فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۳، تابستان ۹۹

رویکردی جدید به ارزیابی غیردقیق و محیط‌های تصمیم‌گیری (NAIADE)

فائزه هدایتی‌راد[۱] *

f.hedayati.rad@gmail.com

عبدالرسول سلمان‌ماهینی[۲]

سیدحامد میرکریمی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۰۳ **تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۷**

چکیده:

رویکردی جدید به ارزیابی غیردقیق و محیط‌های تصمیم‌گیری، یک روش ارزیابی چندمعیاره نوین است که بر اساس مجموعه‌ای از معیارها به مقایسه گزینه‌های مدنظر می‌پردازد. با استفاده از این روش می‌توان از انواع مختلف اطلاعات مبهم و غیرقطعی استفاده کرد. مقادیری که به هر معیار برای گزینه‌های مدنظر اختصاص داده می‌شود، ممکن است به شکل اعداد خشک، تصادفی، فازی یا متغیرهای زبانی بیان شوند. روش NAIADE[۴] از روش قدیمی وزن‌دهی معیارها استفاده نمی‌کند بلکه با استفاده از روش مقایسه زوجی، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. امکان انجام دو نوع ارزیابی در NAIADE وجود دارد. نوع اول ارزیابی بر اساس ارزش مقادیر اختصاص داده شده به معیارهای هر یک از گزینه‌ها است که این کار را با استفاده از ماتریس اثرات انجام می‌دهد (گزینه‌ها در مقابل معیارها). نوع دوم ارزیابی، تجزیه و تحلیل‌های برابری میان گروه‌های مختلف ذی‌نفع و امکان تشکیل ائتلاف با توجه به گزینه‌های ارائه شده است. روش NAIADE به‌عنوان رویکردی پرکاربرد و کارآمد در پژوهش‌های مختلف مدیریتی و محیط‌زیستی در جهان مطرح شده است، اما متاسفانه تاکنون کاربرد و استفاده‌ی چندانی در این زمینه در ایران نداشته است. بنابراین، هدف از مقاله حاضر معرفی روش NAIADE، به عنوان گامی در جهت افزایش آگاهی و دانش در سطوح مختلف جامعه، مسئولین و تصمیم‌گیران و نیز بهبود کیفیت محیط‌زیست است.

کلید واژه: ارزیابی چندمعیاره، NAIADE ، تصمیم‌گیری، عدم‌قطعی

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲ - استاد،گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

4- **N**ovel **A**pproach to **I**mprecise **A**ssessment and **D**ecision **E**nvironments

Human and Environment, No. 53, Summer 2020

Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments (NAIADE)

Faezeh Hedayati-Rad*[1]
f.hedayati.rad@gmail.com
Abdolrassoul Salmanmhiny[2]
Seyed Hamed Mirkarimi[3]

Abstract

NAIADE (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments) is a new multi criteria evaluation method which performs the comparison of alternatives on the basis of a set of criteria. It allows the use of information with different types and degrees of uncertainty. The values assigned to the criteria for each alternative may be expressed in the form of crisp, stochastic, fuzzy numbers or linguistic expressions. NAIADE does not use traditional weighting of criteria, rather it applies a pairwise comparison technique, and generates a ranking of alternatives (e.g. problem formulation). NAIADE allows for two types of evaluations. The first is based on the score assigned to the criteria of each alternative using an *impact matrix* (alternatives vs. criteria). The second analyses conflict among the different interest groups and the possible formation of coalitions according to the proposed alternatives (equity matrix: linguistic evaluation of alternatives by each group). NAIADE is considered as an efficient technique in various managerial investigations and environmental studies and has been utilized frequently in recent years. Unfortunately, there is no report on this method in Iran; therefore, the current study aimed to evaluate and introduce the method in Iran. It is hoped that the method acts as a step towards elevating the awareness and knowledge in different levels of society, authorities, and executives as well as improving quality of the environment.

Keywords: Multi criteria Evaluation, NAIADE, Decision, Uncertainty

1- MSc in Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
2- Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
3- Assistant Professor, , Department of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

مقدمه:

در دهه‌های اخیر، ضمن توسعه دانش در خصوص طبیعت و اجزاء و واکنش‌های آن‌ها به انواع تغییرات انسانی، انواعی از خطا در اندازه-گیری‌های افراد و متخصصان، روش‌های اندازه‌گیری، ابزارهای مورد استفاده و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری وجود دارد. به این خطاها، باید احتمال نقص دانش بشر از طبیعت، تغییرات ناگهانی و پیش‌بینی نشده و تغییرات تدریجی و دائمی از طبیعت را افزود. در این حالت، ضروری است که تصمیم‌گیری‌های صریح و کاملا قطعی جای خود را به تصمیم‌گیری‌های نسبی و همخوان با خطاهای یاد شده بدهد. هم-چنین، افراد و گروه‌ها در تصمیم‌گیری‌ها و ارزش‌گذاری‌های خود با هم تفاوت دارند و نیاز به روشی است که بتوان این تفاوت‌ها را به رسمیت شمرد و در فرایند تصمیم‌گیری وارد نمود (۱). رویکردی جدید به ارزیابی غیردقیق و محیط‌های تصمیم‌گیری (NAIADE) با توجه به انعطاف‌پذیری و کاربرد بالای آن، به‌ویژه در موقعیت‌های عدم‌قطعیت به‌عنوان رویکردی پرکاربرد و کارآمد در پژوهش‌های مختلف مدیریتی و محیط‌زیستی در جهان مطرح شده است، اما متاسفانه تاکنون مطالعاتی در این زمینه در ایران انجام نشده است. استفاده از این روش در ترکیب چند معیاره، تناسب و اثربخشی آن را در زمینه‌های مختلف تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. نمونه-هایی از این ترکیب را می‌توان در مطالعه موردی فونتوویز[1] و همکاران (۲)، مارچی[2] و همکاران (۳) برای مدیریت آب در شهرداری تروینا[3]، سیسیل[4] و پیداکردن جایگزین‌هایی برای توسعه در نزدیکی منطقه اطراف پارک ملی پیرنه که به دلیل قرار گرفتن در مسیر خطوط هوایی در معرض خطر بودند یافت (۴ و ۵). مارتی[5] و همکاران نیز در سال ۲۰۰۰ گزینه‌هایی را برای توسعه گردشگری در منطقه بافر پارک ملی ایگستورتس[6] در اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه نیز هشت گزینه با سیزده معیار از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی با استفاده از روشNAIADE مورد بررسی قرار گرفت (۶). از دیگر کاربردهای این رویکرد، ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی برق‌رسانی یک منطقه روستایی در ذخیره‌گاه زیست‌کره مونتسنی[7] نزدیک بارسلونا است (۷). یک پایان‌نامه دکتری با استفاده از ارزیابی چندمعیاره و به ویژه NAIADE در کلمبیا نشان داد که ممکن است در نظر گرفتن گزینه‌هایی که باید در ماتریس ارزیابی چندمعیاره [8] در سطح ملی یا منطقه‌ای باشند (مانند اکوتوریسم) در شرایط جنگ میسر نباشد به طوری که ارزیابی نهایی گزینه-های پیشنهادی فعالیت، ممکن است وابسته به عوامل سازمانی و اجتماعی باشد که فراتر از مرز مشکلات و مسائل در نظرگرفته شده با ارزیابی چندمعیاره است (۸). در سال ۲۰۰۶ مورال[9] و همکاران از این روش برای مدیریت و بهبود تامین آب در اسپانیا استفاده کردند. در این مطالعه هشت گزینه سیاسی با یازده معیار از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر رتبه‌بندی گزینه‌ها با پر کردن ماتریس گروه در NAIADE میزان ائتلاف بین گروه‌های ذی‌نفع در این مطالعه مشخص شد (۹). استراتیجا[10] و پپدوپولو[11] در سال ۲۰۰۸ به منظور توسعه مجتمع‌های کشاورزی در منطقه هراکلین[12] واقع در جزیره ای در یونان و حل تعارضات موجود در این منطقه از روش NAIADE استفاده کردند. این منطقه دارای منابع طبیعی و فرهنگی با ارزش است. برای بررسی این هدف سه سناریوی مختلف و ۱۰ معیار برای ارزیابی این سناریو در نظر گرفته شد. ارزش‌های هر معیار به صورت کیفی در ماتریس اثرات نرم افزار NAIADE وارد و رتبه‌بندی سناریوها انجام شد. نتایج نشان داد که تعداد قابل توجهی از گروه‌های ذی‌نفع مورد بررسی با رتبه-

