

## تأثیر تنش فشردگی خاک بر تعادل عملکردی و تخصیص زی توده نهال زربین

مقداد جورغلامی<sup>۱\*</sup>، آزاده دلجویی<sup>۲</sup>، الهه سادات حسینی علا<sup>۳</sup> و قوام‌الدین زاهدی امیری<sup>۴</sup>

- ۱- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۲- دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۴- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۲۷

### چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر تنش کوبیدگی خاک بر تعادل عملکردی و تخصیص زی توده، رشد، ریشه‌دوانی و ویژگی‌های ریخت‌شناسی نهال زربین است. بذور با ویژگی‌های ریخت‌شناسی برتر تهیه و پس از کاشت در گلدان‌های پلاستیکی در خاک لومی تا لومی‌رسی و رژیم رطوبتی ثابت، در شش سطح کوبیدگی مورد بررسی قرار گرفتند. خصوصیات مورفولوژی نهال، رشد نهال و معماری (نسبت‌های تخصیص) نهال ثبت شدند. پاسخ‌های ریخت‌شناسی نهال از نظر میانگین با افزایش شدت فشردگی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. روابط پاسخ‌های ریخت‌شناسی و افزایش مقاومت به نفوذ خاک به‌صورت تابع درجه دوم کاهش یابنده است ( $P < 0/05$ ). رابطه افزایش مقاومت به نفوذ خاک و شاخص‌های رشد نهال به‌صورت یک رابطه درجه دوم کاهنده است که در ابتدا مقدار آن زیاد و سپس کاهش می‌یابد. بهترین رابطه برازش داده‌شده ( $r^2$ ) بین نسبت‌های طول ریشه به وزن ریشه (۰/۰۱۲۶)، طول ساقه به وزن ساقه (۰/۰۸۴۱)، طول ریشه جانبی به طول ریشه اصلی (۰/۱۷۱۶)، وزن ریشه جانبی به وزن خشک ریشه (۰/۲۶۷۶)، نرخ زی توده ریشه (۰/۰۵۷۶)، وزن ریشه به وزن اندام‌های هوایی (۰/۰۴۶۶)، نرخ زی توده برگ (۰/۲۴۲۶) و نرخ زی توده ساقه (۰/۰۵۴۱) به‌صورت دو جمله‌ای به‌دست آمد. در واقع کوبیدگی خاک اثر بسزایی در آناتومی و ریخت‌شناسی ریشه‌ها در مدت‌زمان رشد نهال‌ها و رشد گیاهان داشته است.

واژه‌های کلیدی: ریخت‌شناسی نهال، مقاومت به نفوذ، معماری نهال، زربین.

Bejarano ) *Quercus pyrenaica* *Acacia mearnsii*

*Q. Quercus ilex* (et al., 2010) و همچنین گونه‌های *Q. canariensis*, *Q. faginea*, *Q. suber*, *coccifera*, *Rhamnus*, *Ailanthus altissima*, *Q. pyrenacia*, *Pinus sylvestris*, *Frangula alnus*, *alaternus*, *Prunus*, *P. terebinthus*, *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea*, *Cercis siliquastrum lusitanica* و *Fraxinus angustifolia* (Alameda and Villar, 2009)، در شرایط رشد در گلخانه تحت تأثیر کوبیدگی خاک بوده و فشردگی خاک گلدان موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک و طول کلی ریشه‌ها شده است.

از عوامل محیطی مهم در جنگل بررسی رفتار زادآوری گونه‌های مختلف جنگلی با توجه به شرایط خاکی ایجاد شده است. از آنجاکه زربین (*Cupressus sempervirens* L. var *horizontalis*) گونه خشکی‌پسند است و در شرایط خاک آهکی و دشوار رشد می‌کند (Sagheb-Talebi et al., 2014)، زادآوری آن از اهمیت بسیاری برخوردار است. به‌طور عمده بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده داخل کشور در رابطه با اثر تراکم خاک بر رشد گونه‌های زراعی انجام‌شده (Shahrayini et al., 2001; Miransari et al., 2009; Ghorbanian et al., 2014; Akhavan et al., 2012) و پژوهش‌های اندکی در مورد گونه‌های چوبی جنگلی انجام‌شده است؛ بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر تنش کوبیدگی خاک بر تعادل عملکردی و تخصیص زی‌توده، رشد و ریشه‌دوانی و ویژگی‌های مورفولوژیک نهال زربین است. این تحقیق به دنبال اثبات این فرضیه است که افزایش مقاومت به نفوذ خاک، سبب کاهش تمامی اندازه‌های نهال زربین در قسمت بالای سطح زمین و زیر زمین (مورفولوژی) و زی‌توده کل نهال (رشد) می‌شود.

رشد نهال‌های جنگلی تحت تأثیر عوامل غیرزنده متعددی مانند نور، دسترسی به آب، حاصلخیزی خاک (Sack, 2004) و کوبیدگی خاک (Perez-Ramos et al., 2010) قرار دارد. به‌طور کلی کوبیدگی خاک به‌عنوان عامل اثرگذار منفی بر رشد پوشش گیاهی و همچنین مقدار تولید آن شناخته می‌شود (Kozlowski, 1999; Alameda et al., 2012). از اثرهای مستقیم کوبیدگی خاک، افزایش مقاومت مکانیکی آن و کاهش مقدار نفوذ ریشه در خاک است که شرایط را برای رشد ریشه در خاک دشوار می‌نماید (Majnounian & Jourgholami, 2013). کوبیدگی خاک عبارتی است که اغلب برای توضیح شرایط کلی در یک توده جنگلی بعد از عملیات چوب‌کشی استفاده می‌شود (Jourgholami and Majnounian, 2013) و سبب افزایش وزن مخصوص ظاهری و تغییر خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود. کوبیدگی خاک منجر به کاهش پیوستگی منافذ (Teepe et al., 2004)، افزایش وزن مخصوص خاک (Miller et al., 1996)، کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع (Ampoorter et al., 2007) اختلال تبادلات گازی (Miller and Anderson, 2002) و تغییر فرآیندهای شیمیایی در خاک (Ballard, 2000) می‌شود.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری در رابطه با تأثیر کوبیدگی خاک بر رشد ریشه و مورفولوژی گیاهان انجام‌شده است (Misra and Gibbons, 1996; Grzesiak, 2009; Alameda and Villar, 2009; Tracy et al., 2012) که نشان می‌دهند تنش کوبیدگی بر رشد گیاهان چوبی تأثیر معنی‌دار (مثبت و منفی) دارد. به‌عنوان مثال ریشه‌دوانی نهال *Olea europea* (Sardabi, 2003) و گونه‌های درختی جنگلی *Pinus radiata*، *Eucalyptus viminalis* و

## مواد و روش‌ها

برداشت از هر نهال، با استخراج دقیق گیاه از گلدان و شستن ریشه در یک ظرف آب انجام شد. ریشه‌ها به آرامی خشک شده و حداکثر طول ریشه و وزن تر نهال اندازه‌گیری شد. سپس برگ، ساقه و ریشه، وزن شدند. برگ‌های تازه را در کیسه‌های پلاستیکی با کاغذ مرطوب ذخیره کرده و در یک جعبه خنک قرار داده شدند. در این پژوهش در ابتدای دوره (اواخر اردیبهشت سال ۱۳۹۳) و انتهای دوره (اواخر شهریور سال ۱۳۹۳) خصوصیات مورفولوژی نهال‌ها مانند قطر (با استفاده از کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر)، ارتفاع (با استفاده از خط‌کش مدرج با دقت ۰/۱ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد و رویش ارتفاعی از تفاضل مقدار رشد در آخر و اول دوره محاسبه شد. در نهایت به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون، وزن خشک هر یک از اندام‌های نهال زربین ثبت شد و نسبت وزن خشک به وزن تر نهال به دست آمد. همچنین برای هر تیمار از هر تکرار، یک نهال از خاک خارج و پس از شستشوی خاک اطراف ریشه، طول بلندترین ریشه اصلی ریشه جانبی اندازه‌گیری شد. سپس هر یک از نهال‌ها به سه قسمت ریشه، ساقه و برگ تفکیک و با ترازوی دیجیتالی (دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند و به منظور اندازه‌گیری وزن خشک نهال-ها، آن‌ها را بعد از قرار دادن در آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) وزن کرده و پس از این مرحله وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و وزن خشک کل نهال‌ها تعیین و نسبت طول ساقه به وزن ساقه، نسبت طول ریشه به وزن ریشه، زی توده برگ، زی توده ریشه، زی توده ساقه و نرخ رشد نسبی محاسبه شد. نرخ رشد نسبی بر اساس زی توده با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Hunt, 1990):

این پژوهش در گلخانه گروه باغبانی، دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. بذور با ویژگی‌های ریخت-شناسی برتر از مرکز بذر آمل تهیه شد و به منظور آزمایش‌های اولیه به آزمایشگاه بذر در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) منتقل شد. در اواخر زمستان ۱۳۹۲، بذورهای زربین (۱۰ بذر در هر گلدان) در ۱۸ گلدان پلاستیکی با ابعاد ۱۵×۲۰ سانتی‌متر در خاکی با بافت لومی تا لومی-رسی و رژیم رطوبتی ثابت (بدون اضافه کردن کود) در عمق یک تا سه میلی‌متر کاشته شدند و به مدت ۷۰ روز در گلخانه به صورت روزانه آبیاری بارانی شدند. شرایط نوری و دمایی (دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد) در گلخانه ثابت و کنترل شده بود. در نهایت نهال‌ها وزن شد و قطر و ارتفاع هر کدام اندازه‌گیری شد. سپس برای بازکاشت و اعمال تیمار کوبیدگی بر نهال‌ها در اواخر اردیبهشت سال ۱۳۹۳ آن‌ها را به گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰×۳۰ سانتی‌متر منتقل و توسط چکش پروکتور اصلاح شده با وزن ۴/۷۴ کیلوگرم و ارتفاع سقوط ۴۵/۷ سانتی‌متر، خاک گلدان‌ها را در سه لایه مساوی تقسیم کرده و به هر لایه به ترتیب یک، دو، چهار، شش و هشت با سه تکرار ضربه وارد شد (Alameda and Villar, 2009; Bejarano et al., 2010). هم‌چنین تیمار بدون ضربه (تیمار شاهد) که فقط خاک با فشار دست در گلدان پر شده است، نیز هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفت. نهال‌ها تا پایان دوره رویش (۱۲۴ روز) به صورت روزانه و برابر آبیاری شدند. به منظور اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ، نفوذسنج را با فواصل ۱۰ سانتی‌متر در خاک فرو برده و در هر نفوذ، عددی را که توسط عقربه‌های نفوذسنج ثبت می‌شود را یادداشت کرده، این کار را در شش نقطه انجام داده و برای هر عمق میانگین‌گیری انجام شد.

$$\frac{M_2 - M_1}{T_2 - T_1}$$

که در آن  $M_1$  و  $M_2$  به ترتیب وزن خشک گیاه

اولیه و نهایی و  $T_2 - T_1$  دوره رشد است. ماده خشک نهایی برای هر نهال در برداشت بعد از دوره رشد و وزن خشک اولیه برای هر نهال از ضرب وزن تر اولیه در درصد ماده خشک به دست آمد. وزن تر اولیه برای هر نهال، از توزین هر نهال در زمان کاشت محاسبه شد. محتوای ماده خشک (وزن خشک/وزن تر) از گیاهان (۱۰-۱۵ نهال هر گونه) در ابتدای آزمایش به دست آمد. در نهایت شاخص‌های رشد شامل قطر ساقه، قطر ریشه، طول ساقه، طول ریشه اصلی و جانبی، طول برگ‌ها، وزن اولیه و خشک برگ‌ها، ساقه، ریشه محاسبه شد. طرح آماری مورد استفاده در این بخش از تحقیق، طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با ۶ درجه کوبیدگی خاک در ۳ تکرار بوده و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا با آزمون کولموگراف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. به منظور بررسی اثر کوبیدگی خاک بر متغیرهای رشد نهال از تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد. در صورتی که اثر هر یک از عوامل در تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه معنی‌دار باشد، از آزمون مقایسه‌ای چندگانه دانکن برای گروه‌بندی استفاده می‌شود. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی، با آزمون دانکن انجام شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 17.0 انجام شد.

## نتایج

تمامی موارد پاسخ‌های مورفولوژیکی نهال زربین از نظر میانگین با افزایش شدت فشردگی خاک به طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول ۱). برای نمونه، مقایسه مقادیر پاسخ متغیرهای مورفولوژیکی در تیمار شاهد (بدون کوبیدگی) نسبت به تیمار با کوبیدگی

شدید، ۴۷ درصد کاهش در میانگین طول ساقه (از ۱۵/۰۵ سانتی‌متر به ۷/۸۴ سانتی‌متر) و ۴۶ درصد کاهش در میانگین قطر ریشه اصلی (از ۲/۳ میلی‌متر به ۱/۲۳ میلی‌متر) را نشان داده است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که در شدت‌های مختلف کوبیدگی، میانگین ارزش‌های خصوصیات طول ساقه ( $F=۴/۶۰$ )، طول برگ‌ها ( $F=۳/۰۹$ )، طول ریشه جانبی ( $F=۴/۳۲$ )، طول ریشه اصلی ( $F=۴/۲۳$ )، قطر ساقه ( $F=۲/۳۱$ )، قطر ریشه اصلی ( $F=۱/۹۱$ )، وزن ریشه اصلی ( $F=۳/۹۳$ )، وزن خشک ریشه اصلی ( $F=۴/۱۲$ )، وزن ریشه جانبی ( $F=۴/۸۶$ )، وزن خشک ریشه جانبی ( $F=۲/۷۰$ )، وزن ساقه ( $F=۲/۲۶$ )، وزن خشک ساقه ( $F=۵/۶۸$ )، وزن برگ‌ها ( $F=۲/۷۲$ )، وزن قسمت‌های هوایی ( $F=۵/۵۶$ )، وزن خشک قسمت‌های هوایی ( $F=۳/۲۷$ )، وزن کل نهال ( $F=۲۲/۷۲$ )، وزن کل خشک نهال ( $F=۶/۳۱$ )، نسبت طول ساقه به وزن ساقه ( $F=۳/۳۵$ )، نسبت طول ریشه به وزن ریشه ( $F=۱/۹۹$ )، وزن کل ریشه ( $F=۸/۰۶$ ) و وزن خشک کل ریشه ( $F=۴/۱۱$ ) از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری هستند ( $P<۰/۰۵$ ). برای مثال، بر اساس آزمون دانکن (جدول ۱)، طول ساقه، طول برگ‌ها، طول ریشه اصلی، وزن ریشه اصلی، وزن برگ‌ها، وزن قسمت‌های هوایی، وزن کل خشک نهال، وزن کل ریشه و وزن کل خشک ریشه در سطح اول (تیمار شاهد) به طور معنی‌داری بیشتر از سطوح پنجم و ششم کوبیدگی خاک است ( $P<۰/۰۵$ ).

