# مدلسازی آسیب‌پذیری ناشی از بیماری مالاریا به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و روشهای فرارتبه‌ای

دریافت مقاله:۹۱/۱/۲۷ پذیرش نهایی: ۹۱/۶/۳
صفحات: ۷۰-۴۹

**ندا کفاش چرندابی**: دانشجوی دکتری GIS دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی[۱]
Email: n_kaffash@yahoo.com
**علی اصغر آل شیخ**: دانشیار گروه GIS دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
Email: Alesheikh@kntu.ac.ir
**محمد کریمی**: استادیار گروه GIS دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
Email: mkarimi@kntu.ac.ir

## چکیده

**توسعه‌ی روزافزون فناوریهای کامپیوتری و تئوری‌های تصمیم‌گیری منجر به طراحی مدلهای نوین در حیطه‌ی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره شده است. روشهای فرارتبه‌ای نمونه‌ای از این مدلها می‌باشند که با الگوریتمی ساده، بدون نیاز به اطلاعات بیش از اندازه از سوی کارشناس به مدلسازی دقیق‌تر مسائل تصمیم‌گیری می‌پردازند. لیکن روشهای مذکور به تنهایی قادر به تحلیل مسائل چندمعیاره مکانی نمی‌باشند. ادغام روشهای فرارتبه‌ای با سیستم اطلاعات مکانی (GIS) پیشنهادی است که برای تحلیل بهتر و کارامد مسائل مکانی ارائه شده است. در این تحقیق کارایی روشهای مذکور برای مدلسازی میزان آسیب‌پذیری ناشی از بیماری مالاریا، مهمترین بیماری انگلی جهان و ایران، مورد بررسی قرار گرفت. بدین صورت که نقشه‌های پیوسته‌ی آسیب‌پذیری برای استان هرمزگان، به کمک روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II با معیارهای ارزیابی دما، رطوبت، فاصله از پوشش گیاهی، فاصله از آبهای راکد، تراکم جمعیت و ارتفاع تهیه گردیدند. سپس دقت نقشه‌های ترسیم شده به کمک شاخص Prevalence و موارد مثبت مالاریا در سال ۸۵ و ۸۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که نقشه‌های آسیب‌پذیری تولید شده به کمک روشهای ELECTRE و PROMETHEE به داده‌های واقعی نزدیکتر هستند و نسبت به روشهای متداول نظیر مجموع وزندار ساده (SAW) در حدود ۳۰ درصد دارای دقت بالاتری می‌باشند.**

**کلید واژگان:** بیماری مالاریا، روشهای فرارتبه‌ای، سیستم اطلاعات مکانی، مدلسازی مکانی، آسیب‌پذیری

---

[۱] . نویسنده مسئول: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، کدپستی: ۱۹۹۶۷-۱۵۴۳۳

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

**مقدمه**

بیماری مالاریا یکی از مهمترین مشکلات بهداشتی جهان می‌باشد که هرساله افراد زیادی در معرض ابتلا به آن قرار می‌گیرند و متأسفانه عده‌ی زیادی (به ویژه کودکان) در اثر این بیماری جان خود را از دست می‌دهند. علیرغم طرح‌ها و برنامه‌های فراوانی که از سوی تمامی کشورهای دنیا برای ریشه‌کنی این بیماری ارائه شده است، هنوز هم بیماری مالاریا به عنوان یکی از مهمترین نگرانی‌های سازمان بهداشت جهانی محسوب می‌شود (حاتمی، ۱۳۸۵، ۱۲۱۵-۱۲۱۶ و WHO, 2009).

در حال حاضر مالاریا مهم‌ترین بیماری انگلی کشور ایران نیز می‌باشد که انتقال محلی آن در جنوب و جنوب‌شرقی کشور گزارش می‌شود (WHO, 2009). در رخداد بیماری مالاریا فاکتورهای گوناگونی نظیر دما، رطوبت، پوشش گیاهی، آبهای سطحی، ارتفاع و جمعیت دخیل می‌باشند. لذا بررسی عوامل مؤثر و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در این بیماری دارای اهمیت فراوانی می‌باشد (آذرمهر، ۱۳۸۷ و احمدیان، ۱۳۸۶). چراکه با تعیین مناطق بحرانی بیماریها و بررسی نقشه‌های آسیب‌پذیری، شناخت کافی از وضع موجود منطقه حاصل می‌گردد و مدیران و برنامه‌ریزان حیطه بهداشت قادر خواهند شد که راهکارهای بهتر و اجرایی‌تری را برای کنترل و مدیریت بیماریها ارائه دهند.

تحقیقات گوناگونی در زمینه‌ی تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری مالاریا انجام شده است (آذرمهر، ۱۳۸۷، احمدیان، ۱۳۸۶، Brooker et al, 2006 و Manh et al, 2010 ). اما در اکثر مطالعات انجام شده، تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری از طریق روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی و یا به کمک روشهای متداول تصمیم‌گیری صورت گرفته است. این در حالیست که در سالهای اخیر گروه دیگری از روشها تحت عنوان روشهای فرارتبه‌ای (Outranking methods) ارائه شده‌اند که برمبنای مقایسات زوجی، بدون استفاده از اطلاعات بیش از اندازه، با کاربردی آسان به مدلسازی دقیق‌تر تصمیم‌گیری می‌پردازند (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶، ۶۰). لذا در این تحقیق، به دلیل ضرورت بررسی بیماری مالاریا، تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری به کمک دو روش پرکاربرد از خانواده‌ی روشهای فرارتبه‌ای (روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II) صورت گرفت.

روشهای ELECTRE[1] و PROMETHEE در طیف وسیعی از کاربردهای مختلف موجود در دنیای واقعی نظیر توریسم، مدیریت منابع آب، اولویت بخشی به کیفیت مراکز بهداشتی و

[1] . Elimination and Choice Translating Reality

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

درمانی، مکانیابی تسهیلات فاضلاب و آسیب‌پذیری حوزه‌های آبخیز با موفقیت به کارگرفته شده‌اند (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶، میرفخرالدینی و همکاران، ۱۳۹۰، Banias et al, 2010 و Huang et al, 2010 ). لیکن در زمینه‌ی مدلسازی آسیب‌پذیری ناشی از بیماریها و به ویژه بیماری مالاریا مطالعه‌ای صورت نگرفته یا ارائه نشده است.

علیرغم وجود مزایای فراوان در بهره‌گیری از روشهای فرارتبه‌ای برای تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری، فراوانی گزینه‌های موجود در تهیه نقشه مشکل ساز می‌باشد ( Joerin et al, 2001 , 164-165 و Marinoni, 2006, 70).

در مسائل مطرح در حوزه سیستم اطلاعات جغرافیایی و به طور اخص تهیه‌ی نقشه‌های پیوسته‌ی آسیب‌پذیری، در اکثر مواقع لایه‌ی رستری به عنوان ورودی بوده و هر پیکسل آن به عنوان یک گزینه مطرح می‌شود. در این حالت اجرای الگوریتم روشهای فرارتبه‌ای به‌سادگی امکانپذیز نیست. چراکه در این حالت تعداد گزینه‌ها بسیار زیاد بوده و انجام مقایسات زوجی نیازمند حافظه و قدرت پردازش بالا در کامپیوتر و صرف زمان زیادی می‌باشد. حتی در برخی مواقع به دلیل افزایش بسیار زیاد گزینه‌ها ناممکن می‌گردد (Joerin et al, 2001 ,164-165 و Marinoni, 2006, 71-72).

به دلیل توانمندی روشهای فرارتبه‌ای و ضرورت بهره‌گیری از آنها در GIS، بایستی این مشکل رفع شده و به عبارت بهتر تعداد گزینه‌ها کاهش یابد. برای رفع این مشکل تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است. Joerin و همکارانش (۲۰۰۱) برای کاهش تعداد گزینه‌ها به ادغام گزینه‌ها برمبنای ویژگی‌های توپولوژیکی و مکانی پرداختند. اما این راهکار منجر به کاهش اطلاعات و دقت مدلسازی می‌شود؛ چراکه به جای مقدار هر پیکسل مقدار بیشینه، کمینه یا متوسط مجموعه‌ای از پیکسلها مدنظر قرار می‌گیرد. Marinoni (۲۰۰۶) نیز با تکرار آنالیز PROMETHEE در چندین مرحله به کمک تیسن پلی‌گون‌ها (Thiessen Polygons) تعداد گزینه‌ها را کاهش داد. در نتیجه با افزایش تعداد تیسن پلی‌گون‌ها و تکرار آن نقشه‌ی دقیق‌تر نسبت به روش قبلی تولید شده و اطلاعات کمتری کاهش می‌یابد. همچنین در این تحقیق (Marinoni, 2006) پیشنهاد شده است که روند مذکور برای سایر روشهای فرارتبه‌ای نیز پیاده‌سازی شود.

راهکارهای دیگری نیز در این راستا ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به استفاده از روش ELECTRE Tri (Figueira et al, 2005) و انجام آنالیز برای نقاط محدود و سپس اجرای

[1]. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

درونیابی برای به دست آوردن نقشه پیوسته (Huang et al, 2010) اشاره کرد. لیکن به دلیل وابستگی فراوان روشهایی از این دست به تعیین تعداد کلاسها، حد بالا و پایین کلاس و دقت درونیابی استفاده از این روشها چندان توصیه نشده است.

با توجه به مطالب مذکور، در تحقیق حاضر در قالب یک فرآیند ترکیبی، نقشه‌های آسیب‌پذیری مالاریا برای استان هرمزگان تهیه گردیدند. بدین صورتکه پس از تعیین معیارهای ارزیابی مؤثر در بروز بیماری مالاریا، اوزان آنها توسط روش AHP ( Analytic hierarchy process) تعیین شد. سپس با استفاده از روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II و با بهره‌گیری از ترسیم تیسن‌پلی‌گونها حول نقاط تصادفی در یک پروسه‌ی تکراری نقشه‌های آسیب‌پذیری مالاریا با دقت مناسبی ترسیم گردیدند.

## مبانی نظری

### الف) روش AHP

در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره اهمیت معیارهای تصمیم‌سازی متفاوتند. لذا برآورد اوزان معیارهای مطرح در مسئله تصمیم‌گیری کاملاً ضروری می‌باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۳۰۷-۳۰۶). روش AHP یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین روشهای وزندهی می‌باشد که در این تحقیق نیز جهت برآورد اوزان معیارهای مسئله‌ی تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته است.

در این روش برای ایجاد یک ماتریس نسبت، به مقایسه دو به دو معیارها پرداخته می‌شود. مقایسات دو به دو به عنوان ورودی و وزن‌های نسبی به عنوان خروجی این روش مفروض می‌باشند (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۳۱۴ و Saaty, 1980). اوزان نسبی معیارها از تقسیم هریک از عناصر به مجموع ستون مربوطه و محاسبه‌ی میانگین عناصر هر سطر به دست می‌آیند. سپس نسبت سازگاری به کمک روابط (۱) و (۲) برآورد می‌شود (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۳۱۹-۳۱۴ و اصغرپور، ۱۳۸۸، ۳۰۶-۳۰۰).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \qquad (۱)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (۲)$$

که در آن n تعداد معیارها، $\lambda$ برابر میانگین ارزش بردار سازگاری، CI (Consistency Index) معادل شاخص سازگاری، CR (Consistency Ratio) بیانگر نسبت سازگاری و RI ( Random Index) معرف شاخص تصادفی که از یک ماتریس مقایسه دو به دو به صورت تصادفی ایجاد شده است، می‌باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۳۱۸-۳۱۷).

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

در صورتی‌که نسبت سازگاری کمتر از ۰,۱ باشد، سطح قابل قبولی از سازگاری در مقایسه دو به دو وجود دارد. در غیر اینصورت تصمیم‌گیرنده باید در قضاوت‌های خود تجدید نظر صورت دهد (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۳۱۸-۳۱۷).

**ب) روشهای فرارتبه‌ای**

روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multiple Criteria Decision Making) ابزارهایی توانمند در تحلیل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای مختلف و متعارض هستند. روشهای فرارتبه‌ای به عنوان شاخه‌ای از مدلهای MCDM به کمک تعریف روابط فرارتبه‌ای و برمبنای انجام مقایسات زوجی میان گزینه‌ها به مدلسازی دقیق‌تر و واقعی‌تر مسائل تصمیم‌گیری می‌پردازند. روابط فرارتبه‌ای خود شامل روابط برتری (Preference) اکید، برتری ضعیف، اختلافات جزئی (Indifference) و غیر قابل مقایسگی (Incomparable) می‌باشند که با تعیین حدآستانه‌های برتری (p)، اختلاف جزئی (q) و وتو (v) تعریف می‌شوند (Figueira et al, 2005).

روش ELECTRE I توسط Roy و تیم تحقیقاتیش برای انتخاب بهترین گزینه پیشنهاد شد (Roy and Vanderpooten, 1996). در سالهای بعد تغییر و تعدیل‌های چندی از این روش ارائه شده است که مهمترین آنها ELECTRE Iv (بهبود ELECTRE I با بهره‌گیری از حدآستانه‌ی وتو)، ELECTRE IS (برای مدلسازی مسائلی با داده‌های ناقص)، ELECTRE II (رتبه‌بندی گزینه‌ها با روابط برتری اکید و ضعیف)، ELECTRE III (رتبه‌بندی گزینه‌ها به کمک شبه معیارها (Pseudo criteria) و روابط فرارتبه‌ای فازی)، ELECTRE IV (رتبه‌بندی گزینه‌ها بدون نیاز به وزن معیارها) و ELECTRE TRI (برای اختصاص گزینه‌ها به کلاسهای از پیش تعریف شده) می‌باشد (Figueira et al, 2005, 134).

مدلهای گوناگونی از روش PROMETHEE برای بررسی مسائل تصمیم‌گیری ارائه شده است که از آن جمله می‌توان PROMETHEE I (برای رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها)، PROMETHEE II (برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها)، PROMETHEE III (برای رتبه‌بندی به کمک بازه‌ها)، PROMETHEE IV (برای حالات پیوسته)، PROMETHEE V (برای حل مسائل تصمیم-گیری با محدودیت‌ها) و PROMETHEE VI (با توسعه ابزار آنالیز حساسیت) اشاره کرد (Brans et al, 1984).

در این تحقیق از میان مدلهای گوناگون ELECTRE روش ELECTRE III به دلیل بهره‌گیری از شبه‌معیارها و مدلسازی دقیق تر مسائل دنیای واقعی انتخاب شد. روش

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

PROMETHEE II نیز به عنوان یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین روش خانواده روشهای PROMETHEE مورد استفاده قرار گرفت که امکان رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها را فراهم می‌سازد.

**روش PROMETHEE II**

روش PROMETHEE یکی از روشهای پشتیبان تصمیم‌گیری است (Brans et al, 1984)، که ضمن دارا بودن الگوریتمی ساده، نتایجی پایدار و قابل فهم ایجاد می‌کند (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶، ۶۰). مراحل اجرایی روش PROMETHEE II به اختصار عبارت است از (Figueira et al, 2005, 173-174):

الف : ساخت ماتریس تصمیم‌گیری؛ که از ارزیابی هریک از گزینه‌ها نسبت به تمامی معیارها در قالب یک ماتریس مطابق رابطه‌ی (۳) تعیین می‌شود.

$$\begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \\ \\ \end{matrix}\begin{bmatrix} g_1(a_1) & g_2(a_1) & \dots & g_k(a_1) \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ g_1(a_n) & \dots & \dots. & g_k(a_n) \end{bmatrix} \qquad (۳)$$
$$\begin{matrix} g_1(.) & g_2(.) & \dots. & g_k(.) \end{matrix}$$

در رابطه‌ی (۳) $A=\{a_1,a_2,...,a_n\}$ مجموعه متناهی ازگزینه‌ها و $\{g_1(.)g_2(.),..g_j(.),..g_k(.)\}$ مجموعه‌ی معیارهای ارزیابی می‌باشد.

ب : انتخاب تابع مطلوبیت $(F_j)$ از جدول ۱ و محاسبه مقدار $(P(a,b))$ برای تمامی زوج گزینه‌ها در قیاس با تمامی معیارها از روابط (۴) و (۵).

$$P_j(a,b)=F_j[d_j(a,b)] \quad ;\forall a,b\in A \qquad (۴)$$

$$\begin{cases} d_j(a,b)=g_j(a)-g_j(b) \\ 0\le P_j(a,b)\le 1 \end{cases} \qquad (۵)$$

شایان ذکر است که روابط فوق برای معیارهای سود، که نیاز به بیشینه نمودن آنها وجود دارد، می‌باشد. برای معیارهای هزینه که بایستی کمینه گردند، مقدار $d_j(a,b)$ در روابط فوق قرینه می‌شود.

پ :تعیین وزن معیارها $(\{w_j\ ;\ j=1,2,...,k\})$ با شرط $\sum_{j=1}^{k} w_j = 1$

ت: محاسبه درجه غلبگی $(\pi(a,b))$، میزان برتری گزینه‌ی a بر گزینه‌ی b در قیاس با تمامی معیارها، برای تمامی زوج گزینه‌های مسئله مطابق رابطه‌ی (۶)

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

$$\pi(a,b)=\sum_{j=1}^{k}P_j(a,b)w_j \qquad (۶)$$

ث : محاسبه جریان فرارتبه‌ای مثبت ( $\phi^+(a)$ ) و منفی ( $\phi^-(a)$ ) مطابق روابط (۷) و (۸)

$$\phi^+(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(a,x) \qquad (۷)$$

$$\phi^-(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \qquad (۸)$$

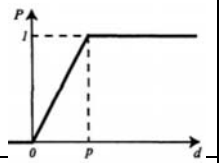
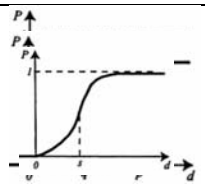
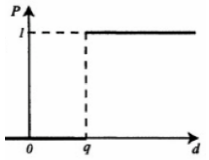
ج : محاسبه جریان فرارتبه‌ای مطابق رابطه‌ی (۹)

$$\phi(a)=\phi^+(a)-\phi^-(a) \qquad (۹)$$

چ : رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها مطابق دو شرط مذکور در رابطه‌ی (۱۰) و تعیین روابط برتری (p) و اختلافات جزئی (I)

$$\begin{cases} aP^{II}b & if \quad \phi(a)>\phi(b) \\ aI^{II}b & if \quad \phi(a)=\phi(b) \end{cases} \qquad (۱۰)$$

**جدول (۱) انواع معیارهای تعمیم یافته**

| نام و شکل | رابطه | نام و شکل | رابطه |
|---|---|---|---|
| نوع اول: معیار عادی  | $P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ 1 & d>0\end{cases}$ |  | $P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{1}{2} & q\le d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$ |
| نوع دوم: معیار u شکل  | $P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ 1 & d>q\end{cases}$ | نوع پنجم: معیار v شکل با ناحیه بی‌تفاوتی | $P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{d-q}{p-q} & q\le d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$ |
| نوع سوم: معیار v شکل | $P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ \frac{d}{p} & 0\le d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$ | نوع ششم: معیار گاوسی | $P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ 1-e^{\frac{-d^2}{2s^2}} & d>0\end{cases}$ |

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

البته بایستی توجه کرد که تابع مطلوبیت برای مقادیر منفی d صفر می‌باشد. همچنین در هر یک از توابع (جدول ۱) صفر، یک یا دو پارامتر بایستی تعریف شوند که در آن q حدآستانه‌ی بی‌تفاوتی، p حدآستانه‌ی برتری اکید و s یک مقدار ما بین p و q می‌باشد. حدآستانه‌ی اختلافات جزئی، بزرگترین اختلافی است که برای تصمیم‌گیر بی‌اهمیت است و حدآستانه‌ی برتری، کوچکترین اختلافی است که برای تخصیص برتری کامل بین دو گزینه کافی می‌باشد (Figueira and et al, 2005, 171).

**روش ELECTRE III**

روش ELECTRE III نیز برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و جهت حل مسائلی با داده‌های کم‌دقت یا مبهم طراحی شده است. در این روش شبه‌معیارها (معیارهای واقعی به همراه حدآستانه‌ها) به جای معیارهای واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مراحل این روش به اختصار عبارتند از (Figueira and et al, 2005, 145-146):

الف : محاسبه شاخص هماهنگی برای زوج گزینه a و b در تمام معیارها (رابطه‌ی ۱۱).

$$C(aSb)=\frac{1}{W}\sum_{j=1}^{n}w_j c_j(aSb) \qquad (11)$$

که در آن $W=\sum_{j=1}^{n}w_j$ (جمع اوزان) می‌باشد و $c_j(aSb)$ (شاخص هماهنگی برای زوج گزینه a و b در معیار j) نیز از رابطه‌ی (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$c_j(aSb)=\begin{cases}1 & if \quad A\\ \dfrac{p_j(g_j(a))+g_j(a)-g_j(b)}{p_j(g_j(a))-q_j(g_j(a))} & if \quad B\\ 0 & if \quad C\end{cases} \qquad (12)$$

که در آن $A=g_j(b)-g_j(a)\le q_j(g_j(a))$، $B=q_j(g_j(a))<g_j(b)-g_j(a)<p_j(g_j(a))$ و $C=g_j(b)-g_j(a)\ge p_j(g_j(a))$ است. این روابط برای معیارهای سود بوده و برای معیارهای هزینه، تفاضل g(a) و g(b) ها قرینه می‌شود.

ب : محاسبه مقدار شاخص ناهماهنگی (رابطه‌ی (۱۳))

$$d_j(aSb)=\begin{cases}1 & if \quad D\\ \dfrac{p_j(g_j(a))+g_j(a)-g_j(b)}{p_j(g_j(a))-v_j(g_j(a))} & if \quad E\\ 0 & if \quad F\end{cases} \qquad (13)$$

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

که در آن $D = g_j(b) - g_j(a) \geq v_j(g_j(a))$ ، $E = p_j(g_j(a)) < g_j(b) - g_j(a) < v_j(g_j(a))$ و $F = g_j(b) - g_j(a) \leq p_j(g_j(a))$ است. درصورتی که حدآستانه‌ی وتو تعریف نشود، شاخص ناهماهنگی مساوی صفر خواهد بود.

پ : محاسبه‌ی ماتریس درجه‌ی اعتبار رتبه‌بندی (رابطه‌ی (۱۴))

$$\rho(aSb) = \begin{cases} C(aSb) & if\ ;G \\ C(aSb) \times \prod_{j \in J: d_j(aSb) > C(aSb)} \frac{1 - d_j(aSb)}{1 - C(aSb)} & otherwise \end{cases} \qquad (۱۴)$$

که در آن $G = d_j(aSb) \leq C(aSb)$ است.

ت : رتبه‌بندی گزینه‌ها

برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در روش ELECTRE III انجام فرایند تقطیر (برای ایجاد پیش رتبه‌بندی نزولی و صعودی گزینه‌ها) و فرآیند تقاطع (برای به دست آوردن رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها به کمک اطلاعات به‌دست‌آمده از مراحل قبل) ضروری است. انجام این عمل منجر به تعیین روابط برتری، اختلافات جزئی و غیرقابل مقایسگی میان گزینه‌ها می‌شود که به رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها مشهور است (Figueira et al, 2005, 146). علیرغم اطلاعات کامل و مفیدی که چنین رتبه‌بندی در اختیار تصمیم‌گیر قرار می‌دهد، از آنجاییکه تحقیق حاضر نیازمند رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها برای اتخاذ تصمیم نهایی می‌باشد؛ از رتبه‌بندی گزینه‌ها به کمک ماتریس درجه‌ی اعتبار استفاده شد.

بدین‌صورت که صلاحیت هر گزینه به کمک تفاضل درجه‌ی اعتبار آن گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها و درجه‌ی اعتبار سایر گزینه‌ها نسبت به آن گزینه به دست آمد. به‌عبارت ساده‌تر جمع مقادیر ستون مربوط به گزینه از ماتریس درجه اعتبار از جمع مقادیر سطر مربوط به آن گزینه از ماتریس درجه اعتبار کم شد. در نهایت رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها به کمک صلاحیت به دست آمده برای هر گزینه انجام گشت (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۳۸۱-۳۷۸ و اصغرپور، ۱۳۸۸، ۲۹۰-۲۸۶).

## پیاده‌سازی

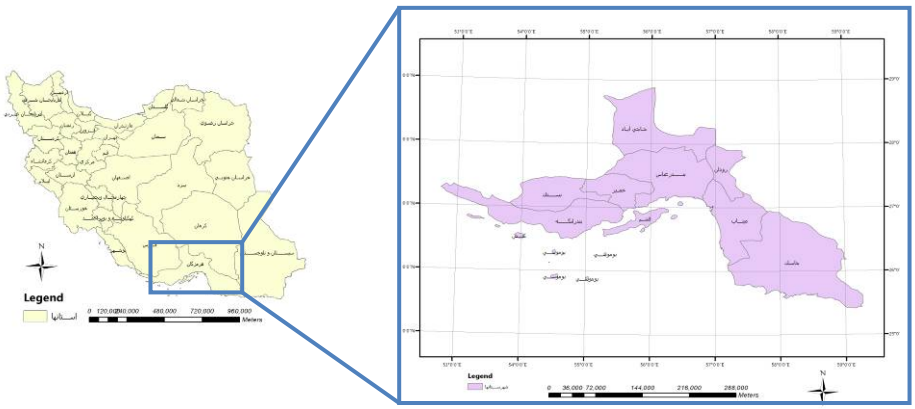
در این قسمت جزئیات مربوط به پیاده‌سازی مدل پیشنهادی تحقیق تشریح می‌گردد. بدین صورت که در ابتدا منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین و داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل، آماده شد. برای آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، آنالیزهای موجود در نرم افزار ArcGIS 9.3® مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه اوزان لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای روش AHP تعیین شد. سپس نقشه‌های آسیب‌پذیری برمبنای روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II تهیه گردید و

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

برای اینکار از برنامه‌نویسی در محیط Matlab® بهره گرفته شد. در نهایت نیز دقت نقشه‌های تهیه شده بر مبنای آمار موجود مالاریا مورد بررسی قرار گرفت.

## تعیین منطقه مطالعاتی

با توجه به اینکه سه استان هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان مطابق آمار بروز شده بیماری مالاریا در ۱۰ سال اخیر به عنوان مستعدترین مناطق برای شیوع بیماری مالاریا معرفی شده‌اند، در این تحقیق نیز استان هرمزگان برای بررسی انتخاب گردید. استان هرمزگان در جنوب کشور و بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. این استان حدود ۷۱ هزار کیلومتر مربع مساحت دارد. هرمزگان از جهت شمال و شمال‌شرقی با استان کرمان، غرب و شمال‌غربی با استان‌های فارس و بوشهر، از شرق با سیستان و بلوچستان همسایه بوده و جنوب آنرا آبهای گرم خلیج فارس و دریای عمان در نواری به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر در بر گرفته است. در این تحقیق، منطقه‌ی مورد مطالعه در سیستم مختصات UTM-WGS 1984 زون ۴۰ و با اندازه سلولهای ۱۰۰ متری مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱).




**شکل(۱) منطقه مورد مطالعه**

## آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در مدلسازی بیماری مالاریا

برای بررسی آسیب‌پذیری ناشی از مالاریا مطابق نظرات کارشناسان و با توجه به داده‌های موجود لایه‌های درجه‌ی حرارت، رطوبت، تراکم جمعیت، فاصله از آبهای راکد، فاصله از پوشش

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

گیاهی و ارتفاع مورد استفاده قرار گرفتند. لایه‌های مذکور به کمک داده‌های واقعی شامل داده‌های هواشناسی، نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه‌های تقسیمات کشوری و آمار مالاریا در سالهای گذشته تهیه شدند. سپس برای اینکه بازه‌های مختلف موجود در نقشه‌های معیار با یکدیگر قابل مقایسه شوند بر مبنای نظر کارشناسان مالاریا لایه‌ها طبقه‌بندی مجدد گردیدند (مطابق شکل ۲). به طوری که ارزش ۱۰ متعلق به مناطق مساعد برای بروز مالاریا می‌باشد.

**برآورد اوزان معیارها با AHP**

در این گام از تحقیق، اوزان لایه‌های اطلاعاتی به کمک روش AHP برآورد شد. مقایسات زوجی بین شش معیار مذکور برمبنای نظرات کارشناسان مالاریا مطابق جدول ۲ انجام گردید. با اجرای روش AHP بر روی مقایسات زوجی صورت گرفته توسط کارشناسان مالاریا، وزن معیارها محاسبه گردید. همچنین مقدار شاخص سازگاری در این حالت برابر ۰,۰۲۲۸ محاسبه شد که به دلیل کمتر بودن از مقدار ۰,۱ (حدآستانه شاخص سازگاری در روش AHP) قابل قبول می‌باشد. به عبارت ساده‌تر این مقدار حاکی از آن است که مقایسات زوجی صورت گرفته باهم سازگار بوده و اوزان به دست آمده قابل قبول می‌باشند.

**جدول (۲) مقایسه های زوجی معیارهای ارزیابی بر مبنای نظر کارشناسان مالاریا**

| معیارها | فاصله از آبهای راکد | فاصله از پوشش گیاهی | رطوبت | تراکم جمعیت | دما | ارتفاع | وزن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فاصله از آبهای راکد | ۱ | ۱ | ۰/۲ | ۲ | ۰/۱۶۷ | ۰/۲۵ | ۰,۰۶۳۵ |
| فاصله از پوشش گیاهی | ۱ | ۱ | ۰/۲۵ | ۲ | ۰/۲ | ۰/۳۳ | ۰,۰۶۹۹ |
| رطوبت | ۵ | ۴ | ۱ | ۵ | ۰/۵ | ۲ | ۰,۲۵۹۴ |
| تراکم جمعیت | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۱ | ۰/۱۶۷ | ۰/۲۵ | ۰,۰۴۴۸ |
| دما | ۶ | ۵ | ۲ | ۶ | ۱ | ۳ | ۰,۳۸۸۵ |
| ارتفاع | ۴ | ۳ | ۰/۵ | ۴ | ۰/۳۳ | ۱ | ۰,۱۷۳۹ |
| ۰,۱ > ۰,۰۲۲۸ = شاخص سازگاری | | | | | | | |

**تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری به کمک روشهای فرارتبه‌ای**

پس از تعیین معیارها، اوزان مربوط به آنها و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، فرآیند تلفیق نقشه‌های معیار به کمک روشهای فرارتبه‌ای مطابق روند نمای شکل ۳ صورت گرفت. با توجه به اینکه در تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری بایستی تمامی پیکسل‌های موجود بر روی نقشه منطقه‌ی مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرد، تعداد گزینه‌ها بسیار زیاد می‌باشد و با افزایش بسیار زیاد گزینه‌ها، کارایی اجرایی آنالیزهای فرارتبه‌ای کاهش می‌یابد. در نتیجه باید برای انجام

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

آنالیزهای فرارتبه‌ای تعداد گزینه‌ها کاهش یابند (Joerin et al, 2001, 164-165 و Marinoni, 2006, 70-72).

در این تحقیق برای تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری به کمک روشهای فرارتبه‌ای، در ابتدا n نقطه بطور تصادفی در نقاط مختلف منطقه مطالعاتی قرار گرفت. برای اینکه در انتهای کار قدرت تفکیک مکانی مناطقی که به لحاظ بروز بیماری بحرانی‌تر می‌باشند، بالاتر باشد؛ از آمار موجود در زمینه‌ی بیماری مالاریا استفاده شد و انتخاب محل تصادفی نقاط مقید گردید. بدین ترتیب که اکثر نقاط، در مناطقی که آمار شیوع بیماری مالاریا زیاد می‌باشد، قرار گرفت.

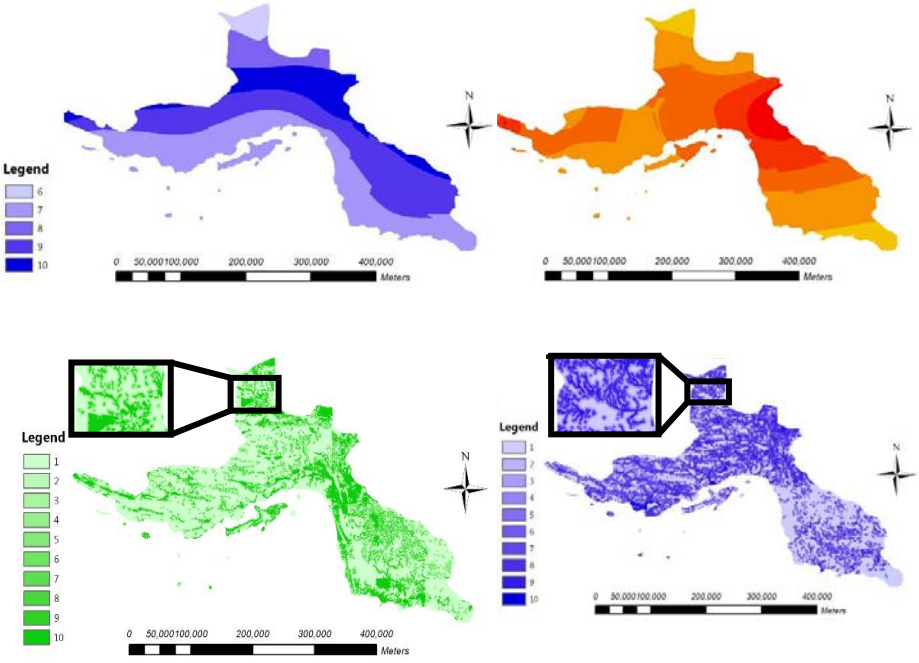
با این عمل تعداد نقاط انتخابی در مناطق بحرانی مالاریا بیشتر بوده و گزینه‌های مکانی بیشتری از این مناطق وارد آنالیزهای فرارتبه‌ای می‌شود. در نتیجه قدرت تفکیک مکانی نقشه‌ی نهایی در این مناطق بیشتر خواهد شد.

پس از جانمایی نقاط تصادفی بر روی نقشه‌ی منطقه‌ی مطالعاتی، حول نقاط انتخاب شده تیسن پلی‌گونها ترسیم شدند تا تعداد فراوان پیکسلها که به منزله‌ی گزینه‌های مکانی بودند، کاهش یافته و هریک از تیسن پلی‌گونها به عنوان یک گزینه مکانی (n گزینه) فرض شوند. برای تقسیم‌بندی منطقه از روشهای دیگری نظیر استفاده از گریدبندی منظم، تقسیم‌بندی برمبنای ویژگی‌های توپولوژیکی نیز می‌توان استفاده کرد. در این تحقیق تقسیم‌بندی با تیسن پلی‌گونها به دلیل سادگی و متداول بودن در آنالیزهای مکانی انتخاب شد.

ارزش این پلی‌گونها نیز برابر میانگین ارزش پیکسل‌های موجود در آن ناحیه می‌باشد. سپس n گزینه‌ی تشکیل یافته و k معیار معین شده وارد روشهای فرارتبه‌ای شدند. در این تحقیق، پس از بررسی منطقه و تعیین نقاط بحرانی شیوع مالاریا ۳۰۰ نقطه به صورت تصادفی (با شرط قرارگیری ۱۰۰ نقطه در قسمت شرقی استان) در روی منطقه مطالعاتی قرار گرفتند و تعداد تکرارها برابر ۳۰ بار انتخاب شدند. به عبارت ساده‌تر در هر تکرار، برمبنای نقشه‌های معیار و محل گزینه‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری با ابعاد ۶×۳۰۰ وارد آنالیز روشهای فرارتبه‌ای می‌شود و رتبه‌بندی برای ۳۰۰ گزینه انجام می‌شود. مراحل اجرایی هر دو روش ELECTRE III و PROMETHEE II در شکل ۳ آورده شده است.

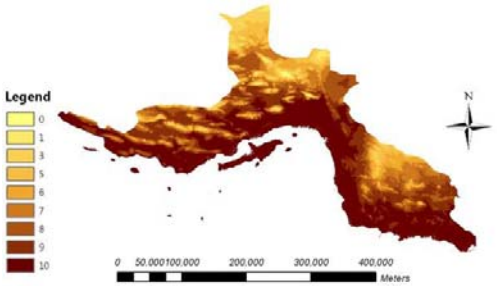
به دلیل حجم زیاد محاسبات، روند اجرایی به طور نمونه برای سه گزینه‌ی ۱، ۱۵۲ و ۲۹۵ ارائه گردید (شکل ۴). سپس مشابه روند مذکور، رتبه‌بندی تمام گزینه‌ها (۳۰۰ گزینه)، به کمک روشهای PROMETHEE II و ELECTRE III انجام شد.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]




ج: فاصله از آبهای راکد

د: فاصله از پوشش گیاهی

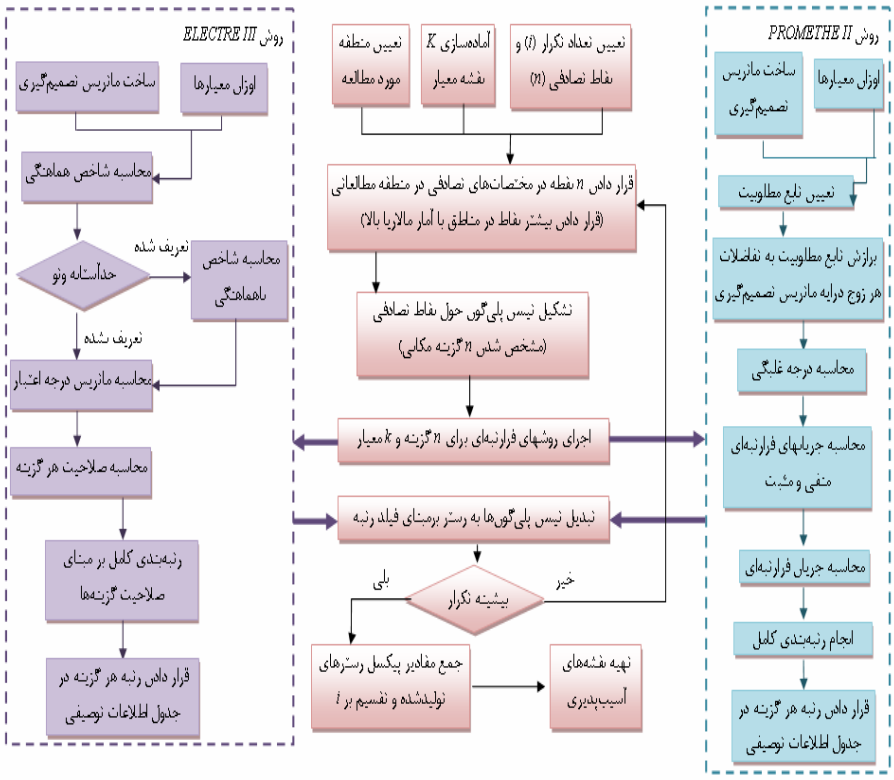



ه: تراکم جمعیت

ی: ارتفاع

**شکل (۲)معیار ارزیابی استان هرمزگان بعد از طبقه‌بندی مجدد**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]



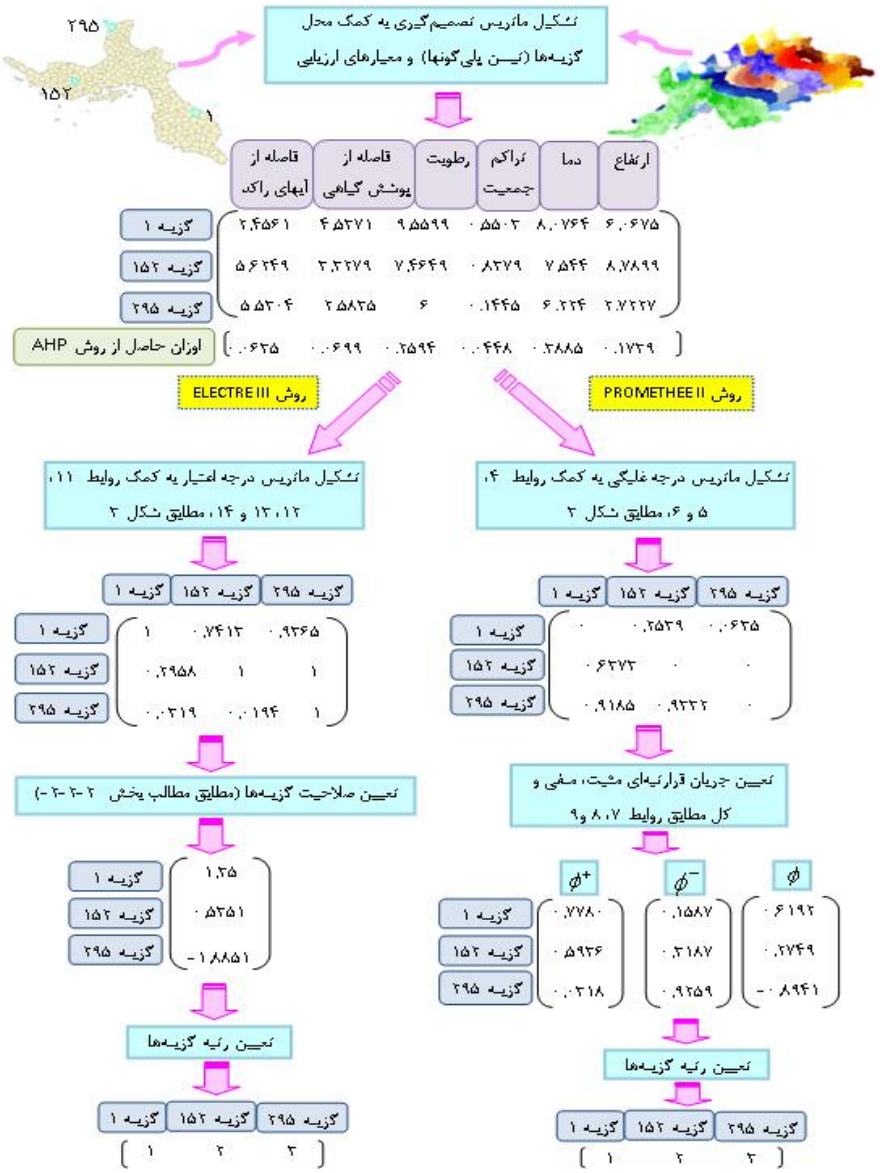

**شکل (۳) روند نمای مراحل اجرایی تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری به کمک روشهای فرارتبه‌ای**

پس از به‌دست آمدن رتبه‌ی هر گزینه، عدد رتبه‌ی هر گزینه در جدول اطلاعات توصیفی تیسن پلی‌گونها ذخیره شد. سپس تیسن پلی‌گونها بر مبنای فیلد رتبه تبدیل به رستر شدند. مراحل مذکور تا رسیدن به بیشینه تکرار، انجام گردید و در هر مرحله یک رستر حاوی رتبه‌ی مناطق ۳۰۰ گانه تولید شد. با رسیدن به بیشینه تکرار، میانگین مقادیر رسترهای تولید شده، محاسبه گردید (مطابق شکل ۵-الف و ۵-ب).

سپس رستر تولید شده به نحوی نرمال‌سازی می‌شود که مناطق آسیب‌پذیر عددی نزدیک به یک و مناطق ایمن عددی نزدیک به صفر داشته باشند. برای تبدیل نقشه‌ی رتبه‌بندی سلولها به نقشه‌ی آسیب‌پذیری کافی است از یک تبدیل ساده نظیر رابطه‌ی (۱۵) استفاده شود. در این فرمول $v_i$ میزان آسیب‌پذیری هر پیکسل، $r_i$ عدد رتبه‌ی هر پیکسل و $r_{\max}$ بالاترین رتبه‌ی اختصاص یافته به پیکسل ها است.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

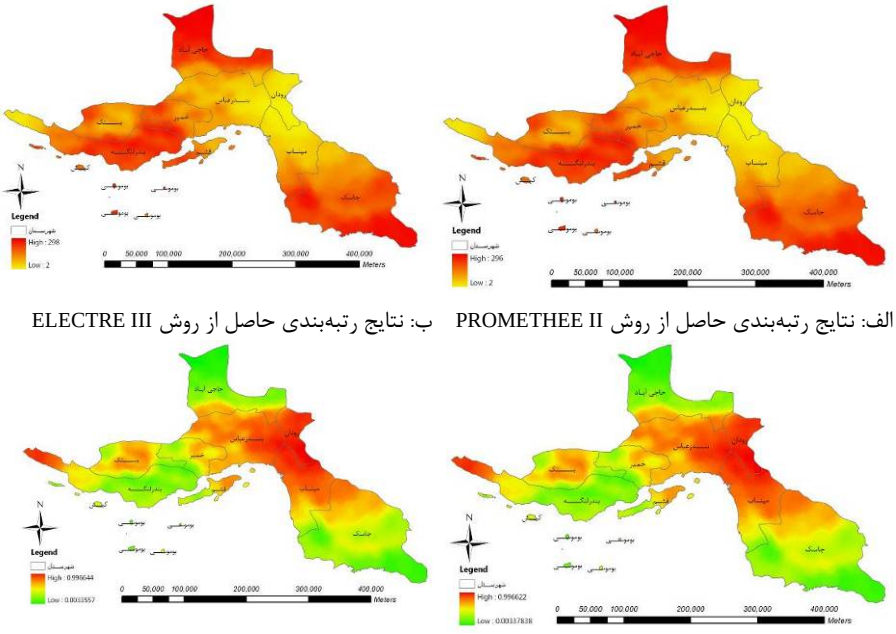
$$v_i = \frac{r_{\max} - r_i + 1}{r_{\max}} \qquad (۱۵)$$




**شکل (۴)محاسبات روش ELECTRE III و PROMETHEE II در تیسن پلی‌گون اول**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

رستر نهایی، نقشه آسیب‌پذیری تولید شده به کمک روشهای فرارتبه‌ای می‌باشد که برای دو روش PROMETHEE II و ELECTRE III به‌طور جداگانه ترسیم شده است (شکل ۵-ج و ۵-د).




الف: نتایج رتبه‌بندی حاصل از روش PROMETHEE II ب: نتایج رتبه‌بندی حاصل از روش ELECTRE III

ج: آسیب‌پذیری حاصل از روش PROMETHEE II د: آسیب‌پذیری حاصل از روش ELECTRE III

**شکل (۵) نمایش نتایج رتبه‌بندی و محاسبه آسیب‌پذیری برای استان هرمزگان با روشهای فرارتبه**

## بررسی دقت نقشه‌های آسیب‌پذیری

در این گام از تحقیق دقت نقشه‌های آسیب‌پذیری حاصله از روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا برای اینکه بتوان با دید وسیع‌تری به بررسی و مقایسه روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II پرداخت، نقشه‌ی آسیب‌پذیری به کمک روش SAW (Simple Additive Weighting) برای شش معیار دما، رطوبت، ارتفاع، تراکم جمعیت، فاصله از آبهای راکد و فاصله از پوشش گیاهی برمبنای اوزان بدست آمده تهیه شد. این نقشه از مجموع حاصلضرب‌های معیارها در اوزان مربوطه حاصل گردید. نقشه‌ی به دست آمده در شکل ۶-الف ارائه شده است.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

سپس برای مقایسه‌ی دقت نقشه‌های تهیه شده، از آمار مالاریا در سالهای اخیر و شاخص‌های ارزیابی دقت استفاده شد. برای این منظور سه شاخص Prevalence، API و Incidence تعریف شده است که به ترتیب آمار بیماری در چند سال، یک سال و چند ماه را مورد بررسی قرارمی‌دهد (احمدیان، ۱۳۸۶). به دلیل اینکه داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مربوط به سالهای ۸۵ و ۸۶ می‌باشد، شاخص Prevalence برای ارزیابی نقشه‌های تولید شده انتخاب گردید که از رابطه‌ی (۱۶) محاسبه می‌شود (احمدیان، ۱۳۸۶).

$$\Pr evalence = \frac{N}{P_{years}} \times 1000 \qquad (۱۶)$$

در رابطه‌ی فوق، N مجموع موارد مثبت مالاریا در سالهای ۸۵ و ۸۶ و $P_{years}$ متوسط جمعیت در آن سالها می‌باشد.

برای اینکه نقشه‌های به دست آمده از روشهای ELECTRE III، PROMETHEE II و SAW با شاخص Prevalence قابل مقایسه شود، با توجه به منطقه‌بندی موجود در نقشه شاخص Prevalence، سه نقشه‌ی آسیب‌پذیری مذکور منطقه‌بندی مجدد شدند و میانگین ارزش پیکسل‌های موجود در هر ناحیه محاسبه گردید. سپس برای مقایسه‌ی بهتر نقشه‌های به‌دست آمده با اعداد مربوط به شاخص Prevalence تلفیق شدند. نتایج به فرم اشکال ۶-ب، ۶-ج و ۶-د ارائه شده است. بازه‌های عددی هریک از نقشه‌های حاصل از روشهای ELECTRE III، PROMETHEE II و SAW با یکدیگر و با نقشه‌ی شاخص Prevalence متفاوت می‌باشد. به همین دلیل برای مقایسه‌ی بهتر آنها، نقشه‌های مذکور در بازه‌ی [۰,۱] نرمال شدند.

نتایج بررسی و مقایسات حاکی از آن است که در شهرستانهای میناب، رودان و بندرعباس نتایج سه روش بر شاخص Prevalence کاملاً منطبق می‌باشند. اما در شهرستانهای جاسک و بستک نتایج این سه روش با شاخص Prevalence همخوانی کاملی ندارد.

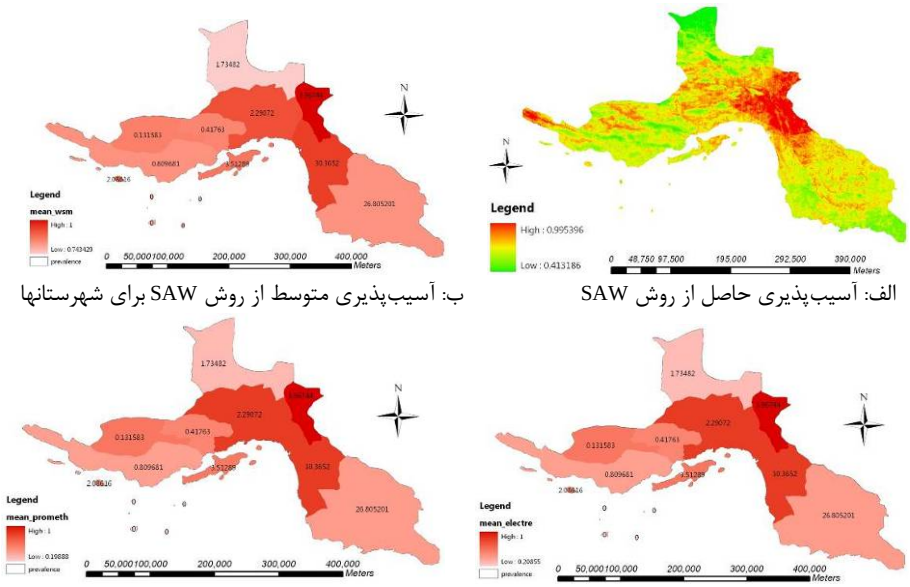
در نتیجه، اختلاف موجود در میان نتایج سه روش مذکور در سایر شهرستانها نمایان شد. بدین ترتیب که در شهرستانهای کیش، حاجی‌آباد و ابوموسی نتایج به دست آمده از روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II سازگاری بیشتری با شاخص Prevalence داشته و در شهرستان قشم نیز روش ELECTRE III بر این شاخص منطبق می‌باشد. لیکن تنها در شهرستان بندرلنگه نتایج به دست آمده از روش SAW بهتر از نتایج روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II می‌باشد (جدول ۳).

در یک قیاس نسبی، از ده شهرستان موجود در استان هرمزگان، در هفت شهرستان روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II و در چهار شهرستان روش SAW همخوانی بیشتری با

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

شاخص Prevalence دارند. بنابراین می‌توان اذعان کرد که روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II (و به ویژه روش ELECTRE III) در مقایسه با روش SAW سازگاری بیشتری با شاخص Prevalence داشته و لذا دارای دقت بالاتری می‌باشند.

شایان ذکر است که با توجه به داده‌های موجود، بررسی دقت برمبنای مقادیر متوسط و مقایسه‌ی روشها در حالت نسبی صورت گرفت. لذا با داشتن داده‌های دقیق شاخص Prevalence برای تک‌تک نواحی (روستاها) امکان مقایسه‌ی بهتر فراهم شده و کارایی روشهای فرارتبه‌ای بهتر آشکار می‌گردد.




الف: آسیب‌پذیری حاصل از روش SAW ب: آسیب‌پذیری متوسط از روش SAW برای شهرستانها

ج: آسیب‌پذیری متوسط از روش ELECTRE III د: آسیب‌پذیری متوسط از روش PROMETHEE II

**شکل (۶)نمایش آسیب‌پذیری متوسط به همراه شاخص Prevalence در شهرستانهای استان هرمزگان**

**جدول (۳) مقایسه نتایج حاصل از روشهای ELECTRE III، PROMETHEE II و SAW با شاخص Prevalence**

| روش / شهرستان | ELECTRE III | PROMETHEE II | SAW | روش / شهرستان | ELECTRE III | PROMETHEE II | SAW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ابوموسی | ✓ | ✓ | | حاجی‌آباد | ✓ | ✓ | |
| بندرعباس | ✓ | ✓ | ✓ | رودان | ✓ | ✓ | ✓ |
| بستک | | | | قشم | ✓ | | |
| بندرلنگه | | | ✓ | کیش | ✓ | ✓ | |
| جاسک | | | | میناب | ✓ | ✓ | ✓ |

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

## نتیجه‌گیری

در حوزه‌ی بهداشت از تحقیقات علوم جغرافیایی، جهت اتخاذ تصمیمات صحیح و ارائه‌ی راهکارهای عملی، بایستی وضع موجود منطقه از منظر بروز و شیوع بیماریها مورد بررسی قرار گیرد. یکی از ابزارهای توانمند جهت شناسایی وضع موجود منطقه، نقشه‌ی آسیب‌پذیری می‌باشد. تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری بیماریها با فراهم آوردن امکان تعیین مناطق بحرانی در رخداد بیماریها، به یاری مدیران و برنامه‌ریزان حیطه سلامت می‌شتابد.

در تحقیق حاضر، آسیب‌پذیری ناشی از بیماری مالاریا برمبنای شش معیار پر اهمیت دما، رطوبت، ارتفاع، تراکم جمعیت، فاصله از پوشش گیاهی و فاصله از آبهای راکد در استان هرمزگان مورد بررسی قرار گرفته است. برای اینکار GIS و مدلهای تصمیم‌گیری چندمعیاره به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفتند. از بین روشهای مختلف تصمیم‌گیری نیز روش AHP برای وزندهی به معیارها و روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II جهت تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری انتخاب شدند. دلیل انتخابهای صورت گرفته، سادگی و تداول استفاده از روش AHP در وزندهی و دقت بالا برای مدلسازی پدیده‌های واقعی، سادگی الگوریتم و نیازمندی به اطلاعات اندک از سوی تصمیم‌گیر در روشهای فرارتبه‌ای برای برآورد آسیب‌پذیری می‌باشد. نتایج حاصل از نقشه‌های آسیب‌پذیری در این تحقیق، حاکی از وجود احتمال آلودگی بالا در شهرستانهای میناب، رودان، بندرعباس، شمال شهرستان جاسک و غرب شهرستان بندرلنگه می‌باشد. همچنین بررسی‌های صورت گرفته در زمینه‌ی دقت روشهای مورد استفاده در تحقیق حاضر مؤید برتری نسبی روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II (در حدود ۳۰ درصد) نسبت به روشهای معمول می‌باشد. به بیان دیگر، در تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری نتایج دو روش مذکور تقریباً یکسان بوده و نسبت به روشهای دیگر نظیر روش SAW به داده‌های واقعی تشابه بیشتری دارند.

چهارچوب ارائه شده در تحقیق حاضر برای تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری مالاریا از جنبه‌های گوناگونی قابل توسعه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه ترکیب روشهای فرارتبه‌ای با اتوماتای سلولی برای مدلسازی نحوه‌ی انتشار بیماری مالاریا می‌باشد که در حال حاضر توسط نگارندگان در حال بررسی می‌باشد. سایر پیشنهادات برای انجام کارهای آتی در این زمینه می‌تواند شامل استفاده از داده‌های دقیق به جای داده‌های متوسط در بررسی دقت، افزودن سایر معیارهای ارزیابی نظیر جنس خاک و تأثیر سازه‌های دست بشر و تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری به کمک سایر مدلهای تصمیم‌گیری نظیر روشهای TOPSIS و VIKOR

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

و مقایسه‌ی دقت روشهای مختلف باشد. همچنین جهت کاهش تعداد گزینه‌های ورودی به روشهای فرارتبه‌ای می‌توان از رویکردهای ترکیبی نظیر شناسایی نقاط بحرانی در یک جستجوی جامع توسط الگوریتم ژنتیک و انجام بررسیهای دقیق‌تر به کمک روش PROMETHEE استفاده کرد.

## منابع و مأخذ


۱. احمدیان مرج، ابوالفضل (۱۳۸۶) **ارائه الگوریتم مناسب جهت تعیین مناطق با پتانسیل شیوع مالاریا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۲. آذرمهر، محمد رضا (۱۳۸۷) **برنامه‌ریزی کنترل بیماری‌ها با استفاده از تحلیل‌های مکانی**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۳. اصغرپور، محمد جواد (۱۳۸۸) **تصمیم‌گیری چندمعیاره**، انتشارات دانشگاه تهران.

۴. اصغری‌زاده، عزت‌الله.، نصراللهی، مهدی (۱۳۸۶) **رتبه‌بندی شرکتها براساس معیارهای مدل سرآمدی-روش PROMETHEE**، فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، دوره ۱۱، شماره ۳، ۵۹ تا ۸۴.

۵. حاتمی، حسین (۱۳۸۵) **اپیدمیولوژی و کنترل مالاریا**. کتاب جامع بهداشت عمومی، جلد دوم، چاپ دوم، فصل نهم، گفتار ۹.

۶.رئیسی، احمد.، نیک‌پور، فاطمه.، رنجبر کهخا، منصور.، فرجی، لیلا (۱۳۸۸) **روند بیماری مالاریا در جمهوری اسلامی طی سالهای ۸۶-۸۱**، مجله علمی پژوهشی حکیم، دوره دوازدهم، شماره اول، ۴۱-۳۵.

۷. مالچفسکی، یاچک.، ترجمه پرهیزگار، اکبر. و غفاری گیلانده، عطا (۱۳۸۵) **سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری**، انتشارات سمت.

۸. میرفخرالدینی، حیدر.، فرید، داریوش.، طحاری مهرجردی، محمد حسین.، زارعی محمود آبادی، محمد (۱۳۹۰) **شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهبود کیفیت خدمات بهداشتی و درمانی با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) (مطالعه موردی: مراکز بهداشتی و درمانی شهرستان یزد)**، نشریه مدیریت سلامت، (۴۳) ۱۴، ۶۲-۵۱.


[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

Banias, Georgios., Achillas, Charisios., Vlachokostas, Christos., Moussiopoulos, Nicolas., Tarsenis, Sokratis. (2010) ***Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility***. Building and Environment; 45, 2317-2326.

Brans, Jean Pierre., Mareschal, Bertrand., and Vincke, Philippe. (1984) ***PROMETHEE: A new family of outranking methods in multi criteria analysis***. In Proceedings of Operational Research; 84 (Amsterdam: Elsevier Science Publishers), 408–421.

Brooker, Simon., Clements, Archie CA., Hotez, Peter J., Hay, Simon I., Tatem, Andrew J., Bundy, Donald AP., Snow, Robert W. (2006) ***The co-distribution of Plasmodium falciparum and hookworm among African school children***; http://www.malariajournal.com/content/5/1/99.

Figueira, José., Greco, Salvatore., Ehrgott, Matthias. (2005) ***Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys***, Springer eBook,; ISBN: 0-387-23081-5.

Huang, Pi-Hui., Tsai, Jing-Shyan., Lin, Wen-Tzu. (2010) ***Using multiple-criteria decision-making techniques for eco-environmental vulnerability assessment: a case study on the Chi-Jia-Wan Stream watershed, Taiwan***, Environ Monit Assess; 168, 141–158.

Joerin, FLORENT., Thériault, Marius., Musy, André. (2001) ***Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment***. International Journal of Geographical Information Science, 15, 153–174.

Manh, Bui H., Clements, Archie C.A., Thieu, Nguyen Q., Hung, Nguyen M., Hung, Le X., Hay, Simon I., Hien, Tran T., Wertheim, Heiman F.L., Snow, Robert W., Horby, Peter. (2010) ***Social and environmental determinants of malaria in space and time in Viet Nam***. International Journal for Parasitology; ARTICLE IN PRESS.

Marinoni, Oswald. (2006) ***A discussion on the computational limitations of outranking methods for land-use suitability***

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]

***assessment***. International Journal of Geographical Information Science, 2006, 20 (1), 69–87.

Roy, Bernard., Vanderpooten, Daniel. (1996) ***The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works***. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis; 5(l), 22–37.

Saaty, Thomas L. (1980) ***The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting***, Resource Allocation; McGraw-Hill, New York, NY.

WHO, World Health Report, (2009) Available at: http://www.WHO.int.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-13 ]