

کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای

دکتر اسفندیار زبردست*

استاد دانشکده شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۵/۱۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۸/۹/۲۱)

چکیده:

روش‌های ارزیابی چند معیاره کاربرد وسیعی در همه علوم از جمله در شهرسازی پیدا کرده‌اند. از بین این روش‌ها، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از روش‌هایی است که بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از محدودیت‌های جدی AHP این است که وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله‌مراتبی و یکطرفه فرض می‌کند. روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) ارتباطات پیچیده بین و میان عناصر تصمیم را از طریق جایگزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر می‌گیرد. به همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از ANP به جای AHP در اغلب زمینه‌ها افزایش پیدا کرده است. در این مقاله فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP و کاربرد آن در شهرسازی با بکارگیری آن در تعیین سایت مطلوب برای احداث شهرک‌های صنعتی در یک منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که فرایند تحلیل شبکه‌ای، ضمن حفظ کلیه قابلیت‌های AHP از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان، قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها، و امکان رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها، می‌تواند بر محدودیت‌های جدی آن، از جمله در نظر نگرفتن وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم و فرض اینکه ارتباط بین عناصر تصمیم، سلسله‌مراتبی و یکطرفه است، فایده‌آورد و چارچوب مناسبی را برای تحلیل مسائل شهری فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی:

فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، مکان‌یابی، روش‌های ارزیابی، برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP).

۱- مقدمه

ارتباطات پیچیده بین و میان عناصر تصمیم، از طریق جایگزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌ای، در نظر گرفته می‌شود. فرایند تحلیل شبکه‌ای حالت عمومی AHP و شکل گسترده آن محسوب می‌شود (Saaty, 1999) که در آن موضوعات با وابستگی متقابل و بازخورد^۱ را نیز می‌توان در نظر گرفت. به همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از ANP به جای AHP در اغلب زمینه‌ها افزایش پیدا کرده است (Jharkharia and Shankar, 2007, 275). علیرغم این، هنوز استفاده از ANP در شهرسازی چندان باب نشده است. این مقاله تلاش می‌کند تا با به‌کارگیری روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در تعیین مکان مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی در یک منطقه (به‌عنوان یک نمونه کاربردی)، قابلیت کاربرد این روش در موضوعات برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، که دارای وابستگی‌های متقابل و بازخورد در بین میان عناصر تصمیم هستند، را مورد بررسی قرار دهد.

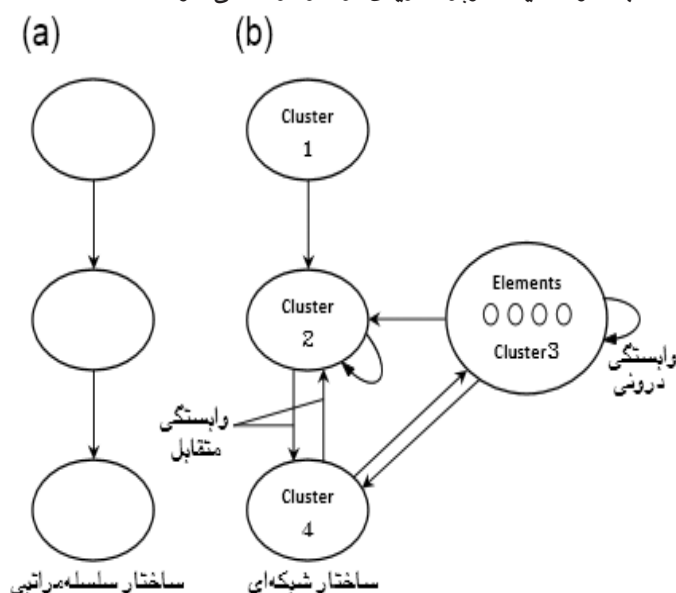
برای دستیابی به این هدف، ابتدا مراحل مختلف فرایند تحلیل شبکه‌ای توضیح داده شده، سپس این مراحل در تعیین مکان مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی در یک منطقه فرضی به‌کار گرفته شده‌اند و در نهایت قابلیت بکارگیری این روش در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای مطرح شده است.

روش‌های ارزیابی چند معیاره^۱ کاربرد وسیعی در همه علوم از جمله در شهرسازی پیدا کرده‌اند. از بین این روش‌ها، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ (AHP) یکی از روش‌های ارزیابی چند معیاره است که بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا مسئله یا موضوع مورد نظر را به یک ساختار سلسله‌مراتبی تبدیل می‌کند که در آن عناصر تشکیل‌دهنده این ساختار که اجزا تصمیم نیز تلقی می‌شوند، مستقل از یکدیگر فرض شده‌اند. بنابراین، یکی از محدودیت‌های جدی AHP این است که وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی وابستگی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله‌مراتبی و یکطرفه فرض می‌کند. "این فرض ممکن است در بعضی موارد صادق نباشد و در چنین شرایطی نتیجه روش AHP ممکن است موجب برعکس شدن رتبه‌ها^۳ شود. یعنی با حذف گزینه‌ای ممکن است نتیجه رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر کند. بنابراین باید در استفاده از روش AHP اندکی محتاط بود، زیرا کلیه مسائل و مشکلات برنامه‌ریزی لزوماً دارای ساختار سلسله‌مراتبی^۴ (زبردست، ۱۳۸۰، ۱۹) نیستند. این محدودیت عمده AHP باعث شد تا ابداع‌کننده آن، توماس ساعتی^۵ روش فرایند تحلیل شبکه‌ای^۶ (ANP) را ارایه و معرفی کند که در آن

۲. فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و مراحل آن

فرایند تحلیل شبکه‌ای چون حالت عمومی AHP و شکل گسترده آن است، بنابراین تمامی ویژگی‌های مثبت آن از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان، و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده و مضافاً می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) بین و میان عناصر تصمیم را با بکارگیری ساختار شبکه‌ای بجای ساختار سلسله‌مراتبی در نظر بگیرد. تفاوت بین یک "ساختار سلسله‌مراتبی" و "ساختار شبکه‌ای" در نمودار ۱ ارایه شده است. فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) هر موضوع و مسئله‌ای را به مثابه "شبکه‌ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها (همه این‌ها عناصر^۷ نامیده می‌شوند) که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند، به‌هر شکل، دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر، در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است (Garcia-Melon, 2008, 145). بنابراین ANP را می‌توان متشکل از دو قسمت دانست: سلسله‌مراتب کنترل^۸ و ارتباط شبکه‌ای^۹. سلسله‌مراتب کنترل ارتباط بین هدف، معیارها، و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تأثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را شامل می‌شود

(Saaty, 1999, 1). این قابلیت ANP امکان در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل بین عناصر را فراهم آورده و در نتیجه نگرش دقیق‌تری به مسایل پیچیده شهرسازی ارایه می‌کند. تأثیر عناصر بر عناصر دیگر در یک شبکه توسط یک سوپر ماتریس در نظر گرفته می‌شود.

