# ارائه روشی دانش‌پایه جهت وزن‌دهی درون لایه‌ای به منظور تعیین مسیر بهینه با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) (مطالعه موردی: محور ایلام– حمیل)

میثم رستمی[1]،
رامین کیامهر[2]، رامین بیات[3]

تاریخ دریافت مقاله: ۹٤/٤/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹٤/۸/۲۷

*********

**چکیده**

**لحاظ نمودن معیارهای صحیح و جامع در مرحله تعیین مسیر می‌تواند نقش عمده‌ای را در کاهش هزینه‌های اقتصادی، افزایش ایمنی و دسترسی جاده‌ها و حفظ محیط زیست ایفا نماید. بدین منظور در تحقیق حاضر، عوامل متعددی مانند مدل ارتفاعی زمین، پوشش اراضی، اطلاعات مراکز جمعیتی و گردشگری، میزان آفتاب‌گیر بودن مسیر در فصول سرد، نحوه توزیع رودخانه‌ها و خطوط گسل جهت مسیریابی بهینه در مسیر ایلام – حمیل در نظر گرفته شد. به منظور تعیین هزینه درون لایه‌ای یک روش دانش‌پایه پیشنهاد شده که بر اساس آن برای هر یک از لایه‌ها متناسب با ویژگی‌ها و نحوه تأثیر آن در تأمین هدف، یک تابع هزینه لحاظ شده است. مزیت اصلی این روش وزن‌دهی است که تغییرات هزینه در بازه‌های اطلاعاتی موجود در هر یک از لایه‌ها صرفاً خطی نبوده و ویژگی‌های آن لایه اطلاعاتی در تعریف تابع هزینه لحاظ شده است. در ادامه جهت وزن‌دهی بین لایه‌ای از مقایسه دوتایی و تحلیل AHP با استفاده از نظرات کارشناسان استفاده شده است. با تلفیق لایه‌ها به روش همپوشانی شاخص، کوتاهترین مسیر با تأمین کمترین هزینه با سه متغیر یا وریانت مختلف پیاده‌سازی گردید. در وریانت اول وزن‌دهی درون لایه‌ای بر اساس روش‌های رایج (به صورت خطی) لحاظ شده است. در وریانت دوم تنها از معیار شیب جهت تعیین مسیر استفاده شد. روش پیشنهادی وزن‌دهی دانش‌پایه نیز در وریانت سوم با در نظر گرفتن تمام معیارها اعمال گردید. بر اساس نتایج، در تعیین مسیر احداث شده به عواملی مانند فاصله از خطوط گسل و رودخانه‌ها، دسترسی به مراکز جمعیتی و گردشگری توجه کمتری شده و معیار اصلی در مسیریابی تنها توپوگرافی منطقه بوده است. همچنین طول مسیر در هر سه وریانت از طول مسیر احداث شده کمتر می‌باشد. به طور کلی مسیر حاصل از اعمال وزن‌دهی دانش‌پایه وضعیت مناسبتری را در تأمین معیارهای مختلف نسبت به مسیر احداث شده و همچنین دو وریانت دیگر دارد.**

**واژه‌های کلیدی: سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)، مسیریابی، وزن‌دهی دانش‌پایه، مسیر ایلام–حمیل**

*********

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران – راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان meisam_r100@yahoo.com
۲. عضو هیأت علمی دانشگاه زنجان ramin@znu.ac.ir
۳. کارشناس ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی،واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران Ramin.bayat67@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

## ۱- مقدمه

امروزه یافتن مسیر مناسب برای ایجاد یک راه ارتباطی در حوزه جغرافیایی معین، جزء مراحل مهم پروژه‌های راه‌سازی به شمار می‌رود. مسیر نهایی باید حتی‌الامکان همه شرایط و قیود مورد نیاز را برآورده سازد. از طرفی حساس بودن راه‌های ارتباطی از نظر امنیتی، اقتصادی و اجتماعی، اهمیت این موضوع را مضاعف نموده و توجه ویژه به مسیریابی صحیح و بهینه جهت احداث راه‌ها بسیار ضروری می‌باشد. اغلب مسیرهای طراحی شده با روش‌های معمول از تمامی ملاحظات و استانداردهای فنی-مهندسی، اقتصادی و زیست‌محیطی برخوردار نبوده و این امر منجر به افزایش هزینه‌های احداث مسیرهای ارتباطی شده و علاوه بر آن ممکن است با عبور از نواحی غیرمجاز، موجب تخریب محیط زیست شده و مشکلات زیست محیطی را ایجاد نمایند. در این راستا بهره‌گیری از اصول نوین و مبتنی بر سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)[1] می‌تواند نقش بسزایی را در حل مسأله مسیریابی ایفا نماید. در طراحی مسیر به وسیله GIS می‌توان عوامل مؤثری چون عوامل فنی- مهندسی، اقتصادی و زیست‌محیطی را مدلسازی کرده و با انجام تحلیل‌های مورد نیاز، مسیر بهینه را تعیین نمود.

Duran-Fernandez و Santos (2014) یک سامانه جامع مبتنی بر GIS برای تعیین کوتاهترین مسیر در سطح کشور مکزیک ارائه کرده‌اند. همچنین Dell'Acqua (2012) و Dell'Acqua و همکاران (2012) از تصمیم‌گیری چند معیاره جهت تعیین مسیر استفاده نمودند. Naghibi (2002) جهت تعیین مسیر بهینه خطوط لوله نفت و گاز (اهواز - مارون) از تحلیل‌های مکانی استفاده نموده و در نهایت نتیجه می‌گیرد که مسیر تعیین شده با GIS نسبت به مسیر احداث شده با روش‌های معمول، دارای ۲۹ درصد کاهش هزینه در احداث مسیر می‌باشد. Hejazi et al ، (2006) در خصوص طراحی مسیر بهینه امدادرسانی حمل و نقل جاده‌ای در محیط GIS بر مبنای نقاط حادثه‌خیز برای مسیر بندر امام خمینی- اهواز از قابلیت GIS بهره گرفته است.

*(EbrahimiPour et al. 2006)* در تحقیق خود از قابلیت‌های GIS برای مسیریابی خطوط لوله انتقال آب استفاده نمودند که ۲۰ درصد کاهش هزینه را نشان می‌دهد. Feldman (1995) ، خط لوله نفتی به طول ۷۰۰ کیلومتر را بر اساس تجزیه و تحلیل کمترین هزینه با استفاده از GIS و با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای طراحی نموده است. در تحقیقی دیگر، تحلیل مسیریابی در جنگل خیرودکنار نوشهر با توجه به معیارهایی چون شیب، ارتفاع، جهت جغرافیایی دامنه‌ها، وضعیت زهکشی بر اساس تیپ خاک، تیپ جنگل، حجم درختان، مشخصات و توان رویشگاه انجام شده است *(Hosseini, 2003) Safarpour (2001)* .

با در نظر گرفتن معیارهایی چون وضعیت توپوگرافی، زمین‌شناسی، تکتونیک، ترافیک، صرفه اقتصادی، نقاط اجباری درجه ۱ و درجه ۲، با کمک تحلیل‌های GIS اقدام به طراحی مسیر بین دو شهر لار و بریز در استان فارس نموده است. شیخ کاظمی (۱۳۷۹) با ترکیب هفت پارامتر احتمال خطر زلزله، فرسایش‌پذیری سنگ‌ها، فرسایش‌پذیری خاک‌ها، کاربری اراضی، منابع آب‌های زیرزمینی و مناطق نیازمند حفاظت، عمل مسیریابی را برای یک جاده روستایی در استان مرکزی انجام داد و به این نتیجه رسید که با استفاده از تحلیل‌های GIS می‌توان مسیر بهینه را طراحی نمود که این مسیر لزوماً کوتاه‌ترین مسیر نیست و همچنین از بین روش‌های وزن‌دهی بر اساس اولویت‌بندی بین پارامترها، روش مقایسه دو به دو نتایج بهتری به دست می‌دهد. مطالعه‌ای که Anavberokhai (2008) برای یافتن مسیر بهینه بین دو نقطه در نیجریه انجام داد، نتایج موفقیت آمیزی به همراه داشت. در این تحقیق نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی با روش بدون نظارت به پنج کلاس طبقه‌بندی شد و همچنین با استفاده از DEM[2] منطقه، نقشه شیب تهیه شد و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[3] وزن‌دهی صورت گرفت. Djenalieve در سال ۲۰۰۷ با در نظر گرفتن پارامترهای اجتماعی و اقتصادی

1-Geospatial Information System

2- Digital Elevation Model

3- Analytic Hierarchy Process

Archive of SID

www.SID.ir

و فنی برای به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی، برای یافتن مسیر بهینه راه‌آهن و نیز محل ایستگاه در قرقیزستان از GIS بهره گرفت. همچنین Jacobs and Voung در سال ۲۰۰۱ در طراحی مسیر مطمئن برای ترن‌های سریع‌السیر در ایالت مینه سوتای آمریکا به خوبی توانسته‌اند با بکارگیری GIS پارامترهای زیست محیطی را لحاظ نمایند. تحقیقات فراوان دیگری نیز در امر مسیریابی به کمک GIS انجام شده است که نتایج حاصله را از نظر اقتصادی و اجرایی مقرون به صرفه ارزیابی نموده‌اند *(Sahebzamani, 2002; Rezayi, 2001; Poker 1996)*.

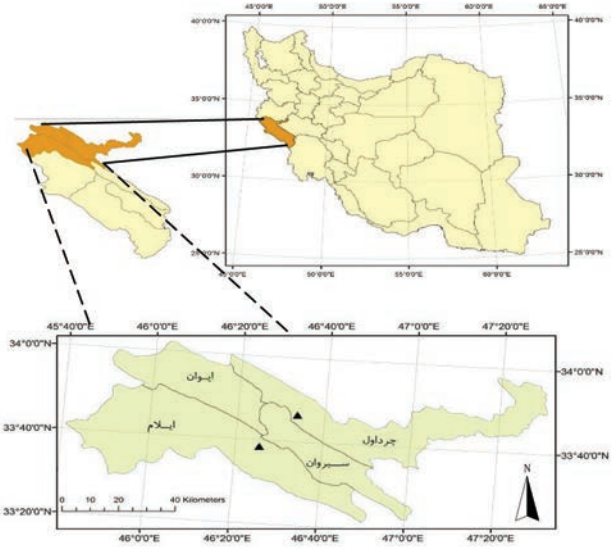
هر یک از پارامترهای مؤثر در مسیریابی بهینه باید در قالب یک لایه اطلاعاتی وارد تحلیل‌های GISی شود. یافتن میزان اهمیت و وزن لایه‌های مختلف و پیاده نمودن تأثیرات آن‌ها در قالب مدل مناسب از مراحل حائز اهمیت فرآیند مسیریابی می‌باشد. وزن لایه‌های اطلاعاتی را می‌توان در دو حالت درون لایه‌ای و بین لایه‌ای در نظر گرفت. در وزن درون لایه‌ای، بازه‌های (کلاس‌های) اطلاعاتی مختلف موجود در هر لایه نسبت به یکدیگر ارزشگذاری می‌شوند. اما در وزن‌دهی بین لایه‌ای ارزش نسبی لایه‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد. در روش‌های رایج، وزن درون‌لایه‌ای معمولاً بدون توجه به ماهیت لایه‌ها در نظر گرفته می‌شود. جهت رفع این مشکل، در این تحقیق یک روش دانش‌پایه جهت مدل‌سازی وزن درون لایه‌ای ارائه شده و با روش‌های رایج مقایسه می‌گردد. در ادامه، میزان اهمیت عوامل مختلف نسبت به یکدیگر (وزن بین لایه‌ای) به مدل مسیریابی معرفی می‌شود. بدین منظور از روش مقایسه دوتایی یا AHP *(Saaty, 1990)* استفاده شده است. پیاده‌سازی‌ها در سه وریانت مختلف صورت گرفته و با مسیر احداث شده مورد مقایسه قرار گرفته است.

در بخش بعد، منطقه مطالعاتی به همراه داده‌های مورد استفاده معرفی می‌شود. در ادامه، پارامترهای مختلف جهت تعیین مسیر بهینه شناسایی شده و لایه‌های اطلاعاتی متناظر جهت ورود به تحلیل‌های GIS آماده می‌گردند. سپس روش پیشنهادی دانش‌پایه جهت وزن‌دهی درون لایه‌ای ارائه شده و نحوه تعریف توابع هزینه برای پارامترهای مختلف بیان می‌گردد. در بخش سوم، نتایج حاصل از پیاده‌سازی تشریح شده و در نهایت در بخش چهارم، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری به همراه پیشنهادات لازم برای تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

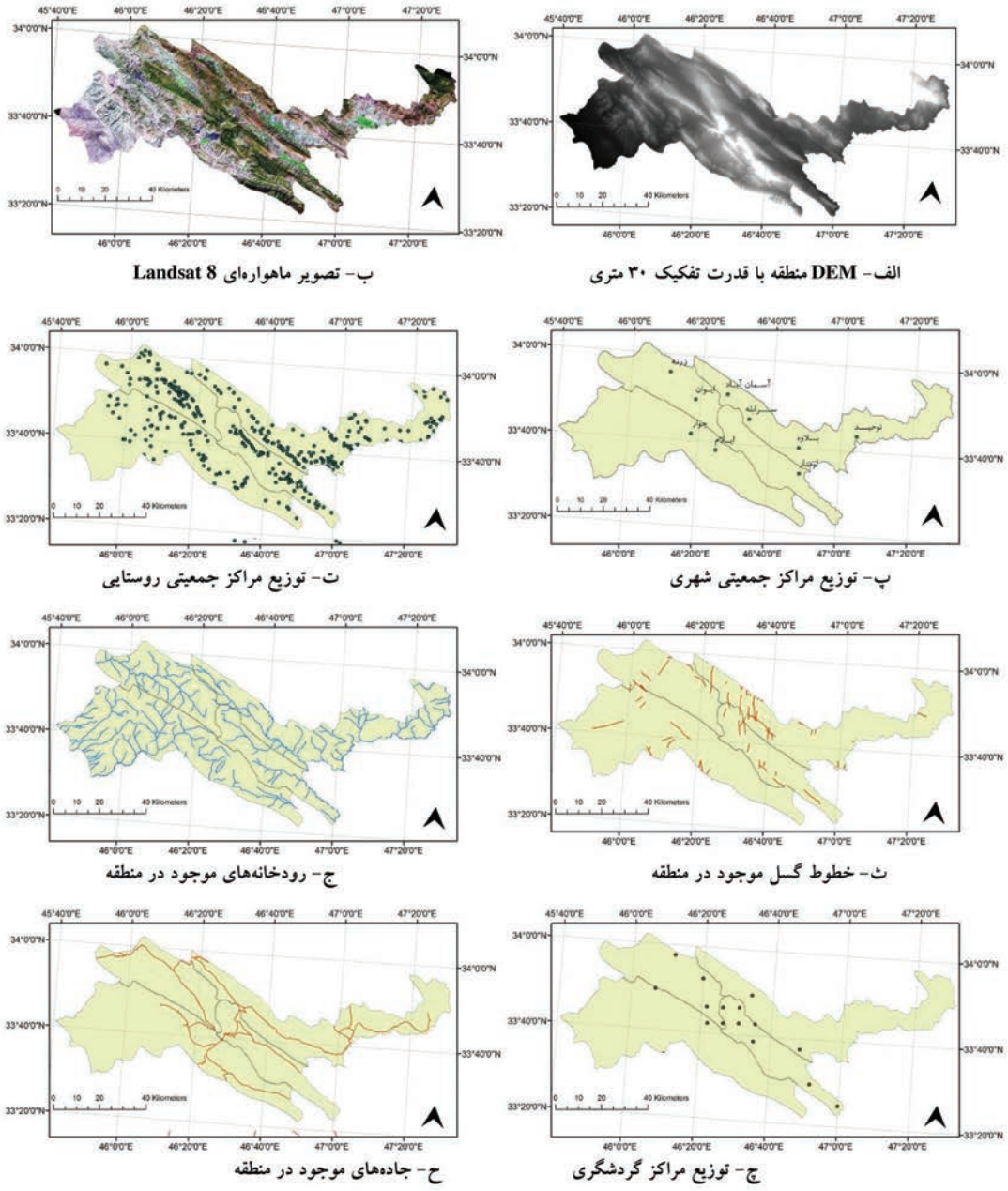
### ۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

طول مسیر انتخابی بالغ بر ۳۵ کیلومتر بوده و در محور ایلام-حمیل در استان‌های ایلام و کرمانشاه واقع شده است (نگاره ۱). همچنین داده‌های مورد استفاده در نگاره (۲) ارائه شده است.




**نگاره ۱: منطقه مطالعاتی و نقاط ابتدا و انتهای مسیر**

Archive of SID
www.SID.ir




**نگاره ۲. داده‌های مورد استفاده جهت مسیریابی بهینه**

## ۲-۲- لایه‌های اطلاعاتی جهت تعیین مسیر بهینه

نخستین گام در یک فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره شناسایی عوامل مؤثر در تأمین هدف مورد نظر می‌باشد. در این تحقیق با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان و همچنین مطالعه در خصوصیات هندسی و فنی جاده‌ها عوامل مهم در مسیریابی بهینه تعیین شد که در ادامه هر یک از آنها به طور مجزا مورد بحث قرار گرفته است.

***مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه:*** در بحث مسیریابی DEM منطقه یکی از مهمترین پارامترهای تأثیرگذار در جهت تعدیل نمودن حجم عملیات خاکی (خاکبرداری و خاکریزی) و همچنین تأمین خصوصیات هندسی راه مانند فاصله دید، سرعت طرح، حداکثر شیب مجاز و

www.SID.ir

غیره می‌باشد. بدین منظور ضروری است که تا حد ممکن از عبور مسیر از مناطق با تغییرات ارتفاعی زیاد اجتناب شود. بنابراین استخراج لایه شیب منطقه می‌تواند در تحلیل مسیریابی نقش بسیار مؤثری داشته باشد.

***آفتاب‌گیر بودن مسیر:*** در مناطق کوهستانی معمولاً بارش برف در فصول سرد سال موجب مسدود شدن جاده‌ها یا ایجاد اختلال در تردد وسایل نقلیه می‌شود. از طرفی به دلیل ایجاد سایه توسط ارتفاعات، بخش عمده‌ای از مناطق پایین‌دست آفتاب‌گیر نبوده و در این نواحی فرآیند ذوب و تبخیر نزولات جوّی به کندی صورت می‌گیرد. این عامل معمولاً در طراحی مسیرها نادیده گرفته می‌شود. بدین منظور در تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود با تولید لایه سایه روشن با استفاده از DEM منطقه، مسیر مورد نظر تا حد ممکن از مناطق آفتاب‌گیر عبور نماید. بدین منظور با بررسی اطلاعات هواشناسی، ماه فوریه به عنوان ماه پربارش در منطقه در نظر گرفته شد و با محاسبه زاویه ارتفاعی خورشید بر اساس طول و عرض جغرافیایی منطقه، آزیموت و ارتفاع خورشید و در نتیجه لایه سایه‌روشن منطقه به دست آمد. لازم به ذکر است جهت تعیین موقعیت خورشید از سایت سازمان هواشناسی آمریکا ***(NOAA, 2014)*** استفاده شده است.

***پوشش اراضی:*** پوشش اراضی یکی دیگر از عوامل کلیدی در تحلیل مسیریابی می‌باشد. پوشش‌های مختلف به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی ارزش‌های متفاوتی دارند. به عنوان نمونه عبور دادن جاده‌ها از نواحی جنگلی یا حفاظت شده به لحاظ زیست‌محیطی بسیار پرهزینه می‌باشد. بنابراین نقشه پوشش اراضی منطقه باید به نحو مطلوب تهیه شده و هر یک از آنها متناسب با معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی ارزشگذاری گردند. در این تحقیق نیز با طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای Landsat 8، نقشه پوششی منطقه تولید شده است.

***توزیع جمعیت:*** یکی از عوامل توسعه مراکز جمعیتی دسترسی آنها به راه‌های ارتباطی می‌باشد. بنابراین راه‌های ارتباطی تا حد ممکن باید به مراکز جمعیتی نزدیک باشند. داده‌های جمعیتی معمولاً به صورت گسسته (نقطه‌ای) موجود می‌باشد. در این تحقیق با درون‌یابی توزیع جمعیت گسسته، رستر جمعیت برای نمایش گرید (شبکه) منظم جمعیت تولید می‌شود. فواید این رستر عبارتند از: الف- ارائه توزیع پیوسته از جمعیت (برآورد جمعیت برای تمام پیکسل‌ها) ۲) امکان ترکیب با رسترهای دیگر ***(Wang and Yue, 2004).***

***فاصله از خطوط گسل:*** ضروری است تا مسیرهای حمل و نقل تا حد ممکن از خطوط گسل موجود در منطقه فاصله داشته باشند تا از بروز خطرات احتمالی جلوگیری شود. بدین جهت لایه مربوط به گسل‌های موجود در منطقه به عنوان یکی از پارامترهای اصلی تعیین مسیر بهینه در نظر گرفته شده است.

***فاصله از رودخانه‌ها:*** یکی دیگر از پارامترهای مهم در تعیین مسیر بهینه، نحوه برخورد با عوارض آبی می‌باشد. به گونه‌ای که با افزایش تعداد عبورهای مسیر از عوارض آبی مانند رودخانه‌ها، نیاز به احداث پل افزایش یافته که به تبع آن هزینه‌های ساخت نیز افزایش می‌یابد. همچنین در حریم رودخانه‌ها احتمال آبگرفتگی جاده‌ها و بروز مخاطرات طبیعی وجود دارد. از طرف دیگر، امکان آلودگی رودخانه‌ها در صورت مجاورت با جاده‌های ارتباطی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان با کاهش تعداد عبورهای مسیر از روی رودخانه‌ها و همچنین در نظر گرفتن یک حاشیه امن در طول آنها، هزینه‌های احداث مسیر را تعدیل نموده و از بروز مخاطرات در مسیرهای ارتباطی و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی رودخانه‌ها جلوگیری نمود.

***فاصله از مناطق گردشگری:*** توجه به فاکتورهای گردشگری در احداث مسیرهای ارتباطی از دو جهت حائز اهمیت می‌باشد: الف- با تعیین مسیر بهینه، می‌توان دسترسی به جاذبه‌های گردشگری را تسهیل نمود. ب- با تعیین مسیرهای خوش‌منظر می‌توان مسیر جاده را به لحاظ گردشگری دلپذیرتر احداث نمود.

## ۲-۳- روش پیشنهادی دانش‌پایه جهت وزن‌دهی درون لایه‌ای

در تحقیقات گذشته تغییرات هزینه در کلاس‌های

Archive of SID

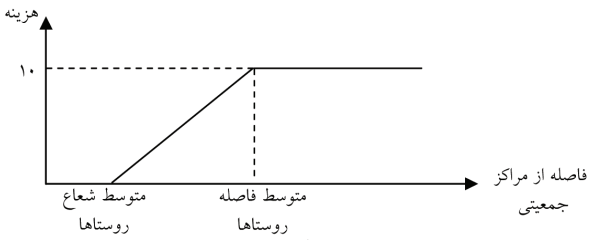
www.SID.ir

(بازه‌های) درون لایه‌ای معمولاً به صورت خطی در نظر گرفته شده است. به عنوان نمونه، جهت تعیین هزینه برای پیکسل‌های هر یک از رسترها، اطلاعات موجود در آنها در چند بازه کلاس‌بندی مجدد می‌شوند و در ادامه به هر یک از کلاس‌ها، هزینه‌ای از صفر تا ۱۰ با رشد خطی اختصاص داده می‌شود. اما در این حالت نحوه و میزان وابستگی هدف به کلاس‌های مختلف نادیده گرفته می‌شود. جهت رفع این مشکل در تحقیق حاضر یک روش دانش‌پایه پیشنهاد می‌گردد که بر اساس آن برای هر پارامتر متناسب با ویژگی‌های خاص خود، هزینه‌های درون لایه‌ای (هزینه بازه‌های مختلف) مدل‌سازی می‌شود. به عبارت دیگر با بررسی ویژگی‌های هر یک از لایه‌ها، یک تابع هزینه درون لایه‌ای برای آنها در نظر گرفته شده است. در این راستا استفاده حداکثری از اطلاعات و دانش موجود اعم از نظر فنی کارشناسان، نتایج تحقیقات گذشته و شناخت از منطقه می‌تواند مؤثر باشد.

در این تحقیق با نرمالایزه کردن لایه شیب در بازه (۱۰-۰)، از مقادیر حاصل به صورت مستقیم به عنوان هزینه این لایه استفاده گردید. همچنین برای لایه‌های فاصله از خطوط گسل و مراکز گردشگری، با نرمالیزه کردن در بازه (۱۰-۰) مقادیر حاصل به ترتیب به صورت معکوس و مستقیم به عنوان هزینه در نظر گرفته شدند. اما برای سایر لایه‌ها، یک تابع هزینه درون لایه‌ای با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان به صورت دانش‌پایه در نظر گرفته شد. در ادامه برای هر یک از این پارامترها، نحوه اختصاص هزینه‌های درون لایه‌ای ارائه شده است.

**هزینه درون لایه‌ای فاصله از مراکز جمعیتی**: برای درون‌یابی پدیده‌های متحرک که هدف از آن استخراج تراکم عوارض متحرک در روی سطح می‌باشد، بعد از انجام روش‌های درون‌یابی متداول، جهت بهبود نتیجه و استخراج تراکم واقع‌گرایانه، باید عوامل مؤثر در ذات آن عارضه متحرک در نظر گرفته شوند ***(Akbari, 2009)***. به طور مثال، برای استخراج تراکم جمعیت در روی سطح منطقه با توجه به اینکه جمعیت در روی ارتفاعات بالا و یا در روی شیب‌های تند بسیار کم حرکت می‌کنند، می‌توان دقت سطح درونیابی شده اولیه را با استفاده از شیب بهبود بخشید و به شیب‌های تند، ضریب کاهش‌دهنده نسبت داد تا در محل‌های با شیب تند، جمعیت با دانسیته کم حاصل شود ***(Akbari, 2009)***.

در این تحقیق نخست با تعیین حداکثر شیب مراکز جمعیتی، جمعیت منطقه تنها در نواحی که شیب کمتر از شیب حداکثر داشتند، درونیابی گردید. لازم به ذکر است برای درونیابی از روش IDW[1] به عنوان یکی از روش‌های متداول استفاده گردید. اما در فرآیند مسیریابی علاوه بر میزان جمعیت نقاط، فاصله از مراکز جمعیتی نیز حائز اهمیت می‌باشد. با تولید لایه فاصله از مراکز جمعیتی با روش‌های متداول (محاسبه فاصله اقلیدسی)، تنها موقعیت مکانی مراکز جمعیتی در نظر گرفته می‌شود. جهت رفع این مشکل در این تحقیق پیشنهاد می‌شود که فاصله وزن‌دار از مراکز جمعیتی تولید گردد. بدین منظور از معکوس لایه توزیع جمعیت به عنوان وزن (هزینه) جهت تولید لایه فاصله از مراکز جمعیتی استفاده شده است .با تولید لایه فاصله از مراکز جمعیتی لازم است تا وزن درون لایه‌ای جهت تولید رستر هزینه لحاظ گردد. بدین منظور تابع هزینه درون لایه‌ای مطابق نگاره (۳) در نظر گرفته شد. بر اساس این تابع، فواصل کمتر از متوسط شعاع روستاهای منطقه با هزینه صفر، فواصل بین متوسط شعاع روستاها تا متوسط فاصله روستاها از همدیگر به صورت خطی با هزینه صفر تا ۱۰ و فواصل بیشتر از ۳ کیلومتر با هزینه ۱۰ لحاظ گردید.

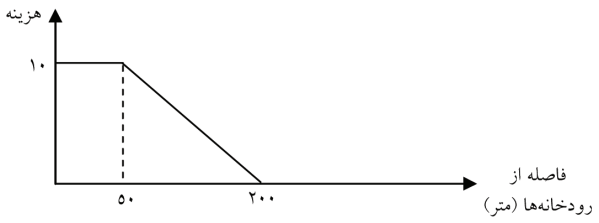



**نگاره ۳: تابع هزینه درون لایه‌ای برای فاصله از مراکز جمعیتی**

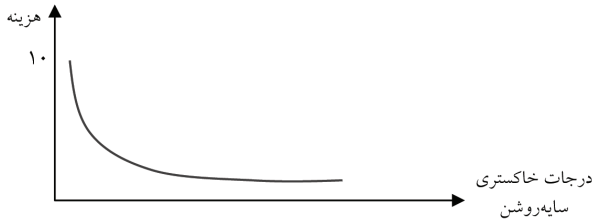
1- Inverse Distance Weighting

Archive of SID
www.SID.ir

***هزینه درون لایه‌ای فاصله از رودخانه‌ها:*** برای لایه فاصله از رودخانه نیز یک تابع دانش‌پایه جهت اختصاص هزینه‌های درون لایه‌ای در نظر گرفته شد (نگاره ٤). بدین منظور با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان مشخص گردید که تا یک فاصله از حریم رودخانه‌ها (تقریباً ۵۰ متری) بیشترین هزینه (اقتصادی، ایمنی، محیط زیستی) را برای طراحی مسیر می‌توان در نظر گرفت. با فاصله گرفتن تا یک حد مشخص (تقریباً ۲۰۰ متری) هزینه کاهش می‌یابد. برای فواصل بیشتر از این حد مشخص نیز هزینه‌ای برای عبور مسیر وجود ندارد. بدین ترتیب بر اساس تابع پیشنهادی، فواصل کمتر از ۵۰ متر بیشترین هزینه را داشته و برای فواصل بین ۵۰ متر تا ۲۰۰ متر هزینه به صورت خطی کاهش می‌یابد و برای فواصل بیشتر از ۲۰۰ متر هزینه صفر لحاظ شده است.




**نگاره ٤: تابع هزینه درون لایه‌ای برای فاصله از رودخانه‌ها**




**نگاره ۵: تابع هزینه درون لایه‌ای برای سایه‌روشن**

***هزینه درون لایه‌ای سایه‌روشن:*** لایه سایه‌روشن نیز با معکوس تابع لگاریتمی مقیاس‌گذاری گردید و سپس در بازه (۱۰-۰) نرمال شد. تابع لگاریتمی حساسیت بالایی نسبت به مقادیر کم و حساسیت کمی نسبت به مقادیر با شدت بالا دارد. دلیل انتخاب این تابع برای لایه سایه‌روشن بدین جهت می‌باشد که در طراحی مسیر، معیار آفتاب‌گیر بودن در تغییرات با مقادیر بالا تفاوت زیادی با هم نداشته و از طرف دیگر تغییرات در مقادیر کم از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد (نگاره ۵).

### ۲-٤- مدل توسعه‌یافته جهت مسیریابی بهینه

جهت وزن‌دهی نسبی لایه‌های اطلاعاتی از روش مقایسه دوتایی بر اساس نظرات کارشناسان استفاده شده و با استفاده از روش AHP وزن هر یک از لایه‌ها محاسبه می‌گردد. با توجه به این که در روش AHP همه پارامترها بصورت یکجا با هم مقایسه نشده و معیارها دوبدو با هم مقایسه می‌شوند، وزندهی با دقت بیشتری انجام می‌گیرد ***(Malczewski, 1999)*** و این روش جزء روش‌های بسیار رایج جهت تعیین وزن نسبی لایه‌ها می‌باشد ***(Eastman et al., 1993)***. در ادامه با تلفیق لایه‌ها به روش همپوشانی شاخص، رستر هزینه نهایی تعیین می‌گردد. جهت تعیین مسیر بهینه باید کوتاهترین مسیر با کمترین هزینه تعیین گردد. بدین منظور نخست برای تمام پیکسل‌ها با احتساب مسیرهای مختلف نسبت به نقطه شروع مسیر، کمترین هزینه تجمعی محاسبه می‌شود که لایه فاصله هزینه[1] نامیده می‌شود. سپس پیکسل‌های مجاور هر پیکسل از ۱ تا ۸ کدگذاری می‌شوند (نگاره ٦) و بدین ترتیب برای هر پیکسل یک کد (از ۱ تا ۸) جهت تعیین کم هزینه‌ترین پیکسل مجاور اختصاص داده می‌شود که از آن به عنوان هزینه اتصال معکوس[2] یاد می‌شود. در نهایت با معرفی نقطه انتهایی مسیر، کم‌هزینه‌ترین مسیر بین نقاط ابتدا و انتها تعیین می‌گردد.

## ۳- پیاده‌سازی و نتایج

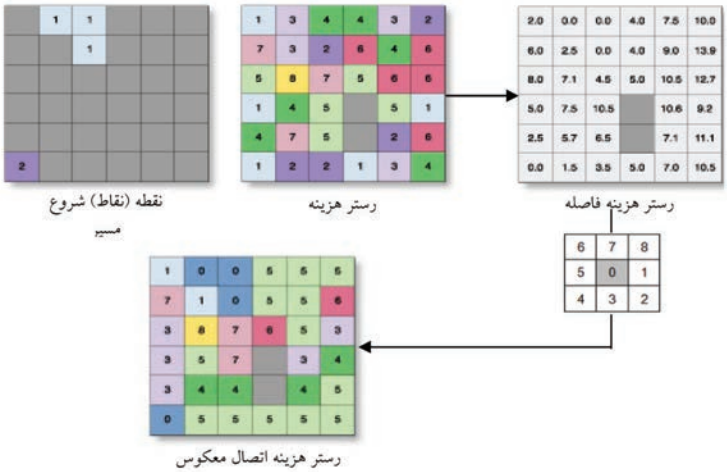
### ۳-۱- آماده‌سازی لایه‌های هزینه براساس روش پیشنهادی دانش‌پایه

در این بخش با انجام پردازش‌های مناسب بر روی هر یک از داده‌ها، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تولید شده و وزن درون لایه‌ای هر یک از آنها بر اساس روش پیشنهادی دانش پایه تعیین گردید. در این راستا با استفاده از DEM منطقه لایه‌های شیب و سایه‌روشن تولید گردید. لایه شیب در

1- Cost Distance
2- Cost Backlink

Archive of SID

www.SID.ir



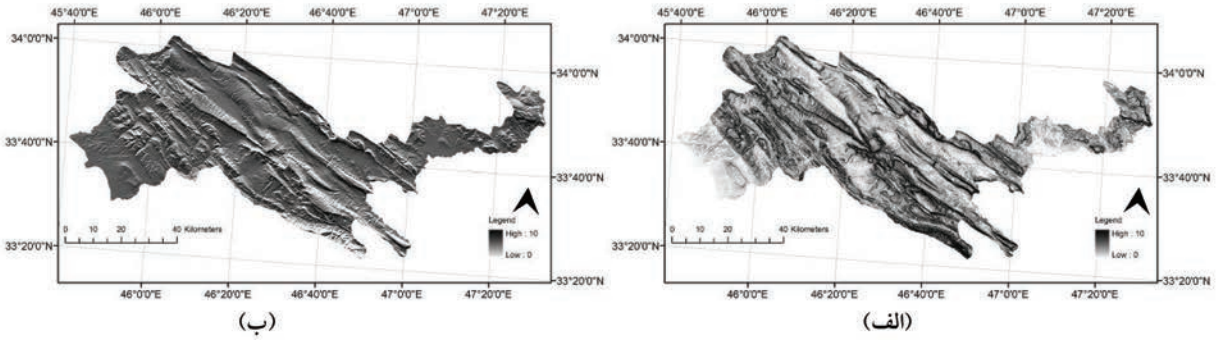

**نگاره ٦: نحوه ایجاد رستر هزینه فاصله و هزینه اتصال معکوس**

بازه (۱۰-۰) نرمال شد و مقادیر حاصل به صورت مستقیم به عنوان هزینه این لایه در نظر گرفته شد (نگاره ۷-الف). لایه سایه‌روشن نیز با تابع لگاریتمی مقیاس‌گذاری گردید و سپس در بازه (۱۰-۰) نرمال شد و مقادیر حاصل به صورت معکوس به عنوان هزینه لحاظ گردید (نگاره ۷-ب).

در ادامه نخست با تعیین حداکثر شیب مراکز جمعیتی، یک حدآستانه بر روی لایه شیب اعمال گردید و مناطق با شیب بالاتر از شیب حداکثر ماسک‌گذاری شدند (نواحی سیاه رنگ در نگاره ۸).

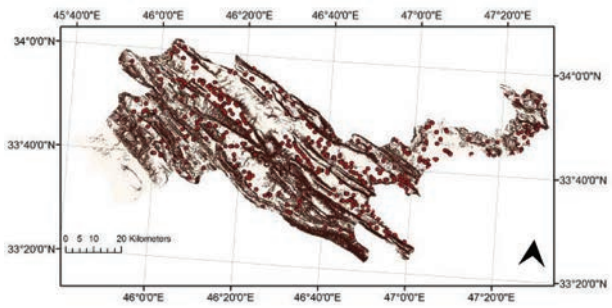
در ادامه لایه نقطه‌ای مراکز جمعیتی با استفاده از روش IDW در نواحی به غیر از قسمت‌های ماسک‌گذاری شده درونیابی شده است (نگاره ۹). به منظور تولید لایه فاصله وزن‌دار از مراکز جمعیتی، معکوس لایه توزیع جمعیت به عنوان هزینه (وزن) در نظر گرفته شد. در نهایت رستر فاصله از مراکز جمعیتی نیز مطابق تابع هزینه پیشنهادی در بخش (۲-۳) در سه بازه کلاس‌بندی مجدد شد. به گونه‌ای که فواصل کمتر از متوسط شعاع روستاهای منطقه (حدود ۵۰۰ متر) با هزینه صفر، فواصل بین متوسط شعاع روستاها تا متوسط فاصله روستاها از همدیگر (حدود ۳ کیلومتر) به صورت خطی با هزینه صفر تا ۱۰ و فواصل بیشتر از ۳ کیلومتر با هزینه ۱۰ لحاظ گردید. (نگاره ۱۰).

لایه فاصله از رودخانه نیز مطابق تابع هزینه پیشنهاد شده در بخش (۲-۳) در سه بازه کلاس‌بندی مجدد شد. بدین ترتیب برای فواصل کمتر از ۵۰ متر بیشترین هزینه و برای فواصل بین ۵۰ متر تا ۲۰۰ متر هزینه به صورت خطی کاهش می‌یابد و برای فواصل بیشتر از ۲۰۰ متر هزینه صفر لحاظ شده است (نگاره ۱۱). همچنین برای لایه‌های فاصله از خطوط گسل و مراکز گردشگری، با نرمالیزه کردن در بازه (۱۰-۰) مقادیر حاصل به ترتیب به صورت معکوس و مستقیم به هزینه در نظر گرفته شدند (نگاره‌های ۱۲ و ۱۳).

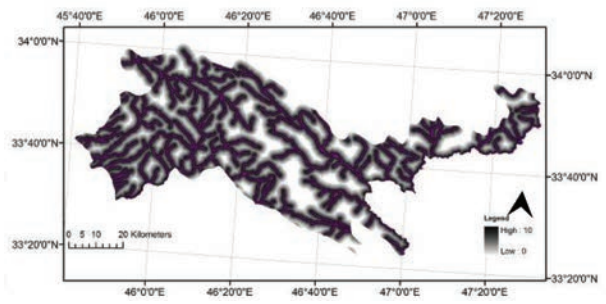



**نگاره ۷: رستر هزینه لایه‌های الف: شیب، ب: سایه روشن بر اساس DEM منطقه**

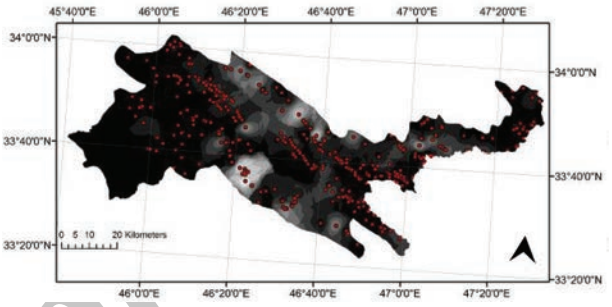
Archive of SID
www.SID.ir



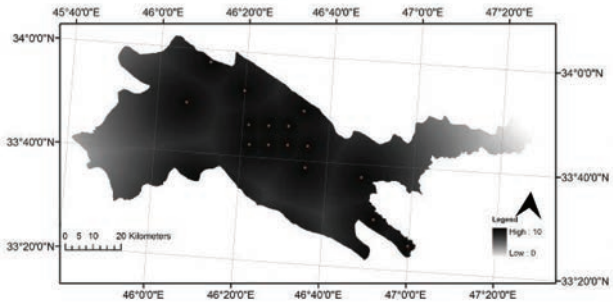
نگاره ۸: ماسک‌گذاری بر روی لایه شیب جهت پهنه‌بندی جمعیت



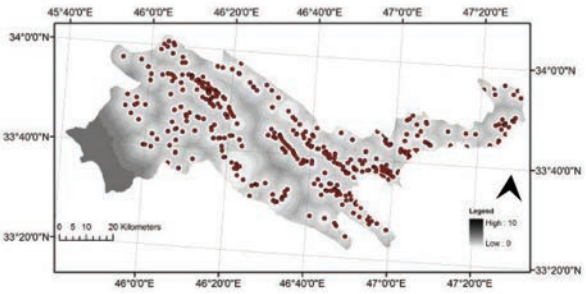
نگاره ۱۱. رستر هزینه فاصله از رودخانه



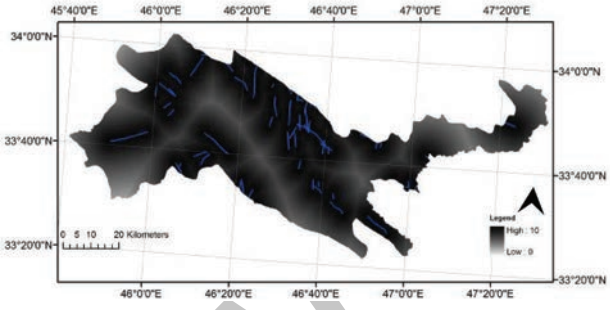
نگاره ۹: پهنه‌بندی (توزیع) جمعیت در نواحی به غیر از قسمت‌های ماسک‌گذاری شده



نگاره ۱۲. رستر هزینه فاصله از مراکز گردشگری



نگاره ۱۰. رستر فاصله وزن‌دار از مراکز جمعیتی



نگاره ۱۳: رستر هزینه فاصله از خطوط گسل

جدول ۱. مقایسه دوتایی بین لایه‌های مختلف

| | کاربری | فاصله از مراکز جمعیت | فاصله از مراکز گردشگری | فاصله از خطوط گسل | میزان شیب | فاصله از رودخانه | میزان سایه‌روشن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کاربری | ۱ | ۸ | ۸ | ۱ | ٤ | ۲ | ۵ |
| فاصله از مراکز جمعیت | ۱/۸ | ۱ | ۲ | ۱/۸ | ۱/۷ | ۱/۷ | ۱/۷ |
| فاصله از مراکز گردشگری | ۱/۸ | ۱/۲ | ۱ | ۱/۹ | ۱/۷ | ۱/۸ | ۱/۷ |
| فاصله از خطوط گسل | ۱ | ۸ | ۹ | ۱ | ٤ | ۲ | ٦ |
| میزان شیب | ۱/٤ | ۷ | ۷ | ۱/٤ | ۱ | ۱/۵ | ۲ |
| فاصله از رودخانه | ۱/۲ | ۷ | ۸ | ۱/۲ | ۵ | ۱ | ۵ |
| میزان سایه‌روشن | ۱/۵ | ۷ | ۷ | ۱/٦ | ۱/۲ | ۱/۵ | ۱ |

www.SID.ir

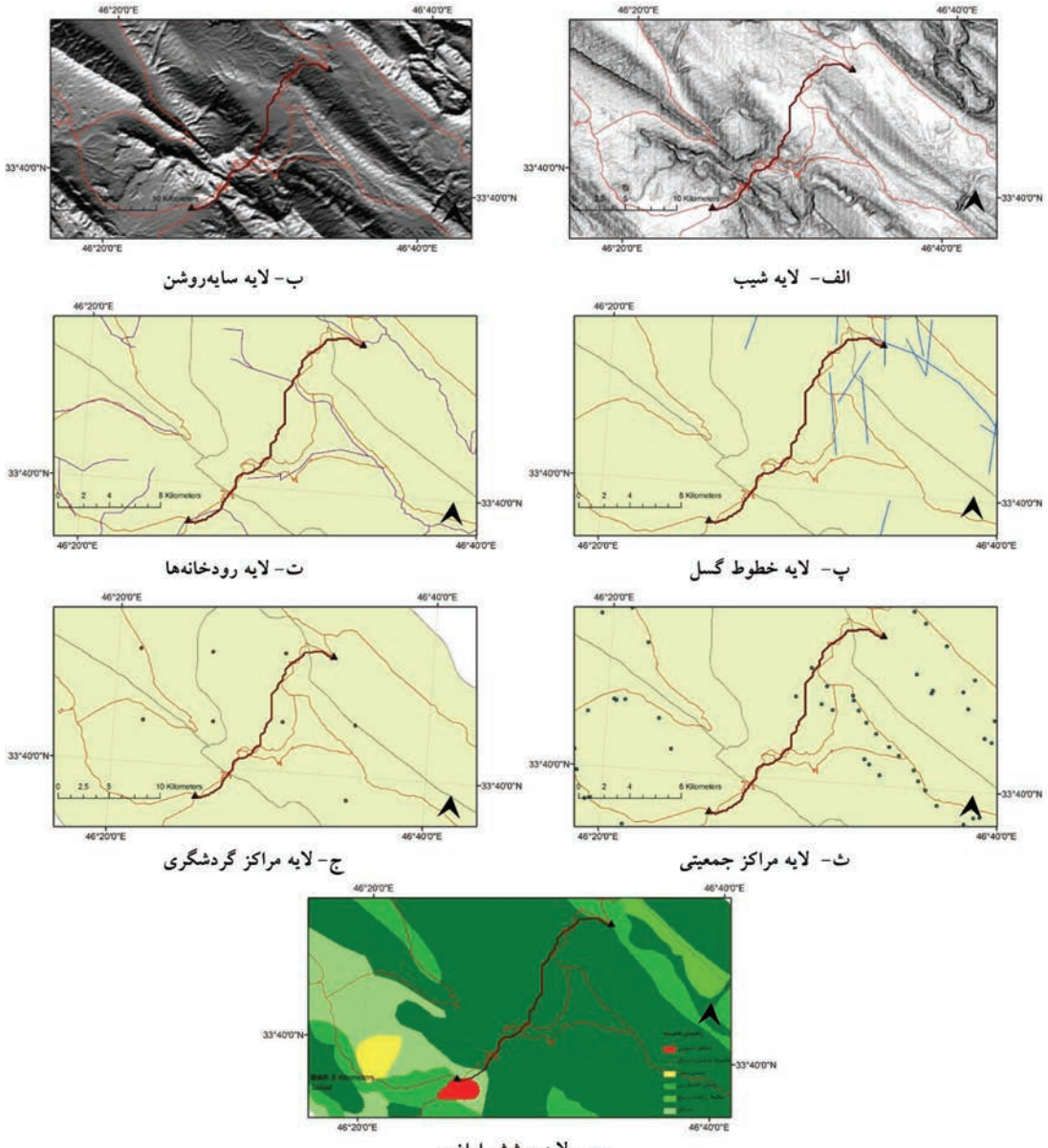
### ۳-۲- تلفیق لایه‌ها

در ادامه به منظور تلفیق لایه‌ها ضروری است تا وزن نسبی لایه‌ها تعیین گردد. بدین منظور با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان مقایسه دوتایی بین لایه‌های مختلف انجام شد (جدول ۱). سپس با استفاده از روش AHP وزن لایه‌ها مطابق جدول (۲) برآورد گردید. سپس با روش همپوشانی شاخص، رستر وزن نهایی تولید گردید.

### ۳-۳- آنالیز مسیریابی با سه وریانت مختلف

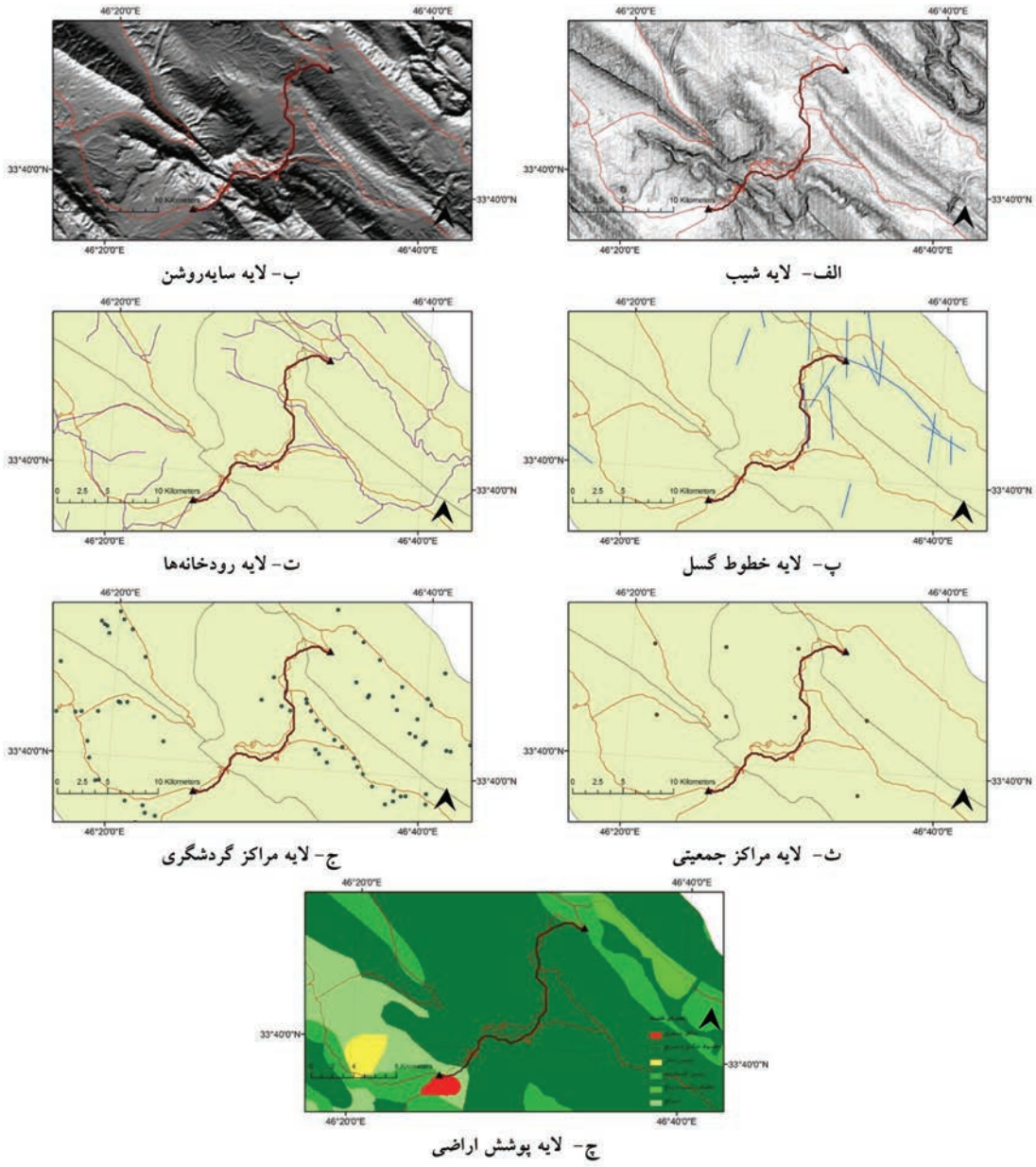
برای یافتن مسیر بهینه باید مسیری انتخاب شود که دو شرط کوتاه بودن طول مسیر و کمینه بودن هزینه مسیر را تأمین نماید.

بدین منظور از روند ارائه شده در بخش (۲-٤) استفاده گردید. جهت انجام آنالیز مسیریابی سه وریانت مختلف در نظر گرفته شد. در ادامه نتایج حاصل از هر سه وریانت




**نگاره ۱٤. نتایج حاصل از وریانت اول بر روی لایه‌های مختلف اطلاعاتی**

www.SID.ir




**نگاره ۱۵. نتایج حاصل از وریانت دوم بر روی لایه‌های مختلف اطلاعاتی**

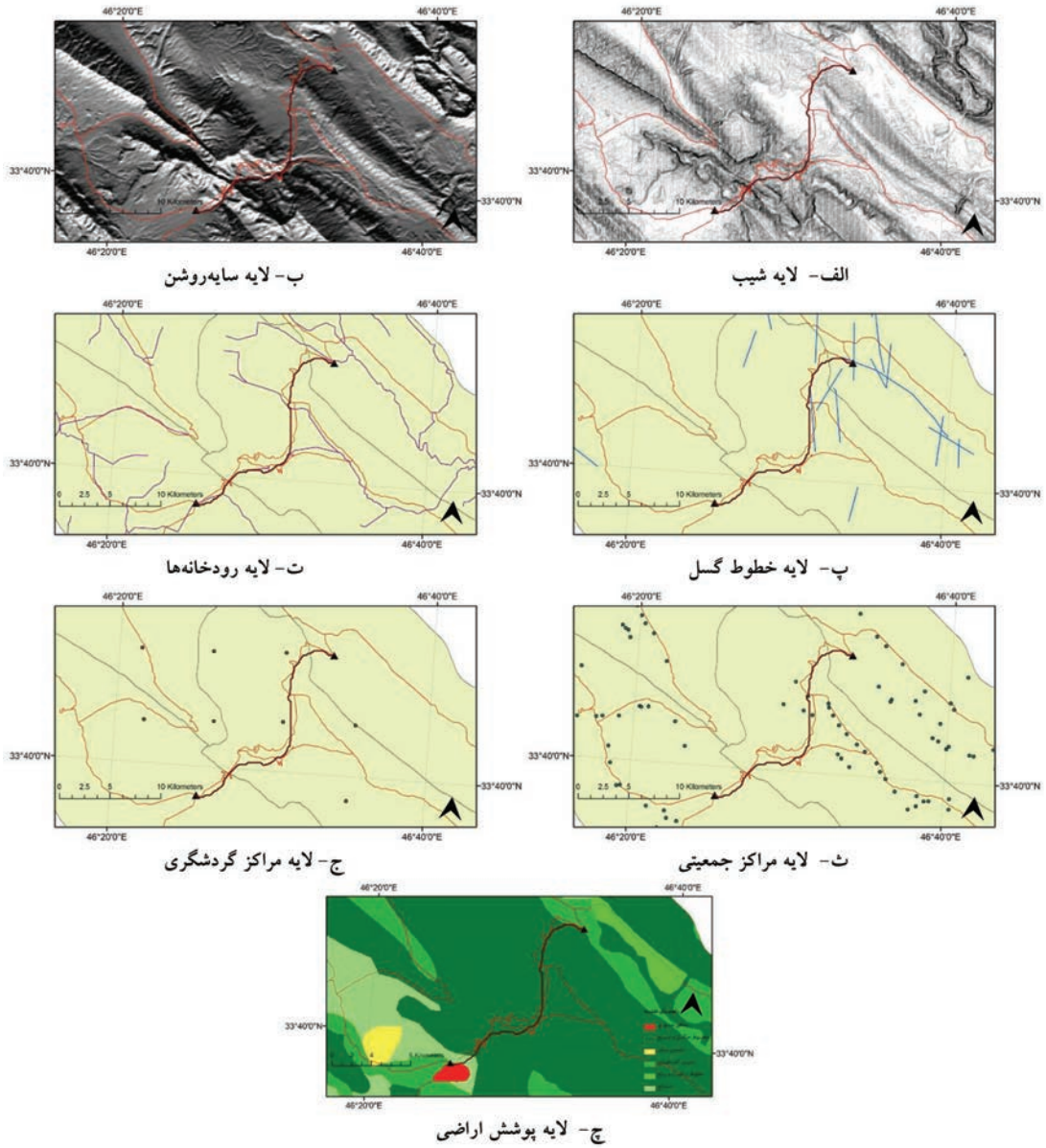
ارائه شده است.

**وریانت اول، وزن‌دهی درون‌لایه‌ای بر اساس روش‌های رایج:** در وریانت اول وزن (هزینه) درون لایه‌ای بر اساس روش‌های رایج (بدون در نظر گرفتن روش دانش پایه جهت وزن‌دهی به بازه‌های اطلاعاتی مختلف) صورت پذیرفت و وزن نسبی لایه‌ها نیز با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان مطابق جدول (۲) لحاظ گردید.

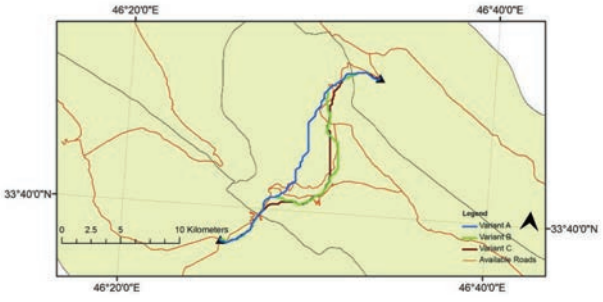
**جدول ۲. وزن‌های برآورد شده برای هر یک از لایه‌ها**

| نام معیار | وزن معیار (برحسب درصد |
|---|---|
| کاربری | ۲۷/۶ |
| فاصله از مراکز جمعیت | ۲/۵ |
| فاصله از مراکز گردشگری | ۲ |
| فاصله از خطوط گسل | ۲۸/۸ |
| میزان شیب | ۹/۷ |
| فاصله از رودخانه | ۲۲ |
| میزان سایه‌روشن | ۷/۶ |

www.SID.ir




**نگاره ۱۶. نتایج حاصل از وریانت سوم بر روی لایه‌های مختلف اطلاعاتی**



**نگاره ۱۷، مقایسه مسیر حاصل از سه وریانت پیشنهادی و مسیر احداث شده**

با بررسی مسیر حاصل از وریانت اول مشخص می‌شود در بخشی که مسیر احداث شده بر روی خطوط گسل قرار گرفته، مسیر پیشنهادی فاصله مناسبی از این خطوط دارد (نگاره ۱۴-پ). همچنین این مسیر ضمن رعایت شرط عبور از مناطق کم‌شیب، طول کمتری نسبت به مسیر احداث شده دارد. بعلاوه، با بررسی بصری مسیر پیشنهادی بر روی لایه‌های دیگر مشخص می‌شود که به طور کلی وضعیت مناسب‌تری نسبت به مسیر احداث شده دارد (نگاره ۱۴).

www.SID.ir

مقایسه دقیق و کمی تمامی وریانت‌ها با مسیر احداث شده در بخش (۳-٤) ارائه شده است.

***وریانت دوم، تعیین مسیر بر اساس معیار شیب:*** در وریانت دوم، مسیر تنها با احتساب معیار شیب تعیین شده است. در نگاره (۱۵)، مسیر حاصل از این وریانت بر روی لایه‌های اطلاعاتی مختلف نمایش داده شده است. با توجه به نتایج، مسیر حاصل از این وریانت انطباق خیلی زیادی با مسیر احداث شده دارد. بر این اساس احتمال می‌رود که معیار اساسی در طراحی مسیر احداث شده، توپوگرافی منطقه بوده است. اما مسیر حاصل از این وریانت با توجه به این که معیارهای دیگر در تعیین آن لحاظ نشده، وضعیت مناسبی نسبت به لایه‌های اطلاعاتی دیگر (به ویژه لایه‌های گسل و رودخانه) ندارد.

***وریانت سوم، وزن‌دهی به روش پیشنهادی دانش‌پایه:*** در این وریانت، وزن درون لایه‌ای با استفاده از توابع هزینه دانش‌پایه تعیین گردید و وزن نسبی لایه‌ها نیز بر اساس نظرات کارشناسان (جدول ۲) لحاظ گردید. مسیر حاصل از این وریانت نسبت به مسیر احداث شده فاصله بیشتری از خطوط گسل داشته و نسبت به وریانت اول نیز به لحاظ شیب منطقه وضعیت مناسب‌تری دارد. همچنین دسترسی به مراکز جمعیتی و سایر معیارها در این وریانت به خوبی رعایت شده است (نگاره ۱٦).

### ۳-٤- مقایسه مسیر پیشنهادی و مسیر احداث شده

مسیر حاصل از هر سه وریانت به همراه مسیر احداث شده در نگاره (۱۷) نشان داده شده و مقایسه با جزئیات بیشتر و به صورت کمی در جدول (۳) ارائه گردیده است.

بر اساس نتایج، طول مسیر برای هر سه وریانت پیشنهادی از طول مسیر احداث شده کمتر می‌باشد. تعداد عبور از رودخانه برای وریانت دوم که تنها با اساس معیار شیب طراحی شده از وریانت‌های دیگر بیشتر می‌باشد. وریانت‌های اول و سوم از روی خطوط گسل عبور نکرده ولی مسیر احداث شده و مسیری که تنها بر اساس معیار شیب طراحی شده، دو تقاطع با خطوط گسل دارند. وریانت‌های اول و سوم دسترسی بیشتری به مراکز گردشگری دارند.

**جدول۳ : ارزیابی معیارهای مختلف در مسیرهای حاصل از وریانت‌های پیشنهادی و مسیر احداث شده**

| | مسیر احداث شده | وریانت A | وریانت B | وریانت C |
|---|---|---|---|---|
| طول مسیر (کیلومتر) | ۳۳/۷٦۷ | ۲۳/۸٤۳ | ۲۷/۱۱۳ | ۲۵/۰۷٤ |
| تعداد عبور از رودخانه | ۱ | ۱ | ۳ | ۱ |
| تعداد عبوراز گسل | ۲ | ۰ | ۲ | ۰ |
| تعداد مراکز گردشگری در شعاع یک کیلومتری | ۱ | ۲ | ۱ | ۲ |
| تعداد مراکز جمعیتی در شعاع یک کیلومتری | ٤ | ٤ | ٤ | ۵ |
| جمعیت در شعاع یک کیلومتری | ۱۸۵۷ | ۱۹۵۸ | ۱۸۵۷ | ۱۹۸۹ |
| متوسط شیب مسیر | ۱۵/۸٤ | ۱۱/۱٤ | ۸/۲۵ | ۹/۱۲ |
| متوسط سایه‌روشن مسیر | ۱۵٦/۲۹ | ۱٤۸/۲۵ | ۱٤۷/۹۵ | ۱٤۸/٦۵ |

دسترسی به مراکز جمعیتی وریانت سوم که بر اساس وزن‌دهی دانش‌پایه تعیین شده از وریانت‌های دیگر بیشتر است. متوسط شیب مسیر برای تمام وریانت‌ها از متوسط شیب مسیر احداث شده کمتر می‌باشد.

## ٤- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مسیر کم‌هزینه، مسیری است که در آن تمام عوامل تأثیرگذار اعم از هزینه احداث، تأمین ایمنی و دسترسی جاده، رعایت مسائل زیست‌محیطی در نظر گرفته شود. در این تحقیق عوامل مؤثر در تعیین مسیر بهینه شناسایی گردید. بدین منظور لایه پوشش اراضی منطقه با استفاده از تصویر ماهواره‌ایLandsat 8 تولید شد. لایه شیب و میزان آفتاب‌گیر بودن مسیر نیز با استفاده از DEM استخراج گردید. همچنین سایر لایه‌های اطلاعاتی اعم از فاصله از مراکز جمعیتی و گردشگری، فاصله از رودخانه‌ها و خطوط گسل نیز بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از سازمان‌های مرتبط برآورد گردید.

در ادامه به منظور تعیین وزن‌های درون لایه‌ای یک روش دانش‌پایه ارائه شد. بر اساس این روش پیشنهادی، با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص هر لایه یک تابع هزینه برای آن

Archive of SID

www.SID.ir

لایه در نظر گرفته شد. مزیت اصلی روش پیشنهادی این است که وزن درون لایه‌ای به صورت خطی تغییر نکرده و ارزش نسبی بازه‌ها (کلاس‌ها) مدل‌سازی می‌شود.

به عنوان نمونه وزن‌دهی دانش پایه برای لایه فاصله از مراکز جمعیتی باعث شده تا مسیر در خارج از حریم مراکز جمعیتی کمتر تحت تأثیر قرار گرفته و تنها در حالتی که وارد حریم ۳ کیلومتری (متوسط فاصله روستاها) می‌شود، به سمت مراکز پرجمعیت جذب می‌شود. جهت وزن‌دهی نسبی لایه‌ها نیز از نظرات کارشناسان مجرب استفاده شده و با همپوشانی لایه‌ها، رستر هزینه تولید گردید. سه وریانت مختلف جهت مسیریابی پیاده‌سازی گردید.در وریانت اول هزینه درون لایه‌ای به صورت خطی تغییر نموده و از نظرات کارشناسان در تحلیل AHP جهت تعیین وزن بین لایه‌ای استفاده شد. مسیر حاصل از این وریانت در مقایسه با مسیر احداث شده فاصله بیشتری از خطوط گسل و رودخانه‌ها دارد که با توجه به قرار داشتن منطقه مورد مطالعه در بخش زلزله‌خیز کشور، این ویژگی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. علاوه بر این مورد، دسترسی این وریانت به مراکز جمعیتی و گردشگری تا حدودی از مسیر احداث شده بیشتر بوده و طول مسیر و متوسط شیب آن نیز کمتر می‌باشد. اما میزان آفتاب‌گیر بودن این وریانت از مسیر احداث شده تا حدودی کمتر است. در وریانت دوم، تعیین مسیر تنها بر اساس معیار شیب بوده که مسیر حاصل از آن هم به لحاظ هندسه مسیر و هم از دیدگاه معیارهای مورد ارزیابی، انطباق زیادی با مسیر احداث شده دارد. بنابراین می‌توان این گونه تفسیر نمود که معیار اصلی در تعیین مسیر احداث شده وضعیت توپوگرافی منطقه بوده است.

در وریانت سوم، تمامی شرایط هم به لحاظ نوع پارامترها و هم از نظر وزن نسبی لایه‌ها مشابه با وریانت اول بوده، با این تفاوت که جهت وزن‌دهی درون لایه‌ای از روش پیشنهادی دانش‌پایه استفاده گردید. مسیر حاصل از این وریانت علاوه بر فاصله مناسب از خطوط گسل و رودخانه، برای سه معیار دسترسی به مراکز جمعیتی، شیب و آفتاب‌گیر بودن نتایج مطلوب‌تری را نسبت به وریانت‌های دیگر به همراه دارد. طول این وریانت نسبت به مسیر احداث شده و وریانت دوم کوتاهتر است. اما طول آن در حدود ۵ درصد از وریانت اول بیشتر می‌باشد که با توجه به تأمین بهتر معیارهای دیگر نسبت به وریانت اول، هم به لحاظ اقتصادی و هم به لحاظ ایمنی و آسایش مسیر ارجحیت دارد .به طور کلی تعیین معیارهای مؤثر و وزن نسبی آنها در مسأله مسیریابی بر اساس نظرات کارشناسان می‌تواند موجب ارتقا کیفی نتایج گردد.

در این راستا روش پیشنهادی دانش‌پایه جهت وزن‌دهی درون لایه‌ای از کارآیی بالایی برخوردار بوده و می‌تواند مکمل روش‌های موجود باشد. بدین منظور شناسایی عوامل دیگر تأثیرگذار در فرآیند مسیریابی و تعیین توابع هزینه مربوطه می‌تواند در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد. همچنین بررسی میزان عدم‌قطعیت و حساسیت توابع هزینه می‌تواند در گسترش روش پیشنهادی دانش‌پایه مورد توجه قرار گیرد. با توجه به این که منطقه مطالعاتی از نوع کوهستانی بوده، پیچیدگی‌های زیادی در تعیین مسیر مستتر می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد پیاده‌سازی این مدل مسیریابی در مناطق با پیچیدگی توپوگرافی کمتر (مانند دشت و تپه ماهور) نیز تعمیم‌پذیر باشد که بررسی این موضوع می‌تواند در تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد. بررسی توابع دیگر دانش‌پایه نیز مستلزم تحقیقات بیشتر بوده و با یک بررسی جامع در این خصوص انتظار می‌رود یک چارچوب مناسب جهت وزن‌دهی درون لایه‌ای توسعه یابد. از طرف دیگر با توجه به این موضوع که راه‌های ارتباطی از جمله زیرساخت‌های اساسی کشور محسوب شده و هزینه زیادی جهت احداث آنها صرف می‌شود، پیشنهاد می‌شود در کنار پارامترهای لحاظ شده در این تحقیق، به پارامترهای پدافند غیرعامل نیز توجه ویژه‌ای گردد. همچنین با در نظر گرفتن این موضوع که اغلب زیرساخت‌ها و شهرک‌های صنعتی در حریم جاده‌ها ایجاد می‌شوند، بهتر است طی یک فرآیند آمایش، مکان‌هایی که مستعد احداث چنین زیرساخت‌هایی می‌باشند شناسایی شوند و فاصله از این مناطق نیز به عنوان یک معیار در نظر گرفته شود.

Archive of SID

www.SID.ir

## ۵- منابع و مآخذ

۱- ابراهیمی‌پور، احمدرضا و همکاران، ۱۳۸۵، مسیریابی خطوط لوله انتقال آب با استفاده از GIS، مجموعه مقالات همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی ۸۵ (GIS ۸۵).

۲- اکبری، الهه، ۱۳۸۸. استخراج رفتار مکانی پدیده‌های وابسته به عوامل جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی بیماری انگلی لیشمانیوز احشایی در منطقه‌ی کلیبر)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تبریز.

۳- حجازی، سید جعفر و همکاران، ۱۳۸۵، طراحی مسیر بهینه امدادرسانی حمل و نقل جاده‌ای در محیط GIS (بر مبنای نقاط حادثه‌خیز)، مجموعه مقالات همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی ۸۵ (GIS ۸۵).

٤- حسینی، سید عطاالله، ۱۳۸۲، برنامه‌ریزی شبکه راه‌های جنگلی با استفاده از فن‌آوری سامانه اطلاعات جغرافیایی در جنگل خیرود کنار نوشهر، رساله دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

۵- رضایی، س.، ۱۳۸۰، طراحی اتوبان تهران-شمال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم‌های اطلاعات مکانی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

٦- شیخ‌کاظمی، شهاب، ۱۳۷۹، رعایت اصول زیست‌محیطی در تعیین مسیرها به روش خودکار با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

۷- صاحب زمانی،پرستو، ۱۳۸۱، انتخاب مسیر بهینه خطوط راه‌آهن با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

۸- صفرپور، شمس‌الدین، ۱۳۸۰، شناسایی و تعیین مسیر احداث جاده با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (پژوهش موردی جاده لار-بریز در استان فارس)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

۹- نقیبی، فریدون، ۱۳۸۱، مسیریابی بهینه خطوط لوله نفت و گاز به کمک سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

10- Anavberokhai, I. (2008). " Introducing GIS and Multi-criteria analysis in road path planning process in Nigeria", A case study of Lokoja, Kogi State .29,1-13.

11- Dell'Acqua, G., (2012). Using Fuzzy Inference Systems to Optimize Highway Alignments. International Journal for Traffic and Transport Engineering , Volume 2(1), 44-59.

12- Dell'Acqua, G., De Luca, M., and Russo F., (2012). Decision Support System to Pave or Not to Pave Using Cluster Analysis and Multicriteria Analysis. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Record Number: Geology and Properties of Earth Materials 2012, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., pp. 13.

13- Djenalieve, A. (2007). "Multicriteria decision making and GIS for railroad planning in Kyrgyzstan", Master of Science thesis in geoinformatics. Supervisor: Hans Hauska.

14- Duran-Fernandez, R., Santos, G. (2014). A GIS model of the National Road Network in Mexico. Research in Transportation Economics 46 (2014), 36-54.

15- Eastman , J.R , Kyem , P.A. and Toledano, K. (1993) . GIS and Decision Making . 1 edition . UNITAR.

16- Feldman, S.C., and Pelletier, R. (1995). "A prototype for pipeline routing using remotely sensed data and geographic information system analysis", Remote Sensing of Environment, 53: 123-131.

17- Malczewski , J. (1999). GIS and Multi Criteria Decision Analysis. 1th edition. John Wiley & Sons INC.NOAA, 2014, "Solar position calculator", Source: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html, September 2014.

18- Porker, A. (1996). "Rural highway route corridor selection", Transportation planning and Technology, Vol: E., pp. 247-256.

19- Saaty, T.L. (1990). "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process", European Journal of Operational Research 48: 9–26.

20- Wang, Y.A. and Yue, T.X. (2004). "A simulation of Shandong province population density distribution that is based on grid generation methods", Journal of Qufu Normal University. 30(3): pp. 91–93.

Archive of SID

www.SID.ir