

## تغییرات زمانی پتانسیل آب خاک در عمق‌های مختلف دامنه جنگلی پهن‌برگ و دامنه با پوشش علفی

الیاس حیاتی<sup>۱</sup>، احسان عبدی<sup>۲\*</sup>، محسن محسنی ساروی<sup>۳</sup>، باریس مجنونیان<sup>۴</sup>، جیووانی باتیستا چیریکو<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، کرج

۲. دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، کرج

۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه تهران، کرج

۴. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، کرج

۵. دانشیار هیدرولوژیک و هیدرولوژی، گروه کشاورزی، بخش مهندسی کشاورزی، جنگل و بیوسیستم، دانشگاه ناپل، ایتالیا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۸

### چکیده

در سال‌های اخیر، مفهوم تأثیر پوشش گیاهی بر وضعیت هیدرولوژی و پایداری خاک دامنه کانون توجه قرار گرفته، اما تاکنون مطالعه جامعی به منظور کمی‌سازی این اثر صورت نگرفته است. مطالعه حاضر با هدف کمی‌سازی تأثیر پوشش‌های مختلف جنگل بر هیدرولوژی و پایداری دامنه انجام شد. به این منظور، ابتدا دامنه‌ای با پوشش پهن‌برگ و دامنه‌ای با پوشش علفی در مجاور هم انتخاب و با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی - سیستماتیک، ۹ نقطه برای نمونه‌برداری در هر دامنه تعیین شد. سپس با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج PR2/6، رطوبت خاک در دو دامنه و در عمق‌های مختلف در طول دوره رویش گیاهی سال ۱۳۹۴ (از فروردین تا شهریور) اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، با تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، پتانسیل ماتریک معادل برای هر یک از رطوبت‌های اندازه‌گیری شده تعیین شد. براساس نتایج، مقدار پتانسیل ماتریک در دامنه با پوشش پهن‌برگ به طور معنی‌داری ( $P < /0.05$ ) بیشتر از مقدار آن در دامنه با پوشش علفی بود. همچنین مقدار پتانسیل ماتریک در هر دو دامنه با افزایش عمق از ۳۰ به ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر به طور معنی‌داری ( $P < /0.01$ ) کاهش یافت، اگرچه شدت این کاهش برای دامنه با پوشش پهن‌برگ کمتر است. همچنین تغییرات پتانسیل ماتریک در طول دوره تحقیق روندی افزایشی را نشان داد، به طوری که در ماه‌های ابتدایی سال (به خصوص فروردین) کمترین مقدار را داشت. به طور کلی، نتایج نشان داد که در طول دوره تحقیق، پوشش پهن‌برگ از نظر تأثیر بر وضعیت هیدرولوژی و بهبود پایداری دامنه، مؤثرتر واقع می‌شود و تأثیر هیدرولوژیک این پوشش تا عمق بیشتری نیز گسترش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** خاک غیراشباع، رطوبت‌سنج PR2/6، فشار آب منفذی منفی، هیدرولوژی دامنه.

### مقدمه

ناپایداری‌های دامنه به آب نسبت داده می‌شود [۲]. امروزه ثابت شده که در بسیاری از ناپایداری‌های رخ داده، لزوماً اثری از شرایط اشباع و فشار آب منفذی مثبت<sup>۱</sup> نیست و در واقع بارش بعد از نفوذ به خاک و تغییر مقدار رطوبت خاک و در پی آن کاهش پتانسیل ماتریک<sup>۲</sup> (فشار آب

ناپایداری‌های دامنه ناشی از بارش باران و ذوب برف همواره به عنوان یکی از تهدیدهای اصلی دامنه‌های طبیعی کانون توجه بوده‌اند [۱]، به طوری که بیش از ۹۰ درصد

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲

Email: abdie@ut.ac.ir

1. Positive pore-water pressure  
2. Matric potential

جنگلی به دلیل نرخ زیاد باران‌رایی و تبخیر و تعرق از اهمیت بیشتری برخوردارند [۷] و از این نظر تصور می‌شود تأثیر بیشتری بر بهبود وضعیت هیدرولوژی و پایداری دامنه داشته باشند.