1- Funtowicz
2- De Marchi
3- Troina
4- Sicily
5- Martí
6- Aigüestortes
7- El Montseny
8- Multi Criteria Analysis
9- Moral
10- Stratigea
11- Papadopoulou
12- Herakleion

بندی سناریوهای NAIADE اتفاق نظر دارند (۱۰). یک پایان-نامه دکتری دیگر با کمک NAIADE راه‌حل‌هایی برای مدیریت سیستم‌های زهکشی رواناب در منطقه‌ی وسستن[1] گوتنبرگ پیشنهاد می‌کند. در این پژوهش چهار سیستم مختلف که شامل سیستم زه‌کشی ترکیبی موجود (مخلوط کردن جزیی رواناب و آب و فاضلاب)، جدا کردن رواناب، جدا کردن رواناب بعد از طبقه-بندی میزان آلودگی آن‌ها و سیستم زه‌کشی ترکیبی با جدا کردن آب سیاه و سفید مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هم‌چنین این گزینه-ها توسط هشت گروه از مقامات شرکت‌کننده محلی و منطقه‌ای با توجه به پنج معیار اثرات محیط‌زیستی، خطرات بهداشتی، مخاطرات ذهنی محیط‌زیستی، نیرومندی سیستم‌ها و از لحاظ اقتصادی مورد بحث قرار گرفت (۱۱). اغلب به علت تعداد و ناهمگونی نتایج ارزیابی اثرات و نیز به علت عدم قطعیت داده‌ها و مدل‌ها مرحله‌ی تفسیر مطالعات ارزیابی چرخه حیات (LCA[2]) با مشکل مواجه می‌شود. بنتو[3] و همکاران در سال ۲۰۰۸ یک نسخه تغییریافته از NAIADE را پیشنهاد می‌کنند که با الزامات و شرایط LCA مطابقت دارد و به نوع عدم قطعیت آن‌ها می‌پردازد. این روش می‌تواند به مهندسان و دانشمندان رشته ارزیابی چرخه حیات و نیز مدیران و تصمیم‌گیران در مواجه با مشکلات LCA کمک کند (۱۲).

ملو[4] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از NAIADE به بررسی مشکل یک شرکت حمل و نقل هوایی در انتخاب هواپیما پرداخته‌اند. در این مطالعه ۱۰ هواپیما با معیارهایی از جمله هزینه خرید، هزینه عملیاتی، سهولت پیدا کردن قطعات یدکی برای هواپیما، راحتی، در دسترس بودن آن و غیره مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که مجموعه‌ی وسیعی از معیارها وجود داشته است، مشخص کردن بهترین هواپیما به طور واضح و صریح مشکل بوده است. بنابراین با توجه به این‌که انواع مختلفی از اطلاعات فازی، کیفی، کمی و تصادفی در دسترس بوده است، ملو و همکاران توانستند به کمک روش NAIADE که قابلیت استفاده از انواع اطلاعات را دارد یک رتبه‌بندی از بهترین تا بدترین نوع هواپیما را ارائه دهند. هم‌چنین به دلیل قابلیت این روش در مقایسه زوجی گزینه ها بیان کردند که چگونه انتخاب یک گزینه از گزینه دوم می‌تواند بهتر باشد (۱۳).

رویکردی جدید به ارزیابی غیردقیق و محیط‌های تصمیم-گیری (NAIADE)

رویکردی جدید به ارزیابی غیردقیق و محیط‌های تصمیم‌گیری، یک روش ارزیابی چندمعیاره نوین است که توسط موندا[5] در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است و به مقایسه گزینه‌های مدنظر بر اساس مجموعه‌ای از معیارها می‌پردازد. این روش بسیار انعطاف پذیر است و برای برنامه‌های کاربردی دنیای واقعی و به ویژه برای موقعیت‌های فازی عدم قطعیت و مبهم سودمند است و با ایجاد یک ماتریس اثرات از گزینه‌های مختلف به تجزیه و تحلیل خط‌مشی‌های مدیریتی کمک می‌کند. هم‌چنین می‌تواند از انتخاب بهترین گزینه پشتیبانی کرده و آن‌ها را با توجه به معیارهای مختلف انتخاب شده رتبه‌بندی کند (۱۴). در این رویکرد امکان بررسی برقراری عدالت و حل اختلاف میان گروه‌های مختلف تاثیرپذیر در گزینه‌های مدیریتی وجود دارد. روش NAIADE از روش قدیمی وزن‌دهی معیارها استفاده نمی‌کند بلکه به روش مقایسه زوجی، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می-کند (۱۵). روش به کار رفته در NAIADE امکان استفاده از همه نوع اطلاعات (خشک، فازی، تصادفی، کیفی) را مشروط بر این‌که اطلاعات متناسب با هر معیار/گزینه باشند فراهم می‌کند. به عبارت دیگر، از آن‌جا که نمی‌توان انواع مختلف اطلاعات را با معیار یکسان برای گزینه‌های مختلف تعیین کرد، این روش راه حلی برای این موضوع ارایه می کند (۱۵). هم‌چنین می‌توان ابعاد مختلف توسعه پایدار (اقتصادی، اجتماعی و محیطی) را به عنوان معیار جداگانه‌ای برای مقایسه خط‌مشی‌های گزینه‌های پیشنهادی در ارزیابی‌های مختلف با هم ترکیب کرد، از این رو این روش با

1- Vasastan
2- Life cycle assessment
3- Benetto
4- Mello
5- Munda

مشکلات موجود در ارزیابی پایداری انتخاب‌ها مقابله می‌کند(۱۶). امکان انجام دو نوع ارزیابی در NAIADE وجود دارد. نوع اول ارزیابی بر اساس ارزش مقادیر اختصاص داده شده به معیارهای هر یک از گزینه‌ها است که این کار را با استفاده از ماتریس اثرات انجام می‌دهد (گزینه‌ها در مقابل معیارها). نوع دوم ارزیابی، تجزیه و تحلیل‌های برابری میان گروه‌های مختلف ذی‌نفع و امکان تشکیل ائتلاف با توجه به گزینه‌های ارائه شده است (۱۷).

تجزیه و تحلیل چندمعیاره‌ی ماتریس اثرات (ارزیابی اثرات) بر اساس مقایسه‌ی الگوریتم گزینه‌ها مطابق مراحل زیر انجام می‌شود:

۱- پر کردن ماتریس معیار/ گزینه‌ها (اثرات)

۲- مقایسه زوجی گزینه‌ها با استفاده از روابط ترجیحی[1]

۳- ترکیب معیارها

۴- رتبه‌بندی گزینه‌ها

تجزیه و تحلیل برابری‌ها (ارزیابی نوع دوم) با پر کردن ماتریس برابری[2] انجام می‌گیرد. هم‌چنین از میان الگوریتم‌های کاهشی ریاضی، می‌توان یک نمودار درختی که شکل‌گیری ائتلاف‌های ممکن و میزان تعارضات گروه‌های درگیر را نشان می‌دهد ساخت (۱۸).

ارزیابی اثرات در NAIADE

پر کردن ماتریس معیار/ گزینه‌ها (ماتریس اثرات)

مانند بسیاری از روش‌های چندمعیاره گسسته، نقطه‌ی شروع همانا ایجاد ماتریس معیار/گزینه‌ها (ماتریس اثرات) است. در مرحله اول کاربر ارزش مربوط به هر معیار را با توجه به هر یک از گزینه‌ها وارد می‌کند. ممکن است کاربر یک مقدار به شکل یک عدد خالص (مثلا برای معیار هزینه تعداد دقیق در واحد پول) را اختصاص دهد یا یک تعریف کمی متاثر از سطوح و انواع مختلف عدم قطعیت ارایه کند. در مورد عدم قطعیت فازی، کاربر باید تابع عضویت عدد فازی را تعریف کند و در مورد عدم قطعیت تصادفی باید تابع تراکم احتمالی را انتخاب کند. در نهایت می‌توان برای نشان دادن یک مقدار با استفاده از ارزیابی کیفی بیان شده توسط متغیرهای زبانی از پیش تعیین شده مانند "خوب"، "متوسط"، "خیلی بد" و مانند این‌ها استفاده نمود. متغیرهای زبانی به عنوان مجموعه‌های فازی مطرح می‌شوند (۱۹).

مقایسه زوجی گزینه‌ها با استفاده از روابط ترجیحی

برای مقایسه‌ی ارزش‌های معیار برای گزینه‌ها، لازم است که مفهوم فاصله معنایی[3] را بیان کرد. در ارزیابی‌های عددی، فاصله را می‌توان به راحتی به عنوان تفاوت بین دو عدد تعریف کرد. در ارزیابی فازی یا تصادفی از مفهوم "فاصله معنایی" استفاده می‌شود. مفهوم فاصله معنایی، در مقایسه ارزش‌های معیار هر جفت از گزینه‌ها بیان می‌شود. این مقایسه بر اساس روابط تعیین شده توسط کاربر، برای هر معیار صورت می‌پذیرد.

با توجه به دو مجموعه فازی $\mu_{A_1}(x)$ و $\mu_{A_2}(x)$ می‌توان توابع ۱ و ۲ را بیان کرد.

تابع۱: $$f(c) = K_1 m_{A1}^{(c)}$$

تابع۲: $$g(y) = K_2 m_{A2}^{(y)}$$

که اگر در آن $f(x)$ و $g(y)$ دو تابع بدست آمده با عرض از مبداء های $\mu_{A_1}(x)$ و $\mu_{A_2}(x)$ از k_1 و k_2 باشند هم‌چنین با در نظر گرفتن رابطه ۱ ، فاصله معنایی $S_d(f(x), g(y))$ بین دو مجموعه فازی به صورت فرمول ۱ تعریف می‌شود. بنابراین اگر $f(y): X = [x_{L'}, x_{U'}]$ و $g(y): Y = [x_{L'}, x_{U'}]$ ، که در آن مجموعه‌ی x و y می‌توانند نامحدود باشد، فرمول فاصله معنایی ایجاد می‌شود.

رابطه۱: $$\int_{-\infty}^{+\infty} f(c)\,dx = \int_{-\infty}^{+\infty} g(y)\,dy = 1$$

1- Preference Relations and Pairwise Comparison of Alternatives
2- Equity Matrix
3-The Semantic Distance

فرمول۱: $$S_d(f(c),g(y))=\int_X\int_Y |\chi-y|\, f(c)\,g(y)\,dxdy$$

مفهوم فاصله می‌تواند برای اندازه گیری تصادفی نیز بیان شود. در این مورد $f(x)$ و $g(y)$ توابع تراکم احتمالی اندازه گیری هستند (۱۵).

روابط ترجیحی با استفاده از شش تابع که برای هر معیار شاخص اعتبارسنجی را بیان می‌کند تعریف می‌شود. اعتبارسنجی از گزینه‌ها، با توابع "خیلی بهتر"، "بهتر"، "تقریبا برابر"، "برابر"، "بدتر"، "خیلی بدتر" از گزینه‌ی دیگر بیان می‌شود. شاخص اعتبارسنجی از محدوده‌ی صفر (قطعا نامعتبر) تا ۱ (قطعا معتبر) افزایش یکنواخت دارد. رابطه‌های ۲ و ۳ توابع بسیار بهتر و بهتر را نشان می‌دهد.

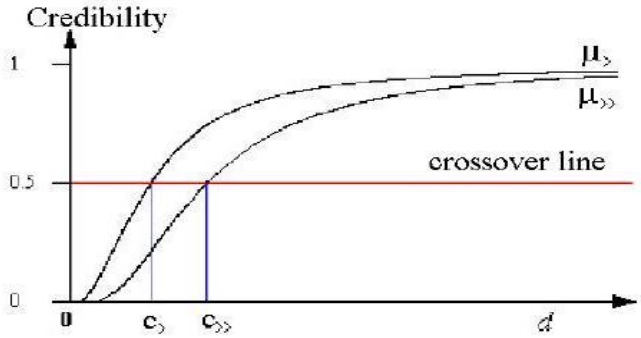
d>0

d≤0

رابطه۲: $$\mu_{>}(d)=\begin{cases}0\\ \dfrac{1}{\left(1+\dfrac{c^2_{>}}{d^2}\right)^2}\end{cases}$$

رابطه۳: $$\mu_{>>}(d)=\begin{cases}0\\ \dfrac{1}{\left(1+\dfrac{c^2_{>>}\sqrt{2}-1}{d^2}\right)^2}\end{cases}$$

که در آن $C_{>}$ و $C_{>>}$ ارزش‌های متقاطع (نقطه‌ای که در آن توابع برابر ۰,۵ است) و d فاصله است. روابط ترجیحی خیلی خوب و خوب در شکل ۱ نشان داده شده است.



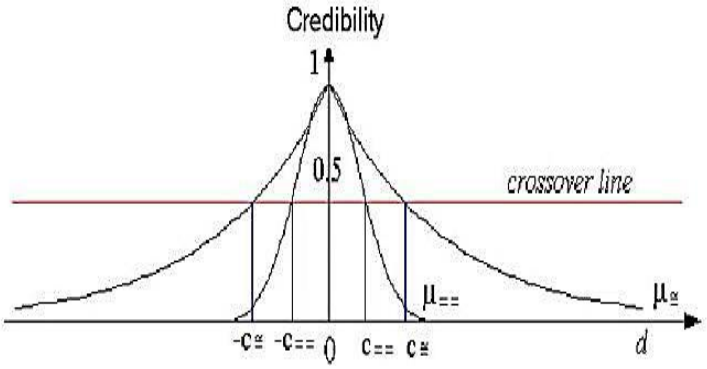
شکل ۱- روابط ترجیحی خیلی خوب و خوب

الویت‌دهی روابط تقریبا برابر و برابر در روابط ۴ و ۵ نشان داده شده است.

رابطه ۴: $$\mu_{\cong}(d)=e^{-\left(\frac{\log 2}{c_{\cong}}|d|\right)}\forall d$$

رابطه ۵: $$\mu_{==}(d)=e^{-\left(\frac{\log 2}{c^2_{==}}d\right)}\forall d$$

که در آن $C_{==}$ و $C_{\cong}$ ارزش‌های متقاطع (نقطه ای که در آن توابع برابر ۰,۵ است) و d فاصله است. روابط ترجیحی تقریبا برابر و برابر در شکل۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- روابط ترجیحی تقریبا برابر و برابر

دو رابطه‌ی خیلی بد (رابطه۶) و بد (رابطه ۷) به صورت زیر تعریف می‌شود:

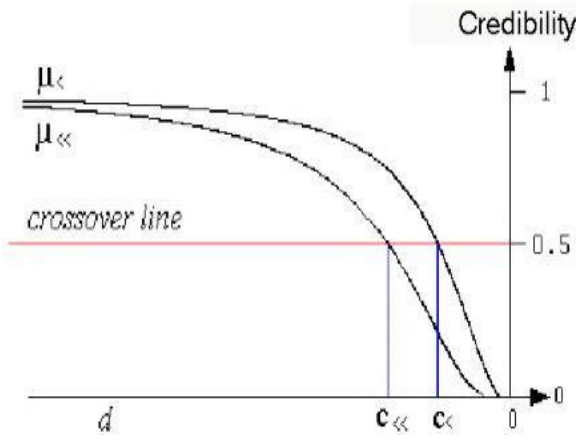
رابطه ۷:

$$\mu_{<}(d)=\begin{cases}0 & d>0\\ \dfrac{1}{\left(1+\dfrac{c^2_{<}}{d^2}\right)^2} & d\le 0\end{cases}$$

رابطه ۶:

$$\mu_{<<}(d)=\begin{cases}\dfrac{0}{1} & d>0\\ \dfrac{1}{\left(1+\dfrac{c^2_{<<}\sqrt{2}-1}{d^2}\right)^2} & d\le 0\end{cases}$$

که در آن $C_{<}$ و $C_{<<}$ ارزش‌های متقاطع و d فاصله است. روابط ترجیحی خیلی بد و بد در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- روابط ترجیحی خیلی بد و بد

حدهای زیر به الویت‌دهی روابط اعمال می‌شود (رابطه ۸):

رابطه ۸:

$$\mu_{\square}(d)=\mu_{<<}(-d)\,\mathrm{e}\,\mu_{>}(d)=\mu_{<}(-d)\,(i.e._{C_{>}}=_{-C_{<}}{}^{\mathrm{e}}{}_{C_{>>}}=_{-C_{<<}})$$

اگر دو گزینه‌ی A و B در فاصله‌ی d باشد، مقدار شاخص اعتبار سنجی این ادعا که"A بهتر از B " است با مقدار شاخص اعتبار سنجی" A بدتر از B "برابر است. (رابطه ۹)

رابطه ۹: $C_{=} < C_{\leqq} < C_{>} < C_{>>}$

مقدارشاخص اعتبارسنجی از بیان "A برابر با B" کمتر از مقدار شاخص اعتبارسنجی "A تقریبا برابر با B" است. فاصله‌ی d بین A و B افزایش می‌یابد. علاوه بر این ارزش متقاطع $C_{\leqq}$ از رابطه‌ی "A تقریبا برابر با B" باید کمتر از ارزش متقاطع $C_{>}$ از رابطه‌ی "A بهتر از B" باشد، به عبارت دیگر درحالتی که بین مقدار فاصله تفاوت وجود داشته باشد دو رابطه‌ی بهتر و تقریبا برابر نمی‌تواند قابل قبول باشد (مقدار شاخص اعتبارسنجی بالاتر از ۰,۵) (۱۵).

کاربر می‌تواند جدا از نوع اطلاعات (فازی، عددی یا تصادفی)، ارزش‌های عددی فاصله را که مقدار شاخص اعتبارسنجی آن معادل ۰,۵ (نقطه متقاطع) است، مشخص کند. روش NAIADE مقدار تمام شاخص‌های اعتبارسنجی را برای هرجفت از گزینه‌ها و برای هر معیار بر اساس شش رابطه ترجیحی تعریف شده برای آن معیار محاسبه می‌کند (۱۵).

ترکیب معیارها[1]

با ایجاد یک الگوریتم ترکیبی از مقدار شاخص‌های اعتبارسنجی، میزان الویت یک گزینه نسبت به دیگری در NAIADE محاسبه می‌شود. پارامتر α به طور ویژه برای بیان حداقل الزامات در مقدار شاخص‌های اعتبارسنجی استفاده می‌شود. فقط آن دسته از معیارهایی که شاخص‌های آن‌ها بالاتر از حدآستانه α باشند به طور مثبت در ترکیب محاسبه می‌شوند. نمایه شدت[2] $\mu^*(a,b)$ از برتری (که در آن * مخفف $<<$ ، $<$، $\leqq$ ، $=$، $>>$ و $>$) گزینه a در مقابل گزینه b به صورت زیر تعریف می‌شود: (رابطه ۱۰)

رابطه ۱۰:

که مقدار این نمایه شدت $\mu^*(a,b)$ به صورت زیر است: (رابطه ۱۱)

رابطه۱۱: $0 \leq \mu^*(a,b) \leq 1$

اگرهیچ یک از نمایه‌های شدت بیش‌تر از α نباشد تابع به صورت رابطه ۱۲ خواهد بود.

رابطه۱۲: $\mu^* V(a,b) = 0$

مفهوم آنتروپی برای استفاده از اطلاعات مختلف در ارزیابی روابط فازی بر طبق هر معیار کاربرد زیادی دارد. آنتروپی به عنوان شاخص مختلف بین صفر و ۱ محاسبه می‌شود و شاخص‌های اعتبارسنجی بالاتر از حد آستانه و نزدیک به ارزش متقاطع (۰,۵) باشند را نشان می‌دهد. مقدار آنتروپی صفر، به این معنی است که تمام معیارها دقیق نشان داده شده اند (یا قطعا معتبر و یا قطعا غیر معتبر)، در حالی که مقدار آنتروپی ۱ نشان‌دهنده این است که تمام معیارها گرایش به حداکثر فازی بودن را دارند.

اطلاعات ارائه شده توسط نمایه شدت ترجیح را می‌توان برای ایجاد درجه ای از درستی (t) با عبارات زیر استفاده کرد:

"با توجه به بسیاری از معیارها"

a بهتر از b است

a و b بی تفاوت هستند

a بدتر از b است

محاسبه‌ی این ادعا که a بهتر از b، a و b بی تفاوت و a بدتر از b از روابط ۱۳، ۱۴ و ۱۵ حاصل می‌شود.

1- Criteria Aggregation

2- Intensity Index

$$\mu^*(a,b) = \frac{\sum_{m=1}^{M} \max\left(\mu^*(a,b)_m - a, 0\right)}{\sum_{m=1}^{M} \left|\mu^*(a,b)_m - a\right|}$$

رابطه ۱۳:
$$\omega_{better}(a,b)=\frac{\mu_{>>}(a,b)\wedge C_{>>}(a,b)+\mu_{>}(a,b)\wedge C_{>}(a,b)}{C_{>>}(a,b)+C_{>}(a,b)}$$

رابطه ۱۴:
$$\omega_{indifferent}(a,b)=\frac{\mu_{==}(a,b)\wedge C_{==}(a,b)+\mu_{\cong}(a,b)\wedge C_{\cong}(a,b)}{C_{==}(a,b)+C_{\cong}(a,b)}$$

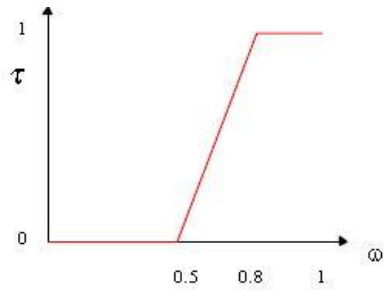
رابطه ۱۵:
$$\omega_{worse}(a,b)=\frac{\mu_{<<}(a,b)\wedge C_{<<}(a,b)+\mu_{<}(a,b)\wedge C_{<}(a,b)}{C_{<<}(a,b)+C_{<}(a,b)}$$

که در آن مقدار تابع C در رابطه ۱۶ نشان داده شده است و با سطح آنتروپی بالاتر از شدت ترجیح ارتباط دارد.

رابطه ۱۶: $C^*(a,b) = 1 - H^*(a,b)$

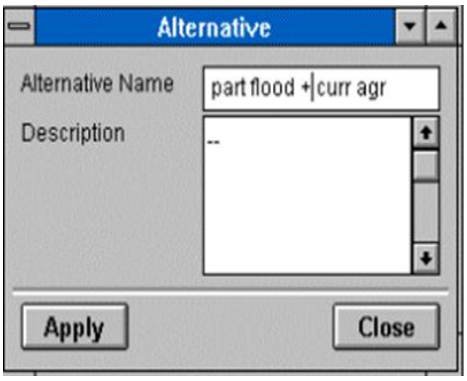
عملگر[1] ^ (Minimun)، عملگری است که هیچ جبرانی را وارد نمی‌کند و عملگر Zimmermann-Zysno امکان وارد کردن درجه‌های مختلف جبران را دارد (از حداقل پرداخت جبران صفر تا حداکثر پرداخت جبران ۱) (۱۵). در نهایت هر عملگر باتوجه به بسیاری از معیارها، ارزش‌های بهتر ، بی تفاوت و بدتر را به صورت رابطه ۱۷ جدا می‌کند: (شکل ۴)

رابطه ۱۷:
$$\tau(\omega)=\begin{cases}1 & \forall\ \omega\geq 0.8\\ 3.33\omega-1.66 & \forall\ 0.5\leq\omega\leq 0.8\\ 0 & \forall\ \omega\leq 0.5\end{cases}$$



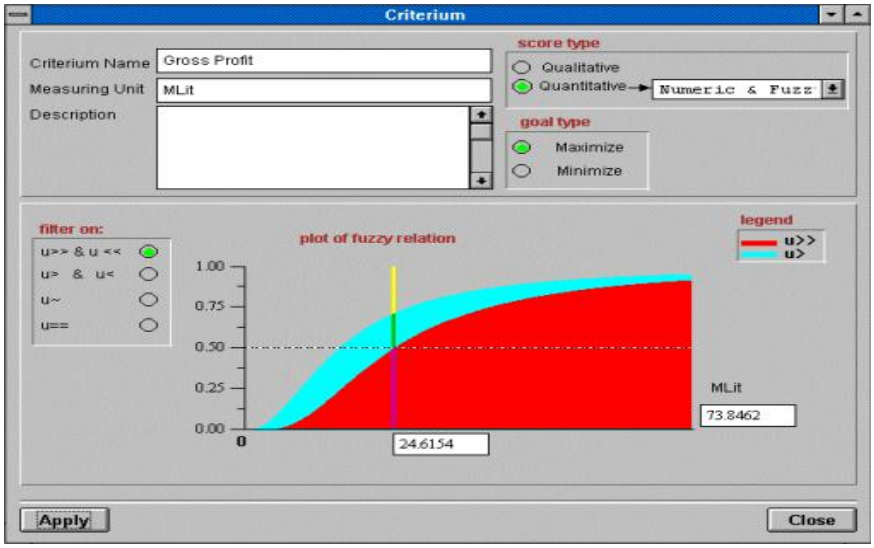
شکل۴- نمایش توابع

تجزیه و تحلیل‌ها، الگوریتم‌ها و معادلات ریاضی بیان شده روش NAIADE در نرم‌افزار کاربردی آن قابل اجرا است. با کلیک کردن بر سطر اول ماتریس اثرات این نرم‌افزار و فعال شدن پنجره‌ی آن می‌توان گزینه‌ها (شکل ۵) و نوع معیار (فازی، تصادفی، کیفی و کمی)، ویژگی‌های معیار (مانند واحد اندازه-گیری)، هدف مورد نظر (حداکثر و یا به حداقل رساندن معیار) و نقاط متقاطع روابط ترجیحی (تعیین فاصله مشخص بین روابط برای مقایسه زوجی گزینه‌ها) را تعریف کرد (شکل ۶). برای مقایسه‌ی گزینه‌های ماتریس اثرات، در تعریف یک معیار باید چهار تابع خیلی خوب، خوب، تقریبا برابر و برابر که در واقع فاصله بین دو گزینه را نشان می‌دهند، تعیین شوند. شکل ۷ ماتریس اثرات نرم‌افزار NAIADE را نشان می‌دهد.

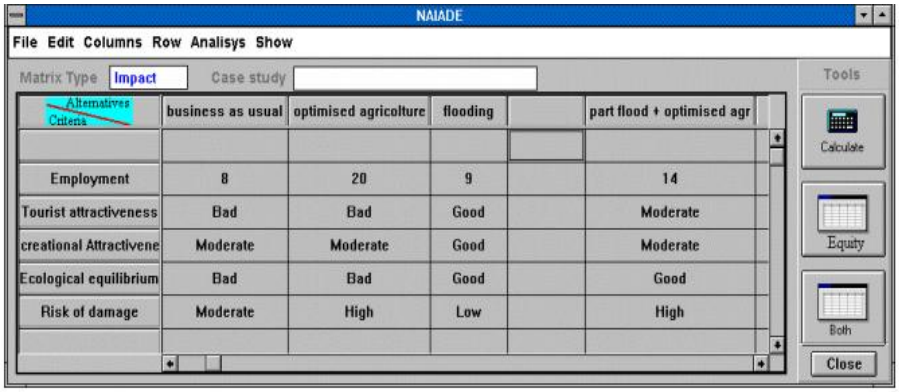


شکل ۵- تعریف گزینه‌ها در نرم‌افزار NAIADE

1- Operator



شکل ۶- تعریف معیار در ماتریس اثرات نرم‌افزار



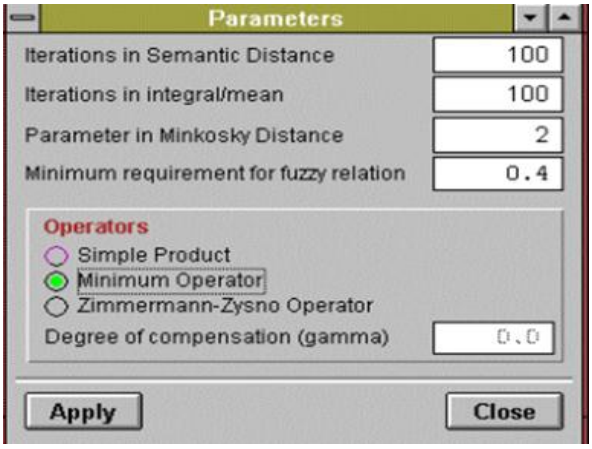
شکل۷- ماتریس اثرات نرم‌افزار NAIADE

کاربر می‌تواند پارامترهای زیر را از طریق کادر گفتگو[1] در نرم‌افزار تغییر دهد (شکل۸) :

- ✓ تعداد تکرارها برای محاسبه فاصله مشخص (تکرار بیش‌تر به معنی دقت بیش‌تر اما محاسبه کندتر)
- ✓ تعداد تکرار در انتگرال‌گیری
- ✓ پارامتر p از فاصله‌ی Minkovsky[2] در تجزیه و تحلیل‌های برابری
- ✓ پارامتر α و انتخاب نوع عملگر در تجزیه و تحلیل‌های چندمعیاری

1- Dialogue Box

۲ - فاصله Minkovsky تعریفی عام است که در دل خود انواع تعریف‌های دیگر شامل فاصله‌ی Manhattan، Euclidean و فاصله‌ی Chebyshev را در برگیرد. فاصله‌ی Minkovsky اغلب در مورد متغیرهایی به‌کار می‌رود که مقیاس آن‌ها نسبی است و دارای صفر مطلق نیز هستند.



شکل ۸- مقدار و نوع پارامترها برای اجرای نرم‌افزار NAIADE

رتبه‌بندی گزینه‌ها[1]

امکان رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس نمایه‌های شدت ترجیح $\mu^*(a,b)$ و آنتروپی سازگار $H^*(a,b)$ در NAIADE وجود دارد. رتبه‌بندی نهایی از اشتراک دو رتبه‌بندی جداگانه حاصل می‌شود. رتبه‌بندی $\phi+(a)$ براساس روابط ترجیحی بهتر و خیلی بهتر است و با تغییر ارزش یک مقدار از صفر به ۱ نشان می‌دهد که گزینه α چگونه از سایر گزینه‌ها بهتر است. رتبه‌بندی $\phi-(a)$ بر اساس روابط ترجیحی بدتر و خیلی بدتر است و با تغییر ارزش یک مقدار از صفر به ۱ نشان می‌دهد که چگونه گزینه α از سایر گزینه‌ها بدتر است. رتبه‌بندی‌های $\phi+(a)$ و $\phi-(a)$ به صورت رابطه ۱۸ و ۱۹ محاسبه می‌شود که N در آن تعداد گزینه‌ها است (۱۵).

رابطه ۱۸:
$$\phi^{+}(a)=\frac{\sum_{n=1}^{N-1}\left(\mu_{>>}(a,n)\wedge C_{>>}(a,n)+\mu_{>}(a,n)\wedge C_{>}(a,n)\right)}{\sum_{n=1}^{N-1}C_{>>}(a,n)+\sum_{n=1}^{N-1}C_{>}(a,n)}$$

رابطه ۱۹:
$$\phi^{-}(a)=\frac{\sum_{n=1}^{N-1}\left(\mu_{<<}(a,n)\wedge C_{<<}(a,n)+\mu_{<}(a,n)\wedge C_{<}(a,n)\right)}{\sum_{n=1}^{N-1}C_{<<}(a,n)+\sum_{n=1}^{N-1}C_{<}(a,n)}$$

1- Ranking of Alternatives

نوع دوم ارزیابی در NAIADE: تجزیه و تحلیل برابری[2]

بهترین روش‌های تصمیم‌گیری لازم است کار تصمیم‌گیری گروهی[3] را تسهیل سازند. روش‌های تصمیم‌گیری گروهی این امکان را فراهم می‌آورند تا یک گروه از دست‌اندرکاران[4] (مجموعه افراد و گروه‌هایی که از طرح‌های مدیریتی تاثیر می‌پذیرند یا قابلیت اثرگذاری بر طرح‌های این بخش را دارند)، دانش و آگاهی خود را به منظور انتخاب یک گزینه مطلوب در شرایط پیچیده به کار گیرند (۲۰). این مجموعه روش‌ها، امکان بهره‌گیری از مجموعه نظرهای تخصصی و ایجاد محیطی برای استفاده از اندیشه‌های گوناگون را فراهم می‌کنند. هدف اصلی از این تحلیل، در نظر داشتن توزیع و عدالت در طراحی پروژه یا تصمیم‌سازی است (۲۱).

تجزیه و تحلیل برابری با ایجاد یک ماتریس برابری که بیانگر منافع گروه‌های درگیر است شروع می‌شود. ماتریس برابری شاخصی برای هر جفت از گروه‌های درگیر i و j از تشابه گزینه-های پیشنهادی می‌دهد. شاخص Sji به این صورت

2- Equity Analysis
3- Group Decision Making
4- Stakeholders

sij=1/(1+dij)محاسبه می‌شود که در آن dij فاصله Minkovsky بین گروه i و گروه j است که به شیوه رابطه ۲۰ محاسبه می‌شود و Sk(i, j) فاصله‌ی مشخص بین گروه i و گروه j در قضاوت از گزینه‌های k است که N، تعداد گزینه ها و پارامتر p از فاصله‌ی Minkovsky باید بزرگتر از صفر باشد (p>0). نمودار درختی شکل‌گیری ائتلاف از طریق یک توالی کاهشی ریاضی ساخته می‌شود. این نحوه‌ی شکل گیری ائتلاف‌های ممکن برای کاهش مقدار شاخص تشابه و درجه‌ی تضاد بین گروهای درگیر را نشان می‌دهد (۱۵).

رابطه ۲۰:

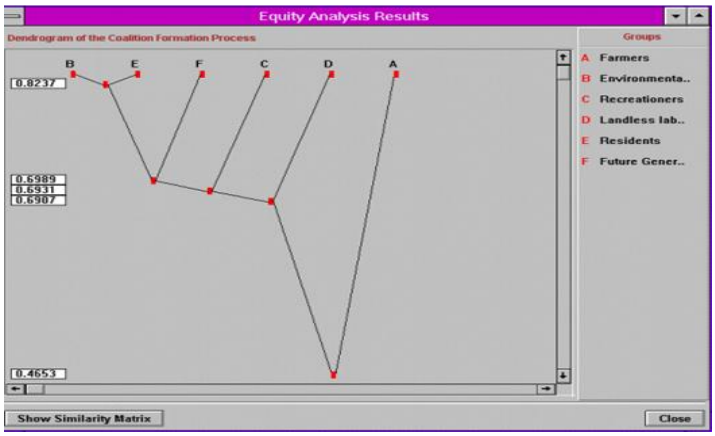
$$d_{ij} = \sqrt[p]{\sum_{K=1}^{N} \left(S_k(i,j)\right)^p}$$

نمایش نتایج در NAIADE

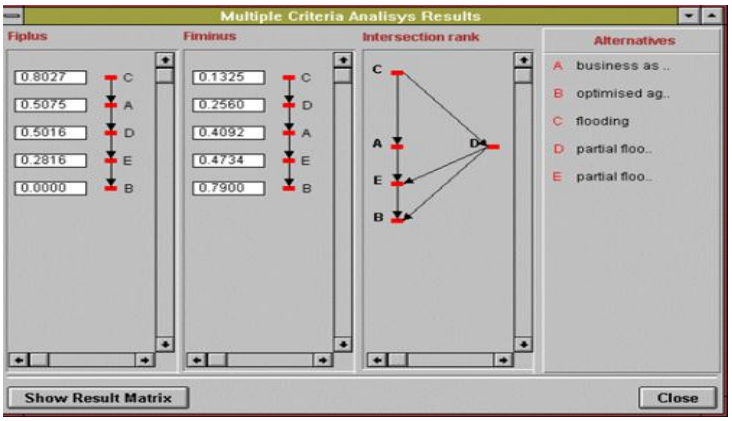
نتایج تجزیه و تحلیل‌های چند معیاری را می‌توان به دو روش نمایش داد. از یک سو همه‌ی محاسبات در یک فایل به نام multicri.out نوشته می‌شود و از سوی دیگر رتبه‌بندی نهایی ϕ^+ و ϕ^- از گزینه‌ها و محل تقاطع آن‌ها را هم از نظر نموداری و هم به شکل عددی نشان می‌دهد.

مقدارهای $\mu^*(a,b)$ و آنتروپی آن‌ها $H^*(a,b)$ و همچنین درجه درستی(بهتر $\tau(\omega)$ (بدتر $\tau(\omega)$ (بی‌تفاوت $\tau(\omega)$ برای هر جفت از گزینه‌های α و β گرفته می‌شود.

نتایج حاصل از ارزیابی اثرات و تجزیه و تحلیل برابری در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده اند.



شکل ۹- نمایش نتایج حاصل از ارزیابی اثرات



شکل ۱۰- نمایش نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل برابری

بحث و نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری فرایندی است که از راه آن، مسئله معینی، حل می‌شود. رویکردهای مختلف تصمیم‌گیری را به طور کلی می‌توان به رویکرد تصمیم‌گیری سنتی و یک معیاره: CBA[1] و رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره: MCA[2] تقسیم‌بندی کرد (۲۱). فرایند تصمیم‌گیری با استفاده از تحلیل هزینه-فایده یا CBA شامل بررسی مجموع درآمدها و هزینه‌ها برای گزینه‌های مختلف است. در این رویکرد فقط یک معیار کمی[3] شامل عامل‌های اقتصادی مدنظر قرار می‌گیرد. امروزه این رویکرد به دلیل مطرح شدن کارکردهای گوناگون، جامعیت لازم برای فرآیند تصمیم‌گیری در مدیریت منابع طبیعی را ندارد. وجود مسئله‌های پیچیده، عدم اطمینان بالا، شکل‌های مختلف داده و اطلاعات، منفعت‌های گوناگون و چندگانه از طبیعت، سبب شده تا امروزه به دنبال روش‌هایی برای ترکیب منافع اقتصادی با ترکیب سیستم‌های زیست‌فیزیکی و اجتماعی- فرهنگی باشیم. در این‌جا نیاز به تحلیل‌های چندمعیاره مشخص می‌شود. آسافو آجایی به نقل از نیکامپ بیان می‌کند که حدود ۵۰ روش تحلیل چندمعیاره وجود دارد. در سال‌های گذشته تعداد این روش‌ها به شکل تصاعدی افزایش یافته است. به ویژه آن‌که روش‌های ترکیبی زیادی نیز مدنظر قرار گرفته است. انتخاب نادرست روش تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به نتایج نادرستی منجر شود. در این صورت احتمال دستیابی به پاسخ غیربهینه، صرف زمان و هزینه دوباره‌کاری فرآیند، وجود دارد(۲۲). یون و هونگ در سال ۱۹۹۵ مجموعه قوانین انتخاب یک روش از بین روش‌های تصمیم‌گیری را بیان کرده‌اند. بر این اساس روش تصمیم-گیری مناسب یک مسئله، در معیارهایی نظیر سهولت استفاده، تفسیر پارامترها، پایداری نتایج، مقدار تعامل کاربر با مدل، سهولت درک نتایج، امکان تحلیل حساسیت ساده و سریع، امکان استفاده از طرح نگاشتی مدل[4]، امکان پشتیبانی تصمیم‌گیری گروهی، امکان در نظرگرفتن محدودیت‌های مختلف، تعادل دقت و سرعت نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد (۲۳)، به عبارت دیگر در هر مسئله با توجه به شرایط آن، لازم است ابتدا یک فرایند تصمیم‌گیری با معیارهای مطرح شده توسط تیم تحلیل‌گر مسئله انجام شود و روش مناسب تصمیم‌گیری انتخاب شود. روش NAIADE به‌عنوان رویکردی پرکاربرد و کارآمد در پژوهش‌های مختلف مدیریتی و محیط‌زیستی در جهان مطرح شده است، اما متاسفانه تاکنون مطالعاتی در این زمینه در ایران انجام نشده است. بنابراین در مقاله حاضر سعی بر آن شده است تا با معرفی روش NAIADE ، به عنوان یک روش انعطاف‌پذیر در ارزیابی چندمعیاره و تصمیم‌گیری بویژه در موقعیت‌های عدم قطعیت و فازی گامی در جهت افزایش آگاهی و دانش در سطوح مختلف جامعه، مسئولین و تصمیم‌گیران و نیز بهبود کیفیت محیط‌زیست برداشته شود. از مهم‌ترین نقاط قوت این روش، می‌توان به سهولت استفاده برای کاربر، امکان تفسیر پارامترها، دسته‌بندی شاخص‌ها و گزینه‌ها، امکان تحلیل حساسیت به صورت ساده و سریع، امکان استفاده از انواع مختلف اطلاعات، امکان استفاده از طرح نموداری ساده و امکان در نظر گرفتن محدودیت‌ها و خطاهای مختلف در بهینه‌سازی تصمیم اشاره کرد (۲۴). زمان مورد نیاز برای انجام ارزیابی‌های مختلف در این روش متفاوت و بسته به زمان مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات است اما بعد از ساخته شدن ماتریس اثرات و در نتیجه در دسترس بودن تمام اطلاعات مورد نیاز، ارزیابی می‌تواند در عرض چند روز انجام شود. هزینه استفاده از این روش با توجه به شرایط مختلف بسیار متفاوت و نسبتا ارزان است. نرم‌افزار NAIADE به عنوان یک ابزار در اینترنت در دسترس است. هرچند تجزیه و تحلیل‌های ارزیابی چندمعیاره در این روش مستقیما به محاسبات نیاز ندارد و این فرایند توسط نرم‌افزار کاربردی آن قابل اجرا است اما با این حال در نظر داشتن موارد زیر بسیار ضروری است:

- ✓ نتیجه نهایی ارزیابی به نحوه تنظیمات اولیه بستگی دارد.

1- Cost- Benefit Analysis
2- Multi Criteria Analysis
3- Quantitaive Criterion
4- Take advantage of the graphical design model

- ✓ در هنگام تعریف معیار و نحوه‌ی ارزیابی آن‌ها، باید در ذهن داشت که این روش بر اساس مقایسه زوجی عمل می‌کند و به عبارتی ارزیابی نسبی بوده است.
- ✓ برای جلوگیری از نتایج جانبدارانه، به شفافیت و مشارکت بالایی در طول فرایند ارزیابی به ویژه در هنگام تعریف معیارها مورد نیاز است.
- ✓ به منظور پیشروی به سمت برابر بودن قدرت ذی‌نفعان توجه به تجزیه و تحلیل‌های برابری که هدف آن نمایش موقعیت هریک از ذی‌نفعان با توجه به هر گزینه است بسیار اهمیت دارد.

منابع

۱- سلمان ماهینی، ع، ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات توسعه با منطق فازی (ترجمه). نوشته ریچاردز، ب. شپارد. انتشارات مهر مهدیس، ۳۵۰ ص.

2- Funtowicz, S., Martinez−Alier, J., Munda, G. & Ravetz, J. 1999. Information tools for environmental policy under conditions of complexity, European Environmental Agency, Experts' Corner, Environmental Issues Series, No.9.

3- Marchi, B.D., Funtowicz, S.O., Cascio, S.L. & Munda, G. 2000 Combining participative and institutional approaches with multicriteria evaluation. An empirical study for water issues in Troina, Scilly. Ecological Economics, 34:267-282.

4- Tabara, D. 2003. Participacion cualitativa y Evaluacion Integrada del Medio Ambiente. Aspectos metodologicos en cuatro estudios de caso (Qualitative participation and Integrated Environmental Assessment. Methodological issues in four case studies). Documents d'Andalisi Geografica. 42p.

5- Munda, G. 2004. Social Multi−criteria Evaluation (SMCE): methodological foundations and operational consequences, European Journal of Operational Research, 158: 662–677.

6- Martí, N., Vidal, V., Mànuel, D. & Munda, G. 2000. DIAFANIS. Evaluación Ambiental Integrada de propuestas de actuaciones de desarrollo socioeconomicy ambiental en el entorno del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici (España).

7- Russi, D. 2004. Social Multicriteria Evaluation of rural electrification. Master's thesis supervised by G. Munda. Dept. Economics and Economic History: UAB. Barcelona.

8- Vargas Isaza, O.L. 2004. La evaluacio´n multicriterio social y su potencialen la gestio´n forestal de Colombia. Ph.D. Thesis, Doctoral programmein Environmental Sciences. Universitat Autonoma de Barcelona.

9- Moral, L.D., Corral, S., Guimaraes Pereira, A., Paneque, P. & Pedregal, B. 2006. Social multicriteria analysis for the evaluation of water management alternatives- Costa del Sol Occidental (Malaga, Spain), in P. Antunes (ed) ADVISOR project-Final Report, Contract EVK1-CT-2000-00074 of the Energy Environment and Sustainable Development RTD Programme, Lisbon: ECOMAN, New University of Lisbon.

10- Stratigea, A., Giaoutzi, M. & Papadopoulou, Ch.A. 2008. A Methodological Framework for Foresight Analysis in AG2020 – The Case of Herakleion –Crete Region, Report prepared in the context of the AG2020 project: Foresight Analysis for World Agricultural Markets (2020) in Europe, European Commission, Contract No: 44280-AG2020, 2007-10.

11- Matteo, B. 2011. Integrated assessment of renewable energies for decision making: A two-case analysis, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the subject of Management, competitiveness and development.

12- Benetto, E., Dujet, Ch. & Rousseaux, P. 2008. Integrating fuzzy multicriteria analysis and uncertainty evaluation in life cycle assessment. Environmental Modelling & Software 23: 1461–1467.

13- Mello, S.D., Fernandes, M. & Gomes, M. 2012. Multicriteria Selection Of An Aircraft With Naiade, 1st International Conference on Operations Research and Enterprise Systems, 427-431.

14- James, A.S., Willam, H. & Prasanta, K.D. 2012. A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems, Energy 42: 146-156.

15- Joint Research Centre, JRC, 1996. NAIADE Manual. JRC, Ispra, Italy, available at: http://www.aiaccproject.org/meetings/Trieste_02/trieste_cd/Software/NAIADE/naiade.PDF.

16- Munda, G. 2005. Multi criteria decision analysis and sustainable development. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys. International Series in Operation Research and Management Science. Springer Publisher, New York, 953e981pp.

17- Pech, R. & Rodrígues, E. 2009. Environmental impact assessment procedure: A new approach based on fuzzy logic. Environmental Impact Assessment Review 29: 275-283.

18- Monterroso, I. Binimelis, R. & Rodríguez-Labajos, B. 2011. New methods for the analysis of invasion processes: Multi-criteria evaluation of the invasion of Hydrilla verticillata in Guatemala. Environmental Management 92: 494-507.

19- Gamboa, G. 2005. Social Multi-Criteria Evaluation in practice: Two realworld case studies, Doctoral Thesis. Universitat Autonoma de Barcelona. 161p.

20- Ananda, J & G., Herath, 2008. Multi-attribute preference modeling regional land-use planning Ecological. Economic, 65: 325-335.

۲۱- دهقانیان، س. و فرج زاده، ز. ۱۳۸۱. اقتصاد محیط-زیست برای غیر اقتصاددانان (ترجمه). نوشته آسافو آجایی، جان، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۳۵ ص.

۲۲- زندبصیری، م. ۱۳۹۳. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و جایگاه آن‌ها در مدیریت منابع طبیعی، انتشارات شاپور خواست، ۲۵۲ ص.

23- Yoon, K.P. & Hwang, Ch. Li. 1995. Multi attribute decision making: an introduction. Sage university Publication. 104: 83.

24- Nasiri, F. & Huang, G. 2008. A fuzzy decision aid model for environmental performance assessment in waste recycling. Environmental Modelling & Software 23: 677-689.