دارد. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش دندروژئومورفولوژی در این منطقه روش کارآمدی برای بازسازی فرایندهای رودخانه‌ای است و علاوه بر رخداد سیلابی $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ سال ۱۹۹۹ که بیشترین تأثیرات را در ژئومورفولوژی رودخانه داشته، سیلاب‌های با دبی حدود $300 \text{ m}^3/\text{sec}$ نقش مؤثری را در ژئومورفولوژی این رود و تغییر فرایندهای فرسایشی و آبرفت‌گذاری رود دارند.

واژگان کلیدی: فرسایش کاوشی و تراکمی، آبرفت‌گذاری، دندروژئومورفولوژی، دندروکرونولوژی، رودخانه نکا

مقدمه

چوب حافظه بلندمدت تاریخ درخت است (دمیکو و همکاران^۱، ۲۰۱۴: ۱)، و دندروکرونولوژی در حقیقت استفاده از درختان به عنوان آرشیوهای طبیعی یا "شاهدان خاموش"^۲ می‌باشد (بریولت^۳، ۲۰۰۵: ۸؛ استوفل و همکاران^۴، ۲۰۱۳: ۱۲۶). دندروکرونولوژی به علم تاریخ‌گذاری حلقه‌های رویشی اطلاق شده که به مطالعه حلقه‌های رشد سالانه درختان با استفاده از اندازه‌گیری تعداد و تغییر ضخامت حلقه‌ها که به علت تغییر آب‌وهوا و تغییرات محیطی ایجاد می‌شود، می‌پردازد. اما دندروژئومورفولوژی که از شاخه‌های زیرمجموعه دندروکرونولوژی است در مطالعه و تاریخ‌گذاری فرایندهای ژئومورفیکی گذشته کاربرد دارد (استوفل، ۲۰۰۶: ۵۳؛ باتلر و استوفل^۵، ۲۰۱۳: ۱). دندروژئومورفولوژی با تجزیه و تحلیل حلقه‌های رشد سالانه درختان و فرم رشد آن‌ها جنبه‌های فضایی و مکانی فرایندهای سطح زمین را بررسی می‌کند و دارای دقت سالانه و حتی فصلی است (بادکیو و همکاران^۶، ۲۰۰۵: ۸۲؛ ویلانوا و همکاران^۷، ۲۰۱۳: ۳۳؛ گودی^۸، 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 رخدادها به شکل اختلال‌های رشدی^۹ (GD) مشخصی واکنش نشان می‌دهند که این واکنش در سری‌های حلقه آن‌ها ثبت می‌شود (کرونا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۱: ۲). دندروژئومورفولوژی در آنالیز و بازسازی دامنه وسیعی از فرایندهای سطح زمین استفاده می‌شود (استوفل و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۳: ۱۳۴)، و در دو بخش فرایندهای درونی و آتش‌فشانی از جمله در انحراف نوار ساحلی، بالاآمدگی و زیرآب رفتگی سواحل، گسل‌ها و زمین‌لرزه‌های ناشی از سطوح گسلی، آتش‌فشان‌ها و فوران‌های آن‌ها و نیز در فرایندهای بیرونی و سطحی که شامل حرکات توده‌ای مانند خزش، زمین‌لغزش و ریزش سنگ؛ جریان‌های واریزه‌ای؛ فرایندهای رودخانه‌ای، فعالیت‌های یخچالی و مجاور یخچالی و سن‌سنجی به‌من‌های برفی؛ فعالیت‌های بادی و جابجایی تپه‌های ماسه‌ای؛ فرسایش خاک و بدلندها؛ تخمین تغییرات سطح آب دریا و دریاچه‌ها و نیز فعالیت‌های زیستی و انسانی کاربرد دارد. اما در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای سیلاب‌های بزرگ مهم‌ترین و تأثیرگذارترین فرایند رودخانه‌ای هستند که مقادیر زیادی رسوب حمل می‌کنند و در سایر فرایندها و تمام فرم‌های رودخانه‌ای مؤثرند. همچنین بر مورفولوژی درختان درون بستر و سواحل و حواشی رودخانه و روی موانع طولی و سیلاب‌دشت‌ها اثر دارند و سبب زخم‌خوردگی، کج‌شدگی، شکستگی ساقه و شاخه و بیرون‌زدگی ریشه یا حتی مدفون شدن بخشی از ساقه درخت در آبرفت به علت فرسایش شدید و تغییر کانال‌ها می‌شوند (دیزه‌ررو و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۳: ۲۱۱؛ بالستروس و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۲: ۱۳۰)، که بازسازی این فرسایش جریانی، آبرفت‌گذاری و جابجایی کانال‌ها از طریق آنالیز حلقه‌ها و ریشه‌های بیرون‌زده درخت و حتی ریشه‌هایی که به علت آبرفت‌گذاری رشد کرده امکان‌پذیر است و می‌توان سن رخداد آن‌ها را با آنالیز حلقه‌های رشدی تعیین کرد. همچنین پادگانه‌های رودخانه‌ای نیز از طریق آنالیز حلقه‌های ریشه و ساقه مدفون شده درخت قابل سن‌سنجی هستند (استوفل و ویلفورد^{۱۴}، ۲۰۱۲: ۹-۱۰؛ مالیک و ماتیا^۱، ۲۰۰۸: ۱۲۶؛ استرانک^۲، ۱۹۹۷: ۱۳۷؛ گبیکا و کرایپک^۳، ۲۰۰۹:

- 1 - De Micco et al.
- 2 - Silent Witnesses
- 3 - Bériault
- 4 - Stoffel et al.
- 5 - Butler & Stoffel
- 6 - Bodoque et al.
- 7 - Villanueva et al.
- 8 - Goudie
- 9 - Growth Disturbance
- 10 - Corona et al.
- 11 - Stoffel et al.
- 12 - Diez-Herrero et al.
- 13 - Ballesteros et al.
- 14 - Stoffel & Wilford

۶۳-۶۴؛ مریلیانو و همکاران^۴، ۲۰۱۳: ۱۴۶؛ کامپروود^۵، ۲۰۰۹: ؛ جورج و نیلسون^۶، ۲۰۰۲: ۱۰۳؛ چن و همکاران^۷، ۲۰۱۴: ۲۶۶؛ آما و همکاران^۸، ۲۰۱۴: ۲۱۰). اما اصطلاح دندروژئومورفولوژی اولین بار توسط جغرافیدان فنلاندی جوکو آستالو^۹ در سال ۱۹۷۱ رسماً معرفی (استرانک^{۱۰}، ۱۹۹۷: ۱۳۸؛ بادکیو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۵: ۸۲؛ میزوگاکای و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۶: ۲۶؛ فانتوچی و ساریسووالو^{۱۳}، ۱۹۹۹: ۱۶۵)، و توسط شرودر^{۱۴} (۱۹۷۸) توسعه یافت (استوفل و بولشویلر^{۱۵}، ۲۰۰۸: ۱۸۷-۱۹۵؛ استوفل، 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^{۱۶} در اوایل سال ۱۹۶۰ برای اولین بار میزان فرسایش را باریشه‌های آشکارشده در کوه‌های سفید کالیفرنیا ارزیابی کرد (استوفل و بولشویلر، ۲۰۰۸: ۱۹۵). اما اولین مطالعات دندروژئومورفولوژیکی بر روی ساقه و شاخه درخت از اواخر دهه ۱۹۶۰ با مطالعه بازسازی سیلاب‌ها از طریق تاریخ‌گذاری زخم‌های ایجادشده می‌باشد (بالستروس و همکاران^{۱۷}، ۲۰۱۰: ۹۳)، و سپس زمینه تئوریک برای مطالعه سیلاب و فرایند رسوب‌گذاری توسط سیگافوس^{۱۸} (۱۹۶۴) ارائه شد (گوتزفلد و جانسون^{۱۹}، ۱۹۹۰: ۱۶۳). هلی و لامارچ^{۲۰} (۱۹۶۸) تکنیک‌هایی را به منظور تعیین دوره بازگشت رخدادهای سیلابی در شمال کالیفرنیا به کار بردند (استوفل و بولشویلر، ۲۰۰۸: ۲۰۸)، و گوتزفلد^{۲۱} (۱۹۹۶) روابط بین ارتفاع زخم درخت و نشانه‌های ارتفاع آب (HWMS) را مطالعه کرد (بالستروس و همکاران^{۲۲}، ۲۰۱۱: ۹۷۱). استرانک (۱۹۹۷) به بررسی فرایند آبرفت‌گذاری از طریق آنالیز دندروژئومورفولوژیکی از ساقه و ریشه درختانی که تا حدی مدفون شده‌اند پرداخت و دریافت که آنالیز حلقه‌های رشد زمان و قدرت دفن ساقه را تعیین می‌کند (استرانک، ۱۹۹۷: ۱۳۷). هم‌چنین گاتنر^{۲۳} (۲۰۰۷) با استفاده از ریشه‌های درخت به سن‌سنجی و کمی‌سازی فرایند فرسایش پرداخت (گاتنر، ۲۰۰۷: ۲۴۳). مالیک و همکاران^{۲۴} (۲۰۰۸) نیز با استفاده از تغییرات آناتومیکی ریشه‌های بیرون‌زده به تعیین تاریخ فرسایش کناره آبراهه‌های کوهستانی پرداختند (مالیک و ماتیا^{۲۵}، ۲۰۰۸: ۱۲۶). استوفل و همکاران^{۲۶} (۲۰۱۲) با استفاده از ریشه درختان به آنالیز فضایی زمانی فرسایش دیواره مجرا در سیلاب‌های زودگذر پرداختند و بیان کردند که ریشه بیرون‌زده درخت مطمئن‌ترین روش برای سن‌سنجی فرسایش از طریق مطالعات دندروژئومورفیک است (استوفل و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۴۷)، و شا و همکاران^{۲۸} (۲۰۱۴) بر پایه داده‌های

- 1 - Malik & Matyja
- 2 - Strunk
- 3 - Gebica & Krapiec
- 4 - Merigliano et al.
- 5 - Komperod
- 6 - George & Nielsen
- 7 - Chen et al.
- 8 - Alma et al.
- 9 - Jouko Alestalo
- 10 - Strunk
- 11 - Bodoque et al.
- 12 - Mizugaki et al.
- 13 - Fantucci & Sorriso-Valvo
- 14 - Shroder
- 15 - Stoffel & Bollschweiler
- 16 - La Marche
- 17 - Ballesteros et al.
- 18 - Sigafos
- 19 - Gottesfeld & Johnson
- 20 - Helley & LaMarche
- 21 - Gottesfeld
- 22 - High Water marks
- 23 - Ballesteros et al.
- 24 - Gartner
- 25 - Malik
- 26 - Malik & Matyja
- 27 - Stoffel et al.
- 28 - Shah et al.

