

## تأثیر فصل بر ویژگی‌های شیمیایی آب در خاک جنگل راشستان آمیخته (ایران-جنگل شصت کلاته)

- ❖ **مریم مصلحی\***؛ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ **هاشم حبشی**؛ استادیار دانشکده جنگل‌داری و فناوری چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ **فرهاد خرمالی**؛ استاد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ **رامین رحمانی**؛ دانشیار دانشکده جنگل‌داری و فناوری چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

### چکیده

آب باران پس از شست‌وشوی عناصر از روی زیست‌توده روزمینی و بقایای گیاهی در جنگل، به خاک وارد می‌شود، و در خاک تحت تأثیر فضای ریشه‌ای درختان، میکروارگانسیم‌ها، ضخامت افق‌ها، و ماده آلی متحمل تغییرات وسیعی از لحاظ کیفیت می‌شود. فرایند مذکور نتیجه واکنش بسیار پیچیده‌ای از فرایندهای اتمسفریک، هیدرولوژیک، و بیوژئوشیمیایی است که تحت تأثیر فصول قرار دارد. در این پژوهش، تغییرات فصلی آب‌شویی کاتیون‌های بازی (سدیم، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم) در خاک توده آمیخته راش-ممرزستان در سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا (استان گلستان) بررسی شد. نمونه‌های حاصل از آب‌شویی افق سطحی و عمقی (۰-۱۰ و ۱۰-۵۰ سانتی‌متر) طی یک سال (۸۷/۱۰/۱ تا ۸۸/۱۰/۱) بعد از هر بارندگی جمع‌آوری شد. برای تعیین تغییرات کاتیون‌های بازی در فصول مختلف در آب‌شویی افق سطحی و عمقی، از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد در آب‌شویی افق سطحی مقدار همه کاتیون‌ها، به‌جز پتاسیم در فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشتند؛ به‌طوری‌که در زمستان، بیشترین آب‌شویی کاتیون‌های سدیم و منیزیم مشاهده شد. همچنین در آب‌شویی افق عمقی، عناصر سدیم و منیزیم در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد نشان دادند؛ به‌طوری‌که بیشترین آب‌شویی سدیم در زمستان و منیزیم در بهار بود. با شناسایی میزان تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌شویی در خاک سطحی و عمقی برای بهره‌مندی حداکثر از آب‌شویی کاتیون‌ها، می‌توان گفت برنامه‌ریزی عملیات بهره‌برداری جنگل، بهتر است در ماه اسفند باشد تا چرخه بیوژئوشیمیایی بهینه شود.

**واژگان کلیدی:** آب‌شویی، تغییرات فصلی، کاتیون‌های بازی، گونه راش.

## مقدمه

مالکونن (۱۹۸۹) کیفیت و کمیت تاج بارش و آب‌شویی خاک را در سه توده کاج اسکاتلندی<sup>۱</sup>، در فصول مختلف بررسی و گزارش کردند آب‌شویی فصلی عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم در تاج و خاک کاملاً متفاوت است [۱۵]. استن (۱۹۸۹) آب‌شویی کاتیون‌ها را در جنگلی با خاک شنی بررسی و گزارش کرد آب‌شویی عناصر غذایی در فصول مختلف، متغیر است و دوسوم آب‌شویی کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم) و آنیون‌ها در فصل بهار و تابستان انجام می‌گیرد [۱۶]. دوون وردن و لپس (۱۹۹۵) در بررسی خود بر روی خاک، پوشش گیاهی، و تنوع آن در جنگل آمازون به این نتیجه رسیدند که آب‌شویی عناصر در تاج، پوشش کف، و خاک به کیفیت و تجزیه لاشبرگ، ماده آلی، و عناصر موجود در برگ و خاک وابسته است [۳]. دیکسترا و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی تأثیر اسیدهای آلی در پوشش کف ۶ گونه درختی *Acer*, *Tsuga canadensis*, *Quercus ruber*, *ruberum*, *sacharum* و *Fraxinus americana* آمریکای شمالی در آب‌شویی کاتیون‌های پوشش کف و خاک گزارش کردند مبادله کاتیون‌های بازی در خشتی‌سازی اسیدهای آلی مهم‌ترین عامل است و میزان آب‌شویی کاتیون‌های بازی به خاک عمقی، به‌علت افزایش تحرک کاتیون‌ها تحت تأثیر آنیون‌های آلی، در دو گونه *F. americana* و *A. sacharum* بیشتر از سایر گونه‌ها بود [۱۷]. جانسون و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی تأثیر بارش بر آب‌شویی خاک در جنگل‌های پهن‌برگ پارک طبیعی تحقیقاتی امریکا، گزارش کردند میزان آب‌شویی خاک و کیفیت عناصر غذایی آن در تیمارهای خشک و مرطوب (تغییر میزان و نوع

