فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ٤، زمستان۱۳۹۲ ، شماره پیاپی ۱۱۱
عادل سپهر، استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد **A.Sepehr**

Email: adelsepehr@um.ac.ir

شماره مقاله: ۹۲۸ **صص: ۹٤-۸۳**
وصول: ۱۳۹۱/۱۲/۱۸ **پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۲۳**

استفاده از روابط مونت کارلو در کاهش عدم اطمینان مقایسات زوجی شاخص‌های بیابان‌زایی

چکیده

روش‌های مونت‌کارلو، یک طبقه از الگوریتم‌های محاسبه‌گر می‌باشند که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه‌گیری‌های تکرار شونده تصادفی اتکاء می‌کنند. روش‌های مونت‌کارلو برای شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آنها وجود دارد، مفید هستند. هدف از این مطالعه، بررسی عدم اطمینان حاصل از قضاوت‌ها و عناصر ماتریس تصمیم در ارزیابی شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی می‌باشد. به منظور کاهش عدم اطمینان در ماتریس مقایسات زوجی غیر دقیق، از شبیه‌سازی و تکرارهای مونت کارلو بهره گرفته شد. در این مقاله عدم اطمینان ناشی از اطلاعات تصمیم‌گیرندگان و داده‌ها و عناصری که محیط تصمیم در اختیار تصمیم‌گیرنده می‌گذارد، بررسی شده است. در این پژوهش با تکیه بر محاسبات و تکرارهای تصادفی مونت کارلو، برتری گزینه X_i موثر در بیابانی شدن را بر X_k آزمون شده است. با استفاده از یک انتگرال چند بعدی، برنامه مقایسات زوجی شاخص‌ها به گونه‌ای که به گزینه X_i رتبه پایین‌تری از X_k تعلق گیرد، در محیط جاوا (JAVA) نوشته و تکرارهای مونت کارلو برای ارزش‌ها انجام یافت. نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو، بازگوکننده آن بود که با افزایش تعداد تکرارهای شبیه‌سازی، وزن نسبی گزینه‌های تصمیم به حالت ثبات و پایایی می‌رسد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که شاخص‌های فرسایش بادی، فرسایش آبی، تغییرات کاربری اراضی، کاهش تاج پوشش، کاهش بیومس و تولید تراکم بالای چرا (چرای بیش از حد)، کاهش کیفیت مراتع (از بین رفتن مراتع خوب) و توسعه اراضی زیر کشت، مهم‌ترین عوامل در بیابانی شدن اراضی ایران می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مونت کارلو، عدم قطعیت، شاخص‌های بیابان‌زایی، شاخص مقایسه زوجی.

مقدمه

عدم قطعیت

انسان، موجود هوشمند طبیعت است که برای رسیدن به اهداف خود برنامه‌ریزی می‌کند. به همین جهت از اطلاعات حاصل از تجربیات موجود در زندگی خود و دیگران استفاده نموده و از توانایی‌های ذهنی خویش برای نظم بخشیدن و اولویت‌بندی این اطلاعات بهره می‌برد. انسان در زندگی روزمره این اطلاعات را برای درک بیشتر محیط پیرامون خود، یادگیری مطالب جدید و برنامه‌ریزی برای آینده به‌کار می‌برد. به این طریق وی از توانایی استدلال،

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

براساس مشاهدات برای نیل به اهداف خود استفاده می‌کند. البته به دلیل محدودیت قدرت ادراک انسان از جهان خارج و نیز محدودیت قدرت استدلال جامع و عمیق، وی با عدم قطعیت و عدم حتمیت مواجه است: عدم حتمیت در رابطه با کفایت اطلاعات و عدم قطعیت در رابطه با جامعیت استنتاجات خود (سپهر، ۱۳۸۹).

از لوازم عدم حتمیت امکان وجود خطا در رفتار انسان است، زیرا وی معمولاً فاقد اطلاعات جامع و همه‌جانبه از محیط پیرامون خود است. انسان برای بقاء و ادامه حیات خود، علی‌القاعده با اموری نظیر تصمیم‌گیری، جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه و تحلیل اطلاعات، پیش‌بینی و آینده‌نگری امور و حوادث مواجه است. در تمام امور فوق انسان از اطلاعات گذشته و حال برای نیل به اطلاعاتی که در دسترس نیست، استفاده می‌کند. بدیهی است که فقدان اطلاعات کامل، منجر به عدم حتمیت می‌گردد. لیکن فعل و انفعال و اثر متقابل اطلاعات و عدم حتمیت، معیاری برای میزان پیچیدگی است. به عنوان مثال رانندگی با اتومبیل، یک نمونه از تجربه عملی روزمره از مسأله پیچیدگی است. همه ما در پیچیدگی نسبی رانندگی توافق داریم. مضاف بر آن رانندگی با ماشین‌های دنده‌ای از رانندگی با اتومبیل‌های اتوماتیک پیچیده‌تر است، زیرا انسان هنگام رانندگی با اتومبیل‌های دنده‌ای به اطلاعات بیشتری مانند دور موتور در دقیقه و چگونگی استفاده از کلاج و دنده نیازمند است. بنابراین به دلیل نیاز به اطلاعات بیشتر در هنگام رانندگی، کار با اتومبیل‌های دنده‌ای (بدون اتوماتیک)، مشکل‌تر و پیچیده‌تر است. این درحالی است که پیچیدگی رانندگی دربرگیرنده عدم حتمیت در وقوع بسیاری از حوادث و امور غیرقابل پیش‌بینی نیز هست. مثلاً راننده دقیقاً نمی‌داند چه زمانی باید ترمز کرده و توقف کند تا دچار حادثه غیرمترقبه نشود. هر اندازه درجه و میزان عدم حتمیت افزایش یابد – مثلاً در ترافیک سنگین فاصله رانندگی در جاده‌های غیر آشنا – پیچیدگی اهداف نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، به مرور ادراکات ما از پیچیدگی در رابطه با دانسته‌ها و ندانسته‌ها همواره افزایش می‌یابد.