بشر از گذشته تاکنون، همواره با فعالیت‌های خود (مانند بهره‌برداری بی‌رویه) بسیاری از فرایندهای هیدروژئومورفولوژی را در مناطق جنگلی تغییر داده است [۵]. شواهد نشان می‌دهد که رطوبت خاک در مناطق بهره‌برداری شده، بیشتر از مقدار آن در مناطق جنگلی مجاور بوده است [۸]. همچنین گزارش‌های زیادی در زمینه افزایش وقوع ناپایداری‌ها در پی بهره‌برداری و قطع یکسره منتشر شده است [۹-۱۱]. جنگل‌های شمال ایران نیز همانند مناطق دیگر جهان تحت تأثیر فعالیت‌های گوناگون بشری واقع شده [۱۲] و همواره تغییرات و تخریب‌های گسترده‌ای در مناطق مختلف آن مشاهده می‌شود. این تغییرات و تخریب‌ها که شامل حذف پوشش درختی منطقه یا در مواردی تغییر نوع پوشش درختی به واسطه جنگلکاری‌های مختلف است [۱۳]، ممکن است با تغییر وضعیت هیدرولوژی و پایداری خاک دامنه همراه باشند که تاکنون اندازه‌گیری و مطالعات کمی در این زمینه انجام نگرفته است.

همچنین با اینکه تأثیر هیدرولوژیک پوشش‌های گیاهی بر پایداری دامنه به‌خوبی درک شده [۷، ۱۴، ۱۵]، تاکنون به‌منظور کمی‌سازی این اثر، مطالعه جامعی صورت نگرفته است. اندک مطالعات صورت‌گرفته در جهان به مطالعه Pollen-Bankhead and Simon (۲۰۱۰) محدود می‌شود که در آن پتانسیل ماتریک برای خاک با پوشش گیاهی مختلف (گیاهان یک تا دوساله) و خاک عاری از پوشش گیاهی، در محیط لایسیمتر اندازه‌گیری شد و کاربردهای آن در پایداری دیواره رودخانه بررسی شد [۱۶]؛ اما ذکر این نکته ضروری است که تنها در نظر گرفتن گیاهان یک تا دوساله و کاشت آنها در لایسیمتر لزوماً بیانگر عملکرد واقعی آنها در طبیعت

منفذی منفی<sup>۱</sup>) موجب وقوع ناپایداری در لایه غیراشباع می‌شود [۳]. Fredlund و همکاران (۱۹۷۸) در مطالعه خود به تعیین رابطه بین پتانسیل ماتریک خاک، چسبندگی ظاهری و مقاومت خاک پرداختند و نشان دادند که افزایش پتانسیل ماتریک خاک سبب افزایش مقاومت خاک می‌شود (رابطه ۱) [۴].

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (1)$$

$\tau_f$  مقاومت برشی خاک،  $c'$  چسبندگی مؤثر خاک،  $(\sigma)$  تنش مؤثر،  $\phi'$  زاویه اصطکاک داخلی خاک،  $(-u_a)$  پتانسیل ماتریک خاک و  $\phi^b$  زاویه‌ای است که مقدار افزایش مقاومت خاک را به‌ازای افزایش پتانسیل ماتریک خاک نشان می‌دهد.

بدین ترتیب با افزایش مقاومت خاک و غلبه آن بر نیروهای محرک خاک، پایداری دامنه تضمین می‌شود. بنابراین، اهمیت وجود پتانسیل ماتریک در خاک و افزایش مقدار آن در حفظ پایداری خاک‌های غیراشباع روشن می‌شود. به‌طور کلی، پتانسیل ماتریک خاک در دوره‌های خشک سال یا در زمان‌های بدون بارش، مقدار کافی را خواهد داشت، اما در دوره‌هایی با بارش‌های مستمر یا بعد از بارش‌های شدید، نفوذ آب به داخل خاک سبب گسترش جبهه رطوبتی<sup>۲</sup> در خاک می‌شود و در پی آن پتانسیل آب در خاک کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، پوشش گیاهی با تغییر در مقدار آب ورودی به خاک از طریق فرایندهای باران‌رایی و همچنین کاهش رطوبت خاک (افزایش پتانسیل ماتریک خاک) از طریق فرایند تبخیر تعرق [۵، ۶] وضعیت هیدرولوژی خاک را در عمق‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین با حضور پوشش گیاهی به بارش بیشتری نیاز خواهد بود تا وضعیت هیدرولوژی خاک دامنه به آستانه وقوع ناپایداری نزدیک شود. در بین انواع مختلف پوشش گیاهی، درختان

1. Negative pore-water pressure  
2. Wetting front

درصد بوده و جهت دامنه‌ها به سمت شمال غربی است. براساس مطالعات خاکشناسی، بافت خاک در هر دو دامنه براساس مثلث بافت خاک در کلاسه رس سیلتی قرار گرفته است.