گیاهان بخش جدایی‌ناپذیر چرخه عناصر غذایی اکوسیستم‌ها هستند و با جذب عناصر غذایی از خاک، تولید زیست‌توده، و در نهایت با آزادسازی آن‌ها از طریق تجزیه [۱] و همچنین از طریق آب‌شویی به چرخه بیوژئوشیمیایی وارد می‌شوند. میزان عناصر موجود در خاک [۲]، کیفیت لاشبرگ [۳]، و تغییرات آب و هوایی، به‌صورت‌های متفاوتی می‌تواند بر چرخه عناصر غذایی و تولیدات جنگل تأثیرگذار باشد. آب‌شویی از سطح پوشش گیاهی [۴]، [۵] و خاک [۶]، که بخش مهمی از چرخه عناصر غذایی را تشکیل می‌دهند، حاصل رابطه پیچیده خاک و پوشش گیاهی است [۷] که قابلیت دسترسی گیاهان به عناصر یا خروج مواد غذایی از اکوسیستم را در کنار فرایند تجزیه کنترل می‌کند [۴، ۵]. تغییر مقدار بارش (افزایش یا کاهش) از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی است [۸] که در فصول متفاوت بسیار رخ می‌دهد [۹]. تغییر بارش در طی زمان با تغییر در حجم و کیفیت آب<sup>۱</sup> [۸] و میزان عناصر ورودی به خاک [۹] سبب تغییر تولید در گیاهان می‌شوند. در واقع، تغییرات فصلی بر میزان دسترسی به آب تأثیر می‌گذارد و بدین‌طریق رشد جنگل و فنولوژی آن را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد [۱۰]. در واقع، آب‌شویی عناصر غذایی در خاک تحت تأثیر عواملی مانند توزیع فصلی بارش [۱۱]، فعالیت ریشه [۱۲]، و غلظت آنیون‌ها [۱۳] متغیر است.

جانسون و کول (۱۹۸۰) آب‌شویی عناصر در خاک جنگل را با زیست‌توده پوشش گیاهی و آنیون‌های خاک در ارتباط دانستند [۱۴]. هلمیساری و

۱. رسوبات اتمسفری و آلودگی موجود در هوا به هنگام بارش، با ترکیب با آب باران، کیفیت آن را تغییر می‌دهد.

با عوامل محیطی، به‌خصوص خاک و آب، در پویایی جامعه اهمیت فراوانی دارد. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی تغییر آب‌شویی کاتیون‌های بازی سدیم، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم در فصول مختلف در افق‌های سطحی و عمقی در توده آمیخته راش-ممرزستان است.

### مواد و روش‌ها

جنگل آموزشی و پژوهشی شصت کلاته متشکل از دو سری، در دامنه شمالی رشته‌کوه‌های البرز، در فاصله ۸ کیلومتری جنوب غربی شهرستان گرگان قرار دارد که منطقه مورد مطالعه در سری ۱ طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا واقع شده است. این جنگل‌ها در ارتفاع ۲۱۰ تا ۲۱۶۸ متر از سطح دریا، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی قرار گرفته است. جنگل آموزشی و پژوهشی شصت کلاته از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل است و بارندگی متوسط سالانه آن ۶۴۹ میلی‌متر است که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر در سال (براساس اطلاعات ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد در فاصله ۵ کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه از سال ۱۳۵۴-۱۳۸۴) تغییر می‌کند [۲۲]. قطعه مورد بررسی به مساحت ۰/۵ هکتار در جهت شمال-شمال شرقی، ارتفاع ۵۵۰ متر از سطح دریا، و شیب متوسط ۳۵ درصد، در مرز پارسل ۱۷ و ۱۸ در امتداد یال انتخاب شد. تراکم توده مورد نظر ۹۶ درخت در هکتار بود. درختان موجود در آن جوان تا میانسال، دانه‌زاد، ۳ اشکوبه با متوسط ارتفاع و قطر برابر سینه ۲۶/۴ متر و ۴۷ سانتی‌متر بودند و وضعیت مناسبی داشتند. پوشش گیاهی زیراشکوب گندمیان، بنفشه، کوله خاص، سرخس، و رستنی‌های مزاحم سرخس و تمشک بود

بارش و تبخیر) به‌طور معنی‌داری متفاوت از یکدیگرند [۱۸]. پیراین و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی تغییر کاتیون‌ها در آب عبوری از خاک پدزول در جنگل آمیخته بوره‌آل با غلبه گونه نوتل، با برش یکسره و بدون برش یکسره، گزارش کردند میزان آب‌شویی عناصر غذایی خاک جنگل قبل از برش یکسره، در فصول متفاوت از اختلاف معنی‌داری برخوردار نیستند [۱۹]. آسانو و همکاران (۲۰۰۶) تغییر آب‌شویی عناصر آلی و غیرآلی را در مسیر جریان آب در خاک طی زمان در جنگل نوتل و تسوگا بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین و کمترین تغییر در ماه اکتبر و فوریه بود که نشان‌دهنده تغییرات فصلی ضعیف بود [۹]. داچسنی و هول (۲۰۰۶) در بررسی چرخه کاتیون‌ها در خاک سطحی و عمقی جنگل‌های بوره‌آل کانادا، تغییرات ماهیانه آب‌شویی کاتیون‌ها در خاک را بررسی و گزارش کردند میزان عناصر کلسیم، منیزیم، و پتاسیم در آب‌شویی خاک سطحی و عمقی با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. در این تحقیق، میزان عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم در عمق ۲۲ سانتی‌متر ۱/۱۶، ۲۸، ۳/۲۰، و ۴/۸ و در عمق ۵۰ سانتی‌متر ۱/۱۶، ۲۱، ۲/۲۰، و ۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شد [۲۰]. لاکولا و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی چرخه بیوژئوشیمیایی در جنگل‌های دست‌کاشت اکالیپتوس در برزیل گزارش کردند کاتیون‌های بازی موجود در محلول خاک، بیشتر از رسوبات اتمسفری و معدنی شدن لاشریزه است [۲۱]. در جنگل‌های هیرکانی آب و رابطه آن در خاک مهم‌ترین عامل رویش و تحولات توده در ارتباط با عوامل محیطی است. گونه راش که فراوان‌ترین گونه این جنگل‌هاست خصوصاً در میانیند، جامعه کلیماکس را تشکیل می‌دهد و روابط متقابل این گونه