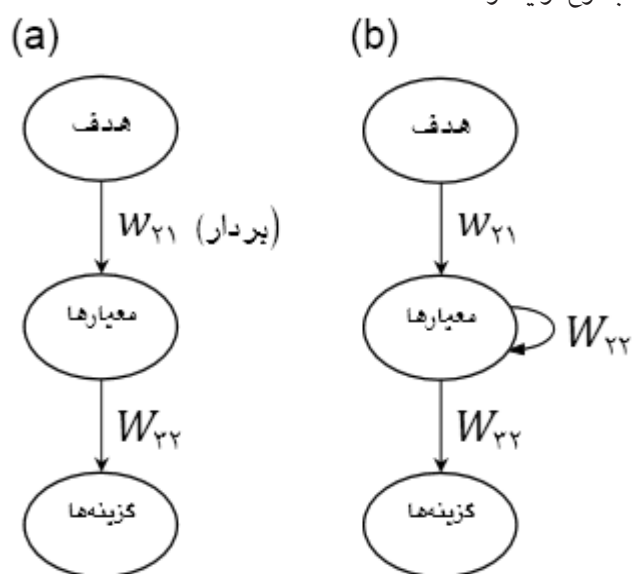


نمودار ۱- تفاوت ساختاری بین یک "سلسله‌مراتب" و "شبکه".
مأخذ: تنظیم بر اساس (Chung et al, 2005)

تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد

برای دستیابی به اولویت‌های کلی^{۱۶} در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت‌های داخلی (یعنی w های محاسبه شده) در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. در نتیجه، یک سوپر ماتریس (در واقع یک ماتریس تقسیم‌بندی شده^{۱۷}) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، بدست می‌آید.

به عنوان مثال یک ساختار سه سطحی هدف، معیارها و گزینه‌ها به دو شکل سلسله‌مراتبی (a) و شبکه‌ای (b) در نمودار ۲ ارائه شده است. سوپر ماتریس مربوط به حالت سلسله‌مراتبی (a) را می‌توان بشرح ارائه کرد:



نمودار ۲- ساختار سلسله‌مراتبی (a) و شبکه‌ای (b).
مأخذ: تنظیم بر اساس (Saaty, 1999:4)

$$W_h = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ w_{21} & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix}$$

در این سوپر ماتریس، w_{21} برداری است که اثرات هدف بر روی معیارها و W_{32} اثرات معیارها بر روی گزینه‌ها را نشان می‌دهند و I ماتریس واحد است. اگر معیارها دارای تأثیرات متقابل باشند، فرآیند سلسله‌مراتبی به فرآیند شبکه‌ای تبدیل می‌شود^{۱۸} (نمودار 2-b). تأثیرات متقابل معیارها بر یکدیگر از طریق وارد کردن ماتریس W_{22} در سوپر ماتریس W_h (بشرح زیر) امکان‌پذیر می‌شود (W_n):
خوشه

$$W_n = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ w_{21} & W_{22} & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix}$$

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را در چهار مرحله زیر می‌توان خلاصه کرد (Carlucci and Schiuma, 2008; Lee et al, 2009, 1-2):

ساخت مدل و تبدیل مسئله/ موضوع به یک ساختار شبکه‌ای

موضوع/ مسئله باید به طور آشکار و روشن به یک سیستم منطقی، مثل یک شبکه تبدیل شود. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان از طریق طوفان مغزها و یا هر روش مناسب دیگری چون روش دلفی، یا روش گروه اسمی^{۱۱} بدست آورد. در این مرحله موضوع/ مسئله مورد نظر به یک ساختار شبکه‌ای که در آن گره‌ها به عنوان خوشه‌ها مطرح هستند، تبدیل می‌شود. عناصر درون یک خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشند (تحت تأثیر آنها بوده یا بر آنها اثرگذار باشند). این ارتباط‌ها (وابستگی بیرونی^{۱۲}) با پیکان (فلش) نشان داده می‌شوند. همچنین ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان دارای ارتباط متقابل باشند (وابستگی درونی^{۱۳}) که این‌گونه ارتباط‌ها به وسیله یک کمان متصل به آن خوشه^{۱۴} نشان داده می‌شود (نمودار (b) ۱).

تشکیل ماتریس مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت

مشابه مقایسه‌های دودویی که در AHP انجام می‌شود، عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها، براساس میزان اهمیت آنها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. خود خوشه‌ها نیز براساس نقش و تأثیر آنها در دستیابی به هدف، دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. تصمیم‌گیران در مورد مقایسه دودویی عناصر و یا خود خوشه‌ها دو به دو باید تصمیم‌گیری کنند. علاوه براین، وابستگی‌های متقابل بین عناصر یک خوشه نیز باید دو به دو مورد مقایسه قرار گیرند. تأثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل ارائه است. اهمیت نسبی عناصر براساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی سنجیده می‌شود (همانند AHP). در این قسمت، بردار اهمیت داخلی^{۱۵} محاسبه می‌شود که نشانگر اهمیت نسبی (ضریب اهمیت) عناصر یا خوشه‌هاست، که از طریق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Aw = \lambda_{\max} w$$

که در آن:

