

مدل سازی میزان هدررفت منابع آب پس از قطع و خروج درختان از جنگل های هیرکانی

علی اصغر واحدی

دکتری جنگلداری، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: ali.vahedi60@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۰۲

چکیده

بحران کمبود آب و شدت تأثیرات پدیده الینو در چند سال اخیر، از مهمترین موضوعاتی است که باید مورد توجه قرار گیرد. هدف پژوهش پیش رو ارائه مدل های بهینه برای پایش بهینه تغییرات مقادیر آب ذخیره شده در درختان با توجه به اهمیت زیاد آن در روند چرخه آب و ایجاد کلیما در جنگل های آمیخته راش گلندرود نور بود. در سال ۱۳۹۰، پس از دیسک برداری به ازای دو تا پنج متر طول تنه ۱۷۴ درخت قطع شده، نمونه های چوبی با ابعاد ثابت تکه برداری شدند و در آن خشک شدند. پس از توزین تنه درختان در عرصه و تفاضل بین وزن تر و زی توده با احتساب ضریب خشکی محاسبه شده، مقادیر وزنی ذخایر آب اندازه گیری شد. برای مدل سازی متغیر پاسخ، از تحلیل خطی ساده، چندگانه و غیرخطی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل های خطی ساده و چندگانه، دقت برآوردی قابل قبولی برای پیش بینی تغییرات ذخایر آب زی توده تنه درختان نداشتند. برخلاف آن، مدل توانی، نمایی و منحنی S دارای دقت برآورد قابل ملاحظه بودند که با ارزیابی مدل ها، مدل توانی به عنوان بهترین مدل با قطعیت پیش بینی انتخاب شد. با توسعه مدل مذکور، در نهایت معادله بازنمایی تبدیلی لگاریتم مدل توانی به عنوان مدل بهینه نهایی برای برآورد ذخایر فعلی و پیش بینی تغییرات ذخایر آب تنه درختان برای سال های آینده مشخص شد. در واقع، میزان هدررفت کل ذخایر آب تنه درختان در ارتباط با چرخه آب پس از قطع و خروج از جنگل های مذکور با استفاده از مدل ارائه شده در مقیاس وسیع امکان پذیر است.

واژه های کلیدی: پدیده الینو، جنگل های آمیخته راش، چرخه آب، معادلات آلومتریک.

مقدمه

جنگلداری کلاسیک نیز مبتنی بر تولیدات کیفی چوب های قطور برای افزایش درآمد مالی به دست آمده از فروش چوب بوده است. در دهه های اخیر فعالیت های اجرایی همگام با طبیعت، اگرچه روند بهینه پرورش جنگل، بازتنظیمی و بازتجدیدی در جنگل های شمال را به طور اصولی مورد توجه قرار داد، اما بهره برداری و خروج درختان از جنگل نیز محور اصلی عملیاتی آن محسوب می شد (Marvi, 2005). با این وجود، از گذشته تاکنون در هیچ یک از موارد اشاره شده، ارزش های معنوی جنگل به طور

در چند سال اخیر یکی از مهمترین چالش های موجود بین مدیران اجرایی، انجمن جنگلبانی و طرفداران حفاظت محیط زیست به استناد تبصره ماده ۱۴۸ قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، این بوده است که عدم بهره برداری متمرکز و خروج چوب های صنعتی در جنگل های هیرکانی چه مضرات و فوایدی دارد. از دیرباز جنگل های هیرکانی یکی از مهمترین قطب های تولید چوب صنعتی در کشور بوده اند و بیشتر فعالیت های جنگل شناسی و

تولید زی توده و مواد آلی در بافت‌های مختلف گیاهی ذخیره می‌شود. میزان هدررفت آب در درختان منوط به مکانیسم روزنه‌های برگ، تنفس، تبخیر و تعرق است؛ البته بدیهی است که درختان در زمان فتوسنتز برای جذب هرچه بیشتر کربن، مقادیر قابل توجهی آب از دست می‌دهند. Kljunc و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که ذخایر آب موجود در درختان، تأثیرات بارزی در شدت روند چرخه آب و چرخه کربن در جنگل‌های پهن‌برگ داشتند. به‌طور میانگین، درختان به ازای جذب یک مولکول دی‌اکسیدکربن اتمسفری، ۱۸۰ مولکول آب از دست می‌دهند (Holtum & Winter, 2010). باید متذکر شد که بخشی از میزان هدررفت آب در جنگل، مقادیری است که طی فرآیند متابولیسم درختان تولید می‌شود و وارد فضای اتمسفر می‌شود.

در داخل بافت‌های چوبی درختان سه نوع محتوی آب شامل آب آزاد (Free water)، آغشتگی (Bounded water) و نهادی (Institutional water) موجود است که آب آزاد با میزان زیاد در بافت‌های چوبی (Parsapajuh, 2012) سهم بیشتری در روند چرخه آب دارد. فرضیه‌ای که وجود دارد این است که افزایش غلظت کربن اتمسفری منجر به افزایش میزان آب بهره‌وری در درختان می‌شود؛ یعنی با افزایش غلظت کربن و باز شدن روزنه‌های برگ برای جذب کربن اتمسفری، شدت روند فتوسنتز افزایش می‌یابد و اگرچه مقادیری آب از دست می‌رود و وارد فضای اتمسفر می‌شود، اما نرخ جذب آب بهره‌وری برای افزایش رشد و تولید زی توده بیشتر می‌شود و میزان آب بیشتری در اندام‌های درختان ذخیره می‌شود (Holtum & Winter, 2010). قطع درختان و خروج آنها از جنگل ممکن است که سبب شود طی سال‌های متممادی سطح ذخایر آب هدررفته به میزان اولیه خود برسد که البته این میزان آب از دست‌رفته در زمان کمبود آب و فصل‌های خشک، بیشتر اثرات خود را نشان می‌دهد (Biro et al., 2011). درواقع، درختان براساس باران‌ربایی، میزان جذب مقادیر آب بهره‌وری، کنترل تعریق و تعرق، ریشه‌دوانی، سطح برگ‌ها و پدیده‌شناسی

واقعی مورد توجه قرار نگرفته است و به‌دلیل نهفته بودن ویژگی‌های اکولوژیکی آن، بیشتر ارزش‌های اکوسیستم جنگلی به‌صورت شعار محیط زیستی در اختیار مدیران و افراد جامعه قرار گرفته است. در این راستا، یکی از مهمترین اهداف پژوهش پیش‌رو، ارایه پروتکول درخور توجه برای ارایه مقادیر کمی ذخایر آب موجود در زی توده درختان در رابطه با چرخه آب و چرخه کربن به‌عنوان یکی از مهمترین رویدادهای اکولوژیکی جنگل‌های هیرکانی بود.

بحران کمبود آب در دهه اخیر یکی از جدی‌ترین موضوعات در ایران محسوب می‌شود که عامل‌های مختلفی در ایجاد آن نقش داشته است. یکی از این موارد که تأثیرات آن در مقیاس جهانی نیز بارز است، تغییرات اقلیم و جریان‌ات سطحی اتمسفر و توزیع نامتوازن حرارتی و بارندگی ناشی از پدیده ال‌نینو (El-Nino) به‌ویژه در سال‌های اخیر است. لازم به‌ذکر است که ضعف مدیریتی، فعالیت‌های نابه‌جا در حوزه‌های کشاورزی و منابع طبیعی و بهره‌برداری بیشتر از حد منابع آب نیز از عامل‌های ایجاد بحران مذکور در کشور محسوب می‌شود. جنگل‌های هیرکانی واقع در کرانه دریای مازندران، به‌عنوان یکی از بزرگترین مخازن و منابع آب در داخل کشور محسوب می‌شوند که نقش عمده‌ای در چرخه آب در سطح منطقه‌ای ایفا می‌کنند. درواقع، موجودی ذخایر آب در اکوسیستم‌های جنگلی ارتباط مستقیم با روند پویایی پوشش گیاهی، میزان رطوبت، میزان بارندگی و چرخه دینامیکی آب دارد (Ju et al., 2006). درختان جنگلی به‌عنوان بزرگترین زی توده و اصلی‌ترین اجزای جنگل، سهم بسیار زیادی در ذخایر وزنی موجودی آب دارند. درواقع، ذخایر آب در درختان علاوه بر عامل اصلی رشد پویای زی توده، نقش بسیار مهمی در مکانیسم روزنه‌های برگ درختان، جریان‌ات کلیما و چرخه آب دارد (Ju et al., 2006). Holtum و Winter (۲۰۱۰) در مطالعات خود گزارش کردند که مقادیر ذخیره‌شده آب در اندام‌های مختلف درختان به‌عنوان میزان آب بهره‌وری درختان (WUE: Water use efficiency) شناخته می‌شود. درواقع، مقادیر آب بهره‌وری در زمان فرآیند فتوسنتز برای

استفاده از مدل‌های آلومتریک و کلیه مدل‌های مبتنی بر تحلیل رگرسیون، قابلیت کاربرد آنها در سطح وسیعی از جنگل‌ها با شرایط رویشگاهی و ترکیب گیاهی مشابه است (Chave *et al.*, 2005)، از این رو با ارایه مدل‌های بهینه می‌توان پایش بهینه‌ای در رابطه با تغییرات مقادیر آب ذخیره‌شده در درختان با توجه به اهمیت زیاد آن در روند چرخه آب و ایجاد کلیما در جنگل‌های مورد مطالعه انجام داد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در سری سه جنگل‌های گلندرود نور واقع در حوزه آبخیز ۴۸ جنگل‌های هیرکانی در حوزه استحفاظی اداره کل منابع طبیعی استان مازندران- نوشهر انجام شد. مساحت کل سری ۱۵۲۱ هکتار است و بین عرض جغرافیایی ۳۰° ۲۷' ۳۶" تا ۳۶° ۱۵' ۳۲" شمالی و طول جغرافیایی ۵۳° ۲۵' ۵۱" تا ۵۱° ۲۵' ۵۷" شرقی قرار گرفته است. محدوده ارتفاع از سطح دریا در این سری بین ۹۴۰ تا ۱۵۲۰ متر است. سری مورد مطالعه معروف به سری سرگلند به‌عنوان جنگل آمیخته راش محسوب می‌شود، به‌طوری‌که درختان راش به‌صورت آمیخته با بلوط، ممرز، پلت، شیردار، نمدار، آزاد و گونه‌های دیگر پراکنش دارند. جهت عمومی در کل سری غربی است و بیشترین شیب منطقه در برخی نقاط به ۸۰ درصد نیز می‌رسد (Anonymous, 2008). براساس جدیدترین آمار ۳۰ ساله ایستگاه هواشناسی نوشهر، میانگین بیشینه و کمینه دما به‌ترتیب در اواسط مردادماه ۲۸/۸ درجه سانتیگراد و در بهمن‌ماه ۳/۹ درجه سانتیگراد است و متوسط بارندگی سالانه نیز ۱۲۹۳/۵ میلی‌متر است.

روش پژوهش

در پژوهش پیش‌رو، ۱۷۴ درخت از گونه‌های مختلف درختان نشانه‌گذاری شده در سال ۱۳۹۰ برای قطع و استحصال انتخاب شدند و برمبنای توزیع قطر برابر سینه درختان در توده‌های نشانه‌گذاری شده، طبقه‌های قطری ۳۰

(فنولوژی)، تأثیرات زیادی در جلوگیری از هدررفت آب و رواناب دارند و میزان تولید زی‌توده آنها نیز تحت تأثیر مستقیم موارد مذکور قرار می‌گیرد (Gerten *et al.*, 2004). مطالعات زیادی در زیست‌بوم‌های مختلف درخصوص مدل‌سازی چرخه آب در رابطه با روند دینامیکی پوشش‌های گیاهی انجام شده است (Bonan *et al.*, 2003; Gerten *et al.*, 2004; Holtum & Winter, 2010). کلیه مدل‌سازی‌های هیدرولوژی مربوط به پایش چرخه آب درختان، چرخه کربن ارتباط مستقیمی با میزان جذب و هدررفت آب در درختان دارد (Dufrene *et al.*, 2005). از این رو هرچه میزان زی‌توده درختان به‌عنوان حوضچه‌های اصلی کربن در جنگل بیشتر باشد، پیرو آن مقادیر وزنی ذخایر آب نیز بیشتر است. در رابطه با مطالعات مربوط به مدل‌سازی زی‌توده در اکوسیستم‌های جنگلی می‌توان به مطالعات Vahedi (۲۰۱۴)، Djomo و همکاران (۲۰۱۰) و Alvarez و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد که در تمام موارد با استفاده از متغیرهای زیست‌فیزیکی مقادیر وزنی حوضچه‌های کربن با بیشترین دقت برآورد شدند.