طریق دستگاه فلیم فوتومتری براساس واحد ppm [۲۸] و کلسیم و منیزیم موجود در آن‌ها توسط لامپ کاتدی از طریق دستگاه جذب اتمی براساس واحد ppm [۲۹] انجام گرفت. داده‌های به دست آمده براساس مقدار محلول جمع‌آوری شده و سطح ظروف جمع‌آوری به واحد کیلوگرم در هکتار در فصل تبدیل و آنالیز شد. برای مقایسه تغییرات کاتیون‌های حاصل از آب‌شویی افق‌های سطحی و عمقی در فصول مختلف سال، از روش آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نرمال‌بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۴</sup> بررسی شد و همگنی واریانس‌ها نیز با آزمون لون ارزیابی شد.

### نتایج و بحث

مشخصه‌های ظاهری پروفیل‌ها، بافت، ماده آلی، و آهک فعال خاک اندازه‌گیری و ثبت شد (جدول ۱). بافت خاک در همه افق‌های سطحی سیلتی-رسی-لومی و افق‌های عمقی رسی بود. داده‌های حاصل از آب‌شویی افق سطحی، به جز منیزیم، از توزیع نرمال برخوردار بودند. داده‌های منیزیم با استفاده از روش تبدیل جذر نرمال و سپس کلیه داده‌ها در محیط نرم‌افزار آماری ثبت و با استفاده از روش آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه در فصول مختلف مقایسه شدند.

نتایج نشان داد کاتیون‌های سدیم، کلسیم، و منیزیم حاصل از آب‌شویی افق سطحی در فصول متفاوت، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارند. مقایسه میانگین‌ها بر طبق آزمون دانکن نشان داد سدیم در فصل بهار، تابستان، پاییز، و زمستان (۹/۶۱، ۷/۱۲، ۶/۵۸، و ۹/۹۷ کیلوگرم در هکتار در فصل) در گروه‌های مختلف قرار داشته و دارای اختلاف معنی‌دار است (شکل ۱).