### روش پژوهش

به منظور بررسی پتانسیل آب در خاک دامنه‌های انتخاب شده، ابتدا قطعه‌ای با ابعاد ۳۰ در ۵۰ متر در هر یک از دامنه‌های بررسی شده انتخاب شد. سپس با استفاده از روش نمونه برداری تصادفی - سیستماتیک، در مجموع ۹ نقطه در سه ردیف مختلف در هر یک از دامنه‌ها تعیین شد. در مرحله بعد با استفاده از آگرهای مخصوص، چاهک‌هایی با قطر ۲۵ میلی‌متر در نقاط نمونه برداری حفر شد. در ادامه، لوله‌های دسترسی<sup>۱</sup> در چاهک‌های ایجاد شده قرار گرفت و هر یک از آنها به واشر مخصوص (برای جلوگیری از جریان عمودی آب در امتداد لوله) و کلاهک مخصوص (برای جلوگیری از ورود آب به داخل لوله) مجهز شدند. در نهایت بعد از طی یک ماه، پایش رطوبت خاک در عمق‌های مختلف به صورت یک روز در میان در هر دو دامنه در طول دوره رویش گیاهی سال ۱۳۹۴ صورت پذیرفت. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک و پایش تغییرات آن، از دستگاه PR2/6 Profile probe و HH2 و readout meter استفاده شد. برای اندازه‌گیری باید حسگر رطوبتی (PR2/6) را در داخل لوله دسترسی قرار داد و با اتصال حسگر به قرائتگر HH2، رطوبت حجمی خاک همزمان برای شش عمق مختلف خاک (تا عمق ۱ متر) در امتداد لوله دسترسی اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱). شایان ذکر است که دقت این دستگاه را شرکت سازنده حدود  $\pm 4\%$  درصد برآورد کرده است.

با توجه به اینکه هدف این تحقیق، بررسی پتانسیل ماتریک در عمق‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در دامنه‌های مورد بررسی است، به منظور برآورد پتانسیل معادل رطوبت‌های اندازه‌گیری شده در منطقه، منحنی

نخواهد بود؛ چراکه برای مثال با وجود شاخص سطح برگ بسیار کم برای نهال که خود عامل اصلی تعیین‌کننده مقدار باران‌ریایی و تبخیر و تعرق گیاه است [۱۷]، برآورد حداکثر توانایی و تأثیر هر یک از پوشش‌های گیاهی بر هیدرولوژی و پایداری دامنه در شرایط واقعی کمی مشکل خواهد بود. بنابراین اجرای مطالعه‌ای در طبیعت با هدف دستیابی به برآورد منطقی و دقیق‌تری از تغییرات هیدرولوژیک دامنه جنگلی تحت تأثیر پوشش‌های مختلف، ضروری می‌شود. بدین منظور تغییرات آب در خاک در دو دامنه جنگلی با پوشش مختلف (دامنه جنگلی با پوشش درختی زبان‌گنجشک ۳۰ ساله و با پوشش علفی) با شرایط توپوگرافی، خاکشناسی و زمین‌شناسی مشابه در طول دوره رویش گیاهی پایش شد. سؤالاتی که در این تحقیق به آنها پاسخ داده خواهد شد چنین است: ۱. آیا پوشش‌های گیاهی مختلف تأثیر متفاوتی بر تغییرات آب در خاک خواهند داشت؟ ۲. آیا اثر پوشش گیاهی مختلف بر تغییرات آب در خاک، در عمق‌های مختلف خاک متفاوت خواهد بود؟ ۳. تغییرات هیدرولوژیک به‌وجودآمده تحت تأثیر پوشش گیاهی مختلف، چگونه پایداری دامنه را تحت شعاع قرار خواهند داد؟

### مواد و روش‌ها

#### منطقه تحقیق

تحقیق حاضر در جنگل خیرود واقع در شرق نوشهر انجام گرفت. براساس گزارش ایستگاه هواشناسی نوشهر، میانگین سالیانه بارش و دما برای این منطقه به ترتیب ۱۱۹۲ میلی‌متر و ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد است. منطقه شامل دو دامنه با شرایط توپوگرافی، خاکشناسی و زمین‌شناسی مشابه ولی با پوشش گیاهی مختلف است. دامنه اول پوشیده از جنگل پهن‌برگ (جنگلکاری با گونه زبان‌گنجشک) و دامنه دوم فضای باز و با پوشش علفی (به عبارت دیگر دامنه جنگلی تخریب شده) است. شیب زمین در دو دامنه به ترتیب ۲۷ و ۲۵



