



آیا جایگزینی توده دست‌کاشت کاج تدا با توده طبیعی ممرز، عناصر غذایی، اسیدیته و هدایت الکتریکی تاج‌بارش را تغییر می‌دهد؟

پدرام پورمختاری^۱، پدرام عطارد^{۲*}، وحید اعتماد^۳ و تورج سفرکار^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۳دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۴کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، رشت، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۷)

چکیده

مقدمه: جنگلکاری از عوامل مؤثر بر چرخه آب است که می‌تواند کمیت و کیفیت باران را که از منابع ورود عناصر به بوم‌سازگان است، تغییر دهد. هدف پژوهش حاضر، مقایسه عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم و نیز اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) باران با تاج‌بارش توده‌های طبیعی ممرز (*Carpinus betulus L.*) و دست‌کاشت کاج تدا (*Pinus taeda L.*) در غرب ناحیه رویشی هیرکانی (آستارا) است.

مواد و روش‌ها: نمونه‌گیری باران با استفاده از ۹ عدد و تاج‌بارش با ۱۸ عدد جمع‌آوری‌کننده پلاستیکی که به ترتیب در فضای باز و زیر تاج‌پوشش هر یک از توده‌ها نصب شده بودند، انجام گرفت. pH و EC با استفاده از EC متر و pH متر اندازه‌گیری شد. عناصر غذایی کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون و نیز عناصر پتاسیم و سدیم توسط دستگاه فلیم‌فتمتر در سه رخداد باران در طول فصل تابستان اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون‌های ANOVA و LSD در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت.

یافته‌ها: مقدار pH تاج‌بارش توده‌های ممرز در دو رخداد باران ۷ و ۶/۸ و کاج تدا ۶/۴ و ۶/۶، با pH باران (۶/۶ و ۷/۱) اختلاف معنی‌دار نشان داد. EC تاج‌بارش توده‌های ممرز و کاج تدا در مقایسه با EC باران به ترتیب ۱۲۶/۴ درصد و ۱۱۳/۲ درصد افزایش یافت. مقدار کلسیم تاج‌بارش توده ممرز در سه رخداد باران به ترتیب ۲۴، ۱۹/۶ و ۱۲/۵ قسمت در میلیون (میانگین: ۱۸/۷ قسمت در میلیون) و مقدار کلسیم باران، ۱۱/۶، ۶/۷ و ۶/۲ (میانگین: ۸/۲ قسمت در میلیون) اندازه‌گیری شد و این اختلاف در هر سه رخداد معنی‌دار بود. منیزیم کمترین تغییر معنی‌دار را در مقایسه با دیگر عناصر بررسی شده نشان داد. پتاسیم تاج‌بارش توده ممرز در باران تیرماه (۲۱/۲ قسمت در میلیون) در مقایسه با باران (۹/۳ قسمت در میلیون)، ۱۱/۹ واحد افزایش داشت. مقدار سدیم تاج‌بارش (۱۵/۶ قسمت در میلیون) توده دست‌کاشت کاج تدا در رخداد اول با مقدار سدیم باران (۹/۳ قسمت در میلیون) اختلاف معنی‌داری نشان داد.

نتیجه‌گیری: پس از برخورد باران با توده طبیعی ممرز، در ۸۵ تا ۹۰ درصد نمونه‌های تاج‌بارش، عناصر غذایی و نیز اسیدیته و هدایت الکتریکی، تغییر معنی‌دار (در مقایسه با باران) مشاهده شد. در حالی که این درصد برای توده دست‌کاشت کاج تدا ۷۰ تا ۷۵ درصد بود. جایگزینی کاج تدا با ممرز، به تغییر در ۵۵ درصد نمونه‌های تاج‌بارش از حیث عناصر غذایی، اسیدیته و هدایت الکتریکی منجر شد. آگاهی از تغییر مقدار ورودی عناصر غذایی از طریق تاج‌بارش در انتخاب گونه مناسب برای جنگلکاری‌ها ضروری است، زیرا کاشت گونه‌های جدید در یک منطقه، افزون‌بر تغییر در کمیت باران رسیده به کف جنگل، کیفیت آب باران را نیز تغییر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آستارا، باران، جنگلکاری، گونه بومی.

مقدمه

جنگل طبیعی یکی از ارکان بنیادی توسعه پایدار و ذخیره‌گامی بارزش ژنتیکی در جهان محسوب می‌شود (Parhizkar et al., 2002). جنگل‌های شمال کشور موسوم به جنگل هیرکانی در این دسته قرار می‌گیرند. این جنگل‌ها از شهر آستارا آغاز می‌شوند و تا دره گلیداغی بجنورد ادامه می‌یابند (Marvie Mohadjer, 2013). جنگل‌ها با توجه به نیاز روزافزون جمعیت، بهره‌برداری‌های غیراصولی و نبود تجدید حیات طبیعی در معرض تهدید قرار گرفته‌اند. عملیات جنگلکاری به احیای جنگل‌ها کمک می‌کند (Bryant et al., 2005). انتخاب گونه مناسب برای کاشت، از مهم‌ترین تصمیم‌ها برای جنگلکاری است (Mosayeb Neghad et al., 2007). زیرا عوامل زیستی رویشگاه پس از انجام جنگلکاری می‌توانند تحت تأثیر گونه کاشته‌شده تغییر یابند (Bryant et al., 2005). بنابراین انتخاب صحیح گونه سبب افزایش بازدهی عملیات جنگلکاری می‌شود و در صورت انتخاب نادرست، ممکن است زیان‌های اقتصادی یا بوم‌شناختی روی دهد (Mosayeb Neghad et al., 2007). جنگلکاری با گونه‌های بومی و غیربومی، گذشته از تغییر در مقدار باران رسیده به کف جنگل از طریق باران‌ربایی (Ahmadi et al., 2009)، کیفیت آن را نیز تغییر می‌دهد. باران از منابع مهم ورود عناصر به بوم‌سازگان جنگل است و مقدار گردش عناصر از مهم‌ترین عوامل در عملکرد و پایداری بوم‌سازگان در نظر گرفته می‌شود (Brasell et al., 1980). ورود عناصر از طریق تاج‌بارش به کف جنگل، با توجه به این موضوع که به‌صورت مستقیم و بدون نیاز به معدنی شدن از طریق فرایندهای مربوط صورت گرفته و به‌سرعت در اختیار گیاهان و جانداران قرار می‌گیرد دارای اهمیت است (Eaton et al., 1973). در حقیقت تاج‌بارش، مسیری مهم در پویایی عناصر غذایی درون جنگل به حساب می‌آید که نشان‌دهنده وجود رابطه‌ای نزدیک میان عناصر غذایی و چرخه آب است (Parker, 1983). به‌طور کلی عناصر غذایی آب باران پس از برخورد با تاج