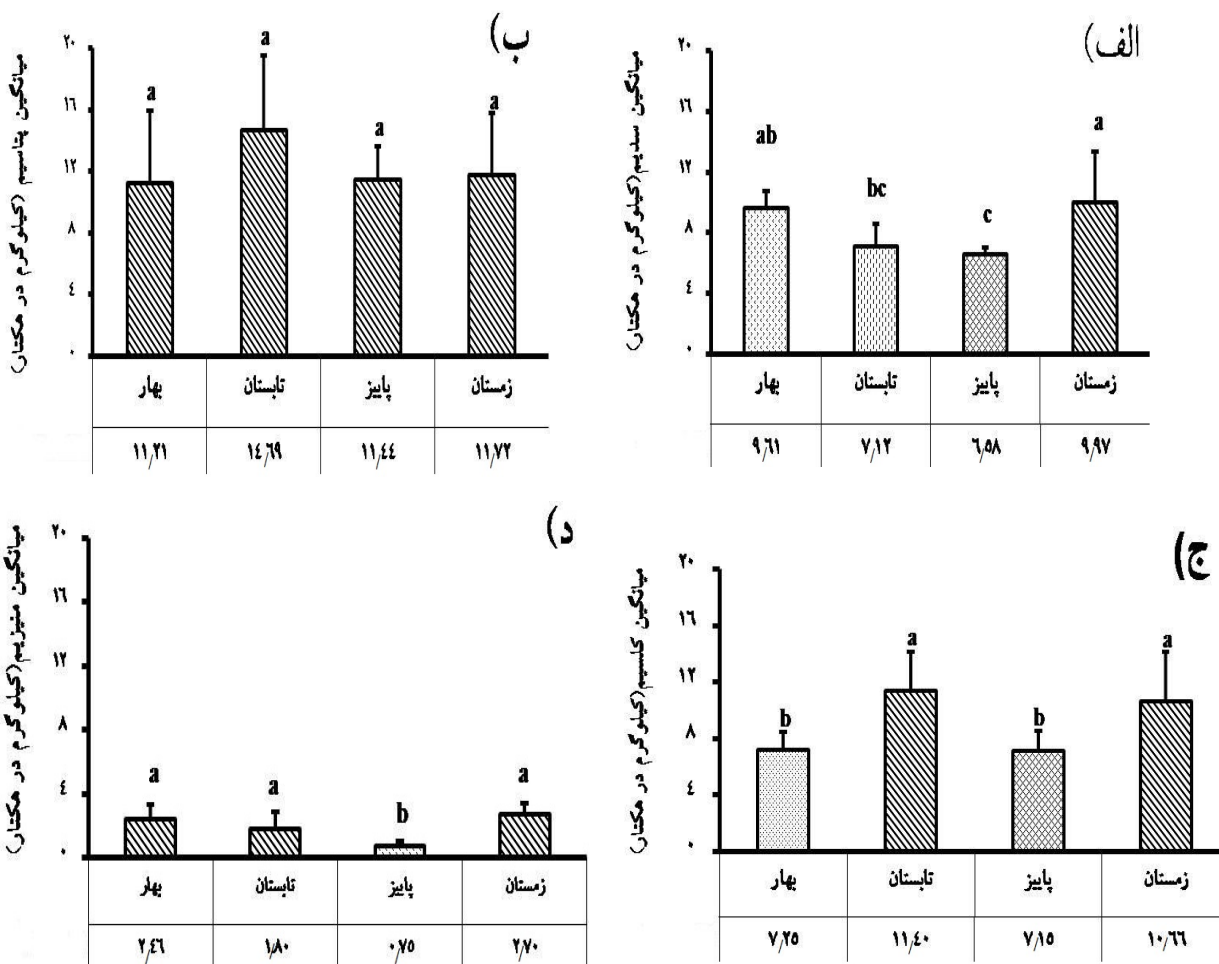
[۲۲]. تیپ خاک کرومیک کامبی سول و کلریک کامبی سول (Cmc) [۲۳]، و بافت خاک سیلتی رسی لوم (Si-C-L) و تیپ توده مورد نظر، با توجه به مساحت تاج، راش-ممرز است. در قطعه‌نمونه مورد نظر ۵ درخت راش با تاجی کاملاً آزاد، سالم، و در اشکوب برین انتخاب شدند؛ به طوری که موقعیت تقریباً مشابهی از لحاظ توپوگرافی، سنگ بستر، ساختمان، و بافت خاک داشته باشند تا اطمینان حاصل شود که هرگونه تغییر در میزان آب‌شویی کاتیون‌های مورد نظر تحت تأثیر گونه راش است. بعد از انتخاب درختان، پروفیل‌هایی به عمق و طول ۱/۵ (عمود به شیب) و عرض ۱ متر (در جهت شیب) حفر شد. پس از حفر پروفیل‌ها تشریح آن‌ها انجام گرفت [۲۴] و افق‌های سطحی و عمقی (A) و (B) در آن‌ها مشخص و سپس ظروف جمع‌آوری نمونه در افق‌های سطحی و عمقی آن تعبیه شد. بافت به روش هیدرومتری بایکاس [۲۵]، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر<sup>۱</sup> [۲۶]، آهک فعال به روش کلسیمتری [۲۷] اندازه‌گیری شد. برای جمع‌آوری محلول حاصل از آب‌شویی افق سطحی<sup>۲</sup> و عمقی<sup>۳</sup>، ظروف گالوانیزه به ابعاد ۵×۵ سانتی‌متر با ۲۵ تکرار در عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۵۰ سانتی‌متری پروفیل تعبیه شد. نمونه‌ها پس از ۳۳ بار بارندگی از ۸۷/۱۰/۱ تا ۸۸/۱۰/۱ (۸ بارش در بهار، ۹ بارش در تابستان، ۸ بارش در پاییز، و ۸ بارش در زمستان) جمع‌آوری شد و نمونه هر ماه به صورت مستقل آزمایش شد. (ظروف نمونه‌برداری بعد از هر بارش دوبار با آب تقطیر، شست‌وشو، و مجدداً جاگذاری شدند). تحلیل و بررسی داده‌ها شامل دو بخش آزمایشگاهی و نرم‌افزاری بود که در بخش آزمایشگاهی اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم موجود در آب‌شویی دو لایه به روش سوزاندن از

1. Walky-Black
2. Shallow Soil Leaching
3. Deep Soil Leaching

4. Kolmogorov-Smirnov

جدول ۱. مشخصه‌های ظاهری و شیمیایی پروفیل‌های حفرشده

شماره پروفیل	افق	عمق	ساختمان <sup>۱</sup>	کربن آلی (%)	کربنات کلسیم (%)
۱	A	۹-۰	gr	۴/۲۹	۱
	Bw1	۵۰-۹	2msbk	۱/۸۲	۲۶
۲	A	۸-۰	gr	۳/۵۷	۱
	Bw	۴۰-۸	2fabk	۱/۹۸	۳۰
۳	A	۵-۰	gr	۳/۹	۵/۵
	Bg1	۳۸-۵	1fabk	۱/۳	۱۳
۴	A	۵-۰	gr	۳/۹	۵/۵
	Bw	۴۵-۸	3msbk	۱/۸۵	۲۸/۵
۵	A	۸/۵-۰	gr	۳/۹	۱۲/۵
	Bw	۳۷-۸/۵	2msbk	۱/۶۳	۲۵/۵



شکل ۱. مقایسه غلظت کاتیون‌های پتاسیم، سدیم، منیزیم، و کلسیم در آب‌شویی افق سطحی (۰-۱۰ سانتی‌متر) جنگل آمیخته راش در فصول مختلف (معنی‌داری در سطح ۵ درصد است).

