

## آنالیز حساسیت در رتبه‌بندی پروژه‌های سدسازی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

فاطمه محمدی<sup>۱\*</sup>، حسین صمدی بروجنی<sup>۲</sup>، روح‌الله فتاحی نافچی<sup>۳</sup> و کوردوان هدایتی‌پور<sup>۴</sup>

### چکیده

آب شاخص کلیدی توسعه بوده بنابراین اولویت‌بندی پروژه‌های ملی و منطقه‌ای به دلیل محدودیت منابع مالی اهمیت بسیار داشته و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ضروری است. در این پژوهش رتبه‌بندی بهینه ۹ طرح در حال مطالعه سدسازی استان چهارمحال و بختیاری با در نظر گرفتن یازده معیار کیفی و کمی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و با استفاده از دو نرم‌افزار ELECTRE III و Expert choice انجام گرفت و با تحلیل حساسیت در سناریوهای تعریف شده مدل مناسب‌تر انتخاب شد. از آن جا که تا به حال کمی نمودن نتایج کیفی تحلیل حساسیت روش‌های تصمیم‌گیری توجه نشده بود، در این مطالعه با کاربرد پارامتر درصد تغییرات، حساسیت روش‌های مورد استفاده نسبت به تغییرات اعمال شده بر ماتریس تصمیم‌گیری و پارامترهای هر روش کمی شدند. نتایج نشان داد مناسب‌ترین روش تصمیم‌گیری از بین روش‌های ELECTRE III، مینی‌ماکس، فاصله‌های وزنی، حداقل مربعات و AHP، روش ELECTRE III به دلیل حساسیت کمتر نسبت به تغییرات در رتبه‌بندی است. همچنین در تحلیل حساسیت حذف هر معیار، در روش ELECTRE III مدل نسبت به حذف معیار نسبت سود به هزینه (B/C) بیشترین حساسیت (۷/۰۷ درصد) و نسبت به معیارهای ارتفاع سد، اشتغال‌زائی و تمرکز جمعیت، هیچ حساسیتی را نشان نداده است.

**واژه‌های کلیدی:** تصمیم‌گیری چند معیاره، تحلیل حساسیت، رتبه‌بندی، سدسازی، ELECTRE III.

**ارجاع:** محمدی ف. صمدی بروجنی ح. فتاحی نافچی ر. و هدایتی‌ور ک. ۱۳۹۲. آنالیز حساسیت در رتبه‌بندی پروژه‌های سدسازی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۳): ۵۹-۶۷.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۳- استادیار گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی (آبخیزداری)، دانشگاه شهرکرد.

\* نویسنده مسئول: [mohammadi.83@gmail.com](mailto:mohammadi.83@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۴/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۲۴

## مقدمه

آب به عنوان عاملی اساسی در بهبود سیمای توسعه اقتصادی، فرهنگی دارای جایگاه ویژه‌ای است. مدیریت منابع آبی بدون بهره‌گیری از سازه‌های مناسب و کارا برای ذخیره‌سازی و انتقال، امری محال بوده و تعریف پروژه و طرح‌های توسعه منابع آب همواره یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های برنامه‌ریزی منابع آب است. تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده ناپایدار یکی از مسایل بسیار مهم در مدیریت نوین به شمار می‌رود. در این موارد تصمیم‌گیرنده با گزینه‌هایی متفاوت تحت معیارهای مختلفی که از محیط داخلی و خارجی محیط متأثر می‌شوند، روبرو است. یکی از روش‌هایی که در تبدیل معیارهای کیفی به کمی به کار می‌رود، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. مدل‌های تصمیم‌گیری به دو دسته کلی مدل‌های چند هدفه (MODM)<sup>۱</sup> و چند معیاره (MADM)<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی و انتخاب گزینه برتر استفاده می‌شود. حال آن که تصمیم‌گیری چند هدفه برای طراحی سیستم‌ها به کار می‌رود. که شرح هر یک از این روش‌ها و زیر گروه‌ها در مطالعات اصغرپور (۱۳۸۷) آورده شده است. در استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (چند شاخصه) به علت این که نمی‌توان در واقعیت نتایج حاصل از رتبه‌بندی را با یک حالت ایده‌آل از پیش تعریف شده مقایسه کرد و هدف از انجام رتبه‌بندی رسیدن به این حالت ایده‌آل است. لذا با استفاده از روابط ریاضی نمی‌توان خطایی برای رتبه‌بندی هر روش به دست آورد. بلکه با استفاده از تحلیل حساسیت روش‌های مورد استفاده که به عنوان مهمترین گام در تصمیم‌گیری است، می‌توان مشخص کرد که کدام روش مناسب‌ترین روش برای مسأله و هدف پیش‌رو می‌باشد (اصغرپور، ۱۳۸۷).

