مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال دهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۷
ص ۵۰۱-۵۱۵

بررسی عوامل مؤثر بر رویش قطری و مرگ‌ومیر تک‌درختان در تودهٔ ناهمسال

ابوطالب صالح نسب[۱*]، منوچهر نمیرانیان[۲]، محمود امید[۳] و آرزو سلطانی[۴]

[۱] دانشجو دکتری، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
[۲] استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
[۳] استاد، گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تهران، کرج
[۴] استادیار، دانشگاه علوم زیستی نروژ، نروژ

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۹)

چکیده

امروزه اهمیت مدل‌های رویشی به‌عنوان ابزار مهم مدیریتی و عوامل مؤثر بر آنها بر کسی پوشیده نیست. بنابراین در تحقیق حاضر به بررسی عوامل مؤثر بر مدل‌های رویشی پرداخته شده است. بدین منظور از داده‌های ۲۵۶ قطعه نمونهٔ دائمی جنگل خیرود مربوط به سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۱ استفاده شد. ابتدا، ارتباط عوامل فیزیوگرافی شامل شیب، جهت و ارتفاع با حاصلخیزی رویشگاه برای گونهٔ راش با استفاده از یک مدل رگرسیونی تجربی به‌دست آمد. سپس عوامل مؤثر بر رویش قطری و مرگ‌ومیر تک‌درختان با استفاده از روابط رگرسیونی بررسی شد. همچنین به‌منظور درک بهتر اثرگذاری عوامل مذکور، گونه‌های درختی به چهار گروه راش، ممرز، بلندمازو و سایر گونه‌ها تفکیک شدند. به‌منظور ارزیابی مدل از سه آمارهٔ RMSE، MBE و ضریب کارایی استفاده شد. نتایج نشان داد که رابطهٔ شاخص حاصلخیزی با سه عامل جهت، شیب و ارتفاع از سطح دریا به‌ترتیب به‌صورت سینوسی، کاهشی، ابتدا افزایش و سپس کاهشی است. همچنین، رفتار شاخص‌های تحت بررسی در ارتباط با گونه‌های درختی مختلف، متفاوت بود. به‌عنوان نمونه در مدل رویش قطری گونهٔ راش همهٔ شاخص‌های یادشده به‌جز شاخص حاصلخیزی و تنوع شانون- وینر اثر معنی‌دار داشتند و استفاده از این شاخص‌ها برای گونهٔ راش، موجب کاهش خطا و اریبی و افزایش کارایی مدل شد. مدل مرگ‌ومیر نیز با درصد پیش‌بینی صحیح زیاد ارائه شد. به‌طور کلی تحقیق حاضر نشان داد که رابطهٔ مدل‌های رویشی با شاخص‌های مختلف پیچیدگی زیادی دارد و باید تحقیقات بیشتری انجام پذیرد.

واژه‌های کلیدی: بخش گرازبن، حاصلخیزی، عوامل فیزیوگرافی، مدل رویشی.

مقدمه

ایران جزء کشورهای با پوشش جنگلی کم است و در بین ۵۶ کشور دارای پوشش جنگلی، رتبهٔ ۴۵ را دارد. سرانهٔ هر ایرانی از جنگل ۰/۲ هکتار است که با سرانهٔ جهانی ۰/۸ هکتار فاصله دارد (Mafi & Moharamnezhad, 2006). کم بودن سرانهٔ جنگل و از طرفی دیدگاه توسعهٔ پایدار اهمیت مدیریت پایدار جنگل را بیشتر کرده است. بهره‌برداری اصولی از منابع جنگلی و حفظ آنها با رعایت اصول علمی و در نظر گرفتن اهداف عمومی و اختصاصی جنگلداری قابل تحقق است و در این خصوص یکی از مهم‌ترین اصولی که باید به آن توجه شود، اصل مدیریت پایدار است (Jokar et al., 2012). امروزه در سطح جهانی نیز برنامه‌ریزی جنگل با نگاه جدی به

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۳۶۷۴۶۳۴۶۵
ایمیل: a_salehnasab@ut.ac.ir

مفهوم مدیریت پایدار جنگل انجام می‌گیرد؛ یعنی منابع و اراضی جنگلی باید چنان مدیریت شوند که از جنبهٔ اکولوژیک همیشه زنده و پایدار باشند و بتوانند نیازهای اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی نسل‌های فعلی و آینده را تأمین کنند (Amani, 2000).

مدل‌های رشد نه‌تنها تغییرات در جنگل را نشان می‌دهند، بلکه ابزار تسهیل‌کنندهٔ فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار جنگل نیز هستند (Rayner & Turner, 1990). پیش‌بینی میزان رویش و محصول تودهٔ جنگلی تحت سناریوهای مختلف مدیریتی یکی از عناصر مهم توسعهٔ پایدار است (Kimmins, 1998). در واقع مدل‌های رشد جنگل از نمودارهای ابتدایی ساده تا مدل‌های پیچیده کامپیوتری از ابزارهای مهم مدیریتی هستند (Porte & Bartelink, 2002). به‌عنوان مثال در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت سطوح عملیاتی جهت بهره‌برداری با استفاده از اطلاعات حاصل از آماربرداری تعیین می‌شود. همچنین در برنامه‌ریزی بلندمدت به‌منظور تنظیم و پیش‌بینی محصول، باید واکنش جنگل به تغییر مشخصه‌هایی چون ترکیب و ساختار توده شبیه‌سازی شوند. بنابراین برای برنامه‌ریزی دقیق و کارا به اطلاعات جامعی از وضعیت جنگل نیاز است (Kariuke, 2002).

به‌منظور توسعهٔ مدل رشد، شناخت عوامل مؤثر بر آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در مدل‌های تک‌درخت مانند رویش و زنده‌مانی، درخت به‌عنوان واحد اصلی در کنار دیگر فاکتورهای رقابتی از جمله حاصلخیزی رویشگاه مورد توجه قرار می‌گیرد (Reis et al., 2016). عوامل مؤثر بر توان تولید یک رویشگاه را می‌توان به چهار گروه اقلیمی، خاکی، فیزیوگرافی و ژنتیکی دسته‌بندی کرد. بدیهی است که تغییر این عوامل، تغییر کیفیت رویشگاه و توان تولید (رویش) را به‌همراه خواهد داشت که در ترکیب گونه‌ای و الگوهای رشد نمود می‌یابد (Vanclay, 1994). توان تولید به ویژگی‌های اکولوژیک سرزمین مانند خاک، میکروکلیما، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت جغرافیایی وابسته است (Hosseini, 2000).

سه عامل شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا جایگزین بسیار خوبی برای توزیع مکانی و دمایی فاکتورهای مؤثر (مانند تابش، بارندگی و دما) بر حاصلخیزی به‌ویژه در جنگل‌های ناخالص هستند. در مدل‌های پیش‌بینی‌کننده به‌خوبی می‌توان با اثر دادن عوامل فیزیوگرافی، وضعیت حاصلخیزی و ترکیب گونه‌ای گذشته یا حال را (حتی در مناطقی که اطلاعات آنها موجود نیست) استخراج کرد (Stage & Salas, 2007).

به‌علت اختلاط گونه‌ای و ناهمسال بودن جنگل‌های شمال، از شاخص‌های رقابتی تنوع گونه‌ای و تنوع اندازه نیز می‌توان استفاده کرد. لذا با اثر دادن شاخص‌هایی چون تنوع گونه‌ای، اندازهٔ درختان (Liang et al., 2007) و شاخص حاصلخیزی (که خود معرف وضعیت فیزیوگرافی منطقه است)، در صورت معنی‌دار بودن می‌توان مدل رشد قطری تک‌درخت دقیق‌تری ارائه داد. نوعی همبستگی مثبت بین حاصلخیزی رویشگاه و تنوع در اکوسیستم‌های زمینی مختلف مشاهده شده است، اما این رابطه ممکن است به وضعیت زمین و تنوع مختلف گونه‌ای یا مقیاس مکانی وابسته باشد (Loreau et al., 2003). بنابراین نمی‌توان گفت این رابطه برای انواع اکوسیستم‌های زمینی با وضعیت متفاوت یکسان باشد (Cardinale et al., 2004). در مورد اکوسیستم‌های جنگلی، به‌علت پیچیدگی و طولانی بودن چرخهٔ زندگی، مطالعات کمی در زمینهٔ اثر تنوع زیستی بر حاصلخیزی و رویش درختان انجام گرفته است (Vila` et al., 2003; Liang et al., 2007). تنوع تودهٔ جنگلی به‌تنهایی با تنوع گونه‌ای درختان تعریف نمی‌شود. تنوع ساختاری در نتیجهٔ زادآوری حاصل از درختان با اندازه مختلف نیز باید در نظر گرفته شود. این خصوصیت را می‌توان به‌صورت تنوع اندازهٔ

درختان کمّی کرد؛ زیرا اندازهٔ درختان در دریافت میزان نور و بارندگی توسط درختان زیرین مؤثر خواهد بود (Liang et al, 2007) که بدین ترتیب بر حاصلخیزی اکوسیستم‌های جنگلی اثر می‌گذارد (Smith et al., 1997).

در زمینهٔ مدل‌های رشد توده‌های ناهمسال، مطالعات متعددی در داخل و خارج انجام گرفته است (liang et al., 2007, Bayat et al., 2014, Lhotka, 2017). در تحقیقی برای جنگل‌های بلوط مدل تک‌درخت، شاخص‌های مؤثر بر رویش قطری، اندازهٔ درخت، سطح مقطع، قطر درخت، موجودی حجمی و شاخص رویشگاه عنوان شدند (Lhotka, 2017). مدل‌های رویش و محصول جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال شمال ایران بررسی شده و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رویش قطر، لگاریتم طبیعی قطر و سطح مقطع قطورترین درختان بیان شده است. در این تحقیق نیز با استفاده از آنالیز رگرسیون لجستیک، مدل مرگ‌ومیر ارائه شد که در نتیجهٔ آن مهم‌ترین عامل کاهش زنده‌مانی، افزایش رقابت (سطح مقطع قطورترین) عنوان شد و همچنین گونهٔ ممرز دارای بیشترین احتمال مرگ‌ومیر بود (Bayat et al., 2014). همچنین در تحقیق دیگری شاخص تنوع زیستی و تنوع اندازه نیز به‌عنوان عوامل مؤثر بر رویش، مرگ‌ومیر و زادآوری معرفی شده‌اند و نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش تنوع اندازه و تنوع گونه‌ای رویش سطح مقطع کاهش می‌یابد، ولی زادآوری و مرگ‌ومیر همبستگی با تنوع نشان ندادند (Liang et al., 2007). در تحقیق Vila et al. (2003) رابطهٔ بین حاصلخیزی- تنوع معنی‌دار و در تحقیق دیگر (Liang et al., 2005) این دو رابطه معنی‌دار نبودند. در پژوهشی دیگر با هدف بررسی پویایی و مدیریت در جنگل‌های مخلوط و ناهمسال بوره‌آل با استفاده از مدل رشد ماتریسی، شاخص حاصلخیزی توده یکی از عوامل مؤثر بر رویش قطری عنوان شد (Liang, 2010).

نتایج تحقیق Ahmadi et al. (2015) نشان داد که 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 ۵۳ درصد تغییرات توان تولیدی را می‌توان با استفاده از این متغیرها تبیین کرد. همچنین به‌کارگیری معیار اهمیت نسبی نشان داد ارتفاع از سطح دریا به‌تنهایی و درصد شیب در ترکیب با سایر متغیرها مهم‌ترین عوامل در تغییرات توان تولید به‌شمار می‌روند. در این تحقیق با کاهش شیب و ارتفاع از سطح دریا (حد پایین ارتفاع ۱۱۰۰ متری) توان تولید رویشگاه کاهش می‌یابد. بنابر آنچه گفته شد، تحقیقات مختلف برای ارائهٔ مدل‌های رویش از شاخص‌های متنوعی استفاده کرده‌اند، که برخی از این شاخص‌ها اثر معنی‌داری بر رویش داشتند. تاکنون اثر شاخص‌های یادشده به‌طور جامع بر مدل‌های رویشی در جنگل‌های هیرکانی بررسی نشده است.

از این‌رو هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی اثر عوامل قطر، لگاریتم طبیعی قطر و سطح مقطع قطورترین، شاخص‌های تنوع گونه‌ای، تنوع اندازه، حاصلخیزی رویشگاه و سطح مقطع متوسط بر مدل تک‌درخت (رویش قطری و مرگ‌ومیر) در جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود است.

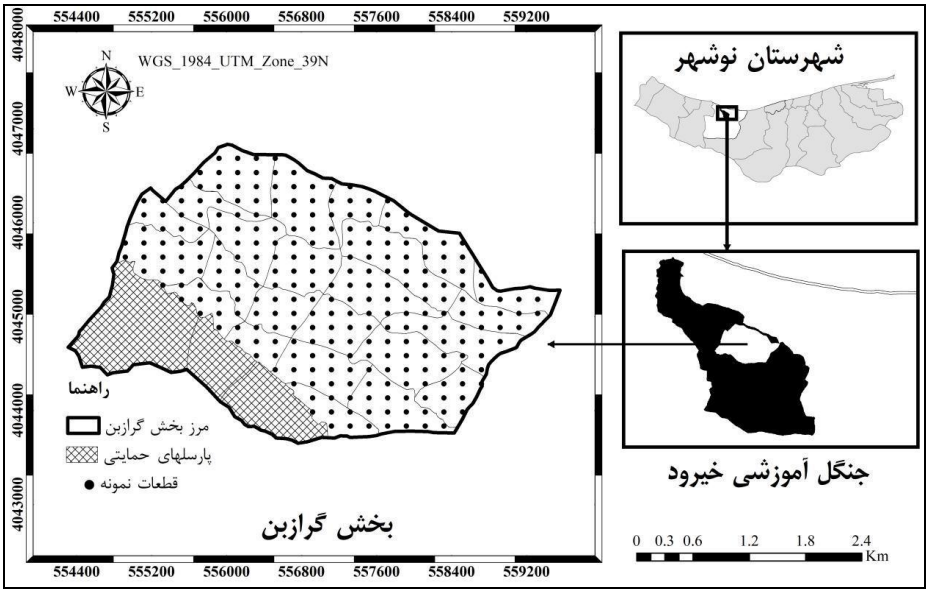
مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود در حوضهٔ آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال ایران، در هفت کیلومتری شرق شهرستان نوشهر در استان مازندران قرار دارد. دامنهٔ گسترش این جنگل از ارتفاع حدود صفر تا ۲۰۰۰ متری از سطح دریاست. این منطقه در دسته‌بندی طرح جنگلداری به هشت بخش از جمله بخش گرازبن تفکیک شده است (Bayat et al., 2014).