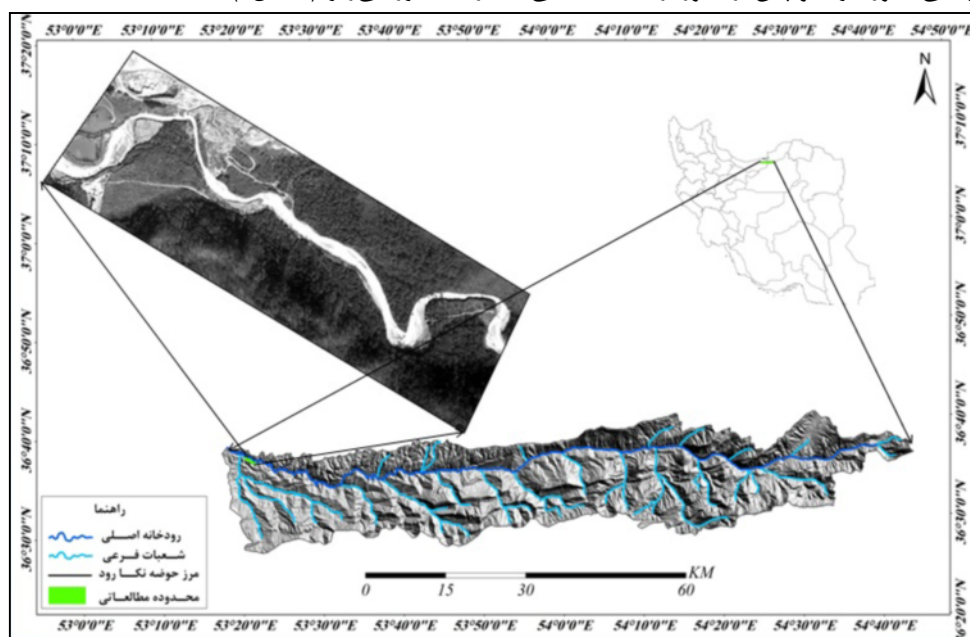
حلقه درخت به بازسازی جریان آبراهه رود لاجن چو^۱ در شرق هیمالیا پرداختند (شا و همکاران، ۲۰۱۴: ۹۷). در مورد گاهشناسی درختی تحقیقاتی در ایران انجام شده که بیشتر در زمینه دندروکلیماتولوژی بوده و از آن جمله مطالعاتی است که توسط آقایان ارسلائی و عزیزی صورت گرفته است (ارسلائی، ۱۳۹۰: ۵؛ ارسلائی و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۷؛ ارسلائی و عزیزی، ۱۳۹۲: ۴۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱ الف، ۵۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱ ب: ۳۷). اما در ایران دندروژئومورفولوژی علمی نوپا است و مطالعات در این زمینه 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 به بازسازی سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه هزار پرداختند و بر اساس نوع تغییرات و واکنش تنه و ریشه درختان به فرایند سیلاب، زمان وقوع سیلاب‌های بزرگ مشخص و دبی تقریبی آن‌ها را برآورد کردند (حسین زاده و جهادی طرقی، ۱۳۹۱: ۲۹). اما در زمینه مطالعه و بازسازی فرایندهای فرسایش و آبرفت‌گذاری در حواشی بستر و کناره‌های رودها و سطح پادگانه‌ای آبرفتی تاکنون مطالعه‌ای در ایران انجام نگرفته و این تحقیق به‌عنوان اولین مطالعه و باهدف بازسازی فرسایش و آبرفت‌گذاری و تعیین سن پادگانه‌های آبرفتی حاشیه رودخانه نکا با استفاده از تکنیک دندروژئومورفولوژی و آنالیز حلقه‌های رشدی در ساقه و ریشه‌های درختان صورت گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

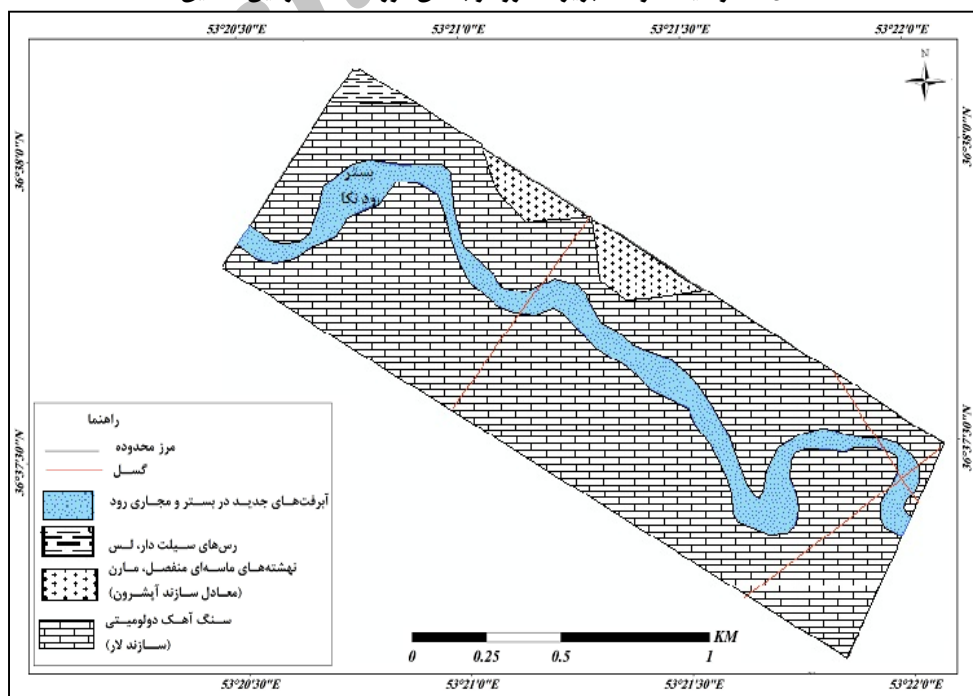
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از بستر اصلی رودخانه نکا در جنوب شهر نکا و به طول تقریبی ۳ کیلومتر می‌باشد (شکل ۱). بازه مورد مطالعه و نمونه‌گیری در این تحقیق در بالا رود از مختصات $36^{\circ} 37' 24''$ عرض شمالی و $53^{\circ} 21' 52''$ طول شرقی شروع و انتهای آن به سد انحرافی آبلو و محل خروج رود از کوهستان و ورود به دشت ختم می‌شود. حوضه آبریز نکا رود حوضه‌ای کشیده با مساحتی معادل 190.3 کیلومترمربع تا محل ایستگاه آبلو ($1/5$ کیلومتری جنوب شهر نکا) است. این حوضه از شمال به حوضه آبخیز قره‌سو و حوضه‌های کوچک خلیج گرگان، از غرب به حوضه آبخیز تجن، از شرق به حوضه آبخیز قره‌سو گرگان و از جنوب به حوضه‌های آبخیز تجن و استان سمنان منتهی می‌شود. ارتفاع بلندترین نقطه حوضه 3802 متر و پست‌ترین محل حوضه در نقطه خروجی (ایستگاه آبلو) 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 (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۹). 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 دوشاخه 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 رود آب به نکا رود وصل می‌شوند. این رودها پس از گذر از جنوب شهرستان بهشهر و 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 و دارای آب 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 154 میلیون مترمکعب و رسوب سالیانه آن نیز

۰/۴۲۲ میلیون تن می‌باشد (عمادالدین، ۱۳۹۲: ۶۹). بستر رودنکا در بالادست گراولی و به‌سوی پایین‌دست 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 خزر (مازندران) و شمال البرز قرار دارد (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۰۰۳). رودخانه نکا نیز از روند زمین‌ساخت حاکم تبعیت می‌کند به‌گونه‌ای 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، سنگ‌آهک دولومیتی، سنگ‌آهک ضخیم لایه کرتاسه و سازند لار با سنگ‌شناسی آهک دولومیتی عبور کرده و پس از عبور از دشت ساحلی به دریای خزر می‌ریزد (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز نکا رود و بخش مورد مطالعه در این تحقیق



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

روش تحقیق

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

ابتدا پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه (شامل اطلاعات نوشتاری، داده‌های آماری و فرم‌های رقومی) و پیمایش مقدماتی از منطقه، داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای آب و داده حداکثر و متوسط رسوب 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، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورق ساری و تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی (DEM) تولیدی از تصاویر راداری از سنجنده ALOS در باند L با دقت ۱۲ متر که قابلیت عبور پذیری از توده جنگلی و ثبت ویژگی‌های سطح را داشته باشد استفاده شده است.

در این مطالعه برای بازسازی فرسایش جانبی رودخانه از ریشه‌های بیرون‌زده درختان حاشیه و درون بستر، و برای بازسازی آبرفت‌گذاری در حواشی رود از ساقه‌های درختانی که از آبرفت پوشیده شده‌اند و بر روی پادگانه‌های حاشیه و موانع آبرفتی درون بستر قرار دارند نمونه‌برداری انجام گرفته تا بتوان علاوه بر تعیین زمان فرسایش حواشی بستر، سال رخداد آبرفت‌گذاری در حاشیه بستر و نیز سن پادگانه‌های آبرفتی جوان را تعیین و بازسازی کرد. برای تعیین سن پادگانه‌های آبرفتی همچنین می‌توان از ریشه‌های نابرجایی که بر اثر پوشیده شدن ساقه در زیر آبرفت رشد کرده‌اند به‌عنوان شاخصی برای سنجش میزان آبرفت‌گذاری استفاده کرد اما از آنجاکه این کار بسیار سخت و زمان‌بر است و احتمال خطا نیز در آن وجود دارد می‌توان تنها با گرفتن یک نمونه از ساقه درخت سال رخداد آبرفت‌گذاری و دفن شدن ساقه را با تغییر در عرض حلقه‌های رشدی تعیین کرد و در این تحقیق نیز از این روش استفاده شده است. زیرا برون‌زدگی ریشه یا پوشیده شدن بخشی از ساقه در زیر آبرفت و رسوبات سیلابی باعث واکنش حلقه‌های رشدی در ریشه و ساقه شده و در رشد درخت تأثیر می‌گذارد. اما از آنجا که روش نمونه‌گیری در این مطالعه از نوع انتخابی است ابتدا در طی بازدیدی نمونه‌ها انتخاب و سپس موقعیت درختان و ریشه‌های درختی که قرار است مورد نمونه‌برداری قرار گیرند با استفاده از GPS برداشت و تعداد ۷ نمونه ریشه (شش نمونه مغزی و یک نمونه دیسک) و ۵۱ نمونه ساقه (یک مورد نمونه دیسک و بقیه نمونه مغزی) به دو صورت مغزی و دیسک با استفاده از مته‌های رویش سنج (Corer) و اره دستی نمونه‌برداری شد. نمونه‌های ریشه در محلی که ریشه درخت بیشترین ضخامت را داشت برداشت شدند و این نمونه‌ها باید از هر دو طرف بالا و پایین ریشه برداشت شوند تا بتوان نقش برون‌زدگی را در عرض حلقه‌های رشد در دو طرف ریشه مقایسه کرد و سال برون‌زدگی ریشه را بر اساس تغییر الگوی رشد از رشد متحدالمرکز به رشد گریز از مرکزی مشخص کرد. نمونه‌های ساقه نیز در ارتفاع ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از سطح زمین برداشت شدند تا بتوانند تعداد حداکثری از حلقه‌های رشدی درخت را در برداشته باشند و حداکثر اطلاعات را به دست دهند. در حین نمونه‌برداری برای هر درختی که مورد نمونه‌برداری قرار گرفت شناسنامه‌ای تهیه شد و تمام اطلاعات مربوط به نمونه مثلاً شماره نمونه، نوع درخت، ارتفاع درخت، قطر درخت در محل نمونه‌برداری، محل تماس ریشه با خاک، فاصله سطح خاک تا سطح فوقانی ریشه و مواردی دیگر برداشت و یادداشت گردید. پس از انجام نمونه‌گیری نمونه‌های مغزی برداشت‌شده بر روی چوب‌های نگه‌دارنده ثابت شد تا تارهای چوبی بر روی چوب نگه‌دارنده چسبیده و آنالیزهای مقاطع عرضی را امکان‌پذیر سازند. در گام بعد نمونه‌های مغزی و دیسک برداشت‌شده از ساقه و ریشه در معرض هوای آزاد قرار داده شد تا خشک گردند و سپس به‌منظور وضوح تشخیص حلقه‌ها و شمارش تعداد و اندازه‌گیری عرض آن‌ها ابتدا سطح نمونه‌ها توسط تیغ‌های مخصوص برش داده و صاف شده و در موارد لازم با سمباده صیقل داده 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 حلقه‌ها بسیار سخت گردید و در اکثر موارد سطح نمونه‌ها فقط با تیغ‌های مخصوص صاف گردید. درنهایت پس از

آماده‌سازی نمونه‌ها، تعداد حلقه‌های درخت و همچنین عرض حلقه‌ها با استفاده از میز دیجیتالی LINTAB که متصل به استریومیکروسکوپ (Leica Stereomicroscop) و نیز برنامه نرم‌افزاری TSAPWIN است با دقت ۱:۱۰۰ میلی متر شمارش و اندازه‌گیری شد. با استفاده از این برنامه حلقه‌های درخت دسته‌بندی و منحنی‌های رشدی نمونه‌ها ترسیم شدند و مورد تحلیل قرار گرفتند و زمان فرسایش کناره‌های بستر و نیز تاریخ‌های آبرفت‌گذاری در حواشی رود بازسازی گردید و نتایج حاصله از مطالعات گاهشناسی درختی با نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل داده‌های ایستگاهی مقایسه و ارتباط بین آن‌ها برقرار شد.

