# کاربرد شبیه‌سازی در عدم اطمینان فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره(MCDM)

**منصور مؤمنی[1*]، مجید اسماعیلیان[2]**

۱- استادیار مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دریافت: ۸٤/۲/۱۱ پذیرش: ۸۵/۲/۹

## چکیده

در این مقاله سعی شده است تا عدم اطمینان موجود در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی و تحلیل شود. در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره دو نوع عدم اطمینان، رتبه‌بندی گزینه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد:

۱ـ عدم اطمینان موجود در قضاوتها و عناصر ماتریس تصمیم (ماتریس‌بازده ) به‌وسیله توزیع احتمال مربوط به آن بیان می‌شود، البته فرض اساسی این است که عدم اطمینان موجود در ماتریس تصمیم در نتیجه شک و تردید تصمیم گیرنده در مورد صحت قضاوتها بوده و در نتیجه عدم توافق تعدادی از تصمیم گیرندگان نمی‌باشد؛

۲ـ عدم اطمینان مربوط به شرایط و خصوصیات آینده محیط تصمیم‌گیری که به‌وسیله مجموعه‌ای از سناریوها بیان می‌شود.

سناریوها در حقیقت تجزیه شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری به تعدادی وضعیت مجزا می‌باشد . این نوع عدم اطمینان در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره کمتر توجه شده است.

هر دو منبع عدم اطمینان می‌توانند منجر به نقض شدن رتبه‌بندیها و کاهش میزان اطمینان تصمیم‌گیرنده به نتایج به دست آمده شود. با استفاده از روش شبیه‌سازی می‌توان تأثیر هر دو نوع عدم اطمینان را

---

* نویسنده مسؤول مقاله: E-mail: momeni132@yahoo.com

در تعیین وزن نسبی و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بررسی کرد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم، احتمال نقض شدن رتبه‌بندیها و عدم اطمینان به آنها افزایش پیدا می‌کند. در این شرایط می‌توان یک تعبیر احتمالی از رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها ارائه کرد.

**کلید واژه‌ها**: شبیه‌سازی، عدم اطمینان، تصمیم‌گیری چند معیاره.

## ۱- مقدمه

بسیاری از تصمیمها دارای معیارهای گوناگون کمّی و کیفی است که این معیارها در پاره‌ای از مواقع در تعارض با یکدیگر می‌باشند. این نوع تصمیم‌گیریها را تصمیم‌گیریهای چند معیاره(MCDM)[۱] می‌نامند. روشهای مختلفی برای پشتیبانی از فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شده است که می‌توان آنها را به دو دسته جبرانی (روش SAW[۲]، روش TOPSIS[۳] و روش WP[۴]) و غیر جبرانی (روش رضایت بخش عام[۵]، روش رضایت بخش خاص[۶]، روش تسلط[۷] و روش ترتیبی اولویتی[۸]) تفکیک کرد.

یکی از کاربردی‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) [۹] است که در سال ۱۹۷۰م. به‌وسیله ساعتی ارائه شد. این فن برای ارزیابی تصمیم‌گیریهای چند معیاره پیچیده فردی و گروهی و انتخاب یک گزینه از بین چند گزینه و یا رتبه‌بندی آنها بر اساس چند معیار و یا مجموعه‌ای از معیارها به کار می‌رود[۱،ص۵].

در این تحقیق به بررسی تأثیر عدم اطمینان بر وزن نسبی و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در تصمیم‌گیریهای چند معیاره و تکنیکهایی که مبتنی بر ماتریس تصمیم[۱۰] می‌باشند، پرداخته می‌شود. برای تعیین وزن معیارها می‌توان از روشهای کیفی، ( نظر خبرگان و فن دلفی) و یا

1. MCDM: Multi Criteria Decision Making
2. Simple Additive Weight
3 .Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
4. Weighted Product
5 .Conjunctive Satisfaction Method
6 .Disjunctive Satisfaction Method
7. Dominance
8. lexicograph Method
9. Analytical Hierarchy Process
10. decision matrix (pay - off matrix)

روشهایی که عناصر ماتریس تصمیم را ملاک وزن‌گذاری شاخصها قرار می‌دهد، مانند CRITICS و آنتروپی شانون و یا ترکیبی از روشهای فوق استفاده کرد. در این تحقیق برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب از روش آنتروپی شانون و SAW استفاده شده است.

## ۲- عدم اطمینان فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره

در این بخش ابتدا انواع عدم اطمینان[1] در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره مرور شده ، سپس شیوه برخورد با این عدم اطمینان‌ها بررسی می‌شود.

### ۲-۱- انواع عدم اطمینان

در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره، رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم تحت تأثیر دو نوع عدم اطمینان قرار دارند :

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

این نوع عدم اطمینان به وسیله مجموعه‌ای از سناریوها بیان می‌شود. تجزیه و تحلیل سناریو اغلب برای پیش‌بینی شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری به کار می‌رود. سناریوها در حقیقت تجزیه شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری به تعدادی وضعیت مجزا می باشند[۲،ص۲] . این نوع عدم اطمینان در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

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

عدم اطمینان موجود در قضاوتها و عناصر ماتریس تصمیم(ماتریس بازده)[2] به‌وسیله توزیع احتمال مربوط به آن بیان می‌شود. البته باید به این نکته اشاره کرد که معیارهای تصمیم‌گیری به دو دسته تفکیک می‌شوند که عبارتند از: ۱ـ معیارهای غیر مشهود و کیفی که به ارزیابی ذهنی نیاز داشته و در بیشتر موارد امکان اندازه‌گیری دقیق آنها وجود ندارد. ۲ـ معیارهای مشهود و کمّی که به صورت دقیق و مشخص قابل اندازه‌گیری می‌باشند. البته

1. uncertainty
2. decision matrix ( pay-off matrix )

احتمال بروز خطا در اندازه‌گیری معیارهای کمّی وجود دارد که این امر نتیجه خطای نمونه‌گیری و یا فنون شمارش و اندازه‌گیری می‌باشد. در این نوع خطاها روشهای استاندارد آماری برای مشخص ساختن میزان عدم اطمینان وجود دارد.

عدم اطمینان قضاوتها به‌وسیله دو منبع مشخص می‌شود:

۱ـ منبع خارجی عدم اطمینان به محیط تصمیم‌گیری و فرایند جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مربوط می‌شود.

۲ـ منبع داخلی عدم اطمینان به ابهام و عدم اطمینان ناشی از محدودیت میزان اطلاعات در دسترس تصمیم گیرنده و میزان تسلط و درک او از مسأله اشاره می‌کند.

## ۲-۲- شیوه‌های برخورد با عدم اطمینان‌ها

صحت عناصر ماتریس تصمیم به میزان اطلاعات در دسترس تصمیم گیرنده و میزان تسلط او به موضوع تصمیم‌گیری بستگی دارد. در بیشتر مواقع ، اطلاعات کاملی درباره تمامی جنبه‌های مسأله و یا درک کاملی از مساله و شرایط تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده نمی‌باشد. بنابراین همواره درجه‌ای از عدم اطمینان در رابطه با تمام و یا برخی از عناصر ماتریس تصمیم وجود دارد.

تحقیقات فراوانی جهت بررسی تأثیر عدم اطمینان تصمیم گیرنده روی ترتیب رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها انجام گرفته است. روزنبلوم یک تعبیر احتمالی از رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها درAHP ارائه می‌کند. در این تحقیق مقایسات زوجی به صورت متغیرهای تصادفی $(a_{ij})$ در دامنه ۹ تا $\frac{۱}{۹}$ تعریف شده‌اند؛ به طوری که $a_{ji}=\frac{۱}{a_{ij}}$ و با احتمال ۱۰۰٪ $a_{ii}=۱$ است.

بنابراین ماتریس مقایسات زوجی تصادفی به دست آمده، متقارن و معکوس‌پذیر است. اگر $(a_{ij})$ها متغیرهای تصادفی هستند، وزن گزینه‌های تصمیم به دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی نیز متغیر تصادفی خواهند بود. در این تحقیق یک روش برای آزمون معنادار بودن اختلاف وزن گزینه‌های تصمیم در سطح معنادار $\alpha$درصد ارائه شده است[۳،ص۷].ون و لواری بیان می‌کنند که صحت مقایسات زوجی به مقدار اطلاعات در دسترس تصمیم گیرنده

و میزان فهم و درک او از مسأله مرتبط است. به همین دلیل همواره درجه‌ای از عدم اطمینان در تمام و یا برخی از عناصر ماتریس مقایسات زوجی وجود دارد. در این تحقیق، آنها عدم اطمینان مرتبط با قضاوت تصمیم‌گیرنده(مقایسات زوجی) و عدم اطمینان مرتبط با شرایط آینده محیط تصمیم‌گیری را مورد توجه قرار دادند و یک روش شبیه‌سازی برای در نظر گرفتن هر دو نوع عدم اطمینان در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ارائه کردند[٤،ص۲].زهیر و پالسن نشان دادند که چگونه می‌توان از عدم اطمینان وزنهای نسبی ماتریس مقایسات زوجی برای محاسبه عدم اطمینان رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم استفاده کرد.در این تحقیق تنها منبع عدم اطمینان. در عناصر ماتریس مقایسات زوجی فرض شده و عدم اطمینان موجود در رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم و احتمال نقض‌شدن رتبه‌بندیها به عنوان تابعی از تعداد گزینه‌های تصمیم و تعداد سطوح سلسله مراتبی در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد عدم اطمینان رتبه‌بندیها با افزایش تعداد گزینه‌های و تعداد سطوح سلسله مراتبی کاهش پیدا می‌کند[٥،صص٥-۱۰]. در تحقیق انجام شده به‌وسیله زهیر چگونگی محاسبه و تعیین تأثیر عدم اطمینان موجود در قضاوتهای تصمیم گیرنده در وزن نسبی گزینه‌های تصمیم نشان داده شده است. در این تحقیق الگوریتم و روشهای محاسباتی مورد نیاز شرح داده شده و مفهوم عدم اطمینان در روش AHP به عنوان یک مفهوم پایه‌ای و مستقل از مفهوم سازگاری به منظور توسعه روشAHP ارائه شد[ ٦،صص۱-۱۱]. ساعتی و وارگس تأثیر عدم اطمینان موجود در قضاوتهای تصمیم گیرنده را بر روی ثبات و پایایی رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در فن AHP بررسی کردند و یک مکانیسم تحلیلی برای تعیین تأثیر عدم اطمینان در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های تصمیم در سلسله مراتب تصمیم‌گیری ارائه نمودند[۷،ص۱] . علاوه بر آن زاهو و همکارانش، یک روش شبیه‌سازی برای رتبه‌بندی معیارها و شاخصهای امنیت آتش‌سوزی ساختمان بر اساس فن AHP ارائه کردند. روش پیشنهادی می‌تواند برای ارزیابی و تعیین وزن نسبی معیارهای امنیت آتش‌سوزی نظریه‌های متخصصان مختلف را در قالب سلسله مراتبی و با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی تلفیق کند.در این تحقیق دو نوع شرایط عدم اطمینان بررسی شده است:

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

در این مقاله یک روش برای محاسبه درجه سازگاری ماتریس مقایسات زوجی ناکامل ارائه شده است. در این تحقیق یک روش برای شبیه‌سازی ماتریس مقایسات زوجی ارائه شده است [ ۸ ،صص۵-۹] .

هورلی مواردی را در AHP بررسی می‌کند که تصمیم گیرنده در مورد ترتیب رتبه‌بندی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم اطمینان داشته ولی در مورد مقدار عددی وزن نسبی معیارها، حاصل از ماتریس مقایسات زوجی دارای عدم اطمینان است. این عدم اطمینان به این معنا است که آیا بهترین گزینه به دست آمده از AHP ، واقعاً بهترین گزینه می باشد یا خیر. اگر وزنهای به دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی تا اندازه‌ای تغییر کند که ترتیب رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر نکند، در این صورت تصمیم گیرنده اطمینان بیشتری به نتایج به دست آمده خواهد داشت. هورلی در این مقاله یک روش ساده برای تحلیل حساسیت نتایج و تعیین میزان تغییراتی که ترتیب رتبه‌بندی گزینه‌ها را حفظ می‌کند، ارائه می‌دهد[ ۹،صص۲-۳] .

اولسن و وو نشان دادند که چگونه می‌توان از شبیه‌سازی برای انعکاس ورودیهای فازی در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کرد و تحلیل احتمالی کاملتری از نتایج مدل ارائه داد [۱۰،صص۲-۳].

لی بیان می کند: تحقیقات اندکی در زمینه تصمیم گیری چند معیاره فازی تحت شرایط عدم اطمینان انجام گرفته است، در حالی که این زمینه از تحقیقات علمی کاربردهای فراوانی در عمل دارند. او راه حلی برای مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی تحت شرایط عدم

اطمینان ارائه داد که اطلاعات عینی و قضاوتهای ذهنی را به صورت توأم در نظر می گیرد. در این مقاله روش مقایسه زنجیره زوجی برای تعیین درجه عضویت و وزن گزینه‌ها در وضعیتهای مختلف معیارهای کیفی بیان شده است. وی اثر بخشی و کاربرد مدل ارائه شده را به‌وسیله یک مثال عددی نشان می‌دهد[۱۱،صص۳-۱۱].

باستوس و رویز بیان می‌کنند که منطق فازی در علوم اجتماعی می‌تواند به عنوان یک ابزار تحلیل و پیش‌بینی به صورت مؤثری به کار گرفته شود. ترکیب منطق فازی و تصمیم‌گیری چند معیاره به میزان زیادی پیچیدگیهای طبیعی و عدم اطمینان موجود در مسائل اجتماعی را مورد توجه قرار می‌دهد.در این تحقیق، ابتدا محدودیت روشهای آماری در شرایط عدم اطمینان بیان شده و سپس برای تحلیل و پیش‌بینی شرایط سیاسی و اجتماعی از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی استفاده شده است. هدف اصلی این مقاله ارائه یک روش انعطاف‌پذیر و هوشمند برای ارزیابی و پیش‌بینی شرایط سیاسی و مقایسه آن با روشهای سنتی است [۱۲،صص۳-۷].

## ۳ – الگوریتم تعیین وزن گزینه‌ها در شرایط عدم اطمینان (روش شبیه‌سازی)

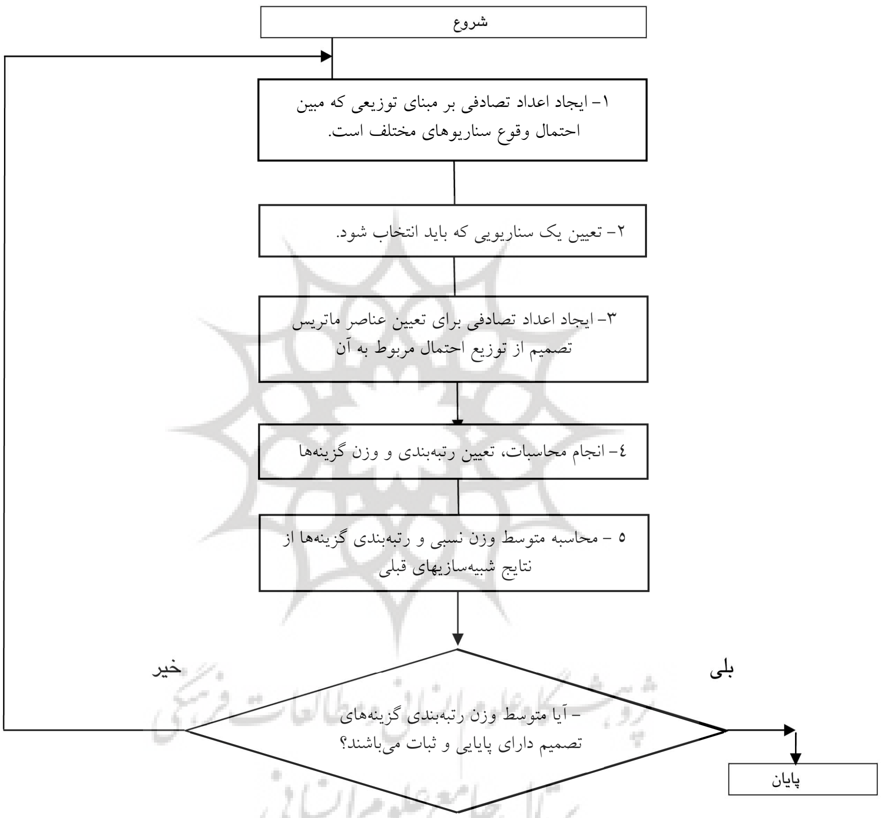
روش مبتنی بر شبیه‌سازی برای تشریح هر دو نوع عدم اطمینان را در فرایند تصمیم‌گیری می‌توان بیان کرد. مراحل این روش به شرح زیر است :

الف) مرحله نخست حل مسائل تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم اطمینان، تعریف چند سناریو می‌باشد که هر یک نشان‌دهنده یک مجموعه از شرایط و عواملی است که می‌تواند محیط تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم اطمینان را تحت تأثیر قرار دهد، سپس احتمال وقوع هر یک از سناریوها مشخص می‌شود برای این کار می‌توان از روش دلفی و یا نظر گروهی از متخصصان استفاده کرد .

ب) در این مرحله عناصر ماتریس تصمیم بر مبنای هر یک از سناریوها تعیین می‌شود. برای نشان دادن عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم می‌توان از روش فاصله‌ای و تعیین

توزیع آماری یکنواخت برای کلیه اعداد آن فاصله و یا استفاده از توزیع مثلثی و تخمین سه مقدار خوشبینانه، بدبینانه و محتمل برای هر یک از عناصر ماتریس تصمیم استفاده کرد .

ج) بعد از تعیین کلیه عناصرِ دارای عدم اطمینان برای مشخص کردن رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم از الگوریتم شبیه‌سازی ارائه شده در شکل۱ استفاده می‌شود.




**شکل۱** الگوریتم شبیه‌سازی تعیین وزن گزینه‌ها در شرایط عدم اطمینان

وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم در تکرارهای مختلف شبیه‌سازی ممکن است با یکدیگر تفاوت داشته باشند. با افزایش تعداد تکرارهای شبیه‌سازی، متوسط وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم به حالت ثبات و پایایی می‌رسد. با توجه به ماهیت تصادفی

ورودیهای شبیه‌سازی، خروجیهای آن نیز دارای ماهیت تصادفی می‌باشند. در نتیجه استفاده از فنون آماری جهت تحلیل خروجیهای شبیه‌سازی ضروری است. از اطلاعات به دست آمده در شرایط پایای شبیه‌سازی برای تحلیل آماری خروجیهای شبیه‌سازی می‌توان استفاده کرد.

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

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

### ۴- تأثیر عدم اطمینان در رتبه‌بندی و وزن نهایی گزینه‌های تصمیم

هر دو منبع عدم اطمینان مذکور می‌توانند منجر به نقض‌شدن رتبه‌بندیها و کاهش میزان اطمینان تصمیم گیرنده به نتایج به دست آمده شوند. احتمال نقض شدن رتبه‌بندیها و نتایج به دست آمده در نتیجه عدم اطمینان وجود دارد. تصمیم گیرندگان معمولاً علاقه‌مندند که احتمال تغییر در گزینه مسلط را به تعیین کنند. فرض اساسی این است که عدم اطمینان موجود در ماتریس تصمیم در نتیجه شک و تردید تصمیم گیرنده در مورد صحت قضاوتها بوده و در

نتیجه عدم توافق تعدادی از تصمیم گیرندگان نمی باشد . بر اساس روش ساعتی معیار جامع عدم اطمینان رتبه‌بندیها (RU)[1] را می‌توان از فرمول ۱ محاسبه کرد[۱،ص۳۸] .

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

$\delta_i$ = انحراف معیار وزن گزینه i ام

n= تعداد گزینه‌ها

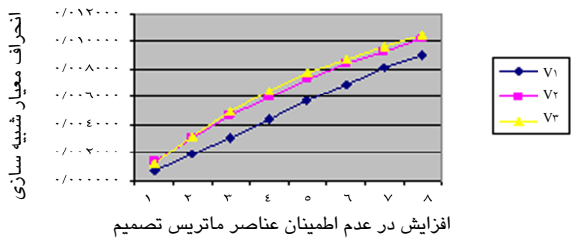
$w_i$= وزن گزینه iام

در جدول ۱ نتایج شبیه‌سازی میزان تغییر در عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم آورده شده است. با افزایش میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم،انحراف معیار وزن نهایی گزینه‌های حاصل از شبیه‌سازیهای متعدد افزایش پیدا می‌کند. این مورد در شکل ۲ برای ماتریس تصمیم با سه گزینه نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است با افزایش میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم، انحراف معیار وزن نهایی گزینه‌ها (۳،۲،۱)، حاصل از شبیه‌سازیهای متعدد افزایش پیدا کرده است.

**جدول۱** نتایج شبیه‌سازی تغییر در میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم

| احتمال نقض شدن رتبه‌بندیها ($P_{rev}$) | عدم اطمینان رتبه‌بندیها (RU) | عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم ($\delta$) |
|---|---|---|
| ۰/۲۲۷ | ۰/۲۲۳۸ | ۱/٤٤ |
| ۰/۳۳٤ | ۰/۲۷۰۱ | ۲/۸۸ |
| ۰/۳۳۷ | ۰/۳۰۰۷ | ٤/٤۳ |
| ۰/٤۱٤ | ۰/۳۲۲۷ | ٥/۷۷ |
| ۰/٤٤۰ | ۰/۳٤۱۱ | ۷/۲۱ |
| ۰/٤٦٤ | ۰/۳٥٤۳ | ۸/٦٦ |
| ۰/٤۸۷ | ۰/۳٦٥۳ | ۱۰/۱۰ |
| ۰/٥۰ | ۰/۳۷٤۲ | ۱۱/٥٤ |

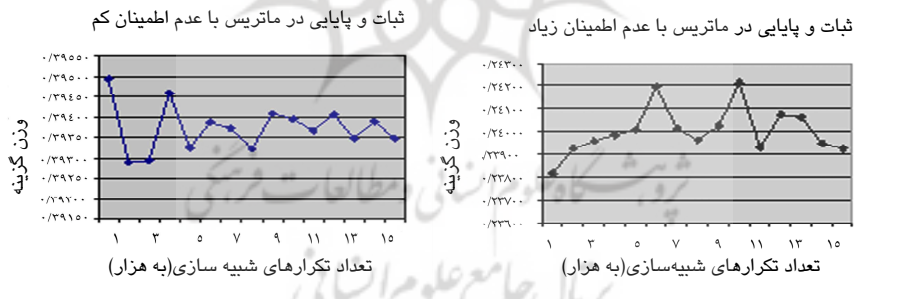
1.RU: Rank Uncertainty




**شکل۲** رابطه انحراف معیار نتایج شبیه‌سازی و عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم

### ۴-۱- تأثیر تکرارهای شبیه‌سازی در ثبات وزن گزینه‌های تصمیم

با افزایش تعداد تکرارهای شبیه‌سازی، وزن نسبی گزینه‌های تصمیم به حالت ثبات[1] و پایایی می‌رسد. در این حالت افزایش تعداد تکرارهای شبیه‌سازی تأثیری در رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم ندارد. این‌حالت زمانی به دست می‌آید که افزایش تکرارهای شبیه‌سازی تأثیر بسیار اندکی در متوسط وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم حاصل از تکرارهای قبلی شبیه‌سازی داشته باشد. البته همان طور که در شکل۳ مشخص است، هرچه میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم افزایش پیدا کند، تکرارهای شبیه‌سازی بیشتری برای رسیدن وزن نسبی گزینه‌ها به وضعیت ثبات و پایایی لازم است.




**شکل۳** تأثیر تکرارهای شبیه‌سازی در ثبات وزن گزینه‌ها: الف- عدم اطمینان زیاد ($\delta$ = ۱۱/۵۴)، ب- عدم اطمینان کم ($\delta$ = ۱/۴۴)

1. stablized

### ۴-۲- تعبیر احتمالی از رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

فرض کنید سطح خطا $\alpha =$ ۰/۰۵ (سطح اطمینان ۰/۹۵) برای آزمون فرض به کار رود. نتایج ۱۵۰۰۰ مرتبه شبیه‌سازی ماتریس تصمیم با عدم اطمینان (انحراف معیار) پایین در جدول۲ ارائه شده است. این فرض صفر را که گزینه یک هیچ تسلط و برتری بر دو گزینه دیگر ندارد ( با توجه به اینکه گزینه یک همواره رتبه سوم را به دست آورده است، نمی‌توان رد کرد.

**جدول۲** نتایج ۱۵۰۰۰ مرتبه شبیه‌سازی- عدم اطمینان کم ( $\delta$ =۱/٤٤ )

| گزینه‌ها | رتبه اول | رتبه دوم | رتبه سوم |
|---|---|---|---|
| گزینه۱ | ۰ | ۰ | ۱۵۰۰۰ |
| گزینه۲ | ۱۱٦۳۷ | ۳۳٦۳ | ۰ |
| گزینه۳ | ۳۳٦۳ | ۱۱٦۳۷ | ۰ |

با توجه به گزینه‌های ۲و۳، این فرض صفر که گزینه ۲ در سطح اطمینان ۹۵٪ مسلط به گزینه سه است ، با استفاده از تخمین نرمال توزیع دوجمله‌ای آزمون می‌شود و فرض صفری که بیان می‌دارد گزینه۲ در حداقل ۹۵٪ مواقع رتبه‌ای بالاتر از گزینه ۳ به دست می‌آورد، رد می‌شود.

ولی مطابق با نتایج آزمون دوجمله‌ای جدول۳ این فرض صفر که گزینه۲ در سطح اطمینان ۷۸٪ مسلط به گزینه۳ است، آزمون شد و این فرض صفر که گزینه۲ در حداقل ۷۸٪ مواقع رتبه‌ای بالاتر از گزینه۳ به‌دست می‌آورد، رد نمی‌شود.

**جدول۳** نتایج آزمون دوجمله‌ای*

| گزینه‌ها | تعداد مشاهدات | نسبت مشاهدات | نسبت آزمون | VALUE-P (۱-TAILED) |
|---|---|---|---|---|
| گزینه ۲ | ۱۱٦۳۷ | ۰/۷۸ | ۰/۷۸ | ۰/۱۰۹ |
| گزینه ۳ | ۳۳٦۳ | ۰/۲۲ | | |
| جمع کل | ۱۵۰۰۰ | | | |

*$H_0$ گزینه ۲ در ۷۸ درصد از مواقع، مسلط بر گزینه۳ می‌باشد.

- در جدول ٤ ، نتایج ۱۵۰۰۰مرتبه شبیه‌سازی ماتریس تصمیم با عدم اطمینان (انحراف معیار) متوسط ارائه شده است. با بررسی اجمالی اطلاعات این جدول، این فرض صفر را که گزینه ۱ تسلط و برتری زیادی بر دو گزینه دیگر ندارد، با توجه به اینکه گزینه ۱ در اکثر مواقع (۱۳۱۷۰ مرتبه از ۱۵۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی ) رتبه سوم را به دست آورده است، نمی‌توان رد کرد.

**جدول۴** نتایج ۱۵۰۰۰ مرتبه شبیه‌سازی- عدم اطمینان متوسط(۵/۷۷ = $\delta$)

| گزینه‌ها | رتبه اول | رتبه دوم | رتبه سوم |
|---|---|---|---|
| گزینه ۱ | ۲۳٤ | ۱۵۹٦ | ۱۳۱۷۰ |
| گزینه ۲ | ۸۸۵۵ | ۵۵۸٦ | ۵۵۹ |
| گزینه ۳ | ۵۹۱۱ | ۷۸۱۸ | ۱۲۷۱ |

با توجه به گزینه‌های ۲و۳، این فرض صفر که گزینه۲ در سطح اطمینان ۰/۹۵ مسلط به گزینه۳ است (با استفاده از تخمین نرمال توزیع دوجمله‌ای آزمون می‌شود) و این فرض صفر که گزینه ۲ در حداقل ۹۵ درصد مواقع رتبه‌ای بالاتر از گزینه۳ به دست می آورد، رد می‌شود. ولی مطابق با نتایج آزمون دوجمله‌ای در جدول ۵ این فرض صفر که گزینه ۲ در سطح اطمینان ٦۰ درصد مسلط به گزینه ۳ است، آزمون شد و این فرض صفر که گزینه ۲ در حداقل ٦۰ درصد مواقع رتبه‌ای بالاتر از گزینه۳ به‌دست می‌آورد، رد نمی‌شود.

**جدول۵** نتایج آزمون دوجمله‌ای*

| گزینه‌ها | تعداد مشاهدات | نسبت مشاهدات | نسبت آزمون | VALUE - P (۱-TAILED) |
|---|---|---|---|---|
| گزینه ۲ | ۸۸۵۵ | ۰/٦ | | |
| گزینه ۳ | ۵۹۱۱ | ۰/٤ | ۰/٦ | ۰/٤۷۳ |
| جمع کل | ۱٤۷٦٦ | | | |

* $H_0$ = گزینه ۲ در ٦۰ درصد از مواقع، مسلط بر گزینه۳ می‌باشد.

در جدول ٦، نتایج ١٥٠٠٠مرتبه شبیه‌سازی ماتریس تصمیم با عدم اطمینان ( انحراف معیار) زیاد آورده شده است. با بررسی اجمالی اطلاعات این جدول، این فرض صفر را که گزینه١ تسلط و برتری زیادی بر دو گزینه دیگر ندارد (با توجه به اینکه گزینه ١ در اکثر مواقع١٠٣١٣ مرتبه از ١٥٠٠٠ تکرار شبیه‌سازی رتبه سوم را به دست آورده است) نمی‌توان رد کرد.

**جدول۶** نتایج ١٥٠٠٠ مرتبه شبیه‌سازی- عدم اطمینان زیاد ($\delta$ = ١١/٥٤)

| گزینه‌ها | رتبه اول | رتبه دوم | رتبه سوم |
|---|---|---|---|
| گزینه١ | ١٤٨٨ | ٣١٩٩ | ١٠٣١٣ |
| گزینه٢ | ٧٤٦١ | ٥٦٤٠ | ١٨٩٩ |
| گزینه٣ | ٦٠٥١ | ٦١٦١ | ٢٧٨٨ |

با توجه به گزینه‌های ٢و٣، این فرض صفر که گزینه ٢ در سطح اطمینان ٩٥ درصد مسلط بر گزینه ٣ است، با استفاده از تخمین نرمال توزیع دوجمله‌ای آزمون می‌شود و این فرض صفر که گزینه ٢ در حداقل ٩٥ درصد مواقع رتبه‌ای بالاتر از گزینه٣ به دست می آورد، رد می‌شود. ولی مطابق با نتایج آزمون دوجمله‌ای در جدول٧، این فرض صفر که گزینه ٢ در سطح اطمینان ٥٥ درصد مسلط بر گزینه ٣ است آزمون گردید و این فرض صفر که گزینه ٢ در حداقل ٥٥ درصد مواقع رتبه‌ای بالاتر از گزینه٣ به‌دست می‌آورد، رد نمی‌شود.

**جدول۷** نتایج آزمون دوجمله‌ای

| گزینه‌ها | تعداد مشاهدات | نسبت شاهدات | نسبت آزمون | VALUE - P (١-TAILED) |
|---|---|---|---|---|
| گزینه ٢ | ٧٤٦١ | ٠/٥٥ | ٠/٥٥ | ٠/٣٠٩ |
| گزینه ٣ | ٦٠٥١ | ٠/٤٥ | | |
| جمع کل | ١٣٥١٢ | | | |

*$H_0$ = گزینه ٢ در٥٥ درصد از مواقع، مسلط بر گزینه ٣ می‌باشد.

## ۵- ارائه یک مثال

در این بخش مثالی که به‌وسیله ساعتی و کرنز در سال ۱۹۸۵م. ارائه شده است [٤،ص۳]، از طریق فن SAW و ماتریس تصمیم حل شد. در این صورت چندین مورد عدم اطمینان در عناصر ماتریس تصمیم، محیط و شرایط تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

دانشجویی را در نظر بگیرید که مدرک دکتری خود را دریافت کرده و از دانشگاههای A ، B و C پیشنهاد استخدام دریافت کرده است. معیارهای وی برای ارزیابی این سه دانشگاه، رشد و ترقی ، حقوق و مزایا، امکانات تحقیقاتی ، همکاران ، شهرت و اعتبار و مکان دانشگاه می‌باشد . فرض کنید که به خاطر محدودیت اطلاعات در دسترس ، دانشجو قادر نخواهد بود که ارزش دقیق دانشگاه A در معیار شهرت و اعتبار ارزش دانشگاه B در معیار حقوق و مزایا و ارزش دانشگاه C را در معیار همکاران تعیین کند و تنها قادر خواهد بود ارزش آنها را در یک دامنه با احتمال مساوی ( توزیع یکنواخت ) تعیین کند . علاوه بر عدم اطمینان موجود در عناصر ماتریس تصمیم ، در جریان مصاحبه در دانشگاه B متوجه می‌شود که این دانشگاه جهت افزایش اعتبار و شهرت دانشگاهی خود قصد دارد سه نفر از استادان برجسته را جذب کند، این دانشگاه هم اکنون مشغول بحث و مذاکره با پرفسور X ،Y وZ می‌باشد . پرفسور X در زمینه رشته تحصیلی دانشجو دارای شهرت و اعتبار فراوانی است. پرفسور Y مشاور پایان‌نامه دانشجو بوده و و کاملاً برای وی شناخته شده است. پرفسور Z نیز در رشته تحصیلی و تخصصی خود مشهور است ولی شهرتش از پرفسور X و Y کمتر است .

احتمال استخدام پرفسور X برابر با ۷۰ درصد و احتمال استخدام پرفسور Z برابر با ۸۰ درصد است. احتمال استخدام پرفسور Y بستگی به استخدام پرفسور X دارد . احتمال استخدام پرفسور Y در صورتی که پروفسور X استخدام شود، ۸۵ درصد و در غیر این صورت ۸۰ درصد است . برای بررسی عدم اطمینان موجود در شرایط و محیط تصمیم‌گیری دانشگاه B ، دانشجو سناریوهای زیر را تعریف می کند:

سناریوی ۱: دانشگاه B حداقل یکی از پرفسورهای X و Y را استخدام کند؛

سناریوی ۲: دانشگاه B حداقل پرفسور X را استخدام می‌کند ولی در جذب پرفسور Y ناموفق است؛

سناریوی۳: دانشگاه B حداقل پرفسور Y را استخدام می‌کند ولی در جذب پرفسور X ناموفق است؛

سناریوی ٤: دانشگاه B پرفسور Z را استخدام می‌کند ولی در جذب پرفسورهای X و Y ناموفق است؛

سناریوی ٥: دانشگاه B هر سه پرفسور را استخدام می‌کند .

اگر( $P_{si}$ ) احتمال رخدادن سناریوی iام و i=۱،۲،۳،٤،٥ باشد ، احتمال مربوط به هر سناریو به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$P_{s۱}$=P(X)×P(Y/X) =۰/۷×۰/۸۵= ۰/۵۹۵

$P_{s۲}$= P(X) × [۱-P(Y/X] =۰/۷ × [۱-۰/۸۵]= ۰/۱۰۵

$P_{s۳}$= P[Y/ (۱-X)] × [۱-P(X)] =۰/۸ × [۱- ۰/۷] = ۰/۲٤

$P_{s٤}$= P (Z) × [۱- P(X)] × [۱- P(Y/ (۱- X)] =۰/۸ × [۱- ۰/۷] × [۱- ۰/۸] = ۰/۰٤۸

$P_{s٥}$= [ ۱-P(X)] × [۱-P(Y/(X)] × [۱-P(Z)]= [۱-۰/۷] × [۱-۰/۸] × [۱-۰/۸]= ۰/۰۱۲

در صورتی که:

P(X) = ۰/۷ : احتمال استخدام پرفسور X ؛

P(Z)=۰/۸ : احتمال استخدام پرفسور Z ؛

P(Y/X) =۰/۸۵ : احتمال استخدام پرفسور Y، در صورتی که پرفسور X نیز استخدام شود.

P(Y/ ۱-X)= ۰/۸ : احتمال انتخاب پرفسور Yدر صورتی که پرفسورX استخدام نشود.

بنابراین سناریوی هر تکرار شبیه‌سازی براساس توزیع احتمال ارائه شده در جدول ۸ تعیین می‌شود.

**جدول۸** توزیع احتمال هر یک از سناریوها

| شماره سناریو | احتمال رخداد | رخداد تجمعی | دامنه اعداد تصادفی شماره سناریو |
|---|---|---|---|
| S۱ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۲ | ۰ < Rand < = ۰/۰۱۲ |
| S۲ | ۰/۰٤۸ | ۰/۰٦ | ۰/۰۱۲ < Rand <= ۰/۰٦ |
| S۳ | ۰/۱۰٥ | ۰/۱٦٥ | ۰/۰٦ < Rand <= ۰/۱٦٥ |
| S٤ | ۰/۲٤ | ۰/٤۰٥ | ۰/۱٦٥ < Rand <= ۰/٤۰٥ |
| S٥ | ۰/٥۹٥ | ۱ | ۰/٤۰٥ <Rand <= ۱ |

ارزش دانشگاهها نسبت به هر یک از معیارها در جدول ۹ آورده شده است .

**جدول۹** ماتریس تصمیم ارزش دانشگاهها

| معیارها / دانشگاهها | امکانات تحقیقاتی | رشد و پیشرفت | حقوق و مزایا | همکاران | مکان | شهرت و اعتبار |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | ۳ | ٥ | ٤ | ۷ | ٥ | [1]U(۳-٥) |
| B | ٥ | ٥ | U(۲-٤) | ٥ | ۷ | ٥ |
| C | ۷ | ۷ | ۲ | U(٥-۹) | ٥ | ۳ |

تأثیر هر یک از سناریوها بر ارزش معیارهای دانشگاه B در جدول۱۰ خلاصه شده است. حال با توجه به مفروضات مدل به تحلیل آن توسط شبیه‌سازی می‌پردازیم. با توجه به مطالب ارائه شده در بخش(۱-٤)، در زمینه تأثیر تکرارهای شبیه‌سازی در ثبات وزن گزینه‌های تصمیم، به‌منظور حل مسأله، ۱۰ مرتبه دوباره‌سازی که هر کدام شامل ۲۰۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی می‌باشد، صورت گرفته و متوسط نتایج ۱۰ مرتبه شبیه‌سازی در جدولهای ۱۱ و ۱۲ آورده شده است.

1. uniform distribution

**جدول۱۰** تأثیر سناریوها بر ارزش معیارهای دانشگاه B

| سناریو | معیار همکاران | معیار رشد و پیشرفت | معیار شهرت و اعتبار |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۵٪ افزایش | ۵۰٪ افزایش | ۷۵٪ افزایش |
| ۲ | بدون تغییر | ۲۵٪ افزایش | ۵۰٪ افزایش |
| ۳ | ۲۵٪ افزایش | ۲۵٪ افزایش | ۲۵٪ افزایش |
| ٤ | بدون تغییر | بدون تغییر | بدون تغییر |
| ۵ | بدون تغییر | ۲۵٪ کاهش | ۲۵٪ کاهش |

**جدول۱۱** متوسط وزن نسبی گزینه‌ها در ۱۰ مرتبه شبیه‌ساز

| دانشگاه | وزن نسبی |
|---|---|
| A | ۰/۲۸۸۲ |
| B | ۰/٤۱٦۱ |
| C | ۰/۲۹۵٤ |

**جدول۱۲** رتبه گزینه‌های تصمیم در ۲۰۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی

| دانشگاه | رتبه اول | رتبه دوم | رتبه سوم |
|---|---|---|---|
| A | ۵۷ | ۷٤۱۸ | ۱۲۵۲۵ |
| B | ۱۹۱٦۱ | ۵۷۰ | ۲٦۹ |
| C | ۷۸۲ | ۱۲۰۱۲ | ۷۲۰٦ |

فرض کنید سطح خطا $\alpha = ۰/۰۵$ (سطح اطمینان ۹۵ درصد) برای آزمون فرض به کار رود. با در نظر گرفتن دانشگاههای B و A، فرض صفر بیان می‌کند، نسبت مواقعی که دانشگاه B رتبه‌ای بالاتر از دانشگاه A به دست می‌آورد، بزرگتر یا مساوی ۹۵ درصد است و فرض یک بیان می‌دارد نسبت مواقعی که دانشگاه B رتبه‌ای بالاتر از دانشگاه A به‌دست می‌آورد، کوچکتر از ۹۵ درصد است. بنابراین از آزمون یک، دامنه تخمین نرمال توزیع دوجمله‌ای برای آزمون فرض استفاده شده است. با درنظر گرفتن دانشگاههای A ، B و با استفاده از تخمین نرمال توزیع دوجمله‌ای، مقدار Z استاندارد برابر با ۲۹ به دست آمده و این

فرض صفر که دانشگاه B مسلط بر دانشگاه A است، در سطح اطمینـان ۹۵ درصـد رد نشـده است و می‌توان گفت که دانشگاه B در ۹۵ درصد از مواقع رتبـه‌ای بـالاتـر از دانشـگاه A بـه دست می‌آورد.

با درنظر گرفتن دانشگاههایB ،C و با استفاده از تخمین نرمال توزیع دوجمله‌ای، مقدارZ استاندارد برابر با ۶/۹۹ به دست آمد. و این فرض صفر که دانشگاه B مسـلط بـر دانشـگاه C است، در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد نشد. بنابراین می‌توان گفت که دانشگاه B در۹۵ درصـد از مواقع رتبه‌ای بالاتر از دانشگاه C به دست می آورد.

با درنظر گرفتن دانشگاههای A ،C و با استفاده از تخمین نرمال توزیع دوجمله‌ای، مقـدار Z استاندارد برابر با ۲/۳۸- به دست آمد و فرض صفر که دانشگاه C مسـلط بـر دانشـگاه A است، در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد شد بنابراین نمی‌توان گفت که دانشـگاه C در۹۵ درصـد از مواقع رتبه‌ای بالاتر از دانشگاه A به دست می‌آورد.

## ۶- نتیجه‌گیری

عدم اطمینان در قضاوتها و مقادیر تصمیم و عدم اطمینان شرایط آینده محـیط تصـمیم‌گیـری می‌تواند منجر به نقض‌شدن رتبه‌بندیها و کاهش میزان اطمینان تصـمیم گیرنـده بـه نتـایج بـه دست آمده شود. همان‌طور که نتایج شبیه‌سازیهای متعدد در جدول۱ نیـز نشـان مـی‌دهـد، بـا افزایش میزان عدم اطمینان عناصر ماتریس تصمیم احتمال نقـض شـدن رتبـه‌بنـدیها افـزایش یافته و میزان اطمینان تصمیم گیرنده به نتایج به دست آمده کاهش پیدا می‌کند.

با افـزایش عـدم اطمینـان عناصـر مـاتریس تصـمیم، انحـراف معیـار وزنهـای نسـبی بـه دست‌آمده برای گزینه‌ها افزایش پیدا می‌کند. در این شـرایط مـی‌تـوان یـک تعبیـر احتمـالی از رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های تصمیم ارائه کرد و با استفاده از تخمین نرمـال توزیـع دو جملـه‌ای آن را آزمون کرد.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد کـه بـا افـزایش میـزان عـدم اطمینـان عناصـر مـاتریس تصمیم احتمال تسلط بهترین گزینه بر گزینه‌های دیگر کاهش پیدا می‌کند و همـان‌طـور کـه در بخش ٤-۲ نشان داده شد، از ۷۸ درصد در جدولهای بـا عـدم اطمینـان کـم بـه ۵۵ درصـد در جدولهای با عدم اطمینان بالا رسیده است (جدولهای۳، ۵ ،۷).

روش شبیه‌سازی می‌تواند برای بررسی تأثیر هر دو نوع عدم اطمینان در اهمیت نسبی ورتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها استفاده شود. با افزایش تعداد تکرارهای شبیه‌سازی ، وزن نسبی گزینه‌های تصمیم به حالت ثبات و پایایی رسیده و افزایش تکرارهای شبیه‌سازی تأثیری در رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری ندارد. البته باید به این نکته توجه کرد که هر روش تحلیلی و تئوریکی که به کار گرفته می‌شود، باید بتواند توزیعهای احتمال مختلف مربوط به عوامل مؤثر در محیط را در نظر بگیرد. در بسیاری از شرایط امکان مشخص‌کردن یک توزیع آماری استاندارد شناخته شده برای عوامل مؤثر در محیط تصمیم‌گیری مشکل و یا غیر ممکن خواهد بود، به همین دلیل استفاده از روش شبیه‌سازی برای برخورد با عدم اطمینان موجود در شرایط و محیط تصمیم‌گیری بسیار کاراتر و عملی‌تر از توسعه یک روش تئوریکی و تحلیلی می‌باشد.

## ۷ـ منابع


[1] Saaty T. ;"The analytic hierarchy process"; McGraw-Hill, New York, 1980.

[2] Schoemaker P.; "When and how to use scenario planning: *A heuristic approach with illustration*"; *Journal of Forecasting*, Vo1. 10,1991

[3] Rosenbloom E.; "A probabilistic interpretation of the final rankings in the AHP"; *European Journal of Operation Research*, Vo1. 96, 1996.

[4] Wan K., Levary R.; "A simulation approach for handling uncertainty in the analytical hierarchy process "; *European Journal of Operation Research*, Vo1. 106, 1997.

[5] Zahir S, Paulson D.; "Consequences of uncertainty in the analytic hierarchy process: A simulation approach"; *European Journal of Operation Research*, Vo1. 87, 1993.

[6] Zahir M.; "Incorporation the uncertainty of decision judgments in the analytical hierarchy process "*; European Journal of Operation Research*, Vo1. 53, 1989.

[7] Saaty T., Vargas L.; "Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process "; *European Journal of Operation Research*, Vo1. 32, 1987.

[8] Zaho C.M., Lo.S.M, Fang Z.; "A simulation approach for ranking of fire safety attributes of existing buildings "; *Fire Safety Journal*, Vo1. 39, 2004.

[9] Hurley W.J.; "The analytic hierarchy process: A note on an approach to sensitivity which preserves rank order"; *Computers & Operations Research*, Vo1.28, 2001.

[10] Olson D.L., Wu.D. ; "Simulation of fuzzy multiattribute models for grey relationships"; *European Journal of Operational Research, Article in Press*, 2005.

[11] Li D., "An approach to fuzzy multiattribute decision making under uncertainty"; *Information Sciences*, Vo1. 169, 2005.

[12] Royes G., Bastos C.;"Uncertainty analysis in political forecasting"; Decision Support System, 2004.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی