فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

۱۸۵-۲۰۲

متوازن‌سازی ریاضی قابلیت‌های پارک جنگلی زارع به‌منظور تخصیص فضا و سرمایه در توسعه گردشگری

ضحی جعفری[۱]، علیرضا ایلدرومی[۲]*، سیدمحسن حسینی[۳]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۴]، جواد رضاییان[۵]

[۱] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

[۲] گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

[۳] گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

[۴] گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۵] گروه مهندسی صنایع ، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه علوم و فنون مازندران، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۳

جعفری، ض.، ع. ایلدرومی ، س. ح. حسینی، ع. سلمان ماهینی و ج. رضاییان. ۱۳۹۷. متوازن‌سازی ریاضی قابلیت‌های پارک جنگلی زارع به‌منظور تخصیص فضا و سرمایه در توسعه گردشگری. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۲): ۲۰۲-۱۸۵.

سابقه و هدف: در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی با قابلیت بهینه‌سازی فرآیندهای تصمیم در شرایط محدودیت منابع و اهداف متضاد رواج یافته‌اند. بر استفاده از این روش‌ها در تخصیص زمین به گزینه‌های کاربری در مناطق جنگلی، برنامه‌ریزی طرح‌های کشاورزی-جنگل‌داری و در ارزیابی گزینه‌های سرمایه‌گذاری گردشگری تاکید شده است. این پژوهش بر آن است تا با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفی سطح بهینه سرمایه‌گذاری و تخصیص زمین برای توسعه فعالیت‌های گردشگری در محدوده پارک جنگلی زارع به وسعت ۷۳ هکتار در استان مازندران، طبق سه هدف افزایش سود، کاهش فرسایش و افزایش میزان اشتغال را مورد ارزیابی قرار دهد.

مواد و روش‌ها: اطلاعات مورد نیاز، از نقشه‌های موجود، سازمان‌های مربوط و تکمیل پرسش‌نامه‌ها از ۱۲۰ گردشگر گردآوری شد. داده‌های فرسایش بر اساس معیارهای فرسایش در روش FAO طبق نظر کارشناسان از مقیاس ۱ تا ۱۰۰ لحاظ شد. محدودیت‌های مرتبط با ویژگی‌های فیزیولوژیکی با ایجاد ۶ حوزه همگن برای تخصیص پنج کاربری سایت ورزشی، پارک کودکان، خورگشت، جنگل‌گردی و منطقه حفاظت‌شده اعمال شد. سایر اطلاعات به‌عنوان ورودی توابع هدف و محدودیت‌ها به مدل وارد شدند. با حل مدل در نرم‌افزار Lingo 11 ماتریس بازده (Pay off matrix) از بهینه‌سازی جداگانه اهداف، به‌منظور ارزیابی تضاد میان آنها تشکیل شد. سپس بر اساس روش وزنی مجموعه‌ای از جواب‌های کارا (Efficient set) به دست آمد و در نهایت با روش برنامه‌ریزی توافقی (Compromise programming) بر اساس ترجیح‌های تصمیم‌گیران و تنظیم وزن اهداف بهترین جواب انتخاب شد.

*Corresponding Author. *E-mail Address*: zoha_jafari@yahoo.com

نتایج و بحث: بر اساس نتایج، با هدف حداکثر کردن سود، درآمد سالانه حدودا برابر ۵/۶ میلیارد ریال و تعداد شغل ۲۳۹ نفر و فاکتور شدت فرسایش ۲۸/۵ واحد تخمین زده می‌شود. با بهینه‌سازی جداگانه هدف حداقل کردن فرسایش، مقیاس شدت فرسایش به سبب تغییر سطح و حوزه تخصیص‌یافته به هر کاربری به ۱۴ کاهش یافت. در این حالت کاهشی به میزان ۳/۱ میلیارد ریال در سودآوری و ۱۹ نفر در اشتغال قابل مشاهده است. هنگامی که هدف حداکثر سازی میزان اشتغال است، درآمد سالانه تا ۳/۴ میلیارد ریال، از میزان بهینه خود فاصله می‌گیرد. با بهینه‌سازی همزمان سه هدف، تبادل میان اهداف در میان مجموعه جواب‌های کارا مشاهده شد، به نوعی که تغییر در سطح بهینگی هر هدف بر میزان تحقق سایر اهداف تاثیر گذاشته است. از میان این مجموعه، الگوهای بهینه سرمایه‌گذاری با انجام روش برنامه‌ریزی توافقی با لحاظ کردن ترکیب‌های مختلف وزنی از دیدگاه سه گروه مدیران پارک، مسئولان گردشگری و متخصصان محیط‌زیست به دست آمد. بر اساس این نتایج، تغییر وزن اهداف به‌طور چشمگیری موجب تغییر در میزان مساحت و مکان تخصیص یافته به هر کاربری و سطح سودآوری شد. در حالت افزایش وزن هدف سودآوری نسبت به سایر اهداف، بر اساس ترجیح‌های فعلی مدیران پارک، میزان سود سالیانه به برآورد اقتصادی سالیانه موجود پارک که معادل ۴/۶ میلیارد ریال در مطالعات جامع آن پیش‌بینی شده است، منطبق می‌شود. همچنین مکان کاربری‌ها به نقاط مورد تقاضای گردشگران، که در پرسش‌نامه‌ها ارزیابی شد، تا حد زیادی مطابق است. با برقراری تعادل در اوزان اهداف، بر اساس ترجیح‌های مسئولان گردشگری، اگرچه میزان درآمد از میزان تخمینی در مطالعات جامع پارک، کمتر می‌شود، اما سایر اهداف به سطح بهینه خود نزدیکتر می‌شوند. در نهایت با اعمال ترجیح‌های متخصصان محیط زیست درصد تخصیص‌یافته به هر کاربری به نفع کاربری‌های موافق‌تر با طبیعت مانند جنگل‌گردی و حفاظت تغییر می‌کند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی از آنجاکه در مدیریت منابع طبیعی با اهداف متعدد و اغلب متضاد مواجه هستیم، روش‌های بهینه‌سازی چندهدفی در تلفیق با روش‌های برنامه‌ریزی توافقی با قابلیت برقراری تبادل میان ترجیح‌های مدیران و ذی‌نفعان می‌توانند، به‌عنوان ابزاری کارآمد در تسهیل فرآیند سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: پارک زارع، تخصیص منابع، ترجیح‌های تصمیم‌گیرندگان، برنامه‌ریزی چندهدفی، برنامه‌ریزی مصالحه‌ای.

مقدمه

امروزه توسعه فعالیت‌های تفرجی در مناطق جنگلی، به‌عنوان یک منبع اقتصادی پایدار، به یکی از اهداف مهم در مدیریت آنها تبدیل شده است. جنگل‌ها طیف وسیعی از خدمات را برای بشر فراهم می‌کنند که بهره‌برداری پایدار از آنها مستلزم برقراری توازن برای توسعه انواع فعالیت‌ها در این مناطق است. بر این اساس به کارگیری روش‌های مدیریتی برای تخصیص بهینه گزینه‌های متعدد بهره‌برداری از منابع طبیعی به‌طور فزاینده مورد توجه قرار گرفت. در این میان، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با قابلیت بهینه‌سازی فرآیندهای تصمیم در شرایط محدودیت بودجه، نیروی انسانی و سایر منابع محبوبیت ویژه‌ای یافتند (Filippi, 2017). قابلیت این مدل‌ها در شرایطی که تمامی عناصر حیاتی مورد نیاز برای تصمیم‌گیری را در بر داشته باشند نمود بیشتری دارد (Saboohi and Alvanchi, 2008). مدل‌های ریاضی، برای بهینه‌سازی تخصیص منابع کمیاب، به‌عنوان امری که مسئولان و تصمیم‌گیران در حوزه منابع طبیعی و کشاورزی در موارد بسیاری با آن مواجه می‌شوند (Nikkami *et al*., 2002; Mishra *et al*., 2014)، بسیار سودمند هستند. در مدیریت منابع طبیعی، اغلب با چند هدف که با یکدیگر در تضاد قرار دارند، روبه‌رو هستیم، لذا مدل‌های ریاضی چندهدفی برای بهینه‌سازی تابع مطلوبیت برای تصمیم‌گیرنده تحت چنین شرایطی پیشنهاد شدند (Cohon *et al*., 1987). این مدل‌ها امکان بررسی چگونگی دست‌یابی به یک هدف و همچنین تبادل بین اهداف را فراهم می‌کنند (Francisco and Ali, 2006). مدل‌های چندهدفی بر اساس میزان توجه به ترجیح‌های تصمیم‌گیرنده در چند گروه قرار می‌گیرند (Hwang and Masud, 1979). در گروه اول نیازی به دانستن اطلاعات ترجیحی تصمیم‌گیرنده در مورد محدودیت‌ها و اهداف وجود ندارد و تحلیل‌گر به تنهایی فرضیه‌هایی را در مورد ترجیح‌های تصمیم‌گیرنده در نظر