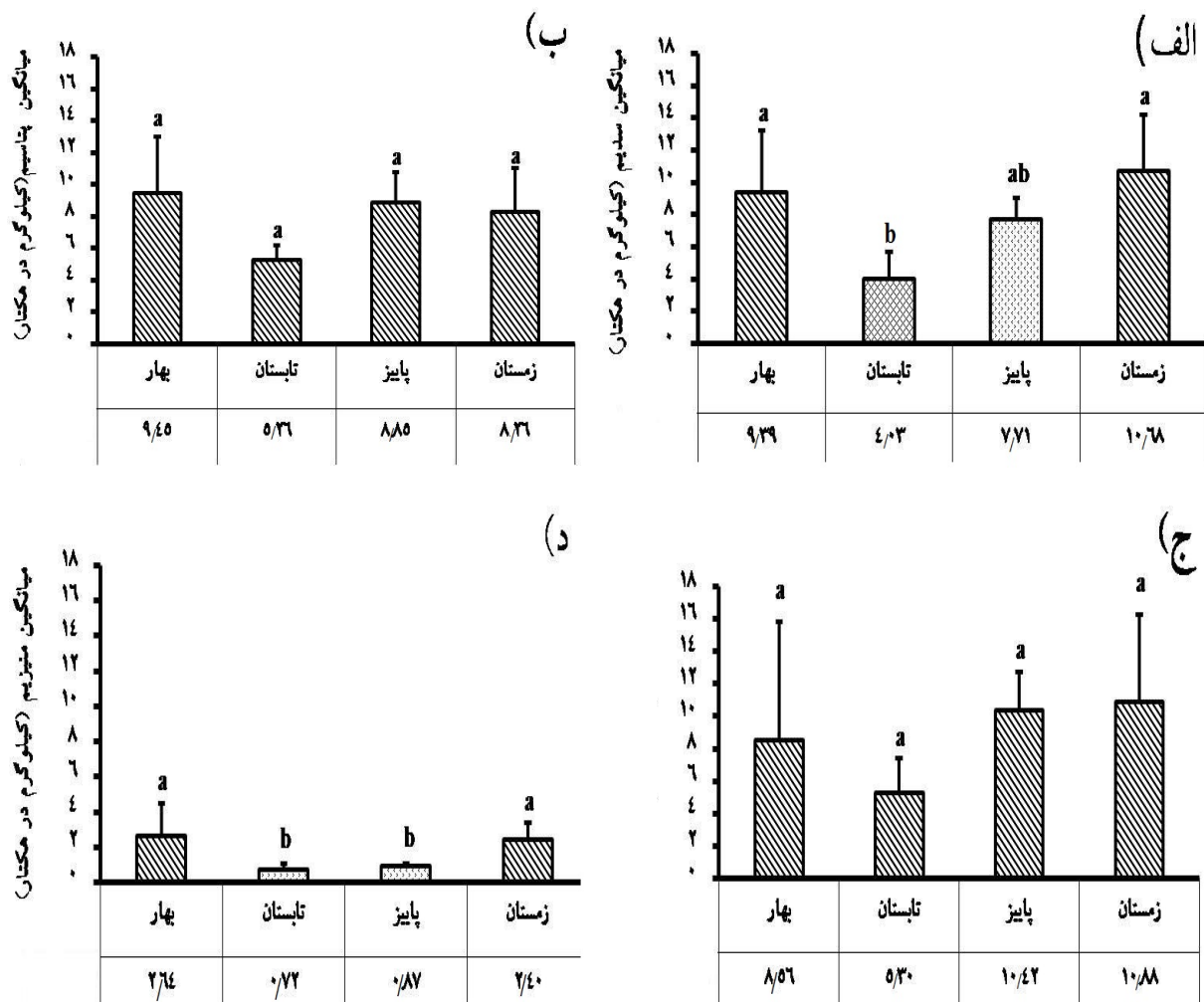
۱. شکل ساختمان خاک: gr: گرانولی، abk: مکعبی زاویه‌دار، sbk: مکعبی بدون زاویه، m: متوسط، f: ریز

و ۸/۲۶ کیلوگرم در هکتار در فصل و ۸/۵۶، ۵/۳۰ و ۱۰/۴۲، و ۱۰/۸۸ کیلوگرم در هکتار در فصل اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۲).

نیترات و سولفات از مهم‌ترین آنیون‌ها هستند که سبب افزایش آب‌شویی کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، و پتاسیم می‌شوند [۳۵]. در واقع، آنیون‌های محلول در خاک کنترل‌کننده و تنظیم‌کننده آب‌شویی کاتیون‌ها، در خاک جنگل‌های مناطق معتدله‌اند. در واقع، خاک حاوی ترکیبات غیرمتحرک با بار منفی به‌صورت کمپلکس‌های قابل تبادل است؛ بنابراین، تحرک کاتیون‌ها در خاک به تولید آنیون‌های متحرک وابسته است [۳۶]. این آنیون‌های محلول، در ترکیب با یون هیدروژن ترکیبات اسیدی ایجاد می‌کند که افزایش اسیدیته و آب‌شویی کاتیون‌ها را در پی دارد [۳۷]. همچنین اشباع بازی و رطوبت بالای خاک و فواصل زمانی کوتاه خشکی بین وقایع بارندگی نیز سبب افزایش آب‌شویی عناصر می‌شوند [۳۸] که در فصول متفاوت متغیر است. عامل دیگری که سبب تغییر آب‌شویی در فصول مختلف می‌شود فعالیت میکروبی در هنگام تجزیه و معدنی‌کردن عناصر است. بسته به ترکیب عنصری لاشریزه و نسبت کربن به نیتروژن آن، میکروب‌ها در جذب عناصر با ریشه به رقابت می‌پردازند و آن‌ها را بی‌تحرک می‌کنند و از آب‌شویی عناصر جلوگیری می‌کنند [۳۹]. فعالیت میکروبی تحت تأثیر شرایط اقلیمی، به‌ویژه رطوبت و حرارت، قرار دارد که در فصول مختلف متغیر است. دلیل دیگر، تفاوت میزان جذب عناصر غذایی در فصول مختلف است. از این رو، عناصر آزاد یا اضافه‌شده به خاک جذب ریشه نمی‌شوند و از طریق آب‌شویی از دسترس خارج می‌شوند. بنابراین، طبیعی است که روند فصلی آب‌شویی عناصر در افق‌های مختلف خاک متفاوت باشد. بیشترین میزان آب‌شویی عناصر سدیم و منیزیم در افق سطحی، در فصل زمستان مشاهده شده است (شکل ۱).