درختان، دچار سه فرایند جذب توسط بافت‌های گیاهی، ترکیب با آنها یا تجمع در اتمسفر می‌شوند. در ادامه، عناصر غذایی و غلظت آن در تاج‌بارش تغییر می‌کند و از نظر اسیدیته و فراوانی عناصر، ترکیبی متفاوت از آب باران خواهد داشت که می‌تواند بر حاصلخیزی خاک، پویایی عناصر غذایی و فعالیت برخی ریزجاندارها^۱ که تنها در شرایط خاص شیمیایی قادر به فعالیت هستند، اثرگذار باشد (Parker, 1983; Beniamino et al., 1991; Levia & Frost, 2003). کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم از عناصر مهم و مورد نیاز درختان جنگل است که به طرق مختلف مانند آبشویی^۲ درختان، به‌وسیله آب باران به کف جنگل می‌رسد (Eaton et al., 1973). اهمیت عنصر غذایی کلسیم از نظر تأثیر آن در حاصلخیزی و بهبود ساختمان خاک است (Eaton et al., 1973) و عنصر غذایی منیزیم به‌عنوان هسته مرکزی سازنده کلروفیل مطرح می‌شود (Lin et al., 2001). عنصر غذایی پتاسیم در تثبیت اسیدیته، سنتز پروتئین، باز و بسته شدن روزنه‌ها، فتوسنتز، تعادل یونی در گیاه و برقراری پتانسیل اسمزی تأثیر دارد (Fisher et al., 2000) و عنصر غذایی سدیم نیز در برقراری بیلان آب به‌خصوص در شرایط تنش خشکی مؤثر است (Moslehi et al., 2011). همچنین سدیم را می‌توان عاملی در تخریب ساختمان و کاهش‌دهنده نفوذپذیری و رطوبت خاک دانست (Azizmoradi et al., 2018).

Habashi et al. (2019) تحقیقی را برای بررسی پویایی عناصر غذایی در باران، تاج‌بارش و لاشریزه درختان ممرز در جنگل شصت‌کلاته گرگان انجام دادند. نتایج نشان داد که مقدار آبشویی عنصر غذایی سدیم در تاج‌بارش به‌طور معنی‌دار کمتر از سدیم آب باران است. همچنین مقدار آبشویی عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم تاج‌بارش در ماه‌های مختلف در طول سال به‌طور معنی‌داری متفاوت است. Tafazoli et al.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این تحقیق در شهر آستارا با طول جغرافیایی ۳۵' ۴۸° تا ۵۳' ۴۸° و عرض جغرافیایی ۱۵' ۳۸° تا ۲۷' ۳۸° در شمال غربی استان گیلان انجام گرفت. ارتفاع از سطح آب‌های آزاد در این ناحیه ۲۴- متر است. حداقل ارتفاع جنگل‌های این شهرستان تقریباً هم‌سطح دریای خزر و حداکثر آن ۱۸۰۰ متر از سطح دریای خزر است. این شهرستان ۳۴۴ کیلومتر مربع مساحت دارد و از دو بخش مرکزی و لوندویل تشکیل شده است. گستره جنگل آستارا ۴۰ هزار هکتار است. منطقه پژوهش در بخش مرکزی، روستای دربند، در ارتفاع ۱۲۰ متر از سطح دریا و فاصله حدود ۴ کیلومتر از دریا واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالیانه آستارا ۱۳۴۵ میلی‌متر است که اغلب به صورت باران است. این منطقه در کلیموگرام باران و دمای آمبرژه، جزء اقلیم‌های خیلی مرطوب با زمستان خنک به حساب می‌آید. توده طبیعی ممرز به صورت ناهمسال و آمیخته با گونه‌های انجیلی، افرا پلت و توسکای بیلاقی و توده دست کاشت کاج تدا به صورت توده همسال و خالص بود (Hassanzad Navroodi & Safarkar, 2018).

شیوه اجرای پژوهش

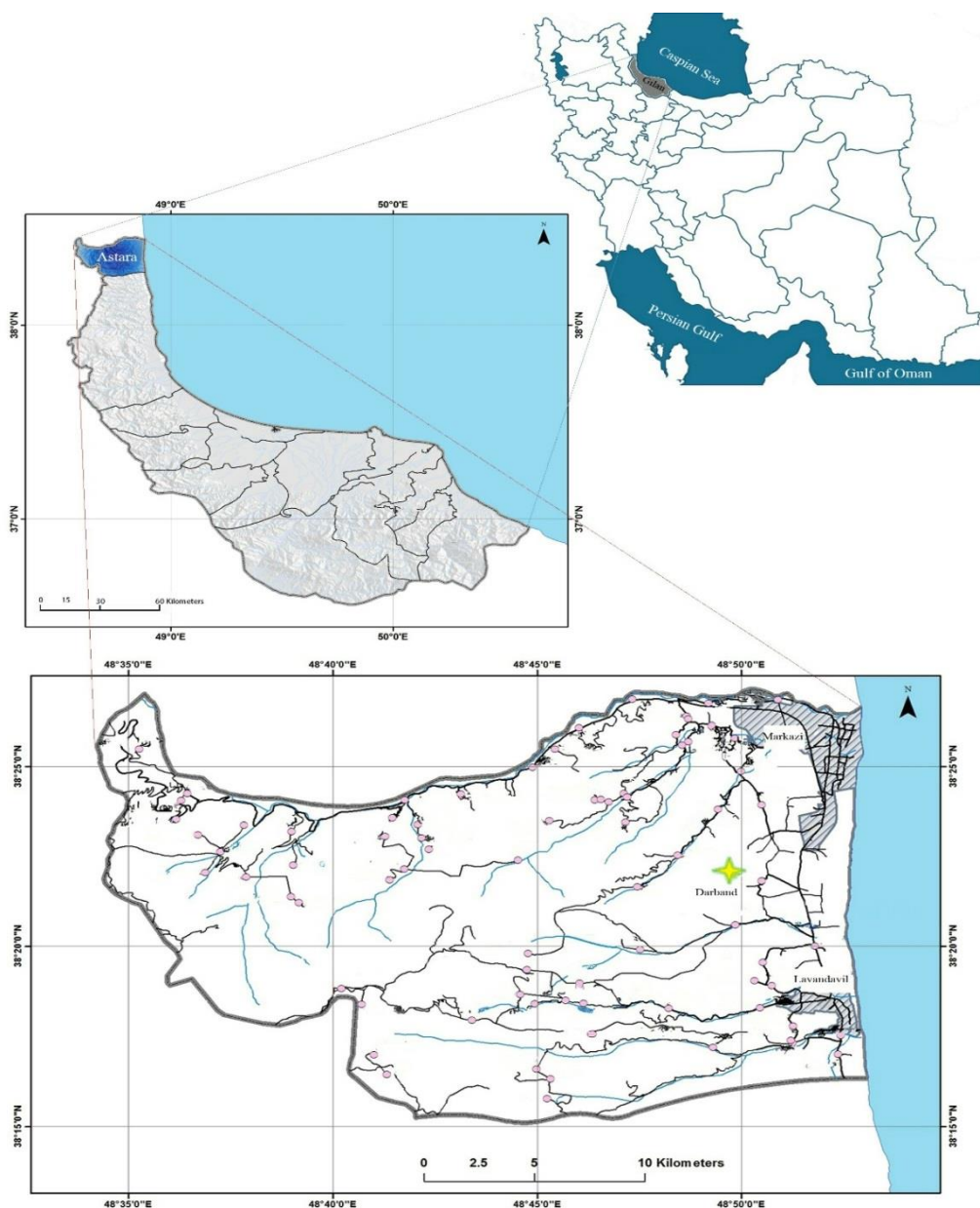
برای نمونه‌گیری تاج‌بارش، از تعدادی جمع‌آوری‌کننده (۱۸ عدد) از جنس پلاستیک با قطر دهانه ۸ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد که در زیر تاج‌پوشش به صورت عمودی در سطح زمین توزیع و نصب شدند. محل قرارگیری جمع‌آوری‌کننده‌ها به صورت تصادفی و براساس تراکم تاج‌پوشش انتخاب شد، به طوری که کل سطح توده‌ها پوشش داده شود. تعدادی جمع‌آوری‌کننده (نه عدد) نیز در فضای باز نزدیک توده‌ها (با فاصله حدود ۲۰ متر) برای جمع‌آوری نمونه‌های آب باران قرار داده شد. برای جلوگیری از ورود حشره‌ها، لاشبرگ و دیگر ضایعات در جنگل به درون جمع‌آوری‌کننده‌ها، سطح همه آنها