جدول ۱- نتایج آزمون دانکن مقایسه میانگین متغیرهای رشد نهال زربین با افزایش مقاومت به نفوذ خاک\*

Table 1. Results of compare means Duncan test of Growth variables of *Cupressus sempervirens* seedling by increasing soil penetration resistance\*

P	خطای معیار Standard Error	شدت کوبیدگی Compaction intensity						شاخص Parameter
		سطح ششم 6 <sup>th</sup> Level	سطح پنجم 5 <sup>th</sup> Level	سطح چهارم 4 <sup>th</sup> Level	سطح سوم 3 <sup>th</sup> Level	سطح دوم 2 <sup>nd</sup> Level	سطح اول (شاهد) 1 <sup>st</sup> Level (Control)	
		میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	
0.014*	1.445	7.84 <sup>b</sup>	7.87 <sup>b</sup>	12.00 <sup>ab</sup>	13.89 <sup>a</sup>	13.26 <sup>a</sup>	15.05 <sup>a</sup>	طول ساقه (سانتی متر) Stem length (cm)
0.051 <sup>ns</sup>	0.815	4.13 <sup>b</sup>	4.24 <sup>b</sup>	5.98 <sup>ab</sup>	5.93 <sup>ab</sup>	7.06 <sup>a</sup>	7.65 <sup>a</sup>	طول برگ ها (سانتی متر) Leaves length (cm)
0.018*	0.683	4.46 <sup>c</sup>	6.19 <sup>abc</sup>	5.51 <sup>bc</sup>	8.31 <sup>a</sup>	7.58 <sup>ab</sup>	7.14 <sup>ab</sup>	طول ریشه جانبی (سانتی متر) Lateral root length (cm)
0.019*	0.645	4.51 <sup>c</sup>	5.70 <sup>bc</sup>	5.84 <sup>bc</sup>	7.46 <sup>ab</sup>	6.72 <sup>ab</sup>	8.18 <sup>a</sup>	طول ریشه اصلی (میلی متر) Main root length (cm)
0.109 <sup>ns</sup>	0.358	1.99 <sup>b</sup>	2.20 <sup>ab</sup>	2.67 <sup>ab</sup>	3.10 <sup>ab</sup>	3.28 <sup>a</sup>	3.19 <sup>ab</sup>	قطر ساقه (میلی متر) Stem diameter (mm)
0.165 <sup>ns</sup>	0.286	1.23 <sup>b</sup>	1.84 <sup>ab</sup>	1.85 <sup>ab</sup>	2.28 <sup>a</sup>	2.08 <sup>ab</sup>	2.30 <sup>a</sup>	قطر ریشه اصلی (میلی متر) Main root diameter (mm)
0.024*	0.263	0.98 <sup>c</sup>	1.33 <sup>bc</sup>	1.47 <sup>abc</sup>	2.15 <sup>ab</sup>	2.12 <sup>ab</sup>	2.23 <sup>a</sup>	وزن ریشه اصلی (گرم) Root fresh biomass (g)
0.021*	0.152	0.50 <sup>c</sup>	0.52 <sup>c</sup>	0.72 <sup>bc</sup>	1.07 <sup>ab</sup>	1.01 <sup>ab</sup>	1.24 <sup>a</sup>	وزن خشک ریشه اصلی (گرم) Root dry biomass (g)
0.012*	0.179	0.52 <sup>b</sup>	0.78 <sup>ab</sup>	1.13 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>	1.25 <sup>a</sup>	1.08 <sup>a</sup>	وزن ریشه جانبی (گرم) Lateral root fresh biomass (g)

\*Different letters show significant difference at the probability level of 95 percent.

\*حروف لاتین متفاوت نشانگر معنی دار بودن اختلاف میانگین ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

P	خطای معیار Standard Error	شدت کوبیدگی Compaction intensity						شاخص Parameter
		سطح ششم 6 <sup>th</sup> Level	سطح پنجم 5 <sup>th</sup> Level	سطح چهارم 4 <sup>th</sup> Level	سطح سوم 3 <sup>th</sup> Level	سطح دوم 2 <sup>nd</sup> Level	سطح اول (شاهد) 1 <sup>st</sup> Level (Control)	
		میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	
0.006**	0.129	0.45 <sup>b</sup>	0.94 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	1.33 <sup>a</sup>	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry biomass (g)
0.072 <sup>ns</sup>	0.222	1.33 <sup>b</sup>	1.40 <sup>b</sup>	1.76 <sup>ab</sup>	2.03 <sup>ab</sup>	1.99 <sup>ab</sup>	2.25 <sup>a</sup>	وزن برگها (گرم) Leaves fresh biomass (g)
0.515 <sup>ns</sup>	0.168	0.83 <sup>a</sup>	0.99 <sup>a</sup>	1.00 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	1.24 <sup>a</sup>	وزن خشک برگها (گرم) Leaves dry biomass (g)
0.007**	0.315	2.55 <sup>c</sup>	3.38 <sup>bc</sup>	3.40 <sup>bc</sup>	4.04 <sup>ab</sup>	4.18 <sup>ab</sup>	4.65 <sup>a</sup>	وزن قسمت هوایی (گرم) Shoot fresh biomass (g)
0.043*	0.254	1.28 <sup>b</sup>	1.93 <sup>ab</sup>	1.92 <sup>ab</sup>	2.04 <sup>ab</sup>	2.45 <sup>a</sup>	2.57 <sup>a</sup>	وزن خشک قسمت هوایی (گرم) Shoot dry biomass (g)
0.000**	0.314	4.06 <sup>c</sup>	5.58 <sup>ab</sup>	6.00 <sup>ab</sup>	7.47 <sup>a</sup>	7.55 <sup>a</sup>	7.95 <sup>a</sup>	وزن کل نهال (گرم) Total fresh biomass (g)
0.0004**	0.328	2.24 <sup>c</sup>	2.88 <sup>bc</sup>	3.36 <sup>ab</sup>	3.83 <sup>ab</sup>	4.18 <sup>a</sup>	4.42 <sup>a</sup>	وزن کل خشک نهال (گرم) Total dry biomass (g)
0.04*	1.734	17.19 <sup>a</sup>	8.78 <sup>c</sup>	13.90 <sup>abc</sup>	15.65 <sup>b</sup>	10.88 <sup>bc</sup>	11.33 <sup>bc</sup>	نسبت طول ساقه به وزن خشک ساقه Ratio of Stem Length to Stem Dry Biomass (SSL)
0.152 <sup>ns</sup>	1.49	10.49 <sup>ab</sup>	14.19 <sup>a</sup>	7.74 <sup>b</sup>	11.87 <sup>ab</sup>	10.80 <sup>ab</sup>	11.64 <sup>ab</sup>	نسبت طول ریشه به وزن خشک ریشه Ratio of Root Length to Root Dry Biomass (SRL)

\*Different letters show significant difference at the probability level of 95 percent.

\*حروف لاتین متفاوت نشانگر معنی دار بودن اختلاف میانگینها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

P	شدت کوبیدگی Compaction intensity							شاخص Parameter
	خطای معیار	سطح ششم 6 <sup>th</sup> Level	سطح پنجم 5 <sup>th</sup> Level	سطح چهارم 4 <sup>th</sup> Level	سطح سوم 3 <sup>th</sup> Level	سطح دوم 2 <sup>nd</sup> Level	سطح اول (شاهد) 1 <sup>st</sup> Level (Control)	
	Standard Error	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	میانگین Mean	
0.497 <sup>ns</sup>	0.050	0.42 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>	نرخ زی توده ریشه Root Mass Ratio (RMR)
0.165 <sup>ns</sup>	0.033	0.21 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.27 <sup>ab</sup>	0.23 <sup>ab</sup>	0.30 <sup>ab</sup>	0.30 <sup>ab</sup>	نرخ زی توده ساقه Stem Mass Ratio (SMR)
0.516 <sup>ns</sup>	0.044	0.38 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	نرخ زی توده برگ Leaves Mass Ratio (LMR)
0.002 <sup>**</sup>	0.274	1.51 <sup>c</sup>	2.20 <sup>bc</sup>	2.60 <sup>ab</sup>	3.43 <sup>a</sup>	3.37 <sup>a</sup>	3.30 <sup>a</sup>	وزن کل ریشه Total Root Fresh Biomass (g)
0.475 <sup>ns</sup>	0.151	0.76 <sup>a</sup>	0.48 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	نسبت وزن ریشه به اندام هوایی Ratio of Root to Shoot Dry Biomass (R/S)
0.485 <sup>ns</sup>	0.378	1.22 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	نسبت ریشه های جانبی به مجموع وزن خشک ریشه Ratio of Lateral Root to Total Root Dry Biomass (LR/RDB)
0.795 <sup>ns</sup>	0.174	1.01 <sup>a</sup>	1.12 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	نسبت طول ریشه جانبی به اصلی Ratio of Lateral Root Length to Main Root Length (LRL/MRL)
0.021 <sup>*</sup>	0.201	0.96 <sup>b</sup>	0.95 <sup>b</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	1.79 <sup>a</sup>	1.73 <sup>a</sup>	1.85 <sup>a</sup>	وزن کل خشک ریشه Total Root Dry Biomass (g)

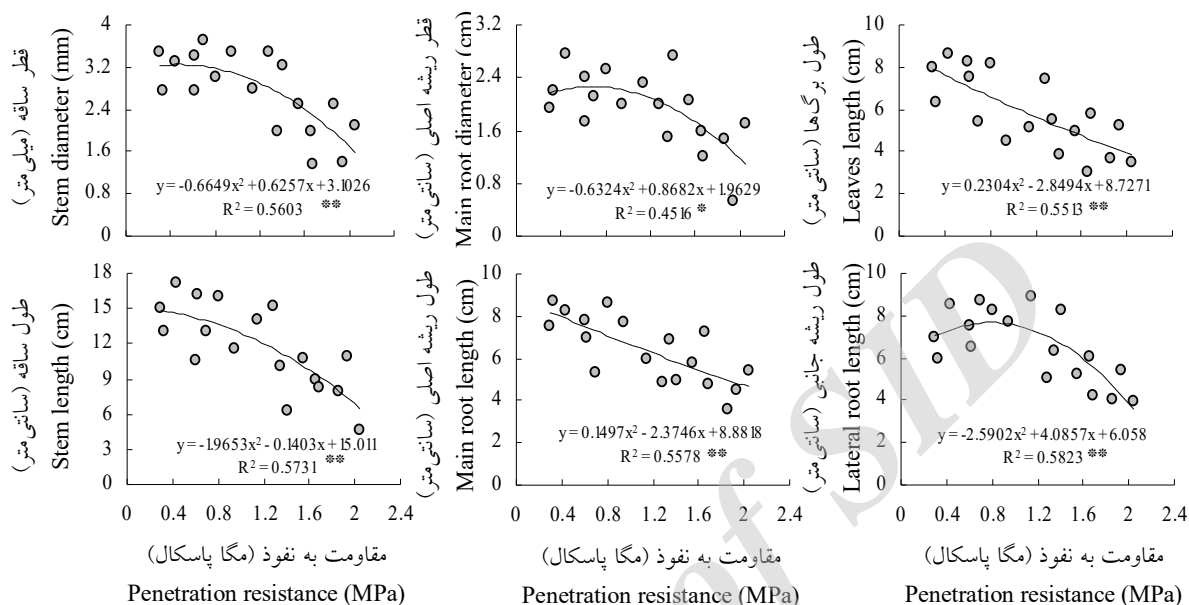
\* Different letters show significant difference at the probability level of

\* حروف لاتین متفاوت نشانگر معنی دار بودن اختلاف میانگین ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

95 percent.

رابطه مقاومت به نفوذ و خصوصیات مورفولوژی نهال  
 زرین  
 نتایج نشان داد تمامی روابط پاسخ‌های مورفولوژیکی  
 و افزایش مقاومت به نفوذ خاک به صورت تابع درجه

دوم کاهش یابنده است (شکل ۱)، یعنی با افزایش  
 شدت تراکم خاک، مقادیر شاخص‌های مورفولوژیک  
 نهال کاهش یافته است.



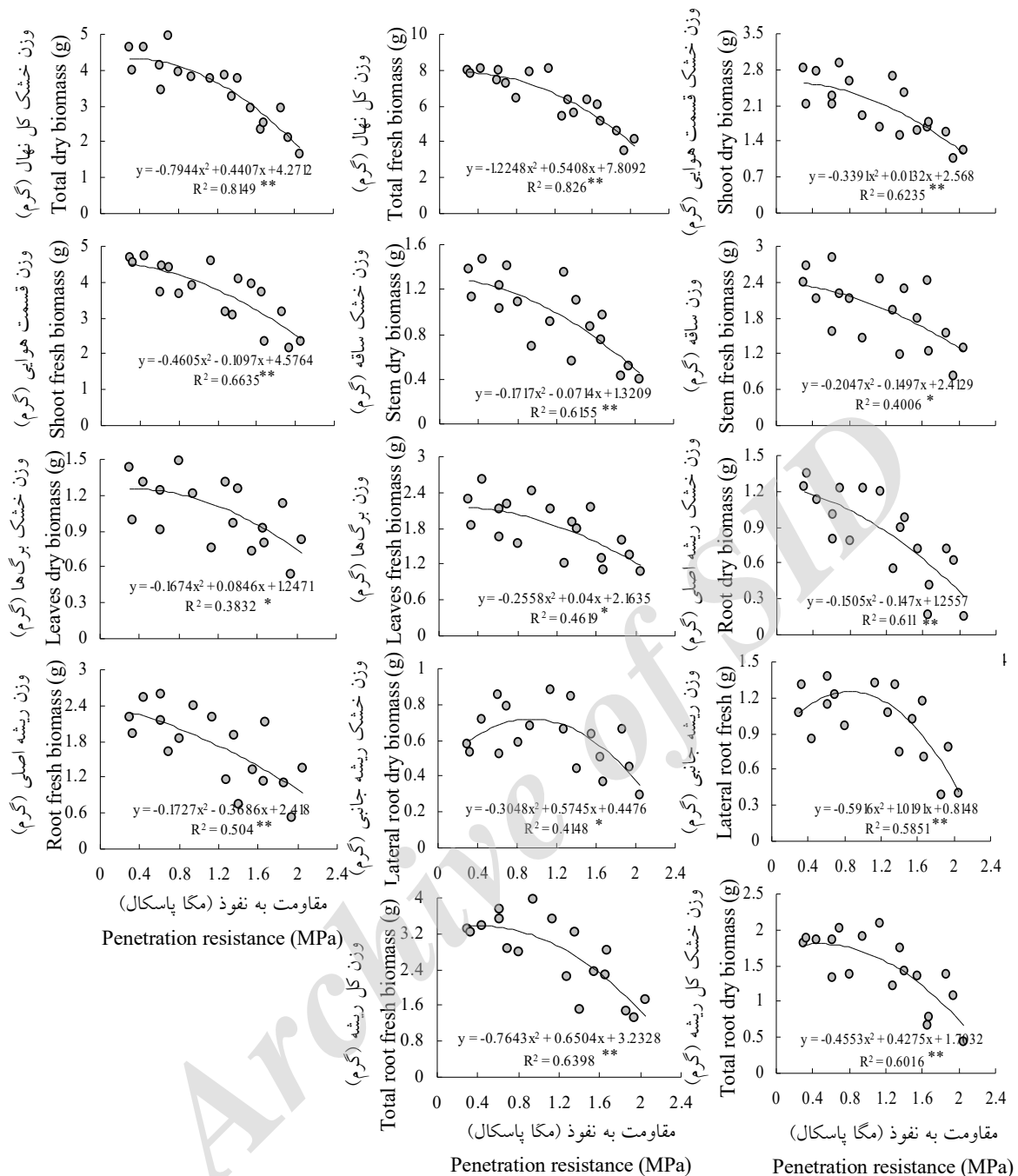
شکل ۱- ارتباط بین مقاومت به نفوذ و متغیرهای رشد ساقه در نهال زرین. برای هر نمودار، معنی‌داری ضریب تعیین رابطه رگرسیونی ارتباط بین مقاومت به نفوذ و متغیرها آورده شده است.