میانگین پتاسیم در فصول بهار، تابستان، پاییز، و زمستان (۱۱/۲۱، ۱۴/۶۹، ۱۱/۴۴، و ۱۱/۷۲ کیلوگرم در هکتار در فصل) در یک گروه قرار دارد و اختلاف معنی‌داری در آن‌ها مشاهده نشد. میانگین محتوی کلسیم در دو فصل بهار و پاییز به ترتیب ۷/۲۵ و ۷/۱۵ کیلوگرم در هکتار در فصل در یک گروه قرار داشت که با میانگین فصول تابستان و زمستان (۱۱/۴۰ و ۱۰/۶۶ کیلوگرم در هکتار در فصل)، که گروه دیگر را تشکیل می‌دهند، اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین میانگین عنصر منیزیم در فصول بهار، تابستان، و زمستان (۲/۴۶، ۱/۸۰، و ۲/۷۰ کیلوگرم در هکتار در فصل) یک گروه را تشکیل دادند که با فصل پاییز (۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار در فصل) اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد داشتند (شکل ۱).

مقدار عناصر موجود در آب‌شویی افق عمقی در فصول متفاوت نیز با استفاده از روش آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه آزمایش شد. کلیه کاتیون‌های موجود در آب‌شویی افق عمقی از توزیع نرمال برخوردار بودند. نتایج نشان داد آب‌شویی عناصر سدیم و منیزیم در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند. مقایسه میانگین‌ها در آزمون دانکن نشان داد عنصر سدیم در فصل بهار و زمستان (۹/۳۹ و ۱۰/۶۸ کیلوگرم در هکتار در فصل) در یک گروه، تابستان با میانگین ۴/۰۳ کیلوگرم در هکتار در فصل در گروه دیگر، و پاییز مشترک در دو گروه (۷/۷۱ کیلوگرم در هکتار در فصل)، اختلاف معنی‌داری دارند. میانگین عنصر منیزیم در فصول بهار و زمستان (۲/۶۴ و ۲/۴۰ کیلوگرم در هکتار در فصل) در یک گروه، و تابستان و پاییز (۰/۷۲ و ۰/۸۷ کیلوگرم در هکتار در فصل) در گروه دیگر، اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد نشان دادند. همچنین عناصر پتاسیم و کلسیم در فصول بهار، تابستان، پاییز، و زمستان به ترتیب با میانگین‌های ۹/۴۵، ۵/۲۶، ۸/۸۵،



شکل ۲. مقایسه غلظت کاتیون‌های پتاسیم، سدیم، منیزیم، و کلسیم در آب‌شویی افق عمقی (۱۰-۵۰ سانتی‌متر) در فصول مختلف (معنی‌داری در سطح ۵ درصد است).

[۴۱]. اسیدهای آلی تولیدشده توسط قارچ‌ها و ریشه گیاهان وزن ملکولی کمتری دارند که نقش مهمی را در اسیدیته محلول خاک [۴۱] و آب‌شویی کاتیون‌ها بازی می‌کند. بنابراین، می‌توان گفت اسیدهای آلی ترشح‌شده از ریشه در فصل رویش، شدت آب‌شویی عناصر مذکور را در فصول رویش توجیه می‌کند. بیشترین آب‌شویی سدیم و منیزیم در افق عمقی، در فصل زمستان، و پتاسیم در فصل تابستان بود که دلایل ذکرشده در افق سطحی، در این بخش نیز صدق می‌کند، ولی حداکثر آب‌شویی کلسیم در افق

علت آب‌شویی بالا در فصل زمستان را، علاوه بر موارد ذکرشده، می‌توان به حجم بالای آب در این فصل نیز نسبت داد. آب‌شویی بالای کلسیم در فصل تابستان و پتاسیم در فصل بهار (شکل ۱) را می‌توان به حضور اسیدهای آلی و آنیونی نسبت داد که ممکن است در فصل رویش غلظت آن‌ها در خاک سطحی زیاد باشد که تحرک و آب‌شویی این عناصر را در فصل رویش به همراه داشته است [۹]. اسیدهای آلی از آب‌شویی برگ‌ها و تجزیه مواد آلی و لاشریزه در خاک [۴۰] و ترشحات ریشه گیاهان حاصل می‌شود

رویش خود ادامه می‌دهند، زیرا مجموعه فرایندهای اکولوژیکی، بیولوژیکی، هیئدرولوژیکی، و بیوژئوشیمیایی در جنگل در بهترین شرایط خود بوده و بیشترین بازدهی را دارد. مدیریت بر چنین منابعی با چنین روابط حیاتی پیچیده‌ای، نیازمند شناخت همه‌جانبه است تا با اتخاذ روش صحیح، مانع از آسیب‌رسانی به این چرخه‌ها شود؛ به‌طوری که با شناسایی دقیق میزان تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌شویی در خاک سطحی و عمقی، می‌توان با انجام عملیات بهره‌برداری در ماه اسفند هم از حداکثر آب‌شویی کاتیون‌ها در فصول مختلف استفاده کرد و هم چرخه بیوژئوشیمیایی را بهینه نمود.