به کارگیری روش ELECTRE III در مدیریت منابع آب سابقه اندکی دارد. راجو و همکاران (۲۰۰۴) از پنج روش تصمیم‌گیری شامل ELECTRE III، PROMETHEE-2، ELECTRE-4 و EXPROM-2 و برنامه‌نویسی سازگار (CP) برای اولویت‌بندی طرح‌های منابع آب در هواسکا اسپانیا استفاده کردند.

زهراپی و همکاران (۲۰۰۸) این روش را برای ارزیابی سیستم‌های منابع آب با معیارهای توسعه پایدار برای تدوین سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در مقیاس حوضه‌ای به کار بردند. بلا و همکاران (۱۹۹۶) برای تخصیص آب در بالای حوضه دود گراند از این روش برای رتبه‌بندی کردن گزینه‌های انتخاب شده، استفاده کرده‌اند. ملک‌محمدی و همکاران (۱۳۸۷) از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ELECTRE III برای رتبه‌بندی جواب‌های مدل چند هدفه NSGA-II در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سری استفاده نمودند. در مدل بهینه‌سازی با در نظر گرفتن اهداف کوتاه مدت مهار سیلاب و بلندمدت تأمین نیاز در سیستم‌های سری رودخانه-مخزن، مجموعه جواب‌های مدل چند هدفه تعیین می‌شود. لقب‌دوست آرانی (۱۳۸۹) با توجه به نتایج حاصله از کاربرد روش ELECTRE III در مدیریت سیلاب، به این نتیجه رسید که با افزایش مقادیر ارزش آستانه برتری به میزان ۲۰ درصد، نسبت به حالت کاهش دادن آن‌ها، سیستم حساسیت بیشتری از خود نشان داده و تغییرات واضحی در قسمت‌های بالایی رتبه‌ها دیده می‌شود. منصوروی خسروی و همکاران (۱۳۸۴) رتبه‌بندی بهینه‌ای در مورد طرح‌های فاضلاب با روش ELECTRE III به کار بردند و در تحلیل حساسیت آستانه برتری، بی‌تفاوتی و وتو به این نتیجه رسیدند که افزایش این ارزش‌های آستانه به میزان ۲۰ و ۴۰ درصد هیچ تأثیری بر رتبه‌بندی پروژه‌ها نداشته و کاهش ۴۰ درصد بیشترین تأثیر را در رتبه‌بندی‌ها داشته است. که با نتایج این پژوهش در مورد ارزش آستانه برتری، بی‌تفاوتی و وتو هماهنگی لازم را دارد.

در آنالیز حساسیت‌های انجام شده توسط سایر پژوهشگران، نتایج به دست آمده به صورت کیفی تحلیل شده و معیار دقیق کمی برای سنجش میزان حساسیت روش‌های به کار رفته وجود نداشت. لذا در این مطالعه، با تعریف پارامتر درصد تغییرات در رتبه‌بندی نسبت به رتبه‌بندی اصلی در هر روش، میزان حساسیت هر روش سنجیده شد. همچنین در مطالعات سایر پژوهشگران آنالیز حساسیت در حذف هر معیار انجام نشده بود حال آن که این تحلیل حساسیت دید وسیع‌تری را از نقش هر معیار برای یک تصمیم‌گیرنده ایجاد می‌کند. چرا که تصمیم‌گیرنده با حذف هر معیار تأثیر آن معیار را در رتبه‌بندی به دست آمده، مشاهده می‌کند.

1- Multi Objective Decision Making (MODM)

2- Multi Attribute Decision Making (MADM)

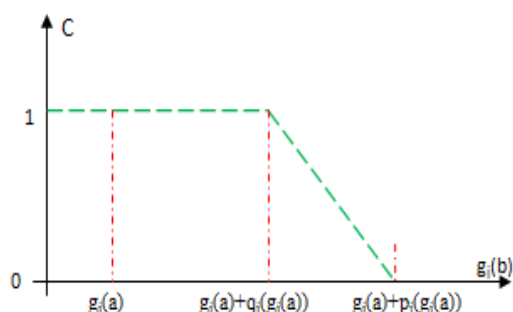
**مواد و روش‌ها**

$v_j$  آستانه وتو و  $W_j$  وزن معیار  $j$ ام،  $g_j(a)$  مقدار عددی معیار  $j$ ام در سناریوی  $a$ ،  $g_j(b)$  مقدار عددی معیار  $j$ ام در سناریوی  $b$ ،  $I$  رتبه نهایی برای هر گزینه،  $I_{max}$  بیشینه مقادیر ماتریس اعتبار،  $a$  و  $b$  ضرایب تحلیل حساسیت هستند. برای مطالعه بیشتر در خصوص اساس روش ELECTRE III به اصغریور (۱۳۸۷) مراجعه شود.