Figure 1. Relation between penetration resistance and stem growth variability in *Cupressus sempervirens*. For each graph, the regression equation between responses and SPR and the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) are given. (\*): P<0.05; (\*\*): P<0.01; (ns): not significant (P≥0.05)

کل زی‌توده خشک (از ۴/۴۲ گرم به ۲/۲۴ گرم)، ۴۵ درصد کاهش در میانگین زی‌توده اندام هوایی (از ۴/۶۵ گرم به ۲/۵۵ گرم)، ۵۰ درصد کاهش در میانگین زی‌توده خشک اندام هوایی (از ۲/۵۷ گرم به ۱/۲۸ گرم)، ۵۴ درصد کاهش در میانگین زی‌توده ریشه (از ۳/۳ گرم به ۱/۵۱ گرم)، ۴۸ درصد کاهش در میانگین زی‌توده خشک ریشه (از ۱/۸۵ گرم به ۰/۹۶ گرم) را نشان داده است.

رابطه مقاومت به نفوذ خاک و زی‌توده نهال  
 نتایج نشان داد که رابطه افزایش مقاومت به نفوذ خاک و خصوصیات زی‌توده نهال به صورت یک رابطه درجه دوم کاهنده است (شکل ۲) که در ابتدا مقدار آن زیاد و سپس کاهش می‌یابد.  
 مقایسه مقادیر شاخص‌های زی‌توده در تیمار شاهد (بدون کوبیدگی) نسبت به تیمار کوبیدگی شدید خاک، ۴۸ درصد کاهش در میانگین کل زی‌توده تر (از ۷/۹۵ گرم به ۴/۰۶ گرم)، ۴۹ درصد کاهش در میانگین





شکل ۲- ارتباط بین مقاومت به نفوذ و تخصیص زی توده در نهال زربین

برای هر نمودار، معنی داری ضریب تعیین رابطه رگرسیونی ارتباط بین مقاومت به نفوذ و متغیرها آورده شده است.

Figure 2. Relation between penetration resistance and biomass allocation variability in *Cupressus sempervirens*. For each graph, the regression equation between responses and SPR and the coefficient of determination ( $R^2$ ) are given. (\*):  $P < 0.05$ ; (\*\*):  $P < 0.01$ ; (ns): not significant ( $P \geq 0.05$ )

## رابطه مقاومت به نفوذ خاک و معماری نهال (نسبت‌های تخصیص)

نتایج نشان داد که بهترین رابطه برازش داده شده بین نسبت‌های طول ریشه به وزن ریشه، طول ساقه به وزن ساقه، طول ریشه جانبی به طول ریشه اصلی، وزن ریشه جانبی به وزن خشک ریشه، نرخ زی توده ریشه، وزن ریشه به وزن اندام‌های هوایی، نرخ زی توده برگ و نرخ زی توده ساقه به صورت دوجمله‌ای به دست آمد (شکل ۳). طول ریشه خاص با افزایش کوبیدگی خاک، ابتدا کاهش ناچیز نشان داد و با افزایش کوبیدگی خاک، این نسبت افزایش یافت. طول ساقه خاص با افزایش کوبیدگی خاک به صورت یک رابطه درجه دوم تغییر می‌کند، یعنی در ابتدا با افزایش کوبیدگی خاک، تغییرات زیادی نداشته و در ادامه روند افزایشی دارد. میانگین نسبت طول ریشه جانبی به اصلی با افزایش کوبیدگی خاک دارای دو روند است: ابتدا با افزایش کوبیدگی تا سطح سوم افزایش یافته و بعد از آن از سطح چهارم تا ششم کاهش می‌یابد. نمودار ارتباط بین مقاومت به نفوذ و نسبت ریشه جانبی به زی توده خشک ریشه نشان می‌دهد که با افزایش کوبیدگی خاک از تیمار شاهد به کوبیدگی شدید، این نسبت افزایش می‌یابد. افزایش این شاخص که به نوعی جزو عامل‌های معماری و ریخت‌شناسی ریشه است، نشان‌دهنده آن است که با افزایش تنش کوبیدگی خاک، ریشه‌های جانبی گسترش بیشتری نسبت به زی توده ریشه پیدا می‌کنند. ارتباط بین افزایش مقاومت به نفوذ خاک و نرخ زی توده ریشه نشان داد که با افزایش کوبیدگی خاک، ابتدا با افزایش کوبیدگی تا سطح سوم افزایش یافته و بعد از آن از سطح چهارم تا ششم کاهش می‌یابد. با افزایش مقاومت به نفوذ خاک، نرخ زی توده ساقه کاهش یافته و نرخ زی توده برگ افزایش می‌یابد. ارتباط بین

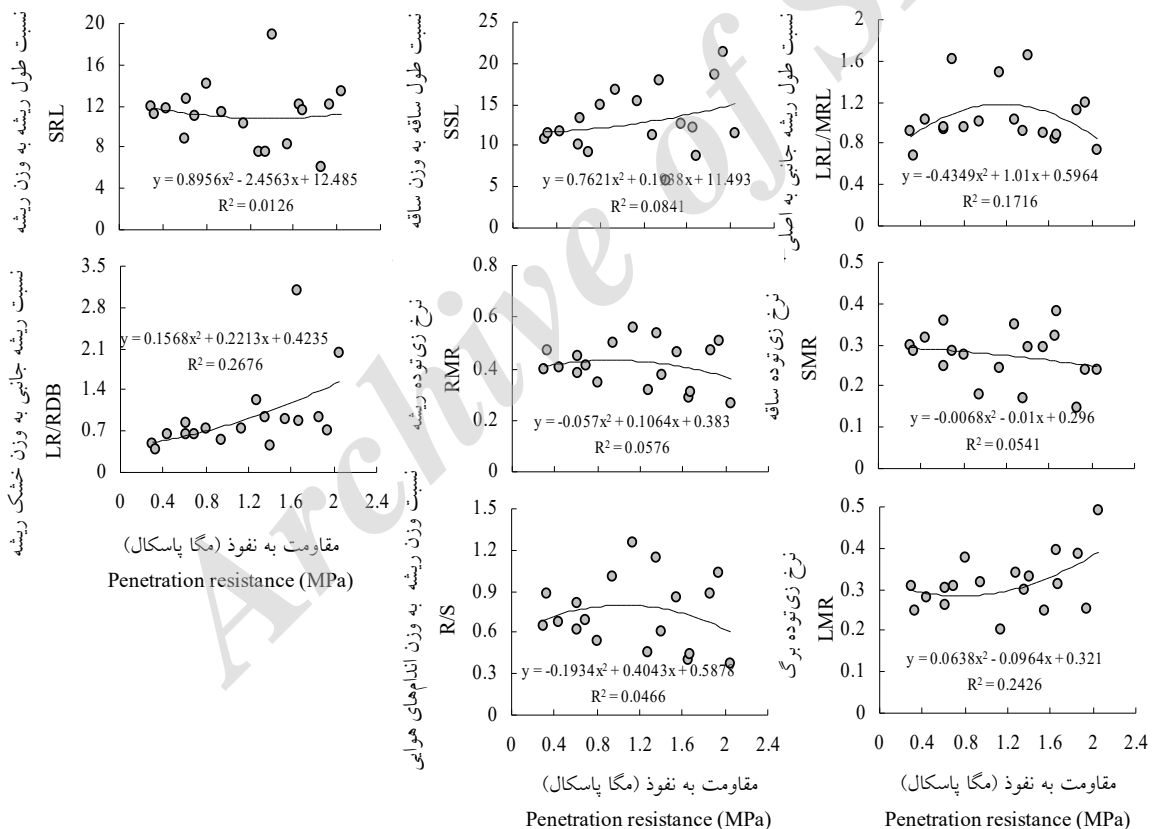
مقاومت به نفوذ و نسبت زی توده ریشه به اندام هوایی در گونه زربین نشان داد که با افزایش کوبیدگی این نسبت ابتدا تا سطح کوبیدگی متوسط افزایش یافته و با افزایش کوبیدگی خاک، به تدریج کاهش می‌یابد.