عمقی تغییر کرد و به فصل زمستان انتقال یافت (شکل ۲). دلیل این مسئله ممکن است افزایش یون نیترات در زیر ناحیه ریشه (پایین‌تر از ۱۰ سانتی‌متر) در طول فصل خواب یا استراحت باشد که رابطه نزدیکی با آب‌شویی یون کلسیم و منیزیم دارد [۱۳].

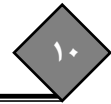
### نتیجه‌گیری

شدت این آب‌شویی در فصول مختلف در جنگل ناشی از تأثیرات آب‌شویی زیست‌توده روزمینی، تجزیه بقایای گیاهی و آب‌شویی آنها، حضور وافر ماده آلی، فعالیت‌های ریشه، زیست‌توده، ترشحات ریشه، و فعالیت میکروارگانیسم‌هاست که خاک جنگل را از عناصر غذایی غنی کرده، که با وجود این آب‌شویی در فصول رویش، گیاهان همچنان به



## References

- [1]. Knops, J. M.H., Bradley, K.L., and Wedlin, D.A. (2002). Mechanisms of plant species impacts on ecosystem nitrogen cycling. *Ecology Letters*, 5(3): 454-466.
- [2]. Baribault, T. W., Kobe, R. K., and Rothstein, D. (2010). Soil calcium, nitrogen, and water are correlated with aboveground net primary production in northern hardwood forests. *Forest Ecology and Management*, 260 (5): 723-733.
- [3]. Duiven voordens, J. M., and Lips, J. M. (1995). A land-ecological study of soils, vegetation and plant diversity in Colombian Amazonia. Ph.D. Dissertation, Landscape and Environmental Research Group. Faculty of Environmental Sciences, University of Amsterdam. Tropenbos Series 12, Wageningen,
- [4]. Tobon, C., Sevink, J., and Verstraten, J. M. (2004). Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. *Biogeochemistry*, 70 (1):1-25.
- [5]. Dezzo, N., and Chacon, N. (2006). Nutrient fluxes in incident rainfall, throughfall and in stemflow adjacent primary and secondary forests of the garansabana, Southern Venezuela. *Forest Ecology and Management*, 234 (1-3): 218-226.
- [6]. Fujinum, R., Bockheim, J., and Blaster, N. (2005). Base-cation cycling by individual tree species in old-growth forests of Upper Michigan, USA. *Biogeochemistry*, 74 (3): 357-376.
- [7]. Berger, W. T., Inselsbacher, E., Mutsch, F., and Pfeffer, M. (2009). Nutrient cycling and soil leaching in eighteen pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*). *Forest Ecology and Management*, 258 (11): 2578–2592.
- [8]. Johnson, D.W., Susfalk, R.B., Gholz, H.L., and Hanson, P.J. (2001). Simulated effects of temperature and precipitation change in several forest ecosystems. *Journal of Hydrology*, 235 (3-4):183–204.
- [9]. R Church and ,E J Compton ,Y AsanoM. (2006). Hydrological flowpaths influence inorganic and organic nutrient leaching in a forest soil. *Biogeochemistry*, 81 (2): 191-204.
- [10]. Staelens, J., Herbst, M., Holscher, D., and Schrijver, A. D. (2011). Seasonality of hydrological and Biogeochemical fluxes. P 521-539, In: D. F. Levia, D. E. Carlyle-Moses and T. Tanaka (eds)., *Forest Hydrology and Biochemistry: Synthesis of past research and future directions. Ecological Studies 216*, Springer-Verlag Heidelberg, Germany.
- [11]. Webster, C. P., Conway, J. S., Crew, A. P., and Goulding, K. W. T. (2003). Nitrogen leaching losses under a less intensive farming and environment (Life) integrated system. *Soil Use and Management*, 19 (1): 36-44.
- [12]. Likens, G. E., Borman, F. H., Pierce, R. S., Eaton, J. S., and Johnson, N. M. (1977). *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer-Verlag New York Inc.
- [13]. Foster, N. W., Morrison, I. K., and Nicolson, J. A. (1986). Acid deposition and ion leaching from a podzolic soil under hardwood forest. *Water Air Soil Pollution*, 31 (3-4):879-890.
- [14]. Johnson, D. W., and Cole, D. W. (1980). Anion mobility in soils: relevance to nutrient transport from forest ecosystems. *Environment International*, 3 (1): 79-90.
- [15]. Helmisari, H. S., and Malkonen, E., (1989). Acidity and nutrient content of throughfall and soil leachate in three pinus sylvestris stands. *Journal of Forest Research*, 4 (1): 13-28.
- [16]. Stone, D. M., (1989). Cation leaching in a sandy forest soil treated with acidified rain. *Environmental Monitoring and Assessment*, 12 (1): 62 p.
- [17]. Dijkstra, F. A., Geibe, C., Holmstrom, S., Lundstrom, U. S., and Van Breemen, N. (2001). The effect of organic acids on base cation leaching from the forest floor under six North American tree species. *European Journal of Soil Science*, 52 (2): 205-214.



