

کاربرد «فرایند تحلیل سلسله مراتبی» در برنامه ریزی شهری و منطقه ای

دکتر اسفندیار زبردست*

چکیده

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^(۱) روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد انتخاب بین گزینه‌ها^(۲) را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ارزیابی چند معیاری^(۳)، ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله توماس ال ساعتی^(۴) پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است. در این مقاله، کاربرد مشخصی از این روش در برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای، یعنی در انتخاب مکان^(۵) مناسب برای اسکان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی با توجه به سادگی، انعطاف‌پذیری، به کارگیری معیارهای کیفی و کمی به طور همزمان و نیز قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها می‌تواند در بررسی موضوعات مربوط به برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای کاربرد مطلوبی داشته باشد.

واژه کلیدی:

ارزیابی، چندمعیاری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، کاربرد در شهرسازی، مکان‌یابی

* استادیار گروه آموزشی شهرسازی، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران



مقدمه

در فرایند برنامه‌ریزی، که تلاشی است برای ایجاد چارچوبی مناسب که طی آن برنامه‌ریز بتواند برای رسیدن به راه‌حل بهینه اقدام کند (Lee, 1973:2)، پس از تبیین اهداف کلی^(۱)، بیان مقاصد^(۲) (اهداف عملیاتی)، برنامه‌ریزی و تهیه گزینه‌های مختلف برای رسیدن به اهداف و مقاصد برنامه‌ریزی، "ارزیابی" صورت می‌پذیرد تا براساس شایستگی نسبی هریک از گزینه‌ها، گزینه مطلوب یا بهینه انتخاب شود (زبردست، ۱۳۷۶: ص ۱). برای سنجش شایستگی نسبی هریک از گزینه‌ها، معمولاً از معیارها^(۳) استفاده می‌شود. انتخاب مکان مناسب برای اسکان، یا به عبارت دیگر مکانیابی برای سکونت نیز از این قاعده مستثنی نیست. معیارهایی چون ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، کاربری زمین، دسترسی به زیرساخت‌ها، خطر سیل، خطر زلزله، اقلیم و آسایش، چشم‌انداز و غیره باید مورد توجه قرار گیرد، تا براساس آنها بتوان نسبت به برتری اراضی گوناگون تصمیم‌گیری کرد. در چنین شرایطی که معیارهای گوناگون همسو نیستند (یعنی زمینی که از نظر شیب، دسترسی به شهر و راه، ارتفاع از سطح دریا، مناسب‌تر از دیگر زمین‌هاست، ممکن است از نظر خطر زلزله و دسترسی به منابع آب، بدتر از آنها باشد)، تصمیم‌گیری باید در یک فضای چند بُعدی صورت پذیرد. در چنین شرایطی روش‌های ارزیابی چند معیاری، با توجه به این که در این روش‌ها فرض بر این است که هریک از معیارها محور یا بُعد جداگانه‌ای هستند (توفیق، ۱۳۷۲، ص ۴۰) می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

از بین روش‌های ارزیابی چند معیاری متعددی که در دهه‌های اخیر در زمینه‌های گوناگون مورد استفاده قرار گرفته‌اند، از جمله تحلیل تصمیم^(۴) (Pitz and McKillip, 1984)، تئوری مطلوبیت چند مشخصه^(۵) (Edward and Newman, 1982)، تصمیم‌گیری چند معیاری^(۶) (Massam, 1980; Nijkamp et al, 1990; Voogd, 1983)، تئوری قضاوت اجتماعی^(۷) (Stewart, 1988)، روش ارزیابی چند معیاری فرایند تحلیل سلسله مراتبی - AHP برای اهداف این بررسی انتخاب شده است. انتخاب روش AHP با توجه به مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های ارزیابی چند معیاری صورت پذیرفته است.^(۸)

مرور مختصری بر روش‌های ارزیابی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای

برای تبیین مفهوم ارزیابی لازم است ابتدا بر فرایند برنامه‌ریزی مروری مختصر داشته باشیم. همان طور که در مقدمه اشاره شد، فرایند برنامه‌ریزی تلاش می‌کند تا چارچوبی مناسب را فراهم آورد که طی آن برنامه‌ریز بتواند برای رسیدن به راه‌حل بهینه اقدام کند (Lee, 1973:2). این فرایند ابتدا به وسیله پتریک گدس^(۹) در ۳ مرحله

برداشت، تحلیل و طرح^(۱۰) (برنامه) تبیین گردید. در سال ۱۹۴۷ با تصویب قانون برنامه‌ریزی شهر و روستا در انگلستان مورد تأیید و تأکید قرار گرفت. در دهه ۱۹۶۰، با پیدایش نگرش سیستمی، کوشش‌هایی برای تعریف مجدد فرایند برنامه‌ریزی صورت گرفت. برخی از محققین این فرایند را در ۷ مرحله (Chadwick, 1971; 1974; Ratcliffe, 1974) و برخی دیگر در ۱۱ مرحله (McLoughlin, 1969; 1974; Roberts, 1985; Hall) قابل انجام دانسته‌اند. در کلیه این فرایندها "ارزیابی" به عنوان یکی از ارکان مهم فرایند برنامه‌ریزی مورد تأکید بوده است.^(۱۱) به این ترتیب که بعد از تعیین اهداف کلی و مقاصد برنامه‌ریزی و تهیه گزینه‌های مختلف، ارزیابی صورت می‌پذیرد تا با مقایسه گزینه‌های مختلف، براساس شایستگی نسبی آنها (Roberts, 1974:125) گزینه یا آلترناتیو مطلوب انتخاب شود.