بخش گرازبن به وسعت ۹۳۴/۲۴ هکتار، سومین بخش از جنگل خیرود است (شکل ۱). این بخش در

دامنهٔ طول جغرافیایی "۳۰ ' ۳۶ °۵۱ تا "۳۰ '۳۹ °۵۱ و عرض جغرافیایی "۰' ۳۲ °۳۶ تا "۰ ' ۳۴ °۳۶ قرار دارد و از نظر زمین‌شناسی، سنگ مادر آن آهکی و بر اساس نقشهٔ وزارت نفت، متعلق به دوران ژوراسیک علیا است که در بعضی از نقاط، طبقه‌های سخت شکافدار و طبقه‌های نرم به‌طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. این بخش از شمال به یال جنوبی جنگل چلک و چلندر (حوزهٔ ۴۶)، از شرق به جنگل‌های بخش چلیر، از جنوب به رودخانهٔ خیرود و سری دارنو جنگل و از غرب به جنگل‌های بخش نم‌خانه محدود است. جهت عمومی این بخش شمالی- جنوبی و حداقل و حداکثر ارتفاع ۱۳۵۰-۸۴۰ متر از سطح دریاست. خاک این بخش در دسته‌بندی کلی جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است. گونه‌های درختی این بخش، با توجه آماربرداری صورت‌گرفته شامل گونه‌های راش (*Fagus orientalis*)، بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، شیردار (*Acer cappadocicum*)، افراپلت (*Acer velutinum*)، توسکا (*Alnus subcordata*) و نمدار (*Tilia begonifolia*) بودند (Bayat et al., 2014).



شکل ۱- منطقهٔ تحقیق

روش پژوهش

داده‌های استفاده‌شده در مدل‌سازی، از دو دورهٔ آماربرداری (۱۳۸۲ و ۱۳۹۱) با قطعات نمونهٔ ثابت به‌دست آمدند. در سال ۱۳۸۲ به‌کمک یک شبکهٔ آماربرداری مستطیلی ۲۰۰×۱۵۰ متری (الگوی دستگاه اجرایی) و با یک شروع تصادفی، ۲۵۶ قطعه نمونهٔ دائمی دایره‌شکل به مساحت ۱۰ آر، به‌طور منظم- تصادفی در سطح بخش گرازبن پراکنده شدند. در داخل قطعات نمونه، قطر در ارتفاع برابرسینهٔ همهٔ درختان زندهٔ دارای قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر، به‌کمک خط‌کش دوبازو اندازه‌گیری و مقدار آنها در طبقه‌های یک سانتی‌متری در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شد. همچنین مقدار شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا قطعات نمونه ثبت شد. محل اندازه‌گیری قطر درختان از طریق رنگ قرمز مشخص شد. این عملیات پس از گذشت نه سال از نو تکرار شد (Bayat et al., 2014).

با استفاده از داده‌های حاصل از آماربرداری شاخص‌های استفاده‌شده در فرایند مدل‌سازی برآورد شد. به‌منظور اثر دادن عوامل فیزیوگرافی، از طریق

رابطهٔ ۱، شاخص حاصلخیزی برای قطعه نمونه‌ها برآورد شده و به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در توسعهٔ مدل‌های رویشی استفاده شد. در ادامه نحوهٔ برآورد این شاخص به‌همراه دو شاخص تنوع گونه‌ای و تنوع اندازه شرح داده شده است.

- توسعهٔ مدل فیزیوگرافی

به‌منظور توسعهٔ این مدل (Stage & Salas, 2007; Liang, 2010) با استفاده از آنالیز رگرسیون، ضرایب رابطهٔ ۱ برآورد شد.

رابطهٔ ۱
$$\tau(s,\alpha,z)=s[c_1+c_2\cos(\alpha)+c_3\sin(\alpha)\ ]+\ln(z+1).s[c_4+c_5\cos(\alpha)+c_6\sin(\alpha)]+z^2.s[c_7+c_8\cos(\alpha)+c_9\sin(\alpha)]+c_{10}z+c_{11}z^2$$

s مقدار شیب برحسب درصد، α مقدار آزیموت جهت، z ارتفاع از سطح دریا برحسب کیلومتر، c ضرایب برآوردی رابطه و π شاخص حاصلخیزی است.

به‌منظور بررسی اثر فیزیوگرافی به‌عنوان جایگزین مناسب اقلیم (Stage & Salas, 2007) بر رویش گونهٔ راش، ابتدا سه متغیر شیب، جهت و ارتفاع به‌عنوان معرف حاصلخیزی رویشگاه (Liang, 2010) برای هر قطعه نمونه اندازه‌گیری شد. همچنین داده‌های شاخص حاصلخیزی ۷۸ قطعه نمونه از نتایج مطالعهٔ برآورد ارزش مالی جنگل‌های هیرکانی با توجه به کیفیت رویشگاه در بخش گرازبن جنگل خیرود برای گونهٔ راش (Hendukolaie, 2016) به‌عنوان متغیر وابسته (π) در رابطهٔ ۱ وارد شده و ضرایب رابطهٔ (c) برآورد شد. بنابراین مقادیر شاخص حاصلخیزی برای ۲۵۶ قطعه نمونهٔ دیگر حاصل شد. در نهایت مقادیر شاخص حاصلخیزی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مؤثر همانند شاخص‌های دیگر در رابطهٔ رویش قطری گونهٔ راش وارد شده و ضرایب آن (در صورت بهبود مدل و معنی‌داری) برآورد شد. به‌علت نداشتن مقدار این شاخص برای گونه‌های دیگر درختی، این شاخص فقط در مدل رویش قطری گونهٔ راش بررسی شد.

- برآورد شاخص رقابتی تنوع اندازهٔ درخت و تنوع گونه‌ای

در این بخش از تحقیق، به‌منظور بررسی اثر تنوع گونه‌ای و تنوع اندازهٔ درختان بر مدل رویش و مرگ‌ومیر تک‌درخت، دو شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر (رابطهٔ ۲) و تنوع اندازه (رابطهٔ ۳) برآورد شد. در این مطالعه از شاخص شانون-وینر[1] استفاده شد، زیرا در این شاخص، هم غنا و هم یکنواختی در نظر گرفته می‌شود (Liang, 2007).

رابطهٔ ۲
$$H_s=-\sum_{i=1}^{n_s}\frac{B_i}{B}\ln\left(\frac{B_i}{B}\right)$$

رابطهٔ ۳
$$H_d=-\sum_{j=1}^{n_d}\frac{Bj}{B}\ln\left(\frac{Bj}{B}\right)$$

B، B_i، B_j، n_s، n_d به‌ترتیب نمایانگر سطح مقطع کل توده، سطح مقطع درخت گونهٔ i، سطح مقطع درختان با طبقهٔ قطری j، تعداد درخت هر گونه i، تعداد درختان با طبقهٔ قطری j است.