### بحث

در این پژوهش، تنش فشردگی خاک بر تعادل عملکردی، تخصیص زی توده، تغییرات مورفولوژی نهال و رشد و معماری آن، تحت شرایط آزمایشگاهی کنترل شده، با استفاده از سطوح متفاوت کوبیدگی خاک بررسی شده است. فرضیه مدنظر در این تحقیق، توسط داده‌های مورد بررسی تحقیق تأیید شد. تغییرات معماری نهال با افزایش مقاومت به نفوذ با توجه به مفهوم "تعادل عملکردی" در تخصیص زی توده گیاهان قابل تفسیر است (Brouwer, 1963; Iwasa and Roughgarden, 1984). به طور معمول، گیاهان از طریق کاهش سرعت رشد و تغییر تخصیص مواد، برای به حداقل رساندن محدودیت رشد ناشی از شرایط نامساعد واکنش نشان می‌دهند. اگر تخصیص مواد به نحوی تنظیم شود که کلیه منابع به یک اندازه رشد را محدود کنند، در آن صورت گیاه می‌تواند انرژی لازم برای رشد را به حداقل برساند (Bloom et al., 1985). ساختمان خاک از طرق مختلف مانند کاهش رشد برگ و تغییر ریخت‌شناسی ریشه، نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ریشه‌ها در خاک‌های نرم، صاف و استوانه‌ای هستند، در صورتی که در خاک‌های فشرده، کوتاه و گره‌گراند و گسترش آن‌ها در خاک کم است (Bengough and Mullins, 1990). هنگامی که نور به طور جدی رشد را محدود می‌کند، مواد بیشتری به برگ‌ها اختصاص می‌یابد و هنگامی که آب یا مواد غذایی محدودکننده رشد هستند (به دلیل فشردگی خاک)، مواد تخصیص یافته به ریشه‌ها بیشتر

هرگونه اثرهای مستقیم زیان بار ناشی از تغییرات محیطی، سرعت رشد را تغییر می دهد (Lambers et al., 1998). وجود ریشه های اصلی و جانبی کوتاه تر با زی توده کمتر در خاک با کوبیدگی شدید در این پژوهش، مطابق با یافته های قبلی است که بیان می دارد افزایش تراکم خاک سبب کاهش رشد ریشه می شود (Bassett et al., 2005; Bejarano et al., 2010). کاهش نفوذ ریشه، به نوبه خود، ممکن است منجر به محدودیت در دسترسی و جذب عناصر غذایی و آب شود (Blouin et al., 2008).

می شود (Brouwer, 1963). نتیجه چنین واکنش هایی که از طریق سازگاری و تطابق صورت می گیرد، برقراری تعادل عملی (مدل "تعادل عملکردی") بین فعالیت های ریشه و اندام های هوایی است و سبب می شود که منابع زیرزمینی جذب شده با منابع هوایی موجود در تعادل باشند و ممکن است افزایش جذب، مهم ترین عامل محدودکننده برای دستیابی به رشد متوازن را تضمین کند (Shipley and Meziane, 2002) که این همان تعادل عملکردی است. شرایط نامطلوب برای اندام های زیرزمینی، توازن بین ابسیسیک اسید، سیتوکینین و جیبرلین را به هم می زند و قبل از



شکل ۳- ارتباط بین مقاومت به نفوذ و متغیرهای معماری نهال (نسبت های تخصیص) در نهال زربین

Figure 3. Relation between penetration resistance and seedling architecture variability in *Cupressus sempervirens*

گیاهان اثر منفی دارد (Kormanek et al., 2015); بنابراین توضیح تأثیر کوبیدگی خاک بر کارایی گیاهان

کوبیدگی خاک منجر به افزایش وزن مخصوص ظاهری و کاهش خلل و فرج خاک می شود که بر رشد

نتایج به دست آمده و تأثیرات حاصل از آن بستگی زیادی به بافت خاک (Whalley *et al.*, 2008) و گونه‌های مورد بررسی دارد (Godefroid and Koedam, 2004; Alameda *et al.*, 2012). از سوی دیگر تأثیرات منفی کوبیدگی خاک بر رشد گیاهان، در نتیجه تغییر شرایط و مورفولوژی ریشه گیاهان است (Chassot and Richner, 2002; Alameda *et al.*, 2012). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کوبیدگی بالا منجر به کاهش کلیه شاخص‌های مرتبط با طول، قطر و وزن ریشه می‌شود؛ بنابراین اثرهای منفی کوبیدگی خاک منجر به ایجاد تغییرات در ریشه، قسمت‌های هوایی و معماری ریشه می‌شود (Holste *et al.*, 2006) که منجر به کاهش رشد ریشه‌ها و محدود شدن نفوذ ریشه‌ها به اعماق زیاد می‌شود. کاهش تعداد ریشه‌ها در اثر افزایش کوبیدگی نیز توسط (Watson and Kelsey, 2006) گزارش شد که دلیل آن کاهش نرخ انتشار اکسیژن در بهار در نتیجه کوبیدگی لایه‌های بالایی خاک به دلیل عبور ماشین‌آلات است (Kormanek *et al.*, 2015). کوبیدگی خاک بر ریشه نهال زربین نیز تأثیر داشته و منجر به کاهش طول و قطر ریشه شده که مشابه یافته‌های دیگر پژوهشگران (Mosen and Dillenburg, 2004; Bejarano *et al.*, 2010; Kormanek *et al.*, 2015) است. دلیل آن را می‌توان به دلیل تغییر در رشد سلول‌های ریشه در اثر کوبیدگی خاک بیان کرد که منجر به کاهش رشد ریشه‌ها می‌شود (Dexter, 1987; Alameda and Villar, 2012). کوبیدگی خاک، با در نظر گرفتن کل سیستم ریشه‌ای، رشد و گسترش ریشه‌های جانبی را نیز کاهش می‌دهد. رشد گیاهانی که در خاک‌های فشرده صورت می‌گیرد در تلاش برای غلبه بر کاهش طول ریشه می‌باشند، بنابراین برای به دست آوردن منابع موجود در سطح خاک، گیاهان

و عملکرد اکوسیستم با توجه به زمان و مکان دشوار خواهد بود (Alameda *et al.*, 2012, Jourgholami *et al.*, 2014). رویارویی گیاهان با لایه‌های فشرده خاک و دارای مقاومت مکانیکی بالا، رشد گیاهان را دچار محدودیت و توقف می‌کند (Sardabi, 2003). در صورتی که اگر مقاومت به نفوذ خاک به مقدار ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلوپاسکال افزایش یابد، رشد طولی ریشه به مقدار ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و هنگامی که مقدار مقاومت از ۴۰۰۰ کیلو پاسکال تجاوز کند، رشد طولی به طور کامل متوقف می‌شود (Kirkegaard, 1990). تنش مکانیکی تأثیر اندک ولی معنی‌داری بر اندازه (مورفولوژی نهال)، رشد نهال (زی توده)، معماری نهال و نرخ رشد نسبی بر اساس زی توده و ساقه دارد و مقدار آن‌ها را نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌دهد که مطابق با پژوهش‌های دیگر پژوهشگران است (Bloom *et al.*, 1985; Lambers *et al.*, 1998; Alameda *et al.*, 2012). در این آزمایش، تیمار کوبیدگی خاک اثر معنی‌دار منفی بر صفات کمی نهال-ها داشته است. گرچه بسیاری از بررسی‌ها نشان داده است که کوبیدگی خاک در حد متوسط موجب افزایش رشد گیاهان می‌شود (Voorhess, 1987; Alameda and Villar, 2009; Bejarano *et al.*, 2010)، اما تصور عمومی بر این اساس است که با افزایش مقاومت مکانیکی خاک ناشی از کوبیدگی لایه‌های آن، عمق و تراکم ریشه دوانی کاهش پیدا می‌کند (Trowse, 1966; Sheesley *et al.*, 1974; Kozlowski, 1999). یکی از دلایل تأثیر مثبت کوبیدگی در نتیجه ارتباط مناسب ریشه و خاک است که به جذب مواد مغذی کمک می‌کند (Arvidsson and Jokela, 1995; Alameda *et al.*, 2012). افزایش مقدار مواد غذایی در ارتباط با افزایش وزن مخصوص ظاهری است (Alameda *et al.*, 2012). با این حال

Gomez *et al.*, 2002; Perez-) خشک‌سالی شود (Ramos *et al.*, 2010).