A : ماتریس مقایسه دودویی معیارها،

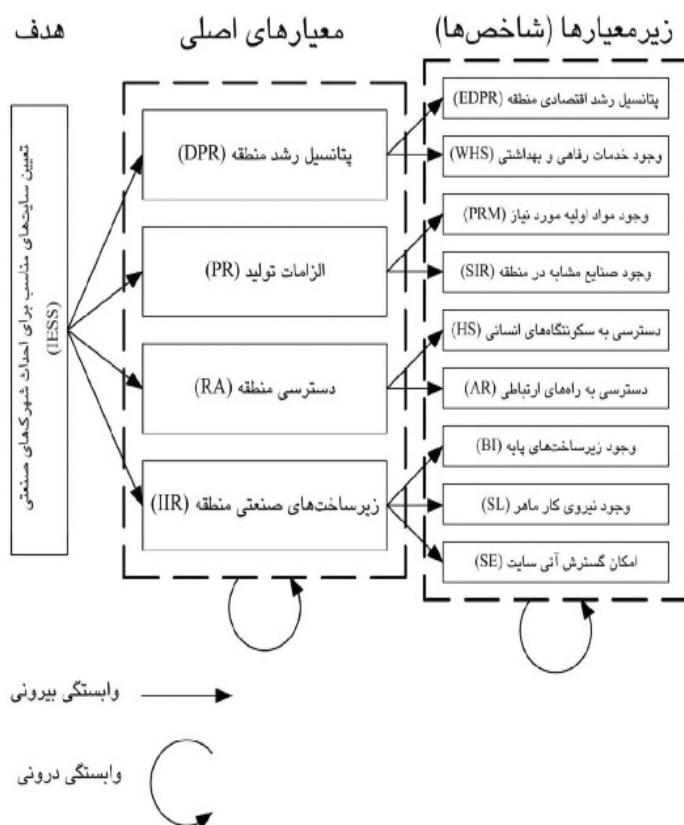
W : بردار ویژه (ضریب اهمیت)، و

$\lambda_{\max}$: بزرگترین مقدار ویژه عددی است.

برای محاسبه بردار ویژه W، ساعتی چندین روش ارائه کرده است. در صورتی که محاسبات قرار است بدون استفاده از نرم‌افزار خاصی انجام شوند، بهتر است از روش تقریب میانگین هندسی استفاده شود (بنگرید به زبردست، ۱۳۸۰). بنابراین در این مرحله بردارهای اولویت داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرند.

پس از تعیین و مشخص نمودن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در تعیین سایت مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی، لازم است ارتباط بین این عوامل (معیارها و زیرمعیارها) نیز مشخص شود. معمولاً برای این کار، از نظرات گروهی از متخصصین ذیربط استفاده می‌شود.

مدل شبکه‌ای برای تعیین سایت مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی در نمودار ۳ ارائه شده است. این نمودار نشان می‌دهد که گزینه‌ها به طور جداگانه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. همچنین این نمودار پیداست که هم معیارها و هم زیرمعیارها دارای وابستگی دورنی هستند. جدول ۱ وابستگی‌های دورنی معیارها به یکدیگر و جدول ۷ وابستگی‌های دورنی زیرمعیارها به یکدیگر را نشان می‌دهد.



نمودار ۳- مدل شبکه‌ای برای تعیین سایت‌های مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی.
(ماخذ: نگارنده)

برخلاف فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که ارتباط بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، سلسله‌مراتبی و یک‌سویه است، در فرآیند تحلیل شبکه‌ای، افزون بر ارتباط سلسله‌مراتبی، در بخش‌هایی از مدل ممکن است معیارها و زیرمعیارها با یکدیگر ارتباط و وابستگی متقابل داشته باشند، همانند این مثال که در آن معیارها و زیرمعیارها با یکدیگر ارتباط و وابستگی متقابل دارند.

این نوع ماتریس را سوپر ماتریس اولیه می‌نامند. با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در سوپر ماتریس اولیه، سوپر ماتریس ناموزون^{۲۹} بدست می‌آید.

در مرحله بعد، سوپر ماتریس موزون^{۳۰} از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای^{۳۱} محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی^{۳۲} تبدیل می‌شود (Saaty, 1999).

در مرحله سوم (و نهایی)، سوپر ماتریس حد^{۳۳} با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی^{۳۴} حاصل شود (از طریق تکرار^{۳۵})، یا به عبارت دیگر تمامی عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند، محاسبه می‌شود:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k$$

انتخاب گزینه برتر

اگر سوپر ماتریس تشکیل شده در مرحله سوم، کل "شبکه" را در نظر گرفته باشد، یعنی گزینه‌ها نیز در سوپر ماتریس لحاظ شده باشند، اولویت کلی گزینه‌ها از ستون مربوط به گزینه‌ها در سوپر ماتریس حد نرمالیزه شده قابل حصول است. اگر سوپر ماتریس، فقط بخشی از شبکه که وابستگی متقابل دارند را شامل شود و گزینه‌ها در سوپر ماتریس در نظر گرفته نشوند^{۳۶}، محاسبات بعدی لازم است صورت بگیرد تا اولویت کلی گزینه‌ها بدست آید. گزینه‌ای که بیشترین اولویت کلی را داشته باشد، به عنوان برترین گزینه برای موضوع مورد نظر انتخاب می‌شود.

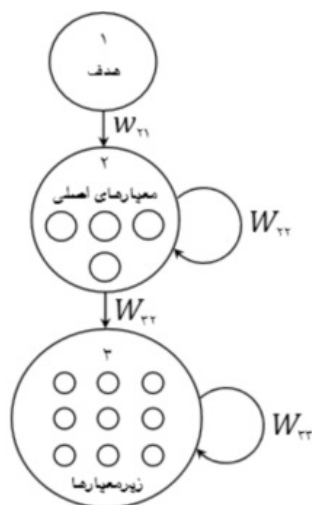
۳. نمونه کاربردی: تعیین سایت مناسب برای ایجاد شهرک‌های صنعتی در یک منطقه فرضی

قرار است از بین ۳ سایت شناسایی شده (A, B, C) برای احداث شهرک‌های صنعتی، سایت مناسب‌تر برای ایجاد شهرک صنعتی انتخاب شود. برای انتخاب سایت مطلوب‌تر، مراحل زیر طی می‌شود:

تبیین مدل/ الگوی انتخاب (تعیین اولویت) سایت‌های مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی (ساخت مدل و تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه‌ای)

ابتدا لازم است عوامل مؤثر در تعیین مکان مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی از متون نظری و تجربی مرتبط، استخراج شده و پس از انطباق آنها با شرایط کشور، معیارها، زیرمعیارها و احتمالاً زیر- زیرمعیارهای تعیین‌کننده برای دستیابی به اهداف مطالعه مشخص شوند.