در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، روش‌های ارزیابی متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. لیچفیلد و دیگران (et al, 1975:49) روش‌های ارزیابی مهمی که بیشتر مورد توجه و کاربرد بوده‌اند را به شرح زیر معرفی می‌کنند:

- روش ارزیابی سرمایه‌گذاری مالی^(۱۲)؛
- روش فهرست معیارها^(۱۳)؛
- روش ماتریس دستیابی به اهداف^(۱۴)؛
- روش ارزیابی هزینه‌های منابع^(۱۵)؛
- روش تحلیل هزینه-فایده اجتماعی^(۱۶)؛
- روش تحلیل جدول ترازنامه برنامه‌ریزی^(۱۷)؛
- روش‌های ارزیابی بهینه‌یابی^(۱۸).

رابرتز (Roberts, 1985:127) روش‌های ارزیابی به کار برده شده در زمینه برنامه‌ریزی را به دو گروه روش‌های ارزیابی جزئی^(۱۹) و روش‌های ارزیابی جامع^(۲۰) طبقه‌بندی می‌کند.^(۲۱) معرفی روش‌های ارزیابی چند معیاری در سال‌های اخیر طبقه‌بندی‌های جدیدی را مطرح کرده‌اند.

فالودی و ووگد^(۲۲) روش‌های ارزیابی به کار گرفته شده در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای را در ۳ گروه زیر طبقه‌بندی می‌کند:
الف - روش‌های ارزیابی پولی^(۲۳) که در آنها چارچوب ارزیابی بر مبنای مقادیر پولی صورت می‌پذیرد، مثل روش تحلیل تأثیر هزینه^(۲۴)، روش هزینه-فایده و روش تحلیل آستانه‌ای^(۲۵).

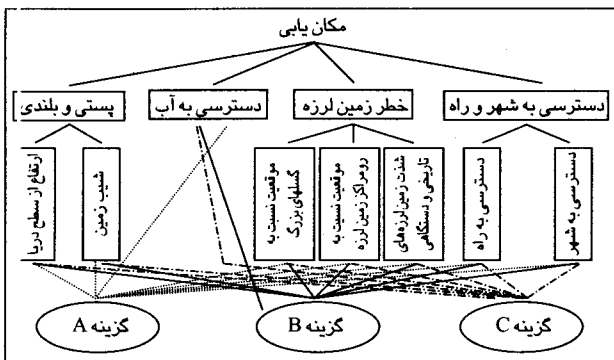
ب - روش‌های ارزیابی جامع (کلی)^(۲۶) که نه تنها پیامدهای مالی و پولی بلکه اثرات و پیامدهای غیرپولی گزینه‌ها نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرند، مثل جدول ترازنامه برنامه‌ریزی و تحلیل تأثیر بر جامعه.^(۲۷)

ج - روش‌های ارزیابی چند معیاری که در آنها امکان تحلیل و ارائه کلیه اطلاعات موجود در مورد گزینه‌ها براساس معیارهای متفاوت و چند بُعدی وجود دارد. این روش‌های ارزیابی ممکن است کاملاً کمی باشند (مثل روش ماتریس دستیابی به اهداف)، یا کلاً



مواجه هستیم. تبدیل موضوع یا مسئله مورد بررسی به یک ساختار سلسله مراتبی مهم‌ترین قسمت فرایند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود. زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرایند تحلیل سلسله مراتبی آنها را به شکلی ساده، که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل می‌کند. به عبارت دیگر، فرایند تحلیل سلسله مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله مراتبی به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی مشخص است، به شکل ساده‌تری در می‌آورد.

نمودار ۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی - ساختن سلسله مراتبی مکانیابی مورد نظر



پستی و بلندی = D / دسترسی به آب = E / خطر زمین لرزه = F

دسترسی به شهر و راه = G / ارتفاع از سطح دریا = H / شیب زمین = I

موقعیت نسبت به گسل‌های بنیادی = J / موقعیت نسبت به رو مراکز زمین لرزه = K

شدت زلزله‌های تاریخی و دستگاهی = L / دسترسی به راه = M / دسترسی به شهر = N

۲. تبیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها:

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها، دو به دو آنها را با هم مقایسه می‌کنیم. به عنوان مثال، برای هدف این مسئله که مکان یابی است، معیار 'پستی و بلندی' دارای اهمیت بیشتری است یا 'دسترسی به منابع آب'؟ مبنای قضاوت در این امر مقایسه‌ای جدول ۹ کمیته زیر (جدول ۱) است که براساس آن و با توجه به هدف بررسی، شدت برتری معیار A نسبت به معیار B، θ_{AB} تعیین می‌شود. تمامی معیارها دو به دو با هم مقایسه می‌شوند. چون چهار معیار در این مسئله وجود دارد، بنابراین شش قضاوت باید صورت پذیرد.^(۲۸)

جدول ۱. مقیاس ۹ کمیته ساعتی برای مقایسه دودویی معیارها

امتیاز نسبت نسبت	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند.
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت بیشتر از است.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که اهمیت خیلی بیشتر از است.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که اهمیت خیلی بیشتر از است.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر نسبت به آن به طور قطعی به اثبات رسیده است
		هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد.

مأخذ: ترفیق ۱۳۷۳، صفحه ۲۴ به نقل از توماس ال ساعتی

کیفی باشند (مثل روش تحلیل نظام)^(۲۷) و یا ترکیبی از اطلاعات کیفی و کمی (مثل روش‌های تحلیل اثرات زیست محیطی)^(۲۸) (1998:361 Khakee).

روش ارزیابی فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جزو روش‌های ارزیابی چند معیاری است که در این مقاله به بررسی قابلیت کاربرد آن در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای خواهیم پرداخت.

