DOI: 10.22034/IAES.2019.94273.1633

اقتصاد کشاورزی/جلد ۱۳/شماره۲/صفحه های۳۲-۱

شبیه‌سازی و ارزیابی راهبردهای مدیریت جنگل‌های شمال در شرایط عدم حتمیت: کاربرد روش برنامه‌ریزی پویا

سجاد محمودی، منصور زیبایی، درنا جهانگیرپور[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۹

چکیده

بهره‌برداری، حفاظت و حمایت از منابع جنگل نیازمند برنامه‌ریزی اصولی و صحیح است. برای این منظور به اطلاعات از وضعیت کمی و کیفی جنگل نیاز است. در این پژوهش با برآورد مدل رویش جنگل، مدل خودتوضیحی میانگین متحرک برای پیش‌بینی قیمت چوب، مدل هزینه برداشت چوب و تدوین یک مدل برنامه‌ریزی پویا، راهبردهای مدیریتی در قالب سه سناریوی بیشینه کردن ارزش حال خالص، بیشینه کردن میزان برداشت چوب و بیشینه کردن میزان موجودی، برای جنگل‌های شمال ایران شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که ارزش حال خالص در این سه سناریو به ترتیب 27642، 25984 و 23081 هزار ریال و میزان حجم چوب به ترتیب 11182، 10500 و 11807 مترمکعب طی دوره مورد بررسی است. همچنین با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی، بر مبنای معیارهای زیست محیطی و اقتصادی راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص، به عنوان بهترین گزینه مدیریت جنگل شناخته شد.

طبقه‌بندی JEL: C61, C63, Q23

واژه‌های کلیدی: مدیریت جنگل، برنامه‌ریزی پویا، عدم حتمیت، پیش‌بینی قیمت، ارزیابی راهبرد

۱ به ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ،استاد، و دانشجوی دکتری(نویسنده مسئول) اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز
Email: djahangirpour@shirazu.ac.ir

مقدمه

جنگل‌ها برای محیط زیست، اقتصاد و جامعه اهمیت زیادی دارند و تأمین‌کننده کالاها و خدمات گوناگونی هستند (Crowther et al., 2015). این اکوسیستم، اهمیت بنیادینی در حفظ ارزش‌های طبیعی و بهبود کیفیت زندگی مردم دارد و افزون بر تنوع زیستی، توانایی تولید طیف گسترده‌ای از کالاها و خدمات را داراست (Campbell, 1999). به همین ترتیب، تصمیم‌هایی که باید توسط مدیران جنگل گرفته شود هم متنوع بوده و می‌تواند مناطق جغرافیایی گسترده‌ای را برای مدت زمان طولانی تحت تأثیر قرار دهد. تصمیم‌های امروز، نه‌تنها تصمیم‌های آینده، بلکه چگونگی مدیریت یک بخش از جنگل، دیگر مناطق را هم متأثر می‌کند. بنابراین مؤلفه‌های بسیاری می‌بایست در تصمیم‌گیری برای مدیریت جنگل به طور همزمان در نظر گرفته شود (Freitas et al., 2017). به همین دلیل جنگل به عنوان یک واحد تولیدی پایا با درآمد مستمر می‌تواند نقش اقتصادی ارزنده‌ای در دراز مدت داشته باشد. در صورت مدیریت صحیح در زمینه برداشت از موجودی جنگل و استفاده کامل از استعداد تولید جنگل در یک برنامه درازمدت و گام نهادن در مسیر توسعه پایدار، هم می‌توان به هدف حفظ جنگل برای نسل‌های آینده دست پیدا کرد و هم می‌توان در بلند مدت از نظر اقتصادی به درآمد بالا دست یافت. چنین تصمیم‌های برنامه‌ریزی به منظور دستیابی به اطمینان از پایداری جنگل، بایستی هدف‌های اقتصادی، عملیاتی و مقرراتی را تأمین کند (Álvarez-Miranda et al., 2018). لذا تصمیم‌گیرندگان نیازمند طراحی یک برنامه مدیریت جنگل هستند که مشخص کند چه زمان و چگونه باید به برداشت واحدهای جنگل بپردازند. با توجه به ماهیت و افق زمانی تصمیم‌گیری درباره جنگل، مدیران بایستی بر مبنای متغیر بودن شرایط بازار (به عنوان مثال قیمت چوب) و دسترسی منابع (برای مثال عملکرد چوب)، منابع عدم حتمیت را در نظر بگیرند (Álvarez-Miranda et al., 2018).

جنگلداری سنتی، بر برنامه‌ریزی بلندمدت متکی بر حتمیت استوار است و در آن فرض می‌شود که پیش‌بینی بلندمدت پدیده‌ها با دقت بالا امکان‌پذیر است. یعنی با تهیه طرح جنگلداری از یک سری، همه عملیاتی که باید در دوره آینده در آن اجرا شود، در کتابچه طرح به طور دقیق پیش‌بینی می‌شود. امروزه انتقادهای زیادی بر جنگلداری سنتی وارد شده، به طوری که تنها حسن آن را راحتی اجرای عملیات جنگلداری دانسته‌اند (Johansson & Lofgren, 1985). یکی از این انتقادها، انعطاف‌ناپذیری آن است. ممکن است پیش‌بینی‌ها درست و قابل اجرا نباشند یا عامل‌های خارجی، پیش‌بینی‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (Saeid, 2001). بررسی‌های بسیاری در رابطه با

منابع عدم حتمیت در برنامه‌ریزی جنگل صورت گرفته است (Badilla et al., 2014; Pasalodos-Tatoet al., 2013; Yousefpour et al., 2012).

حجم و میزان برداشت از جنگل در جنگلداری سنتی، از پیش تعیین می‌شود. در واقع، امکان برداشت با توجه به موجودی جنگل مشخص می‌شود که به طور معمول درصدی از موجودی سرپاست. برای این کار از روش ایستا یا حتمی[1] برای برنامه‌ریزی و محاسبه مقدار برداشت، استفاده شده و پیش‌بینی بلندمدت پدیده‌هایی مانند رویش در جنگل، قیمت چوب، آفات و بیماری‌ها، تغییرات آب و هوایی و ... امکان‌پذیر فرض می‌شود. می‌توان گفت فرض‌هایی که در جنگلداری سنتی در نظر گرفته می‌شود، منطقی نیست؛ زیرا قیمت چوب در طول زمان نوسان دارد و پیش-بینی قیمت چوب با دقت زیاد دشوار است و عامل‌های چندی بر بازار تأثیرگذارند. بنابراین می‌توان نوسان قیمت چوب را فرایندی تصادفی[2] در نظر گرفت. لذا در دوران کنونی، وضعیت حاکم بر جنگل، مدیریت پویای آن را به امری اجتناب‌ناپذیر مبدل ساخته است. در این راستا استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی پویای تصادفی که می‌تواند فرایندهای تصادفی موجود در مدیریت جنگل را در برگیرد، دارای اهمیت زیادی است. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل‌های پویای تصادفی و مدل‌هایی که بر فرض حتمیت استوار هستند، به خوبی تفاوت برنامه‌ریزی سنتی در جنگلداری را با برنامه‌ریزی مدرن آن نشان خواهد داد.

آغاز پژوهش‌های مربوط به تغییر در نظام‌های اقتصادی جنگل و حرکت از برنامه‌ریزی ایستا به برنامه‌ریزی پویا به حدود دهه شصت یا هفتاد میلادی می‌رسد. در این راستا پژوهش‌های مختلفی برای تعیین میزان برداشت بهینه در داخل و خارج از کشور انجام شده است. Lohmander & Mohammadi (2006) در بررسی مدیریت بهینه جنگل‌های ناهمسال شمال ایران به برآورد تابع رشد جنگل خیررود کنار اقدام کردند. محدودیت مشاهده‌های به کار رفته در کار افراد یادشده صحت تابع رشد را مورد تردید قرار می‌دهد.

Kallio et al. (2006) اثرگذاری‌های اقتصادی حفاظت از جنگل در اروپا را بررسی و ارزابی کردند. آنها سناریوهایی را با 3 یا 5 درصد شبیه‌سازی ذخیره چوب جنگل در اروپای شرق، به منظور حفاظت از این منبع طبیعی مورد مقایسه قرار دادند. این بررسی، برنامه‌های حفاظت از جنگل کل اروپا را با منطقه آمریکای جنوبی مقایسه کرد و از مدل بخشی جنگل در سطح جهانی[3] استفاده

---

[1] Deterministic
[2] Stochastic Process
[3] EFI-GTM

کرد. نتایج نشان داد که اثرگذاری‌های زیست‌محیطی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد و بیشتر به علت تجارت چوب در سطح بین الملل تخریب جنگل صورت می‌گیرد. Adeli (2011)، به بررسی بازار چوب و برنامه‌ریزی میزان برداشت بر مبنای اصل توسعه پایدار در ایران پرداخت. نتایج این بررسی نشان داد که میزان برداشت بهینه از جنگل‌های شمال ایران با اجرای برنامه‌ریزی پویا می‌تواند بیشتر از شرایط کنونی باشد و با توجه به قیمت‌های تصادفی و میزان عرضه چوب در برنامه‌ریزی پویا و بهینه، می‌توان در ده سال آینده میزان تقاضای بازار داخل را تامین کرد، اما پیش‌بینی می‌شود، همچنان تعادل در این بازار به وجود نیاید. Namdari (2011)، در پژوهش خود به تعیین میزان برداشت بهینه راش با استفاده از برنامه‌ریزی پویا در سری ۹ حوضه آبخیز شفارود پرداخت. در این پژوهش، با استفاده از معادله‌های رویش، قیمت و هزینه متغیر بهره-برداری، میزان برداشت بهینه از جنگل با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا به طوری که بیشترین ارزش کنونی مورد انتظار نصیب واحد تولیدی شود، محاسبه شد و آنگاه میزان برداشت در برنامه-ریزی ایستا با حالت برنامه‌ریزی پویا مقایسه شد. نتایج این بررسی نشان داد که میزان ارزش کنونی مورد انتظار جنگل با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا 2.66 برابر بیشتر از حالت برنامه‌ریزی ایستا در یک دوره صد ساله می‌باشد. Sabouhi & Darvishi (2011)، اثرگذاری‌های اقتصادی برداشت چوب با توجه به ملاحظه‌های زیست‌محیطی بر مدیریت جنگل‌های زرین آباد بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در نظر گرفتن هدف‌های زیستی برای حفاظت جنگل‌ها باعث کاهش سود بهره‌برداران می‌شود. از پژوهش‌های دیگر می‌توان به بررسی‌های Álvarez-Kowero & ،Robinson et al. (2016) ،Freitas et al. (2017) ،Miranda et al. (2018) ،Mohammadi Limae (2009) ، Rollin et al. (2005) ،Liang et al. (2005) ،Mabugu (2006) Khoshakhlagh et al. (2008) و Hasani Mehr (2007) نیز اشاره کرد.

در ایران، آنچه از نظر بهره‌برداری صنعتی و بحث تجاری در جنگل اهمیت دارد، در مورد جنگل‌های شمال کشور است. دیگر جنگل‌ها کمتر برای تولید چوب صنعتی بهره‌برداری شوند و بیشتر جنبه حفاظتی دارند و احیا و توسعه آنها در ارتباط با جلوگیری از فرسایش بادی و آبی شایان توجه است. ارزنده‌ترین جنگل‌های کشور روی دامنه‌های خاوری کوه‌های طوالش (آستارا تا انزلی) قرار دارد (طرح جنگلداری سری یک زرین آباد، 1385). مسئله کاهش سطح جنگل‌های شمال، همواره به ویژه در سال‌های اخیر مورد بحث بوده و لزوم برنامه‌ریزی‌های دقیق و مدیریت مناسب را بیش از پیش نشان می‌دهد. لذا با توجه به روند تخریب در این منبع گرانبهای کشور

در اثر برداشت نادرست و مدیریت ناپایدار، در این پژوهش سعی شده است به منظور تعیین راهبرد بهینه مدیریت منابع جنگل‌های شمال ایران در شرایط عدم حتمیت، با تخمین مدل رویش جنگل، مدل خودتوضیحی میانگین متحرک برای پیش‌بینی قیمت چوب و مدل هزینه برداشت چوب و تدوین یک مدل برنامه‌ریزی پویا، راهبردهای مدیریتی در قالب سه سناریوی بیشینه کردن ارزش حال خالص[1]، بیشینه کردن میزان برداشت چوب و بیشینه کردن میزان موجودی، شبیه‌سازی شده است. شایان ذکر است که مطالعه حاضر از جهت شبیه‌سازی راهبرد-های مدیریتی مختلف به منظور تعیین راهبرد بهینه برداشت و ارزیابی راهبردهای شبیه‌سازی شده از نظر پایداری، گامی نو در جهت انتخاب سیاست مدیریتی مناسب در جنگل‌های شمال می‌باشد. همچنین در بخش نتیجه‌گیری این مطالعه سعی شده است که راهبرد جدید دولت مبنی بر عدم بهره‌برداری از جنگل‌های شمال با عنوان «طرح تنفس جنگل‌ها» با نتایج سناریوهای یاد شده مقایسه و تحلیل شود.

روش تحقیق

به منظور شبیه‌سازی راهبردهای مدیریت جنگل، در آغاز نیاز است که معادله قیمت، معادله رویش، معادله هزینه و معادله ارزش حال خالص برآورد شود و سپس شبیه‌سازی راهبردهای مدیریت جنگل در قالب مدل برنامه‌ریزی پویا با استفاده از نرم افزار GAMS صورت گیرد. در این بخش، ابتدا به طور خلاصه به توضیح رهیافت‌های پیش‌بینی قیمت چوب پرداخته می‌شود. در ادامه چگونگی برآورد معادله رویش و معادله هزینه ارائه می‌شود. آنگاه با استفاده از نتایج به دست آمده در قالب مدل برنامه‌ریزی پویا، هدف‌های پژوهش دنبال می‌شود.

رهیافت ARIMA و ARMA

پیش‌بینی بخش مهمی از تحلیل اقتصادسنجی می‌باشد و برای برخی از محققان مهم‌ترین بخش علم اقتصادسنجی است. مدل ARIMA و ARMA که توسط باکس-جنکینز در سال 1976 پیشنهاد شد، شاید بتوان گفت که محبوب‌ترین و پرکاربردترین ابزار پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌های سری زمانی است (Gibrilla et al., 2018). الگوهای ARMA تلفیقی از متغیرهای خود-توضیحی (AR) و میانگین متحرک (MA) هستند. چناچه یک سری زمانی ایستا نباشد، باید با تفاضل‌گیری معمولی آن را ایستا کرد. بنابراین اگر یک سری زمانی پس از d مرتبه تفاضل‌گیری

[1] Net Present Value (NPV)

ایستا شود و سپس آن را با فرایند ARMA(p,q) مدلسازی کنیم، در این صورت سری زمانی اصلی، در اصطلاح الگوی خود توضیحی هم‌انباشته میانگین متحرک[1] ARIMA(p,d,q) نامیده می‌شود که در آن p تعداد جمله‌های خود توضیح، d دفعات تفاضل‌گیری مرتبه اول برای ایستا شدن سری زمانی و q تعداد جمله‌های میانگین متحرک است. یک مدل ARIMA(p,d,q) را می‌توان به صورت رابطه (۱) بیان کرد (Taneja et al., 2016):

$$y_t = \rho_1 y_{t-1} + \rho_2 y_{t-2} + \cdots + \rho_p y_{t-p} + \theta_1 u_{t-1} + \theta_2 u_{t-2} + \cdots + \theta_q u_{t-q} + u_t \quad (1)$$

برای تعیین تعداد جمله‌های خودتوضیح و تعداد جملات میانگین متحرک معمولا از توابع خودهمبستگی بهره گرفته می‌شود. بر اساس رهیافت باکس و جنکینز روش مدل‌سازی ARIMA شامل چهار مرحله اصلی یعنی شناسایی مدل، برآورد پارامتر، تشخیص و کنترل کردن و پیش-بینی می‌شود (Patle et al., 2015). در مرحله نخست ابتدا تعداد مرتبه‌های تفاضل‌گیری لازم برای ایستاسازی این سری مشخص می‌شوند. آنگاه تعداد درجه‌های خودتوضیح و میانگین متحرک برای سری‌های ایستا شده شناسایی می‌شوند. مهم‌ترین ابزاری که در زمینهٔ تعیین مقادیر p و q کمک فراوانی می‌کند، استفاده از نمودارهای توابع خودهمبستگی نمونه[2] (SACF) و خودهمبستگی جزئی[3] (PACF) است (Enders, 2008). در مرحله دوم برای برآورد پارامترهای الگو از روش‌های حداکثر درستنمایی[4] (ML) استفاده می‌شود که ویژگی داده‌ها در انتخاب برازشگر تعیین کننده است. پس از انتخاب الگوی آزمایشی ARMA و برآورد پارامترهای آن، در مرحله سوم خوبی برازش الگو مورد سنجش قرار می‌گیرد. برای این منظور، نخست الگوی آزمایشی که در مرحله پیش شناسایی شده است، برآورد می‌شود. سپس با استفاده از معیارهای انتخاب الگو مانند معیار اطلاعات آکاییک[5] (AIC) و معیار اطلاعات شوارز بیزین[6] (SBC)، الگوی مناسب انتخاب می‌شود. به‌دنبال آن خوبی برازش الگوی برآورد شده با آزمون‌های کنترل تشخیص اجزای اخلال مورد سنجش قرار می‌گیرند. در واقع آزمون‌های کنترل تشخیصی بدین منظور به کار می‌روند که آیا اجزای اخلال حاصل از یک مدل ARIMA(p,d,q) دارای رفتار فرایند نوفه سفید است. یکی از آزمون‌های کنترل تشخیصی مناسب و مفید، بررسی نمودار خود همبستگی

---

[1] Autoregressive Integrated Moving Average
[2] Sample Autocorrelation Function (SACF)
[3] Partial Autocorrelation Function (PACF)
[4] Maximum Likelihood
[5] Akaike Information Criterion (AIC)
[6] Schwartz Bayesian Criterion (SBC)

نمونه (SACF) اجزای اخلال الگوی برآورد شده است. در مرحلهٔ چهارم، مقادیر آتی سری زمانی مورد نظر پیش‌بینی می‌شود. در این مرحله با استفاده از پارامترهای برآوردشده الگوی نهایی و مقادیر گذشته سری، مقادیر آتی سری‌های انباشت برآورد می‌شوند (Samsudin et al., 2011؛ Gibrilla et al., 2016).

برآورد مدل هزینه برداشت چوب

به منظور ارزیابی پایداری در مدیریت پویای جنگل با استفاده از محاسبه ارزش کنونی خالص، دستیابی به تابع هزینه ضروری است. از این رو، معادله هزینه درجه دو با عرض از مبدأ در نظر گرفته شد که در آن، هزینه تابعی از میزان برداشت و مجذور متغیر میزان برداشت در نظر گرفته شده است. این تابعیت بدین علت است که هزینه به طور مستقیم تحت تأثیر میزان برداشت از جنگل است که با افزایش برداشت، با شدت بیشتری بر هزینه‌ها افزوده خواهد شد. در این تابع که در رابطه (2) آورده شده است، C هزینه در هکتار که شامل هزینه‌های قطع، تبدیل و حمل تا جاده است، α عرض از مبدا، h میزان برداشت در هکتار و h^2 مجذور برداشت در هکتار است.

$$C = \alpha + \beta h + \gamma h^2 \quad (2)$$

ارزش کنونی خالص برداشت هم از معادله (3) به دست می‌آید. B_t، درآمد کل است که از حاصل ضرب قیمت چوب در میزان برداشت به دست می‌آید، C_t، هزینه کل متوسط، r نرخ بهره و t، متغیر زمان است. لازم به یادآوری است که در مطالعه حاضر از نرخ سود بانکی رایج در زمان انجام پژوهش به عنوان نرخ بهره استفاده شد.

$$NPV(h) = \sum_{t=0}^{20} \frac{B_t(h_t) - C_t(h_t)}{(1+r)^t} \quad (3)$$

برآورد معادله رویش

در هر نوع برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از جنگل، آگاهی از میزان دقیق رویش امری بدیهی است، چرا که یکی از متغیرهای مهم برای محاسبه امکان برداشت سالانه، میزان رویش یا درصد رویش جنگل است. با علم به اینکه مفهوم بهره‌برداری از جنگل نیز از متغیرهای خاصی پیروی می‌کند، با تعیین دقیق این متغیرها، می‌توان مقادیر بهینه موجودی در هکتار و دیگر متغیرها را به دست آورد. معادله رویش زیستی، نخستین بار در سال 1954 ارائه شد (Schaefer, 1954). مدل شفر، نوعی مدل لجستیک پویای جمعیت است که شکل کلی آن به صورت زیر است.

$$x = x(t)$$
$$\dot{x} = F(x) \quad (4)$$

معادله اول بیان می‌کند که میزان رویش تابعی از ذخیره زیست‌توده است که در آن فرض‌های زیر در نظر گرفته شده است (Mohammadi Limaei, 2007):

الف) $F(x) > 0$

ب) $F(x_1) = F(x_{2)} = 0$ برای $x \in (x_1, x_2)$ (5)

ج) ${dF(x)}/{dx^2} = F''(x) < 0 \quad x \in (0, \infty)$

فرض الف نشان می‌دهد که جمعیت (حجم) در حال افزایش است تا هنگامی که جمعیت در فاصله (x_1, x_2) باقی بماند. فرض ب نشان می‌دهد هنگامی که شمار جمعیت به سطح x_1 یا x_2 می‌رسد، میزان رویش متوقف می‌شود. فرض ج نشان می‌دهد که نرخ نهایی رویش یک معادله اکیدا کاهشی از تعداد جمعیت است. این فرض‌ها سبب ایجاد منحنی مقعر می‌شود (شکل ۱). نرخ رویش به طور کاهشی $(F(0)= -\beta < 0)$ افزایش می‌یابد تا به سطح بحرانی جمعیت (حجم) یا بیشینه موجودی پایدار $\bar{x}$ برسد، پس از آن به طور کاهشی کم می‌شود. اگر این سیستم به حال خود رها شود، در نهایت به سطح $x = x_2$ می‌رسد، مشروط بر اینکه جمعیت اولیه از x_1 بیشتر باشد. از نظر ریاضی (Mohammadi Limaei, 2007):

$$x(0) > x_0 \qquad \text{و} \qquad \lim_{t \to \infty} x(t) = x_2 \tag{6}$$

نقطه x_2 نشان‌دهنده تعادل پایدار است که می توان آن را ظرفیت حامل محیطی[1] تعریف کرد. با افزودن بهره‌برداری $h(t)$ به مدل به عنوان تابعی از زمان، معادله‌ی تولید را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\dot{x} = F(x) - h(t) \qquad \text{و} \qquad h(t) \geq 0 \tag{7}$$

برای دستیابی به معادله‌ای که بیانگر رویش منطقه باشد از رابطه (۸) استفاده خواهد شد:

$$G_i = \alpha_1 V_i + \beta_1 V_i^2 + \varepsilon_i \tag{8}$$

که در آن G_i رویش سالیانه، V_i حجم سرپا (موجودی در هکتار)، α_1 و β_1 پارامترهای برآورد شده هستند.

این معادله رویش نوعی مدل رویش لجستیکی است و با وجود مشاهده‌های کم به خوبی نشان دهنده‌ی رابطه بین موجودی سرپا و میزان رویش است و از نظر تئوری و ریاضی مدل را به خوبی

[1] Carrying Capacity

توصیف می‌کند. مدل رویش لجستیک پیشینه‌ای درازمدت در علوم دارد و برای برآورد رویش بسیاری ا ز جانداران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Neher, 1991).

با داشتن معادله قیمت، معادله هزینه، معادله رویش و معادله ارزش حال خالص، به ارزیابی راهبردهای تعریف شده در قالب مدل برنامه‌ریزی پویا، با استفاده از نرم‌افزار GAMS پرداخته می‌شود.

تعیین میزان برداشت بهینه در شرایط عدم حتمیت با استفاده از روش برنامه-ریزی پویا

برنامه‌ریزی پویا، روشیست که در آن می‌توان مسئله‌های بسیار پیچیده را که دارای تعداد زیادی متغیر تصمیم هستند، به مسائلی ساده با تعداد متغیر تصمیم کمتر تبدیل کرد. بدین ترتیب، حل اینگونه مسائل ساده‌تر شده و با حل آنها، راه حل بهینه را می‌توان به دست آورد. مدل‌های برنامه‌ریزی پویا شامل سه عنصر اصلی مرحله[۱] ، وضعیت یا حالت[۲] و انتقال یا عبور[۳] می‌باشد. هر مرحله نشان‌دهنده یک موضع تصمیم‌گیری و شامل یک یا چند وضعیت یا حالت است. در این بررسی دو وضعیت وجود دارد که یکی قیمت چوب سرپا و دیگری موجودی چوب در هکتار است. در اینجا سیاست بهینه، میزان برداشت بهینه است که ارزش کنونی آن به بیشترین میزان می‌رسد. در واقع، برنامه‌ریزی پویا یک روش بهینه‌سازی برای پیداکردن تصمیم‌ها و نتایج بهینه تحت متغیر زمان در یک درخت تصمیم چند مرحله‌ای[۴] است. تعداد دوره‌های زمانی (T) که بر مبنای آن تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد، به افق زمانی برنامه‌ریزی اشاره دارد. افق برنامه‌ریزی شده نیز خود به چندین دوره زمانی (هفته، ماه، سال) تقسیم می‌شود که هر یک از آنها به نام مرحله، که از 1 تا T می‌باشد، نام‌گذاری می‌شود. هر مرحله و وضعیت مربوط به آن، توسط مجموعه‌ای از پارامترها که متغیر وضعیت نامیده می‌شود، توضیح داده خواهد شد. تابعی که چگونگی تغییرات سیستم را از یک وضعیت در مرحله t به وضعیت دیگر در مرحله بعد، t+1 نشان می‌دهد، تابع انتقال (τ_t) نام دارد. در یک مدل برنامه‌ریزی پویای قطعی، تابع انتقال، تابعی است از وضعیت جاری سیستم و تصمیم‌هایی که ممکن است در آن مرحله گرفته شده باشد. لیکن در یک مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی، تابع انتقال تابعی است از وضعیت جاری سیستم و تصمیم‌هایی که

---

[1] Stage
[2] State
[3] Transaction
[4] Multi-Stage Decision Tree

در مرحله‌های پیش گرفته شده است؛ به طوری‌که ارزش انتظاری در هر مرحله، یا تابع انتقال و یا هر دوی این موارد، تابعی از مقدار k_t که نشانگر عدم حتمیت و احتمال وابسته آن $P(k_t)$ خواهد بود. تابع هدف در روش برنامه‌ریزی پویای تصادفی، برابر با بیشینه‌کردن فرمول عمومی مدل‌های تصمیم‌گیری پویا با در نظرگرفتن عدم حتمیت برای وضعیت‌های مختلف می‌باشد. فرم این تابع به صورت رابطه (9) می‌باشد (Hardaker, 2015) :

$$V_1(X_1) = Max_{a_1 \dots a_T} g\{E[r_1(X_1, a_1, k_1)], E[r_2(X_2, a_2, k_2)], \dots, E[r_T(X_T, a_T, k_T)]\} \quad (۹)$$

که در آن:

$$E[r_t(X_t, a_t, k_t)] = \sum_k P_t(k_t) r_t(X_1, a_1, k_1) \quad (10)$$

و $[r_t(X_t, a_t, k_t)]$ نشانگر ارزش انتظاری برای مرحله t است که تابعی از متغیر تصمیم a_t در وضعیت X_t و برای متغیر احتمالی k_t با احتمال $P(k_t)$ خواهد بود (Hardaker, 2015).

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مربوط به سال‌های 91-1375 است. داده‌های مربوط به موجودی در هکتار و میزان برداشت در هکتار مورد استفاده در این پژوهش، از کتابچه‌های طرح-های ده ساله جنگلداری و داده‌های اسمی مربوط به قیمت چوب از شرکت سهامی نکاچوب استخراج شدند (وزارت جهاد کشاورزی، 1390).

ارزیابی راهبردهای مدیریت جنگل با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی

پس از شبیه‌سازی راهبردهای بیشینه کردن میزان برداشت چوب، بیشینه کردن ارزش حال خالص و بیشینه کردن موجودی چوب جنگل، برای بررسی پایداری منابع جنگل در هر یک از راهبردها از مدل تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک روش مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره است که از ساختار سلسله مراتبی برای نشان دادن مسئله استفاده می‌کند. این روش، بر مبنای داوری کاربران، برای گزینه‌های مختلف اولویت‌هایی را ایجاد می‌کند (Kundu et al., 2017). این تکنیک در دهه 1980 توسط توماس ال ساعتی طراحی شد. بکارگیری این روش در چهار گام صورت می‌گیرد.

الف. مدلسازی: در این گام، مسئله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عنصرهای تصمیم که با هم در ارتباطند، درآورده می‌شود. عنصرهای تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم-گیری» و «گزینه‌های تصمیم» می‌باشد(Mehregan, 2004). برای این منظور از درخت تصمیم استفاده می‌شود که از چهار سطح تشکیل شده است. سطح اول شامل هدف کلی از تصمیم‌گیری می‌باشد. در سطح دوم معیارهای کلی قرار دارند که تصمیم‌گیری بر مبنای آنها صورت می‌گیرد.

در سطح سوم زیرمعیارها قرار می‌گیرند و در آخرین سطح نیز گزینه‌های تصمیم هستند (Delbari & Davoudi, 2012).

ب. داوری ترجیحی (مقایسه‌های زوجی): این کار با انجام مقایسه‌های دو به دو بین عنصرهای تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازهای عددی که نشان‌دهنده برتری یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. برای مقایسه دو به دو عناصر، از ماتریس‌هایی مثبت و دوجانبه به نام ماتریس مقایسه جفتی استفاده می‌شود. منظور از ماتریس دوجانبه ماتریسی است که درآن $aij = \frac{1}{a_{ij}}$ می‌باشد.

ج. محاسبه وزن‌های نسبی از ماتریس تصمیم: گام بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبه‌های لازم برای تعیین اولویت هر یک از عنصرهای تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسه زوجی است. خلاصه عملیات ریاضی در این مرحله به صورت زیر است. مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسه‌های زوجی را محاسبه کرده، آنگاه هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌کنیم. ماتریس جدیدی که بدین صورت به دست می‌آید، «ماتریس مقایسه‌های نرمال شده» نامیده می‌شود. میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسه‌های نرمال شده را محاسبه می‌کنیم. این میانگین وزن نسبی عناصر تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می‌کند. به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله بایستی وزن نسبی هر عنصر را در وزن عناصر بالاتر ضرب کرد تا وزن نهایی آن به دست آید. با انجام این مرحله برای هر گزینه، مقدار وزن نهایی به دست می‌آید.

د. سازگاری در داوری‌ها: همه محاسبه‌های مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای داوری اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسه‌های زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و زیرمعیارها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبه‌ها را مخدوش می‌سازد. نسبت سازگاری شاخصی است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های به دست آمده از مقایسه‌ها اعتماد کرد. تجربه نشان داده است که اگر نرخ ناسازگاری کمتر از 0.1 باشد سازگاری مقایسه‌ها قابل قبول بوده و در غیر این صورت باید در مقایسه‌ها تجدید نظر شود.

نتایج و بحث

در این بخش، در آغاز فرایند تصادفی متغیر قیمت چوب با روش ARIMA برآورد شد. برای این منظور از بین الگوهای انتخاب شده، با توجه به معیارهایی که گفته شد، بهترین الگو انتخاب و

پس از آن پیش‌بینی برای متغیر تصادفی قیمت چوب انجام گرفت. در ادامه، معادله رویش و معادله هزینه برآورد شد. سپس با استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویا، سه راهبرد مدیریت جنگل شامل بیشینه کردن میزان برداشت چوب، بیشینه کردن ارزش حال خالص و بیشینه کردن موجودی چوب جنگل مورد نظر شبیه‌سازی شد. داده‌های قیمت واقعی چوب با استفاده از شاخص قیمت مصرف‌کننده نسبت به سال پایه 1383 تورم‌زدایی شد.

استفاده از روش‌های رگرسیونی پیش‌بینی مستلزم بررسی ویژگی‌های ایستایی می‌باشد. از این‌رو ایستایی داده‌ها بررسی شد. برای تعیین d از آزمون ایستایی و دو آماره دیکی فولر و دیکی فولر تعمیم یافته استفاده شد. به منظور تعیین روند و عرض از مبدأ در آزمون ایستایی بهترین راه استفاده از روش گام به گام است. این روش در نه مرحله برای آزمون ایستایی متغیرها قابل استفاده است (Seddigh et al., 2000).

جدول (۱) نتایج آزمون ADF برای بررسی ایستایی متغیرها

Table(1) ADF test results for variable's stationary test

متغیر variable	وضعیت state	آماره محاسباتی (t) Calculated statistic	p-value	ایستایی stationary
قیمت چوب Timber price	با عرض از مبدا و روند زمانی	-5.17	0.000***	I(0)
هزینه در هکتار Cost per hectar	با عرض از مبدا و روند زمانی	-4.45	0.028**	I(0)
برداشت در هکتار Harvest per hectar	با عرض از مبدا	-3.29	0.048**	I(0)
مجذور برداشت در هکتار Squared harvest per hectar	با عرض از مبدا	-3.15	0.058*	I(0)
رویش در هکتار Increment per hectar	با عرض از مبدا و بدون روند زمانی	-3.40	0.032**	I(1)
موجودی در هکتار Stock per hectar	با عرض از مبدا و روند زمانی	-6.81	0.000***	I(1)
مجذور موجودی در هکتار Squared Increment per hectar	با عرض از مبدا و روند زمانی	-8.79	0.000***	I(1)
جزء پسماند معادله رویش Residual of growth equation	بدون عرض از مبدا و روند زمانی	-3.71	0.073*	I(0)

* و **و *** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰ و ۵ و ۱ درصد است.

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

نتایج به دست آمده در جدول (1) گویای آن است که متغیر سری زمانی قیمت چوب با وجود روند زمانی و عرض از مبدأ در سطح ایستاست و در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد، لذا فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد رد می‌شود.

به منظور استفاده از فرایند ARIMA، پس از تعیین مرتبه ایستایی (d=۰)، برای تعیین مرتبه خود توضیحی (p) و میانگین متحرک (q) از نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی استفاده شد. بر مبنای این نمودارها در آغاز پنج الگو پیشنهاد و آنگاه با توجه به معیارهای گفته شده، بهترین الگو انتخاب شد. نتایج پیش‌بینی و مقادیر معیارهای مختلف، RMSE و MAE و MAPE، حاصل از پیش‌بینی مدل‌های مورد نظر در جدول (2) آمده است. بر مبنای این نتایج، مدل ARMA(2,1) با عنایت به اینکه همه ضرایب حاصل از تخمین این فرایند معنی‌دار و برابر انتظار شدند و همچنین با نگاه به ضرایب خوبی برازش و خوبی برازش تعدیل شده که بالاترین مقدار را داشتند، معنی‌داری آماره‌ی F و با دقت به اینکه این مدل دارای کمترین مقدار از معیارهای RMSE و MAE و MAPE در بین مدل‌های تحت بررسی است، می‌توان گفت بهترین مدل برای پیش‌بینی قیمت واقعی چوب است.

جدول (۲) مقادیر معیارهای مختلف به دست آمده از پیش‌بینی مدل‌ها

Table(2) The values of different criteria derived from prediction of models

معیارها criteria / الگوها models	RMSE	MAE	MAPE
AR(1)	27.79	27.42	7.69
MA(1)	99.19	95.57	26.79
ARMA(1,1)	40.56	37.02	10.37
ARMA(1,2)	48.49	47.36	13.29
ARMA(2,1)	6.38	6.30	1.77

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

برآورد مدل هزینه برداشت چوب

برای دستیابی به مقدار بهینه در حالت ایستا نیاز به معادله ارزش کنونی خالص داریم که برای این معادله هم باید تابع هزینه در آن گنجانده شود. از این رو در این قسمت معادله هزینه درجه دو با عرض از مبدأ برآورد شد که در آن، هزینه تابعی از برداشت و مجذور متغیر برداشت در نظر

گرفته شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول (1)، چون همه متغیرها در سطح ایستا هستند، می‌توان از روش معمولی حداقل مربعات[1] بهره برد.

در جدول (3) نتیجه به دست آمده از برآورد معادله هزینه آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، ضرایب معادله معنی‌دار شده‌اند. مقدار ضریب خوبی برازش که بیانگر توضیح درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل است برابر 0.59 و ضریب خوبی برازش تعدیل شده 49 درصد به دست آمده است.

جدول (۳) نتایج حاصل از برآورد معادله هزینه

Table(3) Result of cost model estimation

$\overline{R^2}$	R^2	p-value	آماره t t-statistic	خطای معیار standard errorS	ضرایب coefficients	متغیرهای مستقل Independent variables
0.490	0.590	0.030	2.63	7.72	20.28	عرض از مبدا Intercept
		0.047	-2.35	0.85	-1.99	برداشت در هکتار Harvest per hectar
		0.031	2.60	0.022	0.058	مجذور برداشت در هکتار Squared harvest per hectar

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

حال می‌توان معادله این برآورد را به صورت رابطه (۱۱) نوشت:

$$C = 20.28 - 1.99\ h + 0.058h^2 \qquad (۱۱)$$

برآورد معادله رویش

برای تعیین معادله رشد با استفاده از معادله (8) در آغاز ایستایی متغیرها آزمون شد. بنابر نتایج جدول (1) هر سه متغیر در تفاضل مرتبه اول ایستا شدند. بر مبنای مفاهیم اقتصادسنجی می‌دانیم که اگر همه متغیرها انباشته از درجه واحدی باشند و جمله اخلال مدل مربوطه در سطح ایستا باشد، در نتیجه می‌توان گفت متغیرهای مورد نظر همجمع هستند؛ بدین معنی که طبق اصول اقتصادسنجی این سری‌های زمانی هم‌موج‌اند و در طول زمان یکدیگر را به خوبی دنبال می‌کنند، به طوری که تفاضل بین آنها ایستاست. بنابراین نوعی رابطه تعادلی بلندمدت بین این سری‌ها وجود دارد. وجود هماهنگی در حرکت بین سری‌های زمانی مبین آن است که به احتمال یک

[1] OLS (Ordinary Least Square)

رابطه تعادلی بین این سری‌ها وجود دارد که در این صورت رگرسیون برآوردشده، کاذب نخواهد بود و آماره‌های آزمون t و F دارای اعتبار لازم هستند. با توجه به نتایج جدول (1) که نشانگر ایستایی جمله اخلال رگرسیون معادله رویش است، می‌توان نتیجه گرفت که بدون نگرانی از وجود رگرسیون کاذب می‌توان معادله مورد نظر را (معادله رویش) برآورد و به نتایج آن اعتماد کرد.

نتایج حاصل از براورد معادله رویش در جدول (4) آمده است. مشاهده می‌شود که ضرایب معادله معنی‌دار شده‌اند و مقدار ضریب خوبی برازش برابر 0.83 و ضریب خوبی برازش تعدیل شده هم برابر 80 درصد شده است که این، بیانگر قدرت بالای توضیح دهندگی مدل است.

جدول (۴) نتایج به دست آمده از برآورد معادله رویش

Table(4) results of growth model estimation

$\overline{R^2}$	R^2	p-value	آماره t t-statistic	خطای معیار Standadrd error	ضرایب coefficient	متغیرهای مستقل Independent variables
0.60	0.62	0.000	13.9	0.001879	0.026125	موجودی در هکتار Stock per hectar
		0.000	-4.72	0.00000513	-0.000242	مجذورموجودی در هکتار Squared stock per hectar

Source: Research finding منبع: یافته‌های تحقیق

رابطه به دست آمده از برآورد معادله رویش به صورت رابطه (12) است:

$$G = 0.026125V - 0.000242\,V^2 \quad (12)$$

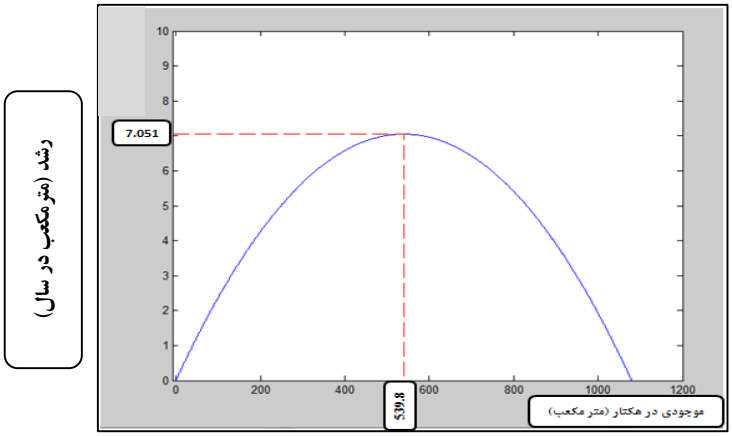
از رابطه (۱۳) برای تعیین مقدار موجودی جنگل در زمان رسیدن به بیشترین میزان رویش سالانه استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial G}{\partial V} = \alpha_1 + 2\beta_1 V_i \quad (13)$$

با برابر صفر قراردادن رابطه (13)، رابطه (14) بر مبنای V به دست می‌آید. این رابطه بیان می‌کند که به ازای این مقدار حجم، رشد سالانه به بیشینه می‌رسد.

$$V = -\frac{\alpha_1}{2\beta_1} \quad (14)$$

با توجه به ضریب‌های تعیین شده در جدول (4) و معادله‌های (11) و (12)، همچنین با توجه به حجم چوب سرپا (موجودی در هکتار)، به تعیین بیشینه رشد سالانه پرداخته شد. نمودار رشد با استفاده از نرم افزار متلب رسم شده و در شکل (1) آمده است.



شکل (۱) نمودار رشد به صورت تابعی از موجودی جنگل

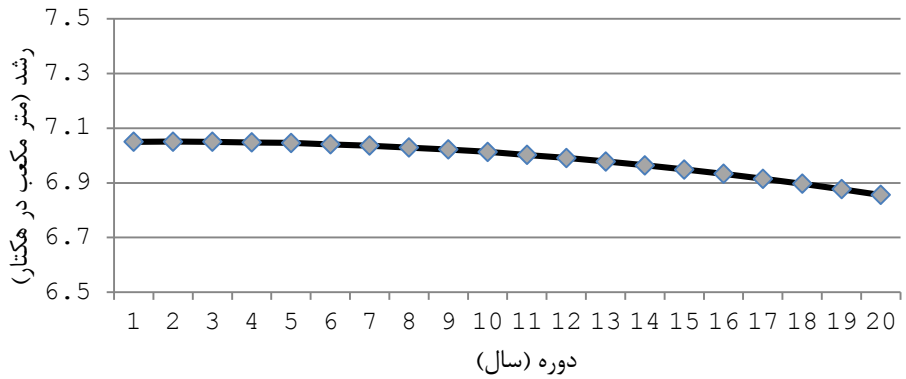
Figre(1) The graph of growth as a function of forest stock

همانطور که در شکل (1) مشاهده می‌شود، با توجه به محاسبه‌های انجام شده، میزان رشد سالانه وقتی که موجودی جنگل برابر با 539.8 متر مکعب در هکتار باشد، به بیشینه میزان خود یعنی 7.051 متر مکعب در هکتار می‌رسد.

نتایج شبیه‌سازی راهبردها

با داشتن معادله قیمت، معادله هزینه، معادله رشد و جایگذاری آنها در رابطه (3)، معادله ارزش حال خالص به دست آمد. حال می‌توان به شبیه‌سازی راهبردهای تعریف شده در قالب مدل برنامه‌ریزی پویا، با استفاده از نرم افزار GAMS پرداخت. نتایج به دست آمده از این ارزیابی در ادامه با رسم نمودار توضیح داده شده است. گفتنی است که در قسمت نتایج مربوط به هر راهبرد، در مورد سه متغیر مهم میزان برداشت در هکتار، میزان رویش در هکتار و میزان موجودی در هکتار بحث می‌شود. این سه متغیر، مهم‌ترین متغیرهایی هستند که راهبردها بر مبنای آنها رقم می‌خورند و اعمال سیاست‌ها و تصمیم‌سازی توسط مدیر جنگل در هر زمانی، تنها با توجه به وضعیت این متغیرها امکان‌پذیر است.

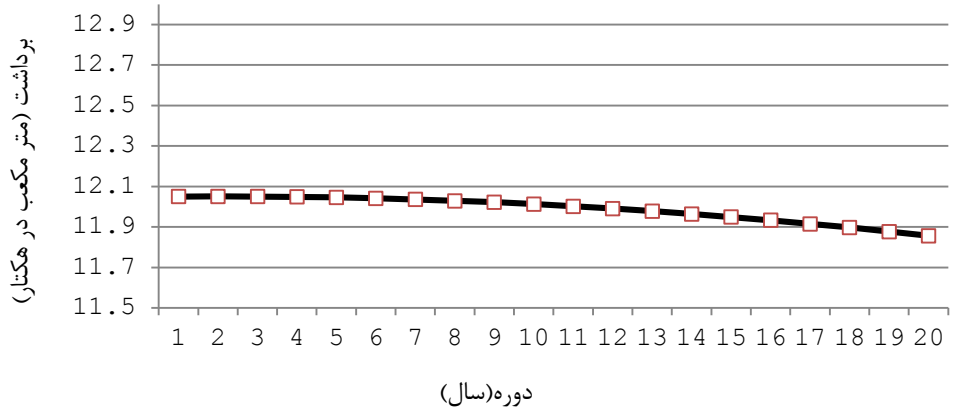
الف- راهبرد نخست، سیاست بیشینه کردن میزان برداشت است.



شکل (۲) نمودار میزان رشد در راهبرد بیشینه کردن میزان برداشت

Figre(2) The graph of growth quantity in the harvest maximizing strategy

برابر شکل (2)، متغیر میزان رشد تقریبا دارای سیر کاهشی با شیب کم است به طوری که پس از افزایش اندک از سال اول به دوم، سیر نزولی جزئی تا انتهای دوره مشاهده می‌شود.

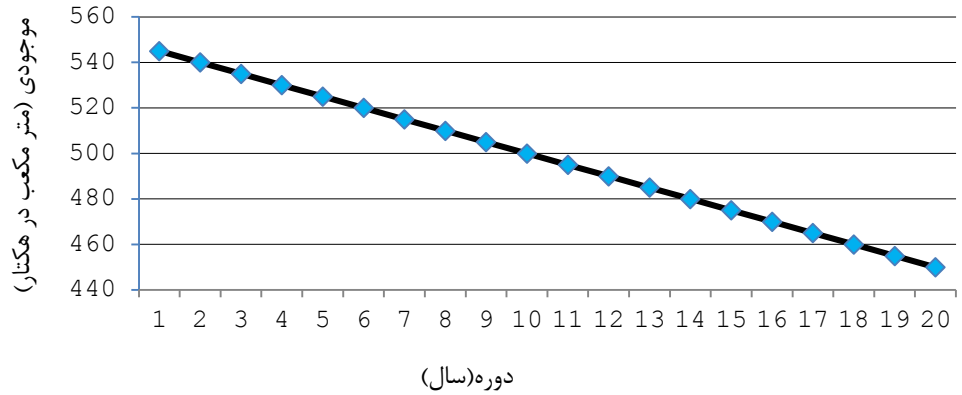


شکل (۳) نمودار میزان برداشت در راهبرد بیشینه کردن میزان برداشت

Figre(3) The graph of harvest quantity in the harvest maximizing strategy

با توجه به شکل (3)، میزان برداشت از سال اول به دوم با افزایش اندکی که در نمودار هم به سختی قابل مشاهده است، همراه بوده و از رقم 12.05 به رقم 12.051 متر مکعب در هکتار رسیده و از سال سوم به بعد تا انتهای دوره مورد بررسی سیر کاهشی داشته به طوری که به رقم 11.856 متر مکعب در هکتار در

انتهای دوره رسیده است. این تغییر در کل دوره بسیار جزئی بوده، به طوری که می‌توان گفت با به-کارگیری این راهبرد در طول دوره، میزان برداشت در هکتار از جنگل به طور تقریبی در رقم 12 متر مکعب در هکتار ثابت مانده است.



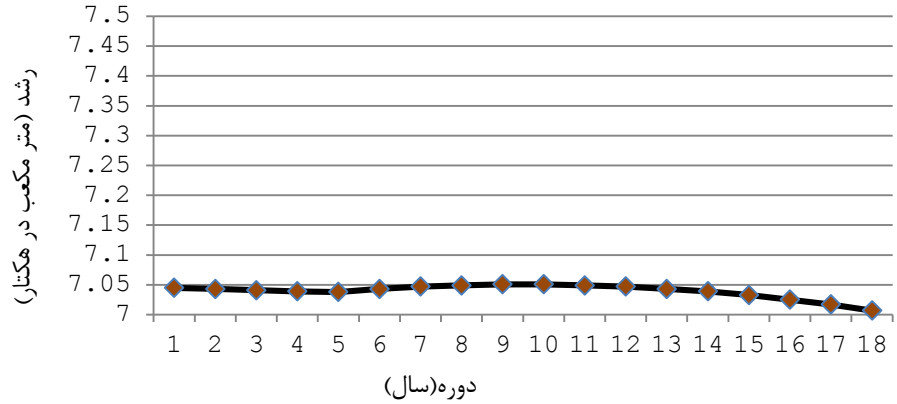
شکل (۴) نمودار میزان موجودی در هکتار در راهبرد بیشینه کردن میزان برداشت

Figre(4) The graph of stock quantity in the harvest maximizing strategy

در مورد متغیر موجودی در هکتار در راهبرد نخست، طبق شکل (4)، با توجه به اینکه این راهبرد بر بیشینه کردن میزان برداشت در هکتار تکیه دارد و از آنجا که میزان برداشت و میزان موجودی در تقابل با هم هستند، میزان موجودی در هکتار از همان آغاز دوره کاهش قابل توجهی داشته و سیر کاهشی پیدا کرده، تا جایی که از میزان 545 متر مکعب در هکتار در ابتدای دوره، به 450 متر مکعب در هکتار در انتهای دوره رسیده است.

سوال مهم این است که با توجه به پیروی میزان برداشت در هکتار از میزان رویش، چرا میزان موجودی در هکتار، اینطور کاهش یافته است؟ پاسخ این است که اگرچه میزان برداشت از میزان رویش پیروی می‌کند، ولی میزان برداشت و میزان رویش، اختلاف قابل توجهی دارد و در این راهبرد، حدود دو برابر میزان رویش، برداشت صورت می‌گیرد و این می‌تواند باعث کاهش چشمگیر در میزان موجودی در هکتار جنگل شود. بایستی توجه داشت که این محاسبه‌ها در واحد هکتار در نظر گرفته شده و در کل جنگل شاید شدیدتر هم نشان داده شود.

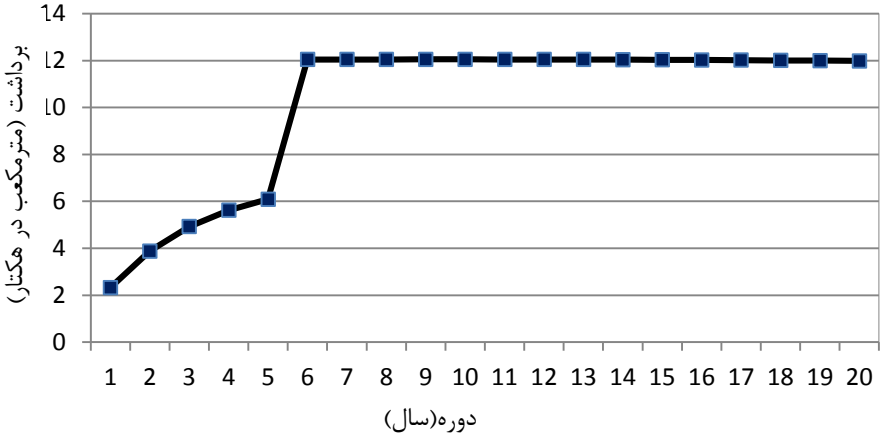
ب- دومین راهبرد مورد بررسی، راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص است.



شکل (۵) نمودار میزان رشد در راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص

Figre(5) The graph of growth quantity in the NPV maximizing strategy

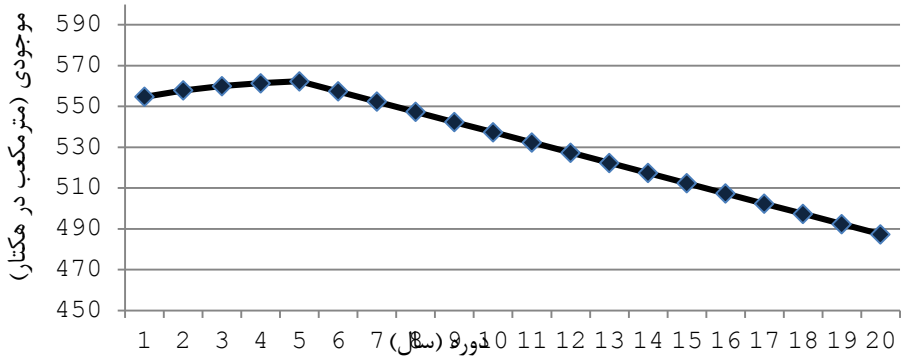
بر اساس نمودار (5)، میزان رویش تا حدودی در کل دوره یکسان بوده و در انتهای دوره کاهش اندکی داشته است. نکته قابل توجه این است که همان طور که در نمودار رسم شده در شکل (۱) برای معادله رویش مشاهده می‌شود، بیشینه میزان رویش برابر با 7.051 متر مکعب در هکتار بوده که در اینجا میزان رویش تقریبا به همین اندازه رسیده است (به جز در سال‌های پایانی دوره مورد بررسی که کاهش ناچیزی وجود دارد). این امر نشان می‌دهد که با به‌کارگیری راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص، میزان رویش در حد قابل قبولی باقی می‌ماند و از این بابت به جنگل لطمه‌ای وارد نمی‌شود.



شکل (۶) نمودار میزان برداشت در راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص

Figre(6) The graph of harvest quantity in the NPV maximizing strategy

همان طور که در شکل (6) مشاهده می‌شود، در راهبرد دوم، میزان برداشت در چند سال اول سیر افزایشی داشته، به طوری که از 2 متر مکعب در هکتار در سال اول به 12 متر مکعب در هکتار در سال ششم رسیده است و از سال ششم به بعد تا انتهای دوره تا حدودی سیر ثابت را دنبال کرده است. دلیل افزایش میزان برداشت در سال‌های ابتدایی، افزایش میزان رویش جنگل در این راهبرد است به نحوی که به بیشینه میزان خود رسیده است. ثابت ماندن میزان برداشت از سال ششم به بعد می‌تواند به این دلیل باشد که میزان رویش در هکتار از سال ششم به بعد تا حدودی سیر ثابت داشته و افزایش نیافته است (شکل (5)) و به همین دلیل میزان برداشت از میزان رویش پیروی می‌کند.



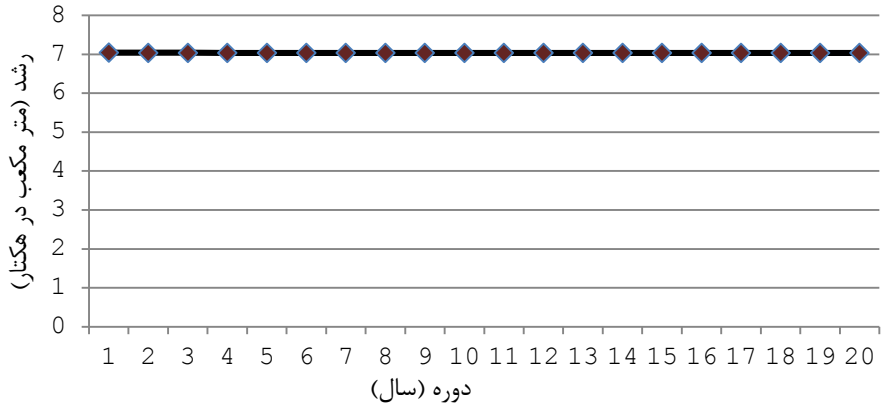
شکل (۷) نمودار میزان موجودی در هکتار در راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص

Figre(7) The graph of stock quantity in the NPV maximizing strategy

شکل (7) نتیجه به دست آمده از اتخاذ راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص را بر متغیر موجودی در هکتار نشان می‌دهد. طبق این نمودار، میزان موجودی در جنگل در پنج سال اول سیر افزایشی داشته و از سال پنجم به بعد این میزان از 562 متر مکعب در هکتار به 557 متر مکعب در هکتار در سال ششم کاهش یافته است و از آن به بعد با شیب ملایمی سیر کاهشی داشته است، تا جایی که به 487 متر مکعب در هکتار در انتهای دوره رسیده است. لیکن این کاهش به اندازه کاهش در موجودی در هکتار در راهبرد نخست نیست. چرایی رخداد این روند در موجودی جنگل، با توجه به روند افزایشی رویش جنگل در سال‌های ابتدایی و رسیدن به نقطه بیشینه رشد، ثبات آن در سال‌های میانی و سپس کاهش آن در سال‌های پایانی دوره قابل توضیح است. نکته شایان توجه این است که ارتباط تنگاتنگی میان میزان برداشت در هکتار و میزان موجودی در هکتار مشاهده می‌شود؛ به طوری که در مورد میزان برداشت، از سال نخست تا سال ششم سیر صعودی در میزان برداشت را مشاهده می‌کنیم و از سال ششم به بعد این سیر افزایشی متوقف شده و در حدود رقم 12 متر مکعب در هکتار ثابت می‌ماند. در مقابل برای متغیر موجودی در هکتار، در پنج سال ابتدایی دوره روند صعودی وجود دارد و از سال پنجم به بعد کاهش

یافته است. این موضوع بدان معناست که میزان برداشت از سال ششم به بعد که موجودی در هکتار در حال کاهش است، به میزان ثابتی رسیده و چه بسا در پایان دوره کاهش اندکی هم داشته است.

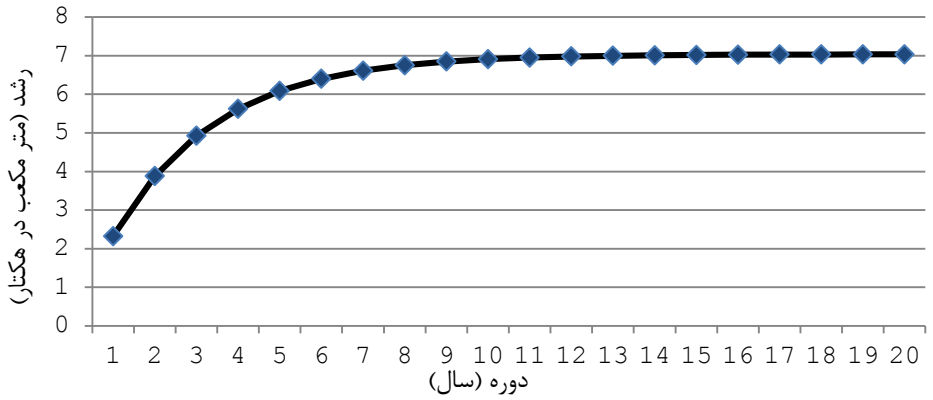
ج- در راهبرد سوم، هدف، بیشینه کردن میزان موجودی در جنگل است.



شکل (۸) نمودار میزان رشد در راهبرد بیشینه کردن میزان موجودی جنگل

Figre(8) The graph of growth quantity in the stock maximizing strategy

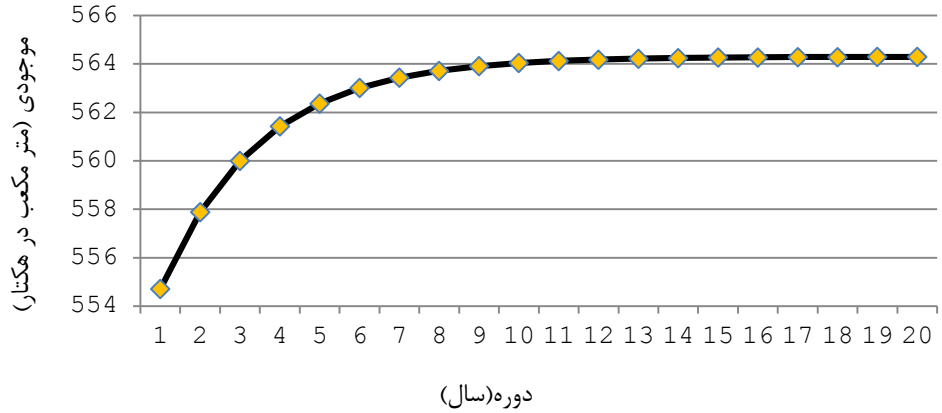
در رابطه با متغیر میزان رویش، همان گونه که در شکل (8) مشاهده می‌شود، تا حدودی در کل دوره مورد بررسی، این میزان ثابت بوده و به بیشترین میزان رویش در تابع رویش برآورد شده که 7.051 بوده، نزدیک است. بنابراین در مجموع، میزان رویش در این راهبرد، میزان قابل قبولی داشته است.



شکل (۹) نمودار میزان برداشت در راهبرد بیشینه کردن میزان موجودی جنگل

Figre(9) The graph of harvest quantity in the stock maximizing strategy

با توجه به شکل (9)، میزان برداشت از جنگل در سال‌های ابتدایی، سیری افزایشی داشته و از میزان 2.3 متر مکعب در هکتار به حدود 7 متر مکعب در هکتار در سال دهم رسیده است و از آن به بعد تا حدودی سیر ثابت داشته است. در مجموع، این متغیر در طول دوره مورد بررسی دارای سیر افزایشی بوده است.



شکل (۱۰) نمودار میزان موجودی در هکتار در راهبرد بیشینه کردن میزان موجودی جنگل

Figre(10) The graph of stock quantity in the stock maximizing strategy

میزان متغیر موجودی در هکتار که در شکل (10) آمده است، در طول دوره بررسی سیر افزایشی داشته، به طوری که از مقدار 554 متر مکعب در هکتار در سال اول به 564 متر مکعب در هکتار در سال دهم رسیده و از آن به بعد تقریبا سیری ثابت را طی کرده است.

ارزیابی راهبردهای مدیریت جنگل برای بررسی پایداری در مدیریت منابع جنگل

مقدار معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی هریک از راهبردهای مدیریتی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار GAMS در جدول (5) ارائه شده است. نماینده معیار زیست‌محیطی میزان حجم چوب و نماینده معیار اقتصادی، ارزش فعلی خالص در نظر گرفته شده است.

جدول (۵) مقدار معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی با توجه به راهبردهای مدیریتی

Table(5) Environmental and economic criteria values for management strategies

راهبردهای مدیریتی Management strategies	معیار زیست‌محیطی Environmental criterion	معیار اقتصادی Economic Criterion
بیشینه کردن ارزش حال خالص Maximizing NPV	11181.974	27642
بیشینه کردن میزان برداشت چوب Maximizing harvest	10500	25984
بیشینه کردن موجودی Maximizing forest stock	11806.971	23081.8

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی راهبردهای مدیریت جنگل برای بررسی پایداری در مدیریت منابع جنگل، ماتریس مقایسه زوجی[1] است که به وسیله گروه کارشناسی انجام شده است و در جدول (6) آمده است.

جدول (۶) ماتریس مقایسه زوجی معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی

Table(6) Pair Comparison Matrix of Environmental and Economic Criteria

معیارها criteria	معیار زیست‌محیطی Environmental criterion	معیار اقتصادی Economic Criterion
معیار اقتصادی Economic Criterion	1.5	1
معیار زیست‌محیطی Environmental criterion	1	0.66

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

محاسبه وزن برای معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد و نتایج در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول (۷) وزن‌های محاسبه‌شده با تحلیل سلسله مراتبی برای معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی

Table(7) Calculated weights of Environmental and Economic Criteria

معیارها criteria	معیار زیست‌محیطی Environmental criterion	معیار اقتصادی Environmental criterion
معیار اقتصادی Economic Criterion	1	0.6
معیار زیست‌محیطی Environmental criterion	0.67	0.4

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

با تقسیم اعداد هر ستون از جدول (7) بر بزرگترین عدد همان ستون، مقدار نرمال شده معیارهای زیست‌مح‌ی‌ط‌ی و اق‌ت‌ص‌ادی ب‌ا ت‌وج‌ه ب‌ه راه‌ب‌ردهای مدیریتی به دست آمد. نتایج حاصل که در جدول (8) ارائه شده است در ارزیابی وضعیت مدیریت پایدار منابع جنگل‌های مورد مطالعه با توجه به راهبردهای مدیریتی به کار گرفته شد.

[1]Pairwise Comparison Matrix (PCM)

جدول (۸) مقدار معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی نرمال شده با توجه به راهبردهای مدیریتی
Table(8) Normalized Environmental and Economic criteria for management strategies

راهبردهای مدیریتی Management strategies	معیار زیست‌محیطی Environmental criterion	معیار اقتصادی Environmental criterion
بیشینه کردن ارزش حال خالص Maximizing NPV	0.95	1
بیشینه کردن میزان برداشت چوب Maximizing harvst	0.89	0.94
بیشینه کردن موجودی Maximizing forest stock	1	0.83

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

در نهایت با ضرب مقدار نرمال شده معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی راهبردهای مدیریتی در وزن‌های محاسبه‌شده با تحلیل سلسله مراتبی، امتیاز نهایی راهبردهای مدیریتی به دست آمد که در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول (۹) امتیاز نهایی راهبردهای مدیریتی
Table(9) Final Score of Management Strategies

راهبردهای مدیریتی Management strategies	امتیاز نهایی Final Score
بیشینه کردن ارزش حال خالص Maximizing NPV	0.97
بیشینه کردن میزان برداشت چوب Maximizing harvst	0.92
بیشینه کردن موجودی Maximizing forest stock	0.90

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

با توجه به نتایج این جدول می‌توان گفت که راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص در میان راهبردهای موجود، راهبرد برتر بوده و از این جهت، به منظور ارزیابی وضعیت مدیریت پایدار منابع جنگل برای تصمیم‌سازی به مدیران و مجریان جنگل پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش به شبیه‌سازی سه راهبرد تعریف شده در مورد مدیریت جنگل‌های شمال پرداخته شد. پیش بینی قیمت چوب با استفاده از روش ARMA صورت گرفت. آنگاه معادله درجه دو هزینه برآورد شد. در ادامه، معادله رویش درجه دو جنگل تخمین زده شد و معادله ارزش حال

خالص به دست آمد. در نهایت بعد از دستیابی به این معادله‌ها، به ارزیابی سه راهبرد مدیریت جنگل پرداخته شد.

در راهبرد بیشینه کردن میزان برداشت، برای متغیر رویش، سیر تقریبا کاهشی با شیب اندک مشاهده شد که برای متغیر میزان برداشت هم تا حدودی همین تغییرات مشاهده شد. تغییرات در میزان برداشت در هکتار و میزان رویش در هکتار در این راهبرد از هم پیروی می‌کنند و این بدان معناست که میزان برداشت باید با توجه به میزان رویش در هکتار تعیین شود. در حقیقت، راهبرد نخست بدون توجه به اثرگذاری بلندمدت بیشینه ساختن میزان برداشت چوب، فقط به دستاوردهای مالی در زمان حال توجه دارد. لذا این راهبرد به تخریب جنگل در بلندمدت منجر می‌شود. نکته مهم این است که حتی در بلند مدت، به غیر از تخریب جنگل، سبب تضعیف شرایط اقتصادی بهره‌برداران می‌شود که این موضوع را می‌توان از کاهش میزان برداشت طی سال‌های مورد بررسی متوجه شد. بنابراین، این راهبرد در نهایت به تحقق نیافتن توسعه پایدار و دستیابی به اهداف آن منجر خواهد شد. در این حالت، در بلند مدت هیچ گروهی از این شرایط نفع نخواهد برد و بهتر است بر مبنای نظرهای کارشناسان، با در نظر گرفتن وضعیت اقتصادی بهره‌برداران، راهبرد مناسبی برای جنگل تعیین شود. از این رو، راهبرد بیشینه کردن میزان برداشت چوب به مدیران و مجریان جنگل برای تصمیم‌سازی و اجرا پیشنهاد نمی‌شود، چون پایداری منابع را برای آیندگان به مخاطره می‌اندازد.

در راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص، میزان رویش در حد قابل قبولی قرار دارد و از این بابت به جنگل لطمه‌ای وارد نمی‌شود. با به‌کارگیری این راهبرد، میزان برداشت در سال‌های ابتدایی افزایش می‌یابد و سپس تا پایان دوره تا حدودی سیر ثابت را دنبال می‌کند. این موضوع می‌تواند بدین معنا باشد که در این حالت، وضعیت بهره‌برداران از نظر اقتصادی بهبود می‌یابد؛ که این خود یکی از هدف‌های دستیابی به پایداری است. میزان موجودی در جنگل در راهبرد دوم، ابتدا سیر افزایشی داشته و بعد از چند دوره با شیبی ملایم سیر کاهشی پیدا کرده است. میزان برداشت در این راهبرد از میزان رویش پیروی می‌کند و از سوی دیگر میان میزان برداشت در هکتار و میزان موجودی در هکتار ارتباط وجود دارد. این موضوع هم بدین علت است که تصمیم‌های گرفته شده توسط مدیر جنگل برای تعیین میزان برداشت، با توجه به وضعیت جنگل، هم از نظر میزان رویش و هم از نظر میزان موجودی در هکتار و دیگر عامل‌ها صورت می‌گیرد.

این مسئله در بلندمدت موجب می‌شود تا در طول زمان از موجودی جنگل کاسته نشود و پایداری جنگل هم حفظ شود.

در راهبرد سوم مبنی بر بیشینه کردن میزان موجودی جنگل، مقدار رویش میزان قابل قبولی داشته است. متغیر میزان برداشت در طول دوره مورد بررسی، دارای سیری افزایشی است. موجودی در هکتار در ابتدای طول دوره بررسی سیر افزایشی داشته و از چند دوره اول به بعد تا حدودی سیری ثابت را طی کرده است. نکته قابل ملاحظه این است که در این راهبرد، که با هدف بیشینه کردن میزان موجودی در هکتار انجام شد، میزان رویش تقریبا در حد قابل قبولی در طی دوره بررسی بوده و میزان برداشت در هکتار هم از الگوی میزان موجودی در هکتار پیروی کرده و متناسب با آن افزایش یافته است. میزان موجودی در هکتار هم در مجموع در طول دوره بررسی سیری افزایشی داشته و این بدان معناست که وضعیت جنگل از نظر زیست‌محیطی در بلندمدت حفظ شده و البته با توجه به سیر افزایشی میزان برداشت هم می‌توان گفت که وضعیت بهره‌برداران نیز از لحاظ اقتصادی بهبود پیدا کرده است. این بدان معناست که اتخاذ راهبرد بیشینه کردن موجودی جنگل در شرایط جاری جنگل‌های شمال می‌تواند ما را به اهداف پایداری در منابع جنگل نزدیک کند. لذا نتایج نشان می‌دهد که محافظت از جنگل و تأمین اهداف توسعه پایدار، به طوری که هم موجودی جنگل در طول زمان کاهش نیابد و هم اهداف اقتصادی تأمین شود، با ارائه راهکارهای مناسب و اعمال راهبردهای مدیریتی منطقی و امکان‌پذیر، میسر خواهد بود.

پس از نتایج به دست آمده شده از شبیه‌سازی راهبردهای مدیریتی فوق در جنگل‌های شمال، با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی به ارزیابی راهبردها از نظر معیارهای اقتصادی (ارزش حال خالص) و زیست‌محیطی (میزان حجم چوب) پرداخته شد. بر مبنای نتایج جدول (۹)، از نظر معیار زیست‌محیطی، راهبرد بیشینه کردن میزان برداشت چوب و راهبرد بیشینه کردن موجودی جنگل، به ترتیب کمترین و بیشترین امتیاز را به دست آورده‌اند. این در حالی است که بر مبنای معیار اقتصادی، راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص و راهبرد بیشینه کردن موجودی، بهترین و بدترین راهبردهای مدیریت جنگل‌های شمال هستند. در مجموع، امتیاز نهایی ارزیابی راهبرد-های فوق نشان داد که راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص دارای بالاترین امتیاز در بین سایر راهبردهای مدیریتی است؛ به طوری که هم اهداف زیست‌محیطی و هم اهداف اقتصادی را در حد مطلوبی تأمین نموده و پایداری منابع جنگلی و رفاه اقتصادی بهره‌برداران را در بلندمدت

تضمین می‌نماید. لازم به یادآوری است که در اینجا با توجه به وضع موجود و نظر کارشناسان جنگل، به معیار اقتصادی وزنی بیش از دو برابر معیار زیست‌محیطی داده شد و نتیجه به این صورت به دست آمد که راهبرد بیشینه کردن ارزش حال خالص در میان راهبردهای موجود، راهبرد برتر بوده و بهتر از روش‌های دیگر ما را می‌تواند به هر دو معیار زیست‌محیطی و اقتصادی برساند. لیکن در صورتی که متناسب با شرایط حاکم بر هر کدام از جنگل‌های ایران، به هر یک از این معیارها وزن متفاوتی داده شود، نتیجه تغییر می‌کند. این نتایج با نتیجه بررسی Sabouhi & Darvishi (2011) مبنی بر اینکه در نظر گرفتن هدف‌های زیستی برای حفاظت جنگل‌ها باعث کاهش سود بهره‌برداران می‌شود، همخوانی دارد. بنابراین بر مبنای نتایج این بررسی، استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی پویا با لحاظ عدم حتمیت در راستای انتخاب راهبرد بهینه مدیریت این جنگل‌ها می‌تواند مفید واقع شود. این نتیجه در بررسی‌های Adeli (2011) و Namdari (2011) نیز تأیید شده است.

در پایان، نگاهی به طرح عدم بهره‌برداری از جنگل‌های شمال که در برنامه ششم توسعه برنامه‌ریزی شده است و مقایسه آن با نتایج مطالعه حاضر می‌تواند سودمند واقع شود. به نظر می‌رسد که اگر طرح تنفس جنگل‌ها هماهنگ با اصول و با نظارت متخصصان جنگلداری و جنگل‌شناسی صورت گیرد، می‌تواند مطابق با راهبرد بیشینه کردن میزان موجودی جنگل در مطالعه حاضر باشد. بر مبنای نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، با توجه به هدف بیشینه کردن موجودی در برنامه بلندمدت بهره‌برداری از جنگل‌ها، اهداف زیست‌محیطی مورد انتظار در طرح تنفس جنگل‌ها مبنی بر اینکه در نظر گرفتن اهداف زیستی برای حفاظت جنگل‌ها باعث کاهش سود بهره‌برداران می‌شود، همخوانی دارد. لیکن پیشنهاد می‌شود که پیش از اجرای این طرح در هر یک از منطقه‌های جنگلی کشور، با شبیه‌سازی و ارزیابی دقیق این راهبرد و وزن‌دهی متناسب با شرایط موجود به معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی، دستیابی به اهداف مورد نظر تضمین شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزی اجرای طرح تنفس جنگل‌ها بر نتایج بررسی‌های پژوهشی سنجش گزینه‌های راهبردی مبتنی باشد.

به طور کلی، تأکید بر این است که در مدیریت جنگل، به ویژه جنگل‌های شمال که دارای اهمیت تجاری و اقتصادی هستند، برای دستیابی به راهبردهای مدیریتی متناسب با شرایط کنونی از روش‌های برنامه‌ریزی پویا استفاده شود. همان طور که نتایج نشان داد، با برنامه‌ریزی پویا و مدیریت صحیح منابع جنگل، اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی همزمان تأمین خواهد شد.

منابع

Adeli, k. (2011). Investigating the market of wood and planning forest harvesting based on the principle of sustainable development in Iran. *PhD thesis in Forestry (Economics and Management)*. Sari Natural Resources Faculty. (In Farsi)

Álvarez-Miranda, E., Garcia-Gonzalo, J., Pais, C. and Weintraub, A. (2018) A multicriteria stochastic optimization framework for sustainable forest decision making under uncertainty. Forest Policy and Economics: available at: www.elsevier.com/locate/forpol.

Badilla, F., Watson, J., Weintraub, A., Wets, R. and Woodruff, D. (2014) Stochastic optimization models in forest planning: a progressive hedging solution approach. Ann. Oper. Res. 232 (1),:1–16.

Bolandian, H. (1999). Recognition of Forest, Qazvin. Imam Khomeini International University. (In Farsi)

Campbell, H. (1999) Forestry Economics: Principles and Practice. Discussion Paper N.265. Department of Economics, University of Queensland.

Crowther, T.W., Glick, H.B., Covey, K.R., Bettigole, C., Maynard, D.S., Thomas, S.M., Smith, J.R., Hintler, G., Duguid, M.C., Amatulli, G., Tuanmu, M.-N., Jetz, W., Salas, C., Stam, C., Piotto, D., Tavani, R., Green, S., Bruce, G., Williams, S.J., Wiser, S.K., Huber, M.O., Hengeveld, G.M., Nabuurs, G.-J., Tikhonova, E., Borchardt, P., Li, C.-F., Powrie, L.W., Fischer, M., Hemp, A., Homeier, J., Cho, P., Vibrans, A.C., Umunay, P.M., Piao, S.L., Rowe, C.W., Ashton, M.S., Crane, P.R. and Bradford, M.A. (2015) Mapping tree density at a global scale. Nature. 525: 201–205.

Delbari, S. A., and Davoudi, S. A. (2012). Application of analytical hierarchy process analysis (AHP) in the ranking of tourist attractions assessment indicators. *Journal of Research in Operations and Applications*, 9 (33): 79-57. (In Farsi)

Enders, W. (2008). Applied econometric time series. John Wiley & Sons.

Freitas, M. C., Xavier, A., & Fragoso, R. (2019). An integrated decision support system for the Mediterranean forests. Land Use Policy, 80, 298-308.

Gibrilla, A., Anornu, G. and Adomako, D. (2018) Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. Groundwater for Sustainable Development. 6: 150–163.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, *110*(2), 353-377.

Gujarati, D. N. (2009). *Basic econometrics*. Tata McGraw-Hill Education.

Hardaker, J. B., Lien, G., Anderson, J. R., & Huirne, R. B. (2015). Coping with risk in agriculture: Applied decision analysis. CABI.

Hasani Mehr, S. (2007). Sustainable forest management and optimal utilization (Case Study: Northern Forests of Iran). Proceedings of the second National Ecological Congress of Iran, Gorgan, 34-25. (In Farsi)

Johansson, P.O. and K.G. Lofgren. 1985. The economics of forestry and natural resources. Basil Blackwell Press, New York, USA, 292 pp.

Journal of Forestry Plan. (2006). First Series of Zarrin Abad.

Kallio, A. M. I., Moiseyev, A., & Solberg, B. (2006). Economic impacts of increased forest conservation in Europe: a forest sector model analysis. *Environmental Science & Policy*, *9*(5), 457-465.

Khosh Akhlagh, R., Nafar, M., Sharifi, A., Matinkhah, H. and Farahmand, K. (2008). Economic Analysis of Optimal Operation of North Forests. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 66: 139-115. (In Farsi)

Kowero, G. and R. Mabugu. (2006). Macroeconomic policies and industrial wood processing and trade in Zimbabwe. *Forest Policy and Economics, 8*: 22-34.

Kundu, S., Khare, D., and Mondal, A. (2017). Landuse change impact on sub-watersheds prioritization by analytical hierarchy process (AHP). *Ecological informatics*, *42*, 100-113.

Liang, J., Buongiorno, J., and Monserud, R. A. (2005). Estimation and application of a growth and yield model for uneven-aged mixed conifer stands in California. *International Forestry Review*, *7*(2), 101-112.

Lohmander, P. and Mohammadi, S. (2006) Optimal continuous cover forest management in an uneven-aged forest in the north of Iran. Journal of Applied Sciences, 8: 1995-2007.

Mehregan, M. (2004). Advanced operational research. University Press, First Edition. (In Farsi)

Ministry of Agriculture. (2011) <www.maj.ir>.

Mohammadi Limaei, S. 2009. Static and dynamic optimization of forest exploitation. Forestry Magazine, Iran Forestry Association, 3: 276-265. (In Farsi)

Mohammadi Limaei, S. and Lohmander, P. (2007). Stumpage prices in the Iranian Caspian forests. *Pakistan Journal of Biological Science*, *6*(7), 1027-1036.

Namdari, S. (2011) Application of dynamic programming in optimal harvesting of Shafarood forest. *Master's thesis in Natural Resources*, University of Gilan. (In Farsi)

Neher, A. (1991). Natural resources economics conservation and exploitation London. University of Cambridge Publishing, chapter 2: 61pp.

Pasalodos-Tato, M., Mäkinen, A., Garcia-Gonzalo, J., Borges, J., Lämas, T. and Eriksson, L. (2013) Assessing uncertainty and risk in forest planning and decision support systems: review of classical methods and introduction of new approaches. For. Syst. 22 (2): 282–303.

Patle, G. T., Singh, D. K., Sarangi, A., Rai, A., Khanna, M., & Sahoo, R. N. (2015). Time series analysis of groundwater levels and projection of future trend. *Journal of the Geological Society of India*, *85*(2), 232-242.

Robinson, A. P., McLarin, M., & Moss, I. (2016). A simple way to incorporate uncertainty and risk into forest harvest scheduling. *Forest Ecology and Management*, *359*, 11-18.

Rollin, F., Buongiorno, J., Zhou, M., & Peyron, J. L. (2005). Management of mixed-species, uneven-aged forests in the French Jura: from stochastic growth and price models to decision tables. *Forest Science*, *51*(1), 64-75.

Sabouhi, M. and Dervishi, S. (2011). Sustainable management of Zarrinabad forest in Sari city using fuzzy programming and option creation modeling. *Journal of Agricultural Economics*, 4: 229-211. (In Farsi)

Saeed, A. (1996). The Economic-Practical Basis of Forest Management. Tehran. Tehran University Press. (In Farsi)

Saeed, A. (2001). The role of forests in the national economy. Office of Wood Industry, Forestry and Rangeland organization. (In Farsi)

Samsudin, R., Saad, P., & Shabri, A. (2011). River flow time series using least squares support vector machines. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(6), 1835-1852.

Schaefer, M. B. (1954). Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, *1*(2), 23-56.

Seddighi, H., Lawler, K. A., Lawler, K., & Katos, A. V. (2000). *Econometrics: a practical approach*. Psychology Press.

Taneja, K., Ahmad, S., Ahmad, K., & Attri, S. D. (2016). Time series analysis of aerosol optical depth over New Delhi using Box–Jenkins ARIMA modeling approach. *Atmospheric Pollution Research*, *7*(4), 585-596.

Yousefpour, R., Jacobsen, J. B., Thorsen, B. J., Meilby, H., Hanewinkel, M., & Oehler, K. (2012). A review of decision-making approaches to handle uncertainty and risk in adaptive forest management under climate change. *Annals of forest science*, *69*(1), 1-15.

DOI: 10.22034/IAES.2019.94273.1633

Agricultural Economics/Volume 13/Issue 2/1398

Simulation of forest management strategies under uncertainty: Application of dynamic programming method

Sajjad Mahmoudi Kolimi, Mansour Zibaei, Dorna Jahangirpour[1]

Received: 23 Sept.2018 **Accepted:30 May.2019**

Extended Abstract

1-Introduction

The issue of forest depletion in the north of Iran has always been a subject of debate, especially in recent years, and the need for sound planning and proper management has been increasingly emphasized. In order to determine the optimal forest management strategy in northern Iran under uncertainty, this study has attempted to estimate forest growth model, ARIMA model for predicting wood price, Harvesting Cost Model and a Dynamic Planning Model, Management Strategies in Three Scenarios, Maximizing Net Present Value, Maximizing timber harvesting and maximizing growing stock. It is worth noting that the present study aims at selecting different management strategies in order to determine optimal harvesting strategy and evaluation of sustainability of simulated strategies is a new step in choosing appropriate management policy in northern forests.

2-Materials and Methode

In order to simulate forest management strategies, firstly it needs to estimate the price equation, the growth equation, the cost equation, and the net present value equation. ARMA models are a combination of Autoregressive (AR) and moving average (MA) variables. This model was applied to predict timber price and estimate price equation. The quadratic cost equation with intercept is assumed to be the function of the harvest cost and the squared of the harvest variable. In order to estimate the forest increment equation, we used a logistic growth model. This model, despite the low observations, shows well the relationship between growing stock and growth rate, and theoretically and mathematically describes the model well. Given the equation of price, cost equation, growth equation and net present value equation, we evaluated the

[1] Respectively: Master, Professor and Ph.D. student of of Agricultural economics of Shiraz University.
Email: Djahangirpour@shirazu.ac.ir

defined strategies in the dynamic programming model using GAMS software. After simulating strategies to maximize timber harvest, maximize net present value, and maximize forest timber inventory, a hierarchical analysis model was used to evaluate the sustainability of forest resources in each strategy.

3-Results and discussion

In the strategy of maximizing harvest, there was an almost decreasing trend for the growth variable, with a slight decrease, and some variations were observed for the harvest variable. Changes in harvest rate per hectare and growth rate per hectare follow each other in this strategy, which means that the harvest rate should be determined by the rate of growth per hectare. In the strategy of maximizing the net present value, the growth rate is at an acceptable level and therefore the forest is not damaged. By applying this strategy, the harvest rate will increase in the early years and then continue to be somewhat steady until the end of the period. This means that in this case, the situation of the stakeholders will improve economically, which is one of the goals of sustainability. In the second strategy Harvest rate follows the growth rate in this strategy, and there is a correlation between harvest rate per hectare and stock availability per hectare. In the third strategy of maximizing forest stock, the amount of growth was acceptable. Harvesting variable during the period of study has an increasing trend. The stock per hectare increased at the beginning of the study period and has been somewhat steady since the first few years. It is remarkable that in this strategy, which aimed to maximize the amount of growing stock per hectare, the growth rate was almost acceptable and the harvest rate per hectare followed the pattern of stock availability per hectare.

4-Suggestion

In general, it is suggested that dynamic planning methods be used in forest management, especially those of commercial and economic importance in the northern forests, to achieve appropriate management strategies. As the results showed, economic and environmental objectives will be achieved simultaneously with dynamic planning and proper management of forest resources.

JEL Classification: C61, C63, Q23

Keywords: Forest management, Dynamic planning, Uncertainty, Price prediction, Strategy evaluation