- توسعهٔ مدل تک‌درخت

ازآنجا که در حدود ۸۰ درصد از درختان تحت بررسی، از دو گونهٔ راش و ممرز بودند، به‌منظور توسعهٔ مدل تک‌درخت، گونه‌های درختی به چهار گروه راش، ممرز، بلندمازو و سایر گونه‌ها (شامل توسکا، شیردار، افراپلت و نمدار) دسته‌بندی شدند. گونهٔ بلندمازو با وجود تعداد کم، به‌علت تفاوت زیاد رویش قطری (Bayat et al., 2014)، از گونه‌های دیگر تفکیک شد. در مدل‌سازی غیرخطی سیستم‌های بیولوژیکی، انتخاب توابع ریاضی و روش‌های برآورد پارامتر مشکل است؛ زیرا در استفاده از مدل‌های غیرخطی، باید درک کمّی و واضحی از روابط متغیرها با یکدیگر داشت. رابطهٔ دقیق بین رشد درخت و متغیرهای بیولوژیکی که هنوز ناشناخته است، اغلب غیرخطی‌اند و ایجاد ارتباط مستقیم بین متغیرهای فیزیکی و رشد درخت به‌دلیل پیچیدگی روابط با استفاده از

1. Shannon-Wiener index

رگرسیون سادهٔ خطی با مشکل مواجه است. به‌طور مثال رشد درخت تابعی از خصوصیات بیوفیزیکی رویشگاه شامل نور، دمای هوا و خاک، مواد غذایی و خاک و آب است (Woollons et al., 1997). بنابراین برای مدل تک‌درخت رویش قطری، از مدل‌های غیرخطی (مدل‌های رگرسیونی لگاریتمی تبدیلی) استفاده شد. همچنین برای مدل مرگ‌ومیر، از مدل لجستیک با آنالیز رگرسیون لجستیک استفاده شد (Bayat et al., 2014).

روش تحلیل

به‌منظور انتخاب بهترین مدل رویش قطری گونه‌ها، به‌صورت آزمون و خطا، ترکیب‌های مختلف از عوامل مؤثر بر رویش قطری در فرایند مدل‌سازی استفاده شد و پس از بررسی معنی‌دار بودن ضرایب مدل حاصل، در نهایت، بر اساس آمارهٔ جذر میانگین مربعات خطا[1] (RMSE)، تفسیر بصری (Bayat et al., 2014)، میانگین خطای اریبی[2] (MBE) و ضریب کارایی Nash و Sutcliffe's (E)، بهترین مدل رویش قطری هر گروه انتخاب شد. برای انتخاب بهترین مدل مرگ‌ومیر (رگرسیون لجستیک)، نیز فرایند یادشده انجام گرفت و به‌منظور انتخاب بهترین مدل، از آمارهٔ میانگین مربعات خطای مدل، درصد صحیح پیش‌بینی و معنی‌دار بودن ضرایب مدل استفاده شد (Bayat et al., 2014). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای IBM SPSS Statistics نسخهٔ ۲۲ و اکسل تجزیه‌وتحلیل شدند.

نتایج

-رابطهٔ شاخص حاصلخیزی گونهٔ راش با فیزیوگرافی

ضرایب رابطهٔ ۴، ارتباط شاخص حاصلخیزی با سه عامل شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا را نشان می‌دهد. ضریب تعیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطای این رابطه به‌ترتیب ۰/۳۱ و ۲/۸۹ برآورد شد. به‌منظور درک بهتر این مدل، رابطهٔ هر یک از سه عامل شیب، جهت و ارتفاع در شکل ۲ ارائه شده است. بر اساس رابطهٔ ۴، بیشترین حاصلخیزی متعلق به ارتفاع ۱۲۴۰ متری از سطح دریا، جهت‌های شمالی و جنوبی و تا حدودی سطوح با شیب‌های کمتر است. البته ذکر چنین موضوعی، آن هم با پیچیدگی‌های فراوان اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه جنگل به‌طور مطلق صحیح نیست. با وجود این می‌توان گفت که مزیت رابطهٔ ۴، برآورد مقدار شاخص حاصلخیزی با در نظر گرفتن همزمان هر سه عامل فیزیوگرافی است.

رابطهٔ ۴
$$\tau(s,\alpha,z)=s[-۰/۵۱۷۱+۰/۲۸۷۹\cos(\alpha)+۰/۳۱۵۱\sin(\alpha)]$$
$$+\ln(z+۱).s[۰/۹۸۴۲-۰/۵۶۲۴\cos(\alpha)-۰/۶۳۷۹\sin(\alpha)]$$
$$+z^{۲}.s[-۰/۱۷۹۵+۰/۱۰۶۴\cos(\alpha)+۰/۱۲۸۴\sin(\alpha)]+۰/۰۰۹۴z-۰/۰۰۴۹z^{۲}$$

- مدل رویش قطری تک‌درخت

مشخصه‌های تودهٔ جنگلی تحت مطالعه برای برازش مدل در جدول ۱ ارائه شده است (آماربرداری دورهٔ اول).

مدل رویش قطری برازش‌شده برای گونه یا گروه گونه‌های مختلف، به‌صورت زیر به‌دست آمد (رابطه‌های ۸-۵):

رابطهٔ ۵
$$Faid_{ij}=\exp(-0.223-0.153H_{d,j}+0.484\ln d_{ij}$$
$$-0.341\left(\frac{d_{ij}}{100}\right)^{2}-0.008\ln g_{\max,j}-0.108g_{m,j})+e_{ij}$$

رابطهٔ ۶
$$Cid_{ij}=\exp(0.1-0.005g_{\max,j}$$
$$+0.087\left(\frac{d_{ij}}{100}\right)+0.28\ln d_{ij})+e_{ij}$$

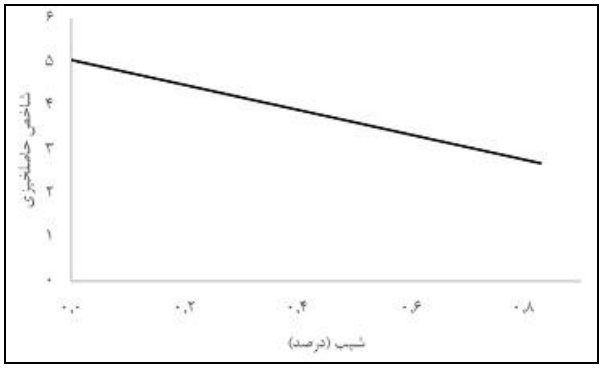
رابطهٔ ۷
$$Qid_{ij}=\exp(-0.554-0.49\left(\frac{d_{ij}}{100}\right)$$
$$+0.558\ln d_{ij}+0.004g_{\max,j}-0.076H_{s,j})+e_{ij}$$

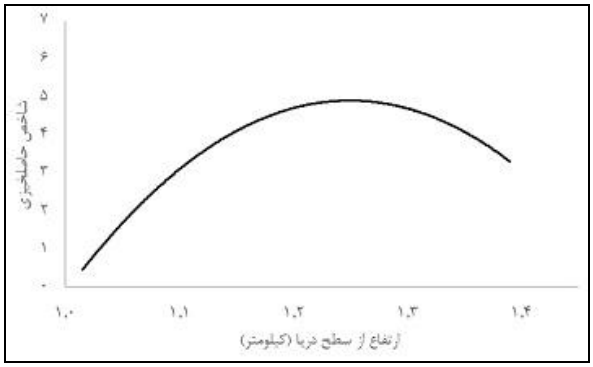
1. Root Mean Square Error
2. Mean Bias Error

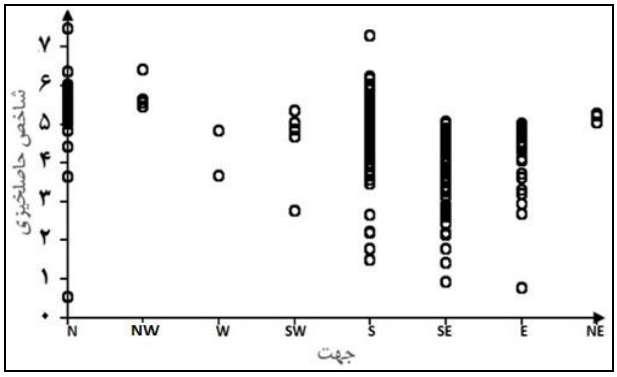
رابطهٔ ۸

$$Oid_{ij} = \exp(0.099 - 0.337\left(\frac{d_{ij}}{100}\right) + 0.361\ln d_{ij} - 0.002g_{\max,j} - 0.013H_{s,j}) + e_{ij}$$