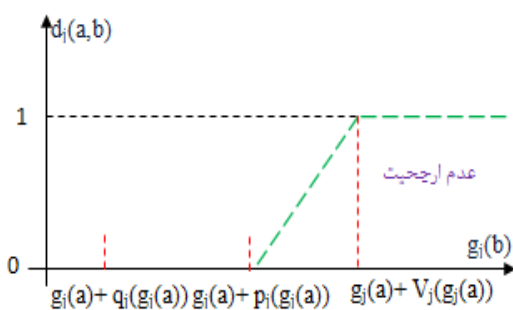
روش‌های تصمیم‌گیری بسیار گسترده است و انتخاب روش تصمیم‌گیری بستگی به ماهیت مسأله دارد. در این پژوهش با توجه به پیچیدگی تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای کمی و کیفی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. در این مطالعه مطابق الگوریتم هوانگ و یون (۱۹۵۵) و مروری بر مطالعات انجام شده توسط سایر پژوهشگران جهت انجام این پژوهش دو نرم‌افزار Expert choice و ELECTRE III به کار برده شد. در نرم‌افزار اول از روش AHP و در نرم‌افزار دوم از روش‌های ELECTRE III و برنامه‌ریزی سازشی برای رتبه‌بندی بهینه طرح‌های در حال مطالعه سدسازی در استان چهارمحال و بختیاری استفاده شده است.

در روش ELECTRE III اولین گام، محاسبه ماتریس هماهنگی است. در گام بعد ماتریس ناهماهنگی محاسبه و در نهایت با توجه به ماتریس اعتبار رتبه‌بندی انجام می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ دیده می‌شود تابع هماهنگی و ناهماهنگی، به صورت یک تابع فازی در ماتریس کارایی می‌باشند. در مرحله بعد ماتریس اعتبار مطابق معادله ۱ محاسبه می‌شود و در نهایت با استفاده از شاخص  $I$  اولویت گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

در شکل‌های ۱ و ۲ و معادله ۱،  $C(a, b)$  ماتریس هماهنگی،  $d(a, b)$  ماتریس ناهماهنگی، ماتریس اعتبار،  $p_j$  آستانه برتری،  $q_j$  آستانه بی‌تفاوتی،



شکل ۱- تابع عضویت ماتریس هماهنگی



شکل ۲- تابع عضویت ماتریس ناهماهنگی

$$S(a, b) = \begin{cases} C(a, b) & d_j(a, b) \leq C(a, b) \text{ for each } j \\ C(a, b) \times \prod \left[ \frac{(1-d_j(a, b))}{1-C(a, b)} \right] & d_j(a, b) > C(a, b) \end{cases} \quad (1)$$

$$I = I_{max} - (a - b I_{max}) \quad , \quad I_{max} = \max(S(a, b)) \quad (2)$$

تهیه ماتریس کارایی و مقادیر ارزش‌های آستانه بی‌تفاوتی<sup>۱</sup>، برتری<sup>۲</sup>، وتو<sup>۳</sup> و وزن<sup>۴</sup> هر معیار از مهم‌ترین ورودی‌ها در نرم‌افزار ELECTRE III برای اجرای مدل است که در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

1- Indifferent threshold value  
2- Preference threshold value  
3- Veto threshold value  
4- Weight

جدول 1- تبدیل معیارهای کیفی به کمی با استفاده از مقیاس دو قطبی (ساتی، 2000)

معیار کیفی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مثبت	۰-۱	۳	۵	۷	۹-۱۰
منفی	۹-۱۰	۷	۵	۳	۰-۱

جدول 2- ارزش‌های آستانه و وزن معیارها در مدل ELECTRE III

معیارها	شرح	ارزش آستانه بی تفاوتی (q)	ارزش آستانه برتری (P)	ارزش آستانه وتو (V)	وزن معیار (W)
M1	ارتفاع سد	۵	۱۰	۱۰۰	۶
M2	هزینه هر متر مکعب آب	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰۰	۲۶
M3	درآمد حاصل از طرح	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۴
M4	اشتغال‌زائی	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۲۸
M5	اثرات اجتماعی	۲	۴	۶	۲۲
M6	اثرات زیست محیطی	۲	۴	۸	۲۰
M7	B/C	۰/۱	۰/۳	۰/۹	۲۴
M8	تمرکز جمعیت	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۵	۱۸
M9	توسعه آبی‌ری پروری	۱	۲	۰/۵	۸
M10	مشکلات زمین شناسی	۲	۴	۶	۶
M11	سرانه توسعه کشاورزی	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۱	۱۴

## گام‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی

برای انجام تحلیل سلسله مراتبی ابتدا ماتریس مقایسات زوجی معیارها توسط تصمیم گیرنده مشخص می‌شود. سپس ماتریس مقایسه زوجی نرمال شده و وزن معیارها با روش میانگین‌گیری سطری به دست می‌آید. در مرحله بعد نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود و ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار توسط تصمیم گیرنده مشخص می‌شود. مراحل نرمال کردن و محاسبه وزن برای کلیه ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها تکرار می‌شود و به ازای هر معیار یک بردار وزنی برای هر گزینه به دست می‌آید و نرخ ناسازگاری برای هر ماتریسی که حاصل می‌شود، محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از بردارهای وزن، ماتریسی مانند ماتریس تصمیم به دست خواهد آمد سپس امتیاز هر سناریو محاسبه می‌شود و گزینه‌ای برتر است که بیشترین امتیاز را داشته باشد در روش AHP معیارها تلفیقی از معیارهای کمی و کیفی بوده و معیارهای کیفی با استفاده از ماتریس ساتی مطابق جدول ۱ به معیارهای کمی تبدیل می‌شوند.