فرسایش رودخانه‌ای و تغییرات آناتومیکی ریشه و ساقه‌های درختان

مطالعه ریشه‌های بیرون‌زده در دندروژئومورفولوژی از سال‌های ۱۹۶۰ برای تعیین میزان فرسایش استفاده شده‌اند، و ریشه تمام گونه‌های درختی و درختچه‌ای قابلیت کاربرد در تعیین میزان فرسایش خاک را دارا هستند (گاتنر^۱، ۲۰۰۷: ۲۴۳؛ کارتیر و همکاران^۲، ۲۰۰۹: ۳۴۴). تغییرات آناتومی ریشه‌های بیرون‌زده درختان ابزاری ارزشمند برای تاریخ‌گذاری رخداد فرسایش است (رابیالس و همکاران^۳، ۲۰۰۸: ۲۲۳). برآورد فرسایش بر اساس تحلیل دندروژئومورفولوژیکی ریشه درختان، بر این اصل استوار است که حلقه‌های رشد سالانه در ریشه‌هایی که در زیرخاک قرار دارند به‌صورت دایره‌ای (متحدالمرکز) رشد می‌کنند. بعد از اینکه فرسایش سطح فوقانی ریشه را نمایان می‌کند و ریشه در سطح زمین برونزد می‌یابد، حلقه‌های سالانه به‌صورت غیر دایره‌ای (اغلب به‌صورت بیضی و رشد گریز از مرکزی) امتداد می‌یابند و به سمت پایین کشیده می‌شوند مانند شکل (۲a) که مقطع صیقلی شده‌ای از ریشه بیرون‌زده است که در آن رشد گریز از مرکزی و چوب واکنشی^۴ در بعد از نمایان شدن ریشه مشخص شده است و شکل (۲b) مغزی ریشه‌ای برونزد یافته است که اولین سال برون‌زدگی ریشه با رشد گریز از مرکزی در آن مشخص شده است هم‌چنین نمودار رشدی حلقه‌های این ریشه در شکل (۲c) ارائه شده است (کارارا و کارول^۵، ۱۹۷۹: ۳۰۹-۳۱۰).

در این ارزیابی، حلقه ریشه‌هایی که در معرض هوا قرار گرفته‌اند تعیین سن می‌شوند و ارتباط آن‌ها با سطح فعلی خاک تعیین می‌گردد و بر اساس آن میزان فرسایش مشخص می‌شود. بر اساس الگوی رشد و مورفولوژی حلقه‌ها در ریشه‌هایی که در معرض هوا قرار گرفته‌اند، می‌توان نخستین سال بیرون‌زدگی ریشه از خاک را با تشخیص نخستین حلقه غیر دایره‌ای تعیین کرد و از طرف دیگر با اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع بین ریشه و سطح فعلی خاک، مقدار خاک فرسایش یافته را در طی دوره زمانی خاصی مشخص نمود (گاتنر^۱، ۲۰۰۷: ۲۴۳-۲۴۸).

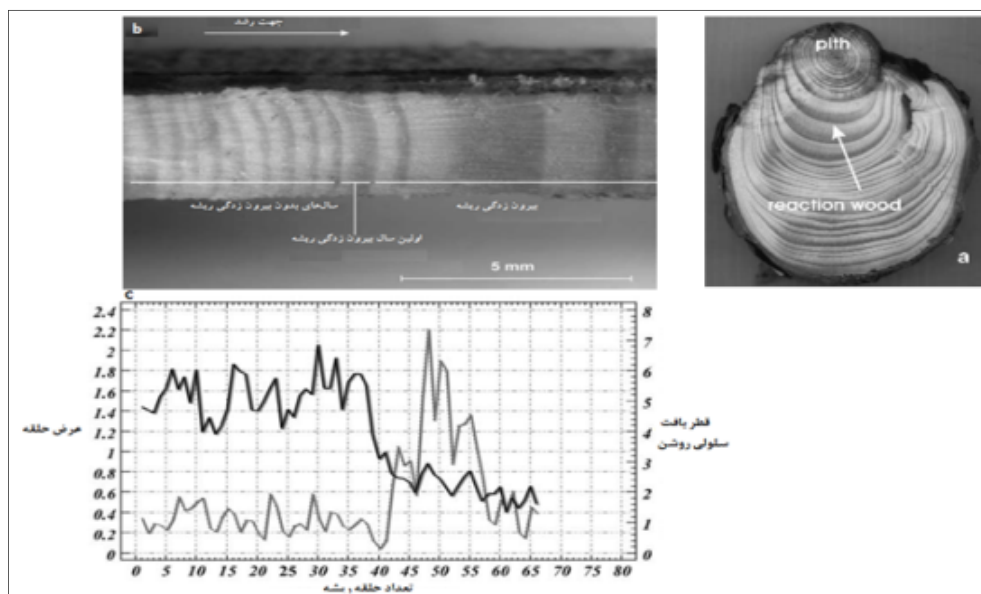
1 - Gartner

2 - Chartier et al.

3 - Rubiales et al.

۳- چوب واکنشی نوع مشخصی از چوب تولید شده است که در بخش پهن ریشه و در مقطع عرضی دارای رشد گریز از مرکزی می‌باشد.

۴ - Carrara & Carroll



شکل ۲: نمونه دیسک (a) و مغزی (b) از ریشه برونزد یافته و نمودار رشدی آن (c) که نمودار کم‌رنگ عرض حلقه‌های رشدی به میلی‌متر و نمودار پررنگ قطر بافت سلولی روشن در چوب اولیه که برحسب میکرون $\times 100$ است (کارارا و کارول، ۱۹۷۹: ۳۰۹؛ بادکیو و همکاران، ۲۰۰۵: ۸۷-۹۶).

همچنان که گارتنر و همکاران^۱ (۲۰۰۱) بیان کرده‌اند زمانی که ریشه‌ها پوشش خاک خود را به‌طور مداوم و پیش‌رونده‌ای از دست می‌دهند مجموعه‌ای از تغییرات آناتومیکی در نتیجه هر دوی اثرات بیرون‌زدگی (برای مثال تغییر در دما، کاهش فشار پوشش خاک، برخورد نور و غیره) و فشارهای مکانیکی که ریشه در زمان بیرون‌زدگی خود تحمل می‌کند رخ می‌دهد. در حقیقت، این مشخصه‌ای از تغییراتی است که در ساختار میکروسکوپی ریشه از جمله عرض حلقه رشدی، تعداد سلول‌ها در هر حلقه، درصد چوب جدید، قطر روشنایی سلولی در چوب قدیمی رخ می‌دهد که به تعیین دقیق سال اول نمایان شدن ریشه امکان می‌دهد (بادکیو و همکاران^۲، ۲۰۰۵: ۸۴؛ رابایالس و همکاران^۳، ۲۰۰۸: ۲۲۳).

اما فرایند آبرفت‌گذاری و دفن شدن ساقه در آبرفت نیز بر رشد درختان تأثیر می‌گذارد و واکنش‌های رشدی ناشی از این فرایند در رشد آن‌ها منعکس می‌شود که می‌توان با تشخیص تغییر در عرض حلقه‌های رشدی این فرایندها را سن‌سنجی کرد و با تحلیل حلقه‌های رشد، این امکان وجود دارد که تاریخ شروع و نیز طول، دامنه و فراوانی چنین رخداد‌های ژئومورفولوژیکی را بازسازی کنیم. با این حال اگر عمق دفن توسط رسوبات از $1/6$ تا $1/9$ متر فراتر رود سبب پژمردگی و مرگ درخت می‌شود. دفن ساقه درخت سبب جوانه زدن ریشه‌های الحاقی افقی می‌شود که پس از هر رخداد رسوب‌گذاری رشد می‌کنند و می‌توان با تعیین سن این ریشه‌های الحاقی سن‌های رخداد‌های رسوب‌گذاری و تراکم را تعیین کرد. اما این روش از دقت کمی برخوردار است و بسیار زمان‌بر می‌باشد. ساده‌ترین و دقیق‌ترین روش سن‌سنجی فرایند رسوب‌گذاری در هر سیستم درختی، مقطع عرضی ساقه و تعیین رخداد دفن شدن آن بر اساس زمان شروع کاهش مشخص رشد یا توقف رشد در چوب ساقه درختان تأثیر پذیرفته است. بنابراین تنها با برداشت یک مغزی از درختان زنده با مته‌های رویش سنج می‌توان سن رخداد آبرفت‌گذاری را تعیین کرد و به بازسازی فضایی مکانی فرایندهای آبرفت‌گذاری پرداخت. زیرا آبرفت‌گذاری باعث فشار بر روی کامبیوم می‌شود و این فشار بر روی کامبیوم از طریق پوست

1 - Gartner et al.

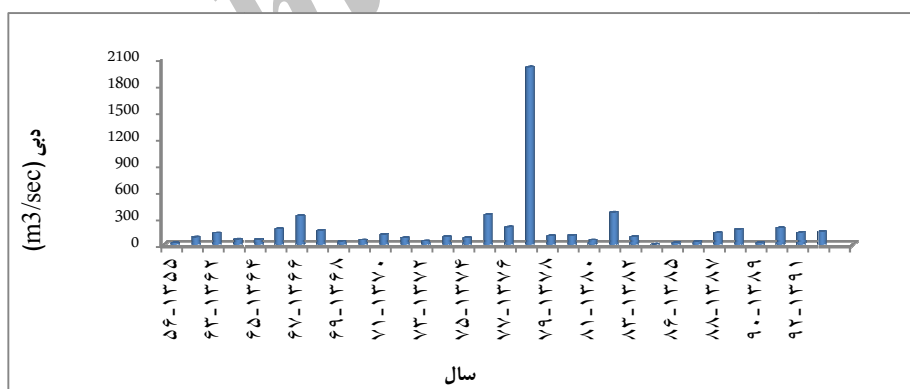
2 - Bodoque et al.

