فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۴ شماره ۲، صفحه ۳۷۸-۳۶۶، (۱۳۹۵)

ارزیابی توان رویش ارتفاعی توده‌های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Marsh.) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته (مطالعه موردی: صنوبرکاری‌های سنواتی منطقه گیسوم و هفت‌دغنان)

سمیه سلگی[1*]، علی صالحی[2]، سیدجلیل علوی[3]، حسن پورربابائی[4] و محمود شعبانپور[5]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. پست الکترونیک: ssolgi22@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۳- استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۴- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۵- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۰۷

چکیده

توان تولید یکی از شاخص‌های کلیدی خدمات اکوسیستم جنگل است و معیاری مهم برای پیش‌بینی میزان تولید، بهره‌برداری مجاز سالانه و همچنین میزان رویش رویشگاه است. در پژوهش پیش‌رو از معیار ارتفاع غالب که معیار مطمئنی برای ارزیابی کیفیت توده است، استفاده شد. برای این منظور در توده‌های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Marsh.) به روش انتخابی ۵۲ قطعه‌نمونه مربعی به مساحت ۴۰۰ متر مربع پیاده شد و در هریک ارتفاع و قطر درختان صنوبر و ارتفاع از سطح دریا ثبت شد. همچنین از عمق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری، نمونه خاک برداشت شد و متغیرهای مورد نظر اندازه‌گیری شدند. ارزیابی توان تولید توده‌های صنوبر با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته و معیار اطلاعاتی آکائیک در بسته GRASP در نرم‌افزار آماری R نشان داد که ارتفاع از سطح دریا و متغیرهای فسفر، درصد رطوبت اشباع، کربن آلی، درصد سنگریزه و نیتروژن در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و همچنین کلسیم، جرم مخصوص ظاهری خاک و pH در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری، بیشتر از ۹۰ درصد تغییرات توان تولید را توجیه می‌کنند. به‌کارگیری معیار اهمیت نسبی نشان داد که ارتفاع از سطح دریا، فسفر در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری، به‌طور انفرادی و ارتفاع از سطح دریا، کربن آلی در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری، در ترکیب با بقیه متغیرها مهم‌ترین عامل‌ها در تغییرات توان تولید توده صنوبر بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع غالب، اهمیت نسبی، توان تولید توده، خصوصیات خاک، مدل جمعی تعمیم‌یافته.

مقدمه

مدیریت منابع جنگلی نیازمند برآورد دقیق و مطمئنی از توان تولیدی رویشگاه است و بررسی رابطه بین توان تولیدی رویشگاه و متغیرهای محیطی یکی از موضوعات مهم در مدیریت جنگل است (Herrera *et al*., 1999). توان تولید، برآیند ویژگی‌های محیطی رویشگاه است. با تغییر در این ویژگی‌ها، پتانسیل رویشگاه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Hossini *et al*., 2000). روش‌های بسیاری برای برآورد توان تولید رویشگاه وجود دارد که می‌توان به مشخصه‌های اندازه‌ای درختان (Vanclay & Henry, 1988)، عامل‌های محیطی (Vanclay & Henry, 1988)، گیاهان شاخص (Schafer, 1989)، شاخص‌های تنوع زیستی، بررسی خاک،

وضعیت ظاهری توده و شاخص رویشگاه اشاره کرد (Hossini *et al*., 2000; Herrera *et al*., 1999).

ارتفاع غالب یک شاخص مفید اندازه‌گیری توان توده در جنگل‌های همسال است (Herrera *et al*., 1999). براساس این شاخص برای درختانی با سن‌های مشابه، هرچه ارتفاع بیشتر باشد، توان تولید رویشگاه نیز بیشتر می‌شود (Huang & Titus, 1993). تفاوت در ارتفاع در یک توده با سن معین با متغیرهای حاصلخیزی خاک مرتبط است و با توجه به رابطه نزدیک ارتفاع با حجم، به‌عنوان یک شاخص خوب برای ارزیابی توان درنظر گرفته شده است (Carmean, 1975; HaÈgglund, 1981). Herrera و همکاران (۱۹۹۹) بیان می‌کنند که یک خصوصیت مهم ارتفاع غالب، تغییر به‌نسبت کم آن در داخل قطعات نمونه و تغییرات زیاد آن بین قطعات نمونه است که در مطالعات شاخص رویشگاه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. این خصوصیت همان چیزی است که برای تعیین توان توده مورد انتظار است. متغیرهای خاک می‌توانند به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های خوب برای کیفیت رویشگاه به‌کار گرفته شوند. این موضوع را Bergès و همکاران (۲۰۰۵) تأیید کردند که این متغیرها می‌توانند به‌عنوان جایگزین‌های خوب برای متغیرهای مشکل‌تر، گران‌تر یا جامع محیطی به‌کار گرفته شوند.

در ارزیابی توان تولید رویشگاه در گذشته، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (Generalized linear model) به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Aertsen *et al*., 2010). مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته (Generalized additive model) نسبت به مدل‌های خطی تعمیم‌یافته از چند نظر برتری دارند و هدف از کاربرد این مدل‌ها به حداکثر رساندن کیفیت پیش‌بینی متغیر وابسته، کشف روابط غیرخطی و غیریکنواخت بین متغیر وابسته و مجموعه متغیرهای تبیینی است (Hastie & Tibshirani, 1990). Bravo-Oviedo و Montero (۲۰۰۵) در بررسی رابطه شاخص رویشگاه و متغیرهای خاکی برای *Pinus pinea* به این نتیجه رسیدند که متغیرهای سیلت، رس و ظرفیت نگهداری آب عامل‌های مهم و تأثیرگذار بر شاخص رویشگاه هستند. Aertsen و همکاران (۲۰۱۰) روش‌های مختلف مدل‌سازی را برای پیش‌بینی شاخص رویشگاه در جنگل‌های کوهستانی مدیترانه‌ای در جنوب ترکیه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل جمعی تعمیم‌یافته بهترین مدل برای گونه‌های مورد مطالعه است. Bravo و همکاران (۲۰۱۱) رابطه متغیرهای اقلیمی و توان تولیدی رویشگاه *P. pinea* را ارزیابی کردند و شیب را به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر کیفیت رویشگاه معرفی کردند. در ایران در رابطه با بررسی کیفیت رویشگاه می‌توان به مطالعه انجام‌شده توسط مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع وقت (Anonymous, 1990) درمورد تعیین میزان مرغوبیت رویشگاه‌های راش در جنگل‌های اسالم با استفاده از شاخص رویشگاه و رابطه ارتفاع درختان غالب راش و سن و با بهره‌گیری از مدل Prodan اشاره کرد.

صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Marsh.) به‌طور وسیعی در مناطق مختلف استان‌های شمالی کشور و به‌خصوص مناطق جلگه‌ای گیلان کشت شده است. این گونه در دامنه وسیعی از شرایط خاکی رشد خوبی داشته است، اما در مناطق مختلف تمایزات اکولوژیکی متفاوتی را از خود بروز می‌دهد (Sayad & Hossini, 2006) که منجر به تولید متفاوت در مناطق مختلف می‌شود. براساس مشاهدات صحرایی و گزارشات Salehi و همکاران (۲۰۱۲)، گوناگونی در میزان رشد قطری و ارتفاعی در یک گونه و یک کلن یکسان که حتی با فواصل یکسان از هم کشت شده‌اند، در مناطق مختلف قابل تشخیص بوده است. به‌نظر می‌رسد که این اختلاف ناشی از توان تولید متفاوت در این مناطق باشد که باید مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار گیرد تا برای مناطق با الگوهای تولیدی متفاوت ارایه شود. با توجه به این‌که توان تولید، یک شاخص کلیدی از خدمات اکوسیستم جنگل مانند تولید چوب و ترسیب کربن است و یک معیار مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌ها است (Aertsen *et al*., 2012)، پژوهش پیش‌رو قصد دارد که توان تولیدی توده‌های صنوبر دلتوئیدس را در رابطه با مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از مدل

جمعی تعمیم‌یافته در صنوبرکاری‌های منطقه گیسوم و هفت‌دغنان در استان گیلان مورد ارزیابی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در صنوبرکاری‌های منطقه گیسوم و هفت دغنان که با فاصله کاشت ۴×۳ متر در سال ۱۳۶۴ کاشته شده است، انجام شد. منطقه گیسوم ۲۸۵۱ هکتار وسعت دارد که با اهداف پرورش و زراعت چوب در دوران شکل‌گیری صنعت چوب و کاغذ گیلان با قطع و تبدیل یکسره توسط مدیریت بخش جنگل، تبدیل به جنگل‌های دست‌کاشت قابل بهره‌برداری امروزی شده است. طول جغرافیایی منطقه بین □۱۰'۰۰ °۴۵ تا □۴۹'۰۰ °۴۵ و عرض جغرافیایی آن بین '۳۷ °۳۷ تا '۳۷ °۳۹ است. ارتفاع منطقه از ۲۴- متر در کنار سواحل دریای خزر شروع و به ۶۵+ متر از سطح دریای آزاد ختم می‌شود. متوسط میزان بارندگی این ناحیه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی پیلمبرا ۱۳۶۵/۸ میلی‌متر در سال است. متوسط درجه‌حرارت سالانه ۱۹/۷ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت سالانه ۱۱/۱ درجه سانتی‌گراد است. منطقه هفت‌دغنان نیز با مساحت ۲۰۷۰ هکتار از باقی‌مانده جنگل‌های طبیعی جلگه‌ای گذشته محسوب می‌شود که با اهداف پرورش و زراعت چوب در دوران شکل‌گیری شرکت سهامی جنگل شفارود با قطع و تبدیل یکسره تبدیل به جنگل‌های دست‌کاشت امروزی شده است. این محدوده دارای طول جغرافیایی □۱۰'۴۵ °۴۹ تا □۱۱'۴۸ °۴۹ و عرض جغرافیایی □۲۰'۵۱ °۳۷ تا □۲۷'۵۲ °۳۷ است. ارتفاع آن نیز از ۱۷- متر در کنار سواحل دریای خزر شروع و به ۵۰+ متر از سطح دریای آزاد ختم می‌شود. متوسط میزان بارندگی این ناحیه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی پیلمبرا ۱۳۵۴/۸ میلی‌متر در سال است. متوسط حداقل و حداکثر درجه‌حرارت سالانه به‌ترتیب ۱۰/۱ و ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد است (Zojaji Tehrani, 2010).

روش پژوهش

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز با توجه به دارا بودن خصوصیات مورد نظر برای این پژوهش، پارسل‌ها انتخاب شدند. اولین مشخصه در اندازه‌گیری ارتفاع غالب به‌منظور برآورد توان تولید توده، وجود توده همسال و خالص است. این خصوصیات باعث دسترسی آسان‌تر به ارتفاع غالب می‌شود (Skovsgaard & Vanclay, 2008). در پژوهش پیش‌رو به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات با توجه به هدف مطالعه، قطعات نمونه مورد نظر به روش انتخابی (Juan Gabriel & Daría, 2005) تعیین شد. در مرحله بعد قطعات نمونه با ابعاد ۲۰×۲۰ متر در هر پارسل برداشت شدند (پارسل‌های ۲۱۲ با مساحت ۲/۵ هکتار، ۲۱۳ با مساحت ۱۲ هکتار ، ۲۱۴ با مساحت ۶۰۰۰ متر مربع و ۲۱۶ با مساحت ۲/۵ هکتار در منطقه گیسوم و پارسل‌های ۱-۶ با مساحت ۱۰ هکتار، ۲-۶ با مساحت ۱۲ هکتار و ۱-۷ با مساحت ۲/۵ هکتار در منطقه هفت‌دغنان). در داخل هر قطعه‌نمونه مشخصه‌هایی مانند ارتفاع از سطح دریا با استفاده از GPS، ارتفاع کل تمام درختان صنوبر و همچنین نمونه‌برداری خاک از دو عمق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری انجام شد. برای نیل به این هدف پنج نمونه خاک از پنج نقطه در داخل هر قطعه‌نمونه (چهار گوشه و مرکز) برداشت شد و یک نمونه مرکب که معرف نمونه خاک هر قطعه‌نمونه بود، به‌دست آمد و درمجموع ۱۰۴ نمونه خاک تهیه شد. در بررسی ویژگی‌های خاک، بافت خاک به روش هیدرومتری بایکاس و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش فیلم فتومتری اندازه‌گیری شد. در این روش برای اشباع کردن کمپلکس تبادلی خاک با کاتیون سدیم، از استات سدیم نرمال با pH =۸/۲ استفاده شد. سپس از الکل اتیلیک ۹۶ درصد برای شستشوی املاح اضافی محلول خاک استفاده شد و بعد از آن برای جایگزینی آمونیوم به جای سدیم بر سطح کلوئید، از محلول استات آمونیوم استفاده شد. سدیم محلول جمع‌آوری شد و با اندازه‌گیری به‌وسیله فیلم فتومتر، میزان CEC محاسبه شد (Page, 1982). جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتری، جرم مخصوص ظاهری به