برای اهداف این مقاله و برای سهولت ارایه کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در انتخاب سایت‌های مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی، فقط از چهار معیار اصلی و زیرمعیارهای مربوط به آنها، به شرح نمودار ۳ استفاده خواهد شد.



نمودار ۴- ارتباط و وابستگی‌های بین معیارها و زیرمعیارها در مدل مکانیابی
مورد نظر.
(ماخذ: نگارنده)

جدول ۱- وابستگی درونی معیارهای اصلی به یکدیگر.

معیارها	(DPR)	(PR)	(RA)	(IIR)
۱. پتانسیل رشد منطقه (DPR)		✓	✓	✓
۲. الزامات تولید (PR)	✓		✓	✓
۳. دسترسی منطقه (RA)	✓	✓		✓
۴. زیرساخت‌های صنعتی منطقه (IIR)	✓	✓	✓	

(ماخذ: نگارنده)

لازم است که در این مرحله، با توجه به ساختار شبکه‌ای مدل (نمودار ۴)، ساختار کلی سوپر ماتریس یا همان سوپر ماتریس اولیه نیز مشخص شود. با توجه به نمودار ۴ که ارتباط و وابستگی‌های بین معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهد، ساختار سوپر ماتریس اولیه به شرح جدول ۲ خواهد بود:

تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌ای و کنترل سازگاری آنها

در این مرحله ماتریس‌های مقایسه‌ای معیارهای اصلی، وابستگی معیارهای اصلی به یکدیگر، زیرمعیارها و وابستگی زیرمعیارها به یکدیگر تشکیل شده و سازگاری آنها نیز کنترل می‌شود. این مراحل ذیلاً توضیح داده می‌شوند:

مقایسه دودویی معیارهای اصلی

مقایسه دودویی معیارهای اصلی چهارگانه براساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی (بنگرید به زبردست، ۱۳۸۰: ۱۵) و به همان ترتیبی که در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام می‌شود. نتیجه مقایسه دودویی معیارهای اصلی و همچنین برادر موزون حاصل از آن، یعنی W_{21} در جدول ۲ ارائه شده است.^{۲۷} برای دستیابی به نتیجه مطلوب، می‌توان از قضاوت گروهی برای مقایسه دودویی معیارها استفاده کرد که در این صورت عناصر ماتریس مقایسه دودویی معیارها از میانگین هندسی نظرات گروهی حاصل خواهد شد.

جدول ۳- مقایسه دودویی معیارهای اصلی.

معیارها	(DPR)	(PR)	(RA)	(IIR)	بردار ویژه (W)
۱. پتانسیل رشد منطقه (DPR)	۱				۰.۰۹۴
۲. الزامات تولید (PR)	۲.۵	۱			۰.۲۴۴
۳. دسترسی منطقه (RA)	۳.۸	۱.۲	۱		۰.۲۸۷
۴. زیرساخت‌های صنعتی منطقه (IIR)	۳.۳	۱.۴	۱.۷	۱	۰.۳۷۵

(ماخذ: نگارنده)

- ضریب سازگاری (CR)=0.02

مقایسه دودویی وابستگی‌های درونی معیارهای اصلی (ماتریس W_{22})

برای درک وابستگی‌های متقابل بین معیارهای اصلی، مقایسه دودویی بین معیارهای اصلی به منظور دستیابی به عناصر ماتریس W_{22} و براساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی انجام می‌شود. برای نحوه محاسبه ضریب اهمیت هریک از معیارهای اصلی (با توجه به وابستگی

متقابل بین آنها)، مقایسه دودویی معیارهای اصلی ۳ گانه دیگر (با کنترل کردن معیار اول یعنی پتانسیل رشد منطقه) در جدول ۴ ارائه شده است. نحوه سؤال کردن ضریب اهمیت در این مورد، به این ترتیب است: "اهمیت نسبی "الزامات تولید" در مقایسه با "دسترسی منطقه" وقتی که "پتانسیل رشد منطقه" کنترل شود، چقدر است؟

جدول ۴- مقایسه دودویی معیارهای اصلی با توجه به وابستگی درونی آنها، با کنترل "پتانسیل رشد منطقه (DPR)"

معیارها	۲. (PR)	۳. (RA)	۴. (IIR)	بردار ویژه (w)
۲. الزامات تولید (PR)	۱			0.252
۳. دسترسی منطقه (RA)	۱	۱		0.261
۴. زیرساخت‌های صنعتی منطقه (IIR)	۲	۱/۸	۱	0.487

(ماخذ: نگارنده)

- ضریب سازگاری (CR)=0.01

$$W_{22} = \begin{matrix} & \begin{matrix} DPR & PR & RA & IIR \end{matrix} \\ \begin{matrix} DPR \\ PR \\ RA \\ IIR \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0.225 & 0.169 & 0.192 \\ 0.252 & 0 & 0.299 & 0.397 \\ 0.261 & 0.235 & 0 & 0.41 \\ 0.487 & 0.541 & 0.532 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

سه ماتریس مقایسه دودویی دیگر، شبیه ماتریس ارایه شده در جدول ۴، لازم است تشکیل شده، و ضریب سازگاری هریک از آنها کنترل شود تا بتوان ماتریس مربوط به وابستگی‌های متقابل معیارهای اصلی (W_{22}) را محاسبه کرد. پس از تشکیل این ۳ ماتریس و انجام محاسبات لازم، نتایج حاصله در ماتریس W_{22} ارائه شده است:

مقایسه دودویی زیرمعیارهای هریک از معیارهای اصلی (ماتریس W_{32})

زیرمعیارهای مربوط به "پتانسیل رشد منطقه (DPR)"، یعنی پتانسیل رشد اقتصادی منطقه (EDPR) و وجود خدمات رفاهی و بهداشتی (WHS) و بردار موزون حاصل از آن در جدول ۵ ارائه و نتیجه در ماتریس W_{32} ارائه شده است.