(2020) نیز تحقیقی را برای بررسی و مقایسه ترکیب شیمیایی تاج‌بارش توده‌های دست کاشت پلت (*Acer velutinum* Bioss.) و بروسیا (*Pinus brutia* Ten.) در جنگل دارابکلای ساری انجام دادند و اسیدیت و هدایت الکتریکی و نیز مقدار عناصر غذایی تاج‌بارش را اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که مقدار متوسط هدایت الکتریکی تاج‌بارش در فصل رویش در توده پلت به طور معنی‌داری بیشتر از توده بروسیا و آب باران است. متوسط غلظت عناصر پتاسیم و منیزیم نیز در تاج‌بارش توده‌های پلت و بروسیا به طور معنی‌دار بیشتر از آب باران گزارش شد. نتایج تحقیقی در منطقه لاجیم برای بررسی اثر جایگزینی جنگل راش شرقی با پیسه‌آ با مبدأ یوگسلاوی بر عناصر غذایی در تاج‌بارش، ساقاب و افق آلی خاک، نشان داد که با تبدیل جنگل راش طبیعی به پیسه‌آ، به طور چشمگیری مقدار عناصر غذایی خروجی از تاج‌پوشش و افق آلی خاک تغییر پیدا می‌کند (Attarod et al., 2019).

چرخه عناصر غذایی، فرایندی پایدار در عملکرد بوم‌سازگان جنگل است (Salehi et al., 2015). کاشت درختان مناسب می‌تواند عناصر غذایی را که در اختیار گیاهان و خاک قرار می‌گیرد، بهبود ببخشد. پژوهش و بررسی روابط بین چرخه آب، عناصر غذایی و اثر گونه‌های مختلف درختی بر آنها، به مدیریت بهینه جنگل، انتخاب گونه‌های سازگارتر و مناسب‌تر در جنگلکاری و نیز احیای جنگل کمک می‌کند. هدف این پژوهش، مقایسه عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم موجود در آب باران با تاج‌بارش توده‌های طبیعی ممرز (*Carpinus betulus* L.) و دست کاشت کاج تدا (*Pinus taeda* L.) و نیز مقایسه اسیدیت و هدایت الکتریکی تاج‌بارش دو توده مذکور با باران در غرب ناحیه هیرکانی در شهر آستارا بود. فرضیه پژوهش این است که مقدار اسیدیت، هدایت الکتریکی و عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم موجود در باران پس از برخورد با توده‌های ممرز و کاج تدا تغییر می‌کند.

قلمی و هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر براساس واحد میکروزیمنس بر سانتی‌متر ($\mu\text{S}/\text{cm}$) در آزمایشگاه قرائت شد. مقدار عناصر کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراسیون^۱ و براساس واحد قسمت در میلیون (ppm) و مقدار عناصر پتاسیم و سدیم توسط روش فلیم‌فوتومتری براساس واحد قسمت در میلیون (ppm) اندازه‌گیری شد.

با توری پوشانده شد. نمونه‌ها در سه نوبت بارندگی در فصل تابستان (ابتدای تیر، اواسط مرداد و ابتدای شهریور) در حداقل زمان پس از پایان بارش (حداکثر ۲۴ ساعت) جمع‌آوری شدند و درون ظروف دربدار مخصوص نگهداری نمونه قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. اسیدیتة نمونه‌ها بلافاصله پس از بارندگی در عرصه با استفاده از دستگاه pH متر



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش در شهر آستارا، استان گیلان، ناحیه رویشی هیرکانی

Figure 1. The location of the study site in the Astara city, Gilan province, the Hyrcanina vegetation region

1. Titration

روش تحلیل

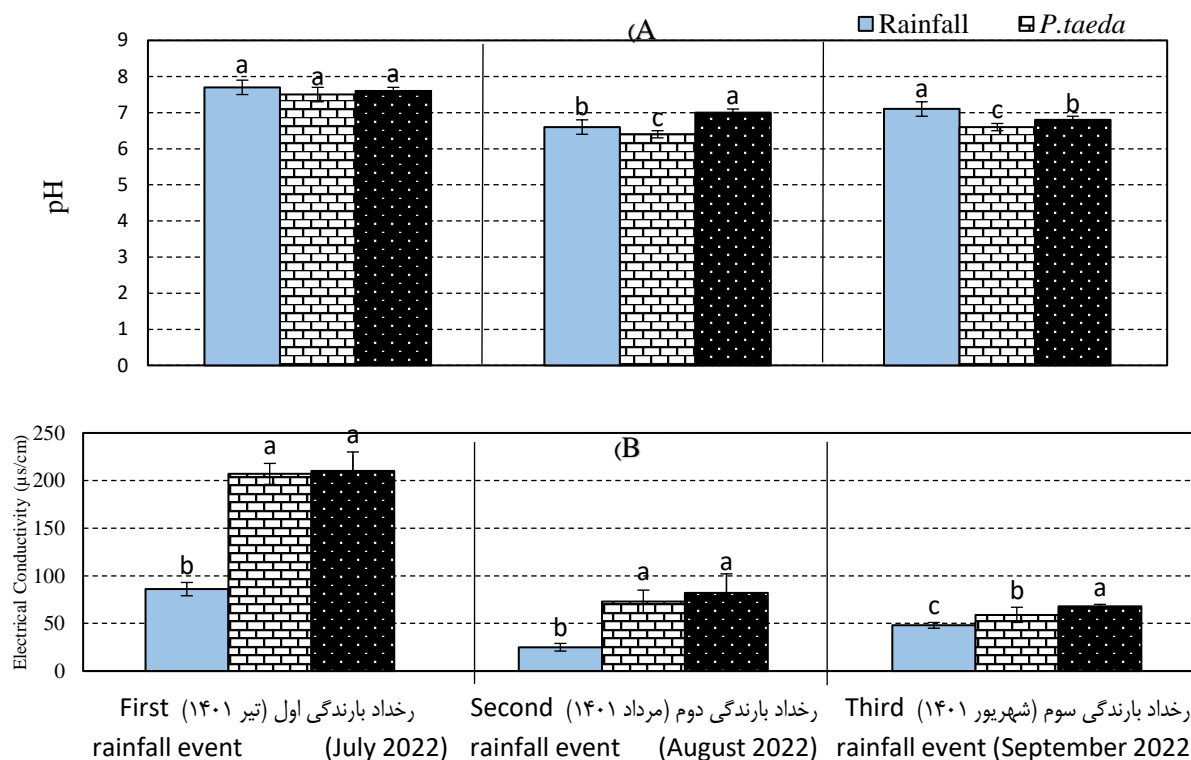
داده‌های حاصل از پژوهش، با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل ۲۰۱۶ همراه با افزونه XISTAT 2016 و IBM SPSS Statistics 24 تجزیه و تحلیل شدند. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون‌های تحلیل واریانس یکطرفه (one-way ANOVA) و حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام گرفت.