در اینجا مهم‌ترین مسأله‌ای که در پیش روی ماست، چگونگی تحت کنترل درآوردن پیچیدگی امور و مسائل گوناگون است. بدین منظور برای نیل به این امور مهم بایستی از ابزارهای ساده‌سازی از طریق مصالحه بین اطلاعات در دسترس و میزان عدم حتمیت قابل قبول استفاده کرد(سپهر، ۱۳۸۹).

عدم قطعیت به عنوان یک اصل کلی در مدیریت محیط زیست مطرح می‌باشد. تصمیم‌گیرندگان (DMs[1])، معمولاً بدون دانش دقیق درباره پدیده‌ها که می‌تواند در وضعیت، تحول و دگرگونی سامانه مورد بررسی اثرگزار باشد، اخذ تصمیم می‌نمایند(چیچلنیسکی[2]، ۱۹۹۸؛ بایرون[3]، ۲۰۰۲). برای نمونه در مکانیزم‌های طبیعی شامل تغییرات جمعیتی و یا در نرخ دی‌اکسیدکربن منتشر شده در طبیعت با عدم قطعیت روبرو هستیم(اولسون و سانتانو[4]، ۲۰۰۰؛ لند و همکاران[5]، ۲۰۰۳؛ کوت[6]،۲۰۰۱)، زیرا همواره قضاوت‌ها با آنچه در دنیای واقعی پیش روی ماست، تفاوت دارد. با توجه به این اصول، می‌توان استنباط کرد که عدم قطعیت در ذات و ماهیت مسائل زیست محیطی قرار دارد، به طوری‌که نمی‌توان آن را به آسانی به کمک بررسی‌های علمی حذف نمود، اگرچه می‌توان اثرات آن را کاهش داد. برای نمونه برآوردهای علمی عدم قطعیت برای گرمایش جهانی همیشه بیشتر از آن چیزی است که تصمیم‌گیرندگان در نظر دارند. اگرچه

[1] - *Decision makers*
[2] - *Chichilnisky*
[3] - *Byron*
[4] - *Olson and Santanu*
[5] - *Lande et al*
[6] - *Kot*

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

تشخیص این مسائل، هیچ‌گاه ضرورت تصمیم‌گیری را نفی نمی‌کند. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت مفید و می‌تواند در برآورد عدم قطعیت مؤثر باشد(لافونت[1]، ۱۹۸۹). چندین نوع عدم قطعیت را می‌توان بر شمرد:
اول: ریسک (Risk): رخدادهای با احتمالات معین و معلوم را در بر می‌گیرد.

در بسیاری از موارد، به‌دلیل عدم پیش‌بینی دقیق اتفاقات آینده، عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و قطعی و عدم ارزیابی دقیق برخی از معیارها به‌ویژه معیارهای کیفی، تصمیم‌گیری در فضای ریسک صورت می‌گیرد. در این محیط، جواب نهایی متأثر از میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر است. اشکال اساسی روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM)[2] این است که این روش‌ها قادر به درنظر گرفتن ارجحیت‌های ذهنی و ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر نیستند. به منظور اندازه‌گیری ریسک، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند از روش‌های ارزیابی ریسک کمک گیرند، روش‌هایی که هنگامی که احتمال یک پیامد با کمک آمار و آزمایش برآورد شده است، مفید است.

در تصمیم‌گیری تحت عدم قطعیت، دیدگاه معمول استفاده از ارزش منتظره و یا ارزش میانگین مطلوبیت یا هزینه است. روش رایج در این مورد، روش کنترل تصادفی (Stochastic Control) می‌باشد(برتسکاس[3]، ۲۰۰۰؛ ویتل[4]، ۱۹۸۲). ۱۹۸۲).

دوم: ابهام و عدم اطمینان (ambiguity): احتمالات نامعین یا عدم احتمال را در بر می‌گیرد.

ریسک و عدم اطمینان؛ هر دو برای بیان وجود خطر به‌کار می‌روند، ولی با هم متفاوت‌اند. شرایط ریسکی به حالتی اطلاق می‌شود که احتمال خطر وجود دارد، ولی این احتمال و مقدار تلفات ناشی از آن را می‌توان برآورد نمود. اگر ریسک‌ها به موقع مدیریت شوند، از ضرر ناشی از آن جلوگیری نموده و باعث ایجاد بهره می‌شود. شرایط عدم اطمینان به زمانی اطلاق می‌شود که هیچ اطلاعاتی از مقدار و احتمال وقوع ریسک در دسترس نباشد. عدم اطمینان، بدترین حالت برای مدیریت ریسک است.

تئوری مطلوبیت چند شاخصه (MAUT)[5] و عدم قطعیت

تئوری مطلوبیت تک بعدی، بر این اصل بنا گردیده است که هرگزینه(Alternative)، زمانی‌که در شرایط عدم قطعیت ارزیابی می‌شود، به عنوان یک ارزش مطلوب منتظره قلمداد می‌شود. این ارزش‌ها، میزان رضایت بخش بودن (مطلوبیت) گزینه‌های اخذشده را با توجه به رجحان یا برتری تصمیمات، توصیف می‌کنند. گزینه‌ها با بالاترین ارزش منتظره، بیشترین اهمیت یا بهترین گزینه در مسأله مورد بررسی هستند.

ارزش‌های منتظره به طور تصادفی و قرعه کشی ایجاد می‌شوند. مجموعه $C_1,\ldots,C_n$ را در نظر بگیرید، به طوری‌که C_n بالاترین اهمیت (برتری) و C_1 کمترین اهمیت را دارد. حال دو گزینه X_1 و X_2 را فرض کنید که احتمال P_{i1} یا P_{i2} برای هرکدام قلمداد شده است. به طوری‌که وقتی گزینه X^* وجود دارد، در دنباله مذکور C_i با احتمال P_i^* خواهد بود. حال این فرض وجود دارد که تصمیم‌گیرنده برای هر i با دو حالت روبرو است:

۱) قطعیت (Certainty): رسیدن به C_i

[1] - *Laffont*
[2] - *Multi Attribute Decision Making*
[3] - *Bertsekas*
[4] - *Wittle*
[5] - *Multi Attribute Utility Theory*

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

۲) ریسک و عدم قطعیت (Risk and Uncertainty): دریافت C_n (بهترین نتیجه) با احتمال πi و C_1 با احتمال 1- πi

بنابراین، ارزش‌های منتظره π، به منظور برآورد احتمال مقیاس‌های عددی Cها به‌کار می‌روند (کینی و رایفا، ۱۹۹۶). ریسک، با نتایج حاصله جهت محاسبه گزینه مطلوب منتظره، مرتبط است. ویژگی‌های تصمیم‌گیرندگان منجر به ایجاد ریسک می‌شود(ریسک‌پذیری). این امر در جهت رسیدن به گزینه‌هایی با حداکثر مطلوبیت است. بنابراین، می‌توان تابع مطلوبیت را برای کسب امتیازات مطلوب در یک رابطه غیر خطی که بیانگر میزان ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده است، تشکیل داد.

بر اساس نظر مؤمنی و اسماعیلیان (۱۳۸۵)، در فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره، رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم تحت تأثیر دو نوع عدم اطمینان قرار دارند:

الف) عدم اطمینان مربوط به شرایط و خصوصیات آینده محیط تصمیم‌گیری:

این نوع عدم اطمینان به وسیله مجموعه‌ای از سناریوها بیان می‌شود. تجزیه و تحلیل سناریو اغلب برای پیش بینی شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری به‌کار می‌رود. سناریوها در حقیقت تجزیه شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری به تعدادی وضعیت مجزا می‌باشند. این نوع عدم اطمینان در فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

ب) عدم اطمینان موجود در قضاوت‌ها و عناصر ماتریس تصمیم:

عدم اطمینان موجود در قضاوت‌ها و عناصر ماتریس تصمیم (ماتریس بازده)[1]، به وسیله توزیع احتمال مربوط به آن بیان می‌شود. البته باید به این نکته اشاره کرد که معیارهای تصمیم‌گیری به دو دسته تفکیک می‌شوند که عبارت‌اند از:

۱- معیارهای غیر مشهود و کیفی که به ارزیابی ذهنی نیاز داشته و در بیشتر موارد امکان اندازه‌گیری دقیق آنها وجود ندارد.

۲- معیارهای مشهود و کمّی که به صورت دقیق و مشخص قابل اندازه‌گیری می‌باشند. البته احتمال بروز خطا در اندازه‌گیری معیارهای کمّی وجود دارد که این امر نتیجهٔ خطای نمونه‌گیری و یا فنون شمارش و اندازه گیری می‌باشد. در این نوع خطاها، روش‌های استاندارد آماری برای مشخص ساختن میزان عدم اطمینان وجود دارد.

عدم اطمینان قضاوت‌ها به وسیله دو منبع مشخص می‌شود:

الف) منبع خارجی عدم اطمینان به محیط تصمیم‌گیری و فرآیند جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مربوط می‌شود.

ب) منبع داخلی عدم اطمینان به ابهام و عدم اطمینان ناشی از محدودیت میزان اطلاعات در دسترس تصمیم‌گیرنده و میزان تسلط و درک او از مسأله اشاره می‌کند. در این پژوهش با کمک شبیه‌سازی‌های مونت کارلو این موضوع بررسی شده است.

زاهو و همکارانش[2] (۲۰۰۴)، یک روش شبیه‌سازی برای رتبه‌بندی معیارها و شاخص‌های امنیت آتش‌سوزی ساختمان بر اساس روش AHP ارایه کردند. روش پیشنهادی می‌تواند برای ارزیابی و تعیین وزن نسبی معیارهای امنیت آتش‌سوزی نظریه‌های متخصصان مختلف را در قالب الگوی سلسله مراتبی و با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی تلفیق کند. در این تحقیق دو نوع شرایط عدم اطمینان بررسی شده است:

[1] - *Decision Matrix (Pay-Off Matrix)*
[2] - *Zaho et al.*

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

الف- مقایسات زوجی غیر دقیق؛ ب- مقایسات زوجی ناکامل.

در مقایسات زوجی غیر دقیق، تصمیم‌گیرنده به جای استفاده از یک عدد مشخص در مقایسات زوجی، قضاوت خود را به صورت فاصله‌ای بیان می‌کند و طول فاصله بیان شده، نشان دهنده میزان عدم اطمینان است. در این موارد تابع توزیع احتمال قضاوت‌های فاصله‌ای را می‌توان به وسیله توابع توزیع آماری یکنواخت یا گاما بیان کرد. در مقایسات زوجی ناکامل، تصمیم‌گیرنده به علت عدم اطمینان از انجام مقایسات زوجی بین دو یا چند گزینه خودداری کرده که در این حالت ماتریس مقایسات زوجی دارای یک یا چند جای خالی می‌باشد.

در این پژوهش، با توجه به وجود عدم اطمینان در قضاوت‌ها، مقایسات زوجی غیر دقیق، ملاک سنجش قرار گرفته است؛ یعنی از قضاوت‌های فاصله‌ای (۵-۱) برای ارزش‌ها و توابع آماری استفاده شده است و مقایسات در شرایط عدم قطعیت با کمک روابط مونت کارلو صورت پذیرفته است.

هورلی (۲۰۰۱)[1]، مواردی را در AHP بررسی می‌کند که تصمیم‌گیرنده در مورد ترتیب رتبه‌بندی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم اطمینان داشته، ولی در مورد مقدار عددی وزن نسبی معیارهای حاصل از ماتریس مقایسات زوجی، دارای عدم اطمینان است. این عدم اطمینان به این معنا است که آیا بهترین گزینه به دست آمده از AHP، واقعاً بهترین گزینه می‌باشد یا خیر. اگر وزن‌های به دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی تا اندازه‌ای تغییر کند که ترتیب رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر نکند، در این صورت تصمیم‌گیرنده اطمینان بیشتری به نتایج به دست آمده خواهد داشت. هورلی در این مقاله یک روش ساده برای تحلیل حساسیت نتایج و تعیین میزان تغییراتی که ترتیب رتبه‌بندی گزینه‌ها را حفظ می‌کند، ارایه می‌دهد.

ون و لواری[2] (۱۹۹۷)، بیان می‌کنند که صحت مقایسات زوجی به مقدار اطلاعات در دسترس تصمیم‌گیرنده و میزان فهم و درک او از مسأله مرتبط است. به همین دلیل همواره درجه‌ای از عدم اطمینان در تمام و یا برخی از عناصر ماتریس مقایسات زوجی وجود دارد. در این تحقیق، آنها عدم اطمینان مرتبط با قضاوت تصمیم‌گیرنده (مقایسات زوجی) و عدم اطمینان مرتبط با شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری را مورد توجه قرار دادند و یک روش شبیه‌سازی برای در نظر گرفتن هر دو نوع عدم اطمینان در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ارایه کردند(ون و لواری، ۱۹۹۷).

هدف از این مطالعه، بررسی عدم اطمینان حاصل از قضاوت‌ها و عناصر ماتریس تصمیم در ارزیابی شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی می‌باشد. به منظور کاهش عدم اطمینان در ماتریس مقایسات زوجی غیردقیق از شبیه‌سازی و تکرارهای مونت کارلو بهره گرفته شد. در این مقاله عدم اطمینان ناشی از اطلاعات تصمیم‌گیرندگان و داده‌ها و عناصری که محیط تصمیم در اختیار تصمیم‌گیرنده می‌گذارد، بررسی شده است.

روش مونت-کارلو (Monte Carlo method)

واژه مونت‌کارلو در دهه ۱۹۴۰(دهه ۱۳۱۰ شمسی)، به وسیله فیزیکدانانی که روی پروژه ساخت یک سلاح اتمی در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس آمریکا کار می‌کردند، رایج شد. مونت‌کارلو، یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه نتایج استفاده می‌کند. روش‌های مونت‌کارلو معمولاً برای شبیه‌سازی سیستم‌های فیزیکی، ریاضیاتی و اقتصادی استفاده می‌شوند.

[1] - *Hurley. W.J*
[2]- *Wan and Levary*

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

به‌دیگر سخن روش‌های مونت‌کارلو یک طبقه از الگوریتم‌های محاسبه‌گر می‌باشند که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه‌گیری‌های تکرار شونده تصادفی اتکاء می‌کنند. روش‌های مونت‌کارلو، می‌توانند در اغلب شبیه‌سازی‌های یک سامانه ریاضیاتی یا فیزیکی استفاده شوند. به دلیل اتکای آنها بر محاسبات تکراری و اعداد تصادفی یا تصادفی کاذب، روش‌های مونت کارلو اغلب به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که توسط رایانه قابل اجرا باشند. گرایش به استفاده از روش‌های مونت‌کارلو زمانی بیشتر می‌شود که محاسبه پاسخ دقیق با کمک الگوریتم‌های قطعی، ناممکن باشد. روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو مخصوصاً در مطالعه سیستم‌هایی که در آن تعداد زیادی متغیر با درجه آزادی‌های دو به دو مرتبط وجود دارد، مفید است؛ از جمله این سیستم‌ها می‌توان به سیالات، مواد بی‌نظم و ساختارهای سلولی اشاره نمود. از آن گذشته، روش‌های مونت‌کارلو برای شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آنها وجود دارد، نیز مفید هستند؛ مثلاً محاسبه ریسک در تجارت. همچنین این روش‌ها به طور گسترده‌ای در ریاضیات مورد استفاده قرار می‌گیرند: یک نمونه کاربرد این روش‌ها در برآورد انتگرال‌های معین است، به خصوص انتگرال‌های چندبعدی با محدوده‌های مرزی پیچیده(کت، ۲۰۰۱).

تنها یک روش مونت‌کارلو وجود ندارد، بلکه این اصطلاح به گستره وسیعی از روش‌های شبیه‌سازی با الگوریتم کار مشابه اطلاق می‌گردد. به هر حال، این رویکردها یک الگوی مشخصی را پیروی می‌کنند: به‌طوری‌که محدوده‌ای از ورودی‌های ممکن را تعریف می‌کنند. از آن محدوده، ورودی‌های تصادفی را تولید می‌کنند، با استفاده از ورودی‌های به‌دست آمده یک سری محاسبات مشخص را انجام می‌دهند و در نهایت نتایج هر یک از اجراهای محاسباتی را در پاسخ نهایی ادغام می‌کنند. همچنین دو ویژگی مشترک دیگر روش‌های مونت‌کارلو شامل: اتکای محاسبات بر اعداد تصادفی و همگرایی تدریجی به سمت تخمین‌های بهتر در زمانی که داده‌های بیشتری شبیه سازی می‌شوند، می‌باشد.

به‌طور کلی، کاربرد روش مونت-کارلو در ریاضیات و آمار بسیار گسترده است. با استفاده از این روش، با انتخاب تصادفی یک یا تعداد محدودی پاسخ از میان پاسخ‌های موجود، تلاش می‌شود تا به راه‌حل قابل قبولی دست یافت. این تکنیک زمانی ارزش پیدا می‌کند که مجموعه آلترناتیوهای(گزینه‌های) موجود برای پاسخ یک مسأله بسیار وسیع باشد و عملاً امکان آزمودن تمامی آنها وجود نداشته باشد؛ یک نمونه کلاسیک در این زمینه، الگوریتم رابین برای تست اول بودن یک عدد می‌باشد.

الگوریتم رابین بیان می‌دارد که با داشتن یک عدد مانند n که غیر اول است، یک عدد تصادفی مانند x ، دارای احتمال ۷۵٪ است تا ثابت کند عدد n عددی غیراول است(کت، ۲۰۰۱). بنابراین، با داشتن عدد غیراولی مانند n اگر عددی تصادفی مانند x یافت شود، به‌طوری‌که ثابت کند n احتمالاً عددی اول است، ما موفق به آزمودن گزینه‌هایی شده‌ایم که احتمال رخداد آنها ۱ به ۴ است. حال با یافتن ۱۰ عدد دیگر مانند x که ثابت کند n احتمالاً عددی اول است، موفق به یافتن مجموعه‌ای شده‌ایم که احتمال وقوع آنها ۱ به میلیون است. الگوریتم لاس وگاس نیز از روش مونت-کارلو بهره می‌برد.

در این پژوهش با تکیه بر محاسبات و تکرارهای تصادفی مونت کارلو، برتری گزینه X_i مؤثر در بیابانی شدن را بر X_k آزمون کرده‌ایم. با استفاده از یک انتگرال چندبعدی برنامه مقایسات زوجی شاخص‌ها به گونه‌ای که به گزینه X_i رتبه پایین‌تری از X_k تعلق گیرد، در محیط جاوا (JAVA) نوشته و تکرارهای مونت کارلو برای ارزش‌ها انجام یافت.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

روش پژوهش

در ابتدا با توجه به اینکه هدف از این مطالعه بررسی راهکاری به منظور کاهش عدم اطمینان مربوط به قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان در اولویت‌بندی و امتیازدهی شاخص‌های بیابان‌زایی بوده است، ۱۸ عامل اصلی مؤثر در بیابانی شدن اراضی با توجه به شرایط ایران بر اساس عوامل و معیارهای مؤثر در بیابانی شدن که توسط فائو (FAO, 1985) ارایه شده است، با توجه به شرایط ایران انتخاب شد(جدول ۱). سپس از ۱۰ خبره و کارشناس مسائل بیابانی در کشور خواسته شد تا ارزشی بین ۵-۱، با توجه به طیف لیکرت، برای نقش این عوامل و درجه اهمیت هرکدام در بیابان‌زایی قائل شوند(جدول ۲). سپس جهت تعیین ارزش نهایی هر عامل از میانگین وزنی تعداد پاسخ‌دهندگان استفاده شد. ممکن است این گونه برداشت شود که با توجه به ارزش‌ها عملاً مشخص است که کدام عامل بالاترین اهمیت را دارد، اما ذکر این نکته لازم است که این پژوهش به دنبال این مطلب است که آیا امتیاز یا ارزش داده شده به هر عامل توسط تصمیم‌گیرندگان واقعاً همان ارزشی است که باید برای آن عامل در نظر گرفت. از آنجایی که در تکرارهای مونت کارلو، چندین هزار تکرار برای هر ارزش صورت می‌گیرد، ممکن است یک عامل ارزش بالایی در نگاه اول داشته باشد، اما در شرایط عدم اطمینان و پس از انجام شبیه سازی‌های مونت کارلو، واقعیت چیز دیگری باشد.

پس از تعیین ارزش عددی گزینه‌ها توسط تصمیم‌گیرندگان، محاسبات مربوط به تعیین میزان عدم اطمینان با کمک روابط مونت کارلو صورت گرفت.

هر دو منبع عدم اطمینان اشاره شده در بخش مقدمه، می‌توانند منجر به نقض شدن رتبه‌بندی‌ها و کاهش میزان اطمینان تصمیم‌گیرنده به نتایج به دست آمده شوند. فرض اساسی در این مطالعه این بوده است که عدم اطمینان موجود در ماتریس تصمیم در نتیجه شک و تردید تصمیم‌گیرنده در مورد صحت قضاوت‌ها بوده و در نتیجه عدم توافق تعدادی از تصمیم‌گیرندگان نمی‌باشد. در این پژوهش جهت تعیین میزان عدم اطمینان در محاسبات و تکرارهای مونت کارلو از معادله برآورد عدم اطمینان قضاوت‌های ساعتی (۱۹۸۰) استفاده شده است. براساس روش ساعتی معیار جامع عدم اطمینان رتبه‌بندی‌ها (RU)[1] را می‌توان از رابطه ۱، محاسبه کرد(ساعتی، ۱۹۸۰).

رابطهٔ ۱):

$$RU = \sqrt{\frac{1}{n}\sum\left(\frac{¢_i}{w_i}\right)^2}$$

$¢_i$= انحراف معیار وزن گزینه iام، n= تعداد گزینه‌ها، w_i = وزن گزینه iام.

با توجه به محاسبه صورت گرفته، میزان عدم اطمینان در محاسبات پژوهش ۵٪ برآورد گردید. به‌عبارت دیگر در بازه اطمینان ۹۵٪ تکرارهای مونت کارلو صورت گرفت. برای به دست آوردن دقت A با اطمینان ۹۵٪ در مقایسات شاخص‌ها، تعداد تکرارهای مونت کارلو K را به صورت رابطه ۲، محاسبه کرده‌ایم(میلتون و آرنولد، ۱۹۹۵):

رابطهٔ ۲):

$$K = \frac{1.96^2}{4A^2}$$

[1] - I.RU: Rank Uncertainty

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

جدول ۱) عوامل، درجه اهمیت و میانگین ارزش درنظر گرفته شده در مقایسات زوجی شاخص‌ها

عوامل موثر در بیابان‌زایی در ایران (بر اساس فائو، ۱۹۸۵)	تعداد پاسخ برای هر درجه اهمیت					میانگین وزنی ارزش
	۱	۲	۳	۴	۵	
فرسایش آبی				۲	۸	۴/۸
فرسایش بادی				۲	۸	۴/۸
کاهش درصد تاج پوشش (کانوپی)				۳	۷	۴/۷
کاهش بیومس و تولید			۱	۲	۷	۴/۶
کاهش تنوع زیستی		۱	۲	۴	۳	۳/۹
افزایش گونه‌های غیر خوشخوراک		۲	۲	۵	۱	۳/۳
تراکم بالای چرا (چرای بی رویه)			۱	۲	۷	۴/۶
افت مراتع خوب و نابودی مراتع			۱	۱	۸	۴/۷
تراکم بالای کشت			۲	۵	۳	۴/۱
تغییرات کاربری اراضی			۱	۲	۷	۴/۶
افت مواد آلی خاک و کاهش باروری			۲	۲	۶	۴/۴
شور شدن خاک			۳	۳	۴	۴/۱
اسیدی شدن خاک		۱	۳	۶		۳/۵
تشکیل سله در خاک و کاهش نفوذ		۲	۱	۵	۲	۳/۷
سخت و متراکم شدن خاک		۲	۱	۴	۳	۴/۱
افزایش سنگریزه خاک		۴	۲	۴		۳/۰
برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی و افت سفره			۳	۵	۲	۳/۹
بالا آمدن و زه‌دار شدن خاک		۳	۲	۵		۳/۲

جدول ۲) درجهٔ اهمیت کیفی و کمّی برای نقش عوامل مؤثر در بیابان‌زایی

اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت متوسط	اهمیت کم	اهمیت ناچیز (فاقد اثرگذاری)
۵	۴	۳	۲	۱

برای به دست آوردن اطمینان ۹۵٪ درمحدوده خطای ۰/۰۱±، لازم است ۹۶۰۴ تکرار مونت کارلو را اجرا شود، که در این پژوهش به طور تقریب، ۱۰۰۰۰ تکرار مونت کارلو برای کاهش عدم اطمینان صورت گرفت.

سپس مقایسه برتری رتبه عوامل انتخاب شده با توجه به ارزش‌های داده شده توسط کارشناسان در ماتریس مقایسات زوجی صورت گرفت. به‌طورکلی شاخص مقایسات زوجی(لسکینن و همکاران، ۲۰۰۶)، o_{ik}، اشتراک وزن‌هایی را توصیف می‌کند که گزینه x_i را در رتبه بهتری از گزینه x_k قرار می‌دهد. یک گزینه x_i که $o_{ik}=1$ دارد، برای بعضی Kها رتبه بهتری از گزینه x_k، فراهم می‌کند و بنابراین می‌توان گفت بر آن غلبه دارد.

در این پژوهش، شاخص مقایسات زوجی o_{ik}، به طور عددی به عنوان یک انتگرال چندبعدی در دامنه وزن‌هایی که به گزینه x_i یک رتبه پایین‌تر از گزینه x_k می‌دهد، محاسبه شده است(رابطه ۳).

رابطهٔ ۳): $$o_{ik} = \int_{\omega \in W: rank(i,\omega,\xi,\tau) < rank(k,\omega,\xi,\tau)} f_W(\omega) \int_X f_X(\xi) \int_T f_T(\tau) dT \, d\omega \, d\xi.$$

پس از تعیین تعداد تکرارهای مونت کارلو لازم(۱۰۰۰ تکرار) با توجه به میزان عدم اطمینان و در نظرگیری رابطه شاخص مقایسات زوجی(رابطه ۳)، برنامه مربوط به محاسبات مونت کارلو در نرم افزار جاوا (JAVA) با کمک زبان

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

برنامه نویسی C^+ انجام گرفت و ماتریس مقایسات زوجی در این محیط با ۱۰۰۰۰ تکرار مونت کارلو برای هر ارزش عددی محاسبه گردید.

یافته های پژوهش

شکل ۱، محاسبات و شبیه‌سازی‌ها و به عبارت دیگر تکرارهای صورت گرفته برای ارزش هر عامل را با کمک روابط مونت کارلو نشان می‌دهد. همان‌طور که گفته شد، محاسبات مونت کارلو با کمک نرم افزار جاوا (JAVA) و زبان برنامه نویسی C^+ انجام گرفت.

اعداد داخل هر خانه در شکل ۱، بیانگر مرتبه برتری هر عامل یا گزینه به گزینه یا عامل دیگر در کسب رتبه برتر است. برای مثال، شاخص فرسایش بادی در مقایسه با شاخص فرسایش آبی ۴۸ بار و برای شاخص تغییرات کاربری اراضی ۶۶ بار رتبه بالاتری را پس از ۱۰۰۰۰ بار تکرار مونت کارلو برای ارزش داده شده به فرسایش بادی (۴/۸) در سطح عدم اطمینان ۵٪ کسب کرده است. این در حالی است که همان‌طور که گفته شد، ارزش دو عامل فرسایش آبی و بادی در نظرگرفته شده توسط تصمیم‌گیرندگان برابر بوده است(۴/۸)، اما تکرارهای صورت گرفته مؤید این مطلب است که فرسایش بادی با اطمینان بالاتری شاخص مهم‌تری در بیابانی شدن است.

به عبارتی دیگر، با افزایش میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم، انحراف معیار وزن نهایی گزینه‌های حاصل از شبیه‌سازی‌های متعدد افزایش پیدا می‌کند. استفاده از روش تکرارهای مختلف ارزش‌های عددی گزینه‌ها و یا رتبه‌ها در شبیه‌سازی مونت کارلو منجر به کاهش عدم اطمینان ماتریس تصمیم و کاهش انحراف معیار وزن نهایی خواهد شد.

این مسأله را می‌توان در مقایسات زوجی صورت گرفته در سایر شاخص‌ها نیز مشاهده نمود. برای نمونه نتایج تکرارهای مونت کارلو مؤید این واقعیت است که اگرچه بر اساس جدول ۱، ارزش وزنی درنظر گرفته شده برای شاخص کاهش کانوپی و افت کیفیت مراتع نسبت به شاخص تغییرات کاربری اراضی بالاتر است(۴/۷ در برابر ۴/۶)، اما اهمیت برتری شاخص تغییرات کاربری اراضی پس از انجام تکرارهای مونت کارلو به نسبت دارای ۹۲ و ۹۸ بار ارجحیت برتر به ترتیب در مقایسه با شاخص کاهش کانوپی و افت کیفیت مراتع بوده است. به دیگر سخن، با اطمینان ۹۲٪ می‌توان ادعا کرد که شاخص تغییرات کاربری اراضی، نقش پررنگ‌تری در بیابانی شدن اراضی در مقایسه با شاخص کاهش کانوپی دارد، اما این مطلب به معنی بی اهمیت بودن شاخص کاهش کانوپی در بیابانی شدن نمی‌باشد، زیرا همین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها برتری نسبی دارد. برای نمونه این شاخص ۹۹ بار برتری کسب رتبه بالاتر در بیابانی شدن نسبت به شاخص افزایش گونه‌های غیرخوش‌خوراک و ۱۰۰ بار برتری نسبت به شاخص برداشت بی رویه سفره‌های آبی و دارد. همچنین دو شاخص کاهش کانوپی و افت کیفیت مراتع با اینکه هر دو ارزش وزنی برابر داشته‌اند (۴/۷)، اما شاخص کاهش کانوپی در مقایسه با شاخص افت مراتع ۹۹ بار برتری رتبه دارد. و همان‌طور که گفته شد، هر دو در قیاس با شاخص تغییرات کاربری، علیرغم ارزش داده شده پایین‌تر به شاخص تغییرات کاربری، در طی انجام تکرارهای مونت کارلو ارزش رتبه ای پایین‌تری کسب کردند و نقش تغییرات کاربری اراضی در بیابانی شدن مشهودتر است.

بنابراین، این نتایج نشان می‌دهد که در آنچه در نگاه اول از ارزش‌های داده شده به شاخص‌ها مشخص است، در واقعیت بازگوکننده چیز دیگری است. این مسأله ناشی از همان عدم اطمینان که خود نوعی عدم قطعیت در قضاوت‌ها است بوده که در نگاه اول مشخص نیست و تکرارهای مونت کارلو، این مطلب را بارز ساخته و با کاهش عدم اطمینان، موثرترین عوامل معین می‌گردد.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

نتایج به طور کلی نشان داد که شاخص‌های *فرسایش بادی، فرسایش آبی، تغییرات کاربری اراضی، کاهش تاج پوشش، کاهش بیومس و تولید، تراکم بالای چرا (چرای بیش از حد)، کاهش کیفیت مراتع (از بین رفتن مراتع خوب) و توسعه اراضی زیر کشت*، مهم‌ترین عوامل در بیابانی شدن اراضی ایران می‌باشند. ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین این عوامل وجود دارد؛ برای مثال چرای بیش از حد موجب نابودی پوشش گیاهی و به‌دنبال آن کاهش کانوپی و بیومس و تولید بیولوژیک منطقه می‌شود که این امر زمینه افت کیفیت مراتع و افزایش گونه‌های غیر خوشخوراک را برای دام فراهم می‌کند.

نتیجه گیری

نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو، بازگوکننده آن بود که با افزایش تعداد تکرارهای شبیه‌سازی، وزن نسبی گزینه‌های تصمیم به حالت ثبات (Stabilized) و پایایی می‌رسد. در این حالت، افزایش تعداد تکرارهای شبیه‌سازی، تأثیری در رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم ندارد. این حالت زمانی به دست می‌آید که افزایش تکرارهای شبیه سازی تأثیر بسیار اندکی در متوسط وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم حاصل از تکرارهای قبلی شبیه‌سازی داشته باشد. هرچه میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم افزایش پیدا کند، تکرارهای شبیه‌سازی بیشتری برای رسیدن وزن نسبی گزینه‌ها به وضعیت ثبات و پایایی لازم است.

وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم در تکرارهای مختلف شبیه‌سازی ممکن است با یکدیگر تفاوت داشته باشند. با افزایش تعداد تکرارهای شبیه سازی، متوسط وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم به حالت ثبات و پایایی می‌رسد. با توجه به ماهیت تصادفی ورودی‌های شبیه سازی، خروجی‌های آن نیز دارای ماهیت تصادفی می‌باشند. در نتیجه استفاده از فنون آماری جهت تحلیل خروجی‌های شبیه سازی ضروری است. از اطلاعات به دست آمده در شرایط پایای شبیه سازی برای تحلیل آماری خروجی‌های شبیه سازی می‌توان استفاده کرد.

نتایج تأیید می‌کند، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای بررسی و برخورد با عدم اطمینان مربوط به شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری بسیار منعطف می‌باشد و می‌توان از آن برای شرایط پیچیده تصمیم‌گیری که عوامل متعدد با احتمال‌های ویژه مؤثر می‌باشند، استفاده کرد. البته باید به این نکته توجه داشت که هر روش تئوریکی و تحلیلی که به‌کار گرفته می‌شود، باید توزیع‌های احتمال مختلف مربوط به عوامل مؤثر در محیط را در نظر بگیرد. در بسیاری از شرایط امکان مشخص کردن یک توزیع آماری استاندارد برای عوامل مؤثر در محیط تصمیم‌گیری مشکل و یا غیرممکن خواهد بود. به همین دلیل استفاده از روش شبیه‌سازی برای برخورد با عدم اطمینان موجود در شرایط و محیط تصمیم‌گیری بسیار کاراتر و عملی‌تر از توسعه یک روش تئوریکی و تحلیلی است.

شاخص‌های مقایسات زوجی به خصوص هنگامی‌که تلاش می‌کنیم بین اختلافات رتبه‌بندی دو گزینه تفاوت قائل شویم، مفید هستند، چرا که تعداد رتبه‌ها در اولویت‌های میانی مربوط به ردیف‌های شبیه‌سازی مختلف، تغییر می‌کند. دو گزینه ممکن است قابلیت پذیرش رتبه مشابه را داشته باشند، هر چند در واقع یکی از آن‌ها رتبه پایین‌تر است. در این موارد با نگاه به شاخص‌های مقایسات زوجی بین این دو زوج گزینه، می‌توان به تعیین این‌که یکی از گزینه‌ها نسبت به بقیه برتر است یا اینکه آیا آن‌ها با هم برابرند، کمک کند.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

شکل ۱) نتایج شبیه سازی مونت کارلو با انجام ۱۰۰۰۰ تکرار حول ارزش‌های هر عامل

با استفاده از روش شبیه‌سازی تصمیم‌گیرنده، شرایط و حالت‌های مختلفی را که در محیط واقعی تصمیم‌گیری می‌تواند رخ دهد، بررسی کرده و احتمال رخداد هر یک را مشخص می‌کند. این توانایی شبیه‌سازی و انعطاف‌پذیری آن کمک زیادی به تصمیم‌گیرنده در شناخت رویدادهای آتی محیط تصمیم‌گیری می‌کند.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله مراتب سپاس خود را از کلیه اساتید و بزرگوارانی که در فرایند انتخاب و امتیازدهی شاخص‌ها نهایت مشارکت را با نگارندگان اثر حاضر داشتند بویژه جناب آقای دکتر محمدرضا اختصاصی، دانشیار دانشگاه یزد و جناب آقای دکتر علی حسن‌لی، دانشیار دانشگاه شیراز، اعلان می‌دارد. هم‌چنین بر خود لازم می‌داند از زحمات بی دریغ دکتر تامی ترونن (Tommi Tervonen)، استادیار بخش فناوری اطلاعات، دانشگاه تورکو، فنلاند که در برنامه نویسی و اجرای برنامه کامپیوتری، پژوهشگر را یاری رسانند تشکر نماید.

منابع و مآخذ:

۱) اکبری، نعمت‌الله و کیوان زاهدی(۱۳۸۷)، کاربرد روش‌های رتبه‌بندی و تصمیم‌گیری چند شاخصه، انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، چاپ اول: ۴۶۳ صفحه.

۲) سپهر، عادل(۱۳۸۹)، ارایه الگوی مدیریت ریسک بیابان‌زایی در شرایط عدم قطعیت، رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان.

۳) مؤمنی، منصور و مجید اسماعیلیان(۱۳۸۵)، کاربرد شبیه‌سازی در عدم اطمینان فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)، فصلنامه مدرس، علوم انسانی، دوره ۱۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۵.

4) Bertsekas, D. P (2000), Dynamic Programming and Optimal Control, Athena Scientific, Belmont, Massachusetts, second edition, Vol 1 and 2.
5) Byron, K. W., J. D. Nichols, and M. J. Conroy (2002), Analysis and Management of Animal Populations, Academic Press
6) Chichilnisky, G., G. M. Heal, and A. Vercelli (1998), Sustainability: Dynamics and Uncertainty (Economic, Energy and Environment), Springer Press.
7) Hurley, W.J (2001), "The analytic hierarchy process: A note on an approach to sensitivity which preserves rank order", Computers & Operations Research, Vol 28.
8) Kot, M (2001), Elements of Mathematical Ecology, Cambridge University Press, Cambridge.
9) Laffont, J. J (1989), The Economic of Uncertainty and Information, MIT Press.
10) Lande, R., S. Engen, and B. E. Saether (2003), Stochastic Population Dynamics in Ecology and Conservation, Oxford series in ecology and evolution.
11) Olson, L. J and R. Santanu (2000), “Dynamic efficiency of conservation of renewable resources under uncertainty”, Journal of Economic Theory, 95: 186-214.
12) Saaty, T.L (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill. New York.
13) Wan, K and R. Levary (1997), "A simulation approach for handling uncertainty in the analytical hierarchy process", European Journal of Operation Research, Vol 106.
14) Whittle, P (1982), Optimization over Time: Dynamic Programming and Stochastic Control, John Wiley & Sons, Vol 1, New York.
15) Zaho, C. M., S. M. Lo, and Z. Fang (2004), "A simulation approach for ranking of fire safety attributes of existing buildings", Fire Safety Journal, Vol 39.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-04]