در این مرحله، ضریب اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیارهای اصلی چهارگانه از طریق مقایسه دودویی آنها (براساس مقیاس ۹، کمیتی ساعتی) بدست آمده و این ضرایب اهمیت، عناصر ستونی ماتریس W_{32} را تشکیل خواهند داد. نتیجه مقایسه دودویی

جدول ۵- مقایسه دودویی زیرمعیارهای مربوط به "پتانسیل رشد منطقه (DPR)"

زیر معیارها	۱. (EDPR)	۲. (WHS)	بردار ویژه (w)
۱. پتانسیل رشد اقتصادی منطقه (EDPR)	۱.۰	۲.۰	۰.۶۶۷
۲. وجود خدمات رفاهی و بهداشتی (WHS)	۰.۵	۱.۰	۰.۳۳۳

(ماخذ: نگارنده)

- ضریب سازگاری (CR)=0.00

$$W_{32} = \begin{matrix} & \begin{matrix} DPR & PR & RA & IIR \end{matrix} \\ \begin{matrix} EDPR \\ WHS \\ PRM \\ SIR \\ HS \\ AR \\ BI \\ SL \\ SE \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.667 & 0 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.545 & 0 \\ 0 & 0 & 0.455 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.582 \\ 0 & 0 & 0 & 0.309 \\ 0 & 0 & 0 & 0.109 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

مقایسه دودویی وابستگی‌های درونی زیرمعیارها (ماتریس W_{33})

همانطور که از نمودار ۳ پیدا است، ۹ زیرمعیار (شاخص) که نشانگر ویژگی‌های معیارهای اصلی چهارگانه می‌باشند، برای اهداف این مطالعه انتخاب شده‌اند. وابستگی‌های متقابل این زیرمعیارها در

جدول ۶- وابستگی‌های درونی زیرمعیارها به یکدیگر.

زیرمعیارها	EDPR	WHS	PRM	SIR	HS	AR	BI	SL	SE
۱. پتانسیل رشد اقتصادی منطقه (EDPR)			✓		✓	✓	✓	✓	
۲. وجود خدمات رفاهی و بهداشتی (WHS)				✓	✓		✓		
۳. وجود مواد اولیه مورد نیاز (PRM)	✓								
۴. وجود صنایع مشابه در منطقه (SIR)			✓					✓	
۵. دسترسی به سکونتگاه‌های انسانی (HS)	✓	✓				✓			
۶. دسترسی به راه‌های ارتباطی (AR)	✓				✓				✓
۷. وجود زیرساخت‌های پایه (BI)	✓	✓			✓				✓
۸. وجود نیروی کار ماهر (SL)	✓			✓	✓				
۹. امکان گسترش آبی سایت (SE)				✓		✓	✓		

(ماخذ: نگارنده)

مقایسه دودویی زیرمعیارهای دارای وابستگی متقابل با زیرمعیار "پتانسیل رشد اقتصادی منطقه" (EDPR) و بردار موزون حاصل از آن، در جدول ۷ ارائه شده است. نتیجه مقایسه‌های دودویی و بردار موزون سایر زیرمعیارهای دارای وابستگی متقابل، در ماتریس W_{33} ارائه شده است.

جدول ۷- مقایسه دودویی زیرمعیارهای دارای وابستگی متقابل با زیرمعیار EDPR.

زیرمعیارها	PRM	HS	AR	BI	SL	بردار ویژه (w)
وجود مواد اولیه مورد نیاز (PRM)	1	3.0	1.5	1.5	3	0.331
دسترسی به سکونتگاه‌های انسانی (HS)	0.33	1	0.67	1.0	0.5	0.114
دسترسی به راه‌های ارتباطی (AR)	2.25	1.5	1	1.5	2.0	0.240
وجود زیرساخت‌های پایه (BI)	2.25	1.0	0.67	1	2.0	0.183
وجود نیروی کار ماهر (SL)	0.33	2.0	0.5	0.5	1	0.132

- ضریب سازگاری (CR) = 0.03 (ماخذ: نگارنده)

	EDPR	WHS	PRM	SIR	HS	AR	BI	SL	SE
EDPR	0	0	0.778	0	0.269	0.519	0.389	0.519	0
WHS	0	0	0	0	0.102	0	0.159	0	0
PRM	0.331	0	0	0.652	0	0	0	0	0
SIR	0	0	0.222	0	0	0	0	0.177	0.183
HS	0.114	0.4	0	0	0	0.177	0.237	0.304	0
AR	0.24	0	0	0	0.216	0	0	0	0.424
BI	0.183	0.6	0	0	0.266	0	0	0	0.393
SL	0.132	0	0	0.178	0.147	0	0	0	0
SE	0	0	0	0.17	0	0.304	0.214	0	0

با هریک از زیرمعیارها ارایه شده است. این جدول ملاک ارزیابی ارجحیت گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارها است. در جدول ۹ مقایسه دودویی ارجحیت گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیار "پتانسیل رشد اقتصادی منطقه" (EDPR) ارایه شده است. برای تعیین میزان ارجحیت گزینه‌ها در ارتباط با سایر زیرمعیارها نیز چنین ماتریس‌هایی باید تشکیل و بردار ویژه آنها محاسبه شود. نتیجه این محاسبات در ماتریس E_{ij} ارایه شده است.

مقایسه دودویی ارجحیت گزینه‌ها

در این مرحله ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هریک از زیرمعیارها، مورد بررسی و قضاوت قرار می‌گیرد. مبنای این قضاوت همان مقیاس ۹ کمیتی ساعتی است، با این تفاوت که در مقایسه گزینه‌ها در ارتباط با هریک از زیرمعیارها، بحث ارجحیت گزینه‌ها مطرح است و نه میزان اهمیت آنها (بنگرید به زبردست، ۱۳۸۰: ۱۷). در جدول ۸ که به ماتریس ارزیابی معروف است، ارزش هریک از گزینه‌ها در ارتباط

جدول ۸- ماتریس ارزیابی سایت‌های مورد نظر برای احداث شهرک‌های صنعتی.

زیرمعیارها / سایت‌ها	۱. پتانسیل رشد اقتصادی منطقه (EDPR)	۲. وجود خدمات رفاهی و بهداشتی (WHS)	۳. وجود مواد اولیه مورد نیاز (PRM)	۴. وجود صنایع مشابه در منطقه (SIR)	۵. دسترسی به سکونتگاه‌های انسانی (HS)	۶. دسترسی به راه‌های ارتباطی (AR)	۷. زیرساخت‌های پایه (BI)	۸. وجود نیروی کار ماهر (SL)	۹. امکان گسترش آبی سایت (SE)
A	نسبتاً بالا	نامطلوب	اندک	۴	خوب	خوب	عالی	۵	خیلی کم
B	بالا	بسیار مطلوب	عالی	۳	بسیار خوب	عالی	خوب	۹	کم
C	تاحدودی بالا	بسیار نامطلوب	خیلی خوب	۹	خوب	خیلی خوب	خوب	۳	خیلی زیاد

(ماخذ: نگارنده)

جدول ۹- مقایسه دودویی ارجحیت گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیار "پتانسیل رشد اقتصادی منطقه (EDPR)".

گزینه‌ها	سایت A	سایت B	سایت C	بردار ویژه (w)
سایت A	۱			۰/۳۰۹
سایت B	۱/۴	۱		۰/۴۲۴
سایت C	۰/۸	۰/۵۹	۱	۰/۲۵۷

(ماخذ: نگارنده)

- ضریب سازگاری (CR)=0.00

	سایت A	سایت B	سایت C
EDPR	0.309	0.434	0.257
WHS	0.231	0.692	0.077
PRM	0.152	0.497	0.352
SIR	0.25	0.19	0.56
HS	0.263	0.474	0.263
AR	0.213	0.417	0.37
BI	0.429	0.286	0.286
SL	0.296	0.529	0.175
SE	0.204	0.265	0.531

$E_{ij} =$

دودویی خوشه‌ها در چارچوب ساختار سوپر ماتریس اولیه (ناموزون) (جدول ۲) حاصل می‌شود. براساس پیشنهاد ساعتی، برای بدست آوردن اهمیت نسبی خوشه‌ها در سوپر ماتریس اولیه (ناموزون) لازم است ماتریس خوشه‌ای بگونه‌ای محاسبه شود که خوشه‌های ستونی آن به عنوان عناصر کنترلی در نظر گرفته شوند. به عبارت دیگر، خوشه‌های ستونی غیر صفر سوپر ماتریس اولیه (ناموزون) با خوشه‌های دیگر واقع در آن ستون، مورد مقایسه دودویی قرار بگیرند تا بردار اهمیت هریک از خوشه‌های ستونی بدست آمده و نهایتاً با در کنار هم گذاشتن بردار اهمیت هریک از خوشه‌ها، ماتریس خوشه‌ای بدست آید (Saaty, 1999: 9).
نگاهی به ساختار سوپر ماتریس اولیه (جدول ۲) این مطالعه نشان می‌دهد که فقط در خوشه ستونی مربوط به "معیارهای اصلی" باید این خوشه با خوشه زیرمعیارها مورد مقایسه قرار گیرد (جدول ۱۱). در نتیجه، ماتریس خوشه‌ای در جدول ۱۲ حاصل شده است.

جدول ۱۲- ماتریس خوشه‌ای اولیه.

	خوشه‌ها		
	هدف	معیارهای اصلی	زیرمعیارها
هدف	0	0	0
معیارهای اصلی	1	0.655	0
زیرمعیارها	0	0.345	1

محاسبه سوپر ماتریس حد

برای محاسبه سوپر ماتریس حد مراحل زیر را باید طی کرد:

تشکیل سوپر ماتریس ناموزون

با توجه به این که کلیه ماتریس‌های مقایسه‌ای موجود در ساختار سوپر ماتریس ناموزون (W33, W32, W22, w21) محاسبه شده و سازگاری آنها نیز کنترل شده است، می‌توان با جایگزین کردن این ماتریس‌ها در سوپر ماتریس اولیه (بنگرید به جدول ۲)، سوپر ماتریس ناموزون را به شرح جدول ۱۰ بدست آورد. حال سوپر ماتریس ناموزون باید به سوپر ماتریس موزون، یعنی ماتریسی که جمع اجزای ستون آن ۱ است (آنچه ساعتی آن را ماتریس تصادفی می‌نامد) تبدیل شود.

برای تبدیل سوپر ماتریس ناموزون به سوپر ماتریس موزون باید سوپر ماتریس ناموزون را در ماتریس خوشه‌ای^{۲۸} ضرب کرد. ماتریس خوشه‌ای میزان تاثیرگذاری هریک از خوشه‌ها برای دستیابی به اهداف مطالعه را منعکس می‌کند. ماتریس خوشه‌ای از مقایسه

جدول ۱۱- مقایسه دودویی خوشه‌ها.

خوشه‌ها	۱. معیارهای اصلی	۲. زیرمعیارها	بردار ویژه (w)
۱. معیارهای اصلی	۱	۱.۹	۰.۶۵۵
۳. زیرمعیارها		۱	۰.۳۴۵

(ماخذ: نگارنده)

محاسبه سوپر ماتریس موزون

نسبی دراز مدت هریک از عناصر آن در یکدیگر حاصل شود. برای واگرایی ضریب اهمیت هریک از عناصر ماتریس موزون، بنابراین، آن را به توان K که یک عدد اختیاری بزرگ است، می‌رسانیم تا اینکه همه عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند (باهم برابر شوند). این کار با تکرار انجام می‌شود. در چنین حالتی سوپر ماتریس حد بدست آمده است. در مطالعه حاضر در توان ۵۰۰ سوپر ماتریس موزون^{۲۹}، سوپر ماتریس حد بدست آمده است که تمامی عناصر آن با یکدیگر تقریباً برابر شده‌اند (جدول ۱۴). لازم به ذکر است که عناصر سوپر ماتریس

حال برای بدست آوردن سوپر ماتریس موزون، هریک از عناصر خوشه‌های ستونی سوپر ماتریس ناموزون در بردار اهمیت نسبی آن خوشه (از ماتریس خوشه‌ای) باید ضرب شود. سوپر ماتریس موزون بدست آمده تصادفی/احتمالی است. یعنی، جمع عناصر ستونی آن یک است. سوپر ماتریس موزون این مطالعه در جدول ۱۳ ارایه شده است.