پژوهش حاضر نشان داد که رشد نهال زربین به کوبیدگی خاک پاسخ می‌دهد. کوبیدگی خاک مورفولوژی (قطر و طول ساقه، قطر و طول ریشه اصلی، طول برگ و طول ریشه جانبی)، رشد نهال (زی توده) و معماری این گونه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مورفولوژی ریشه منجر به ایجاد تغییر در فیزیولوژی گیاه می‌شود. آشفستگی‌ها در جنگل منجر به افزایش نور دسترسی و همچنین کوبیدگی خاک می‌شود، بنابراین پژوهش‌های بیشتری برای تعیین تأثیر هر یک از عوامل و بررسی تأثیر متقابل آن‌ها مورد نیاز است. نتایج این تحقیق به وضوح نشان می‌دهد که در خاک‌های با بافت لومی با شرایط بهینه آب و خاک و مقاومت به نفوذ تا حداکثر ۲ مگاپاسکال، افزایش کوبیدگی خاک سبب تغییرات مورفولوژیکی بخش‌های اندام هوایی و زیرزمینی نهال‌های زربین می‌شود. از نتایج این تحقیق می‌توان برای بازسازی زیست‌بوم‌های مخروطیه و دچار کوبیدگی و به هم خوردگی خاک استفاده کرد.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله، حاصل قسمتی از نتایج طرح پژوهشی به شماره ۹۳۰۱۴۷۲۶ است که با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اجرا شده است. بدین وسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌کنند.

#### References

- Akhavan, S., M. Shabanpour & M. Esfahani, 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat, *Journal of Water and Soil (Agriculture sciences and technology)*, 26(3): 727-735. (In Persian)
- Alameda, D. & R. Villar, 2009. Moderate soil compaction: implications on growth and

تعداد ریشه‌های جانبی و طول ریشه‌های جانبی را افزایش می‌دهند، با این وصف همچنان کمتر از خاک‌های غیرفشرده است (Tracy *et al.*, 2012). از سوی دیگر کوبیدگی خاک تأثیر بسزایی در جذب مواد غذایی و رشد ریشه دارد که بر رشد اندام‌های هوایی مانند برگ‌ها و ساقه نیز تأثیرگذار است (Alameda *et al.*, 2012). ارتباط منفی بین افزایش تراکم خاک در اثر کوبیدگی و طول ساقه وجود دارد که مطابق با یافته‌های Cubera و همکاران (2009) است. به عبارت دیگر کاهش رشد ریشه منجر به کاهش جذب مواد غذایی شده و در نتیجه رشد برگ‌ها را نیز کاهش می‌دهد و ارتفاع گیاه نیز روند کاهشی دارد (Wahl and Ryser, 2000; Hummel *et al.*, 2007). به طور کلی کوبیدگی خاک یک عامل استرس است که می‌تواند از طریق کاهش تخصیص زی توده ریشه به طور معکوس بر توسعه اولیه نهال تأثیر قابل توجهی داشته باشد. ریشه‌های اصلی و جانبی کوتاه‌تر با زی توده کمتر در خاک با کوبیدگی شدید در این پژوهش مطابق با یافته‌های قبلی است که بیان می‌دارد افزایش تراکم خاک سبب کاهش رشد ریشه می‌شود (Bejarano *et al.*, 2010). کاهش نفوذ ریشه، به نوبه خود، ممکن است در دسترسی محدود به مواد مغذی و آب و جذب آن‌ها منجر شود (Blouin *et al.*, 2008) که منجر به افزایش کسری آب برگ، کاهش در سرعت فتوسنتز، کاهش اندازه و رشد ساقه و تمام نهال‌ها و حتی محدودیت بقای نهال در شرایط

architecture in seedlings of 17 woody plant species, *Soil & Tillage Research*, 103(2): 325-331.

- Alameda, D. & R. Villar, 2012. Linking root traits to plant physiology and growth in *Fraxinus angustifolia* Vahl. Seedlings under soil compaction conditions, *Environmental and Experimental Botany*, 79: 49-57.

- Alameda, D., N. P. R. Anten & R. Villar, 2012. Soil compaction effects on growth and root traits of tobacco depend on light, water regime and mechanical stress, *Soil and Tillage Research*, 120: 121-129.
- Ampoorter, E., R. Goris, W. M. Cornelis & K. Verheyen, 2007. Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils, *Forest Ecology and Management*, 241(1): 162-174.
- Arvidsson, J. & W. E. Jokela, 1995. A lysimeter study of soil compaction effects on evapotranspiration in a barley crop, *Swedish Journal of Agricultural Research*, 25: 109-118.
- Ballard, T. M., 2000. Impacts of forest management on northern forest soils, *Forest Ecology and Management*, 133(1): 37-42.
- Bassett, I. E., R. C. Simcock & M. D. Mitchell, 2005. Consequences of soil compaction for seedling establishment: implications for natural regeneration and restoration, *Australian Ecology*, 30(8): 827-833.
- Bejarano, M. D., R. Villar, A. M. Murillo & J. L. Quero, 2010. Effects of soil compaction and light on growth of *Quercus pyrenaica* Willd. (Fagaceae) seedlings, *Soil and Tillage Research*, 110(1): 108-114.
- Bengough, A. G. & C. E. Mullins, 1990. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses, *European Journal of Soil Science*, 41(3): 341-358.
- Bloom, A. J., F. S. Chapin & H. A. Mooney, 1985. Resource limitation in plants-an economic analogy, *Annual review of Ecology and Systematics*, 16(1): 363-392.
- Blouin, V. M., M. G. Schmidt, C. E. Bulmer & M. Krzic, 2008. Effects of compaction and water content on lodgepole pine seedling growth, *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2444-2452.
- Brouwer, R., 1963. Some aspects of the equilibrium between overground and underground plant parts, *Jaarboek van het Instituut voor Biologisch en Scheikundig onderzoek aan Landbouwgewassen*, 1: 31-39.
- Chassot, A. & W. Richner, 2002. Root characteristics and phosphorus uptake of maize seedlings in a bilayered soil, *Agronomy Journal*, 94(1): 118-127.
- Cubera, E., G. Moreno & A. Solla, 2009. *Quercus ilex* root growth in response to heterogeneous conditions of soil bulk density and soil NH<sub>4</sub>-N content, *Soil and Tillage Research*, 103(1): 16-22.
- Dexter, A. R., 1987. Mechanics of root growth, *Plant and Soil*, 98(3): 303-312.
- Ghorbanian, M., M. Liaghat & H. Nouri, 2014. Effect of soil texture and bulk density on evapotranspiration and crop coefficient of forage Maize, *Journal of Research in Agriculture*, 28.2(2): 453-463. (In Persian)
- Godefroid, S. & N. Koedam, 2004. Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species, *Biological Conservation*, 119(2): 207-217.
- Gomez, A., R. F. Powers, M. J. Singer & W. R. Horwath, 2002. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada, *Soil Science Society of America Journal*, 66(4): 1334-1343.
- Grzesiak, M. T., 2009. Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings, *Plant Root*, 3: 10-16.
- Holste, E. K., M. J. Jerke & S. L. Matzner, 2006. Long-term acclimatization of hydraulic properties, xylem conduit size, wall strength and cavitation resistance in *Phaseolus vulgaris* in response to different environmental effects, *Plant, Cell & Environment*, 29(5): 836-843.
- Hummel, I., D. Vile, C. Violle, D. Devaux, B. Ricci, A. Blanchard, E. Garnier & C. Roumet, 2007. Relating root structure and anatomy to whole-plant functioning in 14 herbaceous Mediterranean species, *New Phytologist*, 173(2): 313-321.
- Iwasa, Y. & J. Roughgarden, 1984. Shoot/root balance of plants: optimal growth of a system with many vegetative organs, *Theoretical Population Biology*, 25(1): 78-105.
- Jourgholami, M. & B. Majnounian, 2013. Effect of Soil Moisture and Number of Skidder Passes on Rutting in Skid Trails (Case Study: Kheyroud Forest), *Journal of Forest and Wood Products*, 65(4): 421-430. (In Persian)
- Jourgholami, M., S. Soltanpour, M. Etehadi Abari & E. K. Zenner, 2014. Influence of slope on physical soil disturbance due to farm tractor forwarding in a Hyrcanian forest of northern Iran. *iForest*, 7: 342-348.
- Kirkegaard, J. A., 1990. The effect of compaction on the growth of *Pigeon pea* on

- clay soils. PhD thesis. University of Queensland, 289 pp.
- Kozłowski, T. T., 1999. Soil compaction and growth of woody plants, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14(6): 596-619.
  - Kormanek, M., J. Banach & P. Sowa, 2015. Effect of soil bulk density on forest tree seedlings, *International Agrophysics*, 29(1): 67-74.
  - Lambers, H., F. S. Chapin & T. L. Pons, 1998. Plant physiological ecology, Springer-Verlag Press, Berlin, 540 p.
  - Majnounian, B. & M. Jourgholami, 2013. Effects of rubber-tired cable skidder on soil compaction in Hyrcanian Forest, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(1): 123-135.
  - Miller, D. & H. Anderson, 2002. Soil compaction: concerns, claims, and evidence. In: Proc. Small Diameter Timber: Resource Management, Manufacturing, and Markets. Spokane, Washington, USA. pp. 97-106.
  - Miller, R. E., W. Scott & J. W. Hazard, 1996. Soil compaction and conifer growth after tractor yarding at three coastal Washington locations, *Canadian Journal of Forest Research*, 26(2): 225-236.
  - Miransari, M., H. A. Bahrami, F. Rejali & M. J. Malakouti, 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake, *Soil and Tillage Research*, 103(2): 282-290. (In Persian)
  - Misra, R. K. & A. K. Gibbons, 1996. Growth and morphology of eucalypt seedling roots, in relation to soil strength arising from compaction, *Plant and Soil*, 182(1): 1-11.
  - Mósená, M. & L. R. Dillenburg, 2004. Early growth of Brazilian Pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] Kuntze) in response to soil compaction and drought, *Plant and Soil*, 258(1): 293-306.
  - Perez-Ramos, I. M., L. Gomez-Aparicio, R. Villar, L. V. García & T. Zaranón, 2010. Seedling growth and morphology of three oak species along field resource gradients and seed mass variation: a seedling age-dependent response, *Journal of Vegetation Science*, 21(3): 419-437.
  - Sack, L., 2004. Responses of temperate woody seedlings to shade and drought: do trade-offs limit potential niche differentiation? *Oikos*, 107(1): 110-127.
  - Sagheb-Talebi, K., T. Sajedi & M. Pourhashemi, 2014. Forests of Iran: a treasure from the past, a hope for the future. Springer Press, 152 p.
  - Sardabi, H., 2003. Effects of soil compaction and water stress on growth and root development of *Olea europaea* L. at glasshouse, *Iranian Journal of Forest and Poplar*, 12(3): 413-426. (In Persian)
  - Shahraini, A., M. Shabanpour & S. Saadat, 2001. Effect of salinity and soil compaction on an absorption of nitrogen, phosphorus, and potassium of wheat, *Iranian Journal of Soil Research*, 12(3): 413-426. (In Persian)
  - Sheesley, R., D. Grimes, W. McClellan, C. Summers & V. Marble, 1974. Influence of wheel traffic on yield and stand longevity of alfalfa, *Californian Agriculture*, 28(10): 6-8.
  - Shipley, B. & D. Meziane, 2002. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation, *Functional Ecology*, 16(3): 326-331.
  - Teepe, R., R. Brumme, F. Beese & B. Ludig, 2004. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils, *Soil Science Society of America Journal*, 68(2): 605-611.
  - Tracy, S. R., C. R. Black, J. A. Roberts, C. Sturrock, S. Mairhofer, J. Craigon & S. J. Mooney, 2012. Quantifying the impact of soil compaction on root system architecture in tomato (*Solanum lycopersicum*) by X-ray micro-computed tomography, *Annals of Botany*, 110(2): 511-519.
  - Trowse, A. C., 1966. Alteration of the infiltration permeability capacity of tropical soils by vehicular traffic. In: proceedings of first Pan-American Soil Conservation Congress, Sao Paulo, Brazil. pp. 1103-1109.
  - Voorhess, W. B., 1987. Assessment of soil susceptibility to compaction using soil and climatic data bases, *Soil and Tillage Research*, 10(1): 29-38.
  - Wahl, S. & P. Ryser, 2000. Root tissue structure is linked to ecological strategies of grasses, *New Phytologist*, 148(3): 459-471.
  - Watson, G. W. & P. Kelsey, 2006. The impact of soil compaction on soil aeration and fine root density of *Quercus palustris*, *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(2): 69-74.
  - Whalley, W. R., C. W. Watts, A. S. Gregory, S. J. Mooney, L. J. Clark & A. P. Whitmore, 2008. The effect of soil strength on the yield of wheat, *Plant and Soil*, 306(1-2): 237-247.

## Effect of soil compaction on functional equilibrium and biomass allocation of *Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis*

M. Jourgholami<sup>\*1</sup>, A. Deljouei<sup>2</sup>, E. S. Hosseini Ala<sup>3</sup> and Gh. Zahedi-Amiri<sup>4</sup>

1- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

2- Ph.D. student of Forest Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

3- M.Sc. of Forest Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

4- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

Received: 16.04.2017

Accepted: 10.07.2017

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of soil compaction on functional equilibrium and biomass allocation, root growth and morphological characteristics of Cypress seedlings. As a result, seeds with the highest morphological features were collected and planted in plastic pots in loam or clay loams soils with constant moisture regime. They were studied in six levels soil compaction tension. The morphological parameters of the seedlings, plant growth and seedling architecture were calculated. In all cases, the mean of Cypress seedlings morphological response were significantly decreased when compaction level increasing. The relation of morphological response and increase soil penetration resistance were negative quadratic. Also, the relation between soil penetration resistance and seedling growth parameters were negative quadratic which is high at the beginning and then its value was decreased. The best regression equation distributed between ratio of root length and root weight (0.0126), stem length and stem weight (0.0841), length of lateral root and length of main root (0.1716), weight of lateral root and dry weight of root (0.2676), rate of root biomass (0.0576), weight of root and weight of shoots (0.0466), rate of leaves biomass (0.2426) and rate of stem biomass (0.0541) were obtained quadratic. The results showed that soil compaction tension affect the functional equilibrium and morphological characteristics of seedlings, seedling growth and Cypress architecture.

**Keywords:** *Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis*, Penetration resistance, Seedling architecture, Seedling morphology.

---

\* Corresponding author:

Email: mjgholami@ut.ac.ir