نتایج

اسیدیته و هدایت الکتریکی

اسیدیته تاج‌بارش دو توده طبیعی ممرز و

دست‌کاشت کاج تدا در رخدادهای باران دوم و سوم اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) با یکدیگر و با باران نشان داد (شکل ۲-الف). هدایت الکتریکی تاج‌بارش کاج تدا و ممرز در باران‌های اول و دوم اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) با باران داشت. هدایت الکتریکی تاج‌بارش در باران اول (تیرماه) به بیشترین مقدار خود رسید که برای ممرز و کاج تدا به ترتیب ۲۰۷ و ۲۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر ($\mu\text{S}/\text{cm}$) اندازه‌گیری شد. در باران سوم اختلاف معنی‌داری بین اسیدیته و هدایت الکتریکی تاج‌بارش دو گونه با یکدیگر و با باران مشاهده شد (شکل ۲-ب).



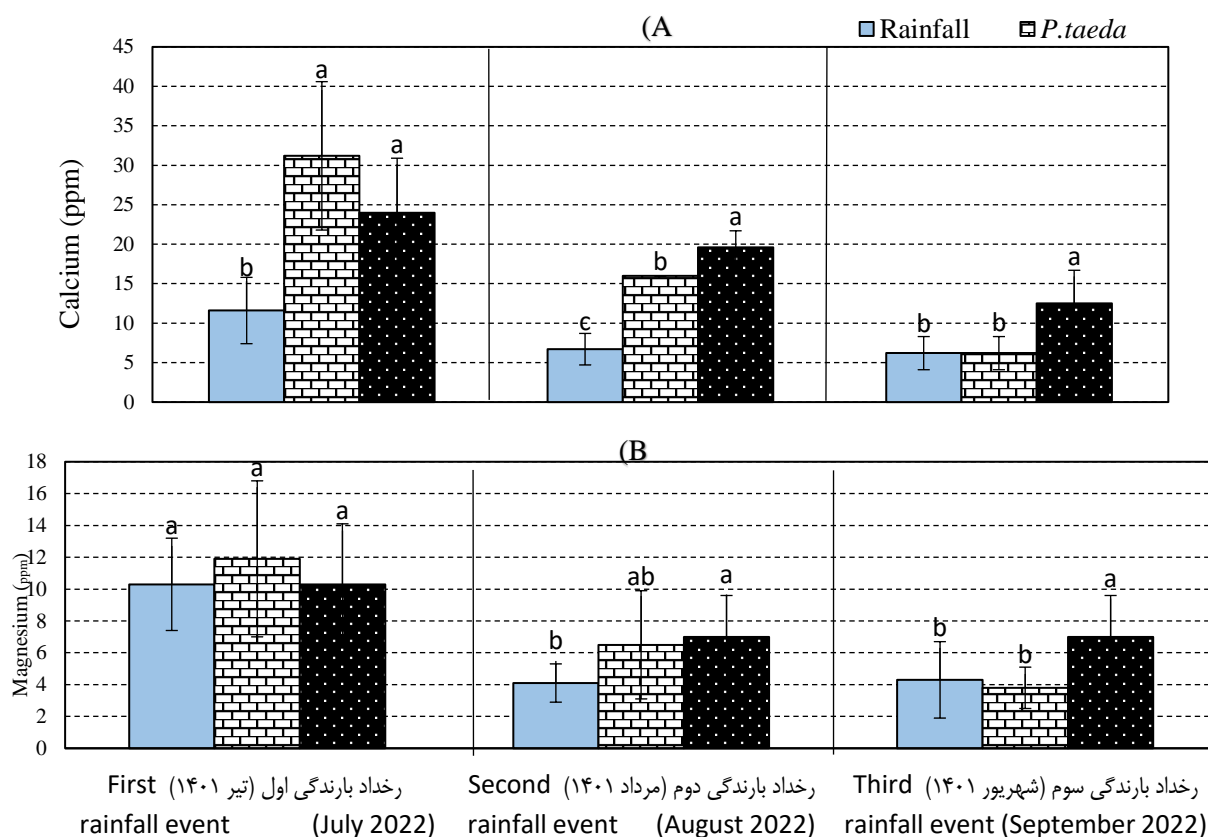
شکل ۲- متوسط اسیدیته (شکل A) و هدایت الکتریکی (شکل B) تاج‌بارش توده‌های ممرز و کاج تدا در مقایسه با باران برای سه رخداد بارندگی (ابتدای تیر، اواسط مرداد و ابتدای شهریور ۱۴۰۱) در غرب ناحیه ریشی هیرکانی (شهر آستارا). بارها نشان‌دهنده انحراف معیار است. حروف لاتین غیرمشابه، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از روش تحلیل واریانس یکطرفه و آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار است (مقایسه‌ها درون هر رخداد بارندگی انجام گرفته است).

Figure 2. Mean pH (Figure A) and EC (Figure B) in throughfall of *Carpinus betulus* and *Pinus taeda* compared with rainfall for three rainfall events (beginning of July, mid-August, and beginning of September 2022) in the west of Hyrcanian region (Astara city). Error bars show the standard deviation of mean. Dissimilar letters indicate significant differences ($P < 0.05$) using one-way ANOVA analysis and the LSD test (comparisons were made within each rainfall event)

کلسیم و منیزیم

مشاهده شد (شکل ۳ الف). مقدار کلسیم در تاج‌بارش ممرز، در دو رخداد باران، هم از مقدار کلسیم تاج‌بارش کاج تدا و هم از کلسیم باران به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. منیزیم تاج‌بارش ممرز در رخداد باران سوم، اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) با باران نشان داد، اما در هیچ یک از رخدادهای باران، منیزیم در تاج‌بارش کاج تدا، با باران اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۳ ب).

کلسیم تاج‌بارش توده‌های طبیعی ممرز و دست‌کاشت کاج تدا در رخداد باران تیرماه با باران اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نشان داد (شکل ۳ الف). کلسیم تاج‌بارش در رخداد باران اول برای توده‌های ممرز و کاج تدا به‌ترتیب ۲۴ و ۳۱/۲ قسمت در میلیون بود. در رخداد باران دوم، اختلاف معنی‌داری بین کلسیم تاج‌بارش دو توده با یکدیگر و با باران



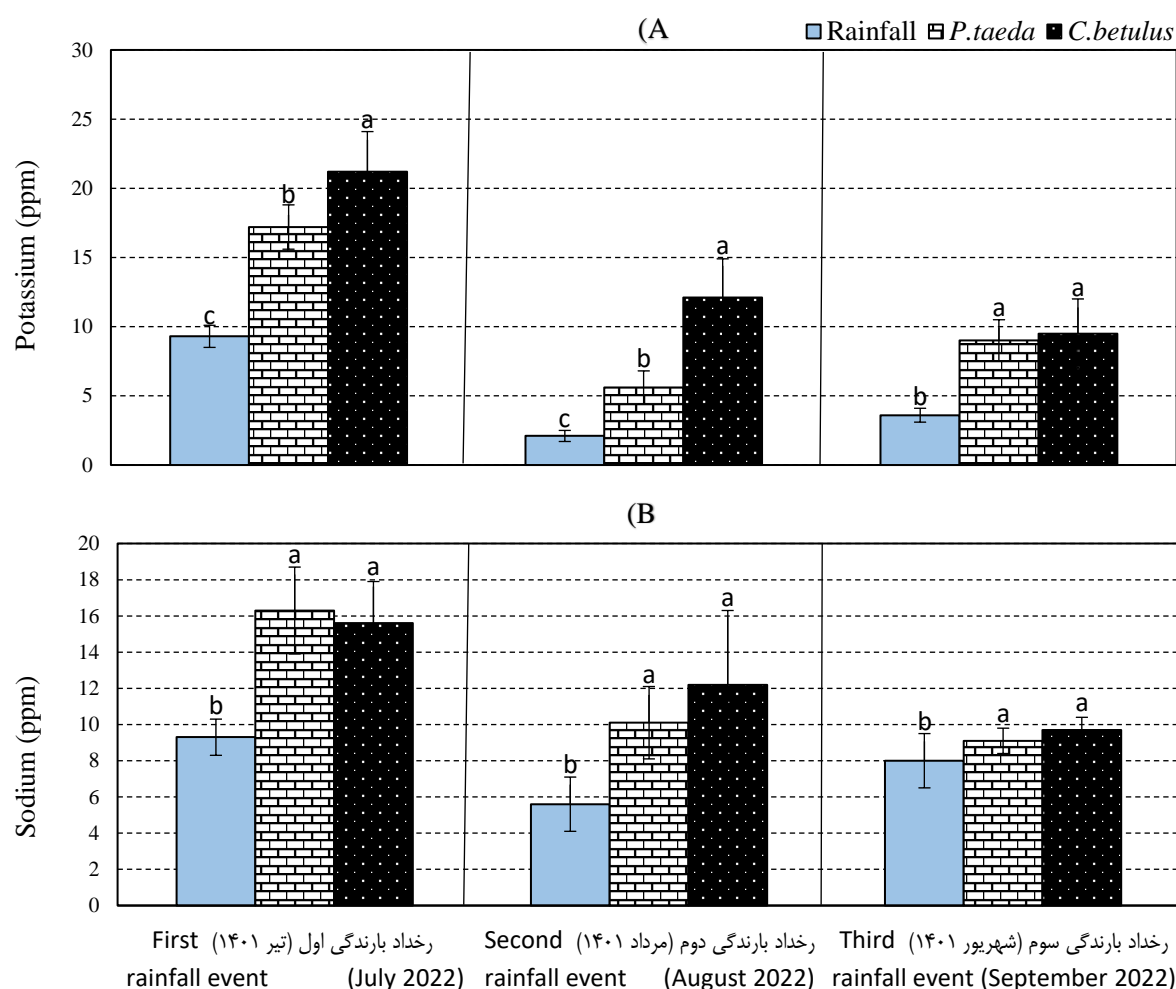
شکل ۳- متوسط کلسیم (شکل A) و منیزیم (شکل B) تاج‌بارش توده‌های ممرز و کاج تدا در مقایسه با باران برای سه رخداد بارندگی (ابتدای تیر، اواسط مرداد و ابتدای شهریور ۱۴۰۱) در غرب ناحیهٔ رویشی هیرکانی (شهر آستارا). بارها نشان‌دهندهٔ انحراف معیار است. حروف لاتین غیرمشابه، نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از روش تحلیل واریانس یکطرفه و آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار است (مقایسه‌ها درون هر رخداد بارندگی انجام گرفته است).

Figure 3. Mean Ca^{++} (Figure A) and Mg^{++} (Figure B) in throughfall of *Carpinus betulus* and *Pinus taeda* compared with rainfall for three rainfall events (beginning of July, mid-August, and beginning of September 2022) in the west of Hyrcanian region (Astara city). Error bars show the standard deviation of mean. Dissimilar letters indicate significant differences ($P < 0.05$) using one-way ANOVA analysis and the LSD test (comparisons were made within each rainfall event)

پتاسیم و سدیم

پتاسیم تاج‌بارش توده‌های ممرز و کاج تدا در رخدادهای باران اول و دوم اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) با یکدیگر و با باران داشت. در رخداد باران سوم، بین مقادیر پتاسیم تاج‌بارش دو گونه، اختلاف معنی‌دار دیده نشد. بیشترین مقدار پتاسیم در تاج‌بارش توده ممرز در رخداد باران اول (تیرماه)

اندازه‌گیری شد (۲/۲ قسمت در میلیون)، به طوری که در مقایسه با پتاسیم باران (۳/۹ قسمت در میلیون)، ۱۱/۹ واحد افزایش داشت (شکل ۳ الف). در هر سه رخداد باران، بین مقدار سدیم تاج‌بارش دو توده ممرز و کاج تدا اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، اما در مقایسه با رخداد باران، مقدار سدیم تاج‌بارش هر دو گونه افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل ۳ ب).



شکل ۴- متوسط پتاسیم (شکل A) و سدیم (شکل B) تاج‌بارش توده‌های ممرز و کاج تدا در مقایسه با باران برای سه رخداد بارندگی (ابتدای تیر، اواسط مرداد و ابتدای شهریور ۱۴۰۱) در غرب ناحیه ریشی هیرکانی (شهر آستارا). بارها نشان‌دهنده انحراف معیار است. حروف لاتین غیرمشابه، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از روش تحلیل واریانس یکطرفه و آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار است (مقایسه‌ها درون هر رخداد بارندگی انجام گرفته است).

Figure 4. Mean K^+ (Figure A) and Na^+ (Figure B) in throughfall of *Carpinus* and *Pinus taeda* compared with rainfall for three rainfall events (beginning of July, mid-August, and beginning of September 2022) in the west of Hyrcanian region (Astara city). Error bars show the standard deviation of mean. Dissimilar letters indicate significant differences ($P < 0.05$) using one-way ANOVA analysis and the LSD test (comparisons were made within each rainfall event)

افزایش در توده کاج (تدا). متوسط منیزیم در تاج بارش توده طبیعی ممرز در مقایسه با باران، تغییر معنی دار داشت (حدود ۳۱ درصد افزایش). عنصر غذایی پتاسیم نیز به طور معنی داری در تاج بارش دو توده ممرز و کاج تدا افزایش نشان داد (۱۸۶ درصد در توده ممرز در مقابل ۱۱۲ درصد در توده کاج تدا). عنصر غذایی سدیم در تاج بارش توده های ممرز و کاج تدا تغییر معنی دار نشان داد، به طوری که در توده ممرز حدود ۶۵ درصد و در توده کاج تدا ۵۵ درصد افزایش داشت (جدول ۱).

میانگین اسیدیته تاج بارش توده کاج تدا در مقایسه با باران کاهش معنی دار داشت. متوسط هدایت الکتریکی تاج بارش در طول دوره تحقیق برای توده های ممرز و کاج تدا به طور معنی دار تغییر نشان داد که حاکی از افزایش ۱۲۶ درصدی در توده ممرز و ۱۱۳ درصدی در توده کاج تدا در مقایسه با باران بود (جدول ۱).

متوسط عنصر غذایی کلسیم افزایش چشمگیری در تاج بارش دو توده ممرز و کاج تدا داشت (۱۲۸ درصد افزایش در توده ممرز در مقابل ۱۱۷ درصد

جدول ۱- میانگین اسیدیته و هدایت الکتریکی و نیز مقادیر عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم در سه رخداد تاج بارش توده های طبیعی ممرز و دست کاشت کاج تدا در مقایسه با باران

Table 1. Means pH, EC and nutrient elements of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ and Na⁺ in throughfall of a natural stand of *Carpinus betulus* and a man-made *Pinus taeda* plantation and rainfall events

سدیم Sodium (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	منیزیم Magnesium (ppm)	کلسیم Calcium (ppm)	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (μs/cm)	اسیدیته Acidity (pH)	
7.6	5	6.2	8.2	53	7.1	باران Rain
↑ 12.5	↑ 14.3	↑ 8.1	↑ 18.7	↑ 120	7.1	توده ممرز <i>C. betulus</i> stand
↑ 11.8	↑ 10.6	7.9	↑ 17.8	↑ 113	↓ 6.8	توده کاج تدا <i>P. taeda</i> stand

* علامت ↑ نشان دهنده افزایش و ↓ نشان دهنده کاهش معنی دار مقدار عنصر غذایی یا اسیدیته و هدایت الکتریکی تاج بارش در مقایسه با رخداد باران است.

* The sign ↑ indicates a significant increase and ↓ indicates a significant decrease (P<0.05) in nutrient elements of throughfall compared with rainfall events

هدایت الکتریکی تاج بارش دو توده نسبت به هدایت الکتریکی باران افزایش نشان داد که همسو با پژوهش (Jana et al., 2021) در غرب هیمالیا برای گونه های بلوط (*Quercus leucotrichophora* A.) و سدر (*Cedrus deodara* Loud) و (Camus) و نیز (Tafazoli et al., 2020) در شرق مازندران برای گونه دست کاشت پلت (*Acer velutinum* Bioss.) در فصل رویش است. تجمع عناصر افزایش دهنده هدایت الکتریکی مانند سدیم، گردوغبار و غیره روی شاخ و برگ درختان، ممکن است از عوامل مؤثر در افزایش مقدار آن در تاج بارش باشد (Chiwa et al., 2004).

بحث

در پژوهش حاضر، اسیدیته تاج بارش توده کاج تدا کاهش یافت که با یافته های (Attarod et al., 2019) در لاجیم مازندران برای گونه های راش شرقی (*Picea*) و کاج نوئل (*Fagus orientalis* Lipsky) و نیز (Khosropour et al., 2012) در تهران (*abies* L.) (پارک جنگلی چیتگر) برای گونه کاج تهران (*Pinus eldarica* Medws.) همسو است. علت چنین رخدادی را می توان ترشح مواد اسیدی کننده از بافت های درخت به سطوح خارجی دانست (Houbao et al., 1999).

غلظت این عنصر غذایی را در پی دارد (Lovett et al., 2011).

عنصر غذایی سدیم نیز در تاج بارش هر دو توده طبیعی ممرز و دست کاشت کاج تدا افزایش معنی داری نسبت به سدیم باران نشان داد که با نتایج پژوهش‌های (Nsien et al., 2021) برای تاج بارش آبنوس (*Diospyros crassiflora* Hiern) Attarod et al. (2019) برای تاج بارش راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) و نوئل (*Picea abies* L.) و نیز (2002) Chiwa et al. برای تاج بارش کاج ژاپنی (*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.) واقع در مناطق کوهستانی همسو است. فاصله منابع آبی و رسوبات دریایی از جنگل‌ها را می‌توان از عوامل مؤثر در غلظت عنصر غذایی در باران و تاج بارش دانست (Moslehi et al., 2011). با توجه به اینکه برای تاج بارش هر توده، در مجموع هجده نمونه (سه رخداد باران × چهار عنصر و اسیدیته و هدایت الکتریکی) اندازه‌گیری شد (جدول ۲)، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که پس از برخورد باران به توده‌های طبیعی ممرز، عناصر غذایی تاج بارش و نیز اسیدیته و هدایت الکتریکی در ۸۵ تا ۹۰ درصد موارد، نسبت به باران تغییر معنی دار پیدا می‌کند، در حالی که عدد متناظر برای توده دست کاشت کاج تدا ۷۰ تا ۷۵ درصد است (جدول ۲).

مطابق آنچه در تشریح جدول ۲ ذکر شد، در پژوهش حاضر با جایگزینی توده دست کاشت کاج تدا با توده طبیعی ممرز، حدود ۵۵ درصد عناصر غذایی و نیز اسیدیته و هدایت الکتریکی تاج بارش تغییر کرد (جدول ۳).

بر پایه نتایج این پژوهش تغییرات شگرفی در ترکیبات تاج بارش پس از جنگلکاری با گونه‌های غیربومی به وجود خواهد آمد. بنابراین در هنگام انتخاب گونه برای جنگلکاری، در کنار توجه به دیگر ملاحظه‌های اکولوژیکی، باید به این نکته نیز توجه داشت که کاشت گونه‌های جدید در هر منطقه (به‌ویژه

عنصر غذایی کلسیم در تاج بارش هر دو توده طبیعی ممرز و دست کاشت کاج تدا نسبت به باران افزایش معنی دار داشت. (Su et al., 2019) نیز مقدار عنصر غذایی کلسیم در تاج بارش برای دو جنگل خزان‌کننده با گونه‌های راش چینی (*Fagus engleriana* Seemen ex Diels) و بلوط (*Quercus serrata* Murray) و جنگل همیشه‌سبز با گونه‌های *Cyclobalanopsis oxyodon* (Miq.) Oerst. *Cyclobalanopsis multinervis* W.C.Cheng & T.Hong را با اختلاف معنی دار با کلسیم باران گزارش کردند. علت تا حدودی تمرکز بیشتر این عنصر غذایی در اندام‌های هوایی به‌ویژه تاج درخت است (Moslehi et al., 2011).

عنصر غذایی منیزیم نیز گاه در تاج بارش هر دو توده افزایش معنی داری نسبت به منیزیم باران داشت که با نتایج پژوهش (Moslehi et al., 2011) در ناحیه رویشی هیرکانی برای گونه راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) همسو است. از آنجا که غلظت این عنصر غذایی در برگ و بذر درختان بیشتر است، افزایش غلظت این عنصر غذایی در تاج بارش را می‌توان به فراوانی آن در تاج درخت نسبت داد (Lin et al., 2001).

عنصر غذایی پتاسیم در تاج بارش هر دو توده به‌طور معنی داری افزایش نشان داد. این نتیجه در تحقیق‌های (Moslehi et al., 2011) برای گونه راش شرقی در گرگان و (Su et al., 2019) در مرکز چین برای گونه‌های راش چینی (*Fagus engleriana* Seemen ex Diels) و بلوط (*Quercus serrata* Murray) *Cyclobalanopsis oxyodon* (Miq.) Oerst. *Cyclobalanopsis multinervis* W.C.Cheng & T.Hong و (Tafazoli et al., 2020) در دارابکلا بر روی گونه‌های پلت (*Acer velutinum* Bioss.) و بروسیا (*Pinus brutia* Ten.) نیز تأیید شده بود. بافت‌های گیاهی حاوی مقدار زیادی پتاسیم هستند که از برگ به سطح خارجی ترشح می‌شود و افزایش

توصیه نمی‌شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، این تحقیق در فصل‌های دیگر نیز تکرار شود. از طرفی در پژوهش حاضر فقط به بررسی تعدادی از عناصر قلیایی در تاج‌بارش پرداخته شد و با توجه به اهمیت دیگر عناصر، باید عناصر اسیدی نیز در تحقیقات آینده بررسی شوند تا بتوان به نتایج کامل‌تری دست یافت.

گونه‌های غیربومی)، افزون‌بر تغییر در کمیت باران رسیده به کف جنگل، کیفیت آب باران را نیز تغییر می‌دهد. در همین زمینه، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جنگلکاری با گونه سوزنی‌برگ و غیربومی کاج تدا به‌جای توده طبیعی ممرز، ممکن است تغییرات زیادی در کیفیت تاج‌بارش رسیده به کف جنگل داشته باشد و از این حیث، جنگلکاری با این گونه

جدول ۲- مقایسه تغییرات عناصر غذایی، اسیدیته و هدایت الکتریکی تاج‌بارش توده‌های طبیعی ممرز و دست‌کاشت کاج تدا در مقایسه با باران در سه رخداد بارندگی در تابستان ۱۴۰۱

Table 2. Comparison of the changes in nutrients of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ and Na⁺ as well as pH and EC in throughfall of a natural stand of *Carpinus betulus* and a man-made *Pinus taeda* plantation compared with rainfall in three rainfall events in the Summer season, 2022

رخداد سوم (شهریور) Third event (September)						رخداد دوم (مرداد) Second event (August)						رخداد اول (تیر) First event (July)						
Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	EC	pH	
Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Red	Red	Red	Yellow
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>توده ممرز <i>C. betulus</i> stand</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>توده کاج تدا <i>P. taeda</i> stand</p> </div> </div>																		

* سلول‌های قرمز نشان‌دهنده تغییر معنی‌دار و سلول‌های زرد نشان‌دهنده تغییر غیرمعنی‌دار تاج‌بارش با رخداد باران است.
* Red and Yellow cells indicate significant and no significant changes with rainfall events, respectively

جدول ۳- مقایسه تغییرات عناصر غذایی، اسیدیته و هدایت الکتریکی تاج‌بارش توده‌های طبیعی ممرز و دست‌کاشت کاج تدا با یکدیگر در سه رخداد بارندگی در تابستان ۱۴۰۱

Table 3. Comparison of the changes in nutrients of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ and Na⁺ as well as pH and EC in throughfall of a natural stand of *Carpinus betulus* and a man-made *Pinus taeda* plantation compared with each other in three rainfall events in the Summer season, 2022

رخداد سوم (شهریور) Third event (September)						رخداد دوم (مرداد) Second event (August)						رخداد اول (تیر) First event (July)						
Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	EC	pH	
Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow
<p>تاج‌بارش Throughfall</p>																		

* سلول‌های قرمز نشان‌دهنده تغییر معنی‌دار و سلول‌های زرد نشان‌دهنده تغییر غیرمعنی‌دار با رخداد باران است.
* Red and Yellow cells indicate significant and no significant changes with rainfall events, respectively

References

- Ahmadi, M.T., Attarod, P., Marvi Mohadjer, M.R., Rahmani, R., & Fathi, J. (2009). Canopy interception loss in a pure oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand during the summer season. *Iranian Journal of Forest*, 1(2), 175-185. (In Persian)
- Attarod, P., Abbasian, P., Grant-Pypker, T., Ahmadi, M.T., Zahedi-Amiri, G., Soofi-Mariv, H., & Bayramzadeh, V. (2019). Replacing an oriental beech forest with a spruce plantation impacts nutrient concentrations in throughfall, stemflow, and O layer. *Forest Systems*, 28(2), 10. <https://doi.org/10.5424/fs/2019282-14782>
- Azizmoradi, S., Bazigar, M., & Amiri Neghad, A.A. (2018). Investigating the cycle of sodium element between stemflow, soil and leaves of trees in two states of growth and leaves. 8th national conference on sustainable agriculture and natural resources. Tehran. (In Persian) <https://civilica.com/doc/802522>
- Beniamino, F., Ponge, J.F., & Arpin, P. (1991). Soil acidification under the crown of oak trees I. Spatial distribution. *Forest Ecology and Management* 40(3), 221-232. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90041-S](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90041-S)
- Brasell, H.M., Unwin, G.L., & Stocker, G. (1980). The quantity, temporal and distribution of mineral element content of litter fall in two forest types at two sites in Australia. *Journal of Ecology*, 68, 123-129.
- Bryant, M.L., Bhat, S., & Jacobs, J.M. (2005). Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US. *Journal of Hydrology*, 312, 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.012>
- Chiwa, M., Crossley, A., Sheppard, L.J., Sakugawa, H., & Cape, J.N. (2004). Throughfall chemistry and canopy interactions in a Sitka spruce plantation sprayed with six different simulated polluted mist treatments. *Environmental Pollution*, 127(1), 57-64. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00259-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00259-8)
- Eaton, J.S., Likens, G.E., & Bormann, F.H. (1973). Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. *Journal of Ecology*, 61, 495-508. <https://doi.org/10.2307/2259041>
- Fisher, R.F., & Binkley, D. (2000). Ecology and management of forest soils, Third edition. *John Wiley and Sons, New York, USA*, 456 pp.
- Habashi, M. (2019). Nutrient dynamics in rainfall, throughfall and litterflow of Hornbeam trees in the Caspian forests of northern Iran (Case study: Shastkalateh forest). *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 26(3), 97-108. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2019.15973.1783>. (In Persian)
- Hassanzad Navroodi, I., & Safarkar, T. (2018). Study of the altitude effect on abundance and composition of tree regeneration in natural forest stands of Astara. *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal)*, 31(4), 781-790. (In Persian)
- Houbao, F., Hong, W., Ma, Z., & Waki, K. (1999). Acidity and chemistry of bulk precipitation, throughfall and stemflow in a Chinese fir plantation in Fujian, China. *Forest Ecology and Management*, 122, 243-248. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00011-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00011-0)
- Jana, P., Dasgupta, S., & Todaria, N.P. (2021). Throughfall and stemflow nutrient flux in deodar and oak forests, Garhwal Himalaya, India. *Water Science & Technology Water Supply*, 21(2). <http://doi.org/10.2166/ws.2021.00>
- Levia, D.F., & Frost, E.E. (2003). A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology*, 274(1-4), 1-29. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2)
- Lin, T.C., Humburg, S.P., Hsia, Y.J., King, H.B., Wang, L.J., & Lin, K.Ch. (2001). Base cation leaching from the canopy of Subtropical rain forest northeastern Taiwan. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 1150-1163. <https://doi.org/10.1139/x01-035>
- Lovett, G., Nolan, S., Driscoll, C., & Fahey, T. (2011). Factors regulating throughfall flux in a New Hampshire forested landscape. *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 2134-2144. <https://doi.org/10.1139/x26-242>

- Marvie Mohadjer, M.R. (2013). *Silviculture*. University of Tehran press. 2709. 4th Edition. 418 p. (In Persian)
- Mosayeb Neghad, I., Rostami Shahraji, T., Kahneh, E., & Porbabaii, H. (2007). Evaluation of native broadleaved forest plantations in east of Guilan province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4), 319-311. (In Persian)
- Moslehi, M., Habashi, H., & Khormali, F. (2011). Effect of throughfall and forest floor leachate of beech on base cation dynamics in mixed stand. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(1), 93-83. <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2011.107609>. (In Persian)
- Nsien, I.B., Offiong, E.E., Olowoyo, F.B., Ogar, B.I. & Eric, E.E. (2021). Nutrient cycling through precipitation pathways: rainfall, stemflow and throughfall in *Diospyros crassiflora* (Hiern) plantation in Umuahia, Abia state-Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management* 14(6): 787 – 798. doi: <https://ejesm.org/doi/v14i6.10>
- Parhizkar, P., Ali Ahmad Korori, S., Moraghebi, F., & Adeli Pish Bijari, E. (2002). Peroxidase enzyme in order to lookoing for resistance individuals. *Pajouhesh and Sazandeg.* 15(3-4) 56-57. (In Persian)
- Parker, G.G. (1983). Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, 13, 57-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60108-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60108-7)
- Salehi, M., Zahedi Amiri, Gh., Attarod, P., Salehi, A., Brunner, I., Schleppe, P., & Thimonier, A. (2015). Seasonal variation of TF chemistry in pure and mixed stands of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Hyrcanian forests (Iran). *Annals of Forest Science*, 73, 371-380. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0525-2>
- Su, L., Zhao, C., Xu, W., & Xie, Z. (2019). Hydrochemical Fluxes in Bulk Precipitation, Throughfall, and Stemflow in a Mixed Evergreen and Deciduous Broadleaved Forest. *Forests*, 10(6), 507. <https://doi.org/10.3390/f10060507>
- Tafazoli, M., Attarod, P., Hojjati, S.M., & Tafazoli, M. (2020). Throughfall Chemistry of Persian Maple (*Acer velutinim*) and Turkish Pine (*Pinus brutia*) Plantations in East of Mazandaran. *Ecology of Iranian Forests*. 7(14), 39-47. <https://doi.org/10.29252/ifej.7.14.39>. (In Persian)



Does replacement of a *Pinus taeda* L. man-made plantation with a *Carpinus betulus* L. natural stand alter the throughfall nutrient inputs and pH and EC values?

P. Pourmokhtari¹, P. Attarod^{2*}, V. Etemad³, and T. Safarkar⁴

¹M.Sc. in Silviculture and Forest Ecology, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

²Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³Associate Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁴M.Sc. in Forestry, General Dept. of Natural Resources and Watershed Management, Guilan Province, Rasht, Iran

(Received: 15 April 2023; Accepted: 29 October 2023)

Abstract

Introduction: A key effect of reforestation is its impact on the hydrological cycle which can change the quantity and quality of rainfall. The aim of this research was to compare the nutrient elements, pH and EC of rainfall compared to TF of a natural stand of *Carpinus betulus* L. and a man-made *Pinus taeda* L. plantation located in the western Hyrcanian region, Astara, north of Iran.

Materials and Methods: Rainfall and throughfall samplings were done using nine and 18 man-made plastic collectors installed randomly under the canopy and open space of each stands, respectively. The amounts of EC and pH were measured using EC meter and pH meter. The nutrient amounts of calcium (Ca^{++}) and magnesium (Mg^{++}) were measured by the Titration method and potassium (K^+) and sodium (Na^+) elements were measured by Flame photometer for three rainfall events during the summer season, 2022. Comparison of means was done by one-way ANOVA and LSD at 95% confidence level.

Results: pH in TF of *C. betulus* stand was 7 and 6.8 and *P. taeda* 6.4 and 6.6 in two events which were significantly different from those measured for rainfall (6.6 and 7.1). EC of TF of *C. betulus* and *P. taeda* increased by 126.4 percent and 113.2 percent, respectively. The amounts of Ca^{++} in the TF of the *C. betulus* stand for three events were 24, 19.6 and 12.5 ppm (mean: 18.7 ppm), respectively, while for corresponding rainfall were measured 11.6, 6.7 and 6.2 (mean: 28.8 ppm), respectively, statically different for all events. Mg^{++} showed the least change compared to other nutrients elements. The K^+ in TF of *C. betulus* in July rainfall (21.2 ppm) had increased by 11.9 ppm compared to rain (9.3 ppm). The amount of Na^+ in TF of man-made *P. taeda* plantation in the first event (15.6) showed a significant difference with that of Na^+ in rainfall (9.3 ppm).

Conclusion: When rainfall hits the canopy of the *C. betulus* natural stand, in 85 to 90% of the samples of TF, nutrients as well as the pH and EC were significantly changed compared to rainfall. However, this percentage of significant change was 70 to 75% for *P. taeda* man-made plantation. In this way, replacement of *C. betulus* with *P. taeda* altered the nutrients elements of TF as well as pH and EC by 55%. Understanding the change in the amount of nutrients inputs to the forest ecosystems via TF is essential for choosing the appropriate species for the reforestation of degraded forests since planting new species in an area, in addition to changing the amount of rain that reaches the forest floor, it changes the quality of rainfall.

Keywords: Astara, Native species, Rainfall, Reforestation.