شکل ۱. الف) نمایی از چاهک حفر شده، ب) لوله دسترسی نصب شده، ج) رطوبت‌سنج PR2/6 در حال اندازه‌گیری رطوبت خاک

دامنه و در سه عمق ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر برای زمان‌های مختلف برآورد شد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

کلیه تجزیه و تحلیل‌ها در این تحقیق در محیط نرم‌افزار STATISTICA 12.5 انجام گرفت. ابتدا برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف و برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. سپس در موارد لازم برای نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. در ادامه با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه و مقایسه میانگین توکی، مقادیر پتانسیل ماتریک خاک در دامنه‌ها و عمق‌های مختلف، آزمون و مقایسه شدند.

#### نتایج و بحث

برپایه نتایج آنالیز واریانس، مقدار میانگین پتانسیل ماتریک خاک در دامنه با پوشش پهن‌برگ (۲۹۰/۵ کیلوپاسکال) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار پتانسیل ماتریک خاک در دامنه با پوشش علفی (۲۲۵/۷ کیلوپاسکال) بوده است (جدول ۱ و شکل ۲). با توجه به یکسان بودن مقدار بارش ورودی به این دو دامنه و همچنین شباهت دیگر عوامل تأثیرگذار (شرایط پستی و بلندی، نوع خاک و زمین‌شناسی)

مشخصه رطوبتی خاک [۱۸] برای عمق‌های مختلف خاک در دو دامنه بررسی شده تعیین شد. به این منظور ابتدا نمونه‌های خاک دست‌نخورده از عمق‌های مختلف (۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) در هر یک از دامنه‌ها تهیه شد. سپس در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری<sup>۱</sup>، رطوبت نمونه‌های خاک به‌ازای فشارهای ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال تعیین شد [۱۸]. در مرحله بعد داده‌های رطوبت و فشار معادل به‌دست‌آمده در آزمایشگاه، با مدل پیشنهادی van Genuchten (۱۹۸۰)، (رابطه ۲) در محیط RETC برازش داده شد [۱۹].

$$\theta_h = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha \times h)^n)^m} \quad (2)$$

$\theta_h$  رطوبت حجمی خاک ( $m^3 m^{-3}$ ) به‌ازای پتانسیل معادل ( $h$ )،  $\theta_r$  رطوبت باقی‌مانده خاک ( $m^3 m^{-3}$ )،  $\theta_s$  رطوبت اشباع خاک ( $m^3 m^{-3}$ )،  $\alpha$ ،  $n$  و  $m$  ضرایب تجربی در معادله ون گناختن هستند که  $m$  برابر با  $m=1-1/n$  است. در نهایت با استفاده از منحنی‌های برازش‌داده‌شده، پتانسیل معادل برای رطوبت‌های اندازه‌گیری‌شده در دو

1. Soil Water Retention Curve (SWRC)
2. Pressure plate

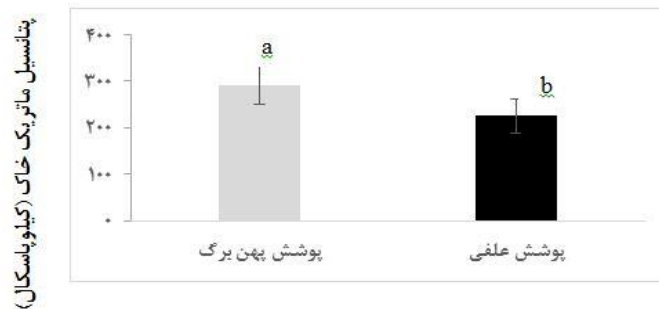
قابلیت بسیار ضعیف در فرایند باران‌ربایی و تبخیر و تعرق، قابل مقایسه با پوشش علفی نیستند. همچنین آنها اشاره کردند که انتظار می‌رود مقدار پتانسیل ماتریک برای درختان بالغ گونه‌های درختی مورد استفاده به مراتب بیشتر باشد و ممکن است بیشتر از گیاهان علفی بررسی شده در مطالعه آنان باشد. همچنین در پژوهش‌های پیشین، رطوبت اندازه‌گیری شده در فضای باز ایجاد شده در نتیجه قطع گروهی بیشتر از مقدار آن در زیر تاج پوشش درختان مجاور بوده است که به معنای وجود پتانسیل ماتریک بیشتر در زیر تاج درختان نسبت به فضای باز است [۲۰].

همان‌طور که نتایج نشان داد (شکل ۳) با افزایش دمای هوا و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق، مقدار پتانسیل ماتریک خاک هر دو دامنه در طول دوره تحقیق (یعنی از فروردین تا شهریور) روندی افزایشی را نشان می‌دهد؛ به طوری که کمترین مقدار آن برای دامنه با پوشش پهن‌برگ (۹۳/۷ کیلوپاسکال) و دامنه علفی (۷۷/۱ کیلوپاسکال) در ماه فروردین و بیشترین مقدار آن برای دامنه با پوشش پهن‌برگ (۸۰۲ کیلوپاسکال) و دامنه علفی (۶۵۱/۱ کیلوپاسکال) در ماه تیر مشاهده شد.

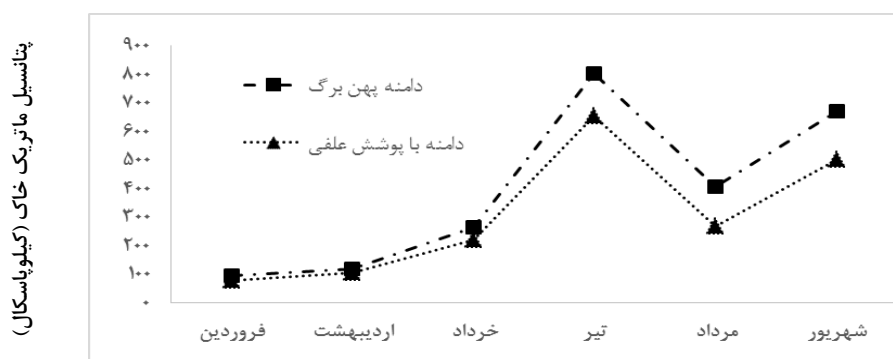
در مقدار پتانسیل آب در خاک، می‌توان اختلاف مشاهده شده در مقادیر پتانسیل در دو دامنه را به تفاوت عملکرد هیدرولوژیک پوشش گیاهی هر یک از دامنه‌ها نسبت داد. به طوری که دامنه با پوشش پهن‌برگ به میزان ۶۴/۸ کیلوپاسکال (معادل ۲۸/۷ درصد) نسبت به دامنه با پوشش علفی، عملکرد مؤثرتری از نظر پمپاژ آب خاک داشته است. همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره شد، این میزان پتانسیل اضافه در دامنه با پوشش پهن‌برگ - که صرفاً تحت تأثیر فرایند باران‌ربایی و تعرق صورت گرفته توسط درختان پهن‌برگ است و نه به دلیل دیگر عوامل تأثیرگذار که به طور مشترک در دامنه علفی نیز وجود دارند - به طور مستقیم به عنوان جزء هیدرولوژیک به معادله پایداری دامنه اضافه شده و در نهایت سبب افزایش مقاومت خاک و پایداری دامنه می‌شود. در این رابطه، Pollen-Bankhead and Simon (۲۰۱۰) نشان دادند که مقدار پتانسیل ماتریک اندازه‌گیری شده در لایسیمترهای با پوشش درختی (اغلب دوساله) کمتر از مقدار آن در لایسیمترهای با پوشش علفی بوده است [۱۶]؛ اما همان‌طور که در بالا نیز اشاره شد، گونه‌های درختی استفاده شده در مطالعه ایشان به دلیل سن بسیار کم و در نتیجه

جدول ۱. آنالیز واریانس اثر نوع پوشش دامنه و عمق خاک بر میانگین پتانسیل آب در خاک در طول دوره تحقیق

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-value
نوع پوشش دامنه	۱	۵/۲۹	۶/۲۸	۰/۰۱۳
عمق خاک	۲	۱۵/۸۳	۱۸/۸۲	۰/۰۰۰
نوع پوشش × عمق خاک	۲	۰/۶۲	۰/۷۴	۰/۴۷۷
خطا	۳۳۰	۰/۸۴		



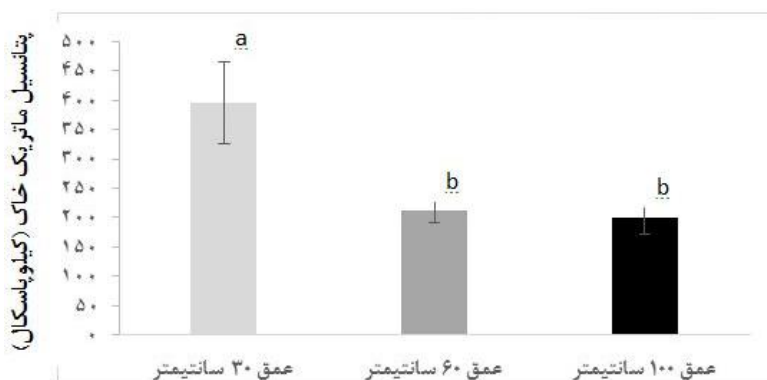
شکل ۲. میانگین پتانسیل ماتریک در طول دوره مطالعه برای دامنه با پوشش پهن‌برگ و دامنه با پوشش علفی (حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است)



شکل ۳. روند تغییرات میانگین پتانسیل آب در خاک در ماه‌های مختلف سال در دو دامنه بررسی شده

بوده که نشان‌دهنده بهبود ۲۱/۵ درصدی پتانسیل ماتریک خاک در این دامنه نسبت به دامنه با پوشش علفی است. برپایه نتایج، مقدار پتانسیل ماتریک در عمق ۳۰ سانتی متری خاک به‌طور معنی‌داری ( $P < .01$ ) بیشتر از مقدار آن در عمق‌های ۶۰ و ۱۰۰ سانتی متر است (جدول ۱ و شکل ۴). ب اساس نتایج، تفاوت معنی‌داری بین مقدار پتانسیل ماتریک خاک در عمق‌های ۶۰ و ۱۰۰ سانتی متر مشاهده نشد. همچنین با توجه به جدول ۱، اثر متقابل نوع پوشش دامنه و عمق خاک تأثیر معنی‌داری بر مقدار پتانسیل ماتریک خاک نداشت.

با توجه به شکل ۳، مقادیر پتانسیل در ماه‌های فروردین و اردیبهشت کمتر از ماه‌های دیگر بوده که دلیل اصلی آن ذوب برف دامنه‌های بالادست و جریان‌های زیرسطحی آب به سمت پایین دست در ابتدای بهار است که موجب افزایش ذخیره رطوبت خاک در این زمان می‌شود. از این رو اهمیت تأثیر هیدرولوژیک گیاهان در کاهش رطوبت خاک و در نتیجه افزایش پایداری دامنه در این زمان بیش از دیگر زمان‌های سال است. براساس نتایج این تحقیق، در ماه فروردین مقدار پتانسیل ماتریک خاک در دامنه با پوشش پهن برگ، ۱۶/۶ کیلوپاسکال بیشتر از مقدار آن در دامنه علفی



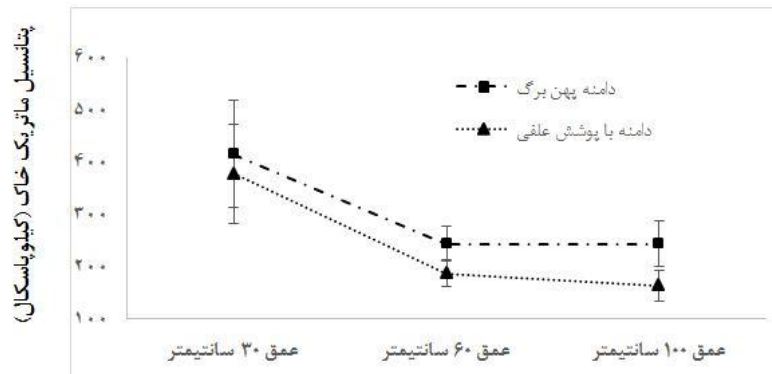
شکل ۴. میانگین پتانسیل ماتریک در طول دوره تحقیق در عمق‌های مختلف خاک (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح  $0.01$  است)

است، تراکم بیشتر ریشه‌های گیاهان [۱، ۱۶] در این عمق در هر دو دامنه است که در نتیجه سبب تخلیه سریع‌تر آب خاک در لایه‌های کم عمق می‌شود. بنابراین عمق تأثیر هیدرولوژیک گیاهان که بیشتر وابسته به عمق ریشه‌دوانی آنهاست، تا حدودی به لایه‌های کم عمق خاک محدود

یکی از دلایل افزایش پتانسیل ماتریک در عمق ۳۰ سانتی متری نسبت به دو عمق دیگر، نفوذ و جریان عمودی آب به عمق‌های پایین تر و همچنین واکنش سریع‌تر پتانسیل ماتریک خاک به رژیم حرارتی در لایه‌های کم عمق خاک است. همچنین دلیل اصلی دیگر که مدنظر این تحقیق

۱۶۳/۵ کیلوپاسکال در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری کاهش یافت که این مقدار برای دامنه با پوشش پهن‌برگ در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری، ۲۴۳/۲ کیلوپاسکال است که گسترش تأثیر هیدرولوژیک پوشش پهن‌برگ را تا عمق‌های بیشتر نشان می‌دهد.

می‌شود. البته این محدودیت در دامنه با پوشش علفی بیشتر است و همان‌طور که نتایج این تحقیق (شکل ۵) ثابت کرده، مقدار پتانسیل ماتریک در دامنه با پوشش علفی به میزان بیشتری کاهش یافت، به‌طوری که مقدار پتانسیل ماتریک در دامنه علفی از ۳۷۶/۷ کیلوپاسکال در لایه ۳۰ سانتی‌متری به



شکل ۵. میانگین پتانسیل ماتریک در طول دوره تحقیق در دامنه‌ها و عمق‌های مختلف بررسی شده

است و بنابراین اهمیت بیشتر تأثیر هیدرولوژیک گیاهان در کاهش رطوبت خاک و در نتیجه افزایش پایداری دامنه را در این زمان نشان می‌دهد. بنابراین، دامنه پهن‌برگ با کاهش بیشتر رطوبت خاک و افزایش ۲۱/۵ درصدی پتانسیل ماتریک نسبت به پوشش علفی در این ماه، عملکرد بهتری از نظر تأثیر بر وضعیت هیدرولوژی و پایداری دامنه داشته است.

#### سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه کارکنان جنگل خیرود که ما را در اجرای این پروژه یاری دادند، قدردانی می‌کنیم. از آقای مهندس محرم نظری‌راد و آقای مهندس محسن گرگندی که طی اندازه‌گیری‌های صحرائی با ما همکاری کردند، بسیار متشکریم. از آقای مهندس سلطانی در آزمایشگاه خاک گروه خاک‌شناسی و آقای مهندس اسدالهی در آزمایشگاه خاک دانشکده منابع طبیعی برای همکاری‌های ارزنده‌شان سپاسگزاری می‌کنیم.

#### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر پوشش‌های مختلف جنگلی بر وضعیت هیدرولوژی دامنه صورت گرفت که به‌طور خلاصه نتایج زیر به‌دست آمد:

میانگین پتانسیل ماتریک خاک در دامنه با پوشش پهن‌برگ به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در خاک دامنه با پوشش علفی بوده است. این اختلاف (۲۸/۷ درصد) نشان‌دهنده تأثیر بیشتر پوشش پهن‌برگ در کاهش رطوبت خاک و در پی آن افزایش مقاومت و پایداری خاک دامنه است. مقدار پتانسیل ماتریک خاک با افزایش عمق (در دامنه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) کاهش یافته است. البته این مطالعه ثابت کرده که شدت کاهش مقدار پتانسیل ماتریک با عمق، در دامنه با پوشش علفی بیشتر از دامنه با پوشش پهن‌برگ است که نشان‌دهنده گسترش تأثیر هیدرولوژیک پوشش پهن‌برگ تا عمق بیشتر است. همچنین در طول دوره رویش گیاهی، مقدار پتانسیل ماتریک خاک در ماه فروردین کمتر از ماه‌های دیگر بوده

## References

- [1]. Sidle, R.C., and Ochiai, H. (2006). Landslides: Processes, prediction and land use, American Geophysical Union, Water Resour Monograph, 18, Washington.
- [2]. Liu, Q.Q., and Li, J.C. (2015). Effects of water seepage on the stability of soil-slopes. *Procedia IUTAM*, 17: 29-39.
- [3]. Lu, N., and Godt, J.W. (2013). *Hillslope hydrology and stability*. Cambridge University press. New York.
- [4]. Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R., and Widger, R.A. (1978). The shear strength of unsaturated soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15(3): 313-321.
- [5]. Bathurst, J.C., Moretti, G., El-hames, A., Beguería, S., and García-ruiz, J.M. (2007). Modelling the Impact of forest loss on shallow landslide sediment yield, Ijuez river catchment, Spanish Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 11(1): 569-583.
- [6]. Terwilliger, V.J. (1990). Effects of vegetation on soil slippage by pore pressure modification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15(6): 553-570.
- [7]. Ghestem, M., Sidle, R.C., and Stokes, A. (2011). The Influence of Plant Root Systems on Subsurface Flow: Implications for Slope Stability. *Bioscience*, 61(11): 869-879.
- [8]. Elliott, J.A., Toth, B.M., Granger, R.J., and Pomeroy, J.W. (1998). Soil moisture storage in mature and replanted sub-humid boreal forest stands. *Canadian Journal of Soil Science*, 78(1): 17-27.
- [9]. Guthrie, R.H. (2002). The effects of logging on frequency and distribution of landslides in three watersheds on Vancouver island, British Columbia. *Geomorphology*, 43(3): 273-292.
- [10]. Runyan, C.W., and D'Odorico, P. (2014). Bistable dynamics between forest removal and landslide occurrence. *Water Resources Research*, 50(2): 1112-1130.
- [11]. Sidle, R.C., Pearce, A.J., and O'Loughlin, C.L. (1985). *Hillslope Stability and Land Use* (Water Resources Monograph 11), American Geophysical Union, Washington D.C.
- [12]. Abbasian, P., Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Van Stan, J.T., and Hojjati, S.M. (2015). Throughfall nutrients in a degraded indigenous *Fagus orientalis* forest and a *Picea abies* plantation in the of north of Iran. *Forest Systems*, 24(3): 1-10.
- [13]. Yousefi, M., Pourmajidian, M.R., Karimi, M., and Darvishi, L. (2013). Quantitative and qualitative evaluation of forest plantations by four species and suggestion the appropriate species in the Hyrcanian forest. *Euro J. Exp. Bio.*, 3(5): 352-360.
- [14]. Keim, R.F., and Skaugset, A.E. (2003). Modelling effects of forest canopies on slope stability. *Hydrological Processes*, 17(7): 1457-1467.
- [15]. Simon, A., and Collison, A.J.C. (2002). Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(5): 527-546.
- [16]. Pollen-Bankhead, N., and Simon, A. (2010). Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: Is mechanical root-reinforcement the whole story?. *Geomorphology*, 116(3-4): 353-362.
- [17]. Park, A., and Cameron, J.L. (2008). The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. *Forest Ecology and Management*, 255(5): 1915-1925.
- [18]. Alizadeh, A. (2008). *Water, soil and plant relationship*, Astan Quds Razavi Press, 3rd Edition, Mashhad.
- [19]. Van Genuchten, M.T. (1980). A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil science society of America journal*, 44(5): 892-898.
- [20]. Gray, A.N., Spies, T.A., and Easter, M.J. (2002). Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in coastal Douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(2): 332-343.



## Time-varying soil water potential at different depths of soil under grassed and deciduous hillslopes

**E. Hayati**; Ph.D. Student, Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

**E. Abdi\***; Assoc. Prof., Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

**M. Mohseni Saravi**; Prof., Department of Range and Watershed Management, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

**B. Majnounian**; Prof., Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

**G. B. Chirico**; Assoc. Prof., Department of Agriculture, Division of Agricultural, Forest and Biosystems Engineering, University of Napoli Federico II, 100-80055 Portici (NA) Italy.

(Received: 28 January 2017, Accepted: 26 February 2017)

### ABSTRACT

Even though vegetation are well recognized by their effects on hillslope hydrology and stability state, the hydrological effect of different types of forest covers are yet to be quantified. To address this gap, two adjacent hillslopes with different vegetation cover (a deciduous forest and a grass cover) were selected. The random-systematic method was used to determine nine sampling points on each hillslope. A PR2/6 profile probe was then used to monitor the soil water content at different depths of soil during the growing season of 2015. A soil water retention curve (SWRC) was made for each soil depth to facilitate the estimation of the equivalent matric suction of the monitored soil water content. Based on the results, the value of soil matric suction tends to be significantly higher in deciduous hillslope than the grassed hillslope ( $P < 0.05$ ). In addition, soil matric suction at depth 30cm was found to be significantly higher than depths 60 and 100cm ( $P < 0.01$ ). The value of soil matric suction tends to increase during the study period from April to September, with the lowest value in April. Based on this work, the deciduous forest cover was found to be more effective on soil hydrologic condition and they also extended their hydrological effects to a larger depth of soil compared to the grass cover.

**Keywords:** Hillslope hydrology, Unsaturated soil, Negative pore-water pressure, PR2/6 profile probe.

---

\* Corresponding Author, Tel: +98-26-32223044, Email: abdie@ut.ac.ir