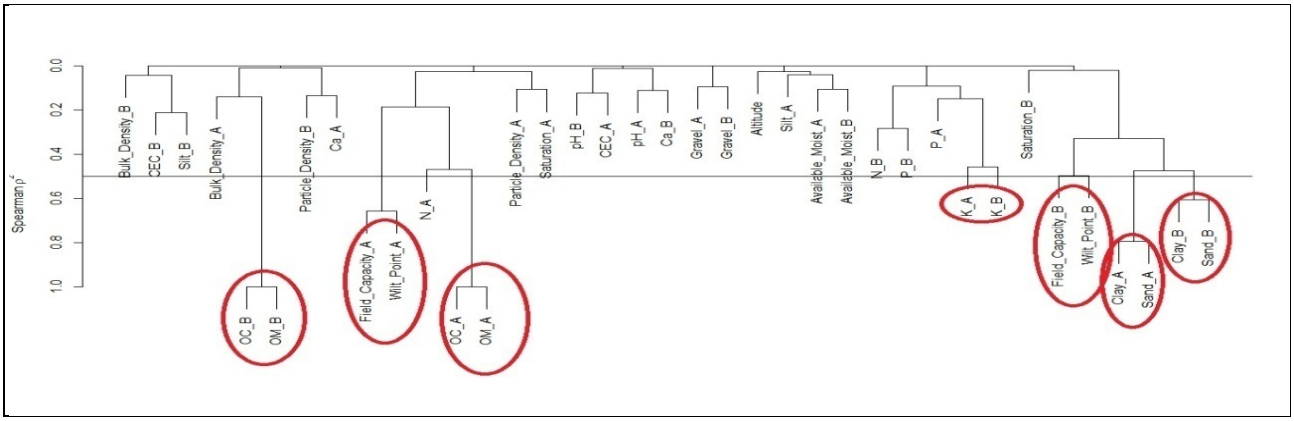
روش کلوخه، درصد سنگریزه، درصد رطوبت اشباع به روش استاندارد (وزنی) و برحسب درصد، رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی و رطوبت قابل استفاده به روش صفحه فشاری، pH خاک با دستگاه pH متر الکتریکی، کربن آلی با استفاده از روش والکی- بلاک، ازت کل به روش کجدال، فسفر قابل جذب به روش السون، پتاسیم قابل تبادل به روش فیلم فتومتری و کلسیم محلول به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (Jafari Haghighi, 2010). همان‌طورکه اشاره شد، معیار ارزیابی توان تولید در این مطالعه، ارتفاع غالب بود. از آن‌جایی‌که برآورد این معیار مبتنی بر مدل‌سازی رابطه ارتفاع غالب و عامل‌های خاکی است، باید مدلی که این رابطه را به بهترین وجه توصیف می‌کند، انتخاب شود و براساس این مدل، مقدار عددی ارتفاع غالب برآورد شود.

مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM)

مدل جمعی تعمیم‌یافته یک مدل ناپارامتری و بسط مدل‌های خطی تعمیم‌یافته است. در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته، برخلاف مدل رگرسیون خطی که در آن رابطه بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به‌وسیله فرمول ارایه می‌شود، اجازه داده می‌شود که داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند (Hastie & Tibshirani, 1990). تفاوت اساسی مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته با مدل‌های پارامتری در این است که توابع خطی به‌وسیله توابع هموار نامعلوم جانشین می‌شوند که دارا بودن هموارسازها یکی از مزایای مهم مدل جمعی تعمیم‌یافته است که آن را از مدل‌های دیگر متمایز می‌سازد. وجود هموارسازها در این مدل باعث توانایی این مدل در شناسایی روابط غیرخطی شده است. مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته توانایی زیادی در تجزیه و تحلیل داده‌های اکولوژیکی و مشخص کردن رابطه غیرخطی بین متغیرهای مختلف دارند (Guisan *et al.*, 2002). در پژوهش پیش‌رو با بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری R نسخه ۳.۲.۰ و روش Shrinkage، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته انجام شد. در این پژوهش با توجه به ماهیت متغیر پاسخ، توزیع گوسی و تابع پیوند همانی (Identity) درنظر گرفته شد و به‌منظور اجتناب از بیش‌برازش یا فرایادگیری (Overfitting)، متغیرهای پیش‌گو به‌طور انفرادی با استفاده از هموارسازی اسپلاین با چهار درجه آزادی وارد مدل شدند. به‌منظور گزینش متغیرهای مهم و اثرگذار روش روبه‌جلو و معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC) به‌کار گرفته شد. AIC معیاری برای سنجش نیکویی برازش است که توسط Akaike (۱۹۷۴) پیشنهاد شد. این معیار با برقرار کردن تعادل میان دقت مدل و پیچیدگی آن به انتخاب بهترین مدل آماری کمک می‌کند (Akaike, 1974). با توجه به داده‌ها، مدل‌های رقیب با توجه به مقدار AIC رتبه‌بندی می‌شوند. از آن‌جایی‌که مدل دارای کمترین AIC بهترین مدل است، می‌توان استنباط کرد که کدام مدل وضعیت بهتری نسبت به بقیه مدل‌ها دارد (Akaike, 1974).

نتایج

به‌منظور انتخاب متغیرهای مهم‌تر از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای تمام متغیرهای مستقل (شکل ۱) انجام شد که خط صاف نشان‌دهنده ضریب همبستگی ۰/۵ است. متغیرهایی که زیر خط قرار گرفته‌اند، همبستگی زیادی دارند. براساس اطلاعات و دانش کارشناسی متغیرهای شن، ماده آلی و نقطه پژمردگی در دو عمق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و پتاسیم قابل تبادل در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر اهمیت کمتری داشته‌اند و درنتیجه این متغیرها از تجزیه و تحلیل حذف شدند و مدل‌سازی با استفاده از باقی‌مانده متغیرها انجام شد. آماره‌های توصیفی مربوط به متغیرهای ۱۰۴ نمونه خاکی و توپوگرافی مربوط به ۵۲ قطعه‌نمونه برداشت‌شده، در جدول ۱ ارایه شده است.



شکل ۱- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای متغیرهای خاک

جدول ۱- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین برای متغیرهای تبیینی