چارچوب مفهومی فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل: هدف‌ها، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی می‌شود که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند. فرایند شناسایی عناصر و ارتباط بین آنها که منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود، ساختن سلسله مراتب^(۲۹) نامیده می‌شود. سلسله مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم‌گیری (گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری) را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد (Bowen, 1993:333).

بنابراین، اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی می‌باشد که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آنها نشان داده می‌شود.^(۳۰) چهار مرحله بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه وزن (ضریب اهمیت) معیارها (و زیرمعیارها در صورت وجود)، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها، محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌ها را شامل می‌شود.

مراحل فرایند تحلیل سلسله مراتبی

برای توضیح مراحل فرایند تحلیل سلسله مراتبی از مثال زیر استفاده خواهد شد. فرض کنید از سه سایت A، B، C که به عنوان گزینه‌های مورد نظر برای مکان یابی مشخص شده‌اند. قرار است سایت مناسب برای اسکان براساس چهار معیار پستی و بلندی، دسترسی به آب، خطر زمین لرزه و دسترسی به شهر و راه انتخاب شود. معیار پستی و بلندی به دو زیر معیار ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین؛ معیار خطر زمین لرزه به سه زیر معیار موقعیت نسبت به گسله‌های بنیادی، موقعیت نسبت به رو مراکز زمین لرزه و شدت زلزله‌های تاریخی و دستگاهی و دسترسی به شهر و راه به دو زیر معیار دسترسی به شهر و دسترسی به راه تقسیم شده‌اند.^(۳۱)

۱. ساختن سلسله مراتبی:

در اولین اقدام، ساختار سلسله مراتبی مربوط به این موضوع را مشخص می‌کنیم (نمودار ۱). در این نمودار، ما با یک سلسله مراتب چهار سطحی شامل: هدف‌ها، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها



$$2.1497 = [(7)(1)(1)(3)]^{\frac{1}{4}} \quad \text{۳. خطر زلزله}$$

$$\frac{0.8633}{5.5209} = \left[\left(\frac{1}{3} \right) \left(\frac{1}{3} \right) (1) \right]^{\frac{1}{4}} \quad \text{۴. دسترسی به شهر و راه}$$

ضریب اهمیت معیارها از نرمالیزه کردن این اعداد، یعنی از تقسیم هر عدد به سرجمع آنها، به دست می آید.

$$W1 = \frac{0.2374}{5.5209} = 0.043 \quad \text{ضریب اهمیت پستی و بلندی}$$

$$W2 = 0.4129 \quad \text{ضریب اهمیت دسترسی به آب}$$

$$W3 = 0.3877 \quad \text{ضریب اهمیت خطر زلزله}$$

$$W4 = 0.1564 \quad \text{ضریب اهمیت دسترسی به شهر و راه}$$

همان طور که مشاهده می شود، مجموع ضریب اهمیت معیارهای چهارگانه مزبور (سطح دوم سلسله مراتبی) معادل یک است و این نشان دهنده نسبی بودن اهمیت معیارها است.

برای به دست آوردن ضرایب اهمیت زیرمعیارها، همان مراحل که در بالا برای به دست آوردن ضریب اهمیت معیارها طی شده را انجام می دهیم. معیار پستی و بلندی از دو زیرمعیار، ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین تشکیل یافته است. بنابراین، ماتریس مقایسه دودوئی معیارها را برای این دو زیرمعیار، براساس همان جدول ۹ کمیته ساعتی (جدول ۱) تشکیل می دهیم (ماتریس A₁):

$$A_1 = \begin{bmatrix} H & I \\ 1 & \frac{1}{5} \\ 5 & 1 \end{bmatrix}$$

ارتفاع از سطح دریا H شیب زمین I

ضریب اهمیت این دو زیرمعیار، با استفاده از روش میانگین هندسی به دست می آید:

$$W_H = 0.167 = \text{ضریب اهمیت ارتفاع از سطح دریا}$$

$$W_I = 0.833 = \text{ضریب اهمیت شیب زمین}$$

به همین ترتیب، ضرایب اهمیت زیرمعیارهای دو معیار دیگر یعنی زلزله و دسترسی به شهر و راه را به دست می آوریم. مقایسه دودوئی معیارها برای زیرمعیارهای موقعیت نسبت به گسله های بنیادی، موقعیت نسبت به رو مراکز زمین لرزه و شدت زلزله های تاریخی و دستگاهی به وسیله ماتریس A₂ و همین مقایسه برای زیر معیارهای دسترسی به شهر و دسترسی به راه به وسیله ماتریس A₃ نشان داده شده است:

$$A_2 = \begin{bmatrix} J & K & L \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1 & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

J K L

ل موقعیت نسبت به گسله های بنیادی
K موقعیت نسبت به رو مراکز زمین لرزه
L شدت زلزله های تاریخی و دستگاهی

مقایسه های دو به دو در یک ماتریس n x n (در این حالت 4x4) ثبت می شوند و این ماتریس، ماتریس مقایسه دودوئی معیارها، A = [a_{ij}]_{n x n} نامیده می شود. عناصر این ماتریس همگی مثبت بوده و با توجه به اصل شروط معکوس در فرایند تحلیل سلسله مراتبی (اگر اهمیت نسبت به z برابر $\frac{1}{k}$ باشد، اهمیت عنصر z نسبت به a برابر $\frac{1}{k}$ خواهد بود). در هر مقایسه دودوئی، دو مقدار عددی a_{ij} و $\frac{1}{a_{ij}}$ را خواهیم داشت. در زیر ماتریس مقایسه دودوئی معیارها برای مسئله موردنظر ارائه شده است:

سزسی خطر زلزله دسترسی پستی و بلندی	۱ ۲ ۳ ۴	
۱. پستی و بلندی	۱	= A
۲. دسترسی به آب	۱/۹ ۱/۷ ۱/۵	
۳. خطر زلزله	۹ ۱ ۱ ۳	
۴. دسترسی به شهر و راه	۷ ۱ ۱ ۳	
	۵ ۱/۳ ۱/۳ ۱	

در این ماتریس، مقدار عددی عنصر a_{۲۱} (ردیف ۲ و ستون ۱) که ۹ می باشد، نشان می دهد که معیار دسترسی به آب در مکان یابی در مقایسه با پستی و بلندی دارای اهمیت مطلق بوده و با توجه به شرط معکوس، بنابراین مقدار عددی عنصر a_{۱۲} برابر $\frac{1}{9}$ خواهد بود. عناصر قطر این ماتریس، با توجه به اهمیت برابر هر معیار نسبت به خود در دستیابی به هدف، برابر با ۱ است.^(۳۱) برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها، چهار روش عمده زیر مطرح هستند:

۱. روش حداقل مربعات^(۳۲)؛
 ۲. روش حداقل مربعات لگاریتمی^(۳۳)؛
 ۳. روش بردار ویژه^(۳۴)؛
 ۴. روش های تقریبی^(۳۵)؛
- از روش های فوق، روش بردار ویژه بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. اما اگر ماتریس A دارای ابعاد بزرگتری باشد، محاسبه مقادیر بردارهای ویژه طولانی و وقت گیر خواهد بود. مگر این که از نرم افزارهای کامپیوتری برای حل آن کمک گرفته شود. به همین دلیل است که ساعتی چهار روش تقریبی زیر را ارائه کرده است:
۱. مجموع سطری، ۲. مجموع ستونی، ۳. میانگین حسابی، ۴. میانگین هندسی. (Saaty, 1990)
- در این بررسی، روش میانگین هندسی به دلیل دقت بیشتر آن، مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها، ابتدا میانگین هندسی^(۳۶) ردیف های ماتریس A را به دست آورده و آنها را نرمالیزه می کنیم:

$$0.2374 = \left[(1) \left(\frac{1}{9} \right) \left(\frac{1}{7} \right) \left(\frac{1}{5} \right) \right]^{\frac{1}{4}} \quad \text{۱. پستی و بلندی}$$

$$2.2795 = [(9)(1)(1)(3)]^{\frac{1}{4}} \quad \text{۲. دسترسی به آب}$$

بنابراین، به جای این که سؤال شود 'معیار A، در دستیابی به هدف، چقدر از معیار Z مهم تر است؟'، در مقایسه گزینه‌ها سؤال به این ترتیب مطرح می‌شود که 'گزینه A در ارتباط با زیر معیار X چقدر برگزیده از رجحیت دارد؟'

در جدول ۳ که بیشتر به ماتریس ارزیابی معروف است، ارزش هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با زیر معیارها و معیار دسترسی به آب (که زیر معیار ندارد) ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، زیر معیارها هم کمی هستند و هم کیفی، و این نشان دهنده مزیت دیگر فرایند تحلیل سلسله مراتبی است که با ترکیبی از معیارهای کمی و کیفی سروکار دارد.

جدول ۳. ماتریس ارزیابی برای مکانیابی مورد نظر

گزینه	دسترس به شهر	دسترس به راه	شدت زلزله‌های تاریخی و دستگاهی در مراکز زمین لرزه	موقعیت نسبت به گسل‌های بنیادی	موقعیت نسبت به آب	شیب زمین (درصد)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
A	دسترس نسبتاً خوب	دسترس خوب	کم	نامناسب	مناسب	دسترس خوب	۵۹۱
B	دسترس کم	دسترس نسبتاً خوب	متوسط	نسبتاً نامناسب	نامناسب	دسترس نسبتاً خوب	۹۱۰
C	دسترس نسبتاً کم	دسترس نسبتاً خوب	متوسط	نامناسب	نامناسب	دسترس بسیار کم	۱۱۰۰

در زیر ماتریس‌های مقایسه دودویی گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیر معیارها و نیز معیار دسترسی به آب ارائه شده است:

	A	B	C
A	1	3	8
B	1/3	1	4
C	1/8	1/4	1

ارتفاع از سطح دریا

	A	B	C
A	1	6	1/4
B	1/6	1	1/7
C	4	7	1

شیب زمین

	A	B	C
A	1	5	8
B	1/5	1	4
C	1/8	1/4	1

دسترس به آب

	A	B	C
A	1	8	8
B	1/8	1	1
C	1/8	1	1

موقعیت نسبت به گسل‌های بنیادی

	A	B	C
A	1	1/5	1/7
B	5	1	1/5
C	7	5	1

موقعیت نسبت به دور مرکز زمین لرزه

	A	B	C
A	1	5	5
B	1/5	1	1
C	1/5	1	1

شدت زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی

	A	B	C
A	1	5	5
B	1/5	1	1
C	1/5	1	1

دسترس به راه

	A	B	C
A	1	6	4
B	1/6	1	1/3
C	1/4	3	1

دسترس به شهر

$W_j = 0.327$ ضریب اهمیت موقعیت نسبت به گسله‌های بنیادی
 $W_k = 0.413$ ضریب اهمیت موقعیت نسبت به رو مراکز زمین لرزه
 $W_L = 0.260$ ضریب اهمیت شدت زلزله‌های تاریخی و دستگاهی

$$M \begin{bmatrix} 1 & 1/7 \\ 7 & 1 \end{bmatrix} = A_3$$

M دسترسی به راه
N دسترسی به شهر

$W_M = 0.125$ ضریب اهمیت دسترسی به راه
 $W_N = 0.875$ ضریب اهمیت دسترسی به شهر

۳. تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها:

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها را باید تعیین کرد. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیر معیارها و اگر معیاری زیر معیار نداشته باشد (مثل دسترسی به آب) مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد. مبنای این قضاوت همان مقیاس ۹ کمیته‌ساعتی است با این تفاوت که در مقایسه گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیر معیارها (یا معیارها، حسب مورد)، بحث 'کدام گزینه مهم تر است؟' مطرح نیست، بلکه 'کدام گزینه ارجح است؟' و 'چقدر؟' مطرح است. بنابراین، مقیاس ۹ کمیته‌ساعتی به شرح جدول ۲، مبنای قضاوت گزینه‌ها قرار خواهد گرفت: (۲۵)

جدول ۲. مقیاس ۹ کمیته‌ساعتی برای مقایسه دودویی گزینه‌ها

امتیاز (شدت ارجحیت)	تعریف
۱	ترجیح یکسان (Equally preferred)
۳	کمی مرجح (Moderately preferred)
۵	ترجیح بیشتر (Strongly preferred)
۷	ترجیح خیلی بیشتر (Very Strongly preferred)
۹	کاملاً مرجح (Extremely preferred)
۲, ۴, ۶, ۸	ترجیحات بینابین (وقتی حالت‌های میانه وجود دارد)

فرایند به دست آوردن وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها نسبت به هر یک از زیر معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو حالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه دودویی معیارها یا گزینه‌ها و بر اساس مقیاس ۹ کمیته‌ساعتی صورت پذیرفته و نتیجه در ماتریس مقایسه دودویی معیارها یا گزینه‌ها ثبت شده و از طریق نرمالیزه کردن میانگین هندسی ردیف‌های این ماتریس‌ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می‌آید. با این حال، باید به یک تفاوت عمده در این مقایسه‌ها اشاره شود. مقایسه گزینه‌های مختلف نسبت به زیر معیارها و یا معیارها (اگر معیاری زیر معیار نداشته باشد) صورت می‌پذیرد. در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر نسبت به هدف مطالعه صورت می‌پذیرفت.

۴. تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها:

تا این مرحله، ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها در ارتباط با هدف مطالعه و نیز ضرایب اهمیت (امتیاز) گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیر معیارها و نیز معیار دسترس به آب تعیین شده است. در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی^(۲۶) ساعتی که منجر به یک بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده خواهد شد:

$$\text{امتیاز نهایی (اولویت) گزینه } z = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m W_k W_i (g_{ij})$$

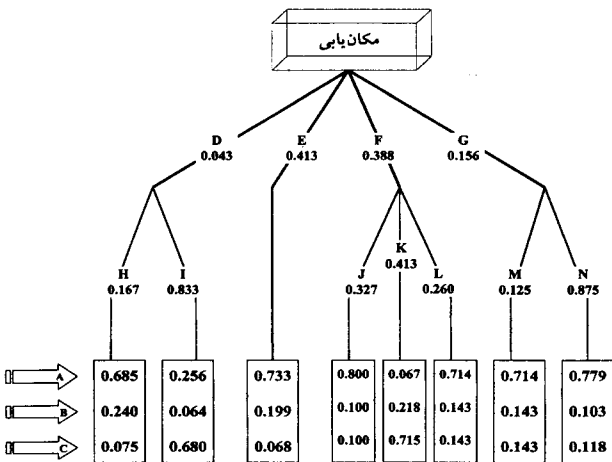
که در آن:

W_k ضریب اهمیت معیار K

W_i ضریب اهمیت زیرمعیار i

g_{ij} امتیاز گزینه z در ارتباط با زیرمعیار i

ضرایب اهمیت معیارها، زیرمعیارها و امتیاز گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها در نمودار ۲ ارائه شده است.



نمودار ۲. ضرایب اهمیت معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در ساختار سلسله مراتبی نحوه تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها، براساس اصل ترکیب سلسله مراتبی و با استفاده از ضرایب اهمیت ارائه شده در نمودار ۲ در جدول ۳ ارائه شده است. امتیازات نهایی گزینه‌ها نشان می‌دهد که گزینه A (سایت A) برای اهداف مکان‌یابی بهترین گزینه و گزینه‌های C و B به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

گزینه	D پستی و بندی		E دسترس به آب	F خطر زمین‌لرزه			G دسترس به شهر و راه		امتیاز نهایی
	H ارتفاع از سطح دریا	I شیب زمین		J گسله‌های بنیادی	K موقعیت نسبت به مرکز زمین‌لرزه	L شدت زلزله‌های تاریخی و دستگامی	M دسترس به راه	N دسترس به شهر	
A	(0.167) (0.843) (0.485)	(0.833) (0.167) (0.256)	(0.413) (0.733)	(0.327) (0.388) (0.80)	(0.413) (0.388) (0.467)	(0.125) (0.388) (0.714)	(0.125) (0.156) (0.714)	(0.875) (0.156) (0.779)	0.6225
B	(0.167) (0.843) (0.240)	(0.833) (0.167) (0.680)	(0.413) (0.199)	(0.327) (0.388) (0.118)	(0.413) (0.388) (0.218)	(0.125) (0.388) (0.143)	(0.125) (0.156) (0.143)	(0.875) (0.156) (0.187)	0.1651
C	(0.167) (0.843) (0.075)	(0.833) (0.167) (0.680)	(0.413) (0.068)	(0.327) (0.388) (0.118)	(0.413) (0.388) (0.715)	(0.125) (0.388) (0.143)	(0.125) (0.156) (0.143)	(0.875) (0.156) (0.118)	0.2136

جدول ۳. تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها

ضریب اهمیت گزینه‌ها در ارتباط با زیر معیارها، از طریق نرمالیزه کردن میانگین هندسی ردیف‌های ماتریس‌های مقایسه دودویی و به شرح زیر تعیین می‌شود:

ارتفاع از سطح دریا

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{24} = 2.885 \\ B: \sqrt[3]{4/3} = 1.101 \\ C: \sqrt[3]{1/32} = \frac{0.315}{4.21} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.685 \\ W_B = 0.240 \\ W_C = 0.075 \end{array} \right.$$

شیب زمین

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{6/4} = 1.145 \\ B: \sqrt[3]{1/42} = 0.288 \\ C: \sqrt[3]{28} = \frac{3.037}{4.47} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.256 \\ W_B = 0.064 \\ W_C = 0.680 \end{array} \right.$$

دسترس به آب

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{40} = 3.420 \\ B: \sqrt[3]{4/5} = 0.928 \\ C: \sqrt[3]{1/32} = \frac{0.315}{4.663} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.733 \\ W_B = 0.199 \\ W_C = 0.068 \end{array} \right.$$

موقعیت نسبت به گسله های بنیادی

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{64} = 4.000 \\ B: \sqrt[3]{1/8} = 0.500 \\ C: \sqrt[3]{1/8} = \frac{0.500}{5} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.800 \\ W_B = 0.10 \\ W_C = 0.10 \end{array} \right.$$

موقعیت نسبت به روبراگز زمین لرزه

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{1/35} = 0.306 \\ B: \sqrt[3]{1} = 1.000 \\ C: \sqrt[3]{35} = \frac{3.271}{4.577} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.067 \\ W_B = 0.218 \\ W_C = 0.715 \end{array} \right.$$

شدت زلزله های تاریخی و دستگامی

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{25} = 2.924 \\ B: \sqrt[3]{1/5} = 0.585 \\ C: \sqrt[3]{1/5} = \frac{0.585}{4.054} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.714 \\ W_B = 0.143 \\ W_C = 0.143 \end{array} \right.$$

دسترس به راه

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{25} = 2.924 \\ B: \sqrt[3]{1/5} = 0.585 \\ C: \sqrt[3]{1/5} = \frac{0.585}{4.054} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.714 \\ W_B = 0.143 \\ W_C = 0.143 \end{array} \right.$$

دسترس به شهر

$$\left\{ \begin{array}{l} A: \sqrt[3]{24} = 2.884 \\ B: \sqrt[3]{1/18} = 0.382 \\ C: \sqrt[3]{1/12} = \frac{0.437}{3.703} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_A = 0.779 \\ W_B = 0.103 \\ W_C = 0.118 \end{array} \right.$$

۱. محاسبه بردار AW

$$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{7} & \frac{1}{5} \\ 9 & 1 & 1 & 3 \\ 7 & 1 & 1 & 3 \\ 5 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.043 \\ 0.4129 \\ 0.3877 \\ 0.1564 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1755 \\ 1.6568 \\ 1.5708 \\ 1.6383 \end{bmatrix}$$

۲. محاسبه L

$$L = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (AW_i / W_i) \right]$$

$$L = \frac{1}{4} \left[\frac{0.1755}{0.043} + \frac{1.6568}{0.4129} + \frac{1.5708}{0.3877} + \frac{1.6383}{0.1564} \right]$$

$$L = 4.0567$$

۳. محاسبه شاخص سازگاری CI

$$CI = \frac{L - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{4.0567 - 4}{4 - 1} = 0.0189$$

۴. محاسبه ضریب سازگاری CR

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0189}{0.9}$$

$$CR = 0.021 < 0.1 \quad \text{O.K.}$$

یعنی سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است.

محدودیت عمده روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی:

عمده‌ترین محدودیت روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی به بحث «برعکس شدن رتبه‌ها»^(۵۰) مربوط می‌شود که در زیر توضیح داده خواهد شد. در روش AHP فرض بر این است که اهداف، معیارها و گزینه‌ها در یک ساختار سلسله مراتبی قرار می‌گیرند و وابستگی بین آنها به صورت خطی و یک طرفه است. این فرض ممکن است در بعضی موارد صادق نباشد و در چنین شرایطی نتیجه روش AHP ممکن است موجب «برعکس شدن رتبه‌ها» شود. یعنی با حذف گزینه‌ای ممکن است نتیجه رتبه‌بندی گزینه‌های دیگر تغییر کند. بنابراین باید در استفاده از روش AHP اندکی محتاط بود، زیرا کلیه مسائل و مشکلات برنامه‌ریزی لزوماً دارای ساختار سلسله مراتبی نبوده و ممکن است دارای ویژگی‌های بازخورد^(۵۱) متقابل باشند (یعنی تأثیر و تأثر معیارها و گزینه‌ها در طرفه باشد، در صورتی که در ساختار سلسله مراتبی این رابطه یک طرفه فرض شده است. به عنوان مثال، شیب زمین، دسترسی به آب، دسترسی به شهر و راه و خطر زلزله در تعیین مکان‌های مختلف (گزینه‌ها) تأثیر گذارند، ولی برعکس آن، یعنی تأثیر گزینه‌ها بر معیارها صادق نیست). در چنین شرایطی (تأثیر متقابل معیارها بر

۵. بررسی سازگاری در قضاوت‌ها:

یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. به عبارت دیگر در تشکیل ماتریس مقایسه دودوئی معیارها (ماتریس A)، چقدر سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است؟ وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. یعنی اگر A_i از A_j مهم‌تر باشد و A_k از A_j مهم‌تر، قاعدتاً باید A_i از A_k مهم‌تر باشد. اما علیرغم همه کوشش‌ها، رجحان‌ها و احساس‌های مردم غالباً ناهماهنگ و نامتعّدی هستند. پس باید سنجه‌ای را یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد (توفیق، ۱۳۷۲، ص ۴۲). مکانیزمی که ساعتی (Saaty, 1988) برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری^(۵۲) (I.R.) است که از تقسیم شاخص ناسازگاری^(۵۳) (I.I.) به شاخص تصادفی بودن^(۵۴) (R.I.) حاصل می‌شود. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. به عبارت دیگر ماتریس مقایسه دودوئی معیارها باید مجدداً تشکیل شود:

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

شاخص تصادفی بودن با توجه به تعداد معیارها (n) از جدول

زیر قابل استخراج است:

جدول ۴. شاخص تصادفی بودن (R.I.)

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	R.I.
	۰	۰/۵۸	۰/۸	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹	

ماخذ: Bowen, 1993: 346

در روش میانگین هندسی که یک روش تقریبی است، به جای محاسبه مقدار ویژه ماکزیمم (λ_{\max}) از L به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$L = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (AW_i / W_i) \right]$$

که در آن AW_i برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه دودوئی معیارها (ماتریس A) در بردار W_i (بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید. بررسی سازگاری قضاوت‌ها در ماتریس‌های مقایسه دودوئی معیارها حاکی از آن است که سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است. در زیر محاسبات مربوط به بررسی سازگاری قضاوت‌ها در تعیین ضرایب اهمیت معیارهای چهارگانه برای مکان‌یابی ارائه شده است:

بررسی سازگاری در قضاوت‌ها برای تعیین ضرایب اهمیت معیارها:

استفاده شد. در تعیین اولویت‌ها، امکان رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها و امکان به کارگیری نظرات گروهی (قضاوت گروهی) از مزایا و ویژگی‌های این روش می‌باشند (قدسی‌پور، ۱۳۷۹، ص ۷۹).

14. Patrik Geddes
15. Survey, Analysis, Plan
۱۶. فرایند برنامه‌ریزی، از دیدگاه Ratcliffe شامل ۷ گانه زیر است: تصمیم برای برنامه‌ریزی و تهیه طرح، شناسایی اهداف کلی، بیان مقاصد اجرایی (اهداف عملیاتی)، تهیه گزینه‌های مختلف، ارزیابی (بررسی و انتخاب گزینه مطلوب)، اجرا، مرور و نظارت.
17. Financial investment appraisal
18. Check - list of criteria
19. Goals - achievement matrix
20. Assessment of resource costs
21. Social cost-benefit analysis
22. Planning balance sheet analysis
23. Optimization techniques
24. Partial evaluation techniques
25. Comprehensive evaluation techniques

۲۶. برای جزئیات بیشتر بنگرید به: زبردست، ۱۳۷۶.

27. (Faludi and Voogd)
28. Monetary methods
29. Cost - effectiveness analysis
30. Threshold analysis
31. Overview methods
32. Community impact analysis
33. Regime analysis
34. Environmental impact assessment
35. Structuring a hierarchy

۳۶. ذکر این نکته لازم است که فرایند تحلیل سلسله مراتبی براساس چهار اصل شرط معکوسی، همگنی، وابستگی و انتظارات بنیان‌گذاری شده است و رعایت این اصول در به کارگیری این روش الزامی است. شرط معکوسی بیان می‌دارد که در مقایسه دوه‌دویی عناصر، اگر اهمیت آن نسبت به n برابر n باشد، اهمیت عنصر n نسبت به n برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود؛ اصل همگنی یعنی عناصر n و n برابر با هم ممکن و قابل مقایسه باشند به عبارت دیگر، اهمیت n نسبت به n زنی تواند بی‌نهایت یا صفر باشد؛ اصل وابستگی یعنی هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالای خود وابسته است و این وابستگی به صورت خطی است؛ اصل انتظارات یعنی هرگاه تغییری در ساختار سلسله مراتبی رخ دهد، فرایند ارزیابی باید مجدداً انجام شود (قدسی‌پور، ۱۳۷۹، ص ۶).

۳۷. این معیارها با اقتباس از معیارهای طرح کالبدی ملی ایران انتخاب شده‌اند.

۳۸. برای n معیار تعداد زوج قابل مقایسه $\frac{n(n-1)}{2}$ می‌باشد.

۳۹. به زیرنویس شماره ۱۵ مراجعه شود.

40. Least Squares Method
41. Eigenvector Method
42. Logarithmic Least Squares Method
43. Approximation Methods

۴۴. میانگین هندسی n عدد برابر است با ریشه n ام حاصل ضرب این n عدد در یکدیگر. به عبارت دیگر:

$$G.M. = \left[\prod_{i=1}^n x_i \right]^{\frac{1}{n}}$$

۴۵. در نرم‌افزار EC (Expert Choice) که به وسیله توماس ساعتی و ارنست فورمن برای حل مسائل مربوط به AHP (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) نوشته شده است، سه نوع مقایسه ذکر شده است: ۱. اهمیت (Importance) که برای مقایسه معیارها در رابطه با هدف) به کار می‌رود، ۲. ارجحیت (Preference) در مقایسه گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، ۳. در دستمای (Likelihood) برای مقایسه احتمال خروجی‌ها کاربرد دارد. برای جزئیات بیشتر به <http://www.expertchoice.com> مراجعه شود.

46. Principle of Hierarchic Composition
47. Inconsistency Ratio

گزینه‌ها بر یکدیگر) نمی‌توان از روش AHP استفاده کرد، زیرا، این شرایط با اصل سوم فرایند تحلیل سلسله مراتبی (اصل وابستگی) مغایر است. به دنبال طرح موضوع برعکس شدن رتبه‌ها به عنوان یکی از محدودیت‌های عمده روش AHP از سوی برخی محققین، ساعتی روش دیگری را تحت عنوان "فرایند تحلیل شبکه‌ای" ارائه داده است که می‌تواند در شرایط با بازخورد متقابل مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری:

نتایج به دست آمده از این بررسی نشان می‌دهد که روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با توجه به خصوصیات ویژه آن می‌تواند در بررسی موضوعات مربوط به برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای کاربرد مطلوبی داشته باشد.

روش AHP از این نظر مفید است که زمینه‌ای را برای تحلیل و تبدیل مسائل مشکل و پیچیده به سلسله مراتبی منطقی و ساده‌تر فراهم می‌آورد که در چارچوب آن برنامه‌ریز بتواند ارزیابی گزینه‌ها را با کمک معیارها و زیرمعیارها به راحتی انجام دهد. افزون بر این، روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را نیز فراهم می‌آورد و این یکی دیگر از ویژگی‌های منحصر به فرد روش AHP است.

با توجه به این که اغلب مسائل و موضوعات مربوط به شهرسازی از طریق شاخص‌های کیفی و کمی قابل بررسی هستند، امکان به کارگیری همزمان معیارهای کمی و کیفی در روش AHP آنرا به ابزاری قوی برای تحلیل مسائل شهرسازی تبدیل می‌کند. انعطاف‌پذیری، سادگی محاسبات و امکان رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها نیز از مزیت‌های دیگر AHP هستند که می‌توانند کمک مؤثری در بررسی‌های مربوط به مسائل شهری و برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای باشند.

پی‌نوشت‌ها

1. Analytic Hierarchy Process (AHP)
2. Alternative
3. Multi - Criteria Evaluation Technique
4. Thomas L. Saaty
5. Site - Selection
6. Goals
7. Objectives
8. Criteria
9. Decision Analysis DA)
10. Multi - Attribute Utility Theory (MAUT)
11. Multi - Criteria Decision Making (MCDM)
12. Social Judgment Theory (SJT)

۱۳. سادگی، انعطاف‌پذیری، امکان سازماندهی سلسله‌مراتبی عناصر یک سیستم، امکان استفاده از معیارهای کمی و کیفی، قابلیت کنترل کردن سازگاری منطقی قضاوت‌های

48. Inconsistency Index
49. Random Index
50. Rank - reversal
51. feedback
52. Analytic Network Process

منابع و ماخذ

- توفیق، فیروز: 'ارزشیابی چند معیاری در طرحریزی کالبدی'. آبادی، ۱۳۷۲، ۱۱، صص ۴۳-۴۰.
- زبردست، اسفندیار: 'خلاصه‌ای درباره روش های ارزیابی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای'. جزوه درسی روش های برنامه‌ریزی شهری (۲)، گروه آموزشی شهرسازی، دانشکده‌های زیبا، ۱۳۷۶.
- قدسی‌پور، سید حسن: مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره: فرایند تحلیل سلسله مراتبی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۹.
- Bowen, William M., AHP: Multiple Criteria Evaluation, in Klosterman, R. et al (Eds), Spreadsheet Models for Urban and Regional Analysis, New Brunswick: Center for Urban Policy Research, 1993.
- Chadwick, G.F., A Systems View of Planning, Oxford: Pergamon Press, 1971.
- Edwards, W. and Newman, J.R., Multiattribute Evaluation, Beverly Hills: Sage Publication, 1982.
- Hall, Peter, Urban and Regional Planning, London: Penguin, 1974.
- Khakee, A., "Evaluation and Planning: inseparable concepts", Town Planning Review, Vol.59, No. 4, 354-374, 1998.
- Lee, Colin, Models in Planning, Oxford: Pergamon Press, 1973.
- Lichfield, N. et al, Evaluation in the Planning Process, London: Pergamon Press, 1975.
- Massam, B.H., Special Search, Applications to Planning Problems in the Public Sector, Oxford: Pergamon Press, 1980.
- McLoughlin, J.B., Urban and Regional Planning: A Systems Approach, London: Faber and Faber, 1969.
- Nijkamp, P. and Spronk, J., Multiple Criteria Decision Analysis, Hampshire: Gower, 1981.
- Ratcliffe, J., An introduction to Town and Country Planning, London: Hutchinson, 1974.
- Roberts, M. An Introduction to Town Planning Techniques, London: Hutchinson, 1985.
- Saaty, T.L., The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority, Resource Allocation, USA: RWS Publication, 1980.
- Saaty, T.L., Hierarchies and Priorities in Saaty, T.L. and Alexander J.M., The Thinking with Models: Mathematical Models in Physical and Social Sciences, Oxford: Pergamon Press, 1988, pp. 148 - 155.
- Saaty, T.L., Decision Making for Leaders, USA: RWS Publications, 1990.
- Saaty, T.L., Analytical Network Process, USA: RWS Publication, 1996.
- Stewart, T.R., Judgement Analysis: Procedures, in Brehmer, B. and Joyce, C.R.B. (Eds), Human Judgement, The SJT View, Amsterdam: North - Holland, 1988.
- Voogd, H., Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning, Pion London:, 1983.