Archive of SID

ارزیابی توان تولید رویشگاه راش شرقی (*Fagus orientalis* L.) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس)

کورش احمدی[۱]، سید جلیل علوی[۲*] و مسعود طبری کوچکسرایی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس
[۲] استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس
[۳] استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۱)

چکیده

توان تولید، شاخصی مهم از خدمات اکوسیستم جنگل و معیاری مهم برای مدیران جنگل در پیش‌بینی مقدار تولید، بهره برداری مجاز سالانه و رویش و همچنین انتخاب مناسب‌ترین گونه‌های درختی برای یک رویشگاه است. در مطالعهٔ حاضر از شاخص فرم رویشگاه (ارتفاع درختان در یک توده در یک قطر استاندارد) که مطمئن‌ترین معیار برای ارزیابی کیفیت رویشگاه در توده‌های ناهمسال و آمیخته است، استفاده شد. به این منظور، در تیپ‌هایی که در آنها گونهٔ راش غالب بود، به روش منظم - تصادفی ۴۳ قطعهٔ نمونه دایره‌ای به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع پیاده و در هر یک از آنها ارتفاع و قطر تمام درختان گونهٔ راش قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر علاوه بر ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب و آزیموت اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در مرکز هر قطعهٔ نمونه، از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری خاک صورت گرفت و متغیرهای فیزیکی و شیمیایی متعددی اندازه‌گیری شد. ارزیابی توان تولید رویشگاه راش با استفاده مدل جمعی تعمیم‌یافته در بستهٔ GRASP در نرم‌افزار آماری R نشان داد ارتفاع از سطح دریا، وزن مخصوص ظاهری خاک، درصد شیب، درصد سیلت، نسبت کربن به نیتروژن و درصد رطوبت اشباع خاک ارتباط معنی‌داری با فرم رویشگاه دارد و بیش از ۵۰ درصد تغییرات توان تولیدی می‌تواند با استفاده از این متغیرها تبیین شود. به‌کارگیری معیار اهمیت نسبی نشان داد ارتفاع از سطح دریا به تنهایی، و درصد شیب در ترکیب با سایر متغیرها مهم‌ترین عوامل در تغییرات توان تولید به‌شمار می‌روند. استفاده از معیارهای اطلاعاتی آکائیک، مجذور میانگین خطا، ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل یافته، نشان می‌دهد که مدل جمعی تعمیم‌یافته نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته، عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: توان تولید، راش، فرم رویشگاه، متغیرهای محیطی، مدل جمعی تعمیم‌یافته، مدل خطی تعمیم یافته.

* نویسندهٔ مسئول شماره تماس:۰۹۱۱۱۵۸۰۰۹۷ ایمیل: j.alavi@modares.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه و هدف

مدیریت منابع جنگلی نیازمند برآورد دقیق و مطمئنی از توان تولیدی رویشگاه[1] است و بررسی رابطهٔ بین توان تولیدی رویشگاه و متغیرهای محیطی، از مسائل مهم در مدیریت جنگل است (Herrera-Fernández *et al.*, 2004). توان تولید یا کیفیت رویشگاه، متوسط توان تولید یک جنگل را برای رشد درختان جنگلی بیان می‌کند (Aertsen *et al.*, 2010) و برایند ویژگی‌های محیطی رویشگاه (ساختمان، بافت، اسیدیته، عمق)، جهت جغرافیایی، شیب، میکروکلیما، ارتفاع از سطح دریا و غیره است. با تغییر این ویژگی‌ها، پتانسیل رویشگاه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (حسینی و همکاران، ۱۳۷۹).

روش‌های بسیاری برای برآورد توان تولید رویشگاه وجود دارد که می‌توان به مشخصه‌های کمی درختان (Vanclay, 1992)، عوامل محیطی (Schönau and Aldworth, 1991; Clutter *et al.*, 1983; Vanclay and Henry, 1998)، گیاهان شاخص (Schafer, 1989)، شاخص‌های تنوع زیستی، بررسی خاک، تجزیه برگ و لاشبرگ، وضعیت ظاهری توده و شاخص رویشگاه اشاره داشت (حسینی و همکاران، ۱۳۷۹؛ Herrera *et al.*, 1999). با وجود این، معیاری برای بیان توان تولید مناسب است که معرف رویشگاه باشد و به مقدار زیاد تحت تأثیر ساختار توده، ترکیب گونه‌ای و فعالیت‌های مدیریتی قرار نگیرد و با پتانسیل تولید رویشگاه همبستگی داشته باشد (Vanclay, 1992). یکی از معمول‌ترین این معیارها شاخص رویشگاه[2] است که به صورت ارتفاع مورد انتظار در یک سن مرجع مشخص تعریف می‌شود (Hush *et al.*, 2003). شاخص رویشگاه سابقهٔ طولانی در ارزیابی توان دارد و سودمندی آن از اواخر قرن نوزدهم مورد توجه قرار گرفته و به اثبات رسیده است. شاخص رویشگاه به عنوان معیار ارزیابی توان تولید با محدودیت‌هایی مواجه است، از جمله اینکه تعیین دقیق سن در توده‌های ناهمسال و آمیخته اغلب مشکل است و خطاهای کوچک می‌تواند سبب تغییرات نسبتاً بزرگ در برآورد شاخص رویشگاه شود. در بعضی از درختان نظیر گونهٔ راش ممکن است حلقهٔ سالانه با حلقه‌های کاذب اشتباه گرفته شود؛ از این رو سن درختان نمی‌تواند به‌آسانی تعیین شود. از طرف دیگر در توده‌های ناهمسال و آمیخته، ارتفاع در رابطه با سن نمی‌تواند شاخصی خوبی برای بیان کیفیت رویشگاه باشد (Vanclay and Henry, 1988). با توجه به اینکه در توده‌های ناهمسال و آمیخته در طول حیات درختان رویش ارتفاعی به‌دلیل رقابت کاهش می‌یابد، این امر به برآورد کمتر از حد شاخص رویشگاه منجر می‌شود؛ ازاین‌رو رشد ارتفاعی یک گونه در این نوع توده‌ها، با سن ارتباط نزدیکی ندارد (Hush *et al.*, 2003). McClintock and Bickford (1957) گزینه‌های متعددی را برای ارزیابی کیفیت رویشگاه در توده‌های ناهمسال در نظر گرفتند و به این نتیجه رسیدند که رابطهٔ بین ارتفاع و قطر درختان در یک تودهٔ مطمئن‌ترین معیار برای ارزیابی کیفیت رویشگاه است. Vanclay and Henry (1988) پیشنهاد کردند برای اینکه رابطهٔ ارتفاع در یک قطر استاندارد با شاخص رویشگاه (که بر اساس ارتفاع در یک سن معین است) اشتباه گرفته نشود، از واژهٔ فرم رویشگاه[3] استفاده شود. Herrera-Fernández *et al.* (2004) بیان داشتند فرم رویشگاه شاخصی از توان رویشگاه است که تحت تأثیر فعالیت‌های مدیریتی و شرایط توده قرار نمی‌گیرد و همبستگی زیادی با حاصلخیزی رویشگاه دارد و اندازه‌گیری آن آسان است.

