

## سیاست برداشت بهینه از جنگل با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا (مطالعه موردی: جنگل شفارود)

سمانه نامداری<sup>۱</sup>، سلیمان محمدی لیمائی<sup>۲\*</sup>، رامین نقدی<sup>۳</sup> و امیراسلام بنیاد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان

<sup>۲</sup> استادیار و دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳/۱۲/۹۰، تاریخ پذیرش: ۱/۵/۹۱)

### چکیده

هدف از این تحقیق، تعیین مقدار برداشت بهینه راش با استفاده از برنامه‌ریزی پویا در جنگل شفارود در استان گیلان است. در این بررسی، ابتدا برای پیش‌بینی رویش راش از مدل ریاضی لجستیک استفاده شد. در مرحله بعد با استفاده از داده‌های سری‌های زمانی قیمت و هزینه، معادلات قیمت چوب و هزینه متغیر بهره‌برداری راش بر اساس مدل خودکاهشی برآورد شد. سپس با استفاده از معادلات رویش، قیمت، هزینه متغیر بهره‌برداری و نرخ سود بانکی مقدار برداشت بهینه از جنگل با استفاده از فن برنامه‌ریزی پویا، به‌طوری‌که حداکثر ارزش فعلی مورد انتظار نصیب واحد تولیدی شود، محاسبه شد. برای بهینه‌سازی مقدار برداشت از مدل برنامه‌ریزی پویا در نرم‌افزار LINGO استفاده شد. به‌منظور بهینه‌سازی مدل، متغیرهای حداقل موجودی سرپای ممکن، مدل رویش، قیمت چوب در کنار جاده، هزینه متغیر بهره‌برداری، افق برنامه‌ریزی، هزینه انتقال گروه‌های قطع و وسایل بهره‌برداری به داخل جنگل و نرخ سود بانکی کدنویسی شدند. با توجه به متوسط موجودی سرپای منطقه که ۴۹۰ متر مکعب در هکتار و حداقل موجودی سرپای ممکن در این تحقیق که ۱۰۰ متر مکعب در هکتار است، مقدار برداشت بهینه و حداکثر ارزش فعلی مورد انتظار در یک دوره ۱۰۰ ساله به ترتیب ۶ تا ۱۲ متر مکعب در سال و ۳۲۳۲۶ هزار ریال در هکتار برآورد شد. آنالیز حساسیت‌پذیری نشان داد که ممکن است مقدار برداشت بهینه با توجه به موجودی فعلی جنگل و حداقل موجودی سرپای ممکن، در نوسان باشد و حتی در مواردی هیچ برداشتی هم از جنگل صورت نگیرد.

**واژه‌های کلیدی:** برداشت بهینه، مدل رویش، مدل قیمت، روش برنامه‌ریزی پویا، جنگل شفارود.

## مقدمه و هدف

هدف از اداره اقتصادی جنگل‌ها، کاربرد تئوری‌های اقتصاد در مورد مسائل مربوط به مهندسی جنگل است و مقصود آن است که از بین راه‌های مختلف رسیدن به یک هدف، راهی انتخاب شود که حداکثر سود را نصیب واحد تولیدی کند. اگر ما به آینده اطمینان کامل داشته باشیم و اگر قبول کنیم که هدف اقتصادی واحد تولیدی، باید تنها سود حداکثر باشد (بدون در نظر گرفتن هدف‌های سیاسی، اجتماعی)، به‌نظر می‌رسد تنها ضابطه صحیح حداکثر ارزش فعلی است، زیرا اقتصادی بودن هر عمل بر اساس سودی که واحد از آن عمل به‌دست می‌آورد اندازه‌گیری می‌شود و این سود، هنگامی حداکثر است که سود فعلی حداکثر باشد (سعید، ۱۳۸۵). از آنجا که جمع‌آوری اطلاعات و تجربه طرح تمام راه‌حل‌های ممکن برای رسیدن به هدف با روش‌های سنتی به محاسبات خسته‌کننده و زمان‌بر احتیاج دارد، باید از تکنیک‌هایی استفاده شود که در آنها مسائل به‌طور عمیق تجزیه و تحلیل شود و روابط به‌وسیله عواملی که در تولید جنگل اثر می‌گذارند، به‌صورتی بهتر از روش‌های قدیمی و سنتی مشخص شوند. با ظهور تحقیق در عملیات و رایانه در قرن بیستم، ابزاری قدرتمند برای مدیریت علم فراهم آمد. اگرچه این روش‌ها اولین بار در بخش نظامی به‌کار گرفته شد، به‌سرعت در دیگر قلمروهای تحقیقاتی از قبیل مدیریت جنگل به‌کار گرفته شد. با این تکنیک‌های بهینه‌سازی و کامپیوترهای مدرن، می‌توان به آسانی مسائل متعدد پیچیده را حل کرد (Lu, 2004) و بهترین برنامه (روش اجرای کار) از مجموعه راه‌های ممکن را به‌دست آورد. بهینه‌سازی محدودیت‌دار یا برنامه‌ریزی ریاضی، فرایندی ریاضیاتی برای تعیین تخصیص بهینه منابع کمیاب است (مرادی‌نژاد و همتا، ۱۳۸۸) و از آنجا که جنگل نیز جزو منابع محدود محسوب می‌شود، در این تحقیق سعی شد که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویا، مقدار برداشت از جنگل طوری تعیین شود که بیشترین ارزش خالص فعلی در هر هکتار جنگل به‌دست آید. در این مطالعه فرض بر این است که مقدار برداشت بهینه از جنگل با استفاده از برنامه‌ریزی پویا قابل بررسی است. برنامه‌ریزی پویا که تکنیکی برای حل مسائلی است که مستلزم تصمیم‌های متوالی هستند، اولین بار (Bellman 1957)

ایجاد کرد. در اواخر دهه ۱۹۶۰، محققانی چون Amidon & Akin (1968) و Schreuder (1971) و Hool (1966) آن را وارد علم جنگلداری کردند. (1966) Hool اولین بار از برنامه‌ریزی پویا در مسائل مربوط به تولیدات جنگلی استفاده کرد. وی برای نخستین بار زنجیره مارکوف<sup>۱</sup> را برای تحلیل مدیریت جنگل‌های همسال به‌کار گرفت. (1968) Amidon & Akin به‌طور گسترده‌تر روش برنامه‌ریزی پویای حتمی<sup>۲</sup> را برای مسائل مربوط به جنگل به‌کار گرفتند. آنها استفاده از برنامه‌ریزی پویا را در مورد تغییرات قیمت چوب در طول زمان تایید کردند. (1971) Schreuder برای به‌دست آوردن زمان مناسب برای تنک کردن و تعیین سن چرخش بهینه از برنامه‌ریزی پویا و روش بازگشتی پس‌رو<sup>۳</sup> استفاده کرد. با توجه به ماهیت برنامه‌ریزی پویا، این روش امروزه، بیشتر برای برنامه‌ریزی مقدار برداشت جنگل‌های ناهمسال استفاده می‌شود (Anderson & Bare, 1994; Lu, 2004; Lohmander, 2000; Mohammadi Limaiei, 2006; Mohammadi Limaiei, 2011). اولین بار محمدی لیمایی (۱۳۸۸) بهینه‌سازی از طریق برنامه‌ریزی پویا را در ایران برای جنگل ناهمسال خیرود نوشهر، به‌کار گرفت. هدف از تحقیق حاضر، تعیین مقدار برداشت بهینه از جنگل‌های ناهمسال راش شفارود با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا در یک دوره ۱۰۰ ساله است.

## مواد و روش‌ها

- مدل رویش

معادله رویش زیستی بر اساس مدل پویا شفر (Schaefer, 1954)، یک نوع معادله لجستیک پویای جمعیت<sup>۴</sup> است که بر اساس مدل لجستیک ورهاست<sup>۵</sup> در سال ۱۹۳۸ ارائه شد. در مدل لجستیک پویا، نرخ رویش تابعی از جمعیت موجود زنده و مقدار منابع غذایی در دسترس است. رویش در جنگل هم بر اساس تحقیقات از رویش دیگر موجودات زنده پیروی می‌کند (Clark, 1976). در این بررسی داده‌های

1- Markov Chain

2- Deterministic Dynamic Programming

3- Backward Algorithm

4- Logistic Equation of Population Dynamics

5- Verhulst

$$C_{t+1} = \alpha_2 + \beta_2 C_t + \varepsilon_t \quad 3$$

در اینجا  $P_{t+1}$  قیمت در زمان  $t+1$ ،  $p_t$  قیمت در زمان  $t$  و  $C_{t+1}$  هزینه متغیر بهره‌برداری در زمان  $t+1$  و  $C_t$  هزینه در زمان  $t$  است.  $\alpha_1$  و  $\beta_1$  پارامترهای برآورد شده برای مدل قیمت و  $\alpha_2$  و  $\beta_2$  نیز پارامترهای برآورد شده برای مدل هزینه هستند. در اینجا نیز  $\varepsilon_t$  یک رشته از خطاها با توزیع نرمال، میانگین و خودهمبستگی صفر است. برای برآورد میانگین مورد انتظار، قیمت چوب ناخالص ( $\bar{p}$ ) و میانگین مورد انتظار هزینه متغیر بهره‌برداری ( $\bar{C}$ ) به ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده شد (Mohammadi Limaiei, 2006):

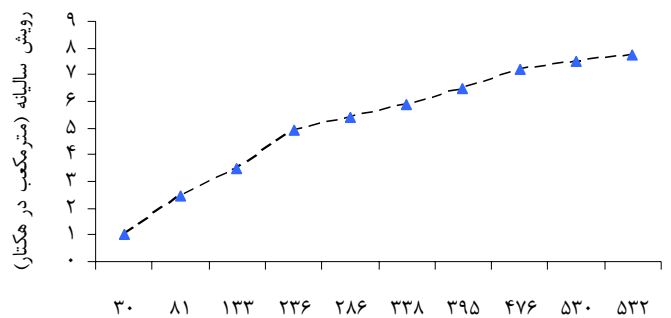
$$\bar{p} = \frac{\alpha_1}{1 - \beta_1} \quad 4$$

$$\bar{C} = \frac{\alpha_2}{1 - \beta_2} \quad 5$$

- روش برنامه‌ریزی ریاضی پویا

این روش را اولین بار به‌طور کلاسیک، پروفیسور بلمن<sup>۳</sup> در سال ۱۹۵۷ معرفی کرد و از آن به بعد برای حل مسائل به‌کار گرفته شد (Bellman, 1957). برنامه‌ریزی پویا شامل مرحله، وضعیت یا حالت و سیاست بهینه است. هر مسئله برنامه‌ریزی به مسائل جزئی تبدیل می‌شود که به هر مسئله جزئی یک مرحله می‌گویند. مرحله اول موضع تصمیم‌گیری است و شامل یک یا چند وضعیت یا حالت است. تصمیم‌گیری در هر مرحله با توجه به مشخص بودن وضعیت در آن مرحله انجام می‌گیرد. در این بررسی، موجودی در هکتار یک متغیر حالت است که سیستم جنگل بر اساس آن توصیف می‌شود. سیاست بهینه در یک مرحله، مقدار برداشت بهینه از آن مرحله تا مرحله نهایی است. در اینجا سیاست بهینه، مقدار برداشت بهینه است که در آن ارزش فعلی به حداکثر می‌رسد. در اینجا فرض بر این است که وضعیت به‌طور حتم قابل پیش‌بینی است. در نتیجه مدل ریاضی که ما از آن استفاده کردیم، مدل برنامه‌ریزی پویای حتمی است. ابتدا مقدار ارزش فعلی مورد انتظار برای دوره نهایی (T) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Mohammadi Limaiei, 2006):

موجودی در هکتار و رویش گونه راش در سری ۹ حوضه آبخیز جنگل سفارود برای تعیین معادله رویش استفاده شد (بنیاد، ۱۳۸۴) (شکل ۱).



شکل ۱- رویش سالیانه در ارتباط با موجودی در هکتار گونه راش در سری ۹ حوضه آبخیز سفارود

به‌منظور دستیابی به معادله‌ای که بیانگر رویش جنگل باشد، از معادله لجستیک (رابطه ۱) استفاده شد:

$$G = \gamma + \alpha V + \beta V^2 + \varepsilon \quad 1$$

که در آن  $G$  رویش سالیانه (متر مکعب در هکتار)،  $V$  حجم سرپا (متر مکعب در هکتار) و  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  پارامترهای برآورد شده هستند. در اینجا فرض شده که  $\varepsilon$  یک رشته از خطاها با توزیع نرمال، میانگین و خودهمبستگی<sup>۱</sup> صفر است. از تحلیل رگرسیون برای برآورد معادله رویش گونه راش استفاده شد.

- قیمت چوب

داده‌های قیمت گرده‌بینه، کاتین و چوب‌های هیز می مربوط به گونه راش در کنار جاده جنگلی و هزینه متغیر بهره‌برداری (قطع، تبدیل و حمل تا جاده) به‌ازای هر متر مکعب چوب راش از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸ از طریق دفترهای حسابداری شرکت و همچنین مصاحبه با مدیریت بهره‌برداری شرکت سفارود و دیگر کارشناسان شرکت جمع‌آوری شد. از شاخص قیمتی مصرف‌کننده برای حذف تورم استفاده شد. سپس از مدل خودکاهشی<sup>۲</sup> برای برآورد قیمت ناخالص چوب (معادله ۲) و هزینه متغیر بهره‌برداری (معادله ۳) به‌ازای هر متر مکعب چوب راش استفاده شد.

$$p_{t+1} = \alpha_1 + \beta_1 p_t + \varepsilon_t \quad 2$$

1- Autocorrelation  
2- Autoregressive Model

دوره، افق برنامه‌ریزی یا طول دوره، هزینه انتقال گروه‌های قطع و وسایل بهره‌برداری به داخل جنگل و نرخ سود بازار، به‌منظور بهینه‌سازی در نرم‌افزار LINGO کدنویسی شدند.

### نتایج

- برآورد معادله رویش گونه راش

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و مقدار  $t$  آماری در سطح احتمال ۹۵ درصد بین پارامترهای  $V$ ،  $G$  و  $V^2$  رابطه معنی‌داری وجود دارد. مقدار  $t$  آماری برای  $V$  و  $V^2$  به ترتیب ۱۶/۹۶ و ۷/۶۳ به‌دست آمد (جدول ۱).

$$f_T(v) = \text{Max}\{r_T(v, h)\} \quad ۶$$

در اینجا  $t$ : دوره،  $V$ : متغیر حالت و  $h$ : متغیر تصمیم است. تصمیم‌گیری بهینه و ارزش فعلی برای دوره‌های قبل از  $T$ ، یعنی  $t \in \{0, 1, 2, \dots, T\}$  به کمک الگوریتم بازگشتی برنامه‌ریزی پویا و از روش برگشت به عقب با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$f_t(v) = \text{Max}\{r_t(v, h) + f_{t-1}(v)\} \quad ۷$$

پارامترهای معادله رویش، میانگین قیمت ناخالص چوب سرپای مورد انتظار، هزینه متغیر بهره‌برداری به‌ازای هر متر مکعب چوب راش، حداقل موجودی سرپای ممکن در طول

جدول ۱- پارامترهای برآوردشده بر اساس داده‌های رویش گونه راش در سری ۹ حوضه آبخیز شفارود

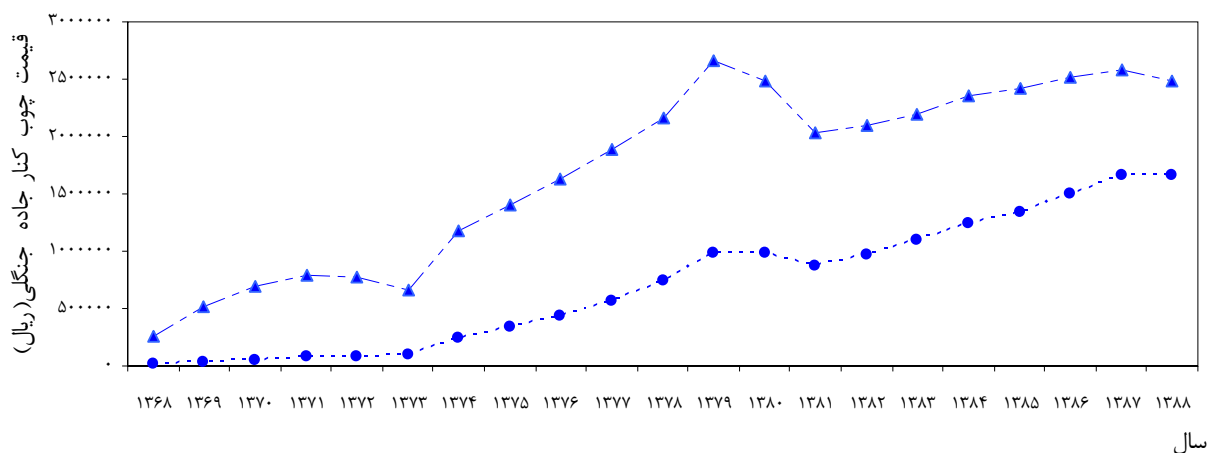
$\delta$ (انحراف ازمعیار)	$R$	$R^2$	$\beta$	$\alpha$	$\gamma$	
۰/۱۶۳۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۵	-۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۲۰۹۱۷	۰/۷۵۶۷۳۷	ارزش پارامتر
			۲/۰۲۲۴۰	۰/۰۰۱۲۳۳	۰/۱۵۴۴	انحراف معیار
			-۷/۶۳	۱۶/۹۶	۴/۹۰۱۱	$t$ آماری

مصرف‌کننده نسبت به سال پایه ۱۳۸۳ تعدیل شدند (شکل ۲). لازم به ذکر است که عدد شاخص در سال ۱۳۸۳ برابر با ۱۰۰ است (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۰). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و مقدار  $t$  آماری (۸/۱۲۵) در سطح احتمال ۹۵ درصد، بین پارامترهای  $p_t$  و  $p_{t+1}$  رابطه معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲).

با قرار دادن مقادیر و پارامترهای به‌دست‌آمده از جدول ۱ در رابطه ۱ مدل لجستیک به‌صورت زیر برآورد شد:

$$G = 0/756737 + 0/0208V - 0/000015V^2$$

- برآورد مدل قیمت چوب گونه راش  
داده‌های قیمت ناخالص چوب راش در کنار جاده جنگلی در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸ با استفاده از شاخص قیمتی



شکل ۲- قیمت تعدیل‌شده (واقعی) و تعدیل‌نشده چوب راش در کنار جاده جنگلی در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸

جدول ۲- مقادیر پارامترهای برآوردشده بر اساس داده‌های قیمت ناخالص چوب سرپا برای مدل خودکاهشی از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۹

$\delta$ (انحراف از معیار)	$R$	$R^2$	$\beta$	$\alpha$	
۱۵۱/۳۷	۰/۸۸	۰/۷۸۵	۰/۷۸	۲۴۹/۱۴۷	ارزش پارامتر
			۰/۰۹۵	۱۰/۱۶۲۵	انحراف معیار
			۸/۱۲۵	۲/۴۵۱	$t$ آماری

داده‌های هزینه متغیر بهره‌برداری به‌ازای هر متر مکعب چوب سرپای راش در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸ با استفاده از شاخص قیمتی مصرف‌کننده تعدیل شد (شکل ۳).

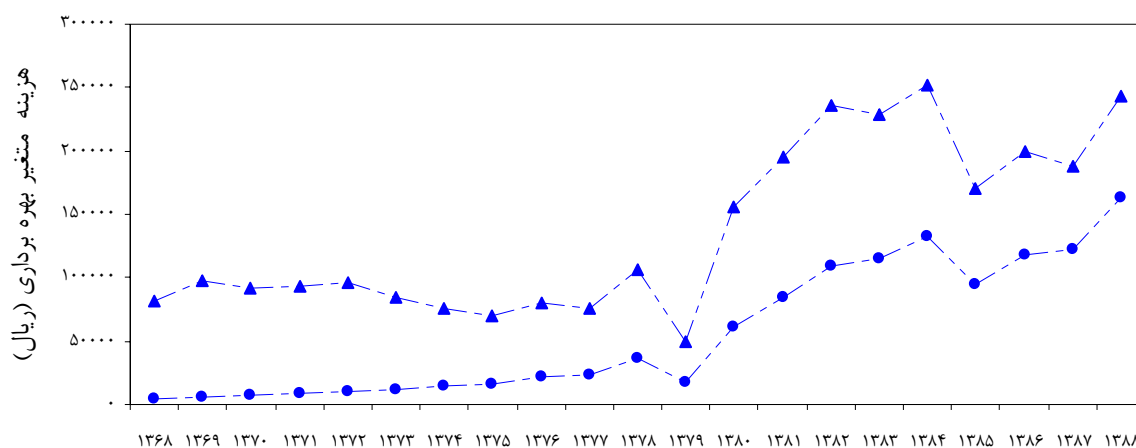
از آنالیز رگرسیون برای برآورد معادله هزینه متغیر بهره‌برداری استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۳ و مقدار  $t$  آماری در سطح احتمال ۹۵ درصد بین پارامترهای  $c_t$  و  $C_{t+1}$  رابطه معنی‌داری وجود دارد.

بر اساس مقادیر پارامترها در جدول ۲ و با استفاده از رابطه ۲، مدل خودکاهشی قیمت ناخالص چوب به‌صورت زیر برآورد شد:

$$p_{t+1} = 249/147 + 0/78 p_t$$

با استفاده از رابطه ۴، میانگین قیمت مورد انتظار چوب برای گونه راش ۱۱۳۰۰۰۰ ریال در متر مکعب برآورد شد.

- برآورد هزینه خروج هر متر مکعب چوب راش



سال

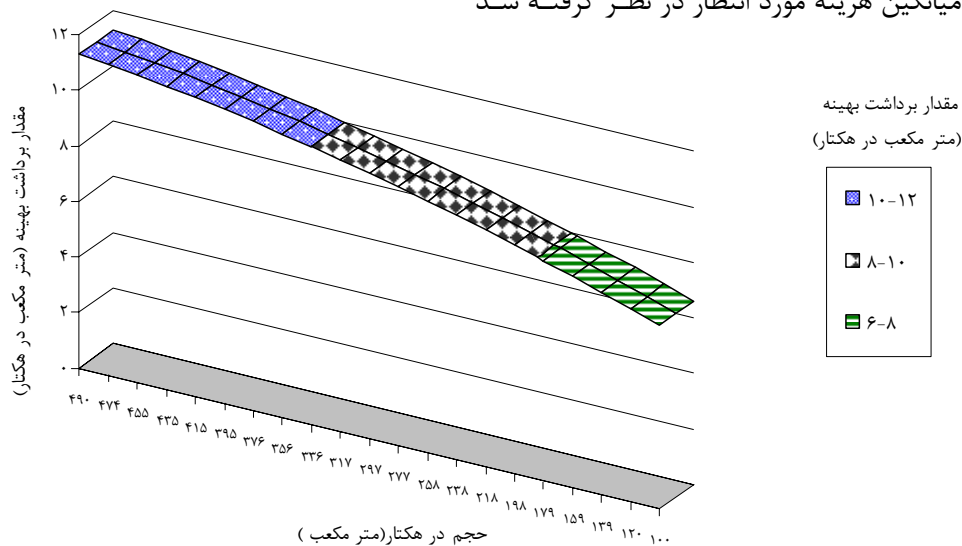
—▲— هزینه تعدیل شده  
—●— هزینه تعدیل نشده

شکل ۳- هزینه متغیر تعدیل شده (واقعی) و تعدیل نشده بهره‌برداری به‌ازای هر متر مکعب چوب راش در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸

جدول ۳- مقادیر پارامترهای برآوردشده بر اساس داده‌های هزینه خروج چوب برای مدل خودکاهشی از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸

$\delta$ (انحراف از معیار)	$R$	$R^2$	$\beta$	$\alpha$	
۲۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۳۳۴	۰/۶	۳۳/۸۲۵	ارزش پارامتر
			۰/۱	۱۶/۰۸	انحراف معیار
			۳/۰۴	۲/۱۰	$t$ آماری

که از رابطه ۵ به دست آمد (۸۰۰۰۰ ریال). نرخ سود بازار ۳ درصد، افق برنامه‌ریزی یا طول دوره ۱۰۰ سال و هزینه انتقال گروه‌های قطع و وسایل بهره‌برداری به داخل جنگل ۵۰۰۰۰۰ ریال در هر هکتار در نظر گرفته شد. مدل رویش جنگل هم مطابق فرمول ۱ وارد نرم‌افزار شد. در نهایت فرمول ارزش خالص فعلی در نرم‌افزار نوشته شد. خروجی نرم‌افزار شامل جواب بهینه، متغیرهای داده‌شده، تغییرات حجم سرپا در سال‌های مختلف (V)، تغییرات رویش جنگل در سال‌های مختلف (G) و مقدار برداشت بهینه در طول دوره (H) است. بر اساس نتایج حاصل از حل نرم‌افزار LINGO، با استفاده از روش برنامه‌ریزی، مقدار ارزش خالص فعلی مورد انتظار ۳۲۳۲۶ هزار ریال در هکتار برآورد شد. با استفاده از نتایج حاصل، رابطه بین مقدار برداشت بهینه و حجم سرپا رسم شد (شکل ۴). همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، با تغییر حجم سرپا در طول دوره ۱۰۰ ساله، مقدار برداشت بهینه از ۶ تا ۱۲ متر مکعب در هکتار در سال تغییر می‌یابد و در انتهای دوره، حجم سرپا به ۱۰۰ متر مکعب در هکتار یا حداقل حجم ممکن می‌رسد.



شکل ۴- مقدار برداشت بهینه در یک دوره ۱۰۰ ساله با استفاده از برنامه‌ریزی پویا

برداشت در مراحل مختلف و G رویش به‌ازای حجم‌های مختلف است. در اینجا  $i=100$  همان مرحله است.

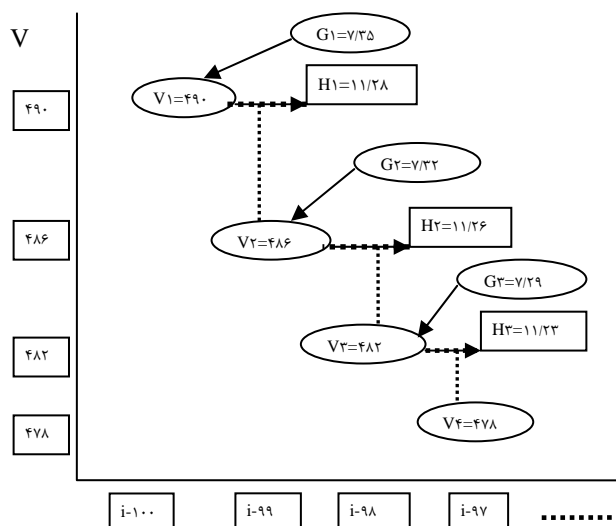
بر اساس مقادیر پارامترها (جدول ۳) و رابطه ۳ مدل خودکاهشی هزینه متغیر بهره‌برداری به‌ازای هر متر مکعب چوب به‌صورت زیر برآورد شد:

$$C_{t+1} = 33/825 + 0/6C_t + \varepsilon_t$$

با استفاده از رابطه ۵ میانگین هزینه خروج مورد انتظار چوب راش ۸۰۰۰۰ ریال در متر مکعب برآورد شد.

- برنامه‌ریزی پویا در برداشت بهینه از جنگل با استفاده از برنامه‌ریزی پویا، مقدار برداشت بهینه برای یک دوره ۱۰۰ ساله محاسبه شد. داده‌های قیمت چوب در کنار جاده جنگلی، هزینه‌های متغیر بهره‌برداری، هزینه انتقال گروه‌های قطع و وسایل بهره‌برداری به داخل جنگل، طول دوره، رویش جنگل، موجودی در هکتار فعلی جنگل، حداقل موجودی در هکتار ممکن در طول دوره و نرخ سود بازار وارد نرم‌افزار شد. مقدار قیمت چوب ثابت فرض شد که در مدل مورد نظر، قیمت چوب در کنار جاده در واقع میانگین قیمت مورد انتظار در نظر گرفته شد که از رابطه ۴ به دست آمد (۱۱۳۰۰۰۰ ریال). همچنین هزینه متغیر بهره‌برداری، میانگین هزینه مورد انتظار در نظر گرفته شد

در شکل ۵ شمایی از برداشت بهینه با استفاده از برنامه‌ریزی پویا مشاهده می‌شود که در آن V حجم در هکتار، H



شکل ۵- شمایی از برداشت بهینه با استفاده از برنامه‌ریزی پویا

حساسیت‌پذیری برنامه‌ریزی پویا با نرم‌افزار LINGO انجام گرفت (جدول ۴).

– آنالیز حساسیت‌پذیری  
به‌منظور برآورد حساسیت جواب بهینه به دست‌آمده در برابر تغییرات موجودی سرپا و حداقل حجم ممکن، آنالیز

جدول ۴- آنالیز حساسیت‌پذیری برنامه‌ریزی پویای مقدار برداشت بهینه از جنگل

مقدار برداشت بهینه در افق ۱۰۰ ساله (متر مکعب در هکتار)	حداقل حجم ممکن (متر مکعب در هکتار)	مقدار موجودی فعلی سرپا (متر مکعب در هکتار)
۶-۱۲	۱۰۰	۴۹۰
۶-۱۰	۲۰۰	۴۹۰
۵-۸	۳۰۰	۴۹۰
۵-۷	۴۰۰	۴۹۰
۴-۷	۱۰۰	۳۰۰
۵-۶	۲۰۰	۳۰۰
۴-۵	۳۰۰	۳۰۰
۳-۴	۴۰۰	۳۰۰
۲-۳	۱۰۰	۱۰۰
۱-۲	۲۰۰	۱۰۰
۰-۲	۳۰۰	۱۰۰

از ۱۰۰ به ۴۰۰ متر مکعب در هکتار، مقدار برداشت بهینه در افق ۱۰۰ ساله از ۴-۷ به ۳-۴ متر مکعب در هکتار در سال کاهش می‌یابد. در نهایت، اگر مقدار موجودی فعلی جنگل ۱۰۰ متر مکعب بوده و دیگر شرایط ثابت باشد، با افزایش مقدار حداقل حجم ممکن از ۱۰۰ به ۳۰۰ متر مکعب در هکتار، مقدار برداشت بهینه در افق ۱۰۰ ساله از ۲-۳ به ۰-۲ متر مکعب در هکتار در سال کاهش می‌یابد و

همان‌طور که در جدول ۴ دیده می‌شود، با افزایش مقدار حداقل حجم ممکن از ۱۰۰ به ۴۰۰ متر مکعب در هکتار، مقدار برداشت بهینه در افق ۱۰۰ ساله از ۶-۱۲ به ۵-۷ متر مکعب در هکتار در سال کاهش پیدا کرد. همچنین اگر فرض شود که مقدار موجودی فعلی سرپای جنگلی ۳۰۰ متر مکعب باشد و دیگر شرایط (رویش، قیمت چوب سرپا، هزینه‌های انتقال گروه‌های قطع و وسایل بهره‌برداری و نرخ سود بازار) ثابت باشد، با افزایش مقدار حداقل حجم ممکن

برنامه‌ریزی ایستا استفاده شود، ارزش خالص فعلی مورد انتظار، حدود ۲۶ درصد افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر، از تکنیک برنامه‌ریزی حتمی پویا استفاده شد و ارزش فعلی مورد انتظار  $32236/08$  هزار ریال در هکتار برآورد شد، ولی به دلیل اختلاف داده‌های منطقه مورد بررسی در این تحقیق با بررسی انجام‌گرفته توسط محمدی لیمائی (۱۳۸۸)، نتایج دو تحقیق یکسان نیستند.

در تحقیق دیگری (Amidon & Akin (1968) مقدار بهینه موجودی سرپا در یک جنگل همسال در طول یک چرخش را با استفاده از روش بهینه‌سازی آنالیز حاشیه‌ای و الگوریتم پویای حتمی به‌دست آوردند و نتیجه گرفتند که برنامه‌ریزی پویای حتمی هم از نظر تحلیلی و هم محاسباتی نسبت به آنالیز حاشیه‌ای برتری دارد. Anderson & Bare (1994) از روش برنامه‌ریزی پویای حتمی به‌منظور حداکثر کردن ارزش خالص فعلی مورد انتظار درختان برداشت‌شده در هر مرحله در جنگل ناهمسال استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که این الگوریتم نسبت به روش‌های بهینه‌سازی از جمله کنترل بهینه و آنالیز حاشیه‌ای، ارزش خالص فعلی بیشتری ایجاد می‌کند. مقدار برداشت بهینه محاسبه‌شده در این تحقیق ۶ تا ۱۲ متر مکعب در هکتار در سال است. این مقدار برداشت بهینه بر اساس مقدار موجودی سرپا در منطقه (۴۹۰ متر مکعب در هکتار) و حداقل حجم ممکن در منطقه (۱۰۰ متر مکعب در هکتار) است و لزوماً پیشنهاد نمی‌شود که برای تمام جنگل‌های شمال کشور این مقدار موجودی برداشت شود. بلکه برای هر جنگلی می‌توان با توجه به مقدار رویش، موجودی در هکتار، قیمت چوب، هزینه‌های بهره‌برداری و نرخ سود بانکی، مقدار برداشت بهینه را با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا برای یک دوره مورد نظر محاسبه کرد.

### منابع

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۰، شاخص قیمتی مصرف‌کننده، ([www.cbi.ir](http://www.cbi.ir)).

زمانی که در این حالت مقدار حجم ممکن ۳۰۰ متر مکعب در هکتار باشد، باید تا ۱۰ سال هیچ برداشتی انجام نگیرد. حداقل موجودی سرپای ممکن در این تحقیق ۱۰۰ متر مکعب در هکتار فرض شده است. فرض بر این بود که با این مقدار، علاوه بر تولید چوب، به دیگر عملکردها و خدمات جنگل (جلوگیری از فرسایش، مناظر طبیعی و...) هم خدشه وارد نمی‌شود. به هر حال برای محاسبه دقیق حداقل موجودی ممکن می‌توان از روش‌هایی از قبیل برنامه‌ریزی آرمانی یا هدف<sup>۱</sup>، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مثل AHP استفاده کرد.

### بحث

در این بررسی از مدل ریاضی برنامه‌ریزی پویا برای تعیین مقدار برداشت بهینه در یک افق ۱۰۰ ساله استفاده شد. به‌منظور برآورد رویش گونه راش در منطقه مورد بررسی، از مدل ریاضی لجستیک استفاده شد

(Heshmatol vaezin *et al.* (2008) مدل‌های رویش حجمی را در جنگل‌های ناهمسال آمیخته در ارتباط با پارامترهایی چون قطر برابرسینه، جنبه‌های اکولوژیکی و تراکم توده برآورد کردند. آنها از رگرسیون چندمتغیره برای برآورد مدل رویش سه گونه اصلی راش، ممرز و توسکا استفاده کردند ولی در این تحقیق از معادله لجستیک به‌منظور برآورد تابع رویش حجمی راش استفاده شد.

(Mohamadi Limaiei (2006) نیز اولین بار در ایران از روش مطالعات زمانی برای برآورد قیمت چوب سرپا استفاده کرد. در این بررسی نیز با استفاده از سری‌های زمانی، قیمت چوب سرپا بر اساس یک مدل خودکاهشی برآورد شد و با استفاده از آن، میانگین قیمت چوب مورد انتظار محاسبه شد. (Lohmander (1987) از مطالعه زمانی برای بررسی قیمت چوب سرپا در سوئد، نروژ و فنلاند استفاده کرد. او نشان داد که مدل خودکاهشی بهترین مدل برای برآورد قیمت چوب در این سه کشور است. محمدی لیمائی (۱۳۸۸) با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی پویا مقدار برداشت بهینه در جنگل خیرود را بررسی کرد. نتایج نشان داد که اگر از روش برنامه‌ریزی تصادفی پویا به جای



Economics, Swedish University of Agricultural Sciences, 111pp.

Mohammadi Limaiei, S., 2011. Economics Optimization of Forest Management, LAP LAMBERT Academic Publication, Germany, 140pp.

Schaefer, M.B., 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries, *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 1: 27-56.

Schreuder, G., 1971. The simultaneous determination of optimal thinning schedule and rotation for an even-age forest, *Forest science*, 17: 333-339.

بنیاد، امیراسلام، ۱۳۸۴. اندازه‌گیری و آنالیز آماری رویش جنگل در سه پروفیل ارتفاعی در حوضه آبخیز سفارود، گزارش نهایی طرح پژوهشی دانشگاه گیلان، ۷۳ ص.

سعید، ارسطو، ۱۳۸۵. مبانی اقتصادی-علمی اداره جنگل‌ها، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۳۴۱ ص. محمدی لیمایی، سلیمان، ۱۳۸۸. بهینه‌سازی ایستا و پویای بهره‌برداری از جنگل، مجله جنگل ایران، ۱(۳): ۲۶۵-۲۷۶.

مرادی‌نژاد، داریوش و نیما همتا، ۱۳۸۸. بهینه‌سازی در نرم‌افزار LINGO 10.0، انتشارات همت جاودان، تهران، ۲۳۷ ص.

Amidon, E.L. & G.S. Akin, 1968. Dynamic programming to determine optimum levels of growing stock, *Forest Science*, 3(14): 287-291.

Anderson, J.D. & B.A. Bare, 1994. Dynamic programming algorithm for optimization of uneven-aged forest stands, *Canadian Journal of Forest Research*, 24(9): 1758-1765.

Bellman, R., 1957. Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 137 pp.

Clark, C.W., 1976. Mathematical Bioeconomics, the Optimal Management of Renewable Resources, Wiley Publication, New York, USA, 386 pp.

Heshmatol Vaezin, S.M., P. Attarod & P. Bayramzadeh, 2008. Tree volume increment models of broadleaf species in the uneven-aged mixed Caspian Forests, *Asian Journal of Plant sciences*, 7: 700-709.

Hool, J.N., 1966. A dynamic programming Markov chain approach to forest production control, *Forest Sciences*, Monograph 12. 26p.

Lohmander, P., 1987. The Economics of Forest Management under Risk. Ph.D thesis, Department of Forest Economics, Swedish University of Agricultural Sciences, 316pp.

Lohmander, P., 2000. Optimal sequential forestry decisions under risk, *Annals of operation research*, 95: 217-228.

Lu, F., 2004. Optimization of Forest Management Decision Making under Conditions of Risk, Ph.D thesis, Department of Forest Economics, Swedish University of Agricultural Sciences.

Mohammadi Limaiei, S., 2006. Economically Optimal Values and Decisions in Iranian Forest Management, Ph.D thesis, Department of Forest

## Optimal forest harvesting policy using dynamic programming method (Case study: Shafarod forest)

S. Namdari<sup>1</sup>, S. Mohammadi Limaei<sup>2</sup>, R. Naghdi<sup>3</sup> and A.E. Bonyad<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, I. R. Iran

<sup>2,3</sup>Assistant Prof. and Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, I. R. Iran

(Received: 14 March 2012, Accepted: 22 July 2012)

### Abstract

The aim of this research is to determine the optimal harvesting using dynamic programming in Shafarod forests at Guilan province. First of all, a logistic growth function was used to predict the growth model. Then, wood price function and variable harvesting cost function were estimated based on an autoregressive model and time series data. Finally, the optimal cutting maximizing the expected present value was computed using growth, price and variable cost functions. LINGO software was used for cutting optimization. Minimum acceptable volume, growth model, wood price at forest road side, variable harvesting cost, planning horizon, interest rate, and moving of cutting groups and harvesting equipment were coded in LINGO software. Results indicated that the optimal cutting varies between 6 to 12 m<sup>3</sup> per hectare in various stocks during 100 years regarding to the volume average of the study area (490 m<sup>3</sup>/ha) and the minimum acceptable volume (100 m<sup>3</sup>/ha). The maximum expected present value was estimated 323326 thousands Rials during 100 years. Sensitivity analysis showed that the optimal harvest could fluctuate over the planning horizon based on the volume average of the study area and the minimum acceptable volume even which in some cases harvesting is not required.

**Key words:** Optimal harvesting, Growth model, Price model, Dynamic programming, Shafarod forest.