روش‌های برنامه‌ریزی سازشی<sup>۱</sup>

روش CP در مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره خطی استفاده شده است (زلنی، ۱۹۷۸). این روش از سری

روش‌های مبتنی بر فاصله هستند. در این روش ابتدا معیارها را نرمالیزه کرده و سپس جوابی که نزدیکتر به جواب ایده‌آل است تشخیص داده می‌شود. در نرم‌افزار ELECTRE III این روش‌ها شامل، روش مینی ماکس<sup>۲</sup> فاصله‌های وزنی<sup>۳</sup>، حداقل مربعات<sup>۴</sup> است که در بخش جداگانه‌ای از نرم‌افزار تحت عنوان Compromise programming قابل اجرا است. معادله مورد استفاده در این روش، به صورت معادله ۳ است.

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^n c_j |1 - \bar{f}_j(x)| \quad x \in X \quad (3)$$

که در آن  $c_1, \dots, c_n$  وزن‌های معیارها بوده و  $\bar{f}_j(x)$  به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\bar{f}_j(x) = \frac{f_j(x) - m_j}{M_j - m_j} \quad (4)$$

و  $m_j$  و  $M_j$  به ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر گزینه‌ها در معیار  $j$  ام هستند.

## مطالعه موردی

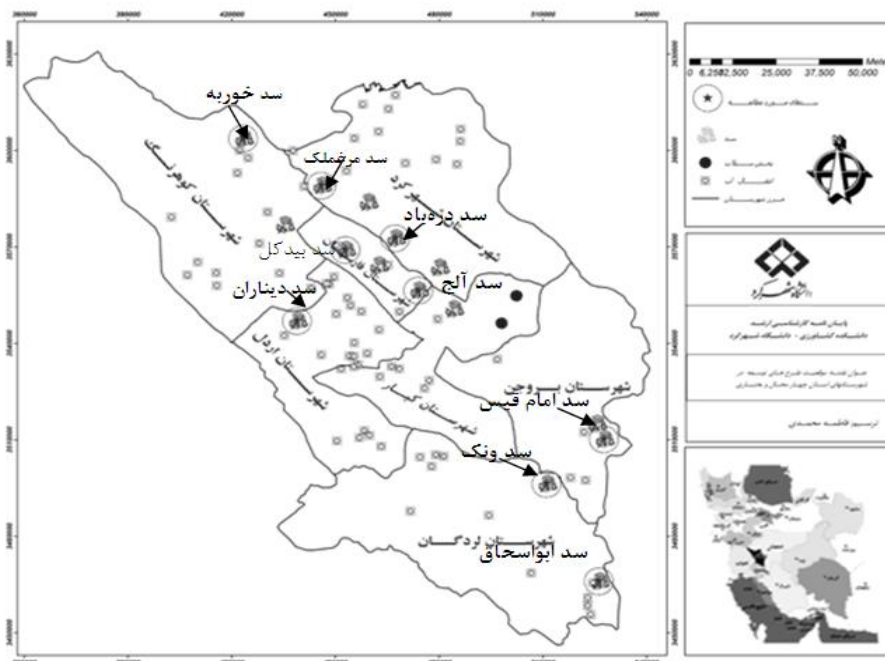
منطقه مورد مطالعه، استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع است. این استان بر اساس آخرین تقسیمات کشوری از ۷ شهرستان، ۱۸ بخش و ۳۹ دهستان

2- Minimax solution  
3- Weighted distance solution  
4- Least squares solution

1- Compromise Programming (CP)

مورد مطالعه در این پژوهش آورده شده است. همچنین در جدول‌های ۲ و ۳ مقادیر ارزش‌های آستانه، وزن معیارها و ماتریس تصمیم‌گیری آورده شده است. پس از تعیین پروژه‌ها و هدف از رتبه‌بندی، در هر تصمیم‌گیری یا رتبه‌بندی آن‌ها لازم است پروژه‌ها بر اساس معیارهای مورد نظر تصمیم‌گیرنده مرتب شوند.

تشکیل شده است. طرح‌های توسعه منابع آب در این استان از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند و در توسعه استان جایگاه ویژه‌ای را دارند. طرح‌های سدسازی، برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در سه گروه پروژه‌های در دست بهره‌برداری، پروژه‌های در دست اجرا و پروژه‌های مطالعاتی تعریف می‌شوند. در شکل ۳ موقعیت پروژه‌های



شکل 3- موقعیت طرح‌های سدسازی در حال مطالعه در شهرستان‌های استان چهارمحال و بختیاری

جدول 3- ماتریس تصمیم‌گیری (کارایی)

معیار پروژه	ارتفاع سد	هزینه هر متر مکعب آب	درآمد حاصل از طرح	اشتغال‌زایی	اثرات اجتماعی	اثرات زیست محیطی	B/C	تمرکز جمعیت	توسعه آبی بروری	مشکلات زمین شناسی	توسعه کشاورزی
سد ونک	۶۴/۵	-۱۳۴۶	۱۱۲۶۲/۳۳	۰/۱۶	۳	۱	۱/۳۸	۰/۴۲	۵۵۴/۱۵	-۱	-۴/۲۰
سد امام قیس	۳۴/۵	-۱۶۳۰	۵۸۱۲/۰۷۹	۰/۰۵	۳	۵	۲/۵۰	۰/۲۰	۱۳۹/۸۴	-۲	-۲/۲۳
سد دره‌باد	۵۹/۶	-۱۲۲۳	۶۹۹۱/۶۸	۰/۰۴	۳	۷	۱/۵۵	۱/۲۱	۲۷۹/۵۶	-۳	-۸/۸۴
سد آج	۲۶/۴	-۲۱۰۰	۶۴۲۹/۷۴	۰/۰۸	۷	۲	۱/۲۴	۰/۱۲	۲۸۲/۸۰	-۷	-۰/۹۱
سد بیدکل	۳۵/۵	-۱۲۱۷	۱۰۱۹۴/۹۴	۰/۱۲	۵	۵	۱/۴۴	۱/۳۹	۲۷۶/۷۲	-۳	-۱۰/۲۱
سد مرغملک	۳۴/۶	-۶۴۶	۸۴۸۹/۴۲	۰/۰۹	۷	۳	۲/۰۴	۰/۱۰	۸۶/۴۵	-۵	-۰/۷۴
سد خوربه	۴۰	-۹۴۰	۱۰۲۴۳/۱۹	۰/۱۲	۳	۳	۱/۷۰	۰/۱۰	۷۹/۹۱	-۵	-۰/۵۶
سد ابواسحاق	۳۳/۲	-۸۱۲	۸۸۴۹/۷۵	۰/۰۹	۵	۹	۱/۶۰	۰/۷۱	۱۶۳/۵۵	-۳	-۶/۲۲
سد دیناران	۳۳	-۶۵۷	۸۵۹۳/۴۶	۰/۰۹	۳	۳	۲/۰۳	۰/۰۷	۳۰۷/۰۳	-۱	-۰/۵۱

### نتایج و بحث

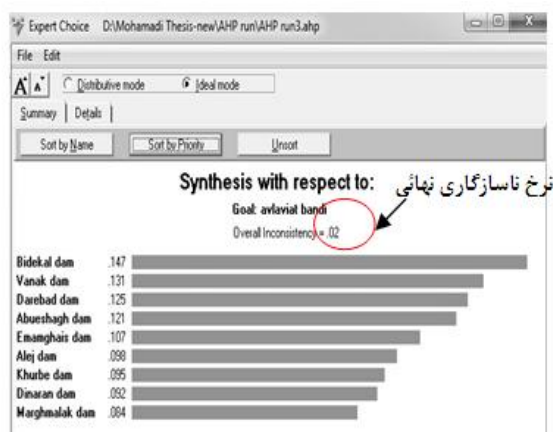
با توجه به اطلاعات ورودی به مدل شامل ارزش‌های آستانه و وزن معیارها (جدول ۲) و ماتریس کارایی (جدول ۳) برنامه اجرا شده و در جدول ۴ نتایج رتبه‌بندی نهایی پروژه‌ها، در روش ELECTRE III و روش‌های برنامه‌ریزی سازه‌سازی را می‌توان دید. در رتبه‌بندی نهایی پروژه سد ونک در رتبه اول و سد خوربه در رتبه آخر قرار دارد. نتایج حاصل از اجرای مدل در برنامه‌ریزی سازه‌سازی در نرم‌افزار ELECTRE III نیز بررسی شد. با مقایسه نتایج دو روش فاصله‌های وزنی و حداقل مربعات، با رتبه‌بندی نهایی در روش ELECTRE III می‌توان گفت روش فاصله‌های وزنی بیشتر به رتبه‌بندی نهایی در روش ELECTRE III شبیه است. روش مینی‌ماکس از دیگر روش‌های برنامه‌ریزی سازه‌سازی است که در هر بار رتبه‌بندی، تفکیک‌پذیری کمتری در پروژه‌ها اعمال می‌کند و این سبب می‌شود پروژه‌ها را در رتبه‌های محدودی قرار دهد.