پژوهش پیش‌رو در جنگل‌های آمیخته راش انجام شد. جنگل‌های مذکور دارای تنوع گونه‌ای زیاد، میزان رطوبت قابل ملاحظه و بیشترین تولید زی‌توده در شمال ایران هستند (Anonymous, 2004). از آنجایی‌که بیشتر عملیات اجرایی در جنگل‌های شمال (با اهداف صنعتی و یا جنگل‌شناسی) برای بهره‌برداری درختان برمبنای ویژگی‌های کیفی و کمی تنه درختان است، بنابراین در پژوهش پیش‌رو برآورد میزان هدررفت مقادیر ذخایر وزنی آب داخل تنه درختان بررسی شد. درخصوص ارتباط ذخایر وزنی و چرخه آب قابل بهره‌وری با مقادیر زی‌توده درختان این فرضیه وجود دارد که در جنگل‌های آمیخته راش با توجه به میزان تولید زیاد زی‌توده، ارتباط مستقیمی بین مقادیر زی‌توده تنه درختان و ذخایر وزنی آب وجود دارد و بدین‌ترتیب مدل‌های محاسباتی بهینه، قابل استفاده برای بیشترین دقت برآورد مقادیر آب ذخیره‌شده زی‌توده در ارتباط با چرخه آب در اکوسیستم مورد مطالعه هستند. با توجه به این‌که مزیت

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای اندازه‌گیری چگالی ویژه (Specific wood density) از رابطه ۱ استفاده شد (Henry et al., 2010):

$$\rho = \frac{M_{wk}}{V_{wk}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق، ρ چگالی ویژه برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، M_{wk} جرم خشک نمونه چوبی برحسب گرم و V_{wk} حجم نمونه برحسب سانتی‌متر مکعب است. برای اندازه‌گیری ذخایر آب موجود در تنه درختان قطع‌شده، ابتدا هر بخش از تنه استحصال‌شده با استفاده از ترازوی سنتی (قیان) با دقت ۰/۱ کیلوگرم توزین شد. سپس با اندازه‌گیری نسبت وزن خشک به وزن تر نمونه‌های تکه‌برداری‌شده، هر بخش از وزن تر تنه‌های استحصال‌شده در نسبت مزبور ضرب شد و مقادیر زی‌توده و سپس مقادیر وزنی ذخایر آب با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$W_{H,o} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n W_k \left(1 - \frac{m_k}{M_k}\right) \rightarrow M_{Bole} - m_{Bole} = W_{H,o} \quad \text{رابطه (۲)}$$

اساس برازش همه مدل‌ها به‌صورت غیرخطی است که الگوی برازش آنها به‌صورت رابطه ۳ است (Bates & Watts, 1988):

$$Y_n = f(x_n, \theta) + Z_n \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه f مدل رگرسیون و x_n برداری شامل متغیرهای مستقل برای حالت n ام است. در تحلیل رگرسیون خطی، برآورد و استنباط نتایج پارامترهای $\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n]^T$ در رابطه ۴ نشان داده شده است (Bates & Watts, 1988):

تا ۶۰، ۶۰ تا ۸۰ و بیشتر از ۸۰ سانتی‌متر به روش طبقه‌ای تصادفی (Stratified random sampling) برای انجام نمونه‌برداری تخریبی (Destructive sampling) انتخاب شدند. قبل از قطع درختان کلیه ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان از جمله قطر برابر سینه (D) و ارتفاع تجاری (H) یعنی ارتفاع تنه از محل قطع‌کننده تا محلی که تاج شروع می‌شود (Basuki et al., 2009)، اندازه‌گیری شدند. در داخل عرصه با همکاری پیمانکاران قطع، از انتهای هر قسمت از گرده‌بینه به‌دست‌آمده پس از اندازه‌گیری، از طول تنه به ازای دو تا پنج متر یک دیسک کامل برداشت شد (Aboal et al., 2005; Henry et al., 2010; Zhu et al., 2010). از دو طرف مخالف دیسک، ابعادی با قطعات ثابت $2 \times 2 \times 2$ سانتی‌متر مکعب تکه‌برداری شدند و نمونه‌ها در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شدند (Aboal et al., 2005; Zhu et al., 2010). پس از استخراج نمونه‌ها از آون، محتوی رطوبت چوب، ضریب خشکی و چگالی ویژه هر نمونه اندازه‌گیری و محاسبه شد.

در رابطه فوق، $W_{H,o}$ کل ذخایر وزنی آب تنه درختان برحسب کیلوگرم یا تن، W_k وزن تر هر بخش از تنه درخت، m_k جرم خشک هر بخش از قطعات نمونه برحسب گرم، M_k جرم تر هر بخش از قطعات نمونه برحسب گرم، M_{Bole} وزن تر تنه درختان جنگل مورد مطالعه برحسب تن و m_{Bole} زی‌توده (وزن خشک) تنه درختان جنگل مورد مطالعه برحسب تن است.

برای مدلسازی ذخایر وزنی آب موجود در تنه درختان جنگل‌های آمیخته راش مورد مطالعه از تحلیل‌های محاسباتی مبتنی بر رگرسیون به روش تخمین منحنی (Curve estimation regression) و رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد. در روش رگرسیون تخمین منحنی،

$$Y_n = \beta_1 x_{n1} + \beta_2 x_{n2} + \dots + \beta_p x_{np} + Z_n \rightarrow (x_{n1}, \dots, x_{np})\beta + Z_n \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$AIC = nLn\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2k \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه فوق، n تعداد مشاهدات، RSS مجموع مربعات باقیمانده‌ها و k تعداد پارامترهای مدل محاسباتی است. لازم به ذکر است که برای ضریب اطلاعات آکاییک، روابط مختلفی تعریف شده است و رابطه ۵ بر مبنای نسبت تعداد مشاهدات به تعداد پارامترهای هر مدل است و در صورتی که نسبت مذکور برای هر مدل بزرگتر از ۴۰ باشد ($n/k > 40$)، رابطه فوق دارای اعتبار کاربردی است (Burnham & Anderson, 2002). برای محاسبه ریشه میانگین مربعات خطای بین تخمین و مشاهدات ($RMSE$) و درصد میانگین شاخص مذکور ($RMSE\%$) از رابطه ۶ استفاده شد.

در این رابطه Z_n متغیر تصادفی و Y_n نشان‌دهنده متغیر پاسخ مدل در حالت n ام است که البته از دو قسمت قطعی و خطا تشکیل شده است که میزان خطای آن نیز باید مورد توجه باشد. در رگرسیون خطی چندگانه به دلیل معرفی چندین پارامتر محاسباتی و احتمال هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای توصیفی، اعتبار محاسباتی مدل از طریق آزمون هم‌خطی و مقدار ضریب عددی فاکتور تورم واریانس ($VIF < 10$) ارزیابی می‌شود (Bihamta & Chahouki, 2011). برای ارایه مدل بهینه و انتخاب آن در بین کلیه برازش‌های انجام‌شده در فرآیند مدل‌سازی تحلیل رگرسیون، از شاخص‌های اعتبارسنجی ضریب تبیین تعدیل‌یافته (R^2_{adj})، میانگین مربعات باقیمانده‌ها (RMS)، ضریب اطلاعات آکاییک (AIC) و درصد ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE\%$) طبق رابطه ۵ استفاده شد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, RMSE > 0 \rightarrow RMSE\% = \frac{RMSE}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

توصیفی با ترکیب مختلف، از تبدیل لگاریتمی مدل‌های پایه استفاده شد (Vahedi, 2014). با توجه به این‌که تبدیل لگاریتمی مدل‌های پایه باعث ایجاد خطای سیستماتیک می‌شود، برای تصحیح این خطا از ضریب تصحیح (CF) طبق رابطه ۷ در زمان بازتبدیل مدل پایه برای تخمین متغیر پاسخ استفاده شد.

در رابطه فوق، y_i مقادیر هریک از مشاهدات، \hat{y}_i مقادیر تخمینی هریک از مدل‌ها و y_{\max} و y_{\min} به ترتیب بیشینه و کمینه مشاهدات اندازه‌گیری‌شده ذخایر آب در جنگل مورد مطالعه هستند.

برای توسعه مدل‌سازی تحلیل رگرسیون به روش تخمین منحنی و افزایش تعداد پارامترهای محاسباتی و عامل‌های

$$CF = Exp\left(\frac{SEE^2}{\rho}\right) \rightarrow CF = a \in n \leftrightarrow n = \{1, 2, 3, \dots, k\} \rightarrow CF \geq 1 \quad \text{رابطه (۷)}$$

مربوط به هریک از مدل‌های تبدیلی است.

در رابطه فوق، SEE اشتباه معیار تخمین رگرسیون

نتایج

زیست‌فیزیکی اندازه‌گیری شده در سطح یک درخت برای جنگل مورد مطالعه نشان داده شده است.

در جدول ۱، میانگین و اشتباه معیار کلیه کمیت‌های

جدول ۱- میانگین (\pm اشتباه معیار) کمیت‌های زیست‌فیزیکی اندازه‌گیری شده درختان جنگل آمیخته راش مورد مطالعه

| قطر برابر سینه (cm) | ارتفاع (m) | چگالی ویژه (g/cm^3) | ذخایر آب (kg) |
|----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| ۶۸/۷۶ ($\pm ۱/۶۱$) | ۱۶/۲۵ ($\pm ۰/۳۲$) | ۰/۵۹ ($\pm ۰/۰۰۸$) | ۴۲۳/۸ ($\pm ۲۷/۳۴$) |

نتایج با توجه به شاخص‌های اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد که مدل‌های غیرخطی تک‌متغیره برحسب قطر برابر سینه دارای دقت برآورد بیشتر و برازش بهینه‌ای نسبت به مدل‌های تک‌متغیره حاوی ارتفاع تنه بودند.

در نتایج مدل‌سازی بر مبنای تحلیل غیرخطی رگرسیون به روش تخمین منحنی با استفاده از قطر برابر سینه و ارتفاع تنه، مدل توانی و نمایی به ترتیب به عنوان مدل‌های بهینه برای برازش مقادیر ذخایر وزنی آب تنه درختان جنگل‌های آمیخته راش در منطقه مورد مطالعه معرفی شدند (جدول ۲).

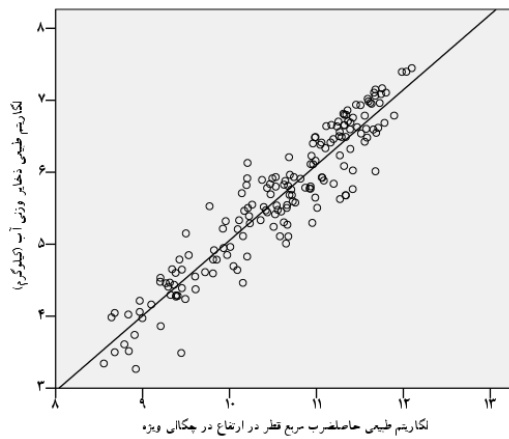
جدول ۲- نتایج تحلیلی مدل‌سازی غیرخطی تک‌متغیره برای پیش‌بینی ذخایر وزنی آب تنه درختان

| کد | مدل‌های مختلف رگرسیون | b_0 | b_1 | R^2_{adj} | RMS | AIC | RMSE% |
|----|---------------------------------|-------|---------|-------------|-------|--------|-------|
| ۱ | $Y = b_1(D)^{b_2}$ | ۰/۰۰۷ | ۲/۵۲ | ۰/۷۶۸ | ۰/۲۲۲ | -۲۵۹/۷ | ۱۳/۹۷ |
| ۲ | $Y = \exp(b_1 + \frac{b_2}{D})$ | ۷/۹۳ | -۱۴۰/۵۷ | ۰/۷۴۵ | ۰/۲۴۴ | -۲۴۳/۸ | ۱۴/۴۳ |
| ۳ | $Y = b_1 \exp(b_2 D)$ | ۱۸/۱۸ | ۰/۰۴ | ۰/۷۴۹ | ۰/۲۴۴ | -۲۴۶/۵ | ۱۳/۷۱ |
| ۴ | $Y = b_1(H)^{b_2}$ | ۰/۳۷ | ۲/۴۱ | ۰/۴۷۶ | ۰/۵۰۱ | -۱۱۸/۳ | ۱۷/۶۸ |
| ۵ | $Y = \exp(b_1 + \frac{b_2}{H})$ | ۷/۸۷ | -۵۱/۳۳ | ۰/۴۶۵ | ۰/۵۱۲ | -۱۱۴/۴ | ۲۵/۶۶ |
| ۶ | $Y = b_1 \exp(b_2 H)$ | ۲۲/۱۵ | ۰/۱۵۷ | ۰/۴۶۶ | ۰/۵۱۱ | -۱۱۴/۷ | ۱۸/۷۱ |

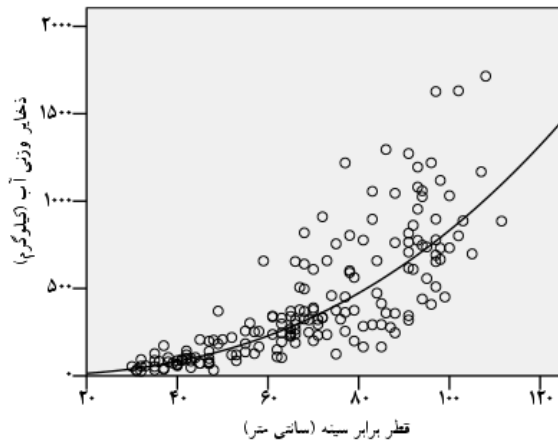
پیشگویی مقادیر ذخایر وزنی آب بودند. همچنین نتایج برحسب ارزیابی انتخاب بهترین مدل نشان داد که مدل تغییر یافته لگاریتم تابع توانی (Log-transformed model of power function) برحسب متغیر ترکیبی مربع قطر، ارتفاع و چگالی ویژه دارای بیشترین دقت و قطعیت برآورد ($AIC = -۳۸۱/۲$, $RMS = ۰/۱۱$) بود. مدل‌های ارایه شده در جدول ۳، در واقع مدل‌های بهینه از بین کلیه مدل‌سازی‌های انجام شده با مدل‌های پایه مختلف و با استفاده از ترکیب‌های توصیفی متفاوت بودند.

شکل ۱ برازش مدل توانی را برحسب قطر برابر سینه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ برازش مدل بهینه منتخب به صورت غیرخطی و دارای تقارن سهمی شکل بود.

جدول ۳ نتایج مدل‌سازی ذخایر وزنی آب تنه درختان جنگل آمیخته راش مورد مطالعه را مبتنی بر تحلیل رگرسیون خطی ساده و رگرسیون خطی چندگانه نشان می‌دهد. کلیه مدل‌های غیرخطی نیز با تبدیل لگاریتمی به صورت مدل خطی چندگانه در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. نتایج نشان داد که مدل‌های خطی ساده و چندگانه (۷ و ۸) دارای کمترین دقت برآورد و کمترین قطعیت



شکل ۲- برازش مدل تبدیلی لگاریتم تابع توانی برحسب ترکیب مربع قطر برابر سینه، ارتفاع تنه و چگالی ویژه



شکل ۱- برازش مدل توانی برحسب قطر برابر سینه

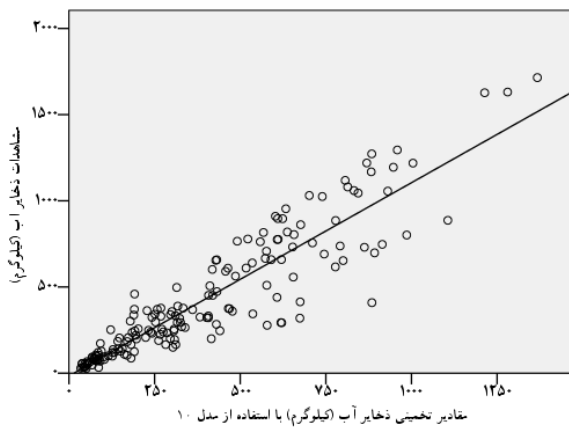
جدول ۳- نتایج تحلیلی مدل‌سازی برحسب پارامترهای محاسباتی مختلف برای پیش‌بینی ذخایر وزنی آب تنه درختان

| کد | مدل‌های مختلف رگرسیون | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | R^2_{Adj} | AIC | RMS | RMSE % | VIF | CF |
|----|--|---------|----------|---------|--------|-------------|---------|---------|--------|------|------|
| ۷ | $Y = b_0 + b_1(D)$ | -۴۷۷/۸ | ۱۳/۱۱ | - | - | ۰/۵۹۴ | +۱۸۹۱/۴ | ۵۲۷۸۶/۶ | ۱۳/۵۲ | - | - |
| ۸ | $Y = b_0 + b_1(D) + b_2(H) + b_3(\rho)$ | -۱۳۲۱/۵ | ۱/۰۶۲ | ۲۳/۸۸ | ۱۰۵۹/۹ | ۰/۷۵۳ | +۱۸۰۹/۶ | ۳۲۱۳۱/۴ | ۷۱/۱۸ | ۱/۳۴ | - |
| ۹ | $\ln Y = b_0 + b_1 \ln(D \times H)$ | -۵/۹۳ | ۱/۰۴ | - | - | ۰/۸۴۱ | -۳۲۶/۰۲ | ۰/۱۵۲ | ۱۱/۴۵ | - | ۱/۰۷ |
| ۱۰ | $\ln Y = b_0 + b_1 \ln(D^x \times H \times \rho)$ | -۵/۴۱ | ۱/۰۴ | - | - | ۰/۸۸۴ | -۳۸۱/۲ | ۰/۱۱۱ | ۹/۰۶ | - | ۱/۰۵ |
| ۱۱ | $\ln Y = b_0 + b_1 \ln(D) + b_2 \ln(H)$ | -۵/۹۴ | ۲/۰۴ | ۱/۱۱ | - | ۰/۸۴۱ | -۳۲۴/۳ | ۰/۱۵۲ | ۱۱/۳۸ | ۱/۳۸ | ۱/۰۷ |
| ۱۲ | $Y = b_0 + b_1 \ln(D) + b_2 \ln(H) + b_3 \ln(\rho)$ | -۵/۲۹ | ۲/۰۳ | ۱/۱۱ | ۱/۱۶ | ۰/۸۸۴ | -۳۷۸/۳ | ۰/۱۱۱ | ۸/۶۱ | ۱/۳۸ | ۱/۰۵ |
| ۱۳ | $\ln Y = b_0 + b_1 \ln(D^x \times H) + \ln(\rho)$ | -۵/۲۸ | ۱/۰۴ | ۱/۱۶ | - | ۰/۸۸۴ | -۳۷۹/۹ | ۰/۱۱۱ | ۸/۵۲ | ۱ | ۱/۰۵ |
| ۱۴ | $\ln Y = b_0 + \frac{b_1}{D^x} + \frac{b_2}{H}$ | ۵/۳۹ | -۱۷۴۸/۰۵ | ۰/۰۰۰۰۱ | - | ۰/۸۴۸ | -۳۳۲/۴ | ۰/۱۴۵ | ۲۴/۲۱ | ۲/۰۴ | ۱/۰۷ |
| ۱۵ | $\ln Y = b_0 + \frac{b_1}{D} + \frac{b_2}{H} + \frac{b_3}{\rho}$ | ۶/۲۶ | ۰/۰۰۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰۱ | -۷۸/۴۷ | ۰/۸۴۴ | -۳۲۶/۸ | ۰/۱۴۹ | ۴۷/۹۱ | ۱۲/۷ | ۱/۰۷ |
| ۱۶ | $\ln Y = b_0 + \frac{b_1}{D^x \times H} + \frac{b_2}{\rho}$ | ۸/۵۵ | -۳۳/۶۳ | -۱/۲۴ | - | ۰/۵۱۲ | -۱۲۹/۴ | ۰/۴۶۷ | ۲۵/۵۱ | ۱ | ۱/۲۶ |
| ۱۷ | $\ln Y = b_0 + b_1(D) + b_2(H) + b_3(\rho)$ | ۱/۰۴ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۷۴ | ۲ | ۰/۸۷۷ | -۳۶۸/۴ | ۰/۱۱۸ | ۹/۷۶ | ۱/۳۴ | ۱/۰۶ |

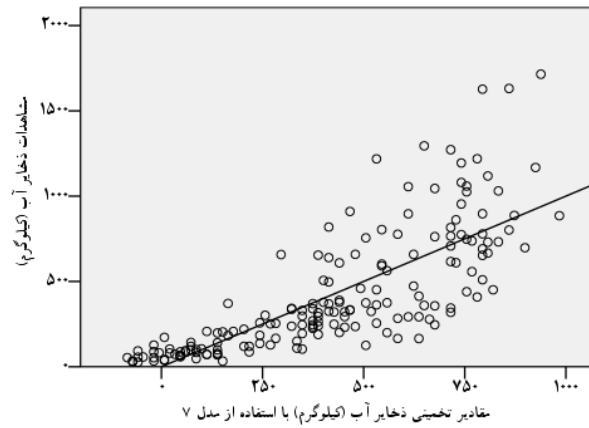
انتخاب بهترین مدل محاسباتی و اولویت‌بندی برای ارایه بیشترین دقت برآورد، برازش بین مقادیر تخمینی مدل خطی ساده و مقادیر واقعی نشان داد که این مدل دارای قطعیت محاسباتی نبود (شکل ۳). شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نشان می‌دهند که مدل‌های ۱۰ و ۱۳ دارای قطعیت برآورد (AIC, RMS , R^2_{adj}) برای پیش‌بینی متغیر پاسخ مورد مطالعه و همچنین دارای بهترین برازش بین مقادیر تخمینی و مشاهدات بودند.

شکل ۲ برازش مدل بهینه انتخابی (مدل ۱۰) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲، مدل مذکور با کمترین پارامتر محاسباتی و کمترین ضریب اطلاعات آکاییک، دارای بهترین برازش خطی و بیشترین دقت برآوردی ذخایر وزنی آب بود.

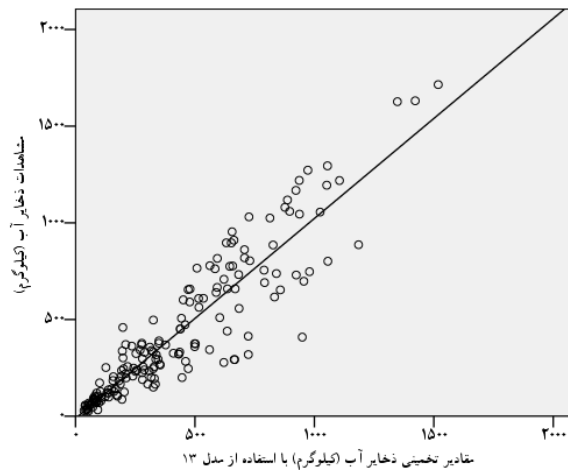
با توجه به جدول ۳ نتایج آزمون هم‌خطی مربوط به هر یک از مدل‌ها به جز مدل ۱۵ نشان داد که کلیه مدل‌های ارایه‌شده دارای اعتبار محاسباتی بودند. با توجه به ارزیابی



شکل ۴- برازش خطی بین تخمین مدل ۱۰ و مشاهدات



شکل ۳- برازش خطی بین تخمین مدل ساده (مدل هفت) و مشاهدات



شکل ۵- برازش خطی بین تخمین مدل ۱۳ و مشاهدات

اعتبارسنجی آن، مدل مذکور دارای اعتبار محاسباتی نبود. برازش بین تخمین مدل مذکور و مقادیر واقعی ذخایر آب نشان داد که در طبقه‌های پایین قطری، برآورد مدل منفی بود که این امر نشان از عدم قطعیت اعتبار آن بود. در مقابل، تحلیل غیرخطی دقت برآوردی قابل قبولی را برای پیش‌بینی متغیر پاسخ مورد مطالعه نشان داد.

در بین کلیه مدل‌های محاسباتی، مدل توانی ($Y = ax^b$) دارای بیشترین دقت برآوردی بود. Thompson (۱۹۹۲) مدل مذکور را به‌عنوان معادله آلومتریک پایه معرفی کرد که در کلیه مطالعات آلومتری مربوط به آناتومی، فیزیولوژی، شکل‌ساختاری، رفتار و واکنش اجزای بیولوژی کاربرد اساسی دارد. Ketterings و همکاران (۲۰۰۱) نیز تأکید

بحث

پژوهش پیش‌رو نشان داد که مدل‌سازی بر مبنای تحلیل خطی ساده و خطی چندگانه، دقت برآورد قابل قبولی برای پیش‌بینی ذخایر وزنی آب تنه درختان در رابطه با روند چرخه آب در جنگل‌های مورد مطالعه نداشت. با توجه به این‌که برای ارزیابی بهترین مدل رگرسیون باید شاخص‌های اعتبارسنجی را مورد توجه قرار داد، بررسی تحلیل مدل‌های مختلف رگرسیون بر مبنای ضریب اطلاعات آکاییک، میانگین مربعات باقیمانده‌ها و ضریب تبیین تعدیل‌یافته (Pardoe, 2006) نشان داد که اگرچه درصد ریشه میانگین مربعات خطای رگرسیون خطی ساده (مدل هفت) دارای مقدار عددی قابل قبولی بود، اما به استناد مقادیر عددی کلیه شاخص‌های

معرفی مدل بهینه (مدل ۱۰) در پژوهش پیش‌رو می‌توان اظهار داشت که ذخایر وزنی آب با معرف حجمی درختان، جرم حجمی و مقادیر زی‌توده ارتباط معنی‌داری در روند پیش‌بینی داشت. نتایج مدل‌سازی در پژوهش پیش‌رو نشان داد که مدل‌های ۱۲ و ۱۳ نیز دارای مزیت نسبی برای محاسبه و پیش‌بینی ذخایر وزنی آب تنه درختان در جنگل مورد مطالعه بودند. در واقع، براساس قطعیت اعتبار محاسباتی مدل‌های مزبور برحسب درصد ریشه میانگین مربعات خطای بین تخمین و مقادیر واقعی (شکل ۵) و با توجه به مقادیر عددی شاخص‌های اعتبارسنجی دیگر، از این مدل‌ها می‌توان به‌عنوان مدل‌های بهینه با بیشترین دقت برآورد نام برد، اما از آنجایی که مدل‌های ساده‌تر با کمترین تعداد پارامتر با احتساب کمترین مجموع مربعات باقیمانده‌ها و پیرو آن کمترین مقدار ضریب اطلاعات آکاییک (Pardoe, 2006) در اولویت محاسباتی بودند، مدل بازنمایی ۱۰ با معادله $W_{H,o} = Y = [\exp(1/0.4 \ln(D^2 H \rho) - 0.5/0.41) \times 1/0.5]$ به‌عنوان مدل بهینه و کاربردی برای برآورد و پیش‌بینی متغیر پاسخ در پژوهش پیش‌رو معرفی شد.

براساس مطالعات Linares و Camarero (۲۰۱۲) و مشخص شد که یکی از مهمترین دلایل افزایش نرخ تولید زی‌توده و بهره‌وری بیشتر آب که منجر به ذخایر بیشتر آب در ساختار زی‌توده درختان شده است، افزایش غلظت کربن اتمسفری در دهه‌های اخیر است. اگرچه باید توجه داشت که افزایش بیشتر از حد غلظت کربن اتمسفری، سبب افزایش درجه حرارت می‌شود و افزایش بیشتر از حد درجه حرارت به‌خصوص در فصل‌های گرم که در واقع به‌نوعی دوره رویش گیاهی محسوب می‌شود، باعث اختلال در رویش گیاهی و کاهش منابع آب می‌شود (Tei et al., 2014). از این‌رو با توجه به این‌که تغییرات ذخایر آب تنه درختان رابطه مستقیم با تغییرات زی‌توده و تغییرات ویژگی‌های بیوفیزیکی درختان دارد با استفاده کاربردی از مدل بهینه مذکور می‌توان پایش صحیحی در رابطه با تغییرات ذخایر آب طی سال‌های مختلف در رابطه با تغییرات درجه حرارت، غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری و تغییرات اقلیم داشت. با توجه به

کردند که تابع توانی به‌عنوان پرکاربردترین مدل در کلیه مطالعات آلومتری در زمینه‌های مختلف بیولوژی محسوب می‌شود. در زمینه‌های مختلف اکولوژی جنگل نیز از تابع توانی و معادل لگاریتمی آن در تحلیل خطی چندگانه برای مطالعات مدل‌سازی زی‌توده و حوضچه‌های کربن استفاده زیادی شده است (Ketterings et al., 2001; Djomo et al., 2010; Alvarez et al., 2012; Vahedi, 2014). با توجه به این‌که در پژوهش پیش‌رو نیز مدل مذکور قابلیت زیادی برای برآورد ذخایر وزنی آب تنه درختان نشان داد، می‌توان بیان کرد که تغییرات مقادیر زی‌توده، ارتباط مستقیم با تغییرات ذخایر آب درختان دارد. در واقع، این موضوع قطعی است که افزایش قطری تنه درختان و میزان تولید زی‌توده ارتباط زیادی با میزان بارندگی و آب قابل دسترس درختان دارد (Marvi Mohajer, 2005). Tei و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی حلقه‌های رویش سالانه درختان در شرق سیبری دریافتند که در رویشگاه‌هایی که میزان بارندگی کمتری وجود داشت، عرض حلقه‌ها و پیرو آن میزان تولید زی‌توده کمتر از رویشگاه‌هایی بود که میزان بارش بیشتری داشتند، بنابراین بدیهی است که در درختان قطور، ذخایر آب بیشتری موجود است. همان‌طور که در پژوهش پیش‌رو نشان داده شد، احتساب فقط قطر برابر سینه در مدل توانی به‌طور تقریب ۷۷ درصد تغییرات واریانس برآورد ذخایر آب را توجیه کرد (مدل یک در جدول ۱)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روند رویش قطری درختان می‌تواند به‌نوعی بیان‌گر میزان ذخایر آب در زی‌توده درختان جنگل مورد مطالعه باشد. با افزایش ارتفاع و چگالی ویژه در مدل علاوه بر قطر برابر سینه، دقت برآورد بیشتر شد. در رابطه با تحلیل مدل‌سازی، افزایش کمیت‌های بیوفیزیکی مذکور به‌صورت متغیر ترکیبی و متغیرهای مستقل باعث افزایش دقت برآورد قابل ملاحظه ذخایر آب تنه درختان جنگل آمیخته راش شدند. Henry و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که حاصل ضرب مربع قطر و ارتفاع ($D^2 \times H$) به‌عنوان معرف حجم درختان محسوب می‌شود و به‌نوعی ارتباط مستقیم با جرم حجمی و زی‌توده درختان دارد. با توجه به

به طوری که پس از قطع و خروج یک درخت راش از جنگل با قطر ۹۰ سانتی متر، ارتفاع ۲۰ متر از تنه و متوسط جرم حجمی ویژه تنه ($\rho = 0.61 \text{ g/cm}^3$)، به طور تقریب ۹۵۰ لیتر آب موجود در تنه از اکوسیستم خارج می شود که این میزان در سطح یک پارسل و یا سری می تواند تأثیر قابل ملاحظه ای در روند چرخه آب داشته باشد.

References

- Aboal, R.J., Arevalo, R.J. and Fernandez, A., 2005. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomeral Laurel forest (Canary Islands). *Flora*, 200: 264-274.
- Alvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., Salas, G.D.L., Valle, L.D., Lema, A., Moreno, F., Orrego, S. and Rodriguez, L., 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267: 297-308.
- Anonymous, 2004. Improvement and silviculture of beech. Proceedings of the 7th International Beech Symposium. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 186p.
- Anonymous, 2008. Glandrood forest management project, District no: 3, Noor, Mazandaran (second renewal view). General Office of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran Province, Nowshahr, 174p (In Persian).
- Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K. and Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257: 1684-1694.
- Bates, D.M. and Watts, D.G., 1988. *Nonlinear Regression Analysis and its Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 90p.
- Bihamta, M.R. and Chahouki, M.A., 2011. *Principle of Statistic for the Natural Resources Science*. University of Tehran Press, Tehran, 300p (In Persian).
- Birot, B., Garcia, C. and Palahi, M., 2011. Water for forests and people in in the Mediterranean region- A challenging balance. *European Forest Institute*, 174p.
- Bonan, G.B., Levis, S., Sitch, S., Vertenstein, M. and Oleson, K.W., 2003. A dynamic global

این که به طور قطع، گونه های مختلف درختان بر مبنای سرشت نوری و کلیه ویژگی های اکولوژیکی دارای نرخ رشد و میزان آب قابل بهره وری متفاوتی هستند، با احتساب چگالی ویژه هر یک از گونه ها علاوه بر قطر و ارتفاع در مدل بهینه ارایه شده، می توان به نوعی تغییرات ذخایر آب و روند چرخه آب در ارتباط با هر گونه را پیش کرد.

توده های آمیخته راش در جنگل های هیرکانی با توجه به موقعیت پراکنش آنها در ارتفاعات میان بند به عنوان مهمترین منابع آب ذخیره شده در روند چرخه آب و تعادل جریانات کلیما برای رسیدن به آخرین مرحله توالی به شمار می روند. از این رو، با توجه به میزان رطوبت زیاد و شرایط مه آلود در این جنگل ها، عملیات قطع و خروج درختان از جنگل های مذکور منجر به هدررفت گسترده ذخایر آب و ایجاد آشفتنگی در روند چرخه آب می شود. البته با استناد به بند شش تبصره ماده ۱۴۸ مصوبه هیأت وزیران مبنی بر عدم قطع و خروج درختان از اکوسیستم های طبیعی جنگل، برخی از نظرات اجرایی مبنی بر این است که حداقل برای جبران بخشی از درآمد اقتصادی و اهداف مختلف دیگر، خشک دارها با شدت بیشتری از جنگل ها خارج شوند. خشک دارها و درختانی که در آستانه دیرزیستی هستند، دارای کمترین فعالیت فتوسنتزی و کمترین جذب دی اکسید کربن هستند و روند تنفس و خروج کربن در آنها زیادتر است (Caparros & Jacquemont, 2003)، اما باید در نظر داشت که در واقع شروع پوسیدگی درختان با شروع فعالیت تنفسی شدید بیشتر از روند طبیعی درختان سالم است، بنابراین انتظار می رود کلیه منابع WUE موجود در اجزای این درختان (از جمله تنه) در یک بازه زمانی مشخص وارد فضای اتمسفر و چرخه آب شود و در زمانی که میزان بارندگی کمتر است یا آب قابل بهره وری در دسترس درختان نیست، میزان آب وارد شده در روند چرخه آب، در دسترس درختان جوان تری قرار گیرد که شدت فعالیت جذب کربن اتمسفری برای تولید زی توده در آنها زیادتر است. در نهایت، می توان یک ارزش کمی برای عدم قطع و خروج درختان از اکوسیستم های طبیعی جنگل نشان داد،

- Maccaughey, H. and Roulet, N.T., 2006. Hydrological effects on carbon cycles of Canada's forests and wetlands. *Tellus*, 58: 16-30.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., Noordwijk, M.V., Ambagau, Y. and Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146: 199-209.
 - Kljun, N., Black, T.A., Griffis, T.J., Barr, A.G., Gaumont-Guay, D., Morgenstern, K., McCaughey, J.H. and Nesic, Z., 2004. Net carbon exchange of three boreal forests during a drought. *Proceedings of the 26th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*. Vancouver, Canada, 23-27 Aug. 2004: 4p.
 - Linares, J.C. and Camarero, J.J., 2012. From pattern to process: linking intrinsic water-use efficiency to drought-induced forest decline. *Global Change Biology*, 18: 1000-1015.
 - Marvie Mohajer, M.R., 2005. *Silviculture*. University of Tehran Press, Tehran, 378p (In Persian).
 - Pardoe, I., 2006. *Applied Regression Modeling*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 312p.
 - Parsapajuh, D., 2012. *Wood Technology*. University of Tehran Press, Tehran, 420p (In Persian).
 - Tei, S., Sugimoto, A., Yonenobu, H., Ohta, T. and Maximov, T.C., 2014. Growth and physiological responses of larch trees to climate changes deduced from tree-ring widths and $\delta^{13}C$ at two forest sites in eastern Siberia. *Polar Science*, 8: 183-195.
 - Thompson, D.W., 1992. *On Growth and Form*. Cambridge University Press, Cambridge, 1116p.
 - Vahedi, A.A., 2014. Optimal allometric biomass equations for Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) boles within the Hyrcanian forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2: 225-236 (In Persian).
 - Zhu, B., Wang, X., Fang, W., Piao, S., Shen, H., Zhao, S. and Peng, C., 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, northeast China. *Journal of Plant Research*, 123: 439-452.
 - vegetation model for use with climate models concepts and description of simulated vegetation dynamics. *Global Change Biology*, 9: 1543-1566.
 - Burnham, K.P. and Anderson, D.R., 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-theoretic Approach*. Springer-Verlag, New York, 488p.
 - Caparros, A. and Jacquemont, F., 2003. Conflicts between biodiversity and carbon sequestration programs: economic and legal implications. *Ecological Economics*, 46(1): 143-157.
 - Chave, J., Andalo, V., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B. and Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87-99.
 - Djomo, A.N., Adamou, I., Joachim, S. and Gode, G., 2010. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Forest Ecology and Management*, 260: 1873-1885.
 - Dufrene, E., Davi, H., Francois, C., Maire, G.L., Dantec, V.L. and Granier, A., 2005. Modeling carbon and water cycles in a beech forest Part I: Model description and uncertainty analysis on modelled NEE. *Ecological Modelling*, 185: 407-436.
 - Gerten, D., Schaphoff, S., Haberlandt, U., Lucht, W. and Sitch, S., 2004. Terrestrial vegetation and water balance-hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology*, 286: 249-270.
 - Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., AduBredu, S., Valentini, R., Bernoux, M. and SaintAndré, L., 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260: 1375-1388.
 - Holtum, J.A.M. and Winter, K., 2010. Elevated [CO₂] and forest vegetation: more a water issue than a carbon issue? *Functional Plant Biology*, 37: 694-702.
 - Ju, W., Chen, J.M., Black, T.A., Barr, A.G.,

Modeling loss of water resources after cutting out trees in the Hyrcanian forest of Iran**A.A. Vahedi**

Ph.D. Forestry, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: ali.vahedi60@gmail.com

Received: 23.11.2015

Accepted: 10.02.2016

Abstract

The crisis of water shortage and the impact of El Nino in the past few years, are the most important issues that should be considered. The aim of this study was to introduce optimal models for monitoring water reserves in the trees with respect to water cycle in Glandrood mixed-beech forests, Noor. Therefore, after sampling of disks for 2- 5 meters of trunk length of 174 individuals, wood samples with fixed dimensions were oven-dried. After weighing each tree trunk in the field and difference between the wet mass and dry biomass considering the ratio of drought index, the whole water reserves were measured. To develop the models for predicting response variable, simple, multiple linear and nonlinear regression analysis were used. The results showed that simple and linear models had no considerable accuracy to predict the response variable. In contrast, power function, exponential and curve-models predicted the response variable with the high accuracy. Power function was the best model and that was developed to predict the water reserve value with the highest accuracy. Using this equation provides possibility for predicting the loss of water resource related to water cycle after cutting out the trees from the studied forests.

Keywords: Allometric equations, El-Nino phenomenon, mixed-beech forests, water cycle.