



## بهینه سازی مسیر خطوط انتقال نفت با بکارگیری پارامترهای مکانی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در GIS

شهرام محمدی\*، علی اکبر متکان، سید حسین پورعلی، بابک میر باقری و پروین احمدپور

گروه سنجش از دور و GIS، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۰

محمدی، ش.، متکان، ع.ا.، پورعلی، س.ح.، میر باقری، ب. و پ. احمدپور. ۱۳۹۶. بهینه سازی مسیر خطوط انتقال نفت با بکارگیری پارامترهای مکانی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در GIS. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۲): ۱۶۴-۱۴۳.

**سابقه و هدف:** با توجه به وسعت و فواصل زیاد بین قطب‌های تولید و مصرف در کشور، توسعه زیرساخت‌های خطی به عنوان ضرورتی حیاتی مطرح می‌باشد. از آنجایی که در مسئله مسیریابی عوامل و معیارهای متعددی درگیر بوده که اغلب با یکدیگر ناسازگار بوده و برای گروه‌های تصمیم‌گیری در این زمینه مشکلاتی ایجاد می‌کنند و اغلب فرآیند مسیریابی را به تأخیر می‌اندازند، به همین خاطر بهره‌گیری از روش‌های نوین نظیر سامانه اطلاعات مکانی برای بهینه‌سازی فرآیند مسیریابی خطوط انتقال نفت می‌تواند منجر به حل بسیاری از مسائل پیچیده‌ای بشود که در تصمیم‌گیری با آن مواجه هستند.

**مواد و روش‌ها:** هدف از این پژوهش بهینه‌سازی مسیر خطوط انتقال نفت از چاه حفاری شده به پالایشگاه با استفاده از سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن ریسک پذیری و ریسک‌گریزی می‌باشد. ابتدا مهمترین معیارهای مکانی نظیر، زمین‌شناسی، پوشش کاربری، شیب طولی، مدل رقومی ارتفاع، معدن، گسل، رودخانه و آبراهه که در استخراج مسیر بهینه و هزینه احداث و اثرات متقابل آن با محیط اطراف موثر هستند، جمع‌آوری و با استفاده از توابع خطی وزنی کاهش و افزایشی استاندارد سازی و آماده سازی شدند. سپس برای وزندهی به پارامترهای مورد نظر از روش تحلیل سلسله‌مراتبی که یکی از روش‌های دانش بنیان می‌باشد، استفاده شد. جهت تلفیق پارامترهای مکانی از عملگرهای روش میانگین مرتب شده وزنی و برای یافتن مسیر بهینه بین موقعیت چاه و پالایشگاه، از الگوریتم دایجسترا استفاده شد.

**نتایج و بحث:** نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با افزایش مقدار  $\alpha$ ، مقدار هزینه، متوسط شیب و ارتفاع مسیر عبوری نفت افزایش می‌باشد. در سناریوهای با مقادیر کمتر از  $\alpha < 1$  ارزش بیشتر به پیکسل‌های دارای مقدار عددی بالا داده می‌شود. عبارت دیگر با افزایش مقدار  $\alpha$  و کاهش درجه خوش‌بینی، وزن‌های ترتیبی کوچکتر و کوچک‌تری به ارزش‌های بالای معیارها اختصاص پیدا می‌کند. در حالی که وزن‌های ترتیبی بزرگتر به مقادیر دارای ارزش عددی پایین در همان موقعیت اختصاص داده می‌شود. به همین خاطر مقدار طول مسیر از سناریو All (AND) به سمت سناریو At least one (OR) کاهش می‌یابد. به این دلیل که الگوریتم دایجسترا یک الگوریتم تک هدفه بوده و هدف آن استخراج مسیر با کمترین هزینه می‌باشد. زیرا در هر گام حرکت پیکسلی که دارای کمترین هزینه تجمعی باشد را به عنوان جهت حرکت انتخاب می‌کند و مقدار طول مسیر را در نظر نمی‌گیرد که همین مورد یکی از مهم‌ترین عیوب الگوریتم می‌باشد.

\* Corresponding Author. E-mail Address: a-matkan@sbu.ac.ir

**نتیجه گیری:** با مقایسه بین مسیر موجود و مسیرهای بدست آمده از الگوریتم دایجسترا در سناریوهای متفاوت بر اساس چهار فاکتور طول، هزینه، متوسط شیب و متوسط ارتفاع مسیر استخراج شده در سناریوهای Almost All ، Most و Half (WLC) از نظر کلیه فاکتورها و معیارهای فنی- اقتصادی و زیست محیطی در شرایط بسیار مناسب تری قرار دارند. سناریوهای دیگر در برخی از فاکتورها نتایج بهتری نسبت به مسیر موجود ایجاد کرده اند. با ارائه نتایج گوناگون با سطح ریسک و جبران پذیری این روش از انعطاف پذیری بالایی در برآورد ساختن نیازها و اولویت تصمیم گیران در حوزه صنعت نفت برای طراحی بهینه خطوط انتقال برخوردار است.

**واژه های کلیدی:** مسیریابی، سیستم اطلاعات مکانی، الگوریتم دایجسترا، تحلیل سلسله مراتبی، میانگین مرتب شده وزنی.

## مقدمه

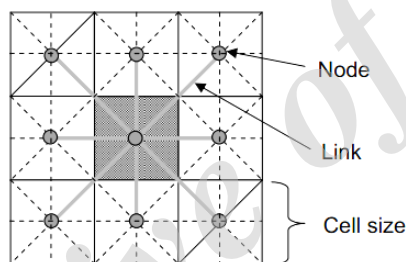
در مدل داده های رستری GIS، یک شبکه ی مجازی<sup>۳</sup> می تواند ساخته شود که در آن مرکز هر سلول رستر به عنوان گره و ارتباط بین همسایگی مراکز سلول ها به عنوان لینک در شبکه عمل می کنند (Albert, Yu, et al., 2003; Saha, 2005; Li, 2009; Eldrandaly, et al., 2015) (شکل ۱).

پردازش ها و تجزیه و تحلیل های تصمیم گیری چند معیاره در GIS را می توان به منزله فرآیندی که داده های مکانی (نقشه ها) و مقادیر ارزیابی ها (اولویت و معیارهای تحلیل گران) را با هم ترکیب می کند، در نظر گرفت (Malczewski, 1999 & 2006). به عبارت دیگر GIS-MCDA مدلی مشخص برای بهینه سازی تصمیم گیری مکانی ارائه می دهد. (Kelman and Yager (1999) توسعه ای از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۴</sup> با عملگرهای میانگین مرتب شده ی وزنی<sup>۵</sup> را معرفی و پیشنهاد کردند که توانایی های AHP را می توان با ترکیب عملگرهای فازی OWA بهبود بخشید وجود همزمان AHP و OWA در یک مدل می تواند منجر به مهیا سازی ابزار تصمیم گیری قدرتمندتر برای ساختار دهی و حل مسائل مختلف بشود. (Malczewski and Boroushaki (2008) با توسعه یک ماژول از ترکیب روش های چند معیاری OWA و AHP، شرایطی را مهیا کردند که امکان استفاده از عبارات مفهومی فازی در فرآیند تصمیم گیری وجود داشته باشد. (Iqbal et al., (2006) به طراحی مسیر حداقل هزینه خط

خطوط انتقال نفت به عنوان یکی از زیرساخت های خطی، علاوه بر ابعاد فنی، به علت عملکرد خود در سطح ملی و منطقه ای و قرارگیری در یک پهنه ی گسترده، به تنظیم مجدد ساختار ارتباطات فضایی منطقه استقرار خود پرداخته و گستره بزرگی از ویژگی های فضایی منطقه را تحت تأثیر قرار می دهد. یکی از مسائل بهینه سازی مکانی در ارتباط با زیرساخت های خطی پیدا کردن مسیر بهینه می باشد. در ارتباط با مسئله پیدا کردن مسیر علاقمندان زیادی پژوهش های گسترده ای در ارتباط با مسیریابی بهینه برای تخلیه ی اضطراری، طراحی زیرساخت ها و آنالیز تقاضای سفر انجام داده اند (Kruusmaa, et al., 2003). پیدا کردن مسیری با حداقل هزینه یکی از کاربردهای بسیار مهم و اساسی در سیستم اطلاعات مکانی<sup>۱</sup> است (Yu, et al., 2003; Ahmadi, et al., 2008; Gonçalves, 2010; Bagli, et al., 2011; Umashankar., 2014; تابع آنالیز مسیر حداقل هزینه برای یافتن مسیری با کمترین هزینه بین نقطه ی مبدا و نقطه مقصد در GIS می باشد که پایه و اساس آن الگوریتم دایجسترا<sup>۱</sup> است (Yu, et al., 2003; Dean, 2011; Gonçalves, 2010). الگوریتم دایجسترا<sup>۲</sup> یکی از متداول ترین الگوریتم های مورد استفاده برای حل کردن مساله مسیریابی تک هدفه با حداقل هزینه بر روی یک سطح هزینه تجمعی یا شبکه ای از یال و گره می باشد (Dijkstra, 1959; Stahl, 2005; Saha, 2005; Antikainen, 2013). برای استفاده از این الگوریتم

هدف پژوهش حاضر بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۴</sup> AHP و OWA و کمیت سنجی فازی در مدل‌سازی مرحله به مرحله ابعاد مختلف تصمیم‌گیری مکانی برای تعیین مسیر بهینه خطوط انتقال نفت با استفاده از الگوریتم دایجسترا در GIS می‌باشد. جهت تلفیق لایه‌ها برای تولید لایه هزینه از روش‌های مختلف OWA برای اولین بار جهت یافتن مسیر بهینه خطوط انتقال نفت استخراج شده استفاده شده است. از آنجایی که تصمیم‌گیرندگان مختلف در این حوزه همیشه اولویت‌های آنها برای انتخاب مسیر در شرایط عادی و بحرانی یکسان نمی‌باشد به همین دلیل سعی بر آن شد که مدلی در این پژوهش ارائه شود که به مدیران و کارشناسان در تصمیم‌گیری کمک کند.

گاز با روش ترکیبی سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی<sup>۶</sup> اقدام نمودند و به این نتایج رسیدند که GIS تعداد زیاد و گوناگونی از توابع تحلیلی که قادر به جایگزینی روش‌های دستی و سنتی در طراحی مسیر هستند را فراهم می‌کند. Mohammadi *et al.*, (2011) با استفاده از تلفیق Fuzzy-AHP و آنالیز نسبی خاکستری<sup>۷</sup> به مسیریابی بهینه‌ی خطوط لوله‌ی گاز پرداختند. توابع هدف اصلی این پژوهش شامل فنی و مهندسی، زیست محیطی و اقتصادی بودند. اهمیت و امتیاز هر کدام از معیارها و زیر معیارها توسط روش FAHP به دست آمد و سپس مسیرها توسط GRA طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که بهترین مسیر الزاماً کوتاه‌ترین مسیر نیست.



شکل ۱- رابطه بین یال و گره در مدل داده رستری

Fig. 1- Relationship between Node and Link in Raster Data Model



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 2- Case Study

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در این تحقیق

Table 1. Data of Using in This Research

تهیه شده از Prepared from	مقیاس Scale	داده Data
تصاویر ماهواره با قدرت تفکیک بالا	1.5000	نقشه کاربری اراضی land cover
اداره زمین‌شناسی استان خوزستان	1.50000	زمین‌شناسی، گسل و معدن Geology, Fault, Main
شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و نرم‌افزار Google Earth	1.5000	خطوط انتقال نفت Oil Pipelines
نقشه‌های توپوگرافی 1:25000	1.25000	خطوط انتقال برق Electrical Line
اداره محیط‌زیست استان خوزستان	1.100000	منطقه حفاظت شده Protected area
نقشه‌های توپوگرافی	10*10	نقشه شیب و ارتفاع Dem and Slope Map
نقشه‌های توپوگرافی	1.25000	رودخانه و آبراهه River and Stream
نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای	1.25000	راه‌های اصلی و فرعی Main and Secondary roads

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین شهرستان‌های مسجدسلیمان و شوشتر واقع در استان خوزستان می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه ۵۹۲/۹۱۹ و حداقل آن ۱۷/۹۶۵۷ و دارای متوسط شیب ۲۲/۵۶ می‌باشد. نقطه مبدا چاهی است در شهرستان مسجدسلیمان و نقطه مقصد واحد بهره‌برداری هفتکل ۴ می‌باشد. (شکل ۱).

### داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر با توجه به ادبیات تحقیق در زمینه‌ی مسیریابی بهینه عوارض خطی، نظرات کارشناسان این حوزه، هزینه احداث و اثرات متقابل خطوط نفت با محیط اطراف و خصوصیات منطقه مورد مطالعه، پارامترهای موثر زیر در نظر گرفته شدند.

### روش تحقیق و مراحل آن

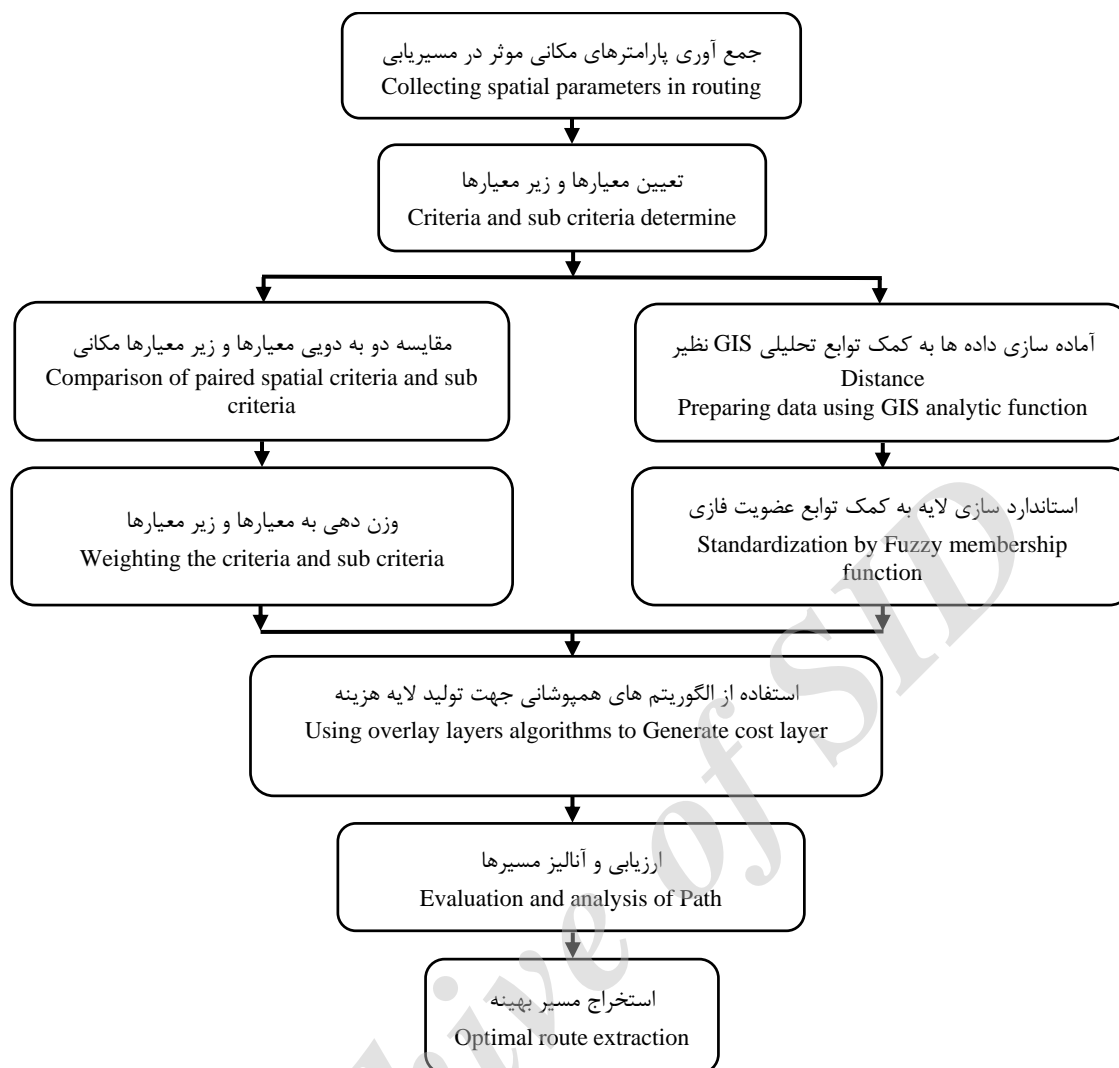
مراحل کلی تعیین مسیر بهینه در مدل داده رستری توسط الگوریتم دایجسترا در GIS را می‌توان به صورت شکل ۲ نمایش داد.

## تعیین معیارها و زیر معیارها

با توجه به نظرات کارشناسان و مهمتر از آن در دسترس بودن اطلاعات از معیارهای مورد نظر، دو معیار فنی و اقتصادی و زیست محیطی به منظور مشخص کردن مسیر بهینه در نظر گرفته شده است.

### معیار فنی - اقتصادی

معیار اول مربوط به عوامل فنی - اقتصادی مسیر طراحی شده هست. برای تعیین این معیار لازم است حتی‌الامکان به عواملی که از نظر فنی - اقتصادی برای طراحی مسیر موثر هستند، توجه شود. پس از مشاوره با افراد خبره اغلب مواردی که باعث رعایت کردن نکات فنی - اقتصادی می‌شوند (با توجه به منطقه‌ی مورد مطالعه این تحقیق) شامل حداکثر ارتفاع مجاز برای طراحی مسیر، حداکثر شیب مجاز، حتی‌الامکان اجتناب عبور مسیر طراحی شده از سازند های با مقاومت پایین، عدم امکان عبور مسیر از معادن موجود در منطقه، رعایت حداکثر فاصله نسبت به گسل‌های موجود در منطقه، عدم تلاقی مسیر طراحی شده با رودخانه‌ها و فاصله از راه‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه برای دسترسی مناسب به خط انتقال هستند (جدول ۲).



شکل ۳- فلوجارت تعیین مسیر بهینه در GIS  
 Fig. 3- Flowchart to determine optimal route in GIS

جدول ۲- زیر معیارهای فنی - اقتصادی

Table 2. Under criteria the technical-economic

زیر معیار Sub criteria								معیار Criteria	
کاربری اراضی Land cover	معادن Mine	رودخانه River	گسل Fault	راه فرعی S-road	راه اصلی M-road	سازند Geology	ارتفاع Height	شیب Slope	فنی - اقتصادی Technical-Economic

جدول ۳- زیر معیارهای زیست محیطی

Table 3. Under criteria the Environmental

زیر معیار Sub criteria				معیار Criteria
آبراهه Stream	رودخانه River	کاربری اراضی Land cover	مناطق حفاظت شده Protected area	زیست محیطی Environmental

جدول ۴- مقیاس نه کمیته مورد استفاده در مقایسه‌های زوجی

Table 4. Numerical scale used in paired comparisons

مقدار عددی Numerical value	ترجیحات (قضاوت شفاهی) Preferences
9	کاملاً مرجع (Extremely Preferred)
7	مطلوبیت خیلی قوی (Very Strongly Preferred)
5	مطلوبیت قوی (Strongly Preferred)
3	کمی مطلوب تر (Moderately Preferred)
1	مطلوبیت یکسان (Equally Preferred)
8, 6, 4, 2	ترجیحات بین فواصل مذکور

### معیار زیست‌محیطی

اختصاص داده شده برای تعیین رتبه‌بندی عوامل مربوط که همان مرحله وزن دهی است، ترکیب و تلفیق می‌شوند.

البته مقادیر مربوط به مقایسه دو به دو باید کاملاً کارشناسی شده تعیین شوند و مقادیر اختیاری در نظر گرفته نشوند. اما متناقض بودن سلیقه‌ها و اولویت افراد مختلف باعث آشفتگی و انحراف در محاسبات می‌شود به همین دلیل، (Saaty 1980) یک اندکس عددی منحصر به فردی برای بررسی استحکام ماتریس مقایسه دوجه دو مهیا کرد و نسبت  $CR$  به عنوان نسبت اندکس استحکام ( $CI$ ) بر اندکس میانگین ( $RI$ ) براساس رابطه (۱) تعریف شده است:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

Saaty (1980) مقدار اندکس میانگین استحکام  $RI$  را که برخی از مولفان به آن اندکس تصادفی نیز می‌گویند (Wagner, 2002)، به عنوان میانگین استحکام ماتریس‌های مربعی از مرتبه‌های مختلف که با مقادیر کاملاً تصادفی مقداردهی شده بودند، محاسبه کرد. بنابراین مقادیر استحکام این ماتریس‌ها از پیش تعیین شده‌اند. مقدار اندکس استحکام مستقیم از ماتریس اولویت‌بندی شده و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه خواهد شد. رابطه (۲):

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (2)$$

که در آن  $\lambda_{max}$  بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس

معیار دوم مربوط به استخراج مسیر بهینه با در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی بوده که هدف از در نظر گرفتن این معیار کمینه کردن تأثیرات زیست‌محیطی می‌باشد.

### فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

تکنیک‌های تجزیه و تحلیل چند معیاره، ابزارهای شناخته شده پشتیبان تصمیم‌گیری هستند که در ارتباط با تصمیم‌گیری در مسائل پیچیده، استفاده می‌شوند. برای بهینه‌سازی مسائل مختلف مکانی، این تکنیک‌ها به دفعات با GIS ترکیب شده‌اند. روش‌های بسیار برای به دست آوردن وزن‌های معیار، که همان اولویت تصمیم‌گیرنده در ارتباط با معیارهای ارزیابی هستند، وجود دارد (Malczewski, 1999 & Malczewski and Rinner 2010). وزن دهی معیارها در واقع همان تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های تأثیرگذار در یک فرآیند تصمیم‌گیری است که می‌تواند به شیوه‌های مختلفی صورت بپذیرد. AHP به عنوان روش تصمیم‌گیری چند معیاره، از مقایسه دوجه دوی معیارها استفاده می‌کند تا به درجه‌بندی اولویت‌های مربوط به گزینه‌های مختلف برسد (Saaty & Vargas, 1991). با تحقیقاتی که توسط (Saaty & Vargas, 1991) و Saaty و Vargas انجام گرفت، یک دامنه برای مقایسه معیارها پیشنهاد شد که شامل مقادیر عددی ۱ تا ۹ می‌شود (جدول ۳). در مرحله بعدی، مقادیر اولویت‌بندی

جهت تهیه نقشه‌های فازی مورد بررسی قرار گرفته و تابع مناسب برای معیار مورد نظر انتخاب شود. در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های استاندارد شده به دلیل ماهیت آن از تابع فازی Linear (کاهشی و افزایشی) استفاده شده است (شکل ۳). تابع فازی خطی به دو دسته تابع استانداردسازی در حالت صعودی رابطه (۳) و تابع استانداردسازی در حالت نزولی رابطه (۴) دسته‌بندی می‌شود.

$$Xstd = \frac{Max - X}{Max - Min} \quad (3)$$

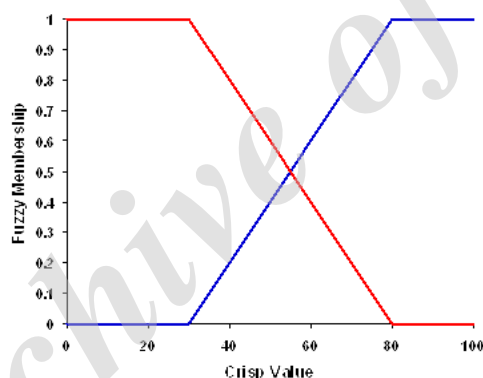
$$Xstd = \frac{X - Min}{Max - Min} \quad (4)$$

که در آنها Xstd مقدار معیار در حالت استاندارد و Max و Min به ترتیب مقدار بیشینه و کمینه معیار مورد نظر است.

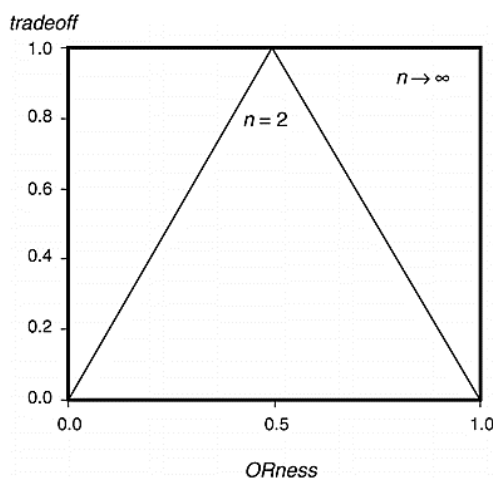
اولویت‌بندی و  $n$  مرتبه ماتریس هستند. طبق دانش و تجربیات عملی استفاده کردن‌های مختلف AHP، Saaty پیشنهاد نمود که اگر نسبت استحکام از مقدار "۰/۱" تجاوز کند، نیاز است که ماتریس مقایسه بازنگری شود.

## استانداردسازی

به طور کلی اگر بخواهیم لایه‌های مختلف نقشه‌های معیار را باهم ترکیب کنیم، مقیاس‌ها باید در تناسب با یکدیگر قرار داشته باشند بر اساس نوع اطلاعاتی که برای ایجاد نقشه‌ها موجودند، نقشه‌ای معیار را می‌توان در حالت‌های قطعی، احتمالاتی و فازی طبقه‌بندی کرد (Malczewski, J., 1999). در تمامی این روش‌ها هدف این است که مقادیر مربوط به پیکسل‌ها عددی در بازه (۰ و ۱) باشد. علاوه بر موارد ذکر شده نوع تابع فازی هم باید



شکل ۴- تابع عضویت فازی خطی  
Fig. 4- Fuzzy Membership Linear



شکل ۵- استراتژی فضای تصمیم‌گیری در روش OWA: رابطه بین ریسک‌پذیری و tradeoff  
Fig. 5- OWA decision-making strategy: the relationship between ORness and tradeoff

## روش OWA

تکنیک OWA به عنوان یکی از روش‌های ترکیب در مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مطرح بوده و بر مبنای مجموعه‌های فازی توسعه پیدا کرده است (Yager, 1988). استفاده از این روش محدود به مجموعه‌های فازی نبوده، و در آن مفهوم جدیدی برای توسعه قواعد تصمیم‌گیری بولین (کلاسیک) و ترکیب خطی وزن دار فراهم آمده است (Malczewski et al., 2003). این مفهوم جدید شامل وزن‌های ترتیبی ( $V_j$ ) بوده، که متفاوت از وزن‌های معیار ( $W_j$ ) می‌باشند. وزن‌های معیار به معیارهای مورد استفاده اختصاص پیدا کرده در حالیکه وزن‌های ترتیبی به ارزش‌های معیارها به صورت پیکسل به پیکسل اختصاص پیدا می‌کنند. در تصمیم‌گیری‌های فضایی با تعیین و اعمال مجموعه مناسبی از وزن‌های ترتیبی، می‌توان دامنه وسیعی از نتایج (نقشه‌ها) را بدست آورد. بعبارت دیگر با ارائه نتایج گوناگون با سطح ریسک و جبران پذیری متفاوت، این روش از انعطاف‌پذیری بالایی در برآورد ساختن نیازها و اولویت‌های تصمیم‌گیران برخوردار است (شکل ۴).

عملگر OWA به صورت زیر تعریف می‌شود (Yager, 1988, Malczewski et al., 2003).

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left( \frac{W_j V_j}{\sum_{j=1}^n W_j V_j} \right) Z_{ij} \quad (5)$$

که در آن  $Z_{i1} \geq Z_{i2} \geq \dots \geq Z_{in}$  با مرتب کردن ارزش‌های یک معیار ( $X_{ij}$ ) بدست می‌آید.  $V_j$  وزن ترتیبی و  $W_j$  وزن معیار است. که بر اساس ترتیب  $Z_{ij}$  بدست می‌آید (Malczewski J., 2006).

## مؤلفه‌های اصلی OWA

عملگر OWA می‌توان در بازه پیوسته‌ای که از کمیت سنج "All" تا کمیت سنج "At least one" حاصل می‌شود، قرار بگیرد. برای شناسایی محل

عملگر OWA در این بازه می‌توان از دو مؤلفه ۱- درجه ORness یا ریسک‌پذیری ۲- Tradeoff یا جبران پذیری استفاده کرد (Yager, 1999). درجه ORness یا ریسک‌پذیری، موقعیت عملگر OWA را در بین روابط And (مینیمم) و Or (ماکزیمم) نشان می‌دهد (Carlsson, 1997). و با استفاده از آن می‌توان OWA را مورد بررسی قرار داد (Yager, 1988).

(۶)

$$ORness = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i) \cdot V_i, 0 \leq ORness \leq 1$$

که در آن  $V_i$ ، وزن ترتیبی معیار  $i$  و  $n$  تعداد معیار است.

هر چقدر مقدار ORness بیشتر باشد، میزان خوش بینی و یا ریسک‌پذیری تصمیم‌گیری بیشتر خواهد بود و هر چقدر مقدار ORness کمتر باشد، میزان بدبینی و یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیری بیشتر خواهد بود. لازم به ذکر است که هر چه الگوریتم OWA به عملگر "OR" یا "MAX" نزدیکتر باشد، مقدار ORness به یک نزدیکتر است. در حالیکه هر چقدر به عملگر "AND" یا عملگر "MIN" نزدیکتر باشد مقدار ORness به صفر نزدیکتر است. یک معیار سنجش دیگر از ORness به صورت  $ANDness = 1 - ORness$  تعریف شده است.

مشخصه دوم عملگر OWA، برای اندازه‌گیری میزان جبران‌کنندگی معیارها استفاده می‌شود و نشان‌دهنده میزان جبران شونده معیار ناکارآمد با سایر معیارهای در نظر گرفته شده است. اندازه Tradeoff مقداری بین صفر و یک است که "صفر" مبین عدم وجود جبران‌کنندگی میان معیارها و "یک" نشان‌دهنده یجبران‌کنندگی کامل است. این مقدار را می‌توان به عنوان اندازه‌ی از میزان پراکندگی وزن‌های OWA تفسیر کرد (Malczewski, 2006). درجه



وزن‌ها به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهند که معیارهای را که از نظر او در تصمیم‌گیری اهمیت بیشتری دارند؛ با همان وزن و اهمیت دخالت بدهد (Yager, 1988). با استفاده از کمیت سنج‌های فازی می‌توان به تولید وزن‌های ترتیبی پرداخت. همان طور که اشاره شد این وزن‌ها بر اساس کمیت سنج RIM هستند و آن‌ها را می‌توان بر اساس رابطه (۸) تعریف کرد (Malczewski, 2006). رابطه (۸):

$$V_j = \left( \frac{\sum_{k=1}^j u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha - \left( \frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha$$

توجه به این نکته ضروری است که در ارزیابی چند معیاره در GIS، وزن معیارها معمولاً دارای این خصوصیت هستند که مجموع وزن آن‌ها برابر یک است ( $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ). در نتیجه  $\sum_{j=1}^n u_j = 1$  و معادله (۹) به شکل زیر ساده می‌شود:

$$V_j = \left( \sum_{k=1}^j u_k \right)^\alpha - \left( \sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^\alpha$$

بنابراین وزن‌های ترتیبی  $V_j$ ، از وزن‌های معیار  $w_j$  حاصل می‌شوند. که وزن‌های معیار به معیار مورد استفاده اختصاص پیدا کرده در حالیکه وزن‌های ترتیبی به ارزش‌های معیارها به صورت پیکسل به پیکسل اختصاص پیدا می‌کند.

### تعیین مسیر بهینه

در این پژوهش از الگوریتم دایجسترا در GIS برای استخراج مسیر بهینه در فضای رستر استفاده شده است. در این روش از یک تابع جستجو استفاده شده است که این تابع بر اساس یک قاعده ویژه مرحله به مرحله عملیات جستجو مستقیم را انجام می‌دهد. برای تعیین مسیر بهینه، تابع جستجو به طریقه زیر عمل می‌کند. شروع از سلولی که موقعیت مبدا را روی سطح هزینه تجمعی نشان می‌دهد،

"جبران‌کنندگی" بصورت رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$\text{traddoff} = 1 - \frac{\sqrt{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( V_i - \frac{1}{n} \right)^2}}{\text{traddoff} \leq 1} \quad (7) \quad 0 \leq$$

### مشخص کردن نوع کمیت سنج

کمیت سنج‌های فازی، امکان تبدیل عبارت‌های زبانی به عبارت‌های ریاضی را فراهم ساخته و بر اساس نوع عبارت به کمیت سنج‌های مطلق و نسبی تقسیم می‌گردند (Meng Y., 2011). این کمیت سنج‌ها به عنوان مجموعه‌های فازی در فاصله [0, 1] نمایش داده شده و برای اندازه‌گیری تناسب مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرند (رجبی و همکاران، ۱۳۹۰). نمی‌توان به طور دقیق بیان کرد که کدام یک از انواع کمیت سنج‌های مفهومی برای ارزیابی چند معیاره مناسب‌ترند (Malczewski J., 2006). بررسی‌های انجام شده روی عملگرهای OWA Fuzzy نشان داد که با تغییر میزان  $\alpha$  می‌توان نقشه‌های متنوعی به دست آورد و آرا و اولویت‌های بسیاری از کارشناسان را برآورد ساخت (Malczewski, 2006). بنابراین می‌توان  $\alpha$  را به گونه‌ای انتخاب کرد که برای انتخاب یک گزینه، فقط معیارهای دارای مقادیر بهتر تأثیر داده شوند که این حالت منجر به ریسک‌پذیری بالا (مقدار ORness بالاتر) و موازنه پایین تر بشود (طالعی، ۱۳۹۲). در این پژوهش کمیت سنج‌های نسبی از میان کمیت سنج‌های منظم افزایشی<sup>۸</sup> انتخاب شدند.

### محاسبه وزن ترتیبی

مجموعه دوم از وزن‌ها، مربوط به محاسبه یوزن‌های ترتیبی یا محلی هستند. وزن‌های ترتیبی شیوه ترکیب معیارهای وزن دار را کنترل کرده و به موقعیت مکانی سلول‌ها اختصاص پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر این

### نتایج و بحث

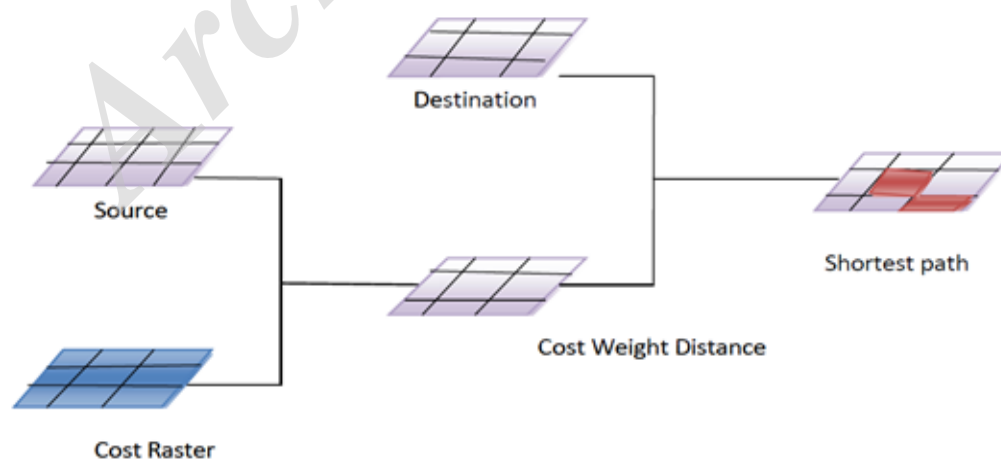
برای وزن دهی به معیارها و زیر معیارها در این روش با استفاده از نظرات کارشناسان متخصص در زمینه کاربرد مورد نظر و با در نظر گرفتن خصوصیات محدوده مطالعاتی مقایسه دو به دویی بین لایه ها از نظر هر کدام صورت گرفت (جدول ۶ تا ۸) و وزن مناسب برای هر لایه با استفاده از روش AHP در نرم افزار Expert Choice به دست آمد. نتیجه نهایی این مقایسات در جدول ۷ آمده است.

آغاز می شود و به سلول های همسایه با کوچک ترین هزینه تجمعی پیشروی صورت می گیرد. این عملیات تا زمانی که به نقطه مقصد برسد انجام می شود بدین نحو که بعد از تولید رستر هزینه تجمعی، مسیر بهینه از نقطه مبدا به طرف نقطه مقصد تعیین می گردد. در هر گام حرکت هزینه تجمعی همسایه اولی ها (هشت پیکسل مجاور) در نظر گرفته می شود و پیکسلی که دارای کم ترین هزینه تجمعی باشد به عنوان جهت حرکت انتخاب می گردد (Mohammadi, 2016).

جدول ۵- کمیت سنج های انتخاب شده به همراه خصوصیات آنها

Table 5. Selected quantifiers and their Properties

$\alpha$	Quantifier (Q) روش	ORness ریسک پذیری	ANDness ریسک گریزی	TRAD-off جبران پذیری	GIS combination procedure روش ترکیب لایه ها
$\alpha \rightarrow 0$	At least one	1	0	0	OWA(OR, MAX)
$\alpha = 0.5$	A few	a	a	a	OWA
$\alpha = 1$	Half (identity)	0.5	0.5	1	OWA(WLC)
$\alpha = 2$	Most	a	a	a	OWA
$\alpha = 10$	Almost all	a	a	a	OWA
$\alpha \rightarrow \infty$	All	0	1	0	OWA(AND, MIN)



شکل ۶- استخراج مسیر توسط الگوریتم حداقل هزینه

Fig.6- Route extraction by minimum cost Pat

جدول ۶- مقایسات دو به دو زیر معیارهای فنی - اقتصادی

Table 6. Comparison of paired Sub Criteria technical-economic

رودخانه River	زمین شناسی Geology	ارتفاع Height	معادن Main	کاربری اراضی Land Cover	شیب Slope	راه فرعی S-road	گسل Fault	راه اصلی M-road	زیر معیار Sub Criteria
3	3	2	4	3	2	3	3	1	راه اصلی M-road
1.2	1	1.2	1	1.2	1.2	1	1	1.3	گسل Fault
1.2	1.2	1.2	1	1.2	1.2	1	1	1.3	راه فرعی S-road
1	2	2	2	2	1	2	2	1.2	شیب Slope
1	2	1.2	2	1	1.2	2	2	1.3	کاربری اراضی Land Cover
1.2	1.2	1.2	1	1.2	1.2	1	1	1.4	معادن Main
1.2	1	1	2	2	1.2	2	2	1.2	ارتفاع Height
1.2	1	1	2	1.2	1.2	2	1	1.3	زمین شناسی Geology
1	2	2	2	1	1	2	2	1.3	رودخانه River

جدول ۷- مقایسات دو به دو زیر معیارهای زیست محیطی

Table 7. Comparison of paired sub criteria environmental

رودخانه River	مناطق حفاظت شده Protected area	آبراهه Stream	کاربری اراضی Land Cover	زیر معیار Sub Criteria
1	1.2	8	1	کاربری اراضی Land Cover
1.5	1.8	1	1.5	آبراهه Stream
1	1	8	2	مناطق حفاظت شده Protected area
3	1.3	5	1	رودخانه River

جدول ۸- مقایسات دو به دو معیارهای اصلی

Table 8. Comparisons of paired main criteria

زیست محیطی Environmental	فنی - اقتصادی technical-economic	معیار Criteria
1/2	1	فنی - اقتصادی technical-economic
2	2	زیست محیطی Environmental

معیارها را با استفاده از روش AHP در نرم افزار Expert Choice را نشان می دهد. با استفاده از توابع عضویت فازی خطی، که بر اساس حریم قانونی خطوط انتقال نفت برای هر کدام از لایه ها مکانی به صورت جداگانه تعریف و پیاده سازی شدند تا مقادیر مربوط به هر پیکسل در هر

میزان ضریب استحکام (CI) برای مقایسه دو به دو زیر معیارهای فنی - اقتصادی برابر ۰/۰۲ برای مقایسه دو به دو زیر معیارهای زیست محیطی برابر ۰/۰۱ و برای معیارهای اصلی برابر صفر بدست آمد که اعداد قابل قبولی هستند. جدول ۹ وزن بدست آمده برای معیارها و زیر

برای استانداردسازی دیگر زیر معیارها با توجه به مقررات حریم خطوط لوله نفت و گاز ایران و با توجه به نظرات کارشناسان حریم‌های موجود با توجه به جدول-۱۲ تعریف و توابع عضویت فازی خطی به صورت جداگانه برای هر کدام در نرم‌افزار Arc GIS پیاده‌سازی شدند. برای زیر معیارهای شیب و ارتفاع با توجه به خصوصیات منطقه مورد مطالعه، نظر کارشناسان و آئین نامه مربوط به حریم خطوط لوله نفت و گاز ایران حداکثر ارتفاع و شیب مناسب برای عبور مسیر بهینه به ترتیب ۳۵۰ متر و ۷ درصد در نظر گرفته شد. بدین صورت که هرچه مقدار ارتفاعی و شیب بیشتر از مقدار مورد نظر شوند هزینه عبور مسیر خط انتقال افزایش می‌یابد. بعد از استانداردسازی کلیه لایه‌ها باید به مراحل ترکیب آن و تولید لایه هزینه پرداخته شود.

لایه بین صفر تا یک قرار گیرد، هر چه ارزش یک سلول به یک نزدیک‌تر باشد در استخراج مسیر هزینه بالای را شامل می‌شود. از آنجایی که لایه زمین‌شناسی به صورت پیوسته (پلیگونی) می‌باشد با توجه به مقاومت و سختی سازند و نوع روش حفاری با توجه به آئین نامه و نظرات کارشناسان امتیازی بین صفر تا یک اختصاص داده شد (جدول ۱۰). برای استانداردسازی لایه کاربری اراضی هم از نظر فنی-اقتصادی و زیست‌محیطی به صورت جداگانه باید به هر کدام از سطوح، مقادیر گسسته نسبت داده شود. با توجه به آئین نامه، نظرات کارشناسان، تأثیرات زیست‌محیطی و هزینه احداث مسیر، امتیازی بین صفر تا یک اختصاص داده شد (جدول ۱۱).

جدول ۹- وزن بدست آمده برای معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش AHP  
Table 9. The weight obtained for the criteria and sub-criteria using the AHP method

وزن Weight	زیر معیار Sub Criteria	وزن Weight	معیار Criteria
0.248	راه اصلی M-road	0.333	فنی - اقتصادی Technical-economic
0.063	گسل Fault		
0.057	راه فرعی S-road		
0.145	شیب Slope		
0.104	کاربری اراضی Land cover		
0.057	معدن Main		
0.109	ارتفاع Height		
0.081	زمین شناسی Geology		
0.136	رودخانه River		
0.449	مناطق حفاظت شده Protected area	0.667	زیست محیطی Environmental
0.050	آبراهه Stream		
0.215	رودخانه River		
0.236	کاربری اراضی Land Cover		

جدول ۱۰- امتیاز داده شده به سازندها از نظر فنی - اقتصادی

Table 10. The points given to the formations are technically-economic

امتیاز از نظر فنی - اقتصادی Technical-economic weight	نام سازنده Formation name
0.8	میشان Mishan
1	آغاجاری Aghajari
0.85	لهبری Lahbari
0.45	بختیاری Bakhtiari
0.35	کواترنری Quaternary
0.25	گچساران Gachsaran

جدول ۱۱- امتیاز داده شده به کاربری اراضی از نظر زیست محیطی

Table 11. The points given to the formations are environmental

امتیاز از نظر زیست محیطی Environmental weight	امتیاز از نظر فنی - اقتصادی Technical-economic weight	نام کاربری Land cover name
0.9	0.8	کشاورزی Agriculture
1	1	مسکونی Residential
0.95	0.85	جنگل Forest
0.5	0.45	مراعات پر تراکم High-density pastures
0.4	0.35	مراعات متوسط Medium pastures
0.3	0.25	مراعات کم تراکم Low-density pastures
1	1	سد Dam

جدول ۱۲- حریم مورد استفاده برای استانداردسازی زیر معیارها

Table 12. The privacy used to standardize the sub criteria

معادن Main	گسل Fault	راه فرعی S-road	راه های اصلی M-road	رودخانه River	آبراهه Stream	ناحیه حفاظت شده Protected area	نام زیر معیار Name of sub criteria
100	100	7.5	20	100	5	150	حریم عارضه مور نظر (متر) Area privacy (Meter)

جدول ۱۳- بردار وزن های ترتیبی بدست آمده برای سطوح کنترل جبران پذیری و ریسک زیر معیارهای فنی - اقتصادی

Table 13. The vector of sequential weights for the compensating and control levels for the technical-economic sub criteria

$\alpha \rightarrow \infty$	$\alpha = 10$	$\alpha = 2$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.5$	$\alpha \rightarrow 0$
1	0.4439	0.1108	0.111	0.0290	0
0	0.2580	0.1043	0.111	0.0298	0
0	0.1555	0.1077	0.111	0.0341	0
0	0.0920	0.1246	0.111	0.0458	0
0	0.0394	0.1435	0.111	0.0626	0
0	0.0095	0.1272	0.111	0.0714	0
0	0.0016	0.1254	0.111	0.1004	0
0	0.0001	0.0929	0.111	0.1289	0
0	0	0.0614	0.111	0.4980	1

جدول ۱۴- مقادیر ORness, ANDness, و TRAD-OFF برای کمیت سنج‌های فازی مورد استفاده برای زیر معیارهای فنی - اقتصادی

Table 14. ORness, ANDness, and TRAD-OFF values for fuzzy quantizers used for the technical-economic sub criteria

$\alpha$	TRAD-OFF جبران پذیری	ANDness ریسک‌گریزی	ORness ریسک‌پذیری
$\alpha \rightarrow 0$	0	0	1
$\alpha = 0.5$	0	0.21	0.79
$\alpha = 1$	1	0.50	0.50
$\alpha = 2$	0.93	0.53	0.47
$\alpha = 10$	0.99	0.87	0.13
$\alpha \rightarrow \infty$	0	1	0

جدول ۱۵- بردار وزن‌های ترتیبی بدست آمده برای سطوح کنترل جبران پذیری و ریسک زیر معیارهای زیست‌محیطی

Table 15. The vector of sequential weights for the compensating and control levels for the Environmental sub criteria

$\alpha \rightarrow \infty$	$\alpha = 10$	$\alpha = 2$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.5$	$\alpha \rightarrow 0$
1	0.4013	0.0975	0.25	0.0253	0
0	0.5527	0.3623	0.25	0.1174	0
0	0.0451	0.2912	0.25	0.1509	0
0	0.0009	0.2490	0.25	0.7064	1

جدول ۱۶- مقادیر ORness, ANDness, و TRAD-OFF برای کمیت سنج‌های فازی مورد استفاده برای زیر معیارهای زیست‌محیطی

Table 16. ORness, ANDness, and TRAD-OFF values for fuzzy quantizers used for the Environmental sub criteria

$\alpha$	TRAD-OFF جبران پذیری	ANDness ریسک‌گریزی	ORness ریسک‌پذیری
$\alpha \rightarrow 0$	0	0	1
$\alpha = 0.5$	0	0.15	0.85
$\alpha = 1$	1	0.50	0.50
$\alpha = 2$	0.78	0.44	0.56
$\alpha = 10$	0.99	0.79	0.21
$\alpha \rightarrow \infty$	0	1	0

جدول ۱۷- بردار وزن‌های ترتیبی بدست آمده برای سطوح کنترل جبران پذیری و ریسک برای معیارهای اصلی

Table 17. The vector of sequential weights for the compensating and control levels for the main criteria

$\alpha \rightarrow \infty$	$\alpha = 10$	$\alpha = 2$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.5$	$\alpha \rightarrow 0$
1	0.9826	0.5551	0.5	0.1833	0
0	0.0174	0.4449	0.5	0.8167	1

جدول ۱۸- مقادیر ORness, ANDness, و TRAD-OFF برای کمیت سنج‌های فازی مورد استفاده برای معیارهای اصلی

Table 18. ORness, ANDness, and TRAD-OFF values for fuzzy quantizers used for the main criteria

$\alpha$	TRAD-OFF جبران پذیری	ANDness ریسک‌گریزی	ORness ریسک‌پذیری
$\alpha \rightarrow 0$	0	0	1
$\alpha = 0.5$	0.37	0.19	0.81
$\alpha = 1$	1	0.50	0.50
$\alpha = 2$	0.89	0.56	0.44
$\alpha = 10$	0.95	0.98	0.02
$\alpha \rightarrow \infty$	0	1	0

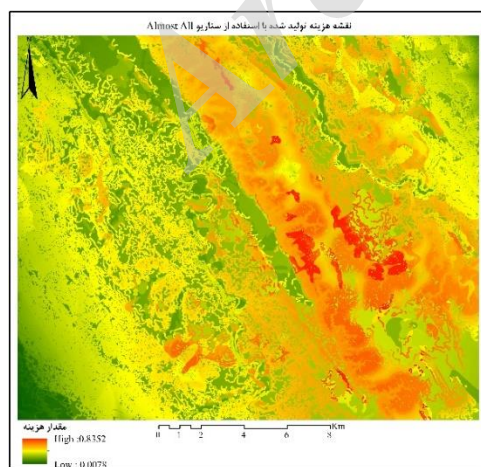
به سناریوهای در نظر گرفته شده در وزن‌های مربوطه ضرب و با هم تجمیع گردیدند. سپس خروجی بدست آمده از هر کدام از معیارها با توجه به سناریوی پیش (به عنوان مثال نقشه هزینه فنی - اقتصادی و زیست‌محیطی با سناریو AND) با هم ترکیب و نقشه هزینه ترکیبی در هر سناریو تولید شد (شکل-۶). خروجی لایه هزینه بین صفر تا یک یا صفر تا ۲۵۵ (در نرم‌افزار IDRISI) بدست می‌آید به این صورت که هر اندازه ارزش پیکسل (یا همان DN) به یک نزدیکتر باشد، برای طراحی مسیر هزینه بالای را شامل می‌شوند. شکل ۶ نمونه‌ای از نقشه‌های هزینه تولید شده برای یافتن مسیر انتقال نفت را نشان می‌دهد. لایه‌های هزینه تولید شده در مرحله قبل وارد GIS شده و پس از قرار دادن مقادیر آن‌ها بین صفر تا یک، الگوریتم دایجسترا به صورت جداگانه بر روی هر سناریو اجرا شد. نتایج حاصل از استخراج مسیرها در مقایسه با خط انتقال موجود، در جداول ۱۹ تا ۲۱ و شکل ۶ آمده است.

کمتر از حریم‌های تعریف شده برای هر کدام از زیر معیارهای مورد نظر عبور خطوط انتقال هزینه بالا داشته و هر چقدر فاصله بیشتر شود هزینه عبور کاهش می‌یابد. در این پژوهش با توجه به وزن‌های بدست آمده برای معیارها با استفاده از روش AHP (جدول-۹) و کمیت سنج‌های منتخب و با استفاده از رابطه ۸ اقدام به محاسبه وزن‌های ترتیبی گردید. با تغییر وزن‌های ترتیبی، OWA، نتایج اجتماع را بصورت پیوسته تولید می‌کند که در آن نقش تصمیم‌گیری در فضای یک مثلث تصمیم‌گیری بین عملگر AND (ریسک‌گریزی) و عملگر OR (ریسک‌پذیری) قرار می‌گیرند به گونه‌ای که با در نظر گرفتن این وزن‌ها این امکان فراهم می‌شود که میزان جبران‌پذیری عوامل و سطح ریسک‌پذیری مدل کنترل شود. در این مرحله با استفاده از تابع ترکیبی OWA لایه‌های مورد استفاده در دو سطح در نرم‌افزار IDRISI با هم ترکیب شدند. بدین صورت که ابتدا تمام لایه‌های مرتبط با معیارهای فنی - اقتصادی و زیست‌محیطی با توجه

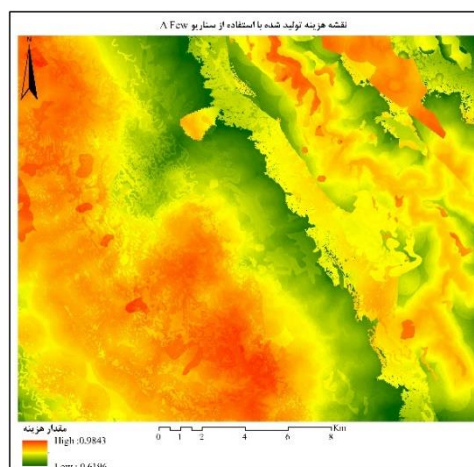
جدول ۱۹- مقایسه فاکتور طول، هزینه، متوسط شیب و متوسط ارتفاع در شش سناریو

Table 19. Comparison of factor length, cost, average slope and average height in six scenarios

متوسط ارتفاع (متر) Average Height (Meter)	متوسط شیب (درصد) Average Slope (Percent)	هزینه Cost	طول (متر) Length (Meter)	سناریو Scenario
236.20	6.94	196.36	43.79	All (AND)
237.87	9.96	486.40	28.35	Almost All
245.16	12.81	508.96	26.37	Most
251.44	16.87	846.35	26.6	Half (WLC)
261.66	20.54	1565.72	24.2	A Few
265.86	20.94	1836.31	24.04	At least one (OR)



ب

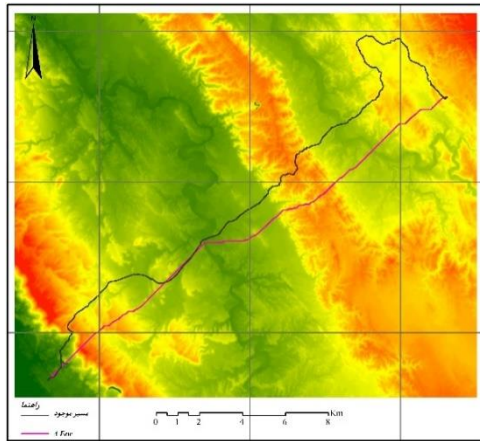


الف

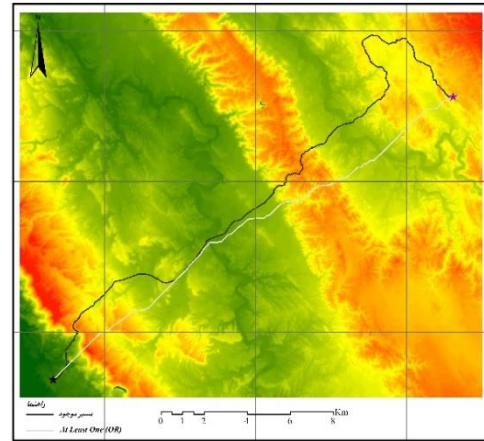
شکل ۷- دو نمونه از نقشه‌های هزینه بدست آمده با استفاده از مدل ترکیبی ارائه شده. الف) سناریو A Few ب) سناریو Almost All

Fig.7- Two examples of cost tables are presented using the combined model. A) A Few Scenario b) Almost All Scenario

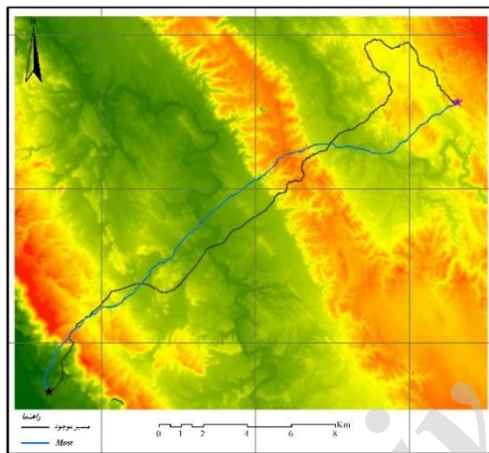




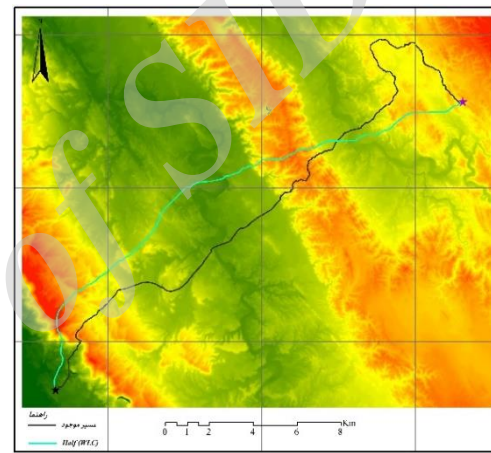
ب



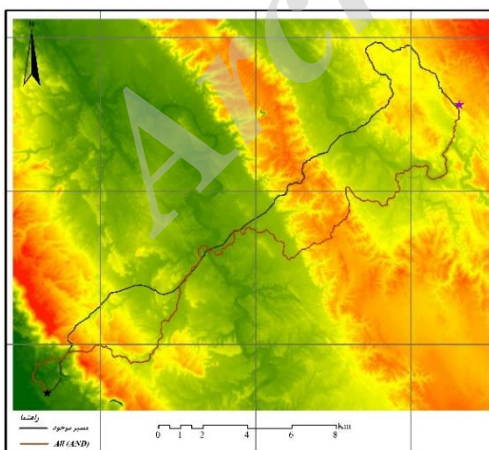
الف



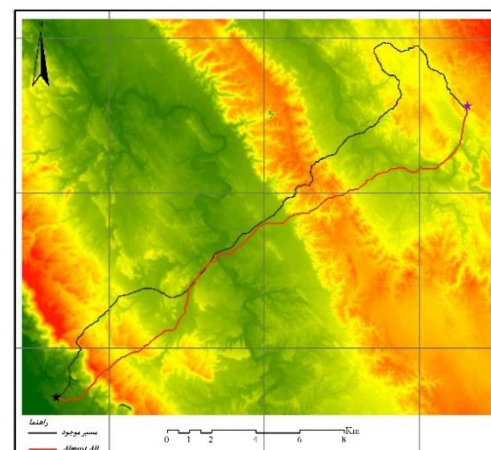
ج



د



ه



و

شکل ۸- مسیرهای استخراج شده توسط الگوریتم در سناریوهای مختلف. الف) At Least one (OR) ب) A Few

ج) Half (WLC) د) Most ه) Almost All و) All (And)

Fig. 8- The paths extracted by the algorithm in different scenarios. A) At Least one (OR) b) A Few c) Half (WLC) d) Most e) Almost All f) All (And)



جدول ۲۰- مقدار طول، متوسط شیب و متوسط ارتفاع برای مسیر موجود  
 Table 20. Length measure, Medium slope, Medium height for the existing route

متوسط ارتفاع (متر) Average Height (Meter)	متوسط شیب (درصد) Average Slope (Percent)	طول (متر) Length (Meter)	مسیر موجود Existing path
266.85	16.11	33.13	

جدول ۲۱- مقدار هزینه مسیر موجود در شش سناریو  
 Table 21. Route cost amount in six scenarios

OR	A Few	WLC	Most	Almost All	AND	سناریو Scenario
2755.91	2373.24	1235/4	1741.08	896.02	455.29	هزینه مسیر موجود Cost existing path

طول مسیر در سناریو AND بیشتر از دیگر سناریوهاست. دلیل آن این است که الگوریتم دایجسترا یک الگوریتم تک هدفه بوده و هدف آن استخراج مسیر با کمترین هزینه می‌باشد. زیرا در هر گام حرکت هزینه تجمعی همسایه اولی‌ها هشت پیکسل مجاور (معمولاً پیکسل‌های رو به جلو پیکسل مرکزی) در نظر گرفته می‌شود و پیکسلی که دارای کمترین هزینه تجمعی باشد به عنوان جهت حرکت انتخاب می‌گردد و مقدار طول مسیر را در نظر نمی‌گیرد که همین مورد یکی از مهم‌ترین عیوب الگوریتم می‌باشد. یعنی چند هدفه عمل نمی‌کند. در سنا ریوهای منطبق با کاهش مقدار  $\alpha$ ، چون ارزش بیشتر به پیکسل‌های که دارای مقدار عددی بالای می‌باشند؛ داده می‌شود به همین خاطر تعداد پیکسل‌های با ارزش عددی بالا زیاد شده به گونه‌ای که در سناریو At least one یا OR اکثر منطقه را فرا می‌گیرند (برای هر پیکسل در این سناریو بزرگترین عدد انتخاب می‌گردد) به همین دلیل الگوریتم خاصیت جستجوی خود را از دست می‌دهد زیرا پایه و اساس آن انتخاب پیکسل‌های با مقدار هزینه حداقل در میان پیکسل‌های همسایه می‌باشد، و هدف الگوریتم رسیدن به پیکسل مقصد می‌باشد، به همین خاطر مقدار طول مسیر از سناریو AND (All) به سمت سناریو At least one (OR) کاهش می‌یابد. همانطور که در (جدول-

بررسی نتایج بدست آمده نمایانگر افزایش مقدار هزینه، متوسط شیب و ارتفاع با افزایش مقدار  $\alpha$  می‌باشد. زیرا در سناریوهای با مقادیر کمتر از  $\alpha < 1$  ارزش بیشتر به پیکسل‌های دارای مقدار عددی بالا داده می‌شود (جدول- ۱۸). عبارت دیگر با افزایش مقدار  $\alpha$  و کاهش درجه خوش بینی، وزن‌های ترتیبی کوچکتر و کوچکتری به ارزش‌های بالای معیارها اختصاص پیدا می‌کند. در حالی که وزن‌های ترتیبی بزرگتر به مقادیر دارای ارزش عددی پایین در همان موقعیت اختصاص داده می‌شود. سناریو AND که برابر با کمیت سنج فازی همگی یا All می‌باشد، به عنوان بدبینانه ترین سناریو در زنجیره کمیت سنج‌های فازی مطرح می‌باشد. در این سناریو نتایج تصمیم‌گیری منجر به کمترین ریسک و جبران پذیری پایین می‌شود؛ در حالیکه بهترین مسیر را از نظر هزینه در بین پنج سناریوی دیگر استخراج می‌کند. زیرا در این سناریو ارزش بیشتر به پیکسل‌های با هزینه کمتر داده می‌شود که از نظر الگوریتم دایجسترا بیانگر پیکسل‌های مناسب برای استخراج مسیر هستند. به عبارت دیگر در این سناریو کمترین مقادیر و ارزش‌های معیارها در هر موقعیت انتخاب می‌گردد. که این عامل باعث شده است که بهترین مسیر از نظر هزینه مربوط به این سناریو باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد مقدار

فضای تصمیم‌گیری (شکل-۴) با تعیین و اعمال مجموعه مناسبی از وزن‌های ترتیبی، می‌توانسنا ریه‌های متعددی (نقشه‌ها) ایجاد کرد، که مزیت‌منحصر به فرد عملگر ترکیبی OWA است. به عبارت دیگر با ارائه نتایج گوناگون با سطح ریسک و جبران پذیری این روش از انعطاف‌پذیری بالایی در برآورد ساختن نیازها و اولویت تصمیم‌گیران برخوردار است. همچنین با ترکیب دو الگوریتم AHP و OWA ضمن ارائه نتایج بهتر، سبب می‌شود که انعطاف‌پذیری الگوریتم AHP بیشتر شود و سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری ایجاد گردد.

لازم به ذکر است که در بحث‌های مربوط به مکان‌یابی (به عنوان مثال مجتمع‌های مسکونی) مناطق مناسب جاهای هستند که مقدار پیکسل‌هایشان ارزش‌های بالا دارند به همین دلیل سناریو All در پژوهش‌های که به دنبال مناطق با ارزش پیکسل بالا هستیم جواب نامناسب‌تری را نسبت به سناریوهای دیگر ایجاد می‌کند. در حالی که در این پژوهش از نظر هزینه نتایج بهتری از آن بدست آمده است. پس بسته به کاربرد مورد نظر سناریوهای OWA جواب‌های متفاوتی را از لحاظ مناسب و نامناسب بودن تولید می‌کنند.

از آنجایی که الگوریتم دایجسترا فقط بر مبنای هزینه بوده و هم‌زمان در استخراج مسیر، توجهی به طول آن ندارد لذا پیشنهاد می‌گردد از الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر بهینه‌سازی کلونی مورچگان و ژنتیک در استخراج مسیر استفاده و پیاده‌سازی شود.

نتایج نشان داد که مدل برای مسیریابی خطوط انتقال نفت مناسب بوده و در صورت بهبود ضعف ذکر شده‌ی الگوریتم دایجسترا و استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در استخراج مسیر با صرف زمان و هزینه کمتر و با دقتی مناسب می‌توان جایگزین روش‌های سنتی شده و به عنوان یک سیستم تصمیم‌گیری مکانی مناسب برای طراحان مسیر باشد.

۲۰) ملاحظه می‌گردد، مسیر استخراج شده از الگوریتم در دو سناریو Most و WLC، نتایج بهتری از نظر طول و هزینه که دو فاکتور اصلی در طراحی مسیر خطوط انتقال نفت می‌باشند، در مقایسه با سناریوهای دیگر تولید کرده‌اند. بر اساس مقایسه بین مسیر موجود و مسیرهای بدست آمده از الگوریتم دایجسترا در سناریوهای متفاوت بر اساس چهار فاکتور طول، هزینه، متوسط شیب و متوسط ارتفاع (جدول ۱۹ تا ۲۱) مسیر استخراج شده در سناریوهای Almost All، Most و Half (WLC) از نظر کلیه فاکتورها در شرایط بسیار مناسب‌تری قرار دارند. سناریوهای دیگر در برخی از فاکتورها نتایج بهتری نسبت به مسیر موجود ایجاد کرده‌اند.

## نتیجه‌گیری

از آنجایی که برای مسیریابی اهداف و معیارهای مختلفی و بعضاً متناقضی در نظر گرفته می‌شود برآورده نمودن همه‌ی این اهداف و معیارها به طوریکه پاسخگوی تمامی نیازها باشد، کار بسیار پیچیده‌ای است. در این مقاله با استفاده از سه مدل تصمیم‌گیری AHP، OWA و کمیت سنجی مفهومی فازی به صورت مرحله به مرحله راهکارهای مناسبی برای رسیدن به تصمیم‌گیری مکانی جامع برای پشتیبانی از فرایند تعیین مسیر عبور خطوط انتقال نفت و دیگر زیرساخت‌های خطی پرداخته شده است. با بررسی‌هایی که صورت گرفت دو نوع معیار اصلی فنی و مهندسی و زیست‌محیطی در سطح اول تصمیم‌گیری انتخاب شد. با توجه به این معیارهای اصلی، ۱۳ لایه اطلاعاتی از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری و طبقه‌بندی شد. نتایج تحقیق نشان داده که:

تکنیک OWA به عنوان یکی از روش‌های ترکیب در مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مطرح بوده و بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی توسعه پیدا کرده است. این روش شامل مجموعه‌ای از وزن‌های ترتیبی بوده که متفاوت از وزن‌های معیار می‌باشند. در استراتژی

<sup>1</sup> Dijkstra<sup>2</sup> Geospatial Information System (GIS)<sup>3</sup> Virtual Network<sup>4</sup> Analytical Hierarchy Process (AHP)<sup>5</sup> Ordered Weighted Averaging (OWA)<sup>6</sup> Spatial Decision Support System<sup>7</sup> Gray Relative Analysis<sup>8</sup> Multi Criteria Decision making Analysis (MCDA)<sup>9</sup> Regular Increasing Monotone (RIM)

## منابع

Ahmadi, S., Ebadi, H., Zeoj, M. V., 2008. A new method for path finding of power transmission lines in geospatial information system using raster networks and minimum of mean algorithm. *World Applied Sciences Journal*, 3(2), 269-277.

Albert, P., 2004. Finding minimal cost paths in raster geographic information system map representations, genetic algorithms, simulated annealing and tabu search. Phd Thesis, Kent State University College of Business.

Antikainen, H., 2013. Using the Hierarchical Pathfinding A\* Algorithm in GIS to Find Paths through Rasters with Nonuniform Traversal Cost. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(4), 996.

Bagli, S., Geneletti, D. and Orsi, F., 2011. Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(3), 234-239.

Borouhaki, S., Malczewski, J. 2010. Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. *International Journal Computers & Geosciences* 36, 302-312.

Dean, D. J., 2011. Optimal routefinding with unlimited possible directions of movement. *Transactions in GIS*, 15(1), 87-107.

Dijkstra, E. W., 1959. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerischemathematik*,

1(1), 269-271.

Eldrandaly, K. A., Hassan, M. M., AbdelAziz, N.M., 2015. A Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Least-Cost Path Problem in Raster GIS. *Appl. Math*, 9(1), 147-154.

Gonçalves, A. B., 2010. An extension of GIS-based least-cost path modelling to the location of wide Paths. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(7), 983-996.

Iqbal, M., Sattar, F., and Nawaz, M., 2006. Planning a Least Cost Gas Pipeline Route A GIS & SDSS Integration Approach. Paper presented at the Advances in Space Technologies, International Conference Turkey.

Kruusmaa, M and Willemson, J. 2003. Covering the path space: a casebase analysis for mobile robot path planning. *Knowledge-Based Systems*, 16(5), 235-242.

Li, X., He, J. and Liu, X. 2009. Ant intelligence for solving optimal path-covering problems with multi-objectives. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(7), 839-857.

Malczewski, J., 1999. GIS and multicriteria decision analysis: John Wiley & Sons.

Malczewski, J., 2006a. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information*

Science 20 (7), 703–726.

Malczewski, J., and Rinner, C., 2010. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science: Springer.

Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D. and Healy, M.A., 2003. GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies. Environ. Plann. A 35 (10), 1769–1784.

Matkan, A. A., Pourali, S. H., Mirbagheri, B. and Mohammadi, Sh., 2015. Optimal Routing Using Intelligent Algorithms in GIS, The First National Conference of Fire and urban safety, Theran, Iran.

Meng Y., Malczewski J., and Boroushaki S., 2011. A GIS-based multicriteria decision analysis approach for mapping accessibility patterns of housing development sites: a case study in canmore, Alberta, Geo. Inf. Sys. 3: 50-61.

Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY, 437 pp.

Saaty, T.L. and L.G., Vargas. 1991. Prediction, Projection and Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251 pp.

Saha, A. K., 2005. GIS-based route planning in landslide-prone areas”, International Journal of Geographical Information Science, 19(10), 1149-1175.

Stahl, C. W., 2005. Accumulated surfaces & least-cost paths: GIS modeling for autonomous ground vehicle (AGV) navigation. Msc Thesis, aculty of the Virginia Polytechnic Institute and State

University, American.

Umashankar, S., 2014. Optimization on Shortest Path Finding For Underground Cable Transmission Lines Routing Using GIS. Journal of Theoretical & Applied Information Technology, 65(3), 2014.

Wagner, E.D. 2002. Public key infrastructure (PKI) and virtual private network (VPN) compared using a utility function and the analytic hierarchy process (AHP). M.Sc. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 50pp.

Yager, R. R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 18(1): 183-190.

Yager, R. R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 18(1): 183-190.

Yager, R.R. and Filev, D.P., 1999. Induced ordered weighted averaging operators. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part B 29, 141–150.

Yu, C., Lee, J., Munro-Stasiuk, M. J., 2003. Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning. International Journal of Geographical Information Science, 17(4), 361-375.





Environmental Sciences Vol.15 / No.2 / Summer 2017

141-162

## Oil pipeline route optimization using multi-criteria analysis in GIS

Shahram Mohammadi \*, Ali Akbar Matkan, Seyed Hossain Pourali, Babak Mirbagheri and Parvin Ahmadpour

Department of Remote Sensing and GIS, Remote Sensing and GIS Research Institute, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

Received: 2016.10.01

Accepted: 2017.05.23

Mohammadi, Sh., Matkan, A.A., Pourali, S.H., Mirbagheri, B. and Ahmadpour, P. 2017. Oil pipeline route optimization using multi-criteria analysis in GIS. *Environmental Sciences*. 15(2): 143-164.

**Introduction:** According to distribution requirements and the broad distance between production and consumption centres in Iran, linear infrastructure development plays an important role and should be considered as a vital necessity. Routing problems include many factors which are often incompatible with each other and incompatibility amongst parameters causes significant delays in the process of routing. Hence, it is of interest that use of the new utilities in Geographic Information Systems (GIS) to optimize the routing process can resolve the difficulties faced in decision-making steps.

**Materials and methods:** This study aims at optimizing oil pipeline routes from wells drilled to the refinery by using different scenarios and to consider is ORness and ANDness. In the beginning preparation stage all necessary spatial data Like, Geology, land cover, slope, Dem, Fault, Main, River, stream which are required to find the optimal route for establishment of oil transmission line have been collected than Standardization and Preparation by using reducing and Increasing linear weighting function. AHP process has been hired in order to find spatial weight of each parameter's effectiveness in terms of cost of establishment and oil line interaction with its surrounding environment. Ordered weighted average (OWA) method has been applied to integrate spatial data and achieve the result, cost layer. Dijkstra's algorithm has then been used to find the optimal route between the location of wells and refineries.

**Results and discussion:** The results show that with increase in the value of  $\alpha$ , the amount of cost, average slope and height of the oil transit route increase. In scenarios with  $\alpha < 1$ , higher values are given to high-value pixels. While higher order weights are assigned to values with a lower numerical value in the same position. Therefore, the length of the route from the All (AND) scenario to the At least one (OR) scenario decreases. Because the Dijkstra's algorithm is a single-objective algorithm and aims at extracting the path with the least

---

\* Corresponding Author. *E-mail Address:* gis.shahram@yahoo.com

cost. Because at every move, Choose a pixel with the lowest Accumulative cost as the direction of motion and do not pay attention to the length of the route.

**Conclusion:** By comparing the existing route and the paths obtained from the Dijkstra's algorithm in different scenarios based on the factors of length, cost, mean slope and height of the route extracted In Almost All, Most, and Half (WLC) scenarios, are better than the other options in terms of techno-economic and environmental conditions in study area. Other scenarios have produced better results than some of the existing ones in some of the factors. Providing Various Results, With ORness and tradeoff this method has great flexibility in estimating the needs and priority of decision makers in the field of petroleum industry to design optimal transmission lines.

**Keywords:** Routing, Geographic Information Systems (GIS), Dijkstra's algorithm, Analytical Hierarchy Process (AHP), Ordered Weighted Average (OWA)

Archive of SID