در این رابطه‌ها Fa راش، C ممرز، Q بلندمازو، O سایر گونه‌ها، id_{ij} رویش قطری نه‌سالهٔ درخت i از قطعه نمونهٔ j به سانتی‌متر، d قطر در ارتفاع برابرسینه به سانتی‌متر، g_{max} سطح مقطع قطورترین درختان به متر مربع در هکتار، g_m سطح مقطع متوسط قطعه نمونه (متر مربع)، H_d شاخص تنوع اندازه، H_s شاخص تنوع گونه‌ای و $e_{ij} \approx (0, \sigma_u^2)$ باقی‌مانده است. ضرایب رابطهٔ بالا در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار برآورد شد. برای ارزیابی مدل چهار گروه (به‌ترتیب راش، ممرز، بلندمازو و گونه‌های دیگر)، جذر میانگین مربعات خطا (۱/۶۸، ۱/۴۴، ۱/۶۳ و ۱/۸۲ سانتی‌متر)، میانگین خطای اریبی (۰/۰۰۴-، ۰/۰۰۱-، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱) و ضریب کارایی (۰/۷۹، ۰/۹، ۰/۴۷ و ۰/۲۱) برآورد شد. همچنین بر اساس این روابط، با افزایش سطح مقطع قطورترین، سطح مقطع متوسط، شاخص تنوع اندازه و حتی شاخص تنوع گونه‌ای به‌عنوان فاکتورهای رقابتی میزان رویش کاهش یافت. شکل ۳ رابطهٔ میزان رویش گونه‌ها را در ارتباط با قطر برابرسینه نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در جنگل‌های ناهمسال و آمیختهٔ پهن‌برگ، افزایش رویش قطری تا قطر ۹۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متری (برای گونهٔ راش و سایر گونه‌ها)، تابعی از قطر است. بدین مفهوم که با افزایش قطر، تا ۹۵ الی ۱۰۰ سانتی‌متری، رویش قطری افزایش و پس از آن کاهش یافت. درحالی که در ارتباط با دو گونهٔ بلندمازو و ممرز با توجه به محدودیت دامنهٔ قطری، این موضوع مشخص نشد.



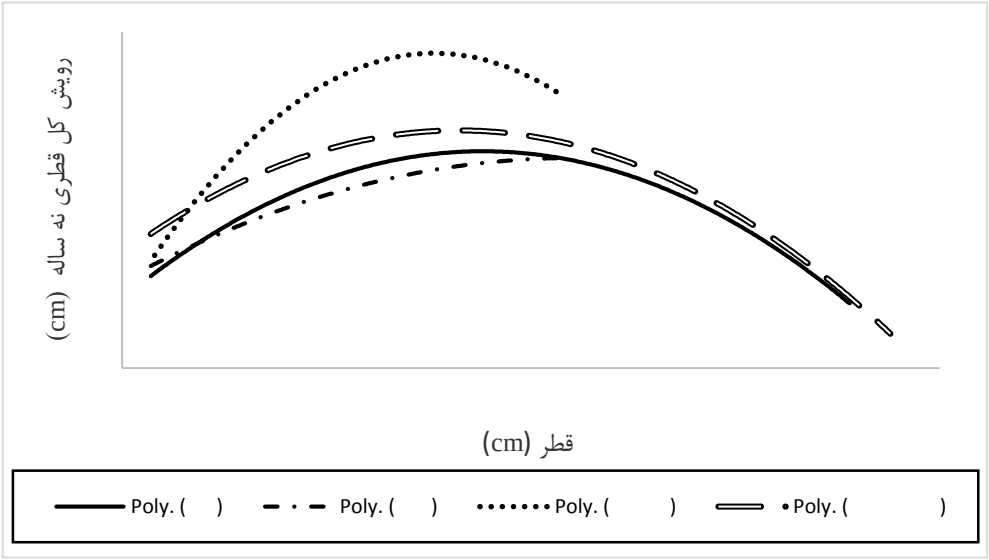




شکل ۲- تغییرات شاخص حاصلخیزی در ارتباط با عوامل فیزیوگرافی

جدول ۱- وضعیت تودهٔ جنگلی از نظر شاخص‌های مختلف

نمایه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	علامت اختصاری
تعداد درخت (اصله در هکتار)	۲۰	۱۲۲۰	۲۴۱	nt
قطر (cm)	۷	۱۸۸	۲۴/۷	d
سطح مقطع متوسط قطعه نمونه (m^2)	۰/۰۲	۰/۶۳۳	۰/۱	g_m
سطح مقطع قطورترین ($m^2\ h^{-1}$)	۰	۵۲	۸/۴	g_{max}
شاخص تنوع اندازه (قطعه نمونه)	۰	۲/۴۶۸	۰/۳۱۴	H_d
شاخص شانون-وینر (قطعه نمونه)	۰	۱/۸	۰/۶۶۳	H_s
شاخص حاصلخیزی (قطعه نمونه)	۳/۷۹	۶/۲۳۸	۰/۹۳	π
شیب قطعه نمونه (٪)	۰	۱۰۰	۱۵/۱۴۷	α
جهت قطعه نمونه	۰	۳۶۰	۹۷/۳	s
ارتفاع از سطح دریای قطعه نمونه (m)	۹۶۵	۱۳۴۰	۱۵۰	z



شکل ۳- نمودار رویش قطری به‌صورت تابعی از قطر برابرسینه

شکل ۴ رابطهٔ رویش قطری نه‌ساله گونهٔ راش را در ارتباط با شاخص تنوع اندازه و سطح مقطع قطورترین درختان (با قطر ثابت ۹۵ سانتی‌متری) به‌عنوان نمونه نشان داده است؛ بدین ترتیب که با افزایش شاخص تنوع اندازه و سطح مقطع قطورترین، رقابت افزایش و رویش قطری کاهش یافت.

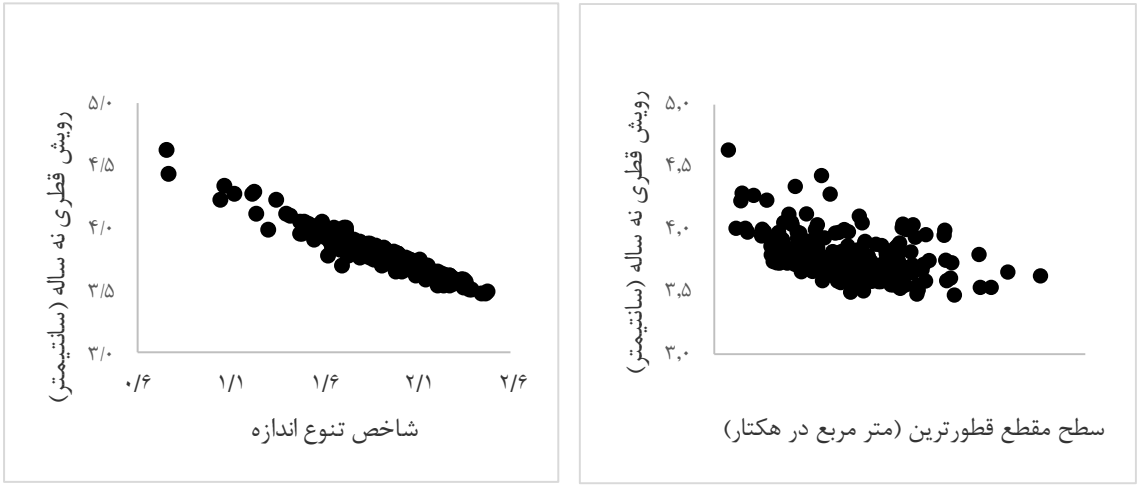
-مدل مرگ‌ومیر

رابطهٔ ۹ برای مدل مرگ‌ومیر کل گونه‌ها برازش داده شد که جدول ۲ معنی‌دار بودن ضرایب آن را نشان داده است. بدین مفهوم که اگر گونهٔ مورد نظر ممرز باشد، به‌جای گونهٔ ممرز در رابطهٔ عدد یک و در غیر این صورت عدد صفر جایگذاری می‌شود. شاخص‌های دیگر اثری بر مرگ‌ومیر (زنده‌مانی) درخت نداشتند.