می‌گیرد. مناسب‌ترین روش‌های ارزیابی در این وضعیت روش‌های مربوط به L-P متریک است. در گروه دوم تصمیم‌گیرنده آگاهانه یا ناخودآگاه، مجموعه‌ای از اهداف را برای فرموله کردن مدل به تحلیل‌گر منتقل می‌کند (Romero and Rehman, Wills and Perlack, 1980; 1984). روش برنامه‌ریزی آرمانی و لکسیگوگرافی[1] در این دسته قرار می‌گیرند. گروه سوم به روش‌های تعاملی معروف هستند که مستلزم درگیری بیشتر تصمیم‌گیرنده در فرآیند حل مسئله است. این فرآیند از طریق تعاملات بین تصمیم‌گیرنده و تحلیل‌گر در هر مرحله انجام می‌شود (Romero and Rehman, 1985; Ballestero and Romero, 1991) و روش‌هایی دیگر که زیرمجموعه‌ای از کل جواب‌های غیرمسلط مرز میسر را به‌عنوان نقاط کارا به تصمیم‌گیرنده معرفی می‌کند. روش تخمین مجموعه غیرمرجح NISE[2] در این دسته قرار می‌گیرد (Romero et al., 1988; Ballestero and Romero, 1991). در سال‌های اخیر استفاده از انواع روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در حوزه‌های مختلف همچون مدیریت منابع آب، تولیدات کشاورزی و استفاده از جنگل برای پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع و متضاد در بررسی‌های منابع طبیعی رواج یافته است. بر اساس مروری بر ادبیات موضوع، کارایی انواع روش‌های ریاضی همچون برنامه‌ریزی خطی چندهدفی و برنامه‌ریزی توافقی، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط، روش MOTAD[3] بر پایه روش برنامه‌ریزی خطی، تحلیل وکتوری و برنامه‌ریزی تحلیل شبکه در مدیریت اهداف متضاد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در زمینه‌های مدیریت کارگران مزارع (Romero et al., 1987)، انتخاب محصول بهینه (Filippi et al., 2017) تخصیص زمین به انواع گزینه‌های کاربری‌های متعدد در مناطق جنگلی (Pukkala and Phjonen, 1990; Kramer and Kooten, 2005)، برنامه‌ریزی طرح‌های کشاورزی-جنگل‌داری (Xavier et al., 2015) مدیریت مناطق حفاظت‌شده (Chen et al., 2015) مدیریت منابع آب (Marinoni et al., 2009; Higgins et al., 2008; Roozbahani et al., 2015) و ارزیابی گزینه‌های متعدد برای سرمایه‌گذاری توسعه گردشگری (Ormiltseva and Karagiannis and Opostolus, Chen, 2011; Semenova, 2010; Zhang, 2016). مورد تایید قرار گرفته است. در جدول ۱ بخشی از اهداف منظور در بررسی‌های متعدد با استفاده از روش‌های ریاضی ارائه شده است.

به‌طور کلی، بررسی پژوهش‌های انجام شده در حوزه منابع طبیعی و محیط زیست نشان می‌دهد تمایل در استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای حل طیف وسیعی از مسائل در حوزه مدیریت منابع کمیاب، به سبب قابلیت ارائه نتایج قابل‌قبول رو به گسترش است. بخش مهمی از این تحقیقات در راستای بهینه‌سازی تخصیص انواع کاربری‌ها به سرزمین به‌عنوان منبعی کمیاب انجام شده است (Aerts et al., 2002; Beyer et al., 2016; Chen et al., 2015). این رهیافت در حوزه تعیین کاربری اراضی، این قابلیت را برای مدیران فراهم می‌کند تا بتوانند از بین گزینه‌های مختلف بهترین تصمیم را بگیرند (Nikkami et al., 2002; Riedel, 2003). این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی ریاضی به تعیین سطح بهینه زمین، سرمایه و تخصیص منابع برای توسعه انواع فعالیت‌های گردشگری با توجه به سه هدف حداکثر کردن ارزش فعلی خالص سود حاصل از کاربری‌ها، حداقل کردن میزان فرسایش و حداکثر کردن اشتغال می‌پردازد. برای این منظور ابتدا مجموعه کارا با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفی تعیین و در نهایت با استفاده از روش برنامه‌ریزی توافقی، مصالحه‌ای بین سه هدف مد نظر ایجاد می‌شود.

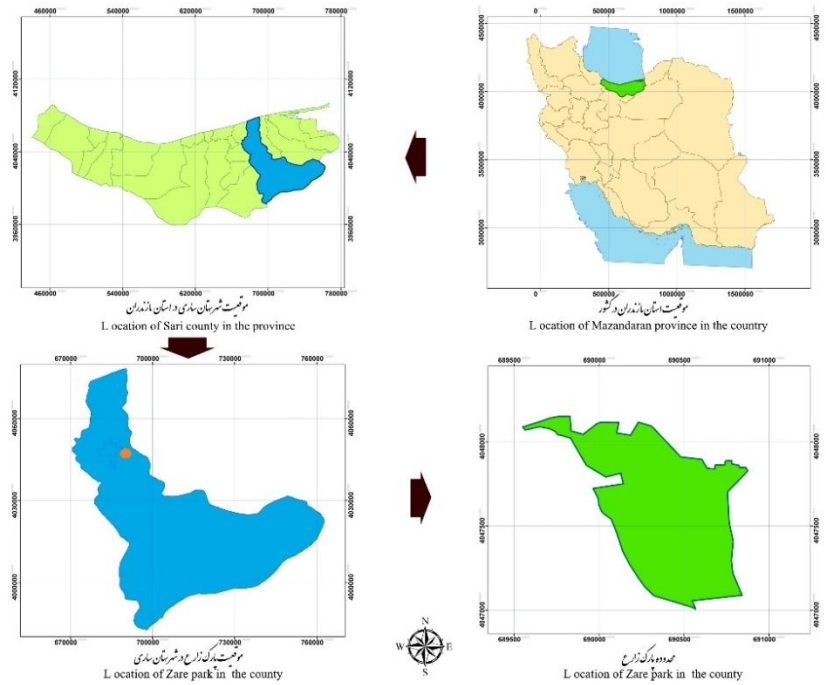
مواد و روش‌ها

پارک جنگلی زارع با وسعت نزدیک به ۷۳ هکتار در جنوب شرقی شهرستان ساری در طول جغرافیایی ″۰۹ ′۰۷ °۵۳ و ″۵۷ ′۰۷ °۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳۴ ′۳۲ °۳۶ تا ″۵۷ ′۳۲ °۳۶ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

جدول ۱- مروری بر اهداف و شاخص‌ها در بررسی‌های انجام‌شده در حوزه مدیریت منابع با روش برنامه‌ریزی ریاضی

Table 1. Review of objectives and indicators in resource management with mathematical programming