در ارزیابی توان تولید رویشگاه در گذشته، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته[4] (GLM) به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Aertsen *et al.*, 2010). مدل‌های جمعی

[1] Site Productivity
[2] Site Index
[3] Site Form
[4] Generalized Linear Model

www.SID.ir

Archive of SID

تعمیم‌یافته[1] (GAM) نسبت به مدل‌های خطی تعمیم‌یافته از چند نظر برتری دارند و هدف از کاربرد این مدل ها به حداکثر رساندن کیفیت پیش‌بینی متغیر وابسته و کشف روابط غیرخطی بین متغیر وابسته و مجموعه متغیرهای تبیینی است (Hastie and Hastie and Tibshirani, 1986; Tibshirani, 1990). Herrera-Fernández *et al.* (2004) از مدل رگرسیون چندگانه[2] برای ارتباط فرم رویشگاه با متغیرهای خاکی استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد از بین متغیرهای خاکی، بهترین برازش با استفاده از درصد شن به‌دست آمد. Bravo-Oviedo and Montero (2005) در بررسی رابطهٔ شاخص رویشگاه و متغیرهای خاکی برای گونه کاج سنگی (*Pinus pinea*) به این نتیجه رسیدند که متغیرهای بافت خاک (مقدار سیلت و رس) و ظرفیت نگهداری آب عوامل مهم و تأثیرگذار بر شاخص رویشگاه‌اند. Durkaya and Durkaya (2007) منحنی‌های فرم رویشگاه را در توده‌های آمیخته و ناهمسال *Fagus orientalis*، *Abies bornmullerian* و *Pinus sylvestris* بررسی کردند. Aertsen *et al.* (2010) روش‌های مختلف مدلسازی را برای پیش‌بینی شاخص رویشگاه گونه‌های *Pinus nigra*، *Pinus brutia* و *Cedrus libani* در جنگل‌های کوهستانی مدیترانه‌ای در جنوب ترکیه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل جمعی تعمیم‌یافته بهترین مدل برای گونه‌های مورد مطالعه است. Bravo *et al.* (2011) رابطهٔ متغیرهای اقلیمی و توان تولیدی رویشگاه کاج دریایی را ارزیابی و شیب را مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر کیفیت رویشگاه معرفی کردند. در ایران در زمینهٔ بررسی کیفیت رویشگاه تنها می‌توان به مطالعهٔ صورت‌گرفته توسط مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع (بی‌نام، ۱۳۶۹) با عنوان تعیین درجهٔ مرغوبیت رویشگاه‌های راش در جنگل‌های اسالم با استفاده از شاخص رویشگاه و رابطهٔ ارتفاع درختان غالب راش و سن و با بهره‌گیری از مدل پرودان[3] اشاره نمود.

جنگل‌های راش از مهم‌ترین، غنی‌ترین و اقتصادی‌ترین جنگل‌های ایران به‌شمار می‌رود که در آن گونهٔ راش حدود ۳۰ درصد از کل حجم سرپا و حدود ۲۳ درصد از کل تعداد درختان را به خود اختصاص داده است (ثاقب طالبی و همکاران، ۱۳۸۳). با توجه به اینکه توان تولید، شاخصی کلیدی از خدمات اکوسیستم جنگل نظیر تولید چوب و ترسیب کربن، و نیز معیاری مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌هاست (Aertsen *et al.*, 2012)، این مطالعه قصد دارد توان تولیدی رویشگاه راش شرقی را در رابطه با مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاکی و فیزیوگرافی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس ارزیابی کند.

مواد و روش‌ها

- منطقهٔ تحقیق

پژوهش حاضر در جنگل آموزشی و پژوهشی صلاح‌الدین کلا متعلق به دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته است. منطقهٔ تحقیق در سری ۳ آغوزچال از طرح جنگلداری حوزه ۴۶ کجور واقع شده است. این سری در قسمت شمال شرقی طرح کجور و درحوزهٔ استحفاظی ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- نوشهر، ادارهٔ منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان نوشهر و منابع طبیعی توسکاتک قرار دارد. مساحت منطقه ۱۸۱۷ هکتار و ارتفاع از سطح دریا بین ۱۷۵۰- ۱۵۰ متر است. منطقهٔ تحقیق بین عرض جغرافیایی "۳۶°۲۹'۲۳ تا "۳۶°۳۲'۵۶ و طول جغرافیایی "۵۱°۴۳'۲۰ تا "۵۱°۴۷'۳۹ قرار گرفته است. مقدار بارندگی در این ناحیه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی نوشهر ۱۳۰۸ میلی متر در سال است.

[1] Generalized Additive Model
[2] Multiple Linear Regression
[3] Prodan

www.SID.ir

Archive of SID

گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد با میانگین دمای ۲۹/۲ و سردترین ماه سال، بهمن با میانگین دمای ۲/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است. همچنین میانگین دمای سالانه ۱۵/۹ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است. تیپ جنگل در منطقه، آمیخته‌ای از راش به‌همراه گونهٔ ممرز، انجیلی، افرا، شیردار، نمدار، ون و بلوط است. جنگل دارای کلاسهٔ سنی میانسال، مسن و جوان و دارای تاج پوشش حدود ۷۰ تا ۸۵ درصد و ۲ تا ۳ اشکوبه است. جنگل دارای تراکم انبوه تا نیمه‌انبوه با ساختار دانه‌زاد ناهمسال نامنظم است. به‌طور میانگین گونهٔ راش حدود ۵۰ درصد از کل حجم سرپا و حدود ۴۰ درصد از کل تعداد درختان را در منطقه به خود اختصاص داده است. در سری ۳ آغوزچال هیچ واحد دامداری در داخل جنگل وجود ندارد و در حال حاضر، دامداران فقط برای ییلاق - قشلاق از جنگل عبور می‌کنند (فکور، ۱۳۹۳).

- روش بررسی

به منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم از قطعات نمونه دایره‌ای با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع استفاده شد. از آنجا که هدف این مطالعه بررسی توان تولیدی رویشگاه راش بوده است، پس از بررسی نقشهٔ تیپ‌بندی و جنگل‌گردشی، در توده‌هایی که در آنها گونهٔ راش غالب بوده است، ۴۳ قطعه نمونه در جنگل به‌روش آماربرداری منظم تصادفی در شبکه‌ای به ابعاد ۲۰۰ × ۱۰۰ متر در سطحی حدود ۲۰۰ هکتار که دارای دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا بودند، پیاده شد. شایان ذکر است که در ابتدا شبکهٔ آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰ متر که معمولاً در جنگل‌های شمال کشور استفاده می‌شود، بر روی نقشهٔ تیپ جنگل مستقر شد. از آنجا که تعداد پارسل‌هایی که در آن گونهٔ راش غالب بود، محدود بوده است، فاصلهٔ شبکهٔ آماربرداری در امتداد گرادیان ارتفاعی از ۱۵۰ متر به ۱۰۰ متر تقلیل یافت تا تعداد نمونهٔ بیشتری در تیپ‌های غالب راش قرار گیرند. در مرحلهٔ بعد در داخل هر قطعه نمونه، مشخصه‌های هر درخت از جمله نوع گونه، قطر برابرسینه و همچنین ارتفاع کامل تمام درختان راش با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس ویژگی‌های عمومی رویشگاه مثل جهت جغرافیایی (آزیموت)، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب یادداشت شد. جهت جغرافیایی با استفاده از رابطهٔ [1-cos(θ-45)]/2 به شاخص بار گرمایی[1] تبدیل شد که در آن θ مقدار آزیموت جهت بر حسب درجه است. مقدار شاخص بار گرمایی بین صفر و یک بوده و جهت شمال شرقی دارای مقدار صفر (خنک‌ترین دامنه) و جهت جنوب غربی دارای مقدار یک (گرم‌ترین دامنه) است (McCune and Keon, 2002). اندازه‌گیری ارتفاع کامل درختان راش در هر قطعه نمونه با استفاده از دستگاه Vertex 3 انجام گرفت. در اغلب پژوهش‌هایی که به بررسی کیفیت رویشگاه و عوامل توپوگرافی پرداخته شده از متغیرهای شیب، جهت و ارتفاع استفاده می‌شود که در این تحقیق علاوه بر این متغیرها از یک متغیر جدید به نام شاخص شکل زمین[2] (LFI) برای هر یک از قطعات نمونه استفاده شد که از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌شود (McNab, 2010).

$$\overline{LFI} = \frac{\sum I_i}{n}$$

رابطه ۱

در رابطه بالا $\sum I_i$ مجموع درصد شیب در مرکز و چهار جهت جغرافیایی قطعات نمونه و n تعداد شیب‌های خوانده شده یعنی ۵ است. در واقع، LFI میانگین درصد شیب در هر یک از قطعات نمونه است. همچنین در مرکز هر قطعه نمونه، از عمق ۱۰-۰ سانتی متری نمونه‌برداری خاک صورت گرفت (علوی و همکاران، ۱۳۹۰). پس از خشک کردن نمونه‌ها در هوای آزاد و جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر

[1] Heat Load Index
[2] Land Form Index

www.SID.ir

Archive of SID

ناخالصی‌ها از آن، کلوخ‌ها خرد و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. در بررسی فاکتورهای خاک، مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخ و پارافین، بافت خاک به روش هیدرومتری، pH خاک با دستگاه pH متر الکتریکی، درصد ماده آلی به روش والکی و بلاک، فسفر قابل‌جذب به روش السون، پتاسیم به وسیله دستگاه طیف‌سنج اتمی و نیتروژن به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

از آنجا که برآورد معیار ارزیابی توان تولید مبتنی بر مدلسازی رابطهٔ قطر و ارتفاع است، باید مدلی را که این رابطه را به بهترین وجه توصیف می‌کند، انتخاب کرد و بر اساس آن، مقدار عددی فرم رویشگاه را برآورد کرد. Ahmadi *et al.* (2013) رابطهٔ قطر و ارتفاع گونهٔ راش را در منطقه مورد مطالعه بررسی و از بین مدل‌های مختلف مدل سه پارامتری Chapman-Richards را مناسب‌ترین مدل معرفی کردند. مدل سه پارامتری Richards به‌صورت زیر است (رابطه ۲):

$$H = 1.3 + a\left(1 - e^{-b\,DBH}\right)^{c} \qquad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه فوق a، b وc پارامترهای مدل، H ارتفاع کل درخت به متر و DBH قطر در ارتفاع برابرسینه به سانتی‌متر است. پس از انتخاب مناسب‌ترین مدل، با استفاده از روش منحنی راهنما، یا روش معادلهٔ اختلاف می‌توان فرم رویشگاه را برآورد کرد. روش معادلهٔ اختلاف یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای توسعهٔ معادلات شاخص رویشگاه است که در این مطالعه نیز از آن استفاده شده است. در این روش برای دو قطر مشخص DBH_1 و DBH_2 (که $DBH_1 < DBH_2$) دو ارتفاع H_1 و H_1 وجود دارد که توسط معادله های زیر تعریف می‌شود (رابطه‌های ۳ و ۴):

$$H1 = 1.3 + a\left(1 - e^{-b\,DBH1}\right)^{c} \qquad \text{رابطه ۳}$$

$$H2 = 1.3 + a\left(1 - e^{-b\,DBH2}\right)^{c} \qquad \text{رابطه ۴}$$

رابطه ۲ براساس پارامتر b نوشته شده و در رابطه ۴ قرار داده شد که در نهایت رابطه ۵ بدست می آمد (رابطه ۵):

رابطه ۵

$$H2 = 1.3 + a\left(1 - e^{\frac{1.\ln\left(-1.e^{\frac{\ln\left(\frac{0.1000000000\,(10.\,H1 - 13.)}{a}\right)}{c}} + 1.\right)}{DBH1}\,DBH2}\right)^{c}$$

در این رابطه، DBH2 قطر مرجع است. Huang and Titus, (1993) اشاره می‌کنند که قطر مرجع تقریباً باید با سن مرجع که در منحنی‌های شاخص رویشگاه استفاده می‌شود، مطابقت داشته باشد. از آنجا که سن مرجع در ارزیابی توان تولید برای گونهٔ راش با استفاده از شاخص رویشگاه ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود (بی‌نام، ۱۳۶۹)، قطر مرجع معادل این سن براساس نظر محققان برجستهٔ کشور بین ۷۰ تا ۸۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند و بنابراین مقدار میانگین آن یعنی ۷۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. با قرار دادن میانگین ارتفاع و قطر برابرسینهٔ گونهٔ راش در هر قطعه نمونه در معادلهٔ ۵، شاخص توان تولید محاسبه می‌شود. آنگاه با به‌کارگیری مدل جمعی تعمیم‌یافته این شاخص نسبت به متغیرهای محیطی ارزیابی می‌شود.

- مدل جمعی تعمیم‌یافته

مدل‌جمعی تعمیم‌یافته[1] یک مدل ناپارامتری است و بسط مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (که خود نیز بسط مدل‌های خطی می‌باشند) است (Hastie and Tibshirani, 1990). در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته برخلاف مدل رگرسیون خطی که در آن رابطهٔ بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به‌وسیلهٔ فرمول

[1] Generalized Additive Model (GAM)

www.SID.ir

Archive of SID

ارائه می‌شود، اجازه داده می‌شود داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند (Hastie and Tibshirani, 1990). در مدل جمعی تعمیم‌یافته فرض بر این است که متغیر پاسخ Y دارای توزیعی از خانوادهٔ نمایی با میانگین $\mu=E(Y|X_1,\ldots,X_p)$ است که از طریق تابع پیوند[1] (g) به متغیرهای پیشگو (X_j) متصل می‌شود. مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته به‌صورت زیر بیان می‌شود (Hastie and Tibshirani, 1990) (رابطه ۶):

$$g(\mu) = \alpha + \sum_{j=1}^{p} f_j(X_j)$$ رابطه ۶

در اینجا فرض می‌شود f_j ها توابعی نامعلوم و هموار و X_j متغیرهای پیشگو هستند. به‌طور خاص f_j از روی داده‌ها و با استفاده از تکنیک‌های پیشرفتهٔ هموارساز نمودار پراکنش برآورد می‌شود. تفاوت اساسی مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته با مدل‌های پارامتری در این است که توابع خطی به‌وسیلهٔ توابع هموار نامعلوم جانشین می‌شوند که دارا بودن هموارسازها یکی از مزایای مهم مدل جمعی تعمیم‌یافته است که آن را از سایر مدل‌ها متمایز می‌کند. این توابع قابلیت جمع‌پذیری دارند، از آنجا که اثر هر متغیر، به‌صورت جداگانه بیان می‌شود، هر تابع می‌تواند برای آزمون نقش متغیرها در پیشگویی پاسخ به‌صورت جداگانه بررسی شود. وجود هموارسازها در این مدل سبب توانایی این مدل در شناسایی روابط غیرخطی شده است. مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته توانایی زیادی در تجزیه‌وتحلیل داده‌های اکولوژیکی و مشخص کردن رابطهٔ غیرخطی بین متغیرهای مختلف دارند (Guisan *et al.*, 2002). مزیت مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته را می‌توان این گونه بیان کرد که ساختار جمعی به بیان نتایج قابل تفسیر برای هر کدام از متغیرهای تبیینی که به مدل وارد می‌شود می‌پردازد. در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته به‌جای پیش فرض‌های پارامتری انعطاف‌ناپذیر، رابطهٔ بین متغیرهای پاسخ و تبیینی به هر صورتی که باشد بیان می‌شود. نکتهٔ مهم در مورد این مدل‌ها این است که به‌جای مدل‌محوری، داده‌محورند، یعنی نتایج پارامترهای به‌دست‌آمده از مدل پیشین استنباط نمی‌شود، بلکه ساختار داده‌ها آزمون می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۱). در مطالعه حاضر با بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری R نسخهٔ 2-9-2 و بستهٔ GRASP (Generalized Regression Analysis and Spatial Prediction) که توسط Lehmann *et al.* (2002) ارائه شد، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته انجام گرفت. در مطالعهٔ حاضر با توجه به ماهیت متغیر پاسخ، توزیع گوسی و تابع پیوند همانی[2] در نظر گرفته شد و به‌منظور اجتناب از بیش‌برازش یا فرایادگیری[3]، متغیرهای پیشگو به‌صورت انفرادی با استفاده از هموارسازی اسپلاین با دو درجه آزادی وارد مدل شدند. از آنجا که GAM یک مدل جمعی است، هنوز در پرداختن به تأثیرات متقابل ناتوان است، مگر این که این تأثیرات به‌صورت انفرادی مشخص و به‌طور دستی وارد مدل شوند که این امر تفسیر مدل را پیچیده می‌کند (Knudby *et al.*, 2010). به‌منظور گزینش متغیرهای مهم و اثرگذار روش گام به گام و معیار اطلاعاتی آکائیک[4] (AIC) به‌کار گرفته شد. AIC معیاری برای سنجش نیکویی برازش است که توسط Hirotugu Akaike در سال ۱۹۷۴ پیشنهاد شد. این معیار با برقرار کردن تعادل میان دقت مدل و پیچیدگی آن به انتخاب بهترین مدل آماری کمک می‌کند (Akaike, 1974). در حالت کلی، AIC به‌صورت رابطهٔ ۸ محاسبه می‌شود (Dawson *et al.*, 2007) (رابطه‌های ۷ و ۸):

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}}$$ رابطه ۷

$$\mathrm{AIC} = n\ln(\mathrm{RMSE}) + 2p$$ رابطه ۸

[1] Link Function
[2] Identity
[3] Overfitting
[4] Akaike Information Criterion

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، n تعداد مشاهده‌ها، Q_i مقدار مشاهده‌شده، $\hat{Q}_i$ مقدار برازش‌یافته، n تعداد مشاهده‌ها و p نیز تعداد متغیرهای مدل است. با توجه به داده‌ها، مدل‌های رقیب با توجه به مقدار AIC رتبه‌بندی می‌شوند. از آنجا که مدل دارای کمترین AIC بهترین است، می‌توان استنباط کرد که کدام مدل وضعیت بهتری نسبت به بقیه مدل‌ها دارد (Akaike, 1974). از مدل خطی تعمیم‌یافته با توزیع گوسی و تابع پیوند همانی و با استفاده از معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین تعدیل‌یافته (R^2_{adj}) و AIC برای قضاوت عملکرد مدل جمعی تعمیم‌یافته استفاده می‌شود.

- آزمون تشخیص هم‌خطی[1]

یکی از اساسی‌ترین مشکلات محققان، وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است. به‌منظور بررسی هم‌خطی یا هم‌راستایی بین متغیرهای مستقل از عامل تورم واریانس[2] (VIF) استفاده شد (Hererra *et al.*, 1999). متغیرهایی که VIF آن‌ها کمتر از ۱۰ باشد، مشکل هم‌راستایی نخواهند داشت (Draper and Smith, 1981). بدین منظور ابتدا مقدار VIF برای تمام متغیرهای مستقل (جدول ۱) محاسبه شد، نتایج نشان داد که مقدار VIF برای متغیرهای درصد شن و درصد مادهٔ آلی بیشتر از ۱۰ است، در نتیجه این دو متغیر از تجزیه‌وتحلیل حذف شدند و مدلسازی با استفاده از باقی‌ماندهٔ متغیرها صورت گرفت. آماره‌های توصیفی مربوط به متغیرهای خاکی و فیزیوگرافی مربوط به ۴۳ قطعه نمونهٔ برداشت‌شده، در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج

گزینش متغیرها با استفاده از روش گام به گام و معیار AIC در مدل جمعی تعمیم‌یافته نشان می‌دهد که وزن مخصوص ظاهری، ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، درصد سیلت، نسبت کربن به نیتروژن و درصد رطوبت اشباع متغیرهای مؤثر بر فرم رویشگاه هستند (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از این روش و استفاده از مقادیر درجهٔ آزادی به‌دست آمده در جدول ۲ می‌توان بیان داشت که به غیر از درصد شیب که رابطهٔ خطی (درجهٔ آزادی ۱) با متغیر پاسخ دارد، بقیهٔ متغیرها ارتباطی غیرخطی را نشان می‌دهند.

همچنین در جدول ۲ اهمیت نسبی[3] هر یک از متغیرهای اثرگذار ارائه شده است. اهمیت نسبی، سهم هر یک از متغیرهای پیشگو را در توجیه تغییرپذیری کل (ضریب تبیین) هم به‌صورت انفرادی و هم در ترکیب با سایر متغیرها نشان می‌دهد (Kabacoff, 2011). با مراجعه به این جدول ملاحظه می‌شود که اگر هر یک از متغیرها به صورت انفرادی بررسی شود، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب مهم‌ترین متغیرها در تغییرات توان تولید رویشگاه راش هستند، اما در ترکیب با سایر متغیرها، درصد شیب، تأثیر بیشتری در تغییرپذیری توان تولید دارد.

در شکل ۱ منحنی‌های هموارسازی برای مدل جمعی تعمیم‌یافته که شامل متغیرهای تأثیرگذار بر فرم رویشگاه است، ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود ارتفاع از سطح دریا دارای رابطهٔ کاهنده و با درجه آزادی ۲ است که در آن با افزایش ارتفاع از مقدار متغیر فرم رویشگاه کاسته می‌شود. رابطهٔ وزن مخصوص ظاهری و فرم رویشگاه نیز از نوع کاهندهٔ درجهٔ ۲ است که در آن با افزایش وزن مخصوص ظاهری، ابتدا تأثیر آن در کاهش فرم رویشگاه ناچیز است و سپس شدت می‌یابد. با افزایش نسبت کربن به نیتروژن، توان تولیدی مقداری افزایش می‌یابد و پس از آن روند ثابتی را نشان می‌دهد. درصد شیب دارای رابطهٔ خطی کاهنده با فرم رویشگاه است. رابطهٔ درصد سیلت با فرم رویشگاه در ابتدا مثبت است و سپس کاهنده می‌شود. رطوبت اشباع نیز دارای رابطهٔ منفی با فرم رویشگاه است.

[1] Collinearity Diagnostic Test
[2] Variance Inflation Factor
[3] Relative Importance

www.SID.ir

Archive of SID

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

متغیرهای تبیینی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۰۹۸	۱۴۴۵	۱۲۳۱	۸۴/۶۵
مقدار بار گرمایی	۰/۵	۱/۵	۰/۹۷۵	۰/۳۶۶
شن (درصد)	۱۲	۳۰	۲۰/۳۸	۴/۲۸
سیلت (درصد)	۲۶	۴۶	۳۷/۶۵	۴/۹۹
رس (درصد)	۳۰	۵۶	۴۲/۱	۵/۶۲
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۲۵	۲/۰۵	۱/۵۸	۰/۱۹
مادهٔ آلی (درصد)	۱/۹۵	۸/۸۸	۳/۹۷	۱/۵۸
رطوبت اشباع (درصد)	۴۷/۸۵	۵۶/۰۸	۵۱/۷۰	۱/۵۸
پتاسیم (پی پی ام)	۶	۹۳	۴۸/۴۵	۲۰/۳۴
اسیدیته	۵/۲۱	۷/۵۳	۶	۰/۵۵
شیب (درصد)	۳/۳	۷۲/۵۵	۲۶/۴۷	۱۳/۴۸
شاخص شکل زمین	۰/۰۰۱	۰/۰۹۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۱
فسفر (پی پی ام)	۱۳/۸۶	۳۷/۸۴	۲۵	۵/۴۲
نیتروژن (درصد)	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۲۷	۰/۰۸
C/N	۴/۴۶	۱۸/۶	۸/۳	۲/۴۴

جدول ۲- نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته با متغیرهای معنی‌دار مورد بررسی

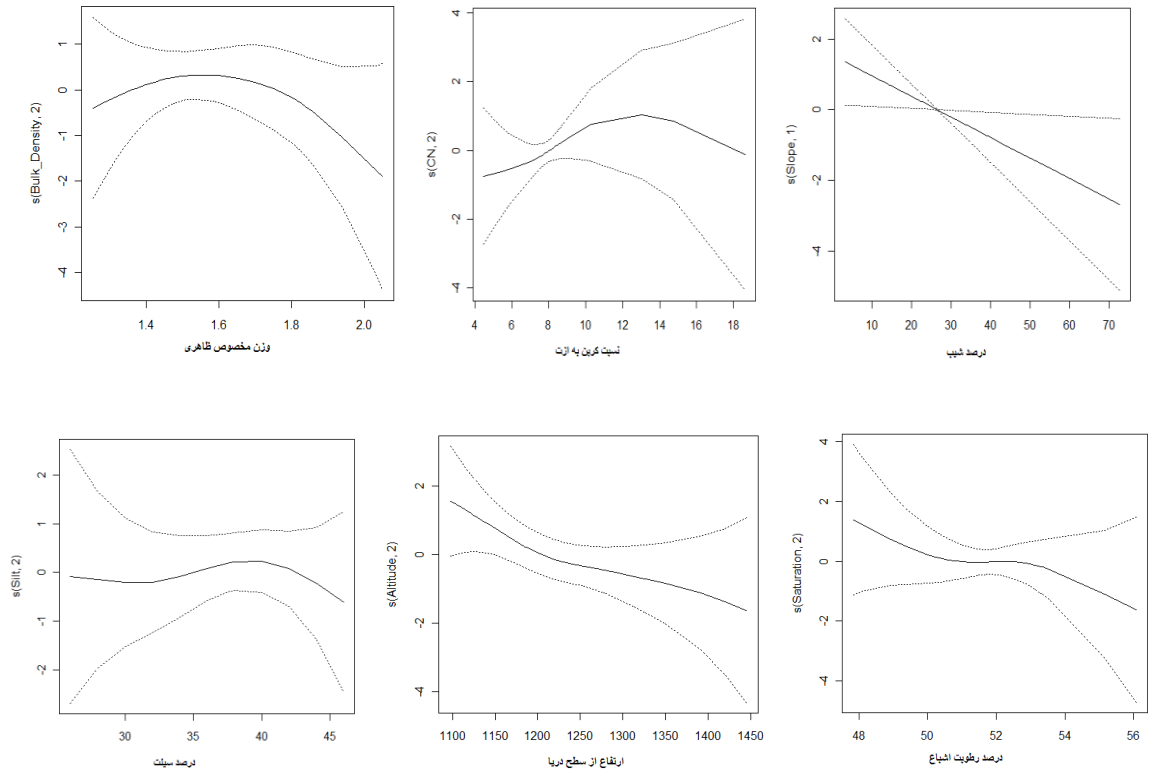
متغیر	درجه آزادی	p-value	اهمیت نسبی انفرادی	اهمیت نسبی ترکیبی
وزن مخصوص ظاهری	۲	۰/۱۱۲	۱۹/۸۲	۱۴/۵۷
ارتفاع از سطح دریا	۲	۰/۰۶۷	۳۰/۶۵	۱۶/۰۰
درصد شیب	۱	۰/۰۰۶	۲۵/۷۱	۲۶/۶۵
درصد سیلت	۲	۰/۰۷۹	۹/۷۰	۵/۵۹
رطوبت اشباع	۲	۰/۱۶۴	۱۹/۷۰	۱۸/۳۲
نسبت C/N	۲	۰/۰۳۹	۱۷/۰۴	۱۸/۸۷

همان‌طور که اشاره شد در این مطالعه با استفاده از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تعدیل‌یافته (R^2_{adj})، مجذور میانگین مربعات خطا[1] (RMSE) و AIC، عملکرد مدل جمعی تعمیم یافته نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته ارزیابی شد. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مدل جمعی تعمیم‌یافته از نظر تمامی معیارهای ارزیابی، عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته دارد.

[1] Root Mean Squared Error

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- نمودار رابطهٔ بین متغیرهای محیطی اثرگذار و معیار فرم رویشگاه با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل برای مدل های خطی و جمعی تعمیم‌یافته

معیارها	AIC	RMSE	R^2 %	R^2_{adj}%
مدل خطی تعمیم‌یافته	۴۰/۵۱	۲/۱۳	۲۸	۲۱
مدل جمعی تعمیم‌یافته	۳۳/۴۱	۱/۶۴	۵۳	۴۶

بحث

هدف از این مطالعه ارزیابی توان تولیدی رویشگاه راش شرقی با استفاده از متغیرهای ادافیکی و فیزیوگرافی و با بهره‌گیری از مدل جمعی تعمیم‌یافته بوده است. نتایج این مطالعه نشان داد که این مدل توانسته است در حدود ۵۳ درصد تغییرات در فرم رویشگاه را توجیه کند که حاکی از کارایی مناسب این مدل در ارزیابی توان رویشگاه نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته است Aertsen *et al.* (2010) نیز مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM) و رگرسیون درختی تقویت‌شده[1] (BRT) را مدل ارجح در مدلسازی توان تولیدی رویشگاه معرفی کردند. تغییرات توجیه‌شده توسط GAM و GLM در مطالعهٔ آنها برای گونهٔ *Pinus brutia* به ترتیب ۶۲ و ۵۲ درصد بوده است.

توان تولیدی رویشگاه حاصل عوامل زنده و غیرزنده و برهمکنش این عوامل در رویشگاه است که

[1] Boosted Regression Tree

www.SID.ir

Archive of SID

فقط برخی از این عوامل قابل شناسایی و اندازه‌گیری است (Herrera *et al.*, 1999). عوامل اقلیمی، خاکی و فیزیوگرافی از جمله متغیرهای اکولوژیک مورد استفاده در بسیاری از مطالعات شاخص توان تولید رویشگاه‌اند (Bravo *et al.*, 2011). در مطالعهٔ حاضر با توجه به در دسترس نبودن متغیرهای اقلیمی، تنها تأثیر عوامل خاکی و فیزیوگرافی بر توان تولیدی رویشگاه بررسی شده است که در آن تعدادی از عوامل خاکی و فیزیوگرافی تاثیر معنی‌داری بر توان تولید رویشگاه راش داشتند. این نتایج با بررسی‌های Hererra *et al.* (1999); Aertsen *et al.* (2011) Herrera-Fernández *et al.* (2004); همخوانی دارد و با نتایج Buda and Wang (2006) که گزارش دادند معیار فرم رویشگاه با متغیرهای محیطی و رویشگاهی همبستگی ندارد، مغایر است.

با توجه به نتایج مطالعهٔ حاضر، شش متغیر وزن مخصوص ظاهری، ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، درصد سیلت، نسبت کربن به نیتروژن و درصد رطوبت اشباع ارتباط معنی‌داری با فرم رویشگاه داشتند. همان‌طور که اشاره شد با توجه به معیار اهمیت نسبی، ارتفاع از سطح دریا به صورت انفرادی مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر توان تولید بوده و در ترکیب با متغیرهای دیگر از اهمیت کمتری برخوردار است. محققان بسیاری به تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر توان تولیدی رویشگاه اشاره کرده‌اند (Fontes *et al.*, 2003; Monserud *et al.*, 1990). در بررسی حاضر نیز با افزایش ارتفاع از سطح دریا، توان تولید رویشگاه گونه راش کاهش پیدا می نماید (شکل ۱). پراکنش گونه‌ها در طول گرادیان ارتفاعی، توسط عوامل متعددی از جمله عوامل اقلیمی و اثرات متقابل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌علاوه ارتفاع از سطح دریا یک گرادیان ترکیبی را نشان می‌دهد که در طول آن متغیرهای محیطی زیادی هم‌زمان تغییر می‌کنند (Austin *et al.*, 1996). کاهش ارتفاع گونهٔ راش و به‌دنبال آن، کاهش توان تولید، در ارتفاعات بالا می‌تواند تا حدودی به دلیل محدودیت‌های اکوفیزیولوژیکی نظیر کاهش فصل رشد، درجه حرارت کم و توان تولید کم اکوسیستم در این ارتفاعات باشد.

عامل شیب، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر توان تولید رویشگاه راش در ترکیب با متغیرهای دیگر بوده است که در این پژوهش رابطه خطی و وارونه با فرم رویشگاه داشت. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Aertsen *et al.* (2010) و Bravo *et al.* (2011) که بیان کردند توان تولیدی گونهٔ کاج با متغیر شیب رابطهٔ عکس دارد، تطابق دارد. در مطالعهٔ Herrera-Fernandez *et al.* (2008) معیار فرم رویشگاه گونهٔ *Vochysia ferruginea* با درصد شیب رابطهٔ معنی‌داری نشان نداد. شیب یک عامل مهم توپوگرافی است که انتظار می‌رود با افزایش شیب دامنه، اتلاف خاک نیز در نتیجهٔ افزایش حجم و سرعت رواناب سطحی و فرسایش افزایش یابد و سبب شود در درازمدت پدیدهٔ خاکسازی کمتر اتفاق افتد. Zingg (1940) نشان داد که میزان فرسایش در واحد سطح با دوبرابر شدن درجهٔ شیب، ۲/۸ برابر افزایش می‌یابد. نکتهٔ دیگری که باید لحاظ شود این است که با توجه به اینکه گونهٔ راش به خاک‌های زهکشی‌شده احتیاج دارد، در اراضی پرشیب و کم شیب ممکن است زهکشی خاک نامناسب باشد که برای حضور گونهٔ راش مطلوب نباشد (Sagheb Talebi, 1996؛ علوی و همکاران، ۱۳۹۰). Harris (2002) نیز اشاره می‌کند خاک خوب‌زهکشی‌شده از نیازهای بنیادی گونهٔ راش است.

در مورد وزن مخصوص ظاهری مشاهده می‌شود که افزایش آن سبب کاهش میزان فرم رویشگاه شده است که با مطالعهٔ Jones (2005) مطابقت دارد. وزن مخصوص ظاهری زیاد که نشان‌دهندهٔ کم بودن تخلخل خاک و فشردگی خاک است، سبب محدود شدن رشد ریشه و حرکت ضعیف آب و هوا در خاک می‌شود. فشردگی می‌تواند منتج به ریشه‌دوانی سطحی و رشد ضعیف گیاه شود (Ruark *et al.*, 1982;

www.SID.ir

Archive of SID

Greacen and Sands, 1980) که ممکن است توان تولید را تحت تأثیر قرار دهد.

در خصوص رطوبت اشباع ملاحظه می‌شود که با افزایش رطوبت، توان تولیدی نیز کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه گونهٔ راش از رطوبت زیاد خاک گریزان است (علوی و همکاران، ۱۳۹۲)، می‌توان استدلال کرد که رطوبت زیاد و در نتیجه، کمبود اکسیژن موجب اختلال در رشد و کاهش توان تولید می‌شود.

نسبت کربن به نیتروژن نیز یکی از متغیرهای بسیار مهم بر فرم رویشگاه بوده است. نتایج مطالعه نشان داد که با افزایش نسبت کربن به نیتروژن، توان تولیدی مقداری افزایش می‌یابد و پس از آن روند ثابتی را نشان می‌دهد. بررسی دقیق‌تر رفتار گونهٔ راش نسبت به این متغیر با افزایش درجه آزادی مدل حاکی از آن است که رابطه‌ای تک‌نمایی بین توان تولید و نسبت کربن به نیتروژن برقرار است و بیشترین توان تولید در دامنهٔ ۱۲-۱۰ رخ می‌دهد که نشان‌دهندهٔ شرایط بهینه برای توان تولید است. نسبت کربن به نیتروژن یکی از شاخص‌های مهم معدنی شدن و حاصلخیزی خاک است که می‌تواند در مورد غنی بودن نیتروژن هوموس و فعالیت خاک‌ها اطلاعاتی ارائه دهد؛ هر چه این نسبت بیشتر باشد، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک محدود می‌شود و عملیات تجزیهٔ لاشبرگ کندتر صورت می‌گیرد و هر چه این نسبت کمتر باشد، عملیات تجزیه راحت‌تر انجام می‌پذیرد (حبیبی‌کاسب، ۱۳۷۱).

آخرین متغیر تأثیرگذار بر توان تولید رویشگاه راش، بافت خاک (درصد سیلت) است. این متغیر کم‌اهمیت‌ترین متغیر تأثیرگذار بر توان تولید در ترکیب با سایر متغیرهاست. بافت خاک که کنترل حرکت آب در خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد، عامل مهمی در پتانسیل فرسایش خاک و در دسترس بودن مواد مغذی است و ازاین‌رو می‌تواند تأثیر زیادی در حاصلخیزی رویشگاه داشته باشد. بررسی دقیق‌تر مدل جمعی تعمیم‌یافته نشان داد که رفتار شاخص توان تولید نسبت به این متغیر، از نوع تک‌نمایی[1] است و حداکثر شاخص توان تولید در درصدهای ۳۵ تا ۴۰ درصد به‌دست می‌آید. افزایش یا کاهش درصد سیلت با افزایش یا کاهش درصد شن و رس همراه خواهد بود که مقادیر زیاد این دو مؤلفه عامل محدودکنندهٔ توان تولید گونهٔ راش است. نتایج مطالعهٔ علوی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که گونهٔ راش از خاک‌های شنی گریزان است. حبیبی‌کاسب (۱۳۵۳) نیز بیان می‌دارد که مقدار سیلت خاک می‌تواند در رویش و ارتفاع درختان راش نقش مؤثری داشته باشد. وی اشاره می‌کند که راش ایران از خاک‌های خیلی رسی گریزان است و بر روی خاک‌های با بافت لیمونی رسی، رسی لیمونی یا رسی، بهترین رشد را دارد. در خاک‌های شنی معمولاً نفوذ آب سریع‌تر و تهویه خوب است، اما ظرفیت ذخیرهٔ عناصر غذایی و نگهداری آب کم است. خاک‌های شنی مادهٔ آلی کمی دارند و خاکدانه در آنها ضعیف است. خاک‌های با اندازهٔ کوچک‌تر دارای خلل و فرج کوچک‌تری هستند و جذب آب کندتری دارند، اما نسبت به خاک‌های شنی ظرفیت نگهداری بیشتری دارند. سنگین بودن خاک با وزن مخصوص ظاهری نیز در ارتباط است که محدودیت‌هایی را برای رشد گیاه ایجاد می‌کند.

در مطالعهٔ حاضر از مدل جمعی تعمیم‌یافته برای بررسی رابطهٔ بین معیار فرم رویشگاه و بعضی متغیرهای محیطی استفاده شد و نتایج بهتری نیز در مقایسه با مدل خطی تعمیم‌یافته به‌دست آمد. از آنجا که توده‌های راش مورد بررسی، ناهمسال و آمیخته‌اند و شرایط رویشگاهی نیز نامتجانس بوده است، از واحدهای فیزیکی زمین و ادافیکی رویشگاه برای ارزیابی و بررسی شاخص توان تولیدی رویشگاه استفاده شده است؛ چرا که در توده‌های یکدست و همسال از منحنی رشد درختان غالب به عنوان معیاری قابل اعتماد برای تعیین پتانسیل تولید توده یا رویشگاه می‌توان استفاده کرد.

[1] Unimodal

www.SID.ir

Archive of SID

در پژوهش حاضر، شاخص توان تولید رویشگاه راش شرقی در یک جنگل آمیخته و ناهمسال راش محاسبه و ارتباط آن با متغیرهای محیطی بررسی شد. بعضی از محققان نظیر Stout and Shumway (1982) از رابطهٔ قطر برابر سینه و ارتفاع درخت برای برآورد کیفیت رویشگاه برای توده‌های خالص و آمیخته همسال نیز استفاده کرده‌اند. شاخص توان تولید براساس رابطهٔ قطر برابرسینه و ارتفاع درخت روشی سریع و آسان در سنجش کیفیت رویشگاه برای توده‌های آمیخته و ناهمسال است. برآورد فرم رویشگاه به این روش زمان‌بر نیست و به اندازه‌گیری سن درخت نیز نیاز ندارد و تنها به قطر و ارتفاع نیاز است که از آماربرداری‌های معمولی به‌دست می‌آید. از طرف دیگر، این شاخص از دو مؤلفهٔ قطر و ارتفاع درخت استفاده می نماید که این مؤلفه‌ها با حجم ،که خود نیز معیار دیگری از توان تولید رویشگاه است، ارتباط دارند. شایان ذکر است که شاخص توان تولید، خاص گونه[1] است اما با میانگین‌گیری شاخص توان تولید برای گونه‌های مختلف در توده می‌توان به میانگین توان تولید رویشگاه دست یافت.

مسئلهٔ مهم دیگر که باید به آن توجه داشت تعیین قطر مرجع است. همان طور که اشاره شد، قطر مرجع تقریباً باید با سن مرجع در منحنی‌های شاخص رویشگاه تطابق داشته باشد که در مطالعهٔ حاضر براساس نظر محققان برجستهٔ کشور قطر مرجع بین ۷۰-۸۰ سانتی‌متر متغیر بوده و از این‌رو مقدار میانگین ۷۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شده است. البته این مسئله نیازمند تحقیقات بیشتر است. پیشنهاد می‌شود برای بررسی مناسب بودن قطر مرجع در نظر گرفته‌شده در این پژوهش از روش ارائه شده توسط González *et al*., 2005) نیز استفاده شود. بدین منظور برای قطرهای مرجع مختلف، خطای نسبی[2] محاسبه و نمودار آن ترسیم شد. براساس نمودار حاصل، قطر مرجعی که کمترین خطای نسبی را داشته باشد، قطر مرجع بهینه در نظر گرفته می‌شود.

شاخص توان تولید برای توده‌های خالص و آمیختهٔ ناهمسال به‌طور معمول براساس رابطهٔ ارتفاع درختان چیره و چیره‌نما و سن (و یا قطر برابرسینه) تعیین می‌شود. یکی از فرضیه‌های بنیادی در اعتبار شاخص توان تولیدی این است که تراکم توده رابطهٔ بین قطر برابرسینه و ارتفاع درختان را در توده های آمیخته و ناهمسال تحت تأثیر قرار ندهد (Huang and Titus, 1993). Stout and Shumway (1982) نتیجه‌گیری کردند که تأثیر تراکم توده بر پتانسیل توان تولید رویشگاه با استفاده از رابطهٔ قطر و ارتفاع حداقل بوده است. مشاهده شده است که افزایش تراکم توده، هم رشد قطری و هم رشد ارتفاعی درختان سوزنی‌برگ جنگل‌های کوه راکی شمالی را کاهش داده است (Wykoff *et al*., 1982). چنانچه ارزیابی توان تولید رویشگاه تنها براساس درختان چیره و چیره‌نما در توده‌ها صورت گیرد، تأثیر تراکم توده بر رابطهٔ قطر و ارتفاع نیز به حداقل می‌رسد. از آنجا که در مطالعهٔ حاضر، معیار فرم رویشگاه براساس قطر برابرسینه و ارتفاع تمامی درختان راش موجود در قطعه نمونه با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر محاسبه شده است، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی رابطهٔ بین قطر برابرسینه و ارتفاع درختان با لحاظ تراکم توده بررسی شود. مطالعه‌ای که رابطهٔ بین فرم رویشگاه و شاخص رویشگاه را نشان دهد نیز برای تعیین دامنهٔ مناسب شرایط توده سودمند خواهد بود.

در پایان باید اشاره کرد که تجزیه‌وتحلیل داده‌های پیچیدهٔ اکولوژیکی نیازمند روش‌های تحلیلی انعطاف‌پذیر و قوی است که بتواند روابط غیر خطی، اثرات متقابل و داده‌های ازدست‌رفته را کنترل کند. علاوه‌بر این، درک و ارائهٔ نتایج توسط این روش‌ها باید ساده و به‌راحتی قابل تفسیر باشد. در سال‌های اخیر انواع روش‌های مدلسازی با استفاده از متغیرهای محیطی، برای پیش‌بینی شاخص توان تولید،

[1] Species-Specific
[2] Relative Error

www.SID.ir

Archive of SID

توسعه‌یافته است، که از آن جمله می‌توان به روش‌های مختلف داده‌کاوی همانند درخت طبقه‌بندی و رگرسیون[1]، جنگل تصادفی[2]، شبکه‌های عصبی[3] و درخت رگرسیون تقویت‌شده[4] اشاره داشت (Berges *et al*., 2005). این روش‌ها که به روش‌های یادگیری ماشین[5] معروف‌اند، در اکولوژی اغلب نسبت به روش‌های دیگر کمتر استفاده شده‌اند (Elith *et al*., 2008). به همین دلیل پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از این روش‌ها در ارزیابی توان تولید استفاده شود. در خاتمه باید خاطرنشان کرد که بیان ریاضی روابط بین متغیرهای محیطی و مشخصه‌های بیولوژیکی و بیوفیزیکی تنها کمکی برای تفسیر مشاهدات میدانی است، زیرا در اکوسیستم‌های جنگلی به‌دلیل پویایی عوامل زیستی، حتی قوی ترین روابط همبستگی نیز چه در مطالعات استاتیک و چه در مطالعات دینامیک نمی‌توانند قطعی فرض شوند.

منابع

بی‌نام، ۱۳۶۹. تعیین درجهٔ مرغوبیت رویشگاه‌های راش در جنگل‌های اسالم، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع (بخش تحقیقات جنگل)، ۴۰ ص.

ثاقب‌طالبی، خسرو، تکتم ساجدی و فرشاد یزدیان، ۱۳۸۳. نگاهی به جنگل‌های ایران، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۲۸ ص.

جعفری حقیقی، مجتبی، ۱۳۸۲. روش‌های تجزیهٔ خاک، انتشارات ندای ضحی، ۲۳۶ ص.

حبیبی‌کاسب، حسین، ۱۳۷۱. مبانی خاک‌شناسی جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۴ ص.

حبیبی‌کاسب، حسین، ۱۳۵۳. بررسی تأثیر بافت خاک در میزان رویش راش ایران، نشریهٔ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳۱: ۶۰-۷۰.

حسینی، سید محسن، خسرو ثاقب‌طالبی، مسلم اکبری‌نیا، و مجید مخدوم، ۱۳۷۹. بررسی روش‌های ارزیابی توان اکولوژیک جنگل، مجلهٔ محیط‌شناسی، ۲۵: ۵۹-۶۶.

فکور، احسان، ۱۳۹۳. ارزیابی توان تولید رویشگاه راش شرقی با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی (درخت تصمیم). پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۷۹ ص.

علوی، سید جلیل، قوام‌الدین زاهدی امیری، رامین رحمانی، محمدرضا مروی مهاجر، بارت مویس و جعفر فتحی، ۱۳۹۰. تعیین مقدار بهینه و دامنهٔ بوم شناختی درخت راش (*Fagus orientalis*) با استفاده از تابع گوسی در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر، مجلهٔ محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، ۶۴ (۴): ۳۹۹-۴۱۵.

علوی، سید جلیل، قوام‌الدین زاهدی امیری، رامین رحمانی، محمدرضا مروی مهاجر، بارت مویس و زهرا نوری، ۱۳۹۲. بررسی واکنش گونهٔ راش به برخی متغیرهای محیطی با استفاده از تابع بتا و مقایسهٔ آن با تابع گوسی (مطالعهٔ موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، مجلهٔ جنگل ایران، ۵ (۲): ۱۶۱-۱۷۱.

صالحی، مسعود، حبیبه وزیری‌نسب، معصومه خوشگام و نسرین رفعتی، ۱۳۹۱. به‌کارگیری مدل جمعی‌تعمیم‌یافته در تعیین نوع ارتباط عوامل خطر رتینوپاتی در بیماران دیابتی شهر تهران، مجلهٔ علوم پزشکی رازی، ۱۹ (۹۷): ۱-۹.

Aertsen, W., V. Kint, K. Von Wilpert, D. Zirlewagen, B. Muys, and J. Van Orshoven, 2012. Comparison of location-based, attribute-based and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity, *Forestry*, 85 :539–550.

Aertsen, W., V. Kint, B. De Vos, J. Deckers, J. Van Orshoven, and B. Muys, 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., V. Kint, B. De Vos, J. Deckers, J. Van Orshoven, and B. Muys, 2012. Predicting forest site productivity in temperate lowland from forest floor, soil and litterfall characteristics using boosted regression trees, *Plant and Soil*, 354(1-2): 157-172.

[1] Classification and Regression Trees (CART)
[2] Random Forest
[3] Artificial Neural Networks (ANN)
[4] Boosted Regression Trees (BRT)
[5] Machine Learning

www.SID.ir

Archive of SID

Ahmadi, K., S.J. Alavi, M.Tabari Kouchaksaraei, and W. Aertsen, 2013. Non-linear height-diameter models for oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran, *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement Journal*, 17(3):431-440.

Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification, *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 19(6): 716-723.

Austin, M.P., J.G. Pausas, and A. Nicholls, 1996. Patterns of tree species richness in relation to environment in southeastern New South Wales, Australia, *Australian Journal of Ecology*, *21*(2), 154-164.

Bergès, L., R. Chevalier, Y. Dumas, A. Franc, and J.M, Gilbert, 2005. Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) site index variations in relation to climate, topography and soil in even-aged high-forest stands in northern France. *Annals of Forest Science*, *62*(5), 391-402.

Bravo, F., M. Lucà, R. Mercurio, M. Sidari, and A. Muscolo, 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 G. Montero, 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.

Buda, N.J., and J.R. Wang, 2006. Suitability of two methods of evaluating site quality for sugar maple in central Ontario, *The Forestry Chronicle*, 82(5): 733-744.

Clutter, J., J.C. Fortson, L.V. Pienaar, G.H. Brister, and R.L. Bailey, 1983. Timber management: a quantitative approach, John Wiley New York, 333 pp.

Dawson, C.W., R.J. Abrahart, and L.M. See, 2007. HydroTest: a web-based toolbox of evaluation metrics for the standardized assessment of hydrological forecasts, *Environmental Modelling and Software*, *22*(7): 1034-1052.

Draper, N., H. Smith, 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons, New York.

Durkaya, B., and A. Durkaya, 2007. Site Index for Mixed Stands of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*), Uludağ fir (Abies bornmülleriana Mattf.) and Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Zonguldak Forest District, *Bartin Orman Fakultesi Dergisi*, 9: 26-34.

Elith, J., J.R. Leathwick, and T. Hastie, 2008. A working guide to boosted regression trees, *Journal of Animal Ecology*, *77*(4), 802-813.

Fontes, L., M. Tome, F. Thompson, A. Yeomans, J.S. Luis, and P. Savill, 2003. Modelling the Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) site index from site factors in Portugal, *Forestry*, 76(5): 491-507.

González, J.G.Á., A.D.R. González, R.R. Soalleiro, and M.B. Anta, 2005. Ecoregional site index models for *Pinus pinaster* in Galicia (northwestern Spain), *Annals of Forest Science*, 62(2): 115-127.

Greacen, E.L., and R. Sands, 1980. Compaction of forest soils. A review, *Soil Research*, 18(2): 163-189.

Guisan, A., J. Edwards, and T.J. Hastie, 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene, *Ecological Modeling*, 157(2): 89-100.

Harris, E., 2002. Goodbye to Beech? Farewell to Fagus, *Quarterly Journal of Forestry*, 96(2): 97.

Hastie, T., and R. Tibshirani, 1986. Generalized Additive Model, *Statistical Science*, 1(3):297-318.

Hastie, T., and R. Tibshirani, 1990. Non-parametric logistic and proportional odds regression, *Applied statistics*, 260-276.

Herrera B.J., J. Campos, B. Finegan, and A. Alvarado, 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.

www.SID.ir

Herrera-Fernández, B., J.J. Campos, and C. Kleinn, 2004. Site productivity estimation using height-diameter relationships in Costa Rican secondary forests, *Investigación Agraria, Sistemasy Recursos Forestales*, 13 (2): 295-303.

Huang, S., and S.J. Titus, 1993. An index of site productivity for uneven-aged or mixed-species stands, *Canadian Journal of Forest Research*, *23*(3): 558-562.

Husch, B., T.W. Beers, and J.A. Kershaw, 2003. Forest Mensuration, John Wiley and Sons, 443 p.

Jones, A.T., 2005. Site Quality Classification for Mapping Forest Productivity Potential on Mine Soils in the Appalachian Coalfield Region. M.S. Thesis. Virginia Tech. 305 pp.

Kabacoff, R., 2011. *R in Action*. Manning Publications Co., 447 pp.

Knudby, A., A. Brenning, and E. LeDrew, 2010. New approaches to modelling fish–habitat relationships, *Ecological Modelling*, *221*(3): 503-511.

Lehmann, A., J.M.C. Overton and J.R. Leathwick, 2002. GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction, *Ecological Modeling*, 157(2): 189-207.

McCune, B., and D. Keon, 2002. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load, *Journal of Vegetation Science*, *13*(4): 603-606.

McLintock, M.J., and C.A. Bickford, 1957. A proposed site index for red spruce in the northeast, Northeastern Forest Experiment Station Publication, 30 pp.

McNab, W.H., 2010. Effects of landform on site index for two mesophytic tree species in the Appalachian Mountains of North Carolina, USA, *International Journal of Forestry Research*, 10: 1-7.

Monserud, R.A., U. Moody, and D.W. Breuer, 1990. A soil-site study for inland Douglas-fir, *Canadian Journal of Forest Research*, 20(6): 686-695.

Ruark, G.A., D.L. Mader, and T.A, Tatter, 1982. A composite sampling technique to assess urban soils under roadside trees [to determine effects of stress, sugar maples, *Acer saccharum*], *Journal of Arboriculture*, 8(6): 96-99.

Sagheb Talebi, K., 1996. Quantitative und qualitative Merkmale von Buchenjungwüchsen (*Fagus sylvatica* L.) unter dem Einfluss des Lichtes und anderer Standortsfaktoren, Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen (SZF), Nr. 78. 219p.

Schafer, G., 1989. Site indicator species for predicting productivity of pine plantations in the southern Cape, *South African Forestry Journal*, 148(1): 7-17.

Schönau, A., and W. Aldworth, 1991. Site evaluation in black wattle with special reference to soil factors, *South African Forestry Journal*, 156(1): 35-43.

Stout, B.B., and D.L. Shumway, 1982. Site quality estimation using height and diameter, *Forest Science*, 28: 639-645.

Vanclay, J.K., 1992. Assessing site productivity in tropical moist forests: a review, *Forest Ecology and Management*, 54(1): 257-287.

Vanclay, J.K., and N.B. Henry, 1988. Assessing site productivity of indigenous cypress pine forest in southern Queensland, *Commonwealth Forestry Review*, 67(1): 53.

Wykoff, W.R., N.L. Crookston, and A.R. Stage, 1982. User's guide to the stand prognosis model. General Technical Report, GTR-INT-133. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 112 p.

Zingg, A.W., 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in run-off. *Agricultural, Engineering*, *21*, 59-64.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of oriental beech (*Fagus orientalis* L.) site productivity using generalized additive model (Case study: Tarbiat Modares University Forest Research Station)

K. Ahmadi[1], S.J. Alavi[2*], and M. Tabari Kouchaksaraei[3]

[1]PhD.Student of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran.
[2]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, I. R. Iran.
[3] Prof., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, I. R. Iran.

(Received: 7 December 2013, Accepted: 23 December 2014)

Abstract

Site productivity is a key indicator of forest ecosystem; therefore it is an important criterion for forest manager for estimating the yield, annual exploitation and growth, and choosing the most suitable tree species for sites as well. In this study site form index which is the most reliable criterion for evaluating site productivity of mixed and uneven stands was used. A random-systematic sampling method was used to locate 43 0.1 ha circular sample plots in beech dominated forests. The height and diameter of *Fagus orientalis* Lipsky trees with DBH $\geq$ 7.5 cm within each plot was recorded along with elevation, azimuth and slope of the ground. Also, at the center of plot, soil samples from first layer (0-10 cm) were taken for analyzing several soil variables. Evaluation of site productivity by using generalized additive models in GRASP package in R 2.9.2 software showed that 53% of variability in oriental beech productivity could be justified using environmental variables. Bulk density, altitude, percent of slope, percent of silt, carbon to nitrogen ratio and saturation are among the significant variables affecting the site form. By using relative importance criterion, the alone contribution showed altitude had the dominant role, but the overall contribution of the slope percent was the highest in relation to other variables. Using AIC, RMSE, R squared and adjusted R squared showed GAM performs better than GLM.

Keywords: Generalized additive model, Generalized linear model, Oriental beech, Site form, Site productivity.

[*] Corresponding author Tel: 09111580097 Email: j.alavi@modares.ac.ir
www.SID.ir