رابطهٔ ۹

$$m_{ij} = \frac{1}{1+\exp(-(-1.788-0.496\ln d_{ij}+0.13g_{\max,i,j}/\sqrt{d_{ij}+1}+0.409carpinus)}$$

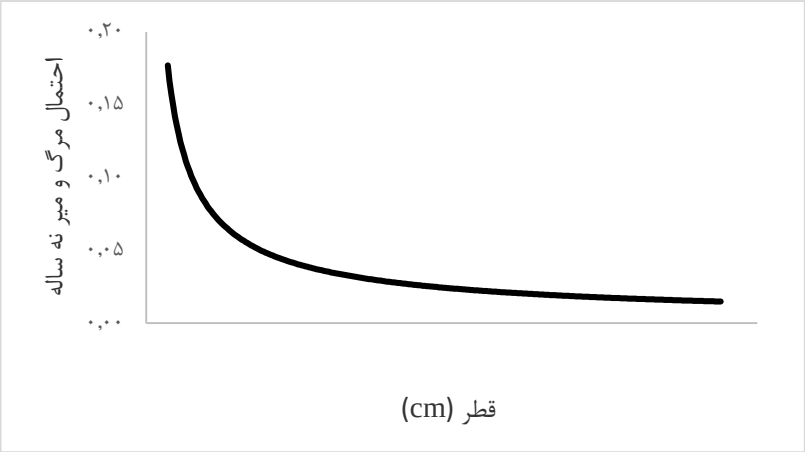
در رابطهٔ ۹، m_{ij} احتمال مرگ‌ومیر درخت i از قطعه نمونهٔ j در طی نه سال، d_{ij} قطر در ارتفاع برابرسینه، $g_{max,i,j}$ سطح مقطع قطورترین درختان (متر مربع در هکتار) و carpinus گونهٔ ممرز است. مدل (رابطهٔ ۹) نشان داده است که درختان با قطر صفر تا ۲۰ سانتی‌متر بیشترین احتمال مرگ‌ومیر را دارند. به‌ترتیب با افزایش و کاهش رقابت (سطح مقطع قطورترین) و قطر درخت، احتمال مرگ‌ومیر افزایش یافته است. گونهٔ ممرز نسبت به گونه‌های دیگر از احتمال مرگ‌ومیر بیشتری برخوردار است، درحالی که گونه‌های دیگر از مرگ‌ومیر مشابهی برخوردار بوده‌اند. میانگین مربعات خطای مدل ۷/۵۶ درصد و پیش‌بینی صحیح آن ۹۱/۵ درصد برآورد شد (شکل ۵).



شکل ۴- تغییرات رویش قطری نه‌سالهٔ گونهٔ راش در ارتباط با سطح مقطع قطورترین در هکتار (g_{max}) و شاخص تنوع اندازهٔ درختان(H_d)

جدول ۲- آزمون‌های معنی‌داری ضرایب برای مدل مرگ‌ومیر

	B	خطای استاندارد	معیار والد	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	تابع نمایی (B)
سطح مقطع قطورترین	۰/۱۳	۰/۰۲۲	۳۴/۷۵۲	۱	۰/۰۰۰	۱/۱۳۹
لگاریتم طبیعی قطر	-۰/۴۹۶	۰/۰۹	۳۰/۲۱۷	۱	۰/۰۰۰	۰/۶۰۹
ممرز	۰/۴۰۹	۰/۰۹۱	۲۰/۲۲۳	۱	۰/۰۰۰	۱/۵۰۵
مقدار ثابت	-۱/۷۸۸	۰/۳۶۳	۲۴/۳۱۱	۱	۰/۰۰۰	۰/۱۶۷



شکل ۵- مدل مرگ‌ومیر

بحث

مطالعهٔ تحول جوامع جنگل‌های شمال و بررسی وضعیت رویشی آنها می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران اجرایی طرح‌های جنگلداری کمک کند تا با شناخت بهتر از روند تکامل این توده‌ها، برای تدوین برنامه‌ها و اجرای آنها اقدام کنند (Delfan Abazari & Sagheb-Talebi, 2007). متخصصان جنگل باید با برنامه‌ریزی‌های علمی، اطلاع لازم از میزان موجودی و رویش جنگل‌ها به‌منظور بهره‌برداری اصولی از این سرمایهٔ طبیعی و ملی را به‌دست آورند (Karamdost & Boniad, 2005). افزون‌بر این، اطلاع از وضعیت رویشی (مدل‌های رویشی) جنگل‌ها، متخصصان را در دیگر زمینه‌های تحقیقاتی کمک می‌کند.

در این زمینه، معرفی مدل‌های رویشی که سطح بیشتری از جنگل‌های شمال را پوشش دهند، کمک شایانی به سایر زمینه‌های تحقیقاتی و مدیریتی می‌کند. از آنجا که وضعیت رویشگاهی این جنگل‌ها در جهت‌های غربی و شرقی و دامنه‌های مختلف ارتفاعی بسیار متغیر است، معرفی این مدل‌های رویشی بسیار مشکل است و با شناخت عوامل اثرگذار بر رویش و دخالت دادن آنها در مدل‌های رویشی امکان‌پذیر خواهد بود. در واقع اختلافات در شرایط اقلیمی، بارندگی، دمای محیط، حاصلخیزی خاک و شرایط رویشگاهی و اثر این عوامل بر ژنتیک درختان سبب بروز اختلافاتی در مقادیر رویش گونه‌ها می‌شود (Mative & Houle, 2002). بدین منظور سعی شد تا حد امکان معنی‌داری شاخص‌های مختلف در مدل‌های رویشی بررسی شود. همان‌گونه که نتایج تحقیق نشان داد، شاخص حاصلخیزی حاصل برای گونهٔ راش در مدل رویش قطری این گونه اثر معنی‌داری نداشت. نتایج این تحقیق با مطالعهٔ Vila et al. (2003) مغایر و با مطالعهٔ Liang et al. (2005) مطابق بود. البته کسب چنین نتیجه‌ای برای این وسعت کم دور از انتظار نبود. این شاخص در صورتی مؤثر واقع می‌شود که وسعت منطقه به‌حدی باشد که تغییرات اقلیمی، خاکی و ارتفاعی را پوشش دهد.