متغیرهای تبیینی	عمق	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین
ارتفاع از سطح دریا	-	متر	-۱۷	۶۴	۲۵/۶۱۵
شن	۰-۲۰	درصد	۱۶/۰۷	۵۰	۱۷/۹۳
شن	۲۰-۴۰	درصد	۱۴	۵۲/۰۹	۲۶/۳۹
رس	۰-۲۰	درصد	۲۲/۹۲	۵۸	۳۹/۶۹
رس	۲۰-۴۰	درصد	۲۳/۳۵	۷۱/۲۸	۴۶/۳۵
سیلت	۰-۲۰	درصد	۲۳/۶۴	۴۱/۹۳	۳۲/۳۸
سیلت	۲۰-۴۰	درصد	۸/۷۹	۴۸/۲	۲۷/۲۶
درصد سنگریزه	۰-۲۰	درصد	۱/۸۸	۴۶/۲۱	۱۸/۱۶
درصد سنگریزه	۲۰-۴۰	درصد	۱/۶۳	۳۶/۹۸	۱۷/۱۷
جرم مخصوص حقیقی	۰-۲۰	گرم بر سانتی متر مکعب	۲	۲/۷۵	۲/۰۹
جرم مخصوص حقیقی	۲۰-۴۰	گرم بر سانتی متر مکعب	۲/۰۵	۲/۲۹	۲/۱۷
جرم مخصوص ظاهری	۰-۲۰	گرم بر سانتی متر مکعب	۱/۱۵	۲	۱/۷۷
جرم مخصوص ظاهری	۲۰-۴۰	گرم بر سانتی متر مکعب	۱/۵۱	۲	۱/۸۲
درصد رطوبت اشباع	۰-۲۰	درصد	۹/۲۶	۳۵/۲۴	۲۱/۷۹
درصد رطوبت اشباع	۲۰-۴۰	درصد	۱۵/۰۸	۳۱/۵	۲۲/۰۲
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰-۲۰	میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک	۱۹/۸۶	۳۹/۱۲	۲۹/۴۲
ظرفیت تبادل کاتیونی	۲۰-۴۰	میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک	۱۵/۴۸	۳۵/۶۲	۲۵/۵۳
رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه	۰-۲۰	درصد	۲۴/۳۴	۴۲/۵۵	۳۶/۲۴
رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه	۲۰-۴۰	درصد	۲۲	۴۲/۶۲	۳۰/۵۲
نقطه پژمردگی	۰-۲۰	درصد	۱۳/۲۷	۲۹/۱۹	۲۲/۷۹
نقطه پژمردگی	۲۰-۴۰	درصد	۱۳/۱۸	۳۱/۲	۱۹/۴۸
رطوبت قابل استفاده	۰-۲۰	درصد	۹/۵۲	۱۸/۸۴	۱۳/۴۵
رطوبت قابل استفاده	۲۰-۴۰	درصد	۴/۸	۱۶/۶	۱۱/۰۳

متغیرهای تبیینی	عمق	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین
کربن آلی	۰–۲۰	درصد	۱/۲۱	۴/۳۳	۲/۳۸
کربن آلی	۲۰–۴۰	درصد	۰/۰۲	۲/۰۹	۰/۷۸
کلسیم محلول	۰–۲۰	میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک	۰/۰۲	۱/۲	۰/۳۴
کلسیم محلول	۲۰–۴۰	میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک	۰/۰۲	۱/۶	۰/۳۹
پتاسیم قابل تبادل	۰–۲۰	پی پی ام	۷۱/۵۲	۵۳۲/۳۵	۱۹۵/۵۹
پتاسیم قابل تبادل	۲۰–۴۰	پی پی ام	۷۱/۵۲	۴۷۲/۲۴	۱۳۶/۲۵
اسیدیته	۰–۲۰	–	۴/۹	۶/۹۹	۵/۷۶
اسیدیته	۲۰–۴۰	–	۵/۱۳	۷/۲۶	۶
فسفر قابل جذب	۰–۲۰	پی پی ام	۱۵/۸۸	۵۹/۲۲	۲۹/۱۳
فسفر قابل جذب	۲۰–۴۰	پی پی ام	۷/۰۴	۵۶/۸۳	۱۷/۹۴
نیتروژن کل	۰–۲۰	درصد	۰/۱۱	۰/۳۷	۰/۲۴
نیتروژن کل	۲۰–۴۰	درصد	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۶

مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار ارتفاع غالب مناطق مورد بررسی در جدول ۲ ارایه شده است. نتایج آزمون t (p = ۰/۰۰۱) حاکی از اختلاف معنی‌دار ارتفاع غالب در دو منطقه بود.

جدول ۲- مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار ارتفاع غالب مناطق مورد بررسی

منطقه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
گیسوم	۲۲/۸	۴۴/۱۲۵	۳۴/۸۶	۶/۲۳
هفت‌دغنان	۱۸	۴۵/۵	۲۹/۱	۶/۰۳

گزینش متغیرها با استفاده از روش روبه‌جلو و معیار AIC در مدل جمعی تعمیم‌یافته نشان داد که ارتفاع از سطح دریا، فسفر قابل جذب، درصد رطوبت اشباع، کربن آلی، نیتروژن کل و درصد سنگریزه در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و کلسیم محلول، جرم مخصوص ظاهری و pH در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، متغیرهای مؤثر بر ارتفاع غالب بودند (جدول ۳). براساس نتایج به‌دست‌آمده از این روش و استفاده از مقادیر درجه آزادی مندرج در جدول ۳ می‌توان بیان داشت که به‌غیر از فسفر قابل جذب، کلسیم محلول و نیتروژن کل که رابطه خطی با متغیر پاسخ داشته‌اند، بقیه متغیرها رفتاری غیرخطی با متغیر پاسخ نشان داده‌اند. همچنین در جدول ۳ اهمیت نسبی هر یک از متغیرهای اثرگذار که با استفاده از بسته MumIn در نرم‌افزار R محاسبه شده بود، ارایه شده است. اهمیت نسبی، سهم هریک از متغیرهای پیش‌گو را در توجیه تغییرپذیری کل (ضریب تبیین) هم به‌طور انفرادی و هم در ترکیب با بقیه متغیرها نشان می‌دهد (Kabacoff, 2011). با مراجعه به این جدول مشاهده می‌شود که درصورتی‌که هریک از متغیرها به‌طور انفرادی مورد بررسی قرار گیرند، ارتفاع از سطح دریا، فسفر قابل جذب در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری مهم‌ترین متغیرها در تغییرات توان تولید توده‌های صنوبر هستند و در

ترکیب با بقیه متغیرها، ارتفاع از سطح دریا، کربن آلی در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری نقش مهم‌تری را در تغییرپذیری توان تولید ایفا می‌کنند. با به‌کارگیری مدل جمعی تعمیم‌یافته در این پژوهش، ۹۱ درصد از تغییرات در توان تولیدی توده‌ها می‌تواند با استفاده از متغیرهای محیطی توجیه شود.

جدول ۳- نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته با متغیرهای معنی‌دار مورد بررسی

متغیر	عمق	درجه آزادی	معنی‌داری	اهمیت نسبی انفرادی	اهمیت نسبی ترکیبی
ارتفاع از سطح دریا	-	۲/۷۹	۰/۰۰۲**	۲۶/۹	۱
فسفر قابل جذب	۲۰-۴۰	۱	۰/۰۰۳**	۱۴/۰۸	۰/۹۶
درصد رطوبت اشباع	۲۰-۴۰	۲/۶۸	۰/۰۵۳ ns	۵/۳۴	۰/۹۸
کربن آلی	۲۰-۴۰	۱	۰/۰۴۲*	۰/۰۷۸۲	۱
نیتروژن کل	۲۰-۴۰	۱	۰/۰۰۰**	۱۱/۴	۰/۹۸
درصد سنگریزه	۲۰-۴۰	۲/۶۸	۰/۰۱۵*	۱/۵۲	۰/۹۸
کلسیم محلول	۰-۲۰	۱	۰/۰۱۲*	۹/۹۱	۰/۶۴
جرم مخصوص ظاهری خاک	۰-۲۰	۲/۸۳	۰/۰۰۹**	۱۴/۷	۱
pH	۰-۲۰	۲/۲	۰/۰۱۸*	۴/۲۴	۰/۶۲

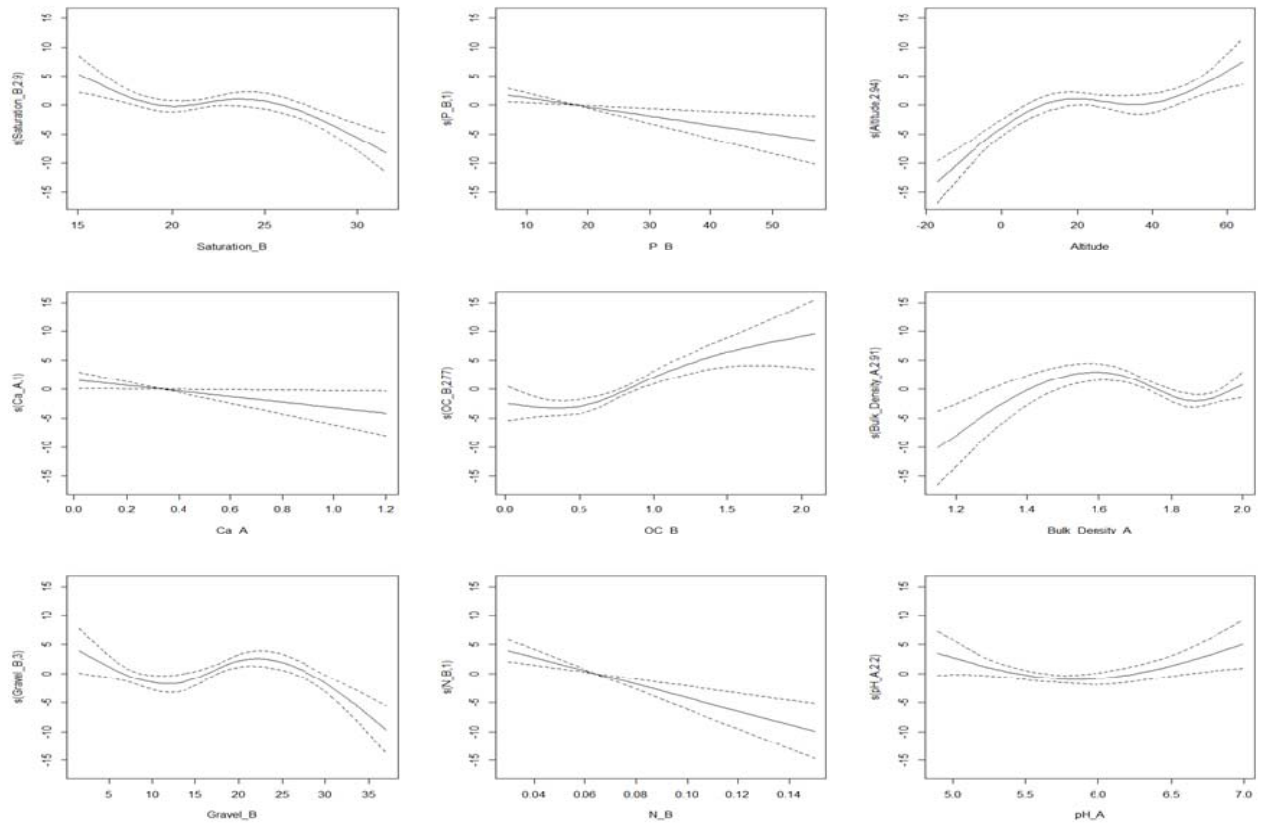
**معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ *معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

در شکل ۲ منحنی‌های هموارسازی برای مدل جمعی تعمیم‌یافته که شامل متغیرهای تأثیرگذار بر ارتفاع غالب توده‌ها بود، ارایه شده است. مشاهده می‌شود که ارتفاع از سطح دریا دارای رابطه مثبت با ارتفاع غالب بوده است. رابطه فسفر قابل جذب و ارتفاع غالب توده‌ها نیز از نوع کاهنده بوده است. با افزایش درصد رطوبت اشباع، توان تولید کاهش یافته است. کلسیم محلول دارای رابطه خطی کاهنده با ارتفاع غالب توده‌ها بوده است. رابطه کربن آلی با ارتفاع غالب توده‌ها مثبت بوده است. رابطه جرم مخصوص ظاهری با ارتفاع غالب توده‌ها در ابتدا مثبت و سپس کاهنده بوده است. درصد سنگریزه نیز دارای رابطه منفی با ارتفاع غالب توده‌ها بوده است. رابطه ازت و ارتفاع غالب از نوع کاهنده بوده است. رابطه pH با ارتفاع غالب توده‌ها در ابتدا منفی و سپس مثبت شده است.

همان‌طور که اشاره شد، در پژوهش پیش‌رو با استفاده از معیارهای ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیل‌یافته، مجذور میانگین مربعات خطا و AIC، عملکرد مدل جمعی تعمیم‌یافته نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته ارزیابی شد. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مدل جمعی تعمیم‌یافته ازنظر همه معیارهای ارزیابی، عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته داشته است.

جدول ۴- معیارهای ارزیابی مدل برای مدل های خطی و جمعی تعمیم‌یافته

معیارها	AIC	*RMSE*	R^2%	R^2_{adj}%
مدل خطی تعمیم‌یافته	۳۴۰/۶	۳/۶۴	۰/۷۳	۰/۳۴۶
مدل جمعی تعمیم‌یافته	۲۶۵/۸	۲/۰۵	۰/۹۱	۰/۸۶۴



شکل ۲- نمودار رابطه بین متغیرهای محیطی اثرگذار و معیار ارتفاع غالب توده‌ها با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته. A: متغیر مورد نظر در عمق صفر تا۲۰ سانتی‌متر، B: متغیر مورد نظر در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر.

بحث

هدف پژوهش پیش‌رو ارزیابی توان تولیدی توده‌های صنوبر دلتوئیدس با استفاده از متغیرهای خاکی و بهره‌گیری از مدل جمعی تعمیم‌یافته بود. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که این مدل توانسته است در حدود ۹۱ درصد تغییرات در ارتفاع غالب را توجیه کند که حاکی از کارایی مناسب این مدل در ارزیابی توان توده نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته است. Aertsen و همکاران (۲۰۱۰) نیز مدل جمعی تعمیم‌یافته و درخت رگرسیون تقویت‌شده (Boosted Regression Trees/BRT) را به‌عنوان مدل‌های برتر در مدل‌سازی توان تولیدی رویشگاه معرفی کردند. تغییرات توجیه‌شده توسط GAM و GLM در مطالعه آنها برای *P. brutia* به‌ترتیب ۶۲ و ۵۲ درصد بود.

توان تولیدی رویشگاه ناشی از عامل‌های زنده و غیرزنده و برهم کنش این عامل‌ها در رویشگاه است که فقط برخی از این عامل‌ها قابل شناسایی و اندازه‌گیری هستند (Herrera *et al.*, 1999). عامل‌های اقلیمی، خاکی و توپوگرافی از جمله متغیرهای اکولوژیک مورد استفاده در بسیاری از مطالعات شاخص توان تولید رویشگاه هستند (Bravo *et al.*, 2011). در پژوهش پیش‌رو با توجه به هدف و یکسان بودن نسبی شرایط اقلیمی، تأثیر عامل‌های خاکی و توپوگرافی بر توان تولیدی توده‌ها مورد بررسی قرار گرفت که در آن تعدادی از عامل‌های یادشده تأثیر معنی‌داری بر توان تولید توده‌های صنوبر دلتوئیدس داشتند. این نتایج با بررسی‌های Aertsen و همکاران (۲۰۱۱) و Hererra و همکاران (۱۹۹۹) هم‌خوانی دارد. با توجه به

نتایج پژوهش پیش‌رو، متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، فسفر قابل جذب، درصد رطوبت اشباع، کربن آلی، نیتروژن کل و درصد سنگریزه در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و کلسیم محلول، جرم مخصوص ظاهری و pH در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری ارتباط معنی‌داری با ارتفاع غالب صنوبر داشتند. همان‌طورکه اشاره شد، با توجه به معیار اهمیت نسبی، ارتفاع از سطح دریا به‌طور انفرادی و ترکیبی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر توان تولید است. پژوهشگران بسیاری به تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر توان تولیدی توده اشاره کرده‌اند (Monserud *et al*., 1990; Fontes *et al*., 2003). در پژوهش پیش‌رو با افزایش ارتفاع از سطح دریا، توان تولید توده صنوبر افزایش پیدا کرد (شکل ۲). براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، تفاوت ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه حدود ۱۰۰ متر است و بدیهی است که این تغییر ارتفاع از طریق تأثیر بر تغییر درجه‌حرارت و یا میزان بارندگی نمی‌تواند اثر شگرفی بر ویژگی‌های رویشی درختان داشته باشد. به‌نظر می‌رسد که رابطه مثبت ارتفاع از سطح دریا و توان تولید در ارتفاعات بالاتر به‌دلیل زهکشی مناسب‌تر خاک در این مناطق باشد. صنوبرها اگرچه درختان به‌شدت آب‌دوستی هستند، اما نسبت به پدیده بالا بودن سفره آب زیرزمینی حساسیت نشان می‌دهند، زیرا هوادیدگی خاک در کشت صنوبر از اهمیت زیادی برخوردار است. در ارتفاعات پایین‌تر که سطح سفره آب زیرزمینی به‌دلیل شیب کمتر زمین بالاتر قرار می‌گیرد، از میزان رشد صنوبرها کاسته است. این نتیجه با نتایج Lashkarbolouki و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. Salehi و همکاران (۲۰۱۲) نیز در تحقیق خود مشخص کردند که توده‌های صنوبر در خاک‌های با سفره آب زیرزمینی پایین‌تر و تهویه و نفوذپذیری بهتر دارای وضعیت بهتری هستند و از رشد مطلوب‌تری برخوردارند.

در رابطه با جرم مخصوص ظاهری مشاهده شد که در ابتدا با افزایش این متغیر توان تولید نیز افزایش یافت، اما در ادامه، افزایش آن باعث کاهش میزان ارتفاع غالب توده‌ها شد که با مطالعه Jones (۲۰۰۵) مطابقت دارد. جرم مخصوص ظاهری زیاد که نشان‌دهنده کم بودن تخلخل و فشردگی خاک است، باعث محدود شدن رشد ریشه و حرکت ضعیف آب و هوا در خاک می‌شود. فشردگی می‌تواند منتج به ریشه‌دوانی سطحی و رشد ضعیف گیاه شود (Greacen & Sands, 1980) که ممکن است توان تولید را تحت تأثیر قرار دهد. درخصوص رطوبت اشباع مشاهده شد که با افزایش میزان رطوبت، توان تولیدی نیز کاهش یافته است. می‌توان این‌گونه استدلال کرد که وجود رطوبت زیاد و درنتیجه نقصان اکسیژن موجب اختلال در رشد و کاهش توان تولید می‌شود که این موضوع با مطالعات Salehi و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد بتوان این همبستگی منفی را با تمایل صنوبر به اکسیژن کافی و میزان معینی رطوبت توجیه کرد. کربن آلی و به‌دنبال آن ماده آلی خاک نیز یکی از متغیرهای تأثیرگذار بر ارتفاع غالب توده‌ها بوده است. نتایج مطالعه نشان داد که با افزایش کربن آلی، توان تولیدی افزایش یافته است. با توجه به نقش مواد آلی خاک در جذب و نگهداری آب و مواد غذایی و همچنین بهبود ساختمان، تخلخل، تهویه و نفوذپذیری خاک، این امر دور از انتظار نیست. Faraj Pour و همکاران (۲۰۱۰) نیز در پژوهش خود به نتایج مشابه دست یافتند. کلسیم محلول نیز متغیر مهم تأثیرگذار بر ارتفاع غالب بوده است که افزایش آن، کاهش توان تولید را به‌دنبال داشته است. نتایج این مطالعه با نتایج Faraj Pour و همکاران (۲۰۱۰) که بیان کردند مقدار کلسیم محلول خاک رابطه معنی‌داری با رشد صنوبر ندارد، مغایر است. کلسیم محلول، کاتیونی غیرفعال است و تأمین آن برای خاک به‌کندی انجام می‌گیرد (Richter & Markewitz, 1994). اسیدیته خاک در محدوده ۵/۵ تا ۶/۵ دارای رابطه منفی و سپس در محدوده ۶/۵ تا ۷/۵ دارای رابطه مثبت با توان تولید توده‌ها بود. اسیدیته خاک نیز یک عامل مهم کیفیت توده به‌خصوص برای صنوبر است. بسیاری از عناصر غذایی به‌خصوص عناصر کم‌مصرف خاک در محدوده خاصی از pH بیشترین کارایی و میزان قابل دردسترس را برای گیاهان دارند (Shahoei, 2006) و عنوان می‌شود pH مناسب برای قابل

دسترس بودن بیشتر عناصر غذایی در محدوده ۶/۵ تا ۷/۵ است (Salehi *et al.*, 2012). به‌نظر می‌رسد در این پژوهش نیز در این محدوده از pH، درختان عکس‌العمل مناسب نشان داده‌اند و توان تولیدی مناسب‌تری را نشان داده‌اند. اسیدی شدن خاک می‌تواند منجر به ایجاد سطوح سمی گیاهی از آلومینیوم در ریزوسفر شود و باعث اختلال یا مانع جذب مواد غذایی شود و منجر به کمبود برخی از عناصر (مانند Mg، K، Ca، P) یا فزونی عناصر دیگر (مانند N) شود (Bakker *et al.*, 1999). Tufekcloglu و همکاران (۲۰۰۵) نیز رابطه منفی مشابهی در پژوهش خود گزارش کرده‌اند.

متغیر تأثیرگذار دیگر بر توان تولید توده‌های صنوبر، درصد سنگریزه بود که دارای رابطه معکوس با توان تولید توده بوده است. می‌توان گفت که وجود سنگریزه عامل‌هایی مانند عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری آب و درنهایت کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Birkeland, 1999)، بنابراین انتظار می‌رود توان تولید با افزایش درصد سنگریزه کاهش یابد. Salehi و همکاران (۲۰۰۸) نیز در مطالعه خود به نتیجه مشابهی دست یافتند. آنان بیان کردند که سنگریزه قدرت نگهداری آب و عناصر غذایی را ندارد و از حاصلخیزی و باروری خاک می‌کاهد.

دو عامل ازت کل و فسفر قابل جذب اندازه‌گیری‌شده در عمق دوم (۲۰ تا۴۰ سانتی‌متری) از عامل‌های تأثیرگذار بر توان رشد ارتفاعی توده صنوبر در ترکیب با متغیرهای دیگر بوده‌اند که در این پژوهش رابطه خطی و معکوسی با ارتفاع غالب توده‌ها داشتند. نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج Herrera و همکاران (۱۹۹۹) که بیان کردند توان تولیدی *Vochysia ferruginea* با متغیر فسفر قابل جذب رابطه عکس دارد و همچنین با نتایج Aertsen و همکاران (۲۰۱۱) که بیان داشتند اشباع نیتروژن کل باعث کاهش حاصلخیزی می‌شود تطابق دارد، اما بسیاری از مطالعات نیز رابطه مثبت بین حاصلخیزی رویشگاه و مقدار این دو عنصر را نشان داده‌اند (Janssens & Luyssaert, 2009; Sayad, & Hossini, 2006; Bravo *et al.*, 2011). با توجه به این‌که این عامل‌ها در عمق اول (لایه صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) خاک بی‌تأثیر بر توان تولید رویشگاه بوده‌اند و تأثیر منفی آنها بر ارتفاع غالب در لایه دوم خاک خود را نشان داده است، به‌نظر می‌رسد که این نتایج دور از انتظار می‌تواند به موضوعات دیگری مانند تأثیر آب زیرزمینی و یا عامل‌های دیگر مربوط باشد که در این پژوهش به آن پرداخته نشد و می‌تواند در پژوهش‌های دیگر مورد بررسی قرار گیرد.

در پژوهش پیش‌رو از مدل جمعی تعمیم‌یافته برای بررسی رابطه بین معیار ارتفاع غالب توده‌ها و متغیرهای خاکی استفاده شد و نتایج قابل قبولی نیز در مقایسه با مدل خطی تعمیم‌یافته به‌دست آمد. از آن‌جایی‌که توده‌های صنوبر مورد بررسی همسال و خالص بودند، از متغیرهای ادافیکی توده برای ارزیابی و بررسی شاخص توان تولیدی توده استفاده شد؛ چراکه در توده‌های یک‌دست و همسال می‌توان از منحنی رشد درختان غالب به‌عنوان معیار قابل اعتماد برای تعیین پتانسیل تولید توده استفاده کرد. مدل جمعی تعمیم‌یافته به‌دلیل انعطاف‌پذیری در تعیین نوع و درجه ارتباط و تفسیرپذیری مناسب، به یک مدل محبوب تبدیل شده است و از آن می‌توان برای طیف وسیعی از داده‌ها استفاده کرد (Vaziri Nasab, 2012). اکولوژیست‌ها برای آشکارسازی و توصیف الگوها و یا پیش‌بینی وضعیت‌های جدید از مدل‌های مختلفی استفاده می‌کنند. تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده اکولوژیکی نیازمند روش‌های تحلیلی انعطاف‌پذیر و قوی است که بتواند روابط غیرخطی، اثرات متقابل و داده‌های ازدست‌رفته را کنترل کند. علاوه‌براین، درک و ارایه نتایج توسط این روش‌ها باید ساده و به‌راحتی قابل تفسیر باشد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش‌رو، صنوبرها در مناطق با میزان رطوبت و زهکشی مناسب خاک، بافت متعادل و خاک‌های با میزان عناصر غذایی متعادل مناسب‌ترین رشد را دارند. با توجه به اهمیت و ارزش اقتصادی صنوبرکاری‌ها و تأثیر خاک در رشد و کیفیت آنها، با مطالعه و بررسی خاک، درنظر گرفتن مهم‌ترین خصوصیات

فیزیکی و شیمیایی خاکی مؤثر بر توان تولید صنوبر (به‌دست‌آمده از نتایج پژوهش پیش‌رو)، با انتخاب محل‌هایی با این خصوصیات خاکی برای صنوبرکاری و اصلاح خصوصیات خاک با اجرای عملیات خاک‌ورزی در مناطق نامناسب می‌توان به تولید بیشتر دست یافت.

References

- Aertsen, W., Kint, V., De Vos, B., Deckers, J., Van Orshoven, J. and Muys, B., 2011. Predicting forest site productivity in temperate lowland from forest floor, soil and litter-fall characteristics using boosted regression trees. Plant and Soil, 354(1-2): 157-172.
- Aertsen, W., Kint, V., Van Orshoven, J., Ozkan, K., and Muys, B., 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. Ecological Modeling, 221(8): 1119-1130.
- Aertsen, W., Kint, V., Von Wilpert, K., Zirlewagen, D., Muys, B. and Van Orshoven, J., 2012. Comparison of location-based, attribute-based and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity. Forestry, 85(4): 539-550.
- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, 19(6): 716-723.
- Anonymous, 1990. Site Index Curves for the Asalem beech forest in the Caspian Region of Iran. Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 40p (In Persian).
- Bakker, M.R., Nys, C. and Picard, J.F., 1999. The effects of liming and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl.) stand at La Croix-Scaille (French Ardennes) I. Site characteristics, soil chemistry and aerial biomass". Plant Soil, 206: 99-108.
- Bergès, L., Chevalier, R., Dumas, Y., Franc, A. and Gilbert, J.M., 2005. Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) site index variations in relation to climate, topography and soil in even-aged high-forest stand in northern France. Annals of Forest Science, 62(5): 391-402.
- Birkeland, P., 1999. Soils and Geomorphology. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, 448p.
- Bravo, F., Lucà, M., Mercurio, R., Sidari, M. and Muscolo, A., 2011. Soil and forest productivity: a case study from Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Calabria (southern Italy). IForest, 4: 25-30.
- Bravo-Oviedo, A. and Montero, G., 2005. Site index in relation to edaphic variables in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in south west Spain. Annals of Forest Science, 62(1): 61-72.
- Carmean, W., 1975. Forest site quality evaluation in the United States. Advances in Agronomy, 27: 209-269.
- Faraj Pour, A., Kahneh, A., Lashkarbolouki, A. and Ghanbar Pour, R., 2010. Study the Effects of Habitat Characteristics (Location Indicator) on the Performance of Poplar Wood in the West of Guilan. Published by Islamic Azad university, 53p (In Persian).
- Fontes, L., Tome, M., Thompson, F., Yeomans, A., Luis, J.S. and Savill, P., 2003. Modelling the Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) site index from site factors in Portugal. Forestry, 76(5): 491-507.
- Greacen, E.L. and Sands, R., 1980. Compaction of forest soils, a review. Soil Research, 18(2): 163-189.
- Guisan, A., Edwards, J. and Hastie, T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. Ecological Modeling, 157(2): 89-100.
- Hagglund, B., 1981. Evaluation of forest site productivity. Review article. Forest Abstracts, 42(11): 515-527.
- Hastie, T. and Tibshirani, R., 1990. Non-parametric logistic and proportional odds regression. Applied Statistics, 36(3): 260-276.
- Herrera B.J., Campos, J., Finegan, B. and Alvarado, A., 1999. Factors affecting site productivity of a Costa Rican secondary rain forest in relation to *Vochysia ferruginea* a commercially valuable canopy tree species. Forest Ecology and Management, 118(1): 73-81.
- Hossini, S.M., Sagheb Talebi, Kh., Akbar Niya, M. and Makhdom, M., 2000. Methods for evaluation of ecological forest. Journal of Environmental Studies, 25: 59-66 (In Persian).
- Huang, Sh. and Titus S.J., 1993. An index of site productivity for uneven-aged or mixed-species stands. Canadian Journal of Forest Research, 23(3): 558-562.
- Jafari Haghighi, M., 2010. Methods of Soil Analysis. Published by Nedaye Zoha, Sari, 236p (In Persian).
- Janssens, I.A. and Luyssaert, S., 2009. Nitrogen's carbon bonus. Nature Geoscience. 2: 318-319.
- Jones, A.T., 2005. Development of a forest site quality classification model for mine soils in the Appalachian Coalfield Region. The 22nd Meeting of American Society for Mining and Reclamation. 19-23 June 2009.

- Juan Gabriel, A. and Daría, R., 2005. Ecoregional site index models for Pinus pinaster in Galicia (northwestern Spain). Annals of Forest Science, 62(2): 115-127.
- Kabacoff, R., 2011. R in Action. Manning Publications, USA, 447p.
- Lashkarbolouki, E., Modirrahmati, A.R., Kaneh, E. and Mosavi Koopar, S.A., 2011. Study on phonological and growth characteristics of different poplar clones (*Populus euramericana* (Dode) Guinier) in Guilan province. Journal of Plant Researches, 26(4): 526-536 (In Persian).
- Monserud, R.A., Moody, U. and Breuer, D.W., 1990. A soil-site study for inland Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research, 20(6): 686-695.
- Richter, D.D. and Markewitz, D., 1994. Soil chemical change during three decades in an old-field loblollypine (*Pinus taeda* L.) ecosystem. Ecology, 75: 1463-1473.
- Salehi, A., Maleki, M., Shabanpour, M. and Basiri, R., 2012. Effect of soil physical properties and groundwater level on qualitative and quantitative characteristics of poplar plantations in west of Guilan province (case study: Guisum region). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 1(20): 38-49 (In Persian).
- Salehi, M.H., Jozeini, F. and Mohammad Khani, A., 2008. The effect of topography on soil properties with a focus on yield and quality of almond in the Saman area, Shahrekord. Water. Soil and Plant of Agriculture, 2(8): 79-92 (In Persian).
- Sayad, E. and Hossini, S.M., 2006. Compare the supply and return nutrients in pure and mixed plantations of Poplar and *Alnus subcordata*. Journal of Environmental Studies, 31(38): 93-102 (In Persian).
- Schafer, G., 1989. Site indicator species for predicting productivity of pine plantations in the southern Cape. South African Forestry Journal, 148(1): 7-17.
- Shahoei, S., 2006. The Nature and Properties of Soils. Published by University of Kurdistan, Sanandaj, 880p (In Persian).
- Skovsgaard, J.P. and Vanclay, J.K., 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. Forestry, 81: 12-31.
- Tufekcloglu, A., Altun, L., Kalay, H.Z. and Yilmaz, M., 2005. Effects of some soil properties on the growth of hybrid poplar in the Terme- Golardi region of Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29: 221-226.
- Vanclay, J.K. and Henry, N.B., 1988. Assessing site productivity of indigenous cypress pine forest in southern Queensland. Commonwealth Forestry Review, 67(1): 53-64.
- Vaziri Nasab, H., Salehi, M., Khoshkam, M. and Rafati, N., 2012. Application of the generalized additive model in determination of the retinopathy risk factors relation types for Tehran diabetic patients. Razi Medical Journal, 19(97): 1-9 (In Persian).
- Zojaji Tehrani, H., Payam, H., Rashidi Haghi, R. Rabiee, S. and Jahangiri, R., 2011. Investigation on *Populus deltoides* on Guilan provinance (Case study: Haft Deghnan plantation). Journal of Biology Science, 5: 77-85 (In Persian).

Evaluation of poplar (*Populus deltoids* Marsh.) stands height growth using a Generalized Additive Model (Case study: Guisoum & Haft-Daghanan region, Guilan province)

S. Solgi[1*], A. Salehi[2], S.J. Alavi[3], H. Pourbabaei[4] and M. Shabanpour[5]

1*- Corresponding author, Ph.D. Student Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some`eh Sara, Iran. E-mail: ssolgi22@yahoo.com

2- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some`eh Sara, Iran

3- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor, Iran

4- Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some`eh Sara, Iran

5- Associate Prof., Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Some`eh Sara, Iran

Received: 24.07.2015 Accepted: 28.11.2015

Abstract

Site productivity is a key indicator of forest ecosystem, and is therefore an important criterion for forest managers to estimate the yield, annual exploitation and site growth. In this study, dominant height index was used as the most reliable criterion for evaluating site productivity of even-aged stands. A selective sampling method was used to locate 52 square sample plots of 0.04 ha each in poplar stands. The height and diameter of *Populus deltoides* Marsh. trees and altitude of each plot was recorded. Also, in each plot, soil samples from 0-20 cm and 20-40 cm depths were taken for analyzing several soil properties. Evaluation of stands productivity by using generalized additive models and AIC showed that altitude, P, saturation, organic carbon , gravel, N from 20-40 cm depth as well as Ca, bulk density and pH from depth 0-20 cm were the significant variables explaining the 90% of variability in productivity of *P. deltoides*. Using the relative importance criterion showed that altitude, P from 20-40 cm depth and bulk density from 0-20 cm depth were associated with dominant roles, yet the overall contribution of altitude, organic carbon from 20-40 cm depth, bulk density from 0-20 cm depth, together with other variables, were the most significant drivers of poplar site productivity.

Keywords: Dominant height, relative importance, site productivity, soil chemical and physical properties, generalized additive model.