با توجه به بررسی منابع گوناگون، معیارهای تعریف شده در این پژوهش عبارتند از:

۱. ارتفاع سد (متر)
۲. هزینه تمام شده تأمین هر واحد آب (ریال بر مترمکعب)
۳. درآمد اقتصادی حاصل از اجرای طرح (ریال بر هر مترمکعب آب)
۴. اشتغال‌زایی طرح (نفر بر هزار مترمکعب آب)
۵. اثرات اجتماعی طرح
۶. اثرات زیست محیطی طرح
۷. توجیه اقتصادی طرح (B/C)
۸. تمرکز جمعیت در محدوده طرح (نفر بر هزار مترمکعب)
۹. پتانسیل توسعه آبی‌پروری (تن بر میلیون مترمکعب)
۱۰. مشکلات زمین‌شناسی
۱۱. سرانه توسعه کشاورزی در منطقه (هکتار بر نفر)

جدول 4- رتبه‌بندی پروژه‌ها در روش ELECTRE III و روش‌های برنامه‌ریزی سازه‌سازی

پروژه	ونک	امام قیسی	دره باد	آلج	بیدکل	مرغملک	خوربه	ابواسحاق	دیناران
روش ELECTRE III									
رتبه‌بندی نهایی	۱	۳	۴	۶	۲	۸	۹	۵	۷
روش‌های برنامه‌ریزی سازه‌سازی									
روش مینی‌ماکس	۵	۸	۳	۴	۱	۶	۷	۲	۹
روش فاصله‌های وزنی	۱	۵	۳	۹	۲	۸	۷	۴	۶
روش حداقل مربعات	۲	۵	۳	۹	۱	۸	۷	۴	۶



شکل 4- نتایج مدل AHP در سنتز ایده‌آل

در نهایت اولویت پروژه‌ها (گزینه‌ها) در نرم‌افزار مشخص شده و اولویت‌بندی نهایی از طریق سنتز ایده‌آل<sup>۱</sup> صورت گرفت. نتایج حاصل مطابق شکل ۴ می‌باشد. که سد ونک و مرغملک به ترتیب اولین و آخرین رتبه را به خود اختصاص داده‌اند. در مرحله بعد نسبت به تحلیل حساسیت در نرم‌افزار پرداخته می‌شود. با مقایسه نتایج مدل ELECTRE III و Expert choice دیده می‌شود که نتایج دو مدل برای دو سد با اولویت اول و سه سد با اولویت آخر مشابهت دارد و عمده تفاوت این دو مدل در رتبه‌بندی میانی پروژه‌ها است. لذا برای تصمیم‌گیری نهایی لازم است با انجام آنالیز حساسیت، بهترین روش انتخاب و رتبه‌بندی نهایی ارایه شود.

1- Ideal mode

## تحلیل حساسیت

در تحلیل حساسیت هر دو نرم افزار، هر بار یک معیار حذف شده و حساسیت مدل نسبت به حذف آن معیار سنجیده شد. مدلی که کمترین حساسیت را داشته باشد، به عنوان مدل بهینه انتخاب می شود. همچنین در روش ELECTRE III به میزان ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد افزایش و کاهش در مقادیر ارزش آستانه و پارامترهای مدل اعمال شد و حساسیت مدل سنجیده شد. همچنین انتخاب مدل مناسب، بر اساس درصد تغییرات کل انجام گرفت و مدلی مناسب تر است که حساسیت کمتر یا به عبارتی دیگر

درصد تغییرات کمتری در رتبه بندی ایجاد کند. همچنین هر چه رتبه بهینه گی پایین تر باشد، آن مدل مناسب تر است. نتایج حاصل از انتخاب روش مناسب تر در جدول ۵ آورده شده است.

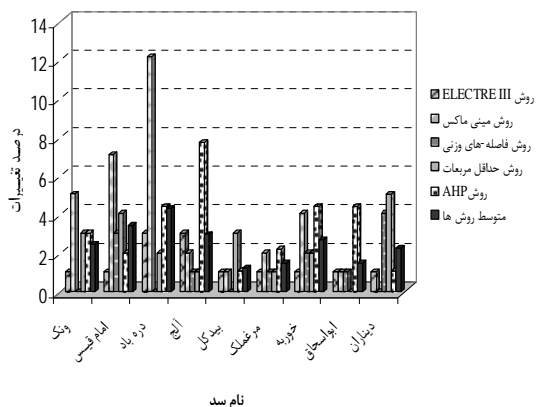
با توجه به شکل ۵ مشخص می شود در تحلیل حساسیت حذف هر یک از معیارها، روش ELECTRE III از بین روش های مطالعه شده در این پژوهش رتبه اول و روش مینی ماکس آخرین رتبه را به خود اختصاص دادند.

جدول ۵- مجموع درصد تغییرات حاصل از حذف هر یک از معیارها در روش های مختلف مورد بررسی

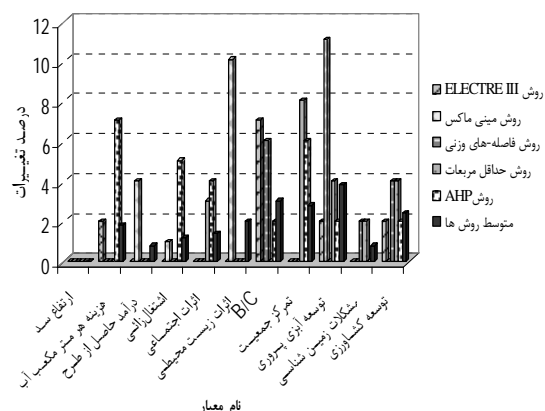
Expert choice	ELECTRE III				نام نرم افزار
AHP	حداقل مربعات	فاصله های وزنی	مینی ماکس	ELECTRE III	نام روش
۲۸/۲۸	۲۱/۲	۱۴/۱۴	۳۴/۳۴	۱۳/۱۳	درصد تغییرات کل
۴	۳	۲	۵	۱	رتبه

رتبه بندی پروژه ها اتفاق افتاد و پروژه سد ابواسحاق بیشترین (۹/۲۵ درصد) تغییرات را در این تحلیل داشت. از بین ارزش های آستانه در روش ELECTRE III، ارزش آستانه وتو بیشترین (۳۷/۰۳۷ درصد) تغییرات و بنابراین حساس ترین پارامتر بوده و ارزش آستانه بی تفاوتی کمترین (۷/۴ درصد) تغییرات و بنابراین کمترین حساسیت را دارد.

در تحلیل حساسیت تغییر در مقادیر پارامترهای مدل، درصد کل تغییرات در ضریب  $\alpha$  بیشتر (۱۴/۸۱ درصد) از درصد کل تغییرات در ضریب  $\beta$  (۷/۴ درصد) بوده است و بنابراین در این مطالعه تغییرات ضریب  $\alpha$  حساسیت بیشتری نسبت به ضریب  $\beta$  ایجاد می کند.

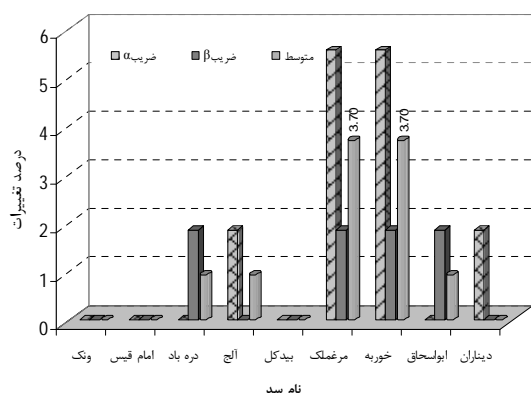


شکل ۶- درصد کل تغییرات در رتبه بندی پروژه ها

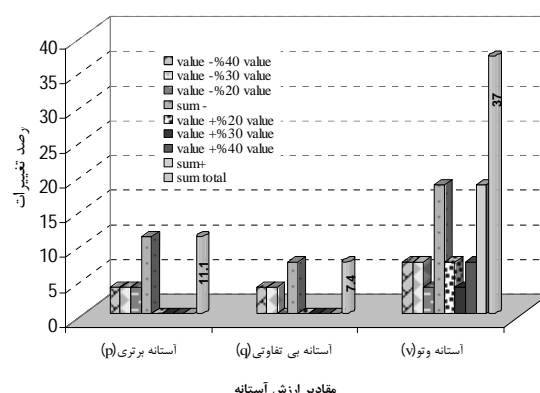


شکل ۵- درصد کل تغییرات در رتبه بندی معیارها

در شکل ۶ دیده می شود پس از حذف هر یک از معیارها، در حالت متوسط درصد تغییرات، سد بیدکل کمترین (۱/۲۳ درصد) تغییرات و سد دره باد بیشترین (۴/۳۱ درصد) تغییرات را از خود نشان داده است. پس بنابراین روش بهینه نیز از حالت متوسط تبعیت می کند. در حالت دوم از تحلیل حساسیت در مقادیر ارزش های آستانه در روش ELECTRE III تغییرات اعمال شد. مطابق شکل های ۷ و ۸ مشاهده می شود که در روش ELECTRE III، با افزایش در مقادیر ارزش آستانه برتری و بی تفاوتی هیچ تغییری در رتبه بندی گزینه ها ایجاد نشد و از بین پروژه های مورد مطالعه سد مرغملک و خوربه بیشترین تغییرات را در این تحلیل داشتند. با تغییر در مقادیر ارزش آستانه وتو در تمام حالات افزایش و کاهش در این پارامتر، تغییر در



شکل 10- درصد تغییرات پروژه‌ها در تغییر پارامترهای مدل



شکل 7- درصد تغییرات در مقادیر ارزش آستانه

### نتیجه‌گیری

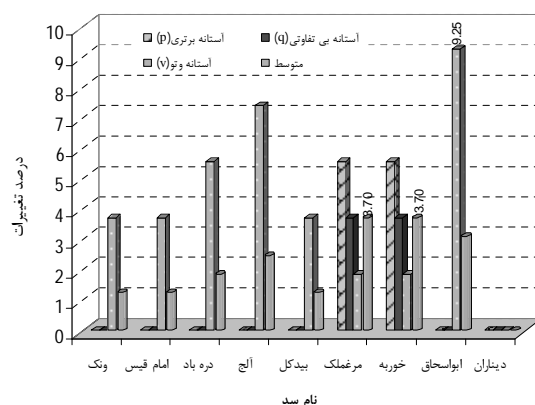
نتایج نشان داد از بین روش‌های مورد مطالعه مناسب‌ترین روش تصمیم‌گیری، روش ELECTRE III به دلیل حساسیت کمتر نسبت به تغییرات در رتبه‌بندی و سازگاری بیشتر این روش با معیارهای مورد استفاده در این مطالعه است. همچنین در تحلیل حساسیت حذف معیارها، در روش ELECTRE III، مدل نسبت به حذف معیار (B/C) بیشترین حساسیت و نسبت به معیارهای ارتفاع سد، اشتغال‌زایی و تمرکز جمعیت، کمترین حساسیت را نشان داده است. همچنین از بین مقادیر افزایشی و کاهش‌ی به طور متوسط، مدل نسبت به مقادیر کاهش‌ی تغییرات بیشتری نشان داده است. از بین ارزش‌های آستانه در نیز، ارزش آستانه وتو با ۳۷/۰۴ درصد بیشترین تغییرات حساس‌ترین پارامتر و ارزش آستانه بی‌تفاوتی با ۷/۴ درصد کمترین حساسیت را داشته و تغییرات ضریب  $\alpha$  حساسیت بیشتری را نسبت به ضریب  $\beta$  ایجاد می‌کند.

### سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از شرکت آب منطقه‌ای استان و سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری و همچنین کارشناسان مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

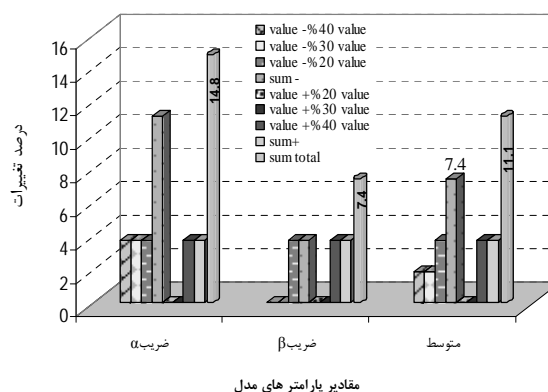
### منابع

- اصغرپور م. ۱۳۸۷. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۹۹ ص.
- لقب‌دوست آرانی ا. ۱۳۸۹. اولویت‌بندی بهینه رهیافت‌های مدیریت سیلاب با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند



شکل 8- درصد تغییرات پروژه‌ها در تغییر ارزش‌های آستانه

همچنین از بین پروژه‌های مورد مطالعه سد مرغملک و خوربه بیشترین تغییرات و سدهای بیدکل، ونک و امام قیس نیز تغییری در رتبه‌بندی از خود نشان ندادند. همچنین با توجه به نمودار مشاهده می‌شود در تحلیل حساسیت پارامترهای مدل، به طور متوسط مقادیر کاهش‌ی تغییرات بیشتری (۷/۴ درصد) را در رتبه‌بندی ایجاد کرده‌اند. این امر در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود.



شکل 9- درصد تغییرات در پارامترهای مدل



6. Hwang C. and Yoon K. 1995. Multiple Attribute Decision Making An Introduction. London, Sage Publication. 75 p.
  7. Rajo A. and Kumar N. 2004. Ranking multi criteria river basin planning alternatives using fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*. 100(5):89-99.
  8. Saaty T. L. 2000. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*, 2nd ed, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
  9. Zahraie B. Fooladgar M. Shanehsaz A. and Roozbahani A. 2008. Framework of a decision support system for basin-scale sustainable supply and demand management. *Proceedings of Water Resources Congress*. 12-16 May, Hawaii.
  10. Zeleny M. 1978. APL Auto poiesis: Experiments in selforganization of complexity. *Progress in Cybernetics and Systems Research*. 3:65-84.
- معیاره (مطالعه موردی: گرگانرود). پایان نامه کارشناسی ارشد، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران. ۱۱۰ ص.
  ۳. ملک محمدی ب. زهرایی ب. و کراچیان ر. ۱۳۸۷. رتبه بندی جواب های مدل بهینه سازی چند هدفه بهره برداری از مخازن با روش Electre III. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. دانشگاه تبریز. ۲۰۱-۲۰۹.
  ۴. منصوری خسروی ف. جباری ا. و علیمحمدی س. ۱۳۸۴. رتبه بندی بهینه طرح های فاضلاب با استفاده از مدل های برنامه ریزی چند معیاره. هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس. ۹ ص.
  5. Bella A. Duckstein L. and Szidarovsky F. 1996. A Multicriterion Analysis Of the water allocation conflict in the upper Rio Grande basin. *Applied Mathematics and Computation*. 77:245-26.