نتایج این تحقیق (رابطه‌های ۸-۵) نشان داد که در زمینهٔ هر یک از گونه‌ها، شاخص مختلفی می‌تواند مؤثر و معنی‌دار باشند. به‌عنوان نمونه، دربارهٔ گونهٔ راش، عواملی چون قطر و لگاریتم طبیعی قطر، سطح مقطع قطورترین، شاخص تنوع اندازه و سطح مقطع متوسط معنی‌دار بودند. این شاخص‌ها دربارهٔ گونهٔ ممرز (قطر و لگاریتم طبیعی قطر، سطح مقطع قطورترین)، بلندمازو و دیگر گونه‌ها (قطر و لگاریتم

طبیعی قطر، سطح مقطع قطورترین و شاخص تنوع گونه‌ای) رویکرد متفاوتی نشان دادند. همبستگی منفی دو شاخص از تنوع گونه‌ای و تنوع اندازه در تحقیق حاضر با مطالعهٔ Liang et al, (2007) مطابقت دارد. تحقیقی مشابه (Liang, 2010) دربارهٔ چهار گونه صورت گرفت که آن هم نشان داد دربارهٔ هر گونه، شاخص‌های متفاوتی می‌توانند اثرگذار باشند. افزون‌بر این، تفکیک گونه‌ها و بررسی رویش آنها به‌طور جداگانه سبب کاهش چشمگیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نسبت به تحقیق Bayat et al. (2014) شد (RMSE=۳/۶۸). مدل‌های رویشی ارائه‌شده (رابطه‌های ۵ تا ۸) دارای میانگین خطای اریبی اندکی بودند، درحالی که از نظر ضریب کارایی، مدل دو گروه راش و ممرز عملکرد خیلی خوبی نشان دادند، زیرا این دو گونه از نمونه‌های زیادی برخوردار بودند.

مدل رویش قطری (شکل ۲) نشان داد که در جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال خزری، گونهٔ بلندمازو بیشترین سرعت رویشی را دارد. همچنین مقایسهٔ رویش قطری دو گونهٔ اصلی راش و ممرز نشان داد که در قطر کم (تا ۱۵ سانتی‌متر)، گونهٔ ممرز و با افزایش قطر، گونهٔ راش سرعت رشد بیشتری دارد (شکل ۲).

مدل مرگ‌ومیر نیز برای گونه‌های با درصد پیش‌بینی صحیح زیاد (۹۱/۵) تهیه شد (رابطهٔ ۹) و نشان داد که ممرز دارای کمترین احتمال زنده‌مانی بود و از مجموع شاخص‌های رقابتی مذکور، تنها قطر درخت و سطح مقطع قطورترین اثر معنی‌دار داشتند. بدین ترتیب که با افزایش قطر و سطح مقطع قطورترین، احتمال مرگ‌ومیر افزایش یافته است. نتایج این مدل با تحقیق Bayat et al. (2014) همخوانی دارد. ازآنجا که توزیع قطری بخش گرازبن از توزیع طبیعی جنگل ناهمسال پیروی می‌کند، تعداد درخت در قطرهای کم، بیشترین است و به همین علت بیشترین مرگ‌ومیر در قطر کم اتفاق می‌افتد (شکل ۵). از طرفی بخش تحت مطالعه دارای طرح جنگلداری است و عمدتاً درختان قبل از آنکه به سن دیرزیستی برسند، برداشت می‌شوند. اگرچه عوامل مختلفی شامل سن دیرزیستی، رقابت، آتش‌سوزی، بیماری و آفات و پدیده‌های اقلیمی-اکولوژیکی در مرگ درخت مؤثرند (Vanclay, 1994; Reis et al., 2018)، چنانچه بتوان با مدل ساده‌تر (متغیرهای کمتر) و هزینهٔ کمتر، نرخ مرگ‌ومیر را به‌خوبی پیش‌بینی کرد، مدل توجیه‌پذیر است.

در تحقیق حاضر مدل حاصلخیزی با توجه به عوامل فیزیوگرافی ارائه شد و ارتباط بین این دو نشان داده شد. این نتیجه با بررسی‌های Aertsen et al. (2012) همخوانی دارد و با یافته‌های Buda & Wang, (2006) که گزارش دادند فرم رویشگاه با متغیرهای محیطی و رویشگاهی همبستگی ندارد، مغایر است. مزیت اصلی این مدل در نظر گرفتن عوامل فیزیوگرافی به‌طور همزمان بود (Stage & Salas, 2007). به‌عنوان نمونه، به‌جای در نظر گرفتن اصل کلی کاهش دما با افزایش ارتفاع، تغییرات دمایی را با افزایش ارتفاع در شیب دامنه و جهت خاصی در نظر می‌گیرد. نتایج کلی این مدل حاکی از افزایش حاصلخیزی رویشگاه با افزایش ارتفاع از سطح دریا تا ۱۲۴۰ متری و کاهش شیب در جهت شمالی و جنوبی است (شکل ۲). البته با توجه به میزان ضریب تعیین حاصل (۰/۳۱)، می‌توان گفت که به‌کارگیری عوامل فیزیوگرافی حدود ۷۰ درصد از تغییرات شاخص حاصلخیزی را پوشش نمی‌دهد و افزایش حاصلخیزی در جهت جنوبی را می‌توان به همین دلیل دانست (رابطهٔ ۴) و می‌توان گفت که استدلال Mative & Houle, (2002) در زمینهٔ یک بخش با تغییرات اقلیمی و ارتفاعی ناچیز، درست نیست. این نتیجه با تحقیق Ahmadi et al. (2014) که با به‌کارگیری متغیرهای بیشتر، تنها ۵۳ درصد تغییرات را نشان می‌داد مطابقت دارد. همچنین کاهش شاخص حاصلخیزی با افزایش شیب به‌دست‌آمده در

تحقیق حاضر با مطالعهٔ Bravo et al. (2011)، Aertsen et al. (2010) و Ahmadi et al. (2014) مطابقت دارد. نکتهٔ حائز اهمیت دیگر مقایسهٔ تحقیق حاضر با تحقیق Ahmadi et al. (2014) دربارهٔ عامل ارتفاع از سطح دریاست؛ زیرا در تحقیق حاضر، ارتباط شاخص حاصلخیزی با ارتفاع از سطح دریا معنی دار است (شکل ۲)، درحالی که در تحقیق Ahmadi et al. (2014) به‌طور کلی با افزایش ارتفاع از سطح دریا (حد پایین ارتفاع تحقیق ۱۱۰۰ متر) شاخص حاصلخیزی کاهش یافت. علت را می‌توان متفاوت بودن موقعیت جغرافیایی منطقهٔ تحقیق در این دو پژوهش دانست. محققان دیگری نیز به تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر توان تولیدی رویشگاه اشاره کرده‌اند (Monserud et al., 1990; Fontes et al., 2003).

در پایان، این تحقیق اهمیت و مزایای استفاده از قطعات نمونهٔ ثابت را نشان داد. به‌منظور تحقیقات جامع وضعیت رویشی جنگل‌های شمال کشور، توصیه می‌شود که آماربرداری با وسعت زیاد (آماربرداری ملی) با استفاده از قطعات نمونهٔ ثابت صورت گیرد تا بتوان مدل رویش جامع‌تر و کاربردی‌تری ارائه داد.

References

Aertsen, W., Kint, V., De Vos, B., Deckers, J., Van Orshoven, J. & 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. & Van Orshoven, J. (2012). Comparison of location-based, attribute-based and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity. *Forestry*, *85*, 539–550.

Ahmadi, K., Alavi, S.J. & Tabari Kouchaksaraei, M. (2015). Evaluation of oriental beech (Fagus orientalis L.) site productivity using generalized additive model (Case study: Tarbiat Modares University Forest Research Station). *Iranian Journal of Forest*. *7*(1), 17-32.

Amani, M. (2000). National forest program (national act)-regional forestry program for overal sustainable plan of northern forest. *journal of Forest and rangeland*, *31*, 20-37.

Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiri, M., Omid, M. & Pukkala, T. (2014). Growth and yield models for uneven – aged and mixed broadleaf forest (Case study: Gorazbon District in Kheyroud Forest, North of Iran), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *22*(1), 39-50.

Bravo, F., Lucà, M., Mercurio, R., Sedaris, M. & 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.

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

Cardinale, B.J., Ives, A.R. & Inchausti, P. (2004). Effects of species diversity on the primary productivity of ecosystems: extending our spatial and temporal scales of inference, *Oikos*, *104* (3), 437–450.

Delfan Abazari, B. & Sagheb-Talebi, KH. (2007). Diameter and height increment process of oriental beech (Fagus orientalis) in natural Caspian forests (Kelardasht region). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *15*(4), 320-328.

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

Hendukolaie, A. (2016). Estimating Financial Value of Hyrcanian Forests Based on Site Quality in Goraz-bon District of Kheyroud. *MSc Thesis*. Tehran, University of Tehran,102pp.

Hosseini, S.H. (2000). Ecological sustaiablity of coniferos sites of northern iran. *PhD Thesis of forestry*, Tarbiat Modares University, 62pp.

Jokar, M., Feghhi, J., Heshmatalvaezin, S.M., Namiranian, M. & Etemad, V. (2012). Investigation on the role of the forest productive and harvestable area on the allowable cut and financial indicators of a forestry planning (Case study: Gorazbon district of Kheyrud forest research station). *Iranian Journal of Forest*, *5*(1), 31-41.

Karamdost, B. & Bonyad, A. (2005). Diameter and Volume Increment of (*Fagous Orintalis* Lipsky) in an intact Forest of Nave-Asalem region. *Iranian kournal of Forest and Poplar Research*, *13*(4), 401-415.

Kariuki, M. (2002). Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. *Forestry*, *75*(1), 63-74.

Kimmins, J.P. (1988). Community organization: Methods of study and prediction of the productivity and yield of forest ecosystems. *Canadian Journal Botany*, *66*(12), 654-2672.

Lhotka, J.M. (2017). Examining growth relationships in Quercus stands: An application of individual-tree models developed from long-term thinning experiments. *Forest Ecology and Management*. *385*, 65-77.

Liang, J. (2010). Dynamics and management of Alaska boreal forest: an all-aged multi-species Matrix growth model. *Forest Ecology and Management*, *260*(4), 491-501.

Liang, J. & Zhou, M. (2010). A geospatial model of forest dynamics with controlled trend surface. *Journal of Ecological Modelling*, *221*(19), 2339-2352.

Liang, J., Buongiorno, J. & Monserud, R.A. (2005). Growth and yield of all-aged Douglas-fir – western hemlock forest stands: a matrix model with stand diversity effects, *Canadian Journal Forest Research*, *35*(10), 2368-2381.

Liang, J., Buongiorno, J., Monserud, R.A., Kruger, E.L. & Zhou, M. (2007). Effects of diversity of tree species and size on forest basal area growth, recruitment, and mortality. *Forest Ecology and Management*, *243*(1),116-127.

Loreau, M., Mouquet, N., & Gonzalez, A. (2003). Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes. *PNAS*, *100*(22), 2765–12770.

Mafi, A. & Moharamnezhad, N. (2006). Strengths, weaknesses, opportunities and threats Examination of performing forest principles in northern forest of Iran (Rio to Johannesburg). *Journal of Environmental Science and Technology*, *11*(4), 149-172.

Mative, F. & Houle, D. (2002). Basal area growth of *Acer saccharum* in relation to acid deposition, stand health and soil nutrients: Dendrochronology, EnviromentalChange and Human History, *6th international conference on dendrochronology*, 86-87.

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

Porte, A. & Bartelink, H.H. (2002). Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. *Journal of Ecological Modeling*, *150*(1-2), 141–188.

Rayner, M. E. & Turner, B.J. (1990). Growth and yield modelling of Australian eucalypt forest I. Historical development. *Australian Forestry*, *53*(4),224-237.

Reis, L.P., Souza, A.L.D., Mazzei, L., dos Reis, P.C.M., Leite, H.G., Soares, C.P.B., Torres, C.M.M.E., da Saliva, L.F. & Ruschel, A.R. (2016). Prognosis on the diameter of individual trees on the eastern region of the amazon using artificial neural networks. *Journal of Forest Ecology and Management*, *382*,161-167.

Reis, L.P., Souza, A.L.D., Souza, A.l.D, Reis, P.C.M., Lucas, M., Soares, C.P.B., Torres, C.M.M.E., Silva, L.F.D., Ruschel, A.R., Rego, L.J.S. & Leite, H.G. (2018). Estimation of mortality and survival of individual trees after harvesting wood using artificial neural networks in the amazon rain forest. *Ecological Engineering*, *112*, 140-147.

Schulze, E.D. & Mooney, H.A. (1993). *Biodiversity and Ecosystem Function*. Berlin, Springer-Verlag.

Smith, D.M., Larson, B.C., Kelty, M.J., Mark, P. & Ashton, S. (1997). *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*. 9th ed. JohnWiley and Sons, New York.

Stage, A.R. & Salas, C. (2007). Interaction of elevation, aspect, and slope in models of forest species composition and productivity. *Journal of Forest Sciences*, *53*(4), 486–492.

Vanclay, J. K. (1994). *Modelling forest growth and yield. Application to mixed tropical forest*. CAB International, Wallingford, UK.

Vila, M., Vayreda, J., Gracia, C. & Ibanez, J.J. (2003). Does tree diversity increase wood production in pine forests? *Oecologia*, *135*(2), 299–303.

Woollons, R.C., Snowdon, P. & Mitchell, N.D. (1997). Augmenting empirical stand projection equations with edaphic and climatic variables. *Forest Ecology and Management*, *98*(3), 267–275.

Iranian Journal of Forest
Vol. 10, No. 4, Winter 2019
pp. 501-515

Study of Effective Factors on Diameter increment and Mortality of Individual trees in uneven-aged stand

A. Salehnasab[1*], M. Namiranian[2], M. Omid[3], and A. Soltani[4]

[1]Ph.D., Dept. of Forestry and forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[2]Professor, Dept. of Forestry and forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[3]Professor, , Dept. of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[4]Assistant Professor, Norwegian University of Life Sciences, Norway

(Received: 12 June 2018, Accepted: 29 November 2018)

Abstract

Today, the important of growth models as an important management tool and factors affecting them is clear. So, in this study, factors affecting the growth models were examined. Data from 256 permanent sample plots for the years 2003 and 2012 of Kheyroud Forest was used. First, the relationship between topographic factors including slope, direction and altitude with site productivity for beech was obtained using an empirical regression model. Then, the factors affecting the individual trees diameter increment were investigated using regression relations. Also, in order to better understand the effect of these factors, tree species were separated in four species group as beech, hornbeam, chestnut-leaved oak and other species. In order to evaluate the model, three statistics including RMSE, MBE and performance coefficients were used. The results showed that the relationship between the site productivity index and three factors of direction, gradient and elevation is sinusoidal, almost decreasing, at first increased and then decreased. Also, the behavior of the studied indicators in relation to tree species is different. For instance, in the diameter increment model of beech species, all of the indices, except for site productivity and Shannon-Wiener index had a significant effect and the use of these indicators for beech species reduces the error and bias and increases the efficiency of the model. The mortality model was also presented with a high percentage prediction. In general, the present study showed that the relationship between growth models and various indices has a lot of complexity and more research is needed.

Keywords: increment model, fertility, Gorazbon District, topographic factors

∗Corresponding author Tel: +989367463465 Email: a_salehnasab@ut.ac.ir