- [18]. Johnson, D. W., Hanson, P. J., and Todd, Jr. D. E. (2002). The effect of throughfall manipulation on soil leaching in a deciduous forest. *Journal of Environmental Quality*, 31 (1): 204-216.
- [19]. Piirainen, S., Finer, L., and Mannerkoski, H. (2004). Effect of forest clear-cutting on the sulphur, phosphorus and base cations fluxes through podzolic soil horizons. *Biochemistry*, 69 (3): 405-424.
- [20]. Duchesne, L., and Houle, D., (2006). Base cation cycling in a pristine watershed of the Canadian boreal forest. *Biochemistry*, 78 (2): 195-216.
- [21]. Laclau, J. P., Ranger, J., Goncalves, J., Maquere, V., Bou, A. T., Nouvellon, Y., Saint-Andre, L., Bouillet, J. P., Piccolo, M., and Deleporte, PH. (2010). Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantation: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecology and Management*, 259 (9): 1771-1785.
- [22]. Bahramniya, Dr. Revised forestry plan. (2007). Faculty of Forestry, GUASNR.
- [23]. World reference base for soil resources (WRB). (2006). 2<sup>nd</sup> Ed., *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome.
- [24]. Soil Survey Staff, (2010). *Keys to soil taxonomy*. 11<sup>th</sup> Ed., U. S. Department of Agriculture.
- [25]. Klute, A., (1986). *Methods of soil analysis, Part I, Physical and mineralogical methods*. 2<sup>nd</sup> Ed., Soil Science Society of America. 1188 pp.
- [26]. Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, M. (1992). *Methods of soil analysis, Part II, Chemical and microbiological methods*. 2<sup>nd</sup> Ed., Soil Science American Journal.
- [27]. Zarinkafsh, M., (2002). *Forestry Soil*, Research Institute of Forests and Rangelands Press, Tehran.
- [28]. Smith, J. L., and Doran, J. W. (1996). *Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis*. In: Doran, J. W. and Jones, A. J. (Eds.), *Methods for Assessing soil quality*. SSSA Species Publication. 49. Madison, WI.
- [29]. Dewis, J., and Freitas, F. (1970). *Physical and Chemical Methods of Soil and Water Analysis*. FAO Soil Bulletin, Rome.
- [30]. Park, B. B., and Yani, R. D. (2009). Nutrient concentrations in roots, leaves and wood of seedling and mature sugar maple and American Beech at two contrasting sites. *Forest Ecology and Management*, 258 (7): 1153-1160.
- [31]. Vitousek P. M., Turner, D. R., Parton, W. J., and Sanford, R. L. (1994). Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: Patterns, mechanisms and Models. *Ecological society of America*, 75 (2): 418-429.
- [32]. Marie-Madeleine, C., Bottner, P., and Berg, B. (1995). Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution*, 10 (2): 63-66.
- [33]. Collignon, C., Uroz, S., Turpault, M. P., and Frey-Kellett, P. (2012). Seasons differently impact the structure of mineral weathering bacterial communities in beech and spruce stands. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (10): 2012-2022.
- [34]. USGS. Science for a Changing World. (1999). *Soil-calcium depletion linked to acid rain and forest growth in the eastern United States*. Forest Service and New York City Department of Environmental Protection and U. S. Department of Agriculture. 12 pp.
- [35]. Lusk, M. G. (1998). Sulfate dynamics and base cation release in a high elevation Appalachina forest soil. Thesis for MSc. Virginia Polytechnic and Institute and State University.
- [36]. Cole, D. W., and Gessel. S. P. (1968). Cedar River research – A program for studying pathway, rates and processes of elemental cycling in a forest ecosystem. *Forest Resources Monographs Contrib. No. 4*. Univ. Washington, Seattle. 53 pp.
- [37]. Cronan, C. S., Driscoll, R. M., Newton, R. M., Kelly, J. M., Schofield, R., Bartlett, J., and April, R., (1990). A comparative analysis of aluminum biogeochemistry in a northeastern a southeastern forested watershed. *Water Resource Research*, 26 (7): 1413-1430.



- [38]. Lin, T. C., Humburg, S. P., Hsia, Y. J. T., King, H. B., Wang, L. J., and Lin, K. Ch. (2001). Base cation leaching from the canopy of Subtropical rain forest northeastern Taiwan. *Canadian Journal Forest Research*, 31(7): 1150-1163.
- [39]. Golley, F. B., McGinnis, J. T., Clements, R. G., Child, G. I., and Deuver, M. J. (1975). *Mineral Cycling in a Tropical Moist Forest Ecosystem*. University of Georgia Press, Athens, Georgia.
- [40]. Cromack, K., Sollins, P., Graustein, W. C., Speidel, K., Todd, A.W., and Spycher, G. (1979). Calcium oxalate accumulation and soil weathering in mats of the hypogeous fungus *Hysterangium crassum*. *Soil Biology and Biochemistry*, 14 (11): 463-468.
- [41]. Van Hees, P.A.W., Lundstroëm, U.S., and Giesler, R. (2000). Low molecular weight organic acids and their Al-complexes in soil solution composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. *Geoderma*, 94 (2-4): 173-200.