

# مکان‌یابی ایستگاه‌های شبکه کینماتیک آنی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی در سواحل جنوبی

فرزاد مرادی<sup>۱</sup>

علیرضا آزموده اردلان<sup>۲</sup>

پرهام پهلوانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۲/۱۰

\*\*\*\*\*

## چکیده

در سال‌های اخیر سازمان نقشه‌برداری کشور، سازمان ثبت و املاک کشور و به‌صورت محدود برخی شهرداری‌ها برای ارائه خدمات تعیین موقعیت آنی دیفرانسیلی اقدام به ایجاد سامانه‌هایی کرده‌اند. این سامانه‌ها هرچند برای مقاصد نقشه‌برداری سریع در کشور مؤثر و مفید بوده‌اند، اما تأمین‌کننده تعیین موقعیت دقیق در مناطق ساحلی و فراساحلی کشور برای پاسخگویی به نیازهای ناوبری و اکتشاف و استخراج منابع دریایی در میادین نفتی نیستند. این در حالی است که کشور دارای مرز آبی طولانی در جنوب و شمال بوده و در برنامه‌های توسعه کشور، اقتصاد دریا محور در اولویت قرار گرفته است. گام اصلی در ایجاد یک سامانه تعیین موقعیت دیفرانسیلی آنی انتخاب مکان مناسب برای استقرار ایستگاه‌های تعیین موقعیت دائم است. لذا مکان‌یابی ایستگاه‌های شبکه کینماتیک آنی در جنوب کشور موضوع این تحقیق قرار گرفت. برای این منظور ابتدا ماتریس مقایسه زوجی لایه‌ها و زیرلایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، براساس نظر ۵ خبره در این امر به روش دلفی به‌دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Matlab به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) برنامه‌نویسی و وزن هر لایه و زیرلایه محاسبه شد. سپس براساس وزن‌های به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل ماتریس‌های مقایسات زوجی برای هر یک از زیر لایه‌ها، کلاسه‌بندی لایه‌ها در محیط GIS انجام پذیرفت؛ در نهایت با ادغام لایه‌ها به روش هم‌پوشانی شاخص وزن‌دار (Weighted index overlay) براساس وزن‌های به‌دست آمده برای هر لایه، مکان‌یابی برای استقرار ایستگاه‌های دائمی بهینه‌یابی شده است. جزئیات محاسبات و نتایج حاصل در مقاله ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی ایستگاه‌های مرجع دائمی CORS، تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، شبکه کینماتیک آنی (NRTK)، هم‌پوشانی شاخص وزن‌دار (Weighted index overlay).

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) moradi.farzad@ut.ac.ir

۲- استاد تمام دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران ardalan@ut.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران pahlavani@ut.ac.ir

۱- مقدمه

نرم افزار NRTK را اجرا می کند ارسال و نرم افزار NRTK ابهامات ماهواره های مشاهده شده توسط همه ایستگاه های دائم را برطرف می کند و تصحیحات را تولید و به کاربران NRTK ارسال می کند.

کاربران NRTK با استفاده از این تصحیحات خطاهای موجود در داده های تعیین موقعیت سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای را برطرف می کنند. در این روش می توان دقت مکان یابی داده ها را تا سطح سانتی متر افزایش داد. یکی از تفاوت ها میان NRTK و DGPS در دقت آنهاست؛ NRTK دارای دقت بیشتری است.

تفاوت دیگر این دو روش این است که در روش RTK، این داده ها به صورت آنی به گیرنده متحرک فرستاده می شوند و در روش DGPS، این داده ها ذخیره می شوند تا در مراحل بعدی پردازش شوند.

گیرنده یک فرکانس برای DGPS کافی است اما در NRTK گیرنده دو فرکانس بهینه است. در DGPS مبنای اندازه گیری ها فاز کد PRN و در NRTK فاز موج حامل است (Hofmann-Wellenhof, et al, 2012; Baybura, et al, 2019). یک مشکل چالش برانگیز در طراحی NRTK، انتخاب محل بهینه برای نصب ایستگاه های دائم به منظور ارائه بهینه خدمات تعیین موقعیت به روش NRTK است. انتخاب مکان بهینه یکی از مسائل متداول در تصمیم گیری است. در این راستا روش های تصمیم گیری چند معیاره مورد توجه محققین قرار گرفته است.

یکی از این روش ها تحلیل سلسله مراتبی فازی است؛ که با در نظر گرفتن عدم قطعیت در نظرات کارشناسان مشکل عدم قطعیت روش تحلیل سلسله مراتبی را حل می کند (Rietveld, Piet, and Hans Ouwersloot, 1992).

در سال های اخیر مطالعه و اجرای پروژه های مکان یابی به عنوان یکی از فاکتورهای کلیدی در موفقیت و توسعه پایدار پروژه ها و طرح ها مطرح است. اهمیت این پژوهش ها و بررسی ها به حدی است که مطالعات مکان یابی علاوه بر مقیاس محلی و ملی، در سطح بین المللی نیز مورد

سامانه های ماهواره ای ناوبری جهانی (GNSS) دارای خطاهای متعددی هستند؛ از جمله این خطاها می توان به خطای ساعت ماهواره تا ۳۰۰ متر، خطای اطلاعات مداری تا ۳ متر، خطای ساعت گیرنده تا ۱۰۰ متر، شکست امواج در لایه یونسفر تا ۱۵۰ متر و شکست امواج در لایه تروپوسفر تا ۲۰ متر، اشاره کرد.

لذا برای تعیین موقعیت دقیق که مورد نیاز بسیاری از کاربری ها است، نیازمند اصلاح این خطاها هستیم. یکی از روش های معمول در این خصوص تصحیح مختصات تفاضلی است که اصطلاحاً روش DGNSS گفته می شود. در این روش از ایستگاه های مرجعی استفاده می شود که ماهواره ها را رصد کرده و اطلاعات مربوط به تصحیح را محاسبه و ارسال می کند؛ این اطلاعات توسط گیرنده دریافت شده و به این ترتیب موقعیت گیرنده اصلاح می شود. اما یکی از مشکلاتی که در این رابطه وجود دارد کاربردی نمودن داده های حاصل از این روش در حالت آنی است که مستلزم اعمال پردازش های کامپیوتری بر روی آنها و طبیعتاً صرف زمان طولانی است (Seeber, Günter, 2008).

بنابراین راه حلی که امروزه در بسیاری از کشورهای جهان برای حل این مشکلات مورد استفاده قرار می دهند استفاده از چندین ایستگاه مرجع یا به عبارت دیگر ایجاد شبکه ای ملی یا منطقه ای است؛ که اطلاعات RTK را ارسال کرده و در نتیجه تنها با استفاده از یک گیرنده GNSS بتوان به صورت آنی به دقت سانتی متر رسید. به این روش که اصطلاحاً Network RTK گفته می شود ایستگاه مجهول برای تعیین موقعیت می تواند از یک یا چند ایستگاه معلوم (مرجع) موجود استفاده کند (Huang Jinsong, Rui YUAN, Yi Zhang, 2019; Kim, Min-Seo, Tae-Suk .Bae, 2019)

در واقع یک سیستم NRTK از تعدادی ایستگاه مرجع دائم (CORS) با فاصله ۷۰ کیلومتر نسبت به ایستگاه های مجاور استفاده می کند. ایستگاه مرجع دائم به طور مداوم مشاهدات ماهواره ای خود را به یک سرور مرکزی که

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)  
مکان‌یابی ایستگاه‌های شبکه کینماتیک آبی ... / ۲۱

با همکاری شرکت RTCM<sup>۲</sup> اقدام به ایجاد فرمت استاندارد تحت عنوان RTCM نمود؛ و تصحیحات DGPS را در سواحل آمریکا منتشر کرد (Grewal, at al, 2007).

در سال ۲۰۰۰ پس از غیرفعال شدن خطای SA و رسیدن به دقت بهتر از ده متر در شرایط نامناسب و بهتر از ۵ متر در شرایط عادی، کشورها را بر آن داشت تا با راه‌اندازی شبکه‌هایی از ایستگاه‌های DGPS مناطق وسیعی خصوصاً در سواحل دریا را تحت پوشش شبکه NRTK قرار دهند؛ که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان افزایش محدوده تحت پوشش این سیستم در آمریکا و هم‌پوشانی آن با سواحل کانادا را نام برد. کشور کانادا به تنهایی دارای ۱۲۰ ایستگاه در سواحل دریایی خود است (El-Rabbany, Ahmed, 2002). کشور سوئد هم تأسیس ایستگاه دائمی را از سال ۱۹۹۳ شروع و امروزه دارای ۱۵۷ ایستگاه دائمی DGPS است (Hedling, at al, 2001). انجمن امنیت دریایی استرالیا<sup>۳</sup> کار تأسیس ایستگاه‌های DGPS را در سال ۱۹۹۴ با سه ایستگاه شروع کرد.

در آسیا نیز می‌توان به کشور تایوان با ۱۱۲ ایستگاه و هندوستان با ۱۰ ایستگاه اشاره کرد (Lechner, Wolfgang, and Stefan Baumann, 2000). پس از مدتی کشورها اقدام به افزایش دقت شبکه‌های DGPS کرده و با ارسال تصحیحات فاز موج حامل به دقت‌های دسی‌متر هم دست یافتند. سپس انجمن‌های بین‌المللی و شرکت‌های بزرگ اقدام به ایجاد شبکه‌های NRTK نمودند که با ارسال تصحیحات به یک مرکز کنترل و پردازش‌های پیچیده‌تر مناطق وسیعی در سطح قاره‌ای را تحت پوشش قرار می‌داد. به‌عنوان مثال می‌توان به ایجاد چنین سامانه‌ای در شرق آسیا اشاره کرد (Kee, Changdon, and Dongho Shin, 1998).

از شرکت‌های خصوصی که در زمینه فراساحل مشغول به فعالیت در این زمینه هستند می‌توان به شرکت Fugro اشاره کرد که با ۱۶۰ ایستگاه دائمی GPS در سراسر دنیا در این خصوص سرویس جهانی ارائه می‌دهد.

توجه زیاد پژوهشگران قرار گرفته است (Ghodousi Mostafa, Abolghasem Sadeghi-Niaraki, 2019; Ubando, Aristotle T., at al, 2020; Kazemi Fatemeh, Ataallah Bahrami, Jafar Abdolahi Sharif, 2020) اما متأسفانه در زمینه مکان‌یابی ایستگاه‌های دائمی تحقیقی انجام نشده است.

استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینه مدل‌سازی و مکان‌یابی علاوه بر افزایش دقت و صحت، به کاربر اجازه می‌دهد تا تمامی فاکتورهای مؤثر در یک تصمیم‌گیری را مد نظر قرار دهد. با توجه به آمارهای موجود در زمینه داده‌ها، بیش از ۹۰٪ داده‌های علوم مختلف، زمین مرجع هستند.

از این‌رو امروزه سیستم‌های اطلاعات مکانی در مدل‌سازی کاربردهای علوم و فنون مختلف بسیار پرکاربرد است. به‌عبارت دیگر با داشتن بانک اطلاعات زمین مرجع کامل و به‌روز از منابع مختلف امکان مدل‌سازی و مکان‌یابی با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی وجود دارد.

قابلیت‌های بالای سیستم‌های اطلاعات مکانی در مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی منجر به ارائه محیط بسیار کارآمدی برای اجرای مراحل مختلف تحلیل‌هایی از قبیل مکان‌یابی شده و از مزیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌ها این است که در هر مرحله از تصمیم‌گیری با تغییر دادن ارزش (وزن) هر یک از داده‌های ورودی مطابق با نظر کارشناس، در کمترین زمان ممکن تحلیل‌ها به‌روز شده و نتیجه به‌صورت نقشه گرافیکی قابل مشاهده است.

این امر در درک بهتر کارشناسان از تغییراتی که در محیط مورد مطالعه ایجاد می‌شود تأثیر به‌سزایی دارد (Aderoju, O. M., Dias, G A., Gonçalves, A. J., 2020) برای اولین بار در منطقه‌ای از آریزونا در آمریکا در سال ۱۹۷۸ به‌کار گرفته شد. بعد از آن اینستیتو ناوبری آمریکا<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۳

2- Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM)

3- AMSA

1- Institute of Navigation

به روش هم‌پوشانی شاخص وزن‌دار<sup>۱</sup> براساس وزن‌های به‌دست آمده برای هر لایه، مکان‌های مناسب به منظور ایجاد ایستگاه‌های دائمی GNSS به‌دست می‌آید (Melwyn Joshua, R., Palanivel, K., Rajaperumal, R., 2020)

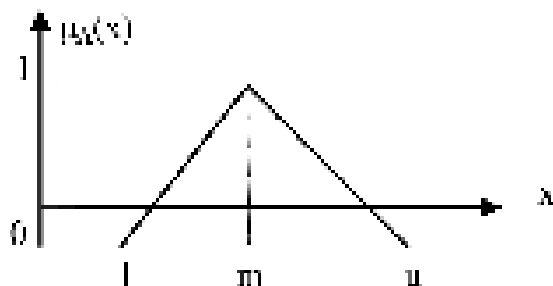
## ۲- تحلیل سلسله مراتبی فازی

زبان طبیعی برای بیان درک یا قضاوت‌های ذهنی نامشخص و مبهم است. برای حل ابهام قضاوت انسانی نظریه مجموعه‌های فازی در فرآیند تصمیم‌گیری معرفی شده است.

تلفیق روش AHP با منطق فازی منجر به لحاظ کردن عدم قطعیت و عدم دقت موجود در مسائل به منظور تطابق بیشتر با واقعیت می‌شود. که نظر پژوهشگرانی مانند یونگ چانگ را در سال ۱۹۹۶ به خود جلب کرده و منجر به ارائه روش تحلیل توسعه<sup>۲</sup> شد.

در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها، از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود. عدد فازی مثلثی توسط عدد حقیقی (l, m, u) تعریف می‌شود (Chang, Da-Yong, 1996).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$



نگاره ۱: نمایش عدد فازی مثلثی

ایستگاه‌های دائمی GPS این شرکت تصحیحات خود را به ۱۰ ماهواره ارسال و به این طریق مناطق وسیعی از جهان را تحت پوشش سرویس خود قرار می‌دهند. در ایران نیز سازمان‌های نقشه‌برداری، جغرافیایی، ثبت اسناد و املاک کشور و شهرداری تهران با پوشش مناطق مختلف، ارائه‌دهنده خدمات DGPS در کشور هستند.

تحقیقاتی که در این زمینه توسط مراکز پژوهشی مختلف انجام شده بسیار است که در اینجا برای نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ماولین تانگ با انجام سه تحقیق جداگانه به بررسی مشکل انتخاب مکان مناسب ایستگاه‌های مرجع تعیین موقعیت دائمی پرداخته و الگوریتم‌هایی برای حل این مشکل ارائه کرده است (Tang, Maolin, 2014; Tang, Maolin, 2012; Tang, Maolin, 2009).

در تحقیقی دیگر نائی و همکاران به ارزیابی ایستگاه‌های مرجع دائمی موجود در نیجریه پرداخته و مدلی شامل ۴۹ ایستگاه مرجع را ارائه کرده‌اند که با ادغام این ۴۹ ایستگاه و ۱۱ ایستگاه موجود به پوشش ۹۶ درصدی نیجریه رسیده‌اند (Naibbi, Ali I., and Samir S. Ibrahim, 2014). در ایران نیز ملک‌زاده و همکاران به توسعه و بهینه‌سازی الگوریتم شبکه تعیین موقعیت کینماتیک آنی پرداختند (ملک‌زاده و دیگران، ۱۳۹۴).

(۱) در تحقیقی دیگر مشهدی حسینعلی و همکاران به طراحی و بهره‌برداری از شبکه تعیین موقعیت آنی کینماتیک تهران پرداختند (مشهدی حسینعلی و دیگران، ۱۳۹۵).

در تحقیق حاضر برخلاف نمونه‌های ذکر شده به حل مشکل مکان‌یابی ایستگاه‌های دائم پرداخته خواهد شد. به این صورت که ابتدا ماتریس مقایسات زوجی برای معیارها و زیرمعیارها تشکیل و توسط ۵ خبره تکمیل شد. سپس براساس وزن‌های به‌دست آمده برای هر یک از زیرلایه‌ها از تجزیه و تحلیل ماتریس‌های مقایسات زوجی با استفاده از کدهای نوشته شده در نرم‌افزار Matlab، کلاسه‌بندی لایه‌ها در محیط ArcGIS انجام پذیرفت و در نهایت با ادغام لایه‌ها

1- Weighted index overlay

2- Extent Analysis

## ۲-۴- محاسبه مقادیر نرمال شده جمع سطری

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \otimes \left[ \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{kj} \right]^{-1} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $a$  اعداد فازی مثلثی داخل ماتریس مقایسه‌های زوجی است. در حقیقت هنگام محاسبه ماتریس  $S$  هر یک از اجزاء اعداد فازی را نظیر به نظیر جمع می‌زنیم و در معکوس فازی مجموع کل ضرب می‌کنیم. (Chang, Da-Yong, 1996)

۲-۵- محاسبه درجه بزرگی  $S_i$  نسبت به  $n-1$  عدد فازی دیگر  
در این مرحله  $S_i$ ها از نظر درجه بزرگی با یکدیگر براساس فرمول زیر مقایسه می‌شوند:

$$V(\tilde{s}_i \geq \tilde{s}_j) = \begin{cases} 1 & m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) + (m_j - l_j)} & l_j \leq u_i, i, j = 1, \dots, n; j \neq i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Where  $\tilde{s}_i = (l_i, m_i, u_i)$  and  $\tilde{s}_j = (l_j, m_j, u_j)$  (4)

مینیمم درجه بزرگی به‌عنوان وزن هر معیار در نظر گرفته می‌شود (Chang, Da-Yong, 1996).

۲-۶- محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی  
در این مرحله کافی است بردار وزن نرمال‌یافته را با محاسبه کمترین مقدار  $v$  های محاسبه شده در مرحله قبل به دست آوریم (Chang, Da-Yong, 1996).

## ۲-۷- محاسبه بردار وزن نهایی

در مرحله آخر بردار وزن به دست آمده از مرحله قبل که نرمال نشده بود را نرمال‌یافته می‌کنیم تا بردار وزن نهایی که هدف محاسبات فازی است را به دست آوریم (Chang, Da-Yong, 1996).

## ۲-۳- نرخ ناسازگاری تحلیل سلسله مراتبی فازی

گوگوس و بوچر (۱۹۹۸) پیشنهاد کرده‌اند که برای بررسی سازگاری دو ماتریس (عدد میانی و حدود عدد فازی) از هر

## ۲-۱- رسم نمودار سلسله مراتبی

در هر تحلیل چندمعیاره‌ای رسم نمودار سلسله مراتبی (درخت تصمیم) یکی از گام‌های اولیه و اساسی است. زیرا پس از ترسیم این نمودار است که ما به روشنی هدف ساختار سلسله مراتب شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها و گزینه‌ها را درمی‌یابیم (Chang, Da-Yong, 1996).

## ۲-۲- تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

در این مرحله لازم است اعداد فازی خود را که برای انجام مقایسه‌های زوجی نیاز است تعریف نمائیم تا خبرگان به استناد آن نسبت به ارائه پاسخ‌های خود اقدام کنند (جدول ۱) (Thomas, Paul G., and Peter C. Doherty, 1980).

جدول ۱: اعداد فازی

کد	عبارات کلامی	عدد فازی	معکوس عدد فازی
۱	اهمیت یکسان	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)
۲	کمی مهم‌تر	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۲/۳, ۱, ۲)
۳	مهم‌تر	(۱/۳, ۲/۳, ۱)	(۱/۲, ۲/۳, ۱)
۴	خیلی مهم‌تر	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۲/۵, ۱/۲, ۲/۳)
۵	کاملاً مهم‌تر	(۲, ۵/۲, ۳)	(۱/۳, ۲/۵, ۱/۲)

## ۲-۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی بر مبنای ترجیحات کاربر

در این مرحله پرسش‌نامه‌ها در اختیار خبرگان قرار گرفته و پاسخ‌ها دریافت می‌شود. بنابراین ماتریس مقایسات زوجی که حاوی اعداد فازی هستند مهیا می‌شود. در صورتی که خبرگان بیش از یک نفر باشند از میانگین هندسی استفاده می‌کنیم (Chang, Da-Yong, 1996).

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (l_{11}, m_{11}, u_{11}) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (l_{11}, l_{11}) & \dots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots & (l_{11}, l_{11}) \end{bmatrix}$$

Where  $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) = \tilde{a}_{ij}^{-1} = (1/u_{ji}, 1/m_{ji}, 1/l_{ji})$

For  $i, j = 1, \dots, n$  and  $i \neq j$  (2)

می‌شود تا در اولویت‌های ارائه شده تجدیدنظر کند (Ying, Xiong, et al, 2007)

#### ۴- پیاده‌سازی روش

با توجه به این‌که برای مکان‌یابی ایستگاه‌های دائمی معیار خاصی وجود ندارد در این تحقیق براساس نظرات کارشناسان ۷ معیار و ۵۵ زیرمعیار در نظر گرفته شد.

جدول ۲: شاخص‌های تصادفی (RI)

اندازه ماتریس	RI <sup>m</sup>	RI <sup>s</sup>
۱	۰	۰
۲	۰	۰
۳	۰/۴۸۹۰	۰/۱۷۹۶
۴	۰/۷۹۳۷	۰/۲۶۲۷
۵	۱/۰۷۲۰	۰/۳۵۹۷
۶	۱/۱۹۹۶	۰/۳۸۱۸
۷	۱/۲۸۷۴	۰/۴۰۹۰
۸	۱/۳۴۱۰	۰/۴۱۶۴
۹	۱/۳۷۹۳	۰/۴۳۴۸
۱۰	۱/۴۰۹۵	۰/۴۴۵۵
۱۱	۱/۴۱۸۱	۰/۴۵۳۶
۱۲	۱/۴۴۶۲	۰/۴۷۷۶
۱۳	۱/۴۵۵۵	۰/۴۶۹۱
۱۴	۱/۴۹۱۳	۰/۴۸۰۴
۱۵	۱/۴۹۸۶	۰/۴۸۸۰

این معیارها عبارت‌اند از: (۱) نزدیکی به مناطق مسکونی و امکانات شهری، (۲) شیب، (۳) فاصله از گسل‌ها، (۴) فاصله از راه‌های دسترسی، (۵) جنس خاک، (۶) فاصله از رودخانه‌ها و (۷) فاصله از خطوط راه‌آهن. پس از آن لایه‌های اطلاعات مکانی ذکر شده به سیستم تصویر مخروطی لامبرت منتقل و محدود به منطقه مطالعه (سواحل دریای عمان و خلیج فارس) شدند.

ماتریس فازی مشتق و سپس سازگاری هر ماتریس براساس روش ساعتی محاسبه شود. مراحل محاسبه نرخ سازگاری ماتریس‌های فازی مقایسات زوجی به قرار زیر است:

**گام اول:** در مرحله اول ماتریس مثلثی فازی را به دو ماتریس تقسیم می‌کنیم. ماتریس اول از اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی تشکیل می‌شود (Am) و ماتریس دوم شامل میانگین هندسی حدود بالا و پایین اعداد مثلثی است. (Ag)

**گام دوم:** بردار وزن هر ماتریس با استفاده از روش ساعتی محاسبه شود. (Wm, Wg)

**گام سوم:** بزرگ‌ترین مقدار ویژه برای هر ماتریس محاسبه شود.

$$\lambda_{\max\_Am} = (1/n) * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Am(i,j) * (Wm(j)/Wm(i))) \quad (5)$$

$$\lambda_{\max\_Ag} = (1/n) * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Ag(i,j) * (Wg(j)/Wg(i))) \quad (6)$$

**گام چهارم:** شاخص‌های سازگاری برای هر ماتریس محاسبه شود.

$$CI_m = (\lambda_{\max\_Am} - n) / (n-1) \quad (7)$$

$$CI_g = (\lambda_{\max\_Ag} - n) / (n-1) \quad (8)$$

**گام آخر:** نرخ ناسازگاری هر شاخص بر مقدار شاخص تصادفی که توسط گوگوس و بوچر در سال ۱۹۹۸ برای ماتریس‌های با ابعاد مختلف محاسبه شد به دست می‌آید (جدول ۲) (Gogus, Ozerk, and Thomas O. Boucher, 1998).

$$CR_m = CI_m / RI_m \quad (9)$$

$$CR_g = CI_g / RI_g \quad (10)$$

در صورتی‌که هر دوی این شاخص‌های محاسبه‌شده کمتر از ۰/۱ بودند ماتریس فازی سازگار است. در صورتی‌که هر دو بیشتر از ۰/۱ باشند از تصمیم‌گیرنده تقاضا

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)  
مکان‌یابی ایستگاه‌های شبکه کینماتیک آبی ... / ۲۵

مختلف در بازه‌ی [۰/۶, ۰/۶-] باشد. لذا همبستگی لایه‌های مختلف براساس فرمول ۱۱ محاسبه شده و در جدول ۳ ارائه شده است.

$$\text{corr}(x,y) = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (11)$$

در فرمول بالا  $\text{corr}(x,y)$  به معنی همبستگی بین دو متغیر تصادفی  $x$  و  $y$ ،  $\text{cov}(x,y)$  به معنی کواریانس بین دو متغیر تصادفی  $x$  و  $y$ ،  $E$  عملگر امید ریاضی و  $\sigma$  نماد انحراف معیار است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌کنید، همبستگی لایه‌های مختلف در بازه ذکر شده قرار دارد لذا می‌توانیم از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بهره ببریم.

#### ۴-۲-۱- رسم نمودار سلسله مراتبی

براساس معیارهای تعریف شده در مساله نمودار سلسله مراتبی به‌صورت ارائه شده در نگاره ۳ ترسیم گردید (نگاره ۳).

#### ۴-۲-۲- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی بر مبنای ترجیحات کاربر

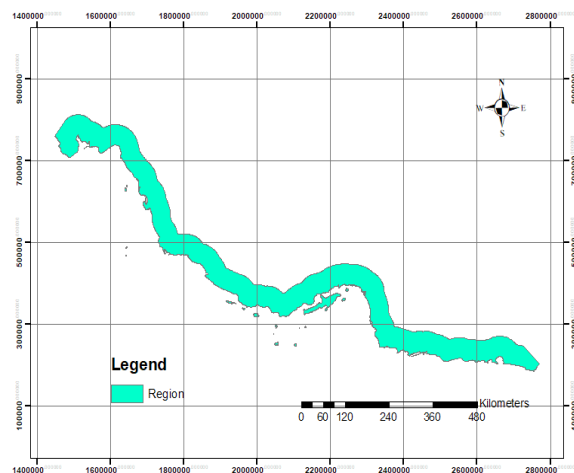
به‌عنوان نمونه ماتریس مقایسات زوجی معیارهای یکی از خبرگان در جدول ۴ نمایش داده شده است (جدول ۴).

#### ۴-۲-۳- محاسبه بردار وزن نهایی

بردار وزن لایه‌ها و زیرلایه‌های اطلاعاتی مختلف برای هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی با استفاده از کدهای نوشته شده در نرم‌افزار Matlab محاسبه شد. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر از نظر ۵ کارشناس خبره در این امر استفاده شده است و در نهایت با استفاده از میانگین هندسی وزن نهایی هر لایه و زیرلایه به‌صورت جدول ۵ به‌دست آمد (جدول ۵).

#### ۴-۱- منطقه مورد مطالعه

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، فقدان سامانه‌ای که تأمین‌کننده تعیین موقعیت دقیق در مناطق ساحلی کشور برای پاسخگویی به نیازهای ناوبری و اکتشاف و استخراج منابع دریایی و میادین نفتی باشد ضرورت انجام این مطالعه می‌باشد. چرا که ایران دارای مرز آبی طولانی در جنوب و شمال بوده و در برنامه‌های توسعه کشور، اقتصاد دریا محور در اولویت قرار گرفته و این توسعه نیازمند مهیا شدن زیرساخت‌های لازم بوده که در صدر آن سامانه تعیین موقعیت آبی دقیق قرار دارد. لذا طراحی موقعیت ایستگاه‌های دائمی GNSS در سواحل جنوبی کشور محدوده مورد مطالعه این تحقیق قرار گرفت (نگاره ۲).



نگاره ۲: منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۲-۴- محاسبه وزن هر لایه و زیرلایه براساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

در این مرحله می‌بایست وزن هر لایه و زیرلایه را براساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به دست آوریم. با توجه به این که زمانی می‌توانیم از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده کنیم که همبستگی<sup>۱</sup> بین لایه‌های

1- correlation





فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)  
مکان‌یابی ایستگاه‌های شبکه کینماتیک آبی ... / ۲۷

فاصله از راه‌های دسترسی	۰ تا ۰/۲ کیلومتر	۲۸
	۰/۲ تا ۰/۵ کیلومتر	۲۵
	۰/۵ تا ۱ کیلومتر	۲۴
	۱ تا ۵ کیلومتر	۱۷
	۵ تا ۲۰ کیلومتر	۶
	۲۰ تا ۵۰ کیلومتر	۰
	۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر	۰
	۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر	۰
	۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر	۰
فاصله تا رودخانه‌ها	۰ تا ۰/۲ کیلومتر	۰
	۰/۲ تا ۰/۵ کیلومتر	۰
	۰/۵ تا ۱ کیلومتر	۱
	۱ تا ۵ کیلومتر	۹
	۵ تا ۲۰ کیلومتر	۱۶
	۲۰ تا ۵۰ کیلومتر	۱۸
	۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر	۱۸
	۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر	۱۸
	۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر	۲۰
فاصله از گسل	۰ تا ۱۰ کیلومتر	۰
	۱۰ تا ۱۵ کیلومتر	۴
	۱۵ تا ۲۰ کیلومتر	۱۸
	۲۰ تا ۱۰۰ کیلومتر	۳۷
	۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر	۴۱
شیب	۰ تا ۴ درجه	۲۳
	۴ تا ۸ درجه	۲۲
	۸ تا ۱۲ درجه	۲۰
	۱۲ تا ۱۶ درجه	۱۶
	۱۶ تا ۲۰ درجه	۱۳
	۲۰ تا ۳۰ درجه	۶
	۳۰ تا ۴۵ درجه	۰
	۴۵ تا ۶۰ درجه	۰
	۶۰ تا ۹۰ درجه	۰
جنس خاک	بستر مقاوم	۵۰
	گلی و شنی	۵
	خاک رس	۱۶
	گچی و باتلاقی	۰
	سنگ آهک، سنگ	۲۹
	دولومیت و نمکی	۰

#### ۴-۲-۴- بررسی سازگاری

مراحل محاسبه نرخ ناسازگاری طبق بخش ۳ انجام شد و نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به این‌که هر دو معیار سازگاری کوچک‌تر از ۰/۱ بوده است پس ماتریس فازی سازگار است و می‌توانیم از وزن‌های به‌دست آمده در مرحله قبل استفاده کنیم.

جدول ۵: وزن لایه‌ها

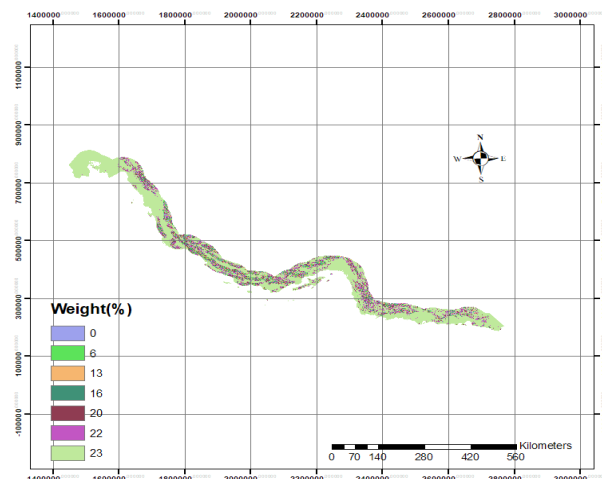
وزن	لایه
۰/۲۱۶۹	فاصله از مناطق مسکونی
۰/۱۶۸۶	شیب
۰/۱۳۹۱	فاصله از گسل
۰/۱۵۶۷	فاصله از راه‌های دسترسی
۰/۰۵۷۶	فاصله از خطوط راه‌آهن
۰/۱۴۶۶	فاصله از رودخانه
۰/۱۱۴۱	جنس خاک

جدول ۶: وزن زیرلایه‌ها

وزن (%)	زیرلایه	لایه
۱۹	۰ تا ۰/۲ کیلومتر	فاصله از خطوط راه‌آهن
۱۹	۰/۲ تا ۰/۵ کیلومتر	
۱۹	۰/۵ تا ۱ کیلومتر	
۱۹	۱ تا ۵ کیلومتر	
۱۴	۵ تا ۲۰ کیلومتر	
۱۰	۲۰ تا ۵۰ کیلومتر	
۰	۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر	
۰	۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر	
۰	۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر	
۵۲	۰ تا ۵ کیلومتر	فاصله از مناطق مسکونی
۴۴	۵ تا ۱۰ کیلومتر	
۴	۱۰ تا ۱۵ کیلومتر	
۰	۱۵ تا ۲۰ کیلومتر	
۰	۲۰ تا ۳۰ کیلومتر	
۰	۳۰ تا ۵۰ کیلومتر	
۰	۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر	
۰	۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر	
۰	۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر	

#### ۴-۳-۲- کلاسه‌بندی لایه شیب

با توجه به استاندارد UNAVCO، ایستگاه‌های دائمی GNSS باید در مناطقی با شیب پایدار، در واقع مناطق با شیب کمتر از ۲۰ درجه احداث شوند. پس از تعیین شیب منطقه به هر سلول شبکه در منطقه با توجه به شیب، وزن به‌دست آمده از نظرات خبرگان به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی اختصاص داده می‌شود. در واقع شیب را به بازه‌هایی تقسیم کرده و به هر بازه وزنی اختصاص داده می‌شود به طوری که هرچه این شیب کمتر باشد، وزن بیشتری تخصیص می‌یابد (نگاره ۵).



نگاره ۵: کلاسه‌بندی لایه شیب

#### ۴-۳-۳- کلاسه‌بندی لایه فاصله از گسل‌ها

یکی دیگر از معیارهای مهم در مکان‌یابی ایستگاه‌های دائمی، گسل است؛ براساس این وزن هرچه نقطه از گسل دورتر باشد برای احداث ایستگاه مناسب‌تر بوده و عدد اختصاص داده شده به ۱۰۰ نزدیک‌تر است (نگاره ۶).

#### ۴-۳-۴- کلاسه‌بندی لایه فاصله از راه‌های دسترسی

یکی از معیارهای انتخاب محل احداث ایستگاه دائمی وجود راه دسترسی به آن ایستگاه است. در واقع هرچه یک ایستگاه به راه‌های موجود در منطقه نزدیک‌تر باشد دسترسی

#### جدول ۷: محاسبه معیارهای سازگاری

معیار	CRm	CRg
فاصله از خطوط راه‌آهن	۰/۰۰۴۵	۰/۰۱۵۷
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۳۰
فاصله از راه‌های دسترسی	۰/۰۲۱۳	۰/۰۶۳۲
فاصله تا رودخانه‌ها	۰/۰۱۳۱	۰/۰۳۹۸
فاصله از گسل	۰/۰۳۰۳	۰/۰۱۳۴
شیب	۰/۰۱۸۸	۰/۰۵۵۷
جنس خاک	۰/۰۳۲۵	۰/۰۸۶۴
کلی	۰/۰۱۲۵	۰/۰۵۳۰

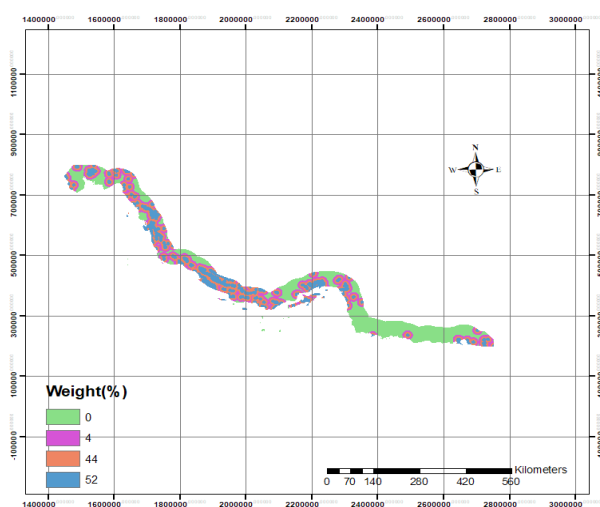
#### ۴-۳-۳- کلاسه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی مختلف

در این مرحله با توجه به وزن‌های به‌دست آمده از مرحله قبل برای هر یک از زیرلایه‌ها، کلاسه‌بندی لایه‌ها انجام می‌گیرد.

#### ۴-۳-۴-۱- کلاسه‌بندی لایه نزدیکی به مناطق مسکونی و

#### امکانات شهری

یکی از معیارهای مهم در تعیین موقعیت مناسب برای احداث ایستگاه‌ها نزدیکی آن‌ها به مناطق شهری است، چرا که این مناطق کانون‌های توسعه آتی کشور بوده و لذا دارای اولویت دریافت زیر ساخت‌های توسعه‌ای هستند. بافرهای نشان داده شده در (نگاره ۸) مؤید این نیاز است.

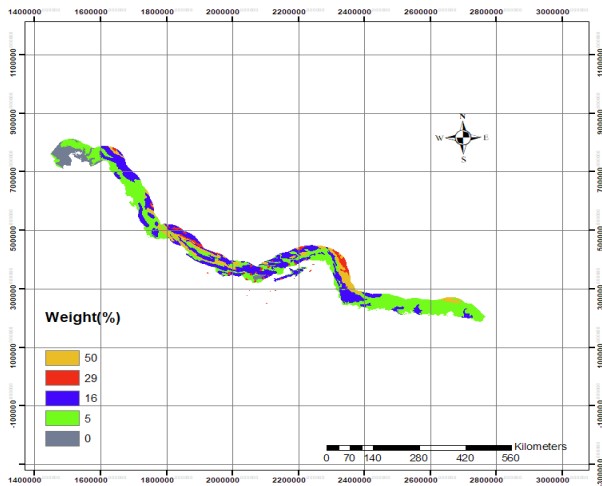


نگاره ۸: کلاسه‌بندی لایه نزدیکی به مناطق مسکونی و امکانات شهری

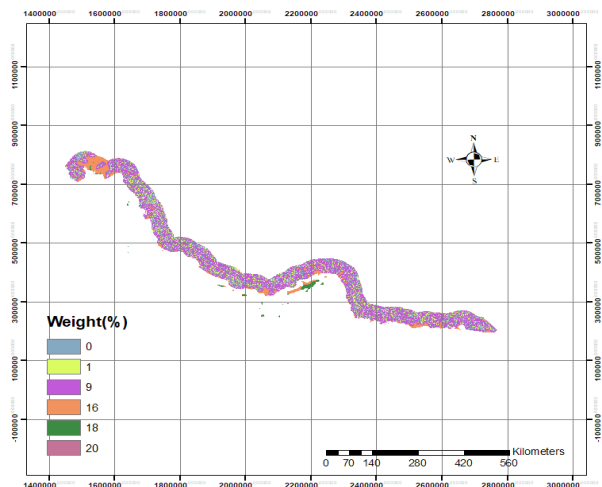
احداث ایستگاه باید دارای سنگ بستری با بیشینه پایداری و ثبات جهت عدم تغییر موقعیت مکانی ایستگاه در شرایط آب‌وهوایی مختلف با گذشت زمان باشد (نگاره ۸).

#### ۴-۳-۶- کلاسه‌بندی لایه فاصله از رودخانه‌ها

یکی دیگر از معیارهای مهم در مکان‌یابی ایجاد ایستگاه‌های دائمی GNSS فاصله از رودخانه‌ها است. براین اساس هرچقدر فاصله از رودخانه بیشتر باشد وزن آن نیز بیشتر است (نگاره ۹).

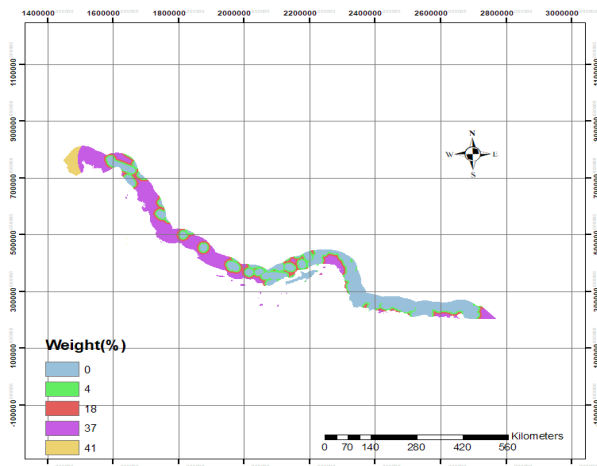


نگاره ۹: کلاسه‌بندی لایه جنس خاک

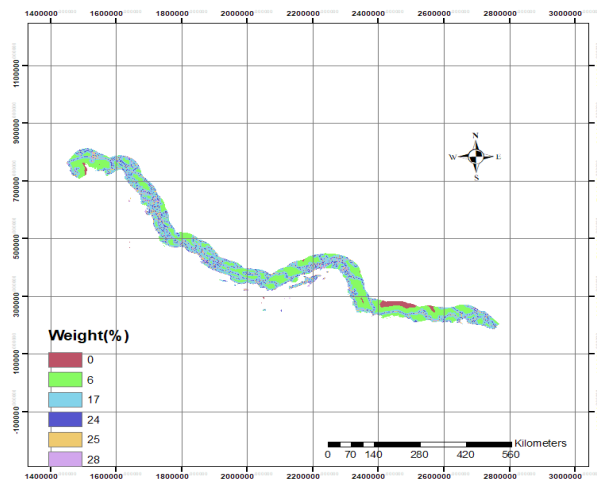


نگاره ۸: کلاسه‌بندی لایه جنس خاک

به آن ایستگاه مناسب‌تر بوده و نگهداری از ایستگاه و بازدید از آن راحت‌تر صورت می‌پذیرد. بر این اساس فاصله وزنی بین ۰ و ۱۰۰ اختصاص داده می‌شود که نشان‌دهنده میزان مناسب بودن آن سلول شبکه برای احداث ایستگاه دائمی GNSS است (نگاره ۷).



نگاره ۷: کلاسه‌بندی فاصله از گسل‌ها

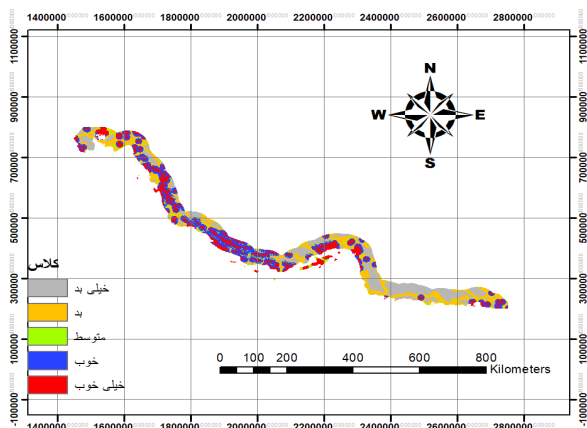


نگاره ۶: کلاسه‌بندی فاصله از راه‌های دسترسی

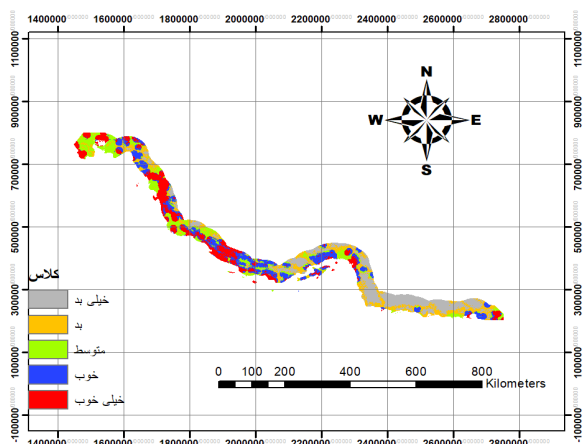
#### ۴-۳-۵- کلاسه‌بندی لایه جنس خاک

یکی از معیارهای مهم دیگر در تعیین محل احداث ایستگاه‌های دائمی GNSS، تعیین جنس بستر مناسب برای احداث ایستگاه است که باید فاقد هرگونه شکستگی، گسیختگی و نواحی ناپیوسته باشد. در واقع محل مناسب

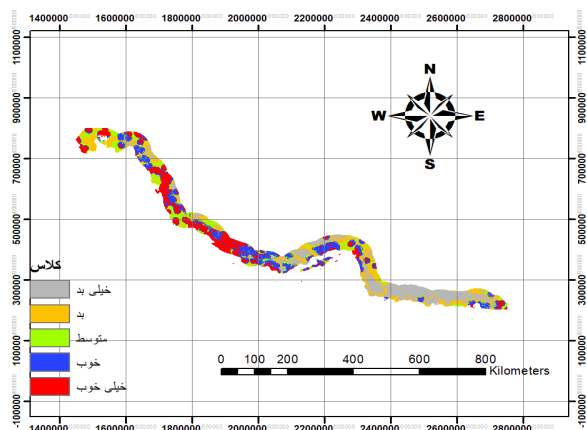
بد و خیلی بد تقسیم شده است که کلاس‌های خیلی خوب و خوب را می‌توان به‌عنوان مکان‌های بهینه برای ایجاد ایستگاه‌های دائمی GNSS در نظر گرفت.



نگاره ۱۱: کلاسه‌بندی مکان‌های بهینه براساس ۴ معیار اول

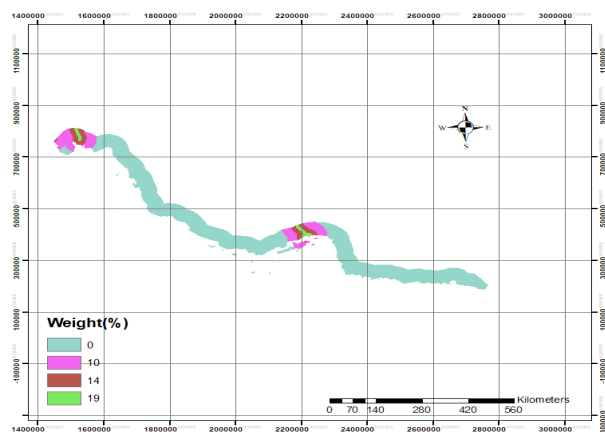


نگاره ۱۲: کلاسه‌بندی مکان‌های بهینه براساس ۵ معیار اول



نگاره ۱۳: کلاسه‌بندی مکان‌های بهینه براساس ۶ معیار اول

۴-۳-۷- کلاسه‌بندی لایه فاصله از خطوط راه‌آهن یکی از معیارهای انتخاب محل احداث ایستگاه دائمی GNSS فاصله از خطوط راه‌آهن است. در واقع هرچه یک ایستگاه به خطوط راه‌آهن موجود در منطقه نزدیک‌تر باشد دسترسی به آن ایستگاه مناسب‌تر بوده و نگهداری از ایستگاه و بازدید از آن راحت‌تر صورت می‌پذیرد (نگاره ۱۰).



نگاره ۱۰: کلاسه‌بندی فاصله از خطوط راه‌آهن

#### ۴-۴- ادغام لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله لایه‌های اطلاعاتی مختلف را در نرم‌افزار ArcGIS و به روش هم‌پوشانی شاخص وزن‌دار، طبق وزن‌های محاسبه شده در جدول ۵ ادغام کرده و مکان‌های بهینه برای ایجاد ایستگاه‌های دائمی GNSS را استخراج کردیم. برای نمایش بهتر از میزان تأثیرگذاری عوامل در شکل نهایی مکان‌یابی، ابتدا فقط ۴ معیار قوی‌تر از لحاظ میزان وزن از بین ۷ معیار را انتخاب کردیم و ادغام لایه‌ها را براساس آن‌ها انجام دادیم. در مرحله بعد معیار پنجم را اضافه کرده و این بار با ادغام ۵ لایه مکان‌یابی انجام گرفت. و این کار برای ۶ و ۷ لایه نیز انجام گرفت بنابراین ۴ نقشه نهایی مکان‌یابی به دست آمد. همان‌طور که از نگاره‌ها پیداست نقشه حاصل از این ادغام‌ها با یکدیگر متفاوت است بنابراین معیارهای انتخاب شده در این تحقیق تأثیر به‌سزایی در مکان‌یابی انجام گرفته دارند. همان‌طور که در نگاره ۱۴ پیداست کل منطقه به ۵ کلاس خیلی خوب، خوب، متوسط،

است که کلاس‌های خیلی خوب و خوب را که مورد نظر کارشناسان هستند به‌عنوان مکان‌های بهینه برای ایجاد ایستگاه‌های دائمی GNSS در نظر گرفتیم.

#### ۶- پیشنهاد آبی

همان‌طور که در نگاره ۳ نشان داده شد ۷ معیار (۱) نزدیکی به مناطق مسکونی و امکانات شهری، (۲) شیب، (۳) فاصله از گسل‌ها، (۴) فاصله از راه‌های دسترسی، (۵) جنس خاک، (۶) فاصله از رودخانه‌ها و (۷) فاصله از خطوط راه‌آهن، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از تولید و اضافه کردن نقشه خطرپذیری سیل و نقشه خطرپذیری فرسایش خاک که خود نیاز به تحقیقات بسیار جامع دارد می‌توان به بهبود مکان‌یابی ارائه شده در این تحقیق پرداخت.

#### تقدیر و تشکر

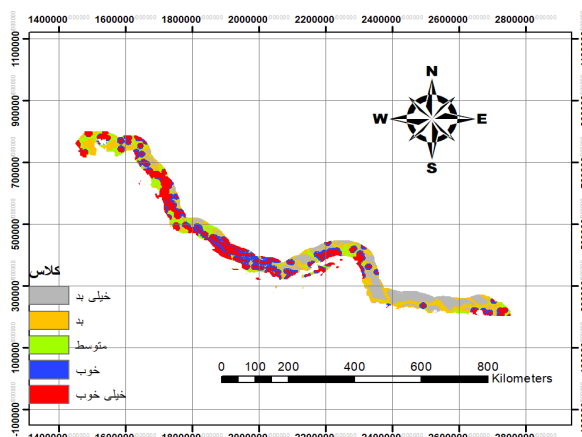
از زحمات و تلاش‌های سازمان جغرافیایی و خصوصاً آقای مهندس طایفی در پیشبرد این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

#### ۷- منابع و مآخذ

- ۱- مشهدی حسینی، خوش‌منش؛ مسعود، مصطفی (۲۰۱۶)، شبکه تعیین موقعیت آبی کینماتیک تهران، از طراحی تا بهره‌برداری، نشریه علمی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۱۶(۱)، ۲۷۵-۲۹۱.
- ۲- ملک‌زاده، اردلان (۱۳۹۴)، توسعه و بهینه‌سازی الگوریتم شبکه تعیین موقعیت کینماتیک آبی (NRTK)، عسگری، جمال، دانشگاه اصفهان، گروه مهندسی نقشه‌برداری.

3- Aderoju, O. M., Dias, G. A., & Gonçalves, A. J. (2020). A GIS-based analysis for sanitary landfill sites in Abuja, Nigeria. *Environment, Development and Sustainability*, 22(1), 551-574.

4- Baybura, T., Tiryakioğlu, İ., Uğur, M. A., Solak, H. İ., & Şafak, Ş. (2019). Examining the Accuracy of Network



نگاره ۱۴: کلاسه‌بندی مکان‌های بهینه براساس ۷ معیار

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله نتایج حاصل از مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های دائمی GNSS ارائه شد که جوابگوی نیاز تعیین موقعیت دقیق در مناطق ساحلی کشور برای کاربری‌های مانند ناوبری و اکتشاف و استخراج منابع دریایی و میادین نفتی باشد. با انتخاب سواحل جنوبی کشور به‌عنوان منطقه مطالعه، با نظر خبرگان در این حیطه ۷ معیار، نزدیکی به مناطق شهری و امکانات رفاهی، شیب، فاصله از گسل، فاصله از راه‌های دسترسی، جنس خاک، فاصله از رودخانه‌ها و فاصله از خطوط راه‌آهن، برای این امر در نظر قرار گرفت. ماتریس مقایسات زوجی برای این معیارها و زیرمعیارهای ذکر شده تشکیل و از ۵ کارشناس خبره نظرخواهی شد. نظرات کارشناسی با استفاده از کدهای نوشته شده در نرم‌افزار Matlab به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تجزیه و تحلیل شده و وزن هر معیار و زیر معیار حاصل گردید. سپس این وزن‌ها با روش میانگین هندسی ادغام شده و وزن نهایی هر لایه و زیرلایه مشخص شد.

با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS این وزن‌ها به لایه‌ها و زیرلایه‌های مختلف اعمال و نهایتاً مکان‌های بهینه برای ایجاد ایستگاه‌های دائمی GNSS طبق نگاره ۱۴ به ۵ کلاس خیلی خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد تقسیم شده

Mineral Deposits, Southern Kerala Coast, India.

18- Naibbi, A. I., & Ibrahim, S. S. (2014). An assessment of the existing continuously operating reference stations (CORS) in Nigeria: an exploration using geographical information system (GIS). *American Journal of Geographic Information Systems*, 3(4), 147-157.

19- Rietveld, P., & Ouwersloot, H. (1992). Ordinal data in multicriteria decision making, a stochastic dominance approach to siting nuclear power plants. *European journal of operational research*, 56(2), 249-262.

20- Seeber, G. (2008). *Satellite geodesy: foundations, methods, and applications*. Walter de Gruyter.

21- Snay, R. A., & Soler, T. (2008). Continuously operating reference station (CORS): history, applications, and future enhancements. *Journal of Surveying Engineering*, 134(4), 95-104.

22- Tang, M. (2009). QoS-aware reference station placement for regional network RTK. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2(01), 44.

23- Tang, M. (2012, June). Evolutionary placement of continuously operating reference stations of network real-time kinematic. In *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (pp. 1-8). IEEE.

24- Tang, M. (2014). A memetic algorithm for the location-based continuously operating reference stations placement problem in network real-time kinematic. *IEEE transactions on cybernetics*, 45(10), 2214-2223.

25- Thomas, P. G., & Doherty, P. C. (1980). *The Analytic Hierarchy. In Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill.

26- Ubando, A. T., Felix, C. B., Gue, I. H. V., Promentilla, M. A. B., & Culaba, A. B. (2020). A fuzzy analytic hierarchy process for the site selection of the Philippine algal industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(1), 171-185.

27- Ying, X., Zeng, G. M., Chen, G. Q., Tang, L., Wang, K. L., & Huang, D. Y. (2007). Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—a case study of Hunan Province, China. *Ecological modelling*, 209(2-4), 97-109.

RTK and Long Base RTK Methods with Repetitive Measurements. *Journal of Sensors*, 2019.

5- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3), 649-655.

6- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: the global positioning system*. Artech house.

7- Ghodousi, M., & Sadeghi-Niaraki, A. (2019). Site Selection of the Public Libraries of Bojnourd City in Iran Using FAHP. *Research on Information Science and Public Libraries*, 25(2), 257-290.

8- Gogus, O., & Boucher, T. O. (1998). Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(1), 133-144.

9- Grewal, M. S., Weill, L. R., & Andrews, A. P. (2007). *Global positioning systems, inertial navigation, and integration*. John Wiley & Sons.

10- Hedling, G., Jonsson, B., Lilje, C., & Lilje, M. (2001, May). SWEPOS-The Swedish Network of Permanent GPS Reference Station (Status February 2001). In *FIG Working Week* (pp. 6-11).

11- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2012). *Global positioning system: theory and practice*. Springer Science & Business Media.

12- Huang, J., YUan, R., & Zhang, Y. (2019). U.S. Patent Application No. 16/263,772.

13- Kazemi, F., Bahrami, A., & Sharif, J. A. (2020). Mineral processing plant site selection using integrated fuzzy cognitive map and fuzzy analytical hierarchy process approach: A case study of gilsonite mines in Iran. *Minerals Engineering*, 147, 106143.

14- Kee, C., & Shin, D. (1998). Performance Analysis of Wide Area Differential GPS (Wadgps) in East-Asia. *IFAC Proceedings Volumes*, 31(21), 311-316.

15- Kim, M. S., & Bae, T. S. (2019). Ubiquitous Positioning using State Space Representation (SSR) of Network-RTK Correction. *AGUFM*, 2019, G23B-0756.

16- Lechner, W., & Baumann, S. (2000). Global navigation satellite systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(1-2), 67-85.

17- Melwyn Joshua, R., Palanivel, K., & Rajaperumal, R. GIS Based Index Overlay Method in Targeting Heavy