حوزه تحقیق Field of study	اهداف Object			منبع References
	اجتماعی Social	اقتصادی Economic	محیط زیست Environmental	
مدیریت جنگل Forest management	افزایش اشتغال Increase employment	حداکثر ارزش فعلی Maximize the current value	حداکثر کردن برداشت چوب و جذب کربن Maximize wood harvest and carbon capture	Diaz & Romero (2002) Dokht Saphi et al.,(2004)
	-	کاهش آسیب های اقتصادی Reduce economic problems	حفظ تنوع زیستی، کاهش ریسک آتش‌سوزی Maintaining biodiversity, reducing the risk of fire	de Sousa Xavier (2015)
کشاورزی Agriculture	تقاضا Demand	حداکثر ارزش فعلی Maximize the current value	فرسایش خاک Soil erosion	Pileforushha et al., (2012)
	افزایش اشتغال Increase employment	کاهش کار فصلی و رشد سودآوری Reduce seasonal work increase profitability	-	Romero et al., (1987)
مدیریت آب Water management	عدالت در تخصیص آب، تعداد جمعیت	افزایش بهره‌وری توسعه زیرساخت، Increased productivity of infrastructure development	وضعیت آب محیطی، کاهش کمبود آب Environmental status, reducing water scarcity	Marinoni et al. (2009)
گردشگری tourism	رشد اقتصاد محلی Local economic growth	ملاحظه محدودیت هزینه Considering the cost constraints	محدودیت فضا Space constraint	Karagiannis & Opostolus (2010)
	میزان جرائم، سرمایه فرهنگی The amount of crimes, cultural capital	تعداد هتل‌ها، اشتغال گردشگری Number of hotels, tourism employment	مصرف آب، انرژی، تولید فاضلاب و گاز گلخانه‌ای Water, energy, sewage and greenhouse gas consumption	Carrillo et al. (2017)
حفاظت Protection	-	حداقل‌سازی مساحت حفاظت‌شده Minimize protected area	حداکثرسازی ارائه تنوع زیستی Maximizing biodiversity	Chen et al., (2015)



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه

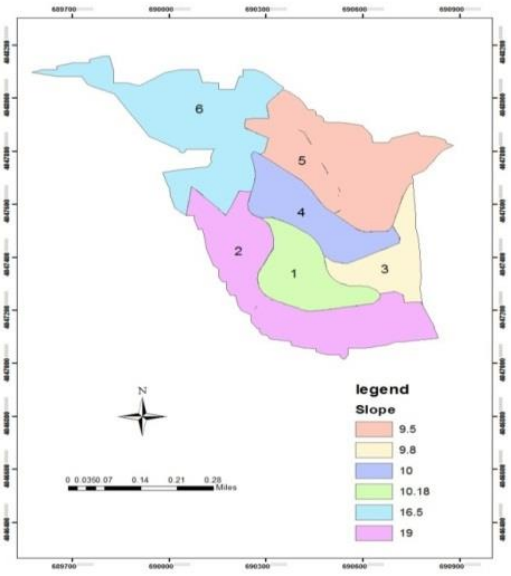
Fig. 1- Location of the study area

متوسط دمای سالیانه ۱۶ درجه و اقلیم آن طبق روش آمبرژه معتدل و مرطوب است. اولین بار در سال ۱۳۵۹ به‌عنوان پارک جنگلی مورد بهره‌وری تفرجی قرار گرفت که البته فاقد کتابچه مدون بود (شکل ۲). در سال ۱۳۷۳ اولین بار تحت‌عنوان پارک جنگلی تعیین و کتابچه آن دارای بررسی‌های اجمالی پایه و برنامه تدوین شده است. پارک جنگلی در نزدیکی چند روستا واقع شده و با فاصله کمی به محور اصلی ساری-گرگان متصل می‌شود. ضمناً فاصله این پارک با مرکز استان حدود ۳ کیلومتر و بین شهرستان‌های ساری و میان‌دورود قرار گرفته است (تصویر شماره ۲). فاصله پارک تا دیگر شهرهای مهم نزدیک به پارک شامل سورک ۸، نکا ۲۰، بهشهر ۴۰ و تهران ۲۵۰ کیلومتر است (Galilvand *et al*., 2012; Badiei, 2016).

شکل۲- نمایی از پارک
Fig. 2- View of the park

داده‌ها

اطلاعات لازم برای این پژوهش در سه گروه مربوط به ویژگی‌های توپوگرافی منطقه، داده‌های برگرفته از طرح مطالعاتی انجام‌شده در پارک و پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط بازدیدکنندگان و متخصصان به دست آمد. بخشی از محدودیت‌های مدل از طریق لحاظ کردن ویژگی‌های توپوگرافی منطقه نظیر شیب، جهت، ارتفاع و ویژگی‌های زمین‌شناسی در منطقه‌بندی پارک به نواحی همگن، مطابق شکل ۳ اعمال شد. ویژگی هر منطقه همگن مطابق جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۳- نقشه مناطق همگن
Fig. 3- Homogeneous areas map

در بخش دوم اطلاعات حاصل از بررسی‌های انجام شده در مورد پارک در حوزه سیاست‌های آینده، نظیر کاربری‌های مد نظر برای منطقه، حداقل و حداکثر مساحت مورد نیاز، هزینه‌های واحد برای اجرای هر کاربری و درآمدهای ناشی از آن به کار رفت. در بخش سوم عوامل اصلی موثر در انتخاب مناطق دیدنی توسط گردشگران ارزیابی شد. برای این منظور بر اساس روش کوکران[۴] اندازه نمونه۱۲۰ نفر برای تکمیل پرسش‌نامه تعیین شد. برای استخراج نتایج، پاسخ‌ها بر اساس روش تحلیل عاملی اکتشافی مورد ارزیابی قرار گرفت. در بخش پرسش‌نامه سوالاتی از قبیل علایق بازدیدکنندگان، دلایل انتخاب پارک، استفاده فعلی بازدیدکنندگان از پارک مطرح و نقاط مکانی ارجح از نظر گردشگران برای انجام فعالیت‌های گردشگری مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده از پرسش‌نامه، نقاط قوت و محدودیت‌های منطقه ارزیابی شد. در نهایت در مرحله گردآوری داده‌ها، پارامترهای مساله بر اساس اطلاعات

به‌دست‌آمده از سه مرحله فوق تنظیم شدند. مقادیر فرسایش بر اساس فاکتور شدت فرسایش FAO بر محور ۶ عامل استفاده از زمین، پوشش خاک، شیب، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، و فرسایش جاری به ازاء هر کاربری در هر منطقه همگن به مدل وارد شد. در این پژوهش ۵ کاربری به ترتیب از شماره یک پارک کودکان، سایت ورزشی، پیک‌نیک، جنگل‌گردی تا حفاظت به حوزه‌های مختلف پارک که بر اساس ویژگی‌های همگن و پایه‌ای (شیب، زمین‌شناسی و خاک) تقسیم شده‌اند، تخصیص می‌یابد.

جدول۲- ویژگی‌های مناطق همگن
Table 2. Homogenous sites features

شماره حوزه site number	I: شیب متوسط (درصد) Average slope (present)	نزدیکی به ورودی Proximity to Park entrance	مشخصات زمین‌شناسی Geological features	سایر خصوصیات Other features	مساحت Area (ha)
1	10.18	2	$Qrtg_2$	1	4.9
2	19	3	Ql_2	1	14.1
3	9.8	1	$Qrtg_2$	1	6.8
4	10	1	Ql_2	2	7.1
5	9.5	1	Ql_2	2	25
6	16.5	1	$Qrtg_2$	1	15.1

Ql2 : نهشته‌های لسی و حاوی سیلت، Qrtg2: از لحاظ لیتولوژی مربوط به نهشته‌های رودخانه‌ای قدیمی و شامل رس، سیلت، ماسه و به‌طور محدود گراول ۱: بدون بیرون‌زدگی سنگی، پوشش گیاهی غالب شامل آزاد، انجیلی، بلوط و ازگیل، ۲: دارای بیرون‌زدگی در کنار ترانشه جاده، پوشش گیاهی غالب انجیلی، بلوط و ازگیل و ولیک.

Ql2: Loess deposits containing Silt, In terms of lithology, Qrtg2: it relates to old river deposits, including clay, silt, sand and gravel. 1: Without rocky outcrop, the dominant vegetation includes (Mespilus Germanica), (Quercus persica), (parrotia persica), (zelkova carpinifolia) 2: It has an outcrop along the road trench (Mespilus Germanica), (Quercus persica), (parrotia persica), (crataegus monogyna).

تئوری تحقیق

روش مورد استفاده برای انجام این تحقیق بر اساس مدل برنامه‌ریزی چندهدفی و برنامه‌ریزی مصالحه‌ای است. مدل برنامه‌ریزی چندهدفی را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$\text{s.t:} Max\ z(x) = G[z_1(\mathrm{x}), z_2(\mathrm{x}) \dots z_k(\mathrm{x})] \quad (۱)$$

$$\mathrm{x} \geq 0 \quad (۲) \qquad \mathrm{x} \in \mathrm{X}$$

به شکلی که در آن z(x) تابع هدف k بعدی، k تعداد اهداف و x بردار n بعدی متغیرهای تصمیم است. رابطه ۲ مجموعه‌ای از m محدودیت مساله و رابطه ۳ مجموعه محدودیت‌های غیرمنفی است. رابطه ۲ و ۳ ناحیه میسر در فضای اقلیدسی n بعدی را تعریف می‌کند. تابع هدف k بعدی ۱، ناحیه میسر در فضای تصمیم x را به ناحیه میسر در فضای z(x) متصل می‌کند. در مساله مورد بررسی در این پژوهش امکان ارائه همزمان جواب ایده‌آل برای کلیه اهداف در عمل امکان‌پذیر نیست. لذا در مسائل چندهدفی، به جای یافتن یک جواب، سعی در پیدا کردن مجموعه کارآ یا مجموعه پرتو[۵] است که زیرمجموعه‌ای از ناحیه میسر است. در این روش مجموعه‌ای از جواب‌های غیرمسلط که هیچ کدام نسبت به دیگری برتری ندارد و به‌طور همزمان کلیه اهداف را بهبود نمی‌دهند، ارائه می‌شود (Chen *et al*., 2015). از روش‌های مختلف برای ایجاد مجموعه جواب کارا استفاده می‌شود. روش مقید یکی از رهیافت‌های ایجاد مجموعه میسر است که به دلیل عدم نیاز به دانش قبلی در مورد ترجیح‌های تصمیم‌گیرندگان جذابیت فراوانی دارد (Francisco and Ali, 2016). در این روش توانایی تحلیل‌گر برای تعیین شکل مرز کارا ضروری است. دیگری روش سیمپلکس[۶] است که از انتقالات متوالی به ازاء پایه‌های موثر و مجاور بهره می‌گیرد. از دیدگاه کوهن این روش کار را از آخرین نقطه مجموعه غیرمرجح آغاز کرده و در اکثر مواقع پیش از ایجاد نقاط کافی، الگوریتم به پایان می‌رسد و سوم روش وزنی که یکی از روش‌های متداول در به وجود آوردن راه‌حل‌های موثر و متعدد در معرفی به تصمیم‌گیر است (Cohon and church, 1979) مدل ریاضی روش وزنی که در این پژوهش مورد استفاده

قرار می‌گیرد به‌صورت زیر است:

$$max = \sum_{j=1}^{k} \omega_j \ \frac{f_i(x)}{f_i^*} \quad (۴)$$

s.t:

$$X \in S \quad (۵)$$

$$\omega_j \geq 0, \ \sum \omega_j = 1 \quad (۶)$$

روش وزنی را می‌توان به ازاء ارزش‌های مختلفی از وزن‌ها (W) به کار برد و راه‌حل‌های موثر را به‌وجود آورد. وزن‌ها (W) بیان‌کننده اهمیت نسبی اهداف نیستند. بلکه فقط به‌طور پارامتریک تغییر می‌کنند تا نقاط موثر مشخص شود (Mavrotas and Diakoulaki, 2005; Mehregan, 2015). همان‌طور که بیان شد، در مبحث برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از منابع همواره با چند هدف که در تضاد با هم قرار دارند روبه‌رو هستیم. از این‌رو روش برنامه‌ریزی تک‌هدفی برای بهینه‌سازی در چنین شرایطی مناسب نیست و در این شرایط از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفی استفاده می‌شود. روش‌های چندهدفی به علت تعدد راه‌حل‌های موثر، اغلب توام با روش‌های تعاملی مانند روش ایده‌آل جابه‌جاشده به کار می‌روند (Cohon and Church, 1987).

در این پژوهش از روش برنامه‌ریزی مصالحه‌ای برای یافتن بهترین جواب از میان مجموعه جواب‌های کارا استفاده می‌شود. اولین قدم در ایجاد یک برنامه‌ریزی توافقی تعیین نقطه ایده‌آل است. این نقطه از طریق بهینه کردن هر کدام از اهداف به شکل مجزا و با توجه به محدودیت‌های منابع محاسبه می‌شود.

در برنامه‌ریزی چندهدفی معمولا به دلیل تضاد میان اهداف، دست‌یابی به نقطه ایده‌آل برای تمامی اهداف غیرقابل دسترس است. لذا می‌توان جواب‌های توافقی را بر اساس جواب‌هایی که به نقطه ایده‌آل نزدیک‌تر هستند به دست آورد. مجموعه جواب‌های توافقی بر اساس شاخص فاصله تعیین می‌شود (Zeleny, 1973; Yu, 1973; Romero, 1988; de Sousa Xavier *et al*., 2015; Carrillo *et al*., 2017). در روش مصالحه‌ای، ابتدا درجه نزدیکی (dj) بین هدف j ام و نقطه‌ی ایده‌آل آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Francisco and Ali, 2006):

اگر هدف حداکثر کردن تابع zjام باشد:

$$dj = z_j^* - z_j(x) \quad (۷)$$

و برای زمانی که هدف z_j^*ام حداقل می‌شود:

$$dj = z_j(x) - z_j^* \quad (۸)$$

در اینجا z_j^* مقدار ایده‌آل هدف jام است. زمانی که واحدهای اندازه‌گیری اهداف متفاوت هستند، از اختلاف مطلق به جای اختلاف نسبی به قرار زیر استفاده می‌شود:

$$dj = (z_j^* - z_j)/(z_j^* - z_{*j}) \quad (۹)$$

که z_{*j} نقطه مقابل مقدار ایده‌آل (بدترین مقدار) برای هدف jام است. فاصله بین هر جواب و نقطه ایده‌آل بر اساس معادله زیر محاسبه می‌شود (Romero *et al.*, 1987; Francisco and Ali, 2006):

$$Lp(\&, k) = [\sum_{i=1}^{n} \alpha_j \, d_j^{\,p}]^{1/p} \quad (۱۰)$$

αj وزن اهمیت فاصله بین هدف jام و مقدار ایده‌آل آن است. برای i =1,…n و $\alpha_i = 1$ و p=۱ برنامه‌ریزی مصالحه‌ای به برنامه‌ریزی آرمانی تبدیل می‌شود. برای p=1 و $\sum ۱ = \alpha_i$، به روش وزنی خطی و برای i=1,…n و $\alpha_i = 1$ و $p = \infty$ یا L به مساله حداقل‌سازی حداکثر (Minimax) تبدیل می‌شود (Torkamani and Abdollahi, 2005):

$$MinL^{\infty} = D^{\infty} \quad (۱۱)$$

به شرط:

$$\frac{\&_1(z_1^* - z_1)}{z_1^* - z_{-1}} \leq = d^{\infty} \quad (۱۲)$$

$$\frac{\&_k(z_k^* - z_k)}{z_k^* - z_{-k}} \leq = d^{\infty}$$

$$X \in F$$

Yu (1973) اثبات کرد که متریک‌های L_1 و $L_{\&}$ زیرمجموعه‌ای از جواب‌های کارا را تعریف می‌کنند که Zeleny (1974) آن را مجموعه مصالحه‌ای نامید. دیگر

جواب‌های مصالحه‌ای بین راه‌حل‌های مطابق با متریک‌های ۱ و بی‌نهایت واقع می‌شوند (Romero *et al.*, 1987).

تشریح مسئله و فرآیند حل

اندیس‌ها

I: شمارنده کاربری‌ها

J: شمارنده حوزه‌ها

پارامترها

پارامترهای مسأله به این قرارند که LA: حداقل مساحت مورد نیاز کاربری i، UA_j: حداکثر مساحت قابل‌عرضه، TA_j : کل مساحت حوزه j، NL_i: عمر مفید کاربری i، R_i: شیب مورد نیاز کاربری i، SLP_J: شیب حوزه j، C_i: هزینه ایجاد تسهیلات کاربری i، OC_i : هزینه عملیاتی سالیانه هر هکتار، B_i : سود کاربری i به ازاء هکتار،ER_i: فرسایش نسبی خاک به ازاء هکتار و Ir_i: ارزش زمانی سالیانه.

متغیر تصمیم

X_{ij} : متغیر تصمیم و نشان‌دهنده میزان هکتار اختصاص داده‌شده به کاربری نوع i در حوزه j است.

Y_{ij}: متغیر کمکی

اهداف مدل

بر اساس مدل فوق این پژوهش سه هدف حداکثر کردن سود، حداقل کردن فرسایش و حداکثر کردن اشتغال را در نظر قرار داده است.

محدودیت‌ها

محدودیت‌های مسئله به این قرار است که: مجموع مساحت کاربری‌ها در یک حوزه کمتر از مساحت حوزه باشد، مساحت کاربری i از حداقل مساحت لازم بیشتر باشد، مساحت کاربری i از حداکثر مساحت لازم کمتر باشد، کاربری ۱، ۲ تنها در یک حوزه می‌تواند باشد، کاربری ۳، ۴ و ۵ می‌توانند در دو حوزه هم باشند. حضور برخی کاربری‌ها در چند حوزه خاص امکان‌پذیر نیست. شیب حوزه j از حداکثر شیب مناسب کاربری i بیشتر نباشد.

مدل ریاضی

در این بخش مدل ریاضی شامل مجموعه‌ها و نمادها، متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت‌ها ارائه می‌شود:

$$\max = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}[(B_{ij-}OC_{ij})\,.\,X_{ij}\,.\,[((1+I_r)^{nl_i}-1)/\,I_r.(1+I_r)^{nl_i}]-\,C_{ij}.X_{ij}] \quad (۱۳)$$

$$\text{Min} = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}(ER_{ij})Xij \quad (۱۴)$$

$$Max\ = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{z}\sum_{i=1}^{m}Kif.Xij \quad (۱۵)$$

به شرط:

$$\text{(a)}\quad \sum_{i=1}^{m}x_{ij} <= \text{T}Aj \quad (۱۶)$$

$$\text{(b)}\quad X_{ij} \le UA_i \quad (۱۷)$$

$$\text{(c)}\quad LA_i \ge X_{ij} \quad (۱۸)$$

$$\text{(d)}\quad \sum_{j=1}^{m}y_{ij} \le 1 \qquad \forall_i = 1,2 \quad (۱۹)$$

$$\text{(e)}\quad \sum_{j=1}^{m}yij \le 2 \qquad \forall_i = 3,4,5 \quad (۲۰)$$

$$\text{(f)}\quad y_{ij} \le cap_{ij} \qquad \forall_{i,j} \quad (۲۱)$$

$$\text{(g)}\quad SLP_j.y_{ij} \le r_i \quad (۲۲)$$

نتایج و بحث

مدل ریاضی تنظیم‌شده در محیط نرم‌افزار LNGO11 تعریف شد. مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفی برای حل مساله به کار رفت. در فرآیند انجام برنامه‌ریزی چندهدفی غالبا برای ارزیابی میزان تضاد میان اهداف، ماتریس بازده از بهینه‌سازی جداگانه هر یک از اهداف به دست می‌آید (Fallahi and Ahmadian, 2013; Xavier *et al.*, 2015; Torkamani and Abdollahi, 2015).

عناصر هر ردیف، از بهینه‌سازی هر هدف و محاسبه مقدار سایر اهداف تشکیل شده است. عناصر قطر فرعی این ماتریس نشان‌دهنده نقطه ایده‌آل است که در آن تمام اهداف به ارزش بهینه خود می‌رسند (Fallahi and

Abdollahi, 2013). جدول ۳ ماتریس بازده برای اهداف سه‌گانه را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ماتریس بازده برای اهداف سه‌گانه
Table 3. Pay off matrix for three goals

تابع هدف Objective function	سودآوری (ریال) Profit	شدت فرسایش Erosion rate	افزایش اشتغال Employment
سودآوری (10^3ریال) Profit (10^3Rial)	5.647.041	2.550.000	2.210.160
شدت فرسایش Erosion rate	28	14	30
افزایش اشتغال (نفر) Employment	239	220	258

بر اساس نتایج ماتریس بازده هنگامی که هدف، حداکثر کردن سودآوری است، سود حاصل ۵/۶ میلیارد ریال است. این مقدار سود، برای ۲۳۹ نفر شغل ایجاد می‌کند. در ردیف دوم با ملاحظه حداقل کردن فرسایش، شدت فرسایش از رقم ۲۸/۵ در حالت حداکثر سود به سبب تغییر مکان کاربری‌ها و سطح تخصیص‌یافته به هرکدام به عدد ۱۴ کاهش می‌یابد و همچنین کاهش قابل‌توجهی در حدود ۳/۱ میلیارد ریال در سودآوری و همینطور ۱۹ نفر در اشتغال قابل‌مشاهده است. همچنین زمانی که هدف حداکثرسازی اشتغال است، سطح درآمد حدود ۳/۴ میلیارد ریال و شدت فرسایش ۱۶ واحد از میزان بهینه خود فاصله می‌گیرند. مساحت تخصیص‌یافته به کاربری‌ها در حالت بهینه کردن هر یک از اهداف پس از اجرای مدل چندهدفی در نرم‌افزار به دست آمد. جدول ۴ میزان مساحت و نوع تخصیص زمین به کاربری‌های مختلف، نسبت به وضعیت موجود را ارائه می‌دهد.

جدول ۴- سطح هر کاربری در حالت بهینه کردن هر هدف به‌صورت جداگانه در سطح پارک
Table 4. Area of each land use with optimizing each goal individually

اهداف Objectives	وضعیت فعلی Current situation			حداکثر کردن سودآوری Maximizing profit			حداقل کردن شدت فرسایش Minimize erosion			افزایش اشتغال Maximizing employment		
کاربری activity	مساحت Area (ha)	درصد percentage	حوزه Site	مساحت Area (ha)	درصد percentage	حوزه Site	مساحت Area (ha)	درصد percentage	حوزه Site	مساحت Area (ha)	درصد percentage	حوزه Site
پارک کودکان Park	1.5	2.1	1	3	4.1	1	2.4	3.28	1	3.4	4.7	1
سایت ورزش Sport site	2	2.8	1	1.9	2.6	1	2.5	3.42	1	1.5	2	1
خورگشت Picnic	20	27.4	4, 5	32.1	44	3, 4	12.2	16.4	3, 4	29.9	41	5, 3
جنگل‌گردی Forest watching	11.5	15.7	3, 6	9	12.3	2, 4	15.8	21.9	2, 4	9	12.3	4, 5
حفاظت Protection	38	52	2, 6	27	37	5, 6	40.1	55	5, 6	29.2	40	2, 6
مجموع Sum	73	100	-	73	100	-	73	100	-	73	100	-

در حالت حداکثرسازی هدف سودآوری، کاربری خورگشت ۱۲/۱ هکتار افزایش و حفاظت و جنگل‌گردی به ترتیب ۱۱ و ۲/۵ هکتار کاهش را نسبت به شرایط فعلی نشان دادند. در مدل حداقل‌سازی فرسایش و تاکید بر حفظ محیط طبیعی، وسعت فعالیت‌ها به نفع فعالیت‌های پایدار افزایش یافت به‌نوعی که نسبت به‌حالت حداکثرسازی سود،

کاربری حفاظت ۱۳/۱هکتار افزایش و مکان خورگشت ۱۹/۹ هکتار کاهش را نشان داد. از طرفی محل استقرار انواع کاربری‌ها نیز بر اساس هدف بهینه‌شده تغییر کرد. به‌عنوان نمونه مکان خورگشت که در وضعیت فعلی در حوزه شماره ۵ نزدیک به ورودی پارک قرار داشت در وضعیت بهینه‌سازی هدف فرسایش به ناحیه ۳ منتقل شد. تخصیص حوزه ۵ برای کاربری خورگشت در شرایط افزایش سود را نیز می‌توان این طور ارزیابی کرد که با توجه به تمایل بیشتر بازدیدکنندگان برای استفاده از این حوزه برای کاربری مذکور می‌توان درآمد بیشتری را در آن متصور شد.

در نهایت بهینه کردن تمامی اهداف جدول ۳ در عمل ممکن نیست، لذا با ایجاد مجموعه جواب‌های کارا ترکیبات مختلفی از سه هدف به دست آمد. این مجموعه طیف وسیعی را برای انتخاب در مقابل تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. تعداد ۶ نمونه کارا از میان مجموعه جواب‌های کارا انتخاب و در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- مجموعه جواب‌های کارای منتخب از برنامه‌ریزی چندهدفی
Table 5. Efficient sets obtained from multi-objective programming

نقاط کارا Efficient set / فعالیت activity	O_1		O_2		O_3		O_4		O_5		O_6	
	حوزه Site	مساحت Area (ha)	حوزه Site	مساحت Area	حوزه Site	مساحت Area (ha)	حوزه Site	مساحت Area (ha)	حوزه Site	مساحت Area (ha)	حوزه Site	مساحت Area (ha)
پارک کودکان Children park	1	3	1	2.5	1	2.4	1	2.55	1	1.9	1	2.6
سایت ورزشی Sport site	1	1.9	1	2.4	1	2.5	1	2.35	1	3	1	2.3
پیک‌نیک Picnic	4	7.1	4, 5	32.1	3, 4	9	4, 5	22.1	۴،۳	11	3,4	13.9
جنگل‌گردی Forest seeing	2, 3	20.9	3, 4	11	4, 6	20	3, 5	16.8	3, 6	18	5, 5	27
حفاظت protection	5, 6	40.1	2, 6	25	2, 5	39.1	2, 6	29.2	3, 5	39.1	2, 5	27.1
سودآوری (10^3 ریال) profit (10^3 Rial)	3.974.788		5.621.872		3.351.714		5.570.248		4.227.294		4.092.752	
شدت فرسایش Erosion rate	18.6		29.2		14.8		26.2		27.8		19.7	
اشتغال Employment	232		240		223		223		227		242	

در میان مجموعه جواب‌های کارا تبادل میان اهداف قابل‌مشاهده است. افزایش قابل‌توجه سود بر افزایش شدت فرسایش و کاهش تعداد شغل تاثیر گذاشته است. انتخاب از بین این مجموعه جواب‌ها مشکل است، از این‌رو از برنامه‌ریزی توافقی با لحاظ کردن ترکیب‌های مختلف وزنی برای سناریوهای تحت‌بررسی بر اساس اهداف سه گروه مدیران پارک (۱)، مسئولین سازمان گردشگری (۲) و متخصصان محیط زیست (۳) استفاده می‌شود. مجموعه توافقی با $\mathbf{p = 1}$ ، $\mathbf{\sum \alpha = 1}$ در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول۶- جواب‌های منتخب توسط برنامه‌ریزی توافقی در ترکیب‌های وزنی مختلف
Table 6. Selected solution from sets obtained from compromise programming at different weights

3	2	1	وزن اهداف Objective weights	فعالیت Activity
.1 .8 .1 Lp۱	.3 .3 .4 Lp۱	.15 .1 .75 Lp۱		
2.4	2.6	2.5	پارک کودکان Children park	
2.5	2.3	2.4	سایت ورزشی Sport site	
9	13.19	32.1	پیک‌نیک Picnic	
20	81.27	11	جنگل‌گردی Forest seeing	
39.1	27.1	25	حفاظت protection	
3.351.724	4.092.702	5.621.813	سودآوری (۱۰^{۳} ریال) profit) Rial^{۳}10(	
14.8	19.7	29.4	فرسایش Erosion rate	
223	242	240	اشتغال Employment	

طبق نتایج، بر اساس ترجیح‌های فعلی مدیران پارک در سناریوی اول، نقطه کارای شماره ۲ مدیران را به این هدف نزدیک می‌کند. در این حالت با توجه بیشتر به هدف سودآوری، منفعت اقتصادی معادل ۵/۶ میلیارد ریال و مکان کاربری‌ها به وضعیت فعلی پارک و همچنین انتظارهای گردشگران نزدیک شده است. بر اساس ترجیح مدیران گردشگری، جواب شماره ۶ با نتایج مطابقت دارد و در آن با حرکت به سمت ایجاد تعادل میان اهداف با کاهش حدود ۱/۵ میلیارد ریال از میزان بهینه سود، از شدت فرسایش به‌میزان قابل‌توجهی کاسته می‌شود. در این شرایط، اگر چه سطح درآمد از میزان تخمینی در بررسی‌های جامع پارک معادل ۴/۶، کمتر می‌شود، اما سایر اهداف به سطح بهینه خود نزدیکتر می‌شوند. در سناریوی سوم، با مد نظر قرار دادن ترجیح محیط زیست، نقطه کارای شماره ۳ با جواب مطابقت دارد و در آن سودآوری به میزان ۲/۳ از میزان بهینه کمتر می‌شود. در این حالت، درصد تخصیص‌یافته به هر کاربری به نفع کاربری‌های موافق‌تر با طبیعت مانند جنگل‌گردی و حفاظت تغییر می‌کند. در این شرایط نیز تا حد زیادی از منفعت ریالی طرح کاسته می‌شود، اما حفظ ویژگی‌های طبیعی و به تبع آن ارزش‌های غیربازاری منطقه موجب پایداری سایر ارزش‌های مالی و ارتقاء سطح رضایت مراجعه‌کنندگان می‌شود و منفعت اقتصادی را توجیه می‌کند. به‌طور کلی بر اساس نتایج، تغییر اهداف به‌طور چشمگیری مساحت تخصیص‌یافته به هر کاربری و سطح سودآوری آن را تغییر می‌دهد.

نتیجه‌گیری

مدیریت جنگل‌ها مستلزم منظور کردن معیارها و اولویت‌های مختلف برای ذی‌نفعان و مسئولان است. مناطق جنگلی معمولا با تقاضای کاربری‌های متنوع روبه‌رو هستند (Xavier *et al.*, 2015). برای مدیریت این

امر، روش‌های تخصیص کاربری چندمکانی[7] MLUA می‌توانند کارآمد باشند. روش‌های بهینه‌سازی موجود برای حل مسائل MLUA می‌تواند به دو دسته اکتشافی[8] و دقیق[9] مانند روش‌های برنامه‌ریزی خطی تقسیم شوند (Aerts *et al*., 2003). در این پژوهش از مدل بهینه‌سازی ریاضی به‌منظور دست‌یابی به سطح بهینه سرمایه‌گذاری در تخصیص انواع فعالیت‌های گردشگری به منطقه استفاده شد. در این گونه مدل‌ها، مناسب‌ترین مقدار خروجی یک سامانه با توجه به محدودیت‌های حاکم بر آن معین می‌شود. در این تحقیق روش بهینه‌سازی چندهدفی و برنامه‌ریزی توافقی، برای بهینه‌سازی تخصیص کاربری‌ها و کاهش تضاد میان مدیران و ذی‌نفعان، در سه محور اقتصادی افزایش سودآوری، اجتماعی افزایش اشتغال و محیط زیستی کاهش فرسایش، به کار رفت و با وارد کردن داده‌ها و همچنین محدودیت‌های موجود همچون حداقل مساحت مورد نیاز برای هر کاربری (Aerts et al., 2003) به مدل و با اعمال ترکیب‌های وزنی برای هر یک از اهداف، نتایج تحلیل و مورد بررسی قرار گرفت. طبق مروری بر ادبیات موضوع، جنبه‌های مختلف همچون فاکتور فرسایش خاک و افزایش سود (Jalili *et al*., 2014) حفظ تنوع زیستی (Xavier *et al*., 2015) افزایش اشتغال (Romero *et al*., 1987; Diaz and Romero, 2002) و افزایش درآمد (Fallahi and Ahmadian, 2013; Torkamani and Abdollahi, 2015) نمونه‌هایی از اهداف مد نظر برای بهینه‌سازی تخصیص کاربری‌ها هستند. همچنین در تخصیص فضایی کاربری با روش‌های ریاضی، به‌طور معمول منطقه بر اساس فاکتورهای فیزیولوژیکی متعدد مانند شیب و ارتفاع (Aerts *et al*., 2003) یا شیب و نوع خاک (Xavier *et al*., 2015) به واحدهایی تقسیم می‌شود که در این پژوهش فاکتورهای شیب، نوع خاک و زمین‌شناسی برای ایجاد حوزه‌های همگن مد نظر قرار گرفتند. در راستای اجرای انواع مدل‌های برنامه‌ریزی، نرم‌افزارهای مختلفی توسعه یافته‌اند. اجرای روش سیمپلکس در نرم‌افزار ADBASE (Jalili *et al*., 2014) و مدل غیرخطی در نرم‌افزار GAMS[10] و Marxan برای طراحی مناطق حفاظت‌شده دریایی (Chen *et al*., 2015) نمونه‌ای از بررسی‌های انجام‌شده با استفاده از این ابزارها هستند. در این پژوهش به منظور حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی چندهدفی از نرم‌افزار LINGO ۱۱ استفاده شد (Dokht Saphi *et al*., 2004). در مجموع قابلیت مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای تخصیص کاربری‌ها و ارزیابی تناسب سرزمین تاکنون در بررسی‌های متعدد (Shakya, 1993; Aerts *et al*., 2003; Turk and Celik, 2014; Xavier *et al*., 2015; Chen *et al*., 2015; Kumar, 2016). مد نظر قرار گرفته است. نتایج این پژوهش و تحقیقات گذشته نشان می‌دهد، روش برنامه‌ریزی چندهدفی و مصالحه‌ای شرایط مناسبی برای اعمال ترجیح‌های صاحبان منفعت نسبت به معیارهای مد نظر فراهم می‌آورد. به‌طور کلی از آنجاکه در مدیریت منابع طبیعی اغلب با اهداف متضاد مواجه هستیم (Zhang, 2016)، روش‌های بهینه‌سازی چندهدفی با قابلیت برقراری تبادل میان ترجیح‌های مدیران و ذی‌نفعان می‌توانند به‌عنوان ابزاری کارآمد در تسهیل فرآیند سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرند. البته همان‌طور که در ابتدا بیان شد کارآمدی این روش‌ها زمانی که کلیه عوامل موثر بر تصمیم‌گیری در آن لحاظ شوند بیشتر خواهد شد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Lexicographic Method
[2] Non Inferior Set Estimation
[3] Minimization of total absolute deviation
[4] Cochran Formula
[5] Pareto
[6] Simplex Method
[7] Multi- site Land-use Allocation
[8] heuristic
[9] exact
[10] Generalized Algebra Modeling System

منابع

Aerts, J., Eisinger, E., Heuvelink, G. and Stewart, T., 2003. Using linear integer programming for multi-site land- use allocation. Geographical Analysis. 35(2), 148-169. (In Persian with English abstract).

Beyer. L.H., Dujardin. Y., Watts. E.M. and Possingham, P.H., 2016. Solving conservation problems with integer linear programming. Ecological Modeling. 328, 14-22.

Badiei, Sh., 2016. Revision of Zareh Sari Forest Park. Sari Municipality.

Ballestero, E. and Romero, C., 1991. A Theorem Connecting Utility Function Optimization and Compromise Programming. Operations Research letter. 10 (7), 421-427.

Carrillo. M., arianela. A., Jesús, M. and Jorge, B., 2017. Multidimensional Analysis of Regional Tourism Sustainability in Spain. Ecological Economics. 140, 89–98.

Chen, C., Lin, H., Ko, T., Cheng, H., Wright, J. and Chang, Y., 2015. Spatial resource allocation modeling for marine protected areas design: The case of Kaomei Coastal wetland. Ocean and Coastal Management. 110, 46-56.

Chen, K., 2011. Combining linear and nonlinear model in forecasting tourism demand. Expert Systems with Applications. 38, 10368–10376.

Cohon, J.L. and Church, L.R., 1979. Generating Multi objective Trade Offs: An Algorithm for Bicriterion Problems. Water Resources Research. 15(5), 1001-1010.

De Sousa Xavier, A.M., Freitas, M. and Fragoso, R., 2015. Management of Mediterranean forests. A compromise programming approach considering different stakeholders and different objectives. Forest Policy and Economics, http://dx.doi.org/ 10.1016/j.forpol. 2015.03.012.

Dokht saphi, A., Memariani, A. and Amani, M., 2004. Multi objective forest planning using the mathematical model. Iranian Journal of Research and Development. 63, 23-34. (In Persian with English abstract).

Diaz-Balteiro, L. and Romero, C., 2002. Forest management optimization models when carbon captured is considered: A goal programming approach. Forest Ecology & Management. 593, 1-1.

Filippi, C., Mansini, R. and Stevanato, E., 2017. Mixed integer linear programming models for optimal crop selection Computers and Operations Research. 81, 26–39.

Fallahi, A. and Ahmadian, M., 2013. Optimization of Crop Pattern with Emphasis on Water Resources Restrictions Case Study: Sydan-Farooq plain in the city of Marvdasht. Agricultural Economics Research. 5 (2), 91-114. (In Persian with English abstract).

Francisco, S.R. and Ali, M., 2006. Resource allocation tradeoffs in manila's peri-urban vegetable production systems: An application of multi objective programming. Agriculture Systems. 87, 147-168.

Higgins, A., Archer, A. and Hajkowicz, S., 2008. A stochastic non-linear programming model for a multi-period water resource allocation with multiple objectives. Water Resource Management. 22, 1445–1460.

Hwang, C.L. and Masud, A., 1979. Multiple objective decisions making. Methods and

applications: A state of the art survey, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Vol. 164, Springer-Verlag, Berlin.

Jalili, K., Sadeghi, H. and Nikkami, D., 2014. Optimization of land use in watersheds in order to minimize soil erosion using linear programming (Case study: Breimond Watershed, Kermanshah Province), Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 10(4), 15-26. (in Persian with English abstract).

Galilvand, H., Karami, A., Shahnazari, A. and Shabani, M., 2012. AHP and Geographic Information System (GIS): A Journal of Zare Parish, Mazandaran. Geography and Development. 29, 107-118. (In Persian with English abstract).

Kumar, P., Rosenberger, J. and Iqbal, G., 2016. Mixed integer linear programming approaches for land use planning that limit urban sprawl. Computers and Industrial Engineering. 102, 33-43.

Karagiannis, S. and Apostolou, D., 2010. Regional Tourism Development using Linear Programming and Vector Analysis. Regional Science Inquiry. 2(1), 25-32.

Kracmar, E. and Kooten, G.C.V., 2005. Managing forest and marginal agricultural land for multiple tradeoffs: compromising on economic, carbon and structural diversity objectives. Ecological Modeling. 185, 451-468.

Mishra, B., Nishad. M.K. and Singh. S.R., 2014. Fuzzy Multi- fractional programming for land use planning in agricultural production system. Fuzzy Information and Engineering. 6, 245-262.

Marinoni, O., Higgins, A., Hajkowicz, S. and Collins, K., 2009. The multiple criteria analysis tool (MCAT): A new software tool to support environmental investment decision making. Environmental Modeling & Software. 24,153-164.

Mehregan, M., 2015. Operational research, Linear programming and its applications. Nashre Daneshgahi. 47th edition. 536pp.

Mavrotas, G. and Diakoulaki, D., 2005. Multi-criteria branch & bound: A vector maximization algorithm for Mixed 0-1 Multiple Objective Linear Programming", Applied Mathematics and Computation. 171(1), 53-71.

Nikkami, D., Elecktorowicz, M. and Mehuys, G.R., 2002. Optimizing the management of soil erosion. Water quality Research. 37(3), 577- 586.

Pileforushha, P., Karami, M., Talei, M. and Sharifi, M., 2012. Modeling the required level of agricultural products using multi-objective planning methodology and GIS. Applied Geographical Sciences Thirteenth. 30, 191-210.

Pukkala, T. and Phjonen, V., 1990. Use of linear programming in land use planning in the Ethiopian highland. Silva Fennica. 24(2), 235-247.

Roozbahani, R., Schreider, S. and Abbasi, B., 2015. Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences Environmental Modeling & Software. 64,18-30.

Romero, C. and Rehman, T., 1984. Goal programming and multiple criteria decision-making in farm planning: an expository analysis. Agricultural Economics. 35, 177-190.

؟مRomero, C., Amador, F. and Barco, A., 1987. Multiple objectives in agricultural planning: A compromise programming application. Agricultural Economics. 69, 78-86.

Romero, C., Rehman, T. and Domingo, J., 1988. Compromise risk programming for agricultural

resource allocation problem: an illustration. Agricultural Economics. 39, 271-276.

Riedel, C., 2003. Optimizing land use planning for mountainous regions using LP and GIS towards sustainability. Soil Conservation. 34(1), 121-124.

Saboohi, M. and Alvanchi, M., 2008. Application of Multi-Purpose Planning and Agree on Agronomic Planning: A Case Study of Khorasan Razavi. Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 15(3), 1-15.

Shakya, K.M. and Leuchner, W.A., 1993. A multiple objective land use planning model for Nepal hills farms. Agricultural systems. 133-149. (In Persian with English abstract).

Turk. E. and Celik. H.M., 2014. Impact of planner's different viewpoints on optimum land-use allocation. European Planning Studies. 21(12), 1937–1957.

Torkamani, J. and Abdollahi, M., 2005. Application of Compromise Planning in Rare Resources Management: Case Study of Groundwater Resources in Rafsanjan City. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 9(3), 43-54. (in Persian with English abstract).

Wills, C.E. and Perlack, R.D., 1980. A comparison of generating techniques and goal programming for public investment, multiple objective decisions making. Agricultural Economics. 61, 66-74.

Yu, P.L., 1973. A class of solution for group decision problems. Management Science. 19, 936-946.

Zhang, J., 2016. Weighing and realizing the environmental, economic and social goals of tourism development using an analytic network process-goal programming approach. Journal of Cleaner Production. 16, 1-21.

Zeleny, M., 1973. Compromise Programming. University of South Carolina Press. Columbia.

Environmental Sciences Vol.16 / No.2 / Summer 2018

185-202

Mathematical balancing of capabilities in Zara Forest Park for allocating space and capital to tourism development

Zoha Jafari,[1*] Alireza Ildromi,[2] Seyed Mohsen Hosseini,[3] Abdolrassoul Salmanmahiny[4] and Javad Rezaeian[5]

[1] Department of Environment, Faculty of Natural Resources and the Environment, Malayer University, Malayer, Iran
[2] Department of Environment, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Malayer University, Malayer, Iran
[3] Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
[4] Department of Environment, Faculty of Fisheries and Environment, University of Natural Resources, Gorgan, Iran
[5] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Management, Mazandaran University of Science and Technology, Mazandaran, Iran

Received: 2017.11.26 **Accepted:** 2018.03.13

Jafari, Z., Ildromi, A., Hosseini, S. M., Salmanmahiy, A. and Rezaeian, J., 2018. Mathematical balancing of capabilities in Zara Forest Park for allocating space and capital to tourism development. Environmental Sciences. 16 (2), 185-202.

Introduction: In recent decades, mathematical planning methods have been widely applied for optimization of decision-making processes under resource constraint conditions (Filip, 2017). The application of these methods has been emphasized in studies such as the allocation of land to various types of utilization in forest areas (Diaz & Romero, 2002), planning agricultural-forestry plans (de Sousa Xavier, 2015) and assessment of tourism development investment options (Carrillo *et al.*, 2017). The present study applied a multi-objective programming method to optimize the level of investment and land allocation for the development of various types of tourism activities, considering three goals of increasing profit, decreasing erosion rate and increasing employment in Zara Park with an area of 73 hectares in Mazandaran Province.

Materials and methods: The required information was collected from area maps, relevant organizations and completed questionnaires from 120 visitors. The scale of erosion for each activity in a special area was determined with the use of affecting criteria from the FAO erosion assessment method and expert opinions for each activity in a special site. Limitations related to the physiological features of the area were considered through the creation of six homogeneous areas for the allocation of sports site, children's park, picnic, forest seeing and conservation. Other information was entered into the model as input data of objective function and constraint. By solving the model in Lingo11 mathematical programming software, a pay-off matrix was first created from separate optimization of goals, in order to assess the degree of conflict between them (Romero *et al.*, 1987). Then, with the use of the weighting method, a series of efficient solutions were obtained. Finally, using the compromise programming method and creating a balance between the goals, the best answer among

* Corresponding Author. *E-mail Address*: zoha_jafari@yahoo.com

them was chosen. Agreed solutions were determined based on the preference of the decision makers in the weight of the goals.

Results and discussion: According to the results, on the condition of maximizing profits, annual revenue was estimated as 5.6 billion rails, the number of employees is 239 and the erosion rate was approximately 28. With a separate optimization minimizing erosion, the erosion was expected to decrease by 14 units, due to the modification in the area and the state of site assigned to each activity. In this case, a significant reduction of 3.1 billion rails in annual revenue and 19 people in employment can be envisaged. By maximizing the employment rate individually, the annual income was reduced to 3.4 billion. By simultaneously optimizing three goals in a multi-objective optimization approach, an efficient set of solutions was obtained in which the exchange between the goals could be observed. According to the results the change in the level of optimization of an objective affects the extent to which the other goals are achieved. From this set, optimal investment patterns were obtained with the use of a compromise programming method taking into consideration a different combination of objective weighting from the perspective of the three groups of park managers, tourism organizations and environmentalists. Based on these results, changing the weight of the goals significantly changed the amount of area and location allocated to each activity and the level of profitability. In the state of increasing the weight of the goal Profit, based on the preferences of park managers, the annual revenue will become nearer to the park estimation which is equal to 4.6 billion rails per year according to the comprehensive park studies and the sites allocated to each activity is approximately similar to the site expected by tourist's point of view, as evaluated in the questionnaires. On an equal weighting, based on the preferences of the tourism authorities, although the level of income is lower than the estimated revenue, the other goals in this condition can come closer to their optimal level; ultimately, by considering environmentalist's preferences, the percentage allocated to each land use changes in favour of the activities which are more compatible with the natural heritage, such as conservation and forest seeing.

Conclusion: We face various and often conflicting goals in managing tourism resources, so multi-objective optimization methods integrated with compromise programming approaches which provide the possibility of exchange between the various preferences of managers and stakeholders can be used as an effective tool in facilitating the decision-making process.

Keywords: Resource allocation, Decision-maker preferences, Multi-objective planning, Compromise planning.