محاسبه سوپر ماتریس حد

هدف از به حد رساندن سوپر ماتریس موزون این است که تأثیر

$$W_{ANP} = \begin{matrix} \text{EDPR} & 0.277 \\ \text{WHS} & 0.033 \\ \text{PRM} & 0.127 \\ \text{SIR} & 0.053 \\ \text{HS} & 0.117 \\ \text{AR} & 0.124 \\ \text{BI} & 0.131 \\ \text{SL} & 0.063 \\ \text{SE} & 0.075 \end{matrix}$$

حد باید نرمالیزه شوند تا حالت تصادفی/احتمالی بدست آید (جمع عناصر ستونی آن یک شود). بردار اهمیت نهایی برای اهداف این مطالعه پس از نرمالیزه شدن در مقابل ارایه شده است (W_{ANP}):
براساس این بردار اهمیت نهایی (W_{ANP})، ۳ زیرمعیار پتانسیل رشد اقتصادی منطقه ($EDPR = 0.277$)، وجود زیرساخت‌های پایه (0.131) ($BI =$) و وجود مواد اولیه مورد نیاز ($PRM = 0.127$)، به ترتیب، بیشترین اهمیت و در نتیجه بیشترین تأثیر را در اولویت‌بندی سایت‌های مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی خواهند داشت.

جدول ۱۰ - سوپر ماتریس ناموزون.

هدف	هدف	معیارهای اصلی					زیرمعیارها									
		DPR	PR	RA	IIR		EDPR	WHS	PRM	SIR	HS	AR	BI	SL	SE	
معیارهای اصلی	هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DPR	0.094	0	0.225	0.169	0.192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PR	0.244	0.252	0	0.299	0.397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RA	0.287	0.261	0.235	0	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
زیرمعیارها	IIR	0.375	0.487	0.541	0.532	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EDPR	0	0.667	0	0	0	0	0	0.778	0	0.269	0.519	0.389	0.519	0	0
	WHS	0	0.333	0	0	0	0	0	0	0	0.102	0	0.159	0	0	0
	PRM	0	0	0.8	0	0	0.331	0	0	0.652	0	0	0	0	0	0
	SIR	0	0	0.2	0	0	0	0	0.222	0	0	0	0	0.177	0.183	0
	HS	0	0	0	0.545	0	0.114	0.4	0	0	0	0.177	0.237	0.304	0	0
	AR	0	0	0	0.455	0	0.24	0	0	0	0.216	0	0	0	0.424	0
	BI	0	0	0	0	0.582	0.183	0.6	0	0	0.266	0	0	0	0.393	0
	SL	0	0	0	0	0.309	0.132	0	0	0.178	0.147	0	0	0	0	0
	SE	0	0	0	0	0.109	0	0	0	0.17	0	0.304	0.214	0	0	0

جدول ۱۳ - سوپر ماتریس موزون.

هدف	هدف	معیارهای اصلی					زیرمعیارها									
		DPR	PR	RA	IIR		EDPR	WHS	PRM	SIR	HS	AR	BI	SL	SE	
معیارهای اصلی	هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DPR	0.094	0	0.1463	0.1099	0.1248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PR	0.244	0.1638	0	0.1944	0.25805	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RA	0.287	0.1697	0.1528	0	0.2665	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
زیرمعیارها	IIR	0.375	0.3166	0.3517	0.3458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EDPR	0	0.2335	0	0	0	0	0	0.778	0	0.269	0.519	0.389	0.519	0	0
	WHS	0	0.1166	0	0	0	0	0	0	0	0.102	0	0.159	0	0	0
	PRM	0	0	0.28	0	0	0.331	0	0	0.652	0	0	0	0	0	0
	SIR	0	0	0.07	0	0	0	0	0.222	0	0	0	0	0.177	0.183	0
	HS	0	0	0	0.1908	0	0.114	0.4	0	0	0	0.177	0.237	0.304	0	0
	AR	0	0	0	0.1593	0	0.24	0	0	0	0.216	0	0	0	0.424	0
	BI	0	0	0	0	0.2037	0.183	0.6	0	0	0.266	0	0	0	0.393	0
	SL	0	0	0	0	0.10815	0.132	0	0	0.178	0.147	0	0	0	0	0
	SE	0	0	0	0	0.03815	0	0	0	0.17	0	0.304	0.214	0	0	0

جدول ۱۴ - سوپر ماتریس حد.

هدف	هدف	معیارهای اصلی					زیرمعیارها									
		DPR	PR	RA	IIR		EDPR	WHS	PRM	SIR	HS	AR	BI	SL	SE	
معیارهای اصلی	هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DPR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
زیرمعیارها	IIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EDPR	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260
	WHS	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
	PRM	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119
	SIR	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
	HS	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110
	AR	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116
	BI	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123
	SL	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
	SE	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070

(ماخذ: نگارنده)

۴. انتخاب سایت مناسب برای احداث شهرک صنعتی

برای انتخاب سایت مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی، از رابطه پیشنهادی لین و همکاران (Lin et al, 2008) به شرح زیر استفاده می‌کنیم:

$$D_i = \sum_{j=1}^J w_j E_{ij} \quad (۱)$$

که در آن: D_i شاخص مطلوبیت سایت i برای احداث شهرک صنعتی، w_j اهمیت نسبی زیرمعیار j (مستخرج از سوپر ماتریس (W_{ANP}) ، E_{ij} امتیاز سایت i از زیرمعیار j (ماتریس (E_{ij})).
مطلوبیت سایت‌های سه‌گانه برای احداث شهرک‌های صنعتی (D_i)، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و نتایج پس از تعیین رتبه سایت‌ها در ردیف آخر جدول ۱۵ ارائه شده است. نگاهی به این جدول نشان می‌دهد که سایت B (با امتیاز ۰/۴۱۴) مطلوب‌ترین سایت برای احداث شهرک صنعتی است. سایت‌های C و A در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

جدول ۱۵ - محاسبه شاخص مطلوبیت (D_i) سایت‌های مورد نظر برای احداث شهرک‌های صنعتی و تعیین رتبه آنها.

معیارها	زیرمعیارها	w_j	E_{ij}			$w_j E_{ij}$		
			سایت A	سایت B	سایت C	سایت A	سایت B	سایت C
DPR	EDPR	0.277	0.309	0.434	0.257	0.08559	0.12022	0.07119
	WHS	0.033	0.231	0.692	0.077	0.00762	0.02284	2.54E-03
PR	PRM	0.127	0.152	0.497	0.352	0.0193	0.06312	0.0447
	SIR	0.053	0.25	0.19	0.56	0.01325	0.01007	0.02968
RA	HS	0.117	0.263	0.474	0.263	0.03077	0.05546	0.03077
	AR	0.124	0.213	0.417	0.37	0.02641	0.05171	0.04588
IIR	BI	0.131	0.429	0.286	0.286	0.0562	0.03747	0.03747
	SL	0.063	0.296	0.529	0.175	0.01865	0.03333	0.01103
	SE	0.075	0.204	0.265	0.531	0.0153	0.01988	0.03983
$D_i = \sum_{j=1}^J w_j E_{ij}$						0.2731	0.414077	0.313081

(ماخذ: نگارنده)

نتیجه

حفظ کلیه قابلیت‌های AHP از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان، قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها، و امکان رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها می‌تواند بر محدودیت‌های جدی آن، از جمله در نظر نگرفتن وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم و فرض این‌که ارتباط بین عناصر تصمیم سلسله‌مراتبی و یک‌طرفه است، فایده‌آمده و چارچوب مناسبی را برای تحلیل مسایل شهری فراهم آورد.

در این مقاله فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و کاربرد آن در شهرسازی با به‌کارگیری آن در تعیین سایت مطلوب برای احداث شهرک‌های صنعتی در یک منطقه مطرح گردید. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد با توجه به این‌که در اغلب موارد مسایل برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای بگونه‌ای هستند که در آن عناصر تصمیم دارای بازخورد و وابستگی متقابل‌اند، فرآیند تحلیل شبکه‌ای می‌تواند کاربردهای فراوانی در شهرسازی داشته باشد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای، ضمن

پی‌نوشت‌ها:

- ۱ Multi Criteria Decision Making (MCDM)
- ۲ Analytic Hierarchy Process (AHP)
- ۳ Rank reversal
- ۴ Thomas L. Saaty
- ۵ Analytic Network Process (ANP)
- ۶ Feedback
- ۷ Elements
- ۸ Cluster
- ۹ Control hierarchy
- ۱۰ Network relationship
- ۱۱ روش گروه‌اسمی (Nominal Group Technique) روشی است که در آن اعضای گروه، بدون این که فردی بخواهد نظر خود را بر دیگران تحمیل کند، درباره موضوع مورد نظر بحث کرده و نهایتاً به اجماع می‌رسند.
- ۱۲ Outer dependence
- ۱۳ Inner dependence
- ۱۴ Looped arc
- ۱۵ Local priority vector
- ۱۶ Global priorities
- ۱۷ Partitioned matrix
- ۱۸ اگر هیچ تأثیر متقابلی بین معیارها و زیرمعیارها وجود نداشته باشد، نتیجه محاسبات AHP و ANP یکسان خواهد بود.
- ۱۹ Unweighted super matrix
- ۲۰ Weighted super matrix
- ۲۱ Cluster matrix
- ۲۲ Stochastic
- ۲۳ Limit super matrix
- ۲۴ Convergence
- ۲۵ Iteration
- ۲۶ معمولاً در مواردی که تعداد گزینه‌ها زیاد است، برای این که ابعاد سوپرماتریس بیش از معمول بزرگتر نباشد، گزینه‌ها در سوپرماتریس لحاظ نمی‌شوند.
- ۲۷ برای تعیین ضریب اهمیت معیارها، دو به دو آنها را مقایسه می‌کنیم. به عنوان مثال، برای تعیین سایت‌های مناسب برای احداث شهرک‌های صنعتی، معیار "زیرساخت‌های صنعتی منطقه" دارای اهمیت بیشتری است یا "پتانسیل رشد منطقه"؟
- ۲۸ Cluster matrix
- ۲۹ در این مطالعه به منظور نشان دادن مراحل مختلف مربوط به کاربرد ANP در شهرسازی از نرم‌افزار Expert Choice برای محاسبات مربوط به بردارهای اولویت (w) و از نرم‌افزار MATLAB برای محاسبات مربوط به حد رساندن سوپر ماتریس استفاده شده است. هرچند می‌توان از نرم‌افزار Decisions Super برای حل این گونه مسایل استفاده کرد. نرم‌افزار مذکور از سایت www.superdecisions.com قابل اخذ و استفاده است.

فهرست منابع:

زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰)، کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، هنرهای زیبا، شماره ۱۰، صص ۲۱-۱۲.

- Carlucci, D. & Schiuma, G. (2008), *Applying the analytic network process to disclose knowledge assets value creation dynamics*, Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue 4, pp. 7687-7694.
- Chung, S.H., A.H.L. Lee, and W.L. Pearn, (2005), *Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator*, International Journal of Production Economics, Vol. 96, pp. 15-36.
- Garcia-Melon, Monica, Javier Ferris-Onate, Jeronimo Aznar-Bellver, Pablo Aragonés-Beltran, and Rocio Poveda-Bautista (2008), *Farmland appraisal based on the analytic network Process*, Journal of Global Optimization, Vol. 42, pp.143-155.

- Jharkharia, S. and Shankar, R. (2007), "Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP)", *Omega*, Vol. 35, No. 3, pp. 274-289.
- Lee, H. et al. (2009), "Selection of technology acquisition mode using the analytic network process", *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 49, pp. 1274-1282.
- Lin, Yu-Hsin, Kune-Muh Tsai, Wei-Jung Shiang, Tsai-Chi Kuo, and Chih-Hung Tsai (2009) "Research on using ANP to establish a performance assessment model for business intelligence systems", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 4135-4146.
- Saaty, T. L. (1999), "Fundamentals of the Analytic Network Process", *Proceedings of ISAHF 1999*, Kobe, Japan.