3 - Rubiales et al.

و بافت لیفی بر تقسیم سلول اثر می‌گذارد و منجر به کاهش تعداد سلول‌ها و باریک شدگی لومن^۱ (حفره سلولی درون بافت گیاه) می‌شود. سپس، انتقال تغذیه درخت به سختی صورت می‌گیرد و رشد سالانه کاهش می‌یابد به گونه‌ای که با فشار بر روی ساقه، ممکن است عرض حلقه‌های رشدی به ربع عرض اصلی کاهش یابد. بنابراین، برای هر رخداد آبرفت‌گذاری زمان دفن شدن ساقه با تعیین اولین باریک شدگی شدید حلقه‌های سالانه در تنه و با دقت $0 \pm$ تا $3 \pm$ سال قابل تاریخ‌گذاری است. لازم به ذکر است که چندین دوره از آبرفت‌گذاری سبب چندین دوره از کاهش و یا توقف رشد می‌شود (استرانک^۲، ۱۹۹۷: ۱۳۷-۱۴۹). علاوه بر این می‌توان با شمارش حلقه‌های رشدی درختان تثبیت‌شده بر روی نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی سن تقریبی این نهشته‌ها را به دست آورد در این حالت می‌توان با برداشت تعداد زیادی نمونه در هر سری نهشته و میانگین‌گیری از سن‌های به‌دست‌آمده آن‌ها سن نهشته‌گذاری و تراکم را در آن منطقه با اطمینان بیشتری برآورد کرد.

بحث و یافته‌ها

از آنجاکه دو فرایند فرسایش و رسوب‌گذاری در حاشیه و بستر رود متأثر از فرایند سیلاب هستند. بنابراین لازم است قبل از بررسی و تحلیل داده‌های دندروژئومورفولوژی به بررسی دبی رودخانه نکا پرداخته شود تا بتوان ارتباط بین فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری را با دبی‌های رودخانه برقرار کرد. بر این اساس در شکل (۳) داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه نکا در ایستگاه آبلو از سال ۱۳۵۶ تا سال ۱۳۹۲ ارائه شده است. با توجه به شکل (۳) حداکثر دبی ثبت‌شده در طی این دوره آماری مربوط به سیل تاریخی نکا با دبی ایستگاهی $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ در تاریخ $1378/5/4$ 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 $361 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، $335 \text{ m}^3/\text{sec}$ و $323/5 \text{ m}^3/\text{sec}$ به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۷۵ و ۱۳۶۶ قرار دارند و کمترین میزان دبی حداکثر لحظه‌ای ثبت‌شده در طی این دوره آماری مربوط به سال ۱۳۸۴ و به میزان $4/1 \text{ m}^3/\text{sec}$ است. بیشتر این سیلاب‌ها در فصل پاییز و بزرگ‌ترین آن‌ها نیز در مردادماه رخ داده است.

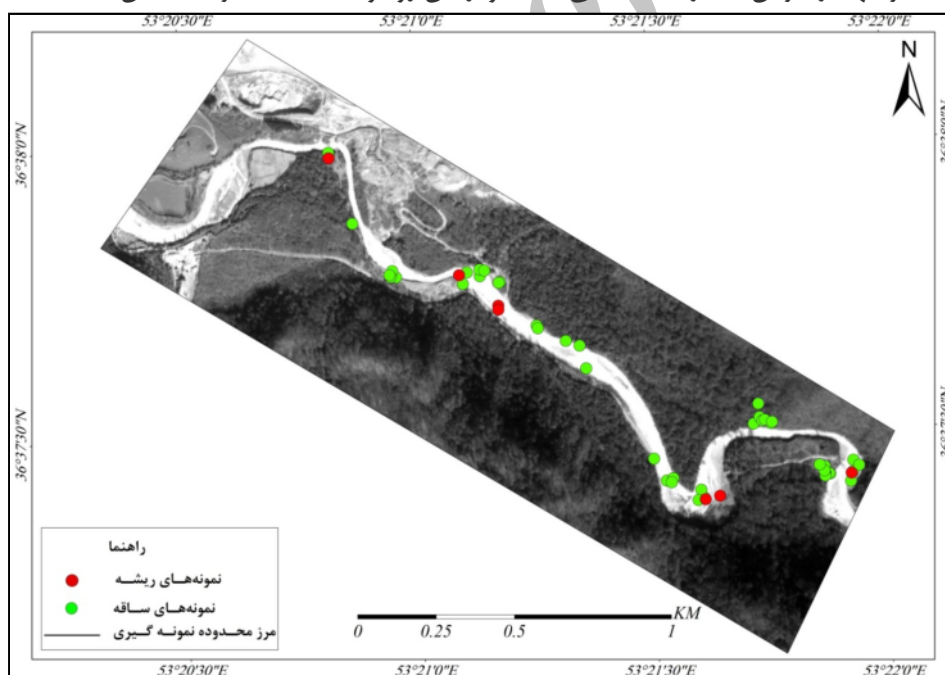


شکل ۳: حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری آبلو (سازمان مرکز تحقیقات منابع آب - تماب)

همان گونه که گفته شد در این تحقیق تعداد ۷ نمونه ریشه جهت بازسازی فرسایش حواشی بستر رود و تعداد ۵۱ نمونه ساقه در بخش پادگانه‌های آبرفتی و حاشیه بستر رود جهت بازسازی آبرفت‌گذاری در کناره‌های رود نکا برداشت شد. تمام این نمونه‌ها از درختان سپیدار برداشت شدند یعنی از گونه‌ای که در تمام حاشیه بستر و بر روی پادگانه‌های آبرفتی و حتی سیلاب‌دشت رشد یافته‌اند. در بازدیدهای میدانی از منطقه دیده شد که هر جا سیلاب گونه‌های قبلی را ریشه‌کن کرده

درختان سپیدار جایگزین شده و رشد کرده‌اند، بنابراین می‌توان این درختان را در این محل به‌عنوان شاهدهی از مرز سیلاب‌دشت در نظر گرفت. اما آوندهای چوبی در این درختان که تشخیص مرز حلقه‌های سالانه بر طبق آن‌ها صورت می‌گیرد بسیار پراکنده هستند و این ویژگی کار تشخیص حلقه‌های سالانه و اندازه‌گیری عرض آن‌ها را بسیار سخت کرده است، به‌نحوی که تعداد حلقه‌ها در هر کدام از این نمونه‌ها چندین بار در آزمایشگاه موردبررسی و شمارش قرار گرفتند تا تشخیص حلقه‌ها و اندازه‌گیری عرض آن‌ها با دقت بیشتری انجام گیرد. شکل (۴) موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده برای مطالعه فرسایش و آبرفت‌گذاری در حاشیه بستر رود نکا در حوضه آبریز این رود را نشان می‌دهد و همچنین موقعیت نمونه‌های برداشتی، نوع درخت، میزان کل خاک فرسایش یافته، سال رخداد فرسایش و آبرفت‌گذاری در این درختان و مواردی دیگر در جدول (۱) برای نمونه‌های ریشه و در جدول (۲) برای نمونه‌های ساقه ارائه گردیده است.

تحلیل نمودارهای روند رشد در نمونه‌های ریشه بیرون زده بیانگر اطلاعات مفیدی در مورد اولین سال رخداد بیرون‌زدگی ریشه و تعداد دوره‌های فرسایشی و متعاقب آن دوره‌های تشدید بیرون‌زدگی در ریشه است. اما از آنجاکه کل میزان فرسایش حاشیه بستر رود در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای ممکن است در جریان یک الی دو سیلاب رخ دهد بنابراین برآورد میزان فرسایش سالانه برای حواشی بستر رود از طریق ریشه‌های بیرون‌زده (برخلاف سطح دامنه‌ها) ممکن است با اشتباه همراه باشد زیرا در حواشی بستر برخلاف سطح دامنه‌ها ممکن است که کل خاک فرسایش یافته در سطح پادگانه یا در حاشیه بستر تنها در جریان یک رخداد سیلابی شسته و از بین رود و محاسبه مقادیر سالانه آن با اشتباه همراه باشد.



شکل ۴: موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده. دایره قرمز مربوط به نمونه‌های برداشت‌شده ریشه بیرون‌زده به‌منظور بازسازی فرسایش و دایره سبز مربوط به نمونه‌های برداشت‌شده ساقه درخت به‌منظور بازسازی آبرفت‌گذاری در حاشیه بستر رود نکا.

با توجه به جدول (۱) می‌توان گفت که سیلاب سال‌های ۲۰۰۳، ۱۹۹۹، ۲۰۰۸ و ۱۹۹۶ به ترتیب بیشترین نقش را در بیرون‌زدگی ریشه‌های درختان مورد مطالعه داشته‌اند و از مجموع ۷ ریشه مورد مطالعه، اولین سال برون‌زدگی ریشه درخت در ۳ مورد آن‌ها سال ۲۰۰۳ و در ارتباط با سیلاب $361 \text{ m}^3/\text{sec}$ این سال می‌باشد. دو ریشه در سال ۱۹۹۹ و بر اثر رخداد سیلابی این سال با دبی ایستگاهی $200 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، یک ریشه در سال ۲۰۰۸ بر اثر دبی $130 \text{ m}^3/\text{sec}$ و یک ریشه نیز در سال ۱۹۹۶ و بر اثر رخداد سیل با دبی $335 \text{ m}^3/\text{sec}$ در این سال برون‌زد یافته است. البته بیشتر بودن تعداد ریشه‌های

برونزد یافته در سال ۲۰۰۳ می‌تواند ناشی از سن کم درختان حاشیه بستر رود باشد و قطعاً اگر درختان مسن‌تری در حاشیه بستر وجود داشت تعیین سن‌های قدیمی‌تر از فرسایش و برون‌زدگی حاشیه بستر امکان‌پذیر بود. در شکل (۷) نقشه نقاط فرسایشی حاشیه بستر رود که بازسازی شده‌اند ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های برداشت‌شده ریشه بیرون‌زده درختان شامل: موقعیت، گونه درخت، ارتفاع ریشه از سطح خاک، سن درخت (تا زمان نمونه‌گیری^۱) و اولین سال رخداد بیرون‌زدگی ریشه و دبی مرتبط با آن و نیز رخدادهای سیلابی مرتبط با برون‌زدگی ریشه.

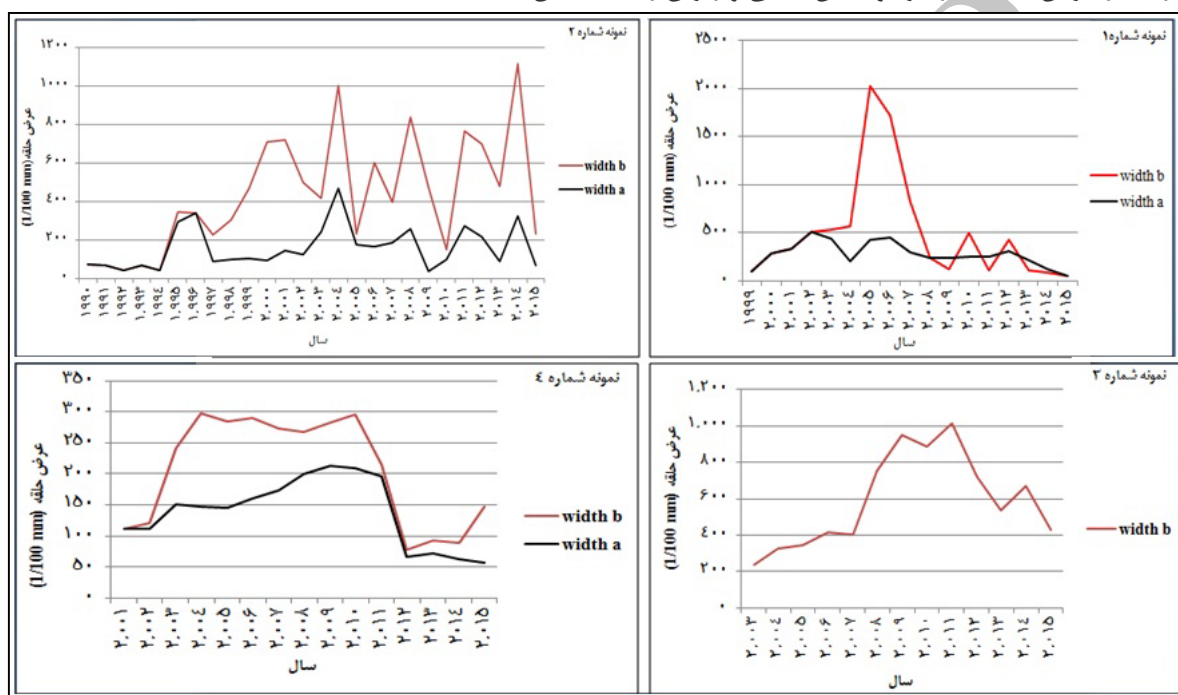
شماره نمونه	گونه	موقعیت جغرافیایی (UTM)	قطر درخت (cm)	ارتفاع ریشه از سطح خاک (cm)	سن و سال رشد درخت	اولین سال برون‌زدگی ریشه	دبی مرتبط با اولین برون‌زدگی ریشه (m^3/sec)	سیلاب‌های مرتبط با برون‌زدگی ریشه (به ترتیب)
۱	سپیدار	۴۰۵۵۷۳۲ N ۷۱۱۵۰۲ E	۲۰	۳۲	۱۷ (۱۹۹۹)	۲۰۰۳	۳۶۱	۲۰۰۳، ۲۰۰۸
۲	سپیدار	۴۰۵۵۶۵۸ N ۷۱۱۰۸۳ E	۴۰	۴/۵	۲۶ (۱۹۹۰)	۱۹۹۶	۳۳۵	۱۹۹۶، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳
۳	سپیدار	۴۰۵۵۶۴۷ N ۷۱۱۰۳۷ E	۴۵	۶	۱۳ (۲۰۰۳)	۲۰۰۸	۱۳۰	۲۰۰۸، ۲۰۰۹
۴	سپیدار	۴۰۵۶۲۶۴ N ۷۱۰۳۷۶ E	۳۲	۱۰	۱۵ (۲۰۰۱)	۲۰۰۳	۳۶۱	۲۰۰۳، ۲۰۱۱
۵	سپیدار	۷۱۰۳۷۶ N ۴۰۵۶۲۵۱ E	۲۵	۸	۱۷ (۱۹۹۹)	۲۰۰۳	۳۶۱	۲۰۰۳، ۲۰۰۸
۶	سپیدار	۴۰۵۶۷۳۴ N ۷۰۹۸۳۵ E	۶۰	۱۵۰	۲۴ (۱۹۹۲)	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۱۹۹۹، ۲۰۱۱
۷	سپیدار	۴۰۵۵۷۳۲ N ۷۱۱۵۰۲ E	۳۰	۸	۱۸ (۱۹۹۸)	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۱۹۹۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱

با توجه به نمودار روند رشد در نمونه‌ی شماره ۱ (شکل ۵) با سن ۱۷ سال، می‌توان گفت که سه تاریخ رخداد سیلابی و فرسایش ناشی از آن در روند رشد این درخت ثبت شده است که عبارت‌اند از: الف) سال ۱۹۹۹ که سال شروع رشد درخت است و در ارتباط با سیل تاریخی نکا در همین سال با دبی ایستگاهی $2000 m^3/sec$ می‌باشد و نیز بیانگر هم‌زمان بودن سن درخت و پادگانه آبرفتی آن است که احتمالاً در اثر همین رخداد سیل ایجاد شده است، ب) سال ۲۰۰۳ که اولین سال برون‌زدگی ریشه و آغاز رشد گریز از مرکزی در بخش زیرین ریشه بر اثر رخداد سیل با دبی $361 m^3/sec$ در همین سال و ج) سال ۲۰۰۸ برون‌زدگی کامل ریشه و کاهش رشد در عرض حلقه‌ها در هر دو بخش بالا و پایین ریشه بر اثر رخداد دبی $130 m^3/sec$ است.

نمونه شماره ۲ (شکل ۵) با سن ۲۶ سال و سال شروع رشد ۱۹۹۰ بیانگر آن است که در این درخت نیز سه دوره فرسایشی و سه سیلاب ثبت شده که شامل: الف) سال ۱۹۹۶ آغاز اختلال رشدی در درخت و اولین سال برون‌زدگی ریشه و رشد گریز از مرکزی آن در بخش زیرین ریشه در اثر سیل با دبی پیک $335 m^3/sec$ در همین سال، ب) برون‌زدگی بیشتر ریشه بر اثر رخداد سیل تاریخی سال ۱۹۹۹ با دبی $2000 m^3/sec$ و افزایش رشد گریز از مرکزی در بخش زیرین ریشه و ج) افزایش رشد گریز از مرکزی ریشه در بخش زیرین آن و کاهش رشد در بخش بالایی ریشه بر اثر رخداد سیل سال ۲۰۰۳ با دبی پیک $361 m^3/sec$.

در نمونه شماره ۳ (شکل ۵) متأسفانه بخش بالایی ریشه بر اثر تخریب و پوسیدگی قابل اندازه‌گیری در آزمایشگاه نبود اما بر طبق آنچه از نمودار رشدی در بخش زیرین ریشه آن نمایان است احتمالاً سال آغاز رشد این درخت در ارتباط با سیلاب با دبی پیک $361 m^3/sec$ سال ۲۰۰۳ است و به عبارتی درخت بر روی رسوبات و پادگانه آبرفتی ناشی از این

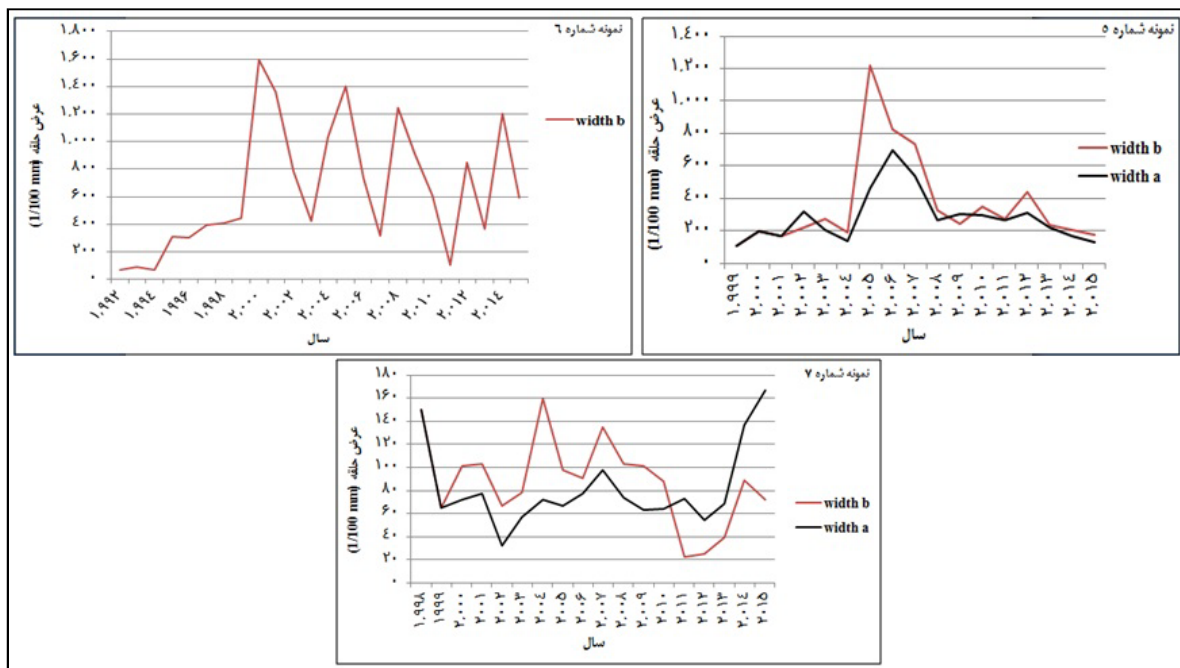
رخداد رشد یافته، در سال ۲۰۰۸ بر اثر رخداد سیل با دبی پیک $130 \text{ m}^3/\text{sec}$ برون‌زدگی ریشه آغاز و بر اثر سیل سال ۲۰۰۹ با دبی پیک $169 \text{ m}^3/\text{sec}$ مقدار این برون‌زدگی افزایش یافته و رشد در بخش زیرین ریشه به صورت گریز از مرکزی درآمده و از سال ۲۰۱۱ رشد در عرض حلقه‌های بخش زیرین نیز کاهش یافته که احتمالاً به علت پوسیدگی و تخریب ریشه در بخش بالا و تأثیر آن بر رشد ریشه در بخش زیرین است. اما در نمونه شماره ۴ (شکل ۵) که ریشه آن به طور کامل از خاک بیرون‌زده تحلیل نمودار رشدی حاکی از آن است که در سال ۲۰۰۳ احتمالاً در اثر دبی پیک $361 \text{ m}^3/\text{sec}$ رشد درخت دچار اختلال شده و ریشه آن برون‌زد یافته و رشد در بخش زیرین ریشه به صورت گریز از مرکزی در آمده است اما از سال ۲۰۱۱ و به دلیل رخداد سیل با دبی پیک $185 \text{ m}^3/\text{sec}$ ریشه به طور کامل برون‌زد یافته و رشد در عرض حلقه‌ها در هر دو بخش بالایی و زیرین ریشه همسان شده است.



شکل ۵: نمودار روند رشد ریشه در نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴. نمودار قرمز رنگ (Width b) روند رشد در بخش زیرین ریشه و دارای رشد گریز از مرکزی و نمودار سیاه رنگ (Width a) روند رشد در بخش بالایی ریشه. در نمونه ۳ نمودار رشدی مربوط به بخش زیرین ریشه است و بخش بالایی ریشه به علت پوسیدگی قابل اندازه‌گیری در آزمایشگاه نبود.

در نمونه شماره ۵ (شکل ۶)، که سال آغاز رشد درخت ۱۹۹۹ می‌باشد می‌توان سال رشد درخت و حتی شکل‌گیری پادگانه‌ای که درخت بر روی آن قرار دارد را به رخداد سیل تاریخی نکا در سال ۱۹۹۹ با دبی $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ نسبت داد. همچنین نمودار رشد ریشه این درخت از نظر سن و روند در هماهنگی با نمودار بخش زیرین نمونه شماره ۱ است که بیانگر یکسان بودن شرایط و رخدادهای مؤثر در رشد درخت است. با توجه به نمودار روند رشد ریشه در سال ۲۰۰۳ و بر اثر رخداد سیل این سال با دبی پیک $361 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، ریشه درخت برون‌زد یافته و این برون‌زدگی به صورت رشد گریز از مرکزی در بخش زیرین ریشه نمایان است اما از سال ۲۰۰۸ به بعد روند رشد در بخش بالایی و پایینی ریشه تا حدی به هم نزدیک شده که احتمالاً به علت افزایش دبی‌های پیک رودخانه و برون‌زدگی بیشتر ریشه است. آنچه مسلم است این می‌باشد که تنش‌های رشدی در هر دو بخش بالا و پایین ریشه تأثیر دارند اما نمود آن‌ها در بخش بالایی ریشه به صورت کاهش رشد و در بخش پایین ریشه به صورت افزایش رشد و رشد گریز از مرکزی در عرض حلقه‌ها دیده می‌شود. همچنین در نمونه شماره ۶ (شکل ۶) به علت تخریب و پوسیدگی بخش بالایی ریشه، اندازه‌گیری عرض حلقه‌ها در این

بخش امکان‌پذیر نبود و نمودار فقط از بخش زیرین ریشه موجود است که روند رشد ریشه در این بخش بیانگر آغاز برون‌زدگی ریشه در سال ۱۹۹۹ بر اثر سیل تاریخی نکا با دبی $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ است.



شکل ۶: نمودار روند رشد ریشه در نمونه‌های با شماره ۵، ۶ و ۷. نمودار قرمز رنگ (Width b) روند رشد در بخش زیرین ریشه و دارای رشد گریز از مرکزی و نمودار سیاه‌رنگ (Width a) روند رشد در بخش بالایی ریشه. در نمونه ۶ نمودار رشدی مربوط به بخش زیرین ریشه است و بخش بالایی ریشه به علت پوشیدگی قابل اندازه‌گیری در آزمایشگاه نبود.

اما روند رشد ریشه در نمونه شماره ۷ (شکل ۶) با سال شروع رشد ۱۹۹۸، که به‌صورت دیسک نمونه‌برداری شده بیانگر آن است که در دومین سال رشد درخت (سال ۱۹۹۹) بر اثر سیل تاریخی نکا و فروریختن دیواره پادگانه‌ای که درخت بر روی آن قرار دارد بخشی از ریشه برون‌زد یافته و همان‌گونه که در نمودار مشخص است از سال ۱۹۹۹ رشد در بخش زیرین ریشه به‌صورت گریز از مرکزی است. اما در سال ۲۰۱۰ بر اثر رخداد دبی پیک $169 \text{ m}^3/\text{sec}$ و احتمالاً برون‌زدگی کامل ریشه رشد در بخش زیرین ریشه روند کاملاً نزولی با کاهش در عرض حلقه را نشان می‌دهد که احتمالاً به علت قطع ارتباط ریشه با خاک است و از سال ۲۰۱۱ به بعد روند رشد در هر دو بخش زیرین و بالایی ریشه مشابه شده و رشد در هر دو بخش افزایش یافته با این تفاوت که رشد گریز از مرکزی نیست.

هم‌چنین در این تحقیق به‌منظور تعیین سن نهشته‌های درون بستر و پادگانه‌های آبرفتی حاشیه رودخانه ۵۱ نمونه از ساقه درختان این نواحی برداشت شد که فقط یک مورد از آن‌ها به‌صورت دیسک و بقیه به‌صورت نمونه مغزی می‌باشد در این بخش از تحقیق به‌منظور دقت و صحت بازسازی سن پادگانه‌های آبرفتی، تعداد بیشتری نمونه از درختان واقع بر روی پادگانه گرفته شد (دایره‌های سبزرنگ در شکل ۴ بیانگر موقعیت نمونه‌ها) و در جدول (۲) اطلاعات آن‌ها ارائه شده است:

جدول ۲: مشخصات نمونه‌های برداشت‌شده ساقه درختان شامل: شماره نمونه، موقعیت، گونه درخت، قطر درخت، سن درخت (تا زمان نمونه‌گیری)، سن پادگانه آبرفتی، سیلاب مرتبط با شکل‌گیری پادگانه و غیره.

شماره نمونه	موقعیت جغرافیایی (UTM)	گونه	قطر درخت (cm)	سن و سال رشد درخت	سن پادگانه آبرفتی	تاریخ سیلاب مؤثر در شکل‌گیری پادگانه	سیلاب‌های تأثیر گذار در عرض حلقه‌های رشدی (به ترتیب)
۱	۷۱۱۵۰۷E, ۴۰۵۵۷۳N	سپیدار	۳۵	۶(۲۰۰۹)	۶	۲۰۰۹ (۱۳۸۸/۱۲/۴)	۲۰۱۲
۲	۷۱۱۵۰۶E, ۴۰۵۵۷۳N	سپیدار	۳۵	۸(۲۰۰۷)	---	---	۲۰۱۰, ۲۰۱۲
۳	۷۱۱۵۲۶E, ۴۰۵۵۷۵N	سپیدار	۱۰	۶(۲۰۰۹)	۶	۲۰۰۹ (۱۳۸۸/۱۲/۴)	۲۰۱۲

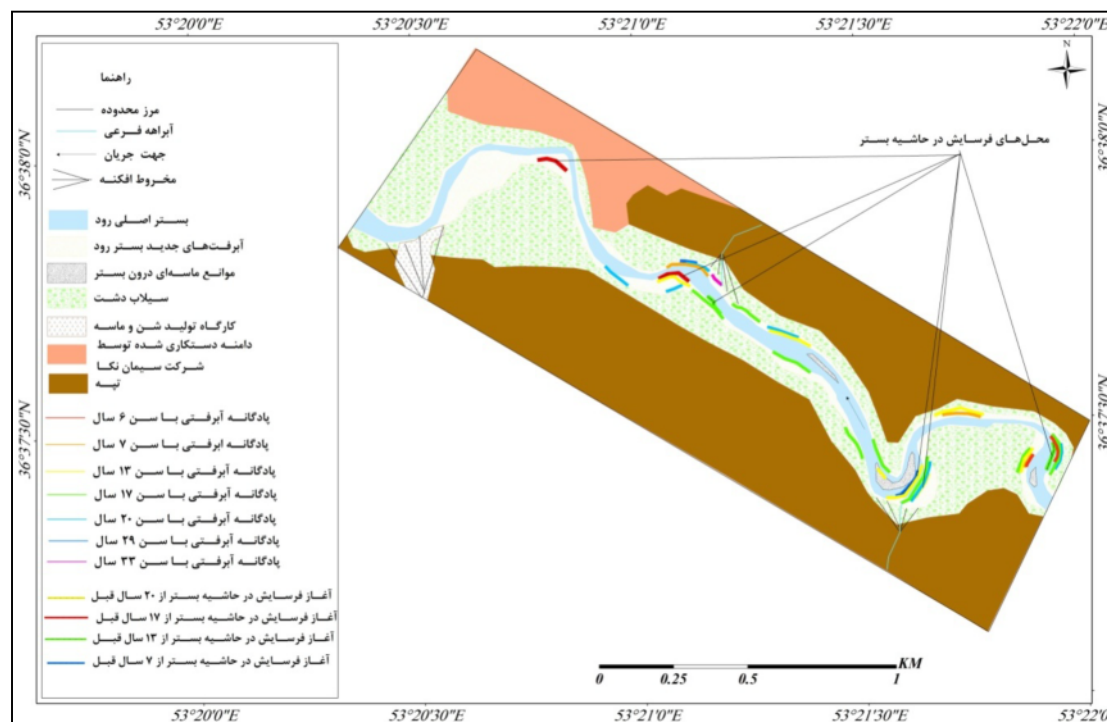
۲۰۱۱	(۱۳۸۷/۱۱/۲۴) ۲۰۰۸	۷	۷(۲۰۰۸)	۱۰	سپیدار	۷۱۱۴۳۴E, ۴۰۵۵۷۳۹ N	۴
۲۰۱۲	(۱۳۸۸/۱۲/۴) ۲۰۰۹	۶	۶(۲۰۰۹)	۸	سپیدار	۷۱۱۴۳۰E, ۴۰۵۵۷۳۱N	۵
۲۰۰۸, ۲۰۱۲	-----	-----	۱۱(۲۰۰۵)	۲۵	سپیدار	۷۱۱۴۱۸E, ۴۰۵۵۷۳۹N	۶
۲۰۰۸, ۲۰۱۲	-----	-----	۱۱(۲۰۰۵)	۲۷	سپیدار	۷۱۱۴۱۸E, ۴۰۵۵۷۱۷N	۷
۱۹۹۹, ۲۰۰۳, ۲۰۱۲	(۱۳۷۵/۸/۲۲) ۱۹۹۶	۲۰	۱۹(۱۹۹۷)	۳۰	سپیدار	۷۱۱۵۰۲E, ۴۰۵۵۷۳۲N	۸
۲۰۰۸, ۲۰۱۲	-----	-----	۱۱(۲۰۰۵)	۲۵	سپیدار	۷۱۱۴۱۸E, ۴۰۵۵۷۳۳N	۹
۲۰۰۳, ۲۰۰۸	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۶(۲۰۰۰)	۴۵	سپیدار	۷۱۱۴۱۶E, ۴۰۵۵۷۵۳N	۱۰
۲۰۰۸	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۳(۲۰۰۳)	۶۰	سپیدار	۷۱۱۴۱۵E, ۴۰۵۵۷۳۹N	۱۱
۲۰۰۸, ۲۰۱۲	-----	-----	۱۱(۲۰۰۵)	۵۰	سپیدار	۷۱۱۴۰۰E, ۴۰۵۵۷۵۸N	۱۲
۲۰۱۱	(۱۳۸۷/۱۱/۲۴) ۲۰۰۸	۷	۷(۲۰۰۸)	۱۰	سپیدار	۷۱۱۳۴۵E, ۴۰۵۵۸۰۰N	۱۳
۲۰۱۱	(۱۳۸۷/۱۱/۲۴) ۲۰۰۸	۷	۷(۲۰۰۸)	۱۰	سپیدار	۷۱۱۳۰۴E, ۴۰۵۵۹۵۲N	۱۴
۲۰۰۷, ۲۰۱۱	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۲(۲۰۰۴)	۱۵	سپیدار	۷۱۱۱۹۹E, ۴۰۵۵۸۸۸N	۱۵
۲۰۰۸	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۳(۲۰۰۳)	۲۰	سپیدار	۷۱۱۲۰۸E, ۴۰۵۵۹۰۹N	۱۶
۱۹۹۹, ۲۰۰۳	-----	-----	۲۱(۱۹۹۵)	۲۵	سپیدار	۷۱۱۲۱۷E, ۴۰۵۵۹۸۸ N	۱۷
۱۹۹۹	-----	-----	۱۸(۱۹۹۸)	۲۵	سپیدار	۷۱۱۲۵E, ۴۰۵۵۹۰۱N	۱۸
۱۹۹۶, ۱۹۹۹, ۲۰۰۸, ۲۰۱۳	-----	-----	۲۲(۱۹۹۴)	۱۷	سپیدار	۷۱۱۰۳۲E, ۴۰۵۵۶۵۴N	۱۹
۲۰۰۳, ۲۰۰۸	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۶(۲۰۰۰)	۱۵	سپیدار	۷۱۱۰۳۳E, ۴۰۵۵۶۷۷N	۲۰
۱۹۹۹, ۲۰۰۳	(۱۳۷۵/۸/۲۲) ۱۹۹۶	۲۰	۲۰(۱۹۹۶)	۱۶	سپیدار	۷۱۱۰۱۴E, ۴۰۵۵۶۴۴N	۲۱
۲۰۰۷, ۲۰۱۱	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۲(۲۰۰۴)	۳۰	سپیدار	۷۱۱۲۴۸E, ۴۰۵۵۸۹۴N	۲۲
۲۰۰۸, ۲۰۱۲	-----	-----	۱۰(۲۰۰۵)	۲۵	سپیدار	۷۱۰۹۱۳E, ۴۰۵۵۷۰۶N	۲۳
۲۰۱۲, ۲۰۱۱, ۲۰۰۹, ۲۰۰۸	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۷(۱۹۹۹)	۱۵	سپیدار	۷۱۰۹۳۴E, ۴۰۵۵۷۱۴N	۲۴
۲۰۰۳, ۲۰۰۵	-----	-----	۱۴(۲۰۰۲)	۳۵	سپیدار	۷۱۰۶۳۵E, ۴۰۵۶۱۳۷N	۲۵
۱۹۹۹, ۲۰۰۳	(۱۳۷۵/۸/۲۲) ۱۹۹۶	۲۰	۱۹(۱۹۹۷)	۳۰	سپیدار	۷۱۰۵۹۱E, ۴۰۵۶۱۵۲N	۲۶
۲۰۰۳, ۲۰۰۹	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۷(۱۹۹۹)	۲۵	سپیدار	۷۱۰۴۹۸E, ۴۰۵۶۲۰۱N	۲۷
۲۰۰۸	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۳(۲۰۰۳)	۸	سپیدار	۷۱۰۵۰۲E, ۴۰۵۶۱۹۲N	۲۸
۲۰۰۳, ۲۰۰۸	-----	-----	۱۴(۲۰۰۲)	۱۰	سپیدار	۷۱۰۳۱۷E, ۴۰۵۶۳۵۸N	۲۹
۲۰۰۹, ۲۰۱۱	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۷(۱۹۹۹)	۲۵	سپیدار	۷۱۰۳۷۶E, ۴۰۵۶۲۵۱N	۳۰
۲۰۱۱	(۱۳۷۸/۱۱/۲۴) ۲۰۰۸	۷	۷(۲۰۰۸)	۳۰	سپیدار	۷۱۰۲۷۶E, ۴۰۵۶۳۷۰N	۳۱
۱۹۹۹, ۲۰۰۳	-----	-----	(۱۹۹۵) ۲۱	۲۵	سپیدار	۷۱۰۲۸۱E, ۴۰۵۶۳۹۹N	۳۲
۱۹۸۷, ۱۹۸۸, ۱۹۹۲, ۱۹۹۹, ۲۰۰۵	(۱۳۶۲/۷/۱۰) ۱۹۸۳	۳۳	۳۳(۱۹۸۳)	۳۶	سپیدار	۷۱۰۲۷۷E, ۴۰۵۶۳۷۷N	۳۳
۲۰۰۳, ۲۰۰۸	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۶(۲۰۰۰)	۴۲	سپیدار	۷۱۰۸۷۲E, ۴۰۵۵۷۷۶N	۳۴
۲۰۰۳, ۲۰۰۸	-----	-----	۱۴(۲۰۰۲)	۴۵	سپیدار	۷۰۹۸۳۴E, ۴۰۵۶۷۵۱N	۳۵
۱۹۹۹, ۲۰۰۸	-----	-----	۱۸(۱۹۹۸)	۲۰	سپیدار	۷۱۰۸۷۲E, ۴۰۵۵۷۷۶N	۳۶
۱۹۹۹, ۲۰۰۳, ۲۰۰۸, ۲۰۰۵	-----	-----	۱۸(۱۹۹۸)	۲۰	سپیدار	۷۱۰۰۵۰E, ۴۰۵۶۳۵۴N	۳۷
۱۹۹۹, ۲۰۰۸	(۱۳۷۵/۸/۲۲) ۱۹۹۶	۲۰	۲۰(۱۹۹۶)	۱۵	سپیدار	۷۱۰۰۳۸E, ۴۰۵۶۳۷۴N	۳۸
۱۹۸۷, ۱۹۹۹, ۲۰۱۳, ۲۰۱۰	-----	-----	۳۹(۱۹۷۷)	۴۲	سپیدار	۷۰۹۹۱۱E, ۴۰۵۶۵۲۵N	۳۹
۲۰۰۳, ۲۰۰۹, ۲۰۱۱	-----	-----	۱۵(۲۰۰۱)	۴۰	سپیدار	۷۱۱۵۰۰E, ۴۰۵۵۷۰۶N	۴۰
۱۹۹۹, ۲۰۱۱	(۱۳۷۵/۸/۲۲) ۱۹۹۶	۲۰	۲۰(۱۹۹۶)	۴۰	سپیدار	۷۱۱۰۸۲E, ۴۰۵۵۶۵۸N	۴۱
۲۰۰۸, ۲۰۱۲	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۳(۲۰۰۳)	۱۶	سپیدار	۷۱۰۹۲۹E, ۴۰۵۵۷۰۱N	۴۲
۲۰۰۶	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۷(۱۹۹۹)	۱۸	سپیدار	۷۱۰۶۵۶E, ۴۰۵۶۰۶۴N	۴۳
۱۹۹۹, ۲۰۰۸	(۱۳۶۶/۷/۱۷) ۱۹۸۷	۲۹	۲۸(۱۹۸۸)	۳۰	سپیدار	۷۱۰۳۱۶E, ۴۰۵۶۳۷۹N	۴۴
۱۹۹۹, ۲۰۰۳, ۲۰۰۸, ۲۰۱۳	(۱۳۷۵/۸/۲۲) ۱۹۹۶	۲۰	۲۰(۱۹۹۶)	۱۵	سپیدار	۷۱۰۳۳۱E, ۴۰۵۶۳۷۶N	۴۵
۱۹۹۹, ۲۰۰۸	(۱۳۷۵/۸/۲۲) ۱۹۹۶	۲۰	۱۹(۱۹۹۷)	۴۰	سپیدار	۷۱۰۲۶۳E, ۴۰۵۶۳۳۳N	۴۶
۲۰۰۹, ۲۰۱۱	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۲(۲۰۰۴)	۱۰	سپیدار	۷۱۰۰۳۳E, ۴۰۵۶۳۵۵N	۴۷
۲۰۰۹, ۲۰۱۱	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۲(۲۰۰۴)	۱۲	سپیدار	۷۱۰۰۲۹E, ۴۰۵۶۳۶۱N	۴۸
۲۰۰۳, ۲۰۰۸	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۷(۱۹۹۹)	۲۰	سپیدار	۷۱۱۵۰۲E, ۴۰۵۵۷۳۲N	۴۹
۲۰۰۸, ۲۰۰۹	(۱۳۸۲/۳/۴) ۲۰۰۳	۱۳	۱۳(۲۰۰۳)	۴۵	سپیدار	۷۱۱۰۳۷E, ۴۰۵۵۶۴۷N	۵۰
۲۰۰۳, ۲۰۰۸	(۱۳۷۸/۵/۴) ۱۹۹۹	۱۷	۱۷(۱۹۹۹)	۲۵	سپیدار	۷۱۰۳۷۶E, ۴۰۵۶۲۵۱N	۵۱

با توجه به جدول (۲) از بین ۵۱ نمونه گرفته شده جهت بازسازی سن پادگانه‌های آبرفتی حاشیه بستر رود، سن ۳۴ نمونه در هماهنگی با سن پادگانه آبرفتی می‌باشد که درخت بر روی آن رشد یافته به عبارتی درخت با پادگانه آبرفتی هم سن است. با توجه به این که سیلاب‌ها رسوبات زیادی را با خود حمل می‌کنند و در محل‌های مناسب آن‌ها را بر جای می‌گذارند بنابراین محیطی آبرفتی و یا پادگانه‌ای جدید در جریان این فرایند تشکیل می‌شود که این محیط آبرفت‌گذاری یا پادگانه محل مناسبی را برای رشد درخت فراهم می‌سازد و با توجه به این که در منطقه مطالعاتی رشد درخت بسیار سریع می‌باشد بنابراین با به دست آوردن سن درختان واقع بر روی بسترهای آبرفتی که یک الی دو سال بعد از رخدادی سیلابی رشد کرده‌اند می‌توان به‌طور تقریب سن پادگانه آبرفتی را که درخت بر روی آن رشد کرده را با دقت ± 0 تا $+3$ سال به دست آورد.

با توجه به جدول ۲ و بر اساس اطلاعات به دست آمده از تحلیل دندروژئومورفولوژیکی عرض حلقه‌های درخت در نمونه‌های گرفته شده تعداد ۷ پادگانه آبرفتی بازسازی و تعیین سن شدند که در جدول (۳) و از جدید به قدیم نمایش داده شده‌اند. با توجه به جدول (۳) قدیمی‌ترین پادگانه شناخته شده در محدوده مطالعاتی دارای سن ۳۳ سال است که در سال ۱۹۸۳ و بر اثر رخداد دبی پیک مورخ ۱۳۶۲/۷/۲۰ تشکیل شده و پس از آن پادگانه با سن ۲۹ سال می‌باشد که این پادگانه نیز در سال ۱۹۸۷ و متأثر از سیلاب ۱۳۶۶/۷/۱۷ با دبی پیک $323/5 \text{ m}^3/\text{sec}$ تشکیل شده است تعداد نمونه درختی گرفته شده تأیید کننده سن این پادگانه‌ها یک نمونه است که علت کم بودن تعداد نمونه مربوط به کم بودن سن درختان موجود در منطقه است و به عبارتی قدیمی‌ترین درختی که در محدوده مطالعاتی وجود داشته دارای سن ۳۳ سال می‌باشد که هم سن با پادگانه آبرفتی خود بوده است. همچنین پادگانه‌های با سن ۲۰، ۱۷ و ۱۳ سال در منطقه بازسازی و تعیین سن شدند که تعداد درختان تأیید کننده سن این پادگانه‌ها بیشتر است و بر اساس تحلیل دندروژئومورفولوژیکی جوان‌ترین پادگانه‌ها در این محدوده مطالعاتی دارای سن ۶ و ۷ سال هستند. البته ممکن است پادگانه‌های جوان‌تری نیز در حاشیه بستر رود موجود باشد اما به علت کوتاه بودن سن درختان رشد یافته بر روی این پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی و نوسان‌های زیاد در عرض حلقه‌های رشدی آن‌ها تشخیص این پادگانه‌ها بر طبق داده‌های دندروژئومورفولوژیکی ممکن است با خطا همراه باشد. در شکل (۷) نقشه موقعیت پادگانه‌های آبرفتی بازسازی و تعیین سن شده نمایش داده شده است.

جدول ۳: پادگانه‌های بازسازی شده در منطقه مطالعاتی از جدید به قدیم و تاریخ شکل‌گیری و دبی سیلاب مؤثر در تشکیل آن‌ها

ردیف	سن پادگانه	سال تشکیل پادگانه	تاریخ رخداد سیلاب شکل دهنده پادگانه	دبی پیک سیلاب (m^3/sec)	حداکثر دبی رسوب سالانه (گرم در لیتر) نمونه برداری نشده	تعداد نمونه تأیید کننده سن پادگانه
۱	۶	۲۰۰۹	۱۳۸۸/۱۲/۴	۱۶۹	نمونه برداری نشده	۳
۲	۷	۲۰۰۸	۱۳۸۷/۱۱/۲۴	۱۳۰	۴۸۵۱/۶۴۹	۴
۱	۱۳	۲۰۰۳	۱۳۸۲/۳/۴	۳۶۱	۸۸۹۹۳۰/۱	۹
۴	۱۷	۱۹۹۹	۱۳۷۸/۵/۴	۲۰۰۰	نمونه برداری نشده	۹
۵	۲۰	۱۹۹۶	۱۳۷۵/۸/۲۲	۳۳۵	۵۱۴۲۴/۶۲	۷
۶	۲۹	۱۹۸۷	۱۳۶۶/۷/۱۷	۳۲۳/۵	نمونه برداری نشده	۱
۷	۳۳	۱۹۸۳	۱۳۶۲/۷/۲۰	۱۲۷/۵	نمونه برداری نشده	۱



شکل ۷: نقشه محل‌های دارای فرسایش در حاشیه بستر با زمان آغاز فرسایش و موقعیت پادگانه‌های آبرفتی بازسازی شده و سال تشکیل آن‌ها

نتیجه‌گیری

امروزه تکنیک دندروکرونولوژی جایگاه خاصی در علوم زمین و به ویژه در ژئومورفولوژی یافته است و با استفاده از این تکنیک می‌توان سن فرایندهای ژئومورفولوژیکی مختلف را بازسازی کرد. در این تحقیق با استفاده از شواهد و آثاری که فرایندهای رودخانه‌ای بر روی درختان حاشیه و درون بستر رود نکا بر جای گذاشته بودند و با استفاده از تحلیل دندروژئومورفولوژیکی نمودار روند رشد در ریشه‌های بیرون‌زده درختان و نیز تحلیل نمودارهای رشد ساقه درختانی که بر روی پادگانه‌های آبرفتی قرار داشتند و یا توسط آبرفت‌گذاری تا حدی ساقه درخت در رسوبات مدفون شده بود به بازسازی فرایند فرسایش و آبرفت‌گذاری در حاشیه بستر رود نکا پرداخته شد. تحلیل نمودارهای روند رشد در نمونه‌های ریشه بیرون‌زده بیانگر اطلاعات مفیدی در مورد اولین سال رخداد بیرون‌زدگی ریشه و تعداد دوره‌های فرسایشی و متعاقب آن دوره‌های تشدید بیرون‌زدگی در ریشه است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، سیلاب سال‌های ۲۰۰۳، ۱۹۹۹، ۲۰۰۸ و ۱۹۹۶ به ترتیب بیشترین نقش را در برون‌زدگی ریشه‌های درختان مورد مطالعه داشته‌اند و از مجموع ۷ ریشه مورد مطالعه، اولین سال برون‌زدگی ریشه درخت در ۳ مورد آن‌ها سال ۲۰۰۳ و در ارتباط با سیلاب $361 \text{ m}^3/\text{sec}$ این سال می‌باشد. دو ریشه در سال ۱۹۹۹ و بر اثر رخداد سیلابی این سال با دبی ایستگاهی $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، یک ریشه در سال ۲۰۰۸ بر اثر دبی $130 \text{ m}^3/\text{sec}$ و یک ریشه نیز در سال ۱۹۹۶ و بر اثر رخداد سیل با دبی $335 \text{ m}^3/\text{sec}$ در این سال برون‌زد یافته است. باید گفت که آنالیز فرسایش در ریشه‌های درختان زنده بهتر انجام می‌شود و سال دقیقی را ثبت می‌کند که بیرون‌زدگی ریشه اتفاق افتاده است. ریشه‌های مرده تنها حداقل زمان سپری شده از نمایان شدن و رخداد هم‌زمان فرسایشی را ثبت می‌کنند. هم‌چنین از ۵۱ نمونه گرفته‌شده جهت بازسازی سن پادگانه‌های آبرفتی حاشیه بستر رود، سن ۳۴ نمونه در هماهنگی با سن پادگانه آبرفتی می‌باشد که درخت بر روی آن رشد یافته به عبارتی درخت با پادگانه آبرفتی هم سن است. بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از تحلیل دندروژئومورفولوژیکی عرض حلقه‌های درخت در این نمونه‌ها، تعداد ۷ پادگانه آبرفتی بازسازی و تعیین سن شد که قدیمی‌ترین پادگانه شناخته‌شده در محدوده مطالعاتی دارای سن ۳۳

سال است که در سال ۱۹۸۳ و بر اثر رخداد دبی پیک $127/5 \text{ m}^3/\text{sec}$ مورخ $1362/7/20$ تشکیل شده و پس از آن پادگانه با سن ۲۹ سال می‌باشد که این پادگانه نیز در سال ۱۹۸۷ و متأثر از سیلاب $1366/7/17$ با دبی پیک $323/5 \text{ m}^3/\text{sec}$ تشکیل شده است هم‌چنین پادگانه‌های با سن ۲۰، ۱۷ و ۱۳ سال در منطقه بازسازی و تعیین سن شدند و بر اساس تحلیل دندروولوژیکی جوان‌ترین پادگانه‌ها در این محدوده مطالعاتی دارای سن ۶ و ۷ سال هستند. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش دندروژئومورفولوژی در این منطقه روش کارآمدی برای بازسازی فرایندهای رودخانه‌ای می‌باشد و علاوه بر رخداد سیلابی $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ سال ۱۹۹۹ که بیشترین تأثیرات را در ژئومورفولوژی رودخانه نکا داشته است می‌توان گفت که سیلاب‌های با دبی حدود $300 \text{ m}^3/\text{sec}$ نقش مؤثری را در ژئومورفولوژی این رود و تغییر در فرایندهای فرسایشی و آبرفت‌گذاری در حاشیه بستر رود ایفا کرده‌اند.

منابع

- ارسلانی، محسن، ۱۳۹۰، بازسازی تغییرات دما و بارش زاگرس میانی با استفاده از حلقه‌های درخت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر قاسم عزیزی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، تهران، ایران.
- ارسلانی، محسن؛ عزیزی، قاسم؛ خوش‌اخلاق، فرامرز، 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 بازسازی‌شده زاگرس میانی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۵۱، شماره ۳، صص ۴۱-۵۴.
- بهرامی، شهرام؛ محبوبی، فاطمه؛ سدید، 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؛ رفیعی، 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 یال 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 دوره 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 زمین‌ساخت 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., Diez-Herrero, A., Bodoque, J.M., 2012, Searching for useful non-systematic tree-ring data sources for flood hazard analysis using GIS tools, *Catena*, 92, PP.130-138.

- 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), pp. 93–103.
- Ballesteros, J.A., Eguibar, M., Bodoque, J.M., Diez-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, pp. 970 – 979.
- Beriault, 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., Diez-Herrero, A., Martun-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, pp. 81–102.
- Butler, D.R., Stoffel, M., 2013, *John F. Shroder, Jr.'s 1978 and 1980 papers on dendrogeomorphology*, *Progress in Physical Geography*, pp. 1–5.
- Carrara, P.E., Carroll, T.R., 1979, *the determination of erosion rate from exposed tree roots in the Piceance basin*, *earth surface processes*, vol.4, pp.307-317.
- Chartier, M.P., Rostagno, C.M., Roig, F.A., 2009, *Soil erosion rates in rangelands of northeastern Patagonia: A dendrogeomorphological analysis using exposed shrub roots*, *Geomorphology*, 106, PP. 344–351.
- Chen, F., Yuan, Y-j., Wei, W-s., zhang, T-w., Shang, H-m., Zhang, R., 2014, *Precipitation reconstruction for the southern Altay Mountains (China) from tree rings of Siberian spruce*, *reveals recent wetting trend*, *Dendrochronologia*, 32, PP. 266–272.
- Corona, Christophe, Saez, Jerome Lopez, Stoffel, Markus, Bonnefoy, Mylene, 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.
- De Micco, Veronica, Battipaglia, Giovanna, Cherubini, Paolo, Aronne, Giovanna, 2014, *Comparing methods to analyse anatomical features of tree rings with and without intra-annual density fluctuations (IADFs)*, *Dendrochronologia*, 32, PP.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, pp. 211–220.
- Fantucci, Rosanna, Sorriso-Valvo, Marino, 1999, *Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy)*, *Geomorphology*, 30, pp. 165–174.
- Gartner, H., 2007, *Tree roots-Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes*, *Geomorphology* 86, 243–251.
- Gebica, P., Krapiec, M., 2009, *Young Holocene Alluvial and Dendrochronology of subfossil Trunks in the San River Valley*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, Vol. XLIII, PP. 63-75.
- George, S. ST., Nielsen, E., 2002, *Hydroclimatic Change in Southern Manitoba Since A.D. 1409 Inferred from Tree Rings*, *Quaternary Research*, 58, PP.103–111.
- Goudie, A.S., 2005, *Encyclopedia of Geomorphology, Volume 1*, Routledge Ltd., P. 578.
- Gottesfeld, A.S., Johnson, L.M., 1990, *Floodplain dynamics of a wandering river; dendrochronology of the Morice River*, *British Columbia, Canada*, *Geomorphology*, 3, pp.159-179.
- 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*.

- Malik, I., Matyja, M., 2008, *Bank erosion history of a mountain stream determined by means of anatomical changes in exposed tree roots over the last 100 years (Bila Opava River—Czech Republic)*, *Geomorphology*, 98, pp.126–142.
- Merigliano, M.F., Friedman, J.M., Scott, M.L., 2013, *Tree Ring Records of Variation in Flow and Channel Geometry*, *Geomorphology*, Vo. 12, pp. 145-164.
- Mizugaki, Sh., Nakamura, F., Araya, T., 2006, *Using dendrogeomorphology and 137Cs and 210 Pb radiochronology to estimate recent changes in sedimentation rates in Kushiro Mire, Northern Japan, resulting from land use change and river channelization*, *Catena*, 68 , pp.25–40.
- Rubiales, J.M., Bodoque, J.M., Ballesteros, J.A., Diez-Herrero, A., 2008, *Response of Pinus sylvestris roots to sheet-erosion exposure: an anatomical approach*, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, PP. 223–231.
- 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, pp. 97–106.
- 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, vol.12, *Ecogeomorphology*, pp. 125–144.
- Stoffel, M., Casteller, A., Luckman, B.H., Villalba, R., 2012, *Spatiotemporal analysis of channel wall erosion in ephemeral torrents using tree roots - An example from the Patagonian Andes*, *Geology*, 40, no. 3, p. 247–250.
- Stoffel, M., Wilford, D.J., 2012, *Hydrogeomorphic processes and vegetation: disturbance, process histories, dependencies and interactions*, *Earth Surf. Process. Landforms*, 37, PP. 9–22.
- -Stoffel, M., Bollschweiler, M., 2008, *Tree-ring analysis in natural hazards research-an overview*, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, pp. 187–202.
- 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, pp. 51–70.
- Strunk, H., 1997, *Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods*, *Catena* 31, 137-151.
- -Villanueva, V.R., Diez-Herrero, A., Bodoque, J.M., Ballesteros Canovas, J.A., Stoffel, M., 2013, *Characterisation of flash floods in small ungauged mountain basins of Central Spain using an integrated approach*, *Catena*, 110, pp. 32–43.