



Examining the Geomorphological Factors Affecting the Optimal Location of Military Bases Using Remote Sensing Data in GIS Environment (Case Study: Khalkhal Township, Ardabil Province)¹

AmirHesam Pasban¹* Mousa Abedini^{*2}

1. Ph.D Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received Date: 02 December 2024 Accepted Date: 25 March 2025

Abstract

Background and Objective: The optimal location of military bases is one of the major challenges in the planning and development of defense infrastructure. Selecting an appropriate site for these facilities requires a thorough assessment of various environmental, strategic, and social factors to ensure security while minimizing negative impacts on natural resources and communities.

Methodology: In this study, the optimal location of military bases in Khalkhal Township was determined using remote sensing data and the Analytic Network Process (ANP) model within a GIS environment. For this purpose, 12 effective variables were considered, including distance from rivers, geology, elevation, slope, slope direction, land use, vegetation cover, distance from faults, distance from roads, distance from villages, distance from cities, and soil type. The required data were extracted from various sources, such as ASTER sensor images, GLC-FCS30D database, Sentinel-2 satellite images, and geological maps. In the ANP process, criteria were initially classified into two clusters: natural and human-made, and then, pairwise comparisons were performed using Super Decisions software to determine the relative weights of the criteria. Subsequently, the initial, weighted, and final supermatrices were formed to determine the final weight of the criteria.

Findings and Conclusion: The results indicated that areas with medium vegetation cover, slopes less than 10 degrees, brown steppe soils, and barren land are more favorable for the establishment of military bases. Furthermore, appropriate distances from faults, rivers, and human settlements were considered as key factors in decision-making. Analysis of elevation, slope, slope direction, vegetation cover, and land use maps revealed that the central and eastern regions of the township, due to their convenient access to infrastructure and stable environmental conditions, are the best options for establishing military bases. The results of this study can contribute to the optimization of military base location by considering strategic, environmental, and security criteria. This would enhance the efficiency of military operations, improve crisis management, reduce infrastructure costs, and decrease vulnerability to natural disasters.

Key words: Optimal Location, Analytic Network Process, Sentinel, RS, Khalkhal.

¹ This article is extracted from the elite research project titled "Survey and optimal location of military barracks using remote sensing data in a GIS environment (Case study: Ardabil Province)" conducted at the University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Co-ordinator: University of Mohaghegh Ardabili Project, Supervisor: Mousa Abedini, Elite Soldier: AmirHesam Pasban.

* Corresponding Author Email: Abedini@uma.ac.ir

Cite this article: Pasban, A. and Abedini, M. (2026). Examining the Geomorphological Factors Affecting the Optimal Location of Military Bases Using Remote Sensing Data in GIS Environment (Case Study: Khalkhal Township, Ardabil Province). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(4), 51-66.



بررسی عوامل موثر ژئومورفولوژیکی در مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان خلخال، استان اردبیل)^۱

امیر حسام پاسبان^۱، موسی عابدینی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵

چکیده

زمینه و هدف: مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی یکی از چالش‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه زیرساخت‌های دفاعی است. انتخاب محل مناسب برای این تأسیسات نیازمند ارزیابی دقیق از عوامل مختلف محیطی، استراتژیک و اجتماعی است تا علاوه بر تأمین امنیت، تأثیرات منفی بر منابع طبیعی و جامعه کاهش یابد. بدین منظور در این پژوهش، مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی در شهرستان خلخال با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در محیط GIS انجام شد.

روش بررسی: برای این منظور، ۱۲ متغیر مؤثر شامل فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از شهر و جنس خاک در نظر گرفته شد. داده‌های مورد نیاز از منابع مختلف نظیر تصاویر سنجنده ASTER پایگاه داده GLC-FCS30D، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و نقشه‌های زمین‌شناسی استخراج شدند. در فرایند ANP، ابتدا معیارها در دو خوشه طبیعی و انسانی دسته‌بندی شده و سپس با انجام مقایسات زوجی در نرم‌افزار Super Decisions وزن نسبی معیارها تعیین گردید. در ادامه، سوپرماتریس اولیه، وزنی و نهایی تشکیل شد تا وزن نهایی معیارها مشخص شود.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که مناطق با پوشش گیاهی متوسط، شیب کم‌تر از ۱۰ درجه، خاک‌های استپی قهوه‌ای و زمین‌های بایر، گزینه‌های مطلوب‌تری برای استقرار پادگان‌ها محسوب می‌شوند. همچنین، فاصله مناسب از گسل‌ها، رودخانه‌ها و سکونتگاه‌های انسانی به‌عنوان عوامل کلیدی در تصمیم‌گیری لحاظ شدند. تحلیل نقشه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی نشان داد که نواحی مرکزی و شرقی شهرستان، به‌دلیل دسترسی مناسب به زیرساخت‌ها و شرایط محیطی پایدار، بهترین گزینه برای احداث پادگان‌های نظامی هستند. نتایج این مطالعه می‌تواند به بهینه‌سازی مکان‌یابی پادگان‌های نظامی با در نظر گرفتن معیارهای استراتژیک، محیط‌زیستی و امنیتی کمک کند. این امر موجب افزایش کارایی عملیات نظامی، بهبود مدیریت بحران، کاهش هزینه‌های زیرساختی و کاهش آسیب‌پذیری در برابر بلایای طبیعی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی بهینه، فرایند تحلیل شبکه‌ای، سنتینل، RS، خلخال.

^۱ این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی نخبان تحت عنوان بررسی و مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در محیط GIS (مطالعه موردی: استان اردبیل) در دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران انجام شده است. کارفرما: دانشگاه محقق اردبیلی، ناظر طرح: موسی عابدینی، سرباز نخبه آقای امیرحسام پاسبان.

* نویسنده مسئول : Abedini@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: پاسبان، امیرحسام و عابدینی، موسی. (۱۴۰۴). بررسی عوامل موثر ژئومورفولوژیکی در مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان خلخال، استان اردبیل). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۴)، ۵۱-۶۶.

مقدمه و بیان مسأله

استقرار بهینه پایگاه‌های نظامی، با هدف مقابله مؤثر با تهدیدات نظامی و امنیتی، نیازمند تحلیلی جامع از انواع تهدیدات، شناسایی دقیق منابع و منشأ آن‌ها، و در نهایت، ارائه راهکارهای مبتنی بر ملاحظات نظامی و دفاعی در فرآیند مکان‌یابی است (Jensen, 2018). مکان‌یابی، به عنوان یکی از ارکان کلیدی آمایش سرزمین، فرآیندی است که از طریق آن، با در نظر گرفتن شرایط و معیارهای مشخص، و با تکیه بر منابع و امکانات موجود، بهترین مکان برای کاربری‌های گوناگون تعیین می‌شود. این فرآیند، در واقع، تحلیل همزمان داده‌های فضایی و اطلاعات توصیفی است، به منظور یافتن یک یا چند موقعیت مکانی با ویژگی‌های مطلوب و متناسب با نیازهای کاربر (پاشازاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ Yang et al., 2018).

در فرآیند مکان‌یابی پایگاه‌های نظامی، علاوه بر تهدیدات نظامی، باید به عوامل دیگری مانند شرایط جغرافیایی، دسترسی به منابع، و ملاحظات زیست‌محیطی نیز توجه کرد (Sennaroglu & Celebi, 2018). استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند در تحلیل داده‌های فضایی و تصمیم‌گیری دقیق‌تر در فرآیند مکان‌یابی بسیار مؤثر باشد (حیدری و طاهری، ۱۴۰۰).

پدافند غیر عامل، یکی از موارد ضروری در مکان‌یابی مراکز نظامی می‌باشد. مکان‌یابی پایگاه‌های نظامی یک فرآیند پیچیده و چندوجهی است که نیازمند همکاری متخصصان حوزه‌های مختلف از جمله نظامی، جغرافیایی، و امنیتی است. در این راستا، توجه به عواملی همچون نوع تهدیدات، فاصله از مراکز جمعیتی، دسترسی به شبکه‌های حمل‌ونقل، و همچنین ملاحظات زیست‌محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است (کیخایی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، استفاده از فن‌آوری‌های نوین مانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور، می‌تواند در تحلیل دقیق‌تر داده‌های فضایی و تصمیم‌گیری بهتر در فرآیند مکان‌یابی مؤثر باشد. علاوه بر این، در نظر گرفتن ملاحظات پدافند غیرعامل، به منظور کاهش آسیب‌پذیری پایگاه‌های نظامی در برابر حملات احتمالی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مکان‌یابی پایگاه‌های نظامی، فرآیندی پویا و مستمر است که نیازمند بازنگری و به‌روزرسانی مداوم، با توجه به تغییرات در تهدیدات و شرایط محیطی است. در نهایت، هدف از مکان‌یابی بهینه پایگاه‌های نظامی، ایجاد یک سیستم دفاعی کارآمد و مؤثر، به منظور حفظ امنیت و تمامیت ارضی کشور است (میرآبادی و همکاران، ۱۴۰۲؛ Nuppi and Souza, 2015).

تأمین امنیت مرزهای بین‌المللی، به عنوان یکی از شروط اساسی حفظ امنیت ملی، همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. هر مرز، با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی، سیاسی و اجتماعی خاص خود، از قابلیت‌های دفاعی و امنیتی متفاوتی برخوردار است (عبادی‌نژاد و بهرام‌آبادی، ۱۳۹۵).

استان‌های مرزی، به دلیل همجواری با کشورهای دیگر، به طور بالقوه در معرض تهدیدات نظامی و امنیتی منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای قرار دارند. لذا، مکان‌یابی پادگان‌ها و استقرارگاه‌های نظامی در این مناطق، نیازمند توجه ویژه به ملاحظات دفاعی و امنیتی متناسب با شرایط خاص هر منطقه است. در این راستا، تحلیل جهات بهینه استقرارگاه‌های نظامی در استان اردبیل، با هدف افزایش توان دفاعی و امنیتی این منطقه، از اهمیت بالایی برخوردار است. در فرآیند مکان‌یابی، علاوه بر تهدیدات نظامی، باید به عوامل دیگری مانند شرایط جغرافیایی، دسترسی به منابع، و ملاحظات زیست‌محیطی نیز توجه کرد. در این راستا، شهرستان خلخال با توجه به شرایط ویژه‌اش، می‌تواند به تحلیل دقیق‌تری از عواملی همچون شیب، ارتفاع، نوع زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، و ... منجر شود. انتخاب مکان مناسب برای تأسیس پادگان‌های نظامی، از جنبه‌های مختلفی نظیر کارایی دفاعی، دسترسی به منابع، و سازگاری با محیط طبیعی و ژئومورفولوژیکی منطقه اهمیت دارد.

در این پژوهش، استفاده از داده‌های سنجش از دور به‌عنوان ابزار پیشرفته‌ای برای جمع‌آوری اطلاعات دقیق و تحلیل آن‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند فرآیند مکان‌یابی را به‌صورت علمی، سریع و کارآمدتر انجام دهد. این امر علاوه بر صرفه‌جویی در زمان و منابع، امکان انتخاب مکان‌های بهینه را با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی فراهم می‌آورد. از طرفی استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند در تحلیل داده‌های فضایی و تصمیم‌گیری دقیق‌تر در فرآیند مکان‌یابی بسیار مؤثر باشد. همچنین، در نظر گرفتن ملاحظات پدافند غیرعامل، به منظور کاهش آسیب‌پذیری پایگاه‌های نظامی در برابر حملات احتمالی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی مکان‌یابی پایگاه‌های نظامی، فرآیندی پویا و مستمر است که نیازمند بازنگری و به‌روزرسانی

مداوم، با توجه به تغییرات در تهدیدات و شرایط محیطی است. بنابراین بررسی عوامل مؤثر ژئومورفولوژیکی در مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در محیط GIS به‌ویژه در مناطق با ویژگی‌های زمین‌شناسی و جغرافیایی خاص، از اهمیت بالایی برخوردار است.

پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات گوناگونی در خصوص مکان‌یابی در داخل و خارج کشور انجام شده است. که در زیر به چند مورد آن اشاره شده است: فتحی (۱۳۸۹)، با بررسی عوامل ژئومورفولوژیکی مرتبط با مکان‌یابی مراکز نظامی در دامنه‌های غربی کوهستان واقع در تبریز، مراکز آموزشی عجب شیر، گروه ۱۱ توپخانه مراغه و سایر مراکز نظامی منطقه، به این نتیجه رسید که پادگان‌های تبریز و عجب شیر از نظر موقعیت مکانی و با توجه به عوامل ژئومورفولوژیکی، نسبت به پادگان مراغه در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارند. وی همچنین با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نقشه‌ای برای پهنه‌بندی مناطق مناسب جهت احداث مراکز نظامی تهیه کرد.

ابراهیمی (۱۳۹۰)، در پژوهشی با محوریت نقش عوارض ژئومورفولوژی در پدافند غیرعامل و با تمرکز بر شمال شرق خراسان رضوی انجام داد، مشخص شد که آبکندها و تپه‌های شاهد، در میان عوارض ژئومورفولوژیکی، بیش‌ترین کارایی را در پدافند غیرعامل دارند. همچنین، واحدهای کوهستانی، دشت و رودخانه، در حملات نظامی دارای محدودیت‌ها و نقاط ضعفی هستند که باید به آن‌ها توجه ویژه‌ای شود.

شفابخش و همکاران (۱۳۹۱)، با هدف بررسی ابزارهای GIS و RS بر اهمیت شناخت دقیق عوارض ژئومورفولوژیکی در حفظ امنیت مرزها تأکید کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در نظر گرفتن عوامل ژئومورفولوژیکی، امری ضروری در برنامه‌ریزی‌های نظامی و دفاعی است.

روستایی و همکاران (۱۳۹۲)، مکان‌یابی مراکز نظامی در دامنه‌های غربی کوهستان سهند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه، به دلیل شرایط مناسب‌تر مکان‌یابی، مساحت بیش‌تری را نسبت به نیمه جنوبی شامل می‌شود. این منطقه، بخش‌های وسیعی از شهرهای تبریز، اسکو و شبستر را در بر می‌گیرد. در مقابل، بخش‌های کم‌تری از شهرهای بناب، ملکان، آذرشهر و عجب‌شیر از شرایط مطلوب برای احداث مراکز نظامی برخوردار هستند. به طور کلی ویژگی‌های جغرافیایی نیمه شمالی دامنه‌های سهند، برای استقرار مراکز نظامی مناسب‌تر است.

رضایی و مرادی (۱۴۰۰) با بررسی عوامل کلیدی در مکان‌یابی پادگان‌های نظامی، به این نتیجه رسیدند که این فرآیند نیازمند توجه به ابعاد گوناگونی از جمله آمایش سرزمینی، جغرافیای منطقه، اصول پدافند غیرعامل، زیرساخت‌های حیاتی، شاخص‌های نظامی و نوع یگان‌ها است. به عبارت دیگر، مکان‌یابی مناسب پادگان‌های نظامی، مستلزم در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل جغرافیایی، امنیتی و عملیاتی است که همگی در کنار هم، کارایی و امنیت این مراکز را تضمین می‌کنند.

نیکبخت و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با استفاده از مدل تلفیقی FAHP به مکان‌یابی پاسگاه‌های مرزی در مناطق شمال شرقی کشور، در محدوده‌های لطف‌آباد، نوخندان و باجگیران پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که بهترین مکان‌ها برای استقرار پاسگاه‌های مرزی، شمال نوخندان و غرب باجگیران هستند. به طور کلی، نتایج حاکی از آن است که هرچه به سمت شرق و جنوب این منطقه حرکت می‌کنیم، از تعداد مکان‌های مناسب برای استقرار پاسگاه‌های مرزی کاسته می‌شود.

در پژوهشی که توسط سپهوند و همکاران (۱۴۰۲) انجام شد، شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی استقرارگاه‌های نظامی در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که عوامل طبیعی و انسانی متعددی در این فرآیند نقش اصلی و تعیین‌کننده‌ای دارند.

میرآبادی و همکاران (۱۴۰۲)، مکان‌یابی بهینه زندان‌ها را از منظر اصول و معیارهای پدافند غیرعامل در شهر دو گنبدان را با استفاده از AHP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شناسایی پهنه‌های مختلفی در محدود شهر دو گنبدان با در نظر گرفتن بعد

مسافت و وضعیت دسترسی به پهنه‌ها، چهار پهنه بهینه معرفی شدند. این پهنه‌ها (با مساحت کلی ۵۳۸۲ کیلومتر مربع) به ترتیب در اطراف روستاهای تلخاب (شمال)، گردن قلات چهار بیشه، دژ سلیمان و بابا محمد قرار گرفته‌اند.

سلیمانی و همکاران (۱۴۰۲) با هدف تعیین نقش عناصر اقلیمی موثر در مکان‌یابی مراکز نظامی آذربایجان شرقی را با استفاده از مدل ANP مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بین عوامل موثر در مکان‌یابی مراکز نظامی در منطقه مورد مطالعه عوامل اقلیمی بیش‌ترین وزن یعنی ۰/۳۴ را به خود اختصاص داده‌اند.

جوان و همکاران (۱۴۰۳) با هدف مکان‌یابی پناهگاه‌های شهری در شهر ارومیه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۲۱ درصد از کل سطح کلانشهر ارومیه (معادل ۱۴ کیلومتر مربع) در وضعیت مطلوب، ۳۰ درصد (معادل ۲۰ کیلومتر مربع) در وضعیت نسبتاً مطلوب، ۲۶ درصد (معادل ۱۷ کیلومتر مربع) در وضعیت متوسط، ۱۷ درصد (معادل ۱۱ کیلومتر مربع) در وضعیت نسبتاً نامطلوب و ۶ درصد (معادل ۴ کیلومتر مربع) در وضعیت نامطلوبی از نظر احداث پناهگاه‌های شهری قرار دارد.

سلاورزی‌زاده و ولی‌پور (۱۴۰۳)، به منظور مکان‌یابی پناهگاه‌های امن شهری در شهر اهواز را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که ۲۳ درصد از منطقه (۳۴۹۹ هکتار) در وضعیت مناسب بالا و بسیار بالا برای پناهگاه شهری هستند. همچنین مناسب‌ترین مکان‌ها جهت استقرار پناهگاه‌های شهری اهواز در نواحی شرقی، جنوبی و جنوب غربی قرار دارند که در مناطق سه و پنج شهری اهواز قرار گرفته‌اند و از پتانسیل نسبتاً بهتری برای سکونت افراد برخوردار هستند. این مناطق دارای فضای باز کافی و درعین حال سازگار با کاربری‌های اطراف هستند؛ بنابراین این مناطق به دلیل برخورداری از فضاهای باز مناسب و همچنین دسترسی مناسب از قابلیت بالایی برای اسکان افراد آسیب‌دیده برخوردار می‌باشند.

در خارج کشور نیز پژوهشی که توسط Karatas و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد، مسائل مربوط به مکان‌یابی تا سیستمات نظامی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که همچنان مشکلات قابل توجهی در زمینه توسعه فرمولاسیون و ارائه راه حل برای این مسائل وجود دارد و این مشکلات به طور پیوسته در حال افزایش هستند.

Liu و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که با هدف بررسی مدیریت پروژه پادگان‌های نظامی در مناطق مرتفع انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که ساخت و ساز در این مناطق با چالش‌های متعددی روبرو است. این چالش‌ها شامل شرایط نامساعد ساخت و ساز، محدودیت زمانی برای تکمیل پروژه‌ها، مسافت‌های طولانی حمل و نقل، شرایط نامساعد محیطی و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر عوامل طبیعی است. علاوه بر این، مدیریت پروژه در این مناطق به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی، آب و هوایی نامساعد، زمان محدود ساخت، کمبود تجهیزات فنی و ضعف پشتیبانی، بسیار پیچیده و دشوار است.

Nicoara and Pinzariu (۲۰۲۱)، در پژوهشی به منظور ارزیابی ترجیحات کاربران در مورد بازسازی سایت‌ها و مکان‌های نظامی در فرماندهی پایگاه چهارم آنکارا انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که در انتخاب مکان‌های نظامی، دو عامل اصلی یعنی مالکیت زمین و نگرش افراد نسبت به بازسازی مناظر نظامی، تأثیر قابل توجهی دارند. به عبارت دیگر، این مطالعه نشان می‌دهد که هنگام تصمیم‌گیری درباره مکان‌یابی تاسیسات نظامی، لازم است به نظرات و ترجیحات افرادی که به نوعی با این مکان‌ها در ارتباط هستند، توجه شود. این امر به ویژه در مورد مالکیت زمین و نحوه نگرش به بازسازی مناظر نظامی اهمیت دارد.

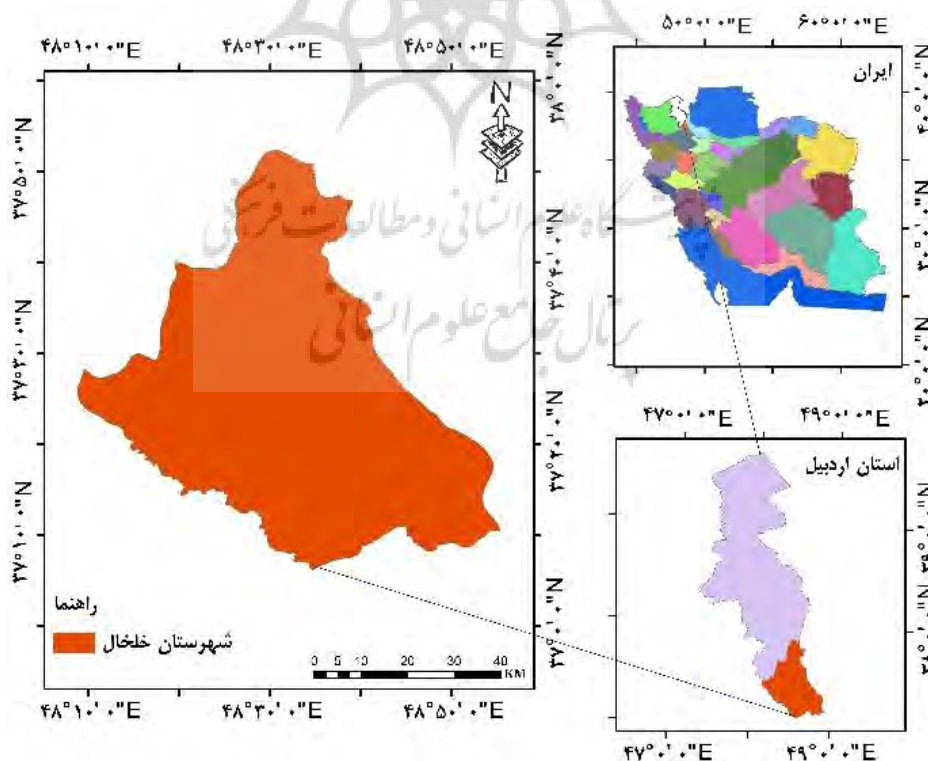
Yigitcanlar و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نقشه‌های پایه جغرافیایی، به تجزیه و تحلیل و مکان‌یابی بهینه برای رادار زمینی شبه جزیره چارلس‌تون پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که توپوگرافی زمین و مولفه‌های جغرافیایی نظامی منطقه، نقش بسیار مهمی در انتخاب مکان مناسب برای رادار زمینی دارند. به عبارت دیگر، این مطالعه نشان می‌دهد که برای مکان‌یابی تاسیسات نظامی مانند رادار، لازم است به عوامل جغرافیایی و توپوگرافی منطقه توجه ویژه‌ای شود، زیرا این عوامل می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و کارایی تاسیسات نظامی داشته باشند.

پژوهش Ural and can (۲۰۲۲) که به بررسی ترجیحات کاربران در مورد بازسازی سایت‌ها و مکان‌های نظامی در فرماندهی پایگاه چهارم آنکارا پرداخت، نشان داد که در انتخاب مکان‌های نظامی، دیدگاه‌های کاربران، به ویژه در ارتباط با مالکیت زمین و بازسازی مناظر، حائز اهمیت است. در همین حال، مطالعات پیشین به نقش کلیدی فن‌آوری‌های سنجش از دور و GIS در ارائه تحلیلی دقیق

از داده‌های فضایی و انتخاب مکان‌های بهینه اشاره دارند. به طور خلاصه، مکان‌یابی پادگان‌های نظامی، فرآیندی است که باید هم به جنبه‌های انسانی و هم به بهره‌گیری از فن‌آوری‌های پیشرفته توجه کند تا تصمیمی جامع و کارآمد اتخاذ شود. Brooke (۲۰۲۳)، در پژوهشی با استفاده از GIS مکان‌گزینی اسکان اضطرار ایمن در شهر نیویورک را بررسی کرده و به این نتیجه دست یافت که استقرار مکان‌های اسکان اضطراری در نیویورک بیش‌تر به پارامترهای نزدیکی به مراکز درمانی، و سایل نقلیه و معابر اصلی بستگی دارد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی عوامل موثر ژئومورفولوژیکی در مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی در شهرستان خلخال با استفاده از داده‌های سنجش از دور در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان خلخال با مساحتی بالغ بر ۲۸۰۰ کیلومتر مربع، در شمال فلات ایران واقع شده است. این شهرستان بین ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض جغرافیایی از نصف‌النهار گرینویچ و با ارتفاعی بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا، در شمال غربی ایران و در جنوب استان اردبیل قرار دارد. فاصله این شهرستان تا تهران ۵۴۹ کیلومتر است و در ناحیه‌ای کوهستانی واقع شده است. آب و هوای آن در قسمت شرقی سردسیر و در نواحی شمالی و جنوبی معتدل است. همچنین، استان اردبیل تنها از طریق شهرستان خلخال با استان زنجان هم‌جوار است. استان زنجان به طول ۶۲/۵ کیلومتر هم‌سایه جنوبی خلخال محسوب می‌شود. بر اساس علائم و اطلاعات نقشه زمین‌شناسی، تشکیلات ناحیه از سنگ‌های دوران اول تا رسوبات آبرفتی کواترنر تشکیل شده است. سازندهای دوران اول در دو بخش پراکنده‌اند: یکی در جنوب رشته‌کوه بغروداغ و شرق رود شاهرود که جنوب دهستان خاندبیل شرقی، شرق دهستان شاهرود و بخشی از شرق و شمال دهستان شال را در بر می‌گیرد؛ و دیگری جنوب و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه واقع در دهستان شال و باریکه‌ای از دهستان پلنگا را شامل می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۴). در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان خلخال ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت شهرستان خلخال در سطح ایران و استان اردبیل

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۲ متغیر به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی پادگان‌های نظامی شهرستان خلخال مورد استفاده قرار گرفت. این متغیرها عبارتند از: فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از شهر و جنس خاک. برای آماده‌سازی و تهیه این متغیرها از داده‌هایی زیر بهره گرفته شد: متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، از روی تصویر مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر سنجنده Aster استخراج گردیدند. از طریق این تصاویر آبراهه‌های منطقه نیز با استفاده از ابزار Hydrology نرم‌افزار ArcGIS استخراج گردید. سازندهای زمین‌شناسی از روی نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی گردید. لایه کاربری اراضی حوضه مطالعاتی از طریق پروداکت آماده و از پایگاه داده GLC-FCS30D در محیط سامانه گوگل ارث انجین تهیه گردید. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی حوضه مطالعاتی نیز از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2 (خردادماه ۱۴۰۳) بهره گرفته شد. در پژوهش حاضر به منظور پهنه‌بندی پادگان‌های نظامی منطقه مورد مطالعه از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شد. در ادامه کار توضیحاتی در خصوص مدل مورد استفاده ارائه می‌گردد. فرایند تحلیل شبکه‌ای، که به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و از دسته مدل‌های جبرانی شناخته می‌شود، با الهام از فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است. این روش با جایگزینی ساختار شبکه‌ای به جای سلسله مراتبی، به مدلی غیرخطی دست یافته که توانایی بررسی وابستگی‌های درون‌خوشه‌ای و میان‌خوشه‌ای را داراست. موفقیت این مدل در همبستگی بالای نتایج آن با واقعیت‌های پیچیده دنیای تصمیم‌گیری نهفته است. در واقع، این مدل با هدف رفع محدودیت‌های مدل سلسله مراتبی در عدم برقراری ارتباط بین عناصر و معیارها، شکل گرفته و بر پایه ایجاد یک شبکه از روابط، وابستگی‌ها و پیوندها بین عناصر و خوشه‌ها استوار است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲). برای استخراج وزن‌های لایه‌های موضوعی موثر بر مکان‌یابی پادگان‌های نظامی شهرستان خلخال بر اساس مدل مبتنی بر فرایند تحلیل شبکه (ANP) مرحله‌ای به شرح زیر طی می‌شود:

گام ۱: در گام نخست از فرایند تحلیل شبکه‌ای، طراحی دقیق ساختار مدل و تعیین مسئله مورد بررسی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مرحله، مسئله پژوهش باید به طور واضح تعریف شده و در قالب یک سیستم منطقی تجزیه و تحلیل گردد. در پژوهش حاضر، معیارهای پژوهش به دو خوشه اصلی تقسیم می‌شوند: خوشه طبیعی و انسانی همچنین، زیرمعیارهای پژوهش نیز به طبقات مختلف هر یک از این معیارها اشاره دارند.

گام ۲: گام دوم در فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به مقایسات زوجی و محاسبه وزن نسبی اختصاص دارد. در این مرحله، مشابه با فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) از طیف ۱ تا ۹ برای تعیین اهمیت نسبی معیارها استفاده می‌شود. به این ترتیب، متغیری که بیش‌ترین تأثیر را دارد، بالاترین وزن یا ارجحیت را به خود اختصاص می‌دهد. نرم‌افزار Super Decisions این امکان را فراهم می‌کند تا این مقایسات به صورت عددی، گرافیکی یا شفاهی انجام شوند. پس از انجام مقایسات زوجی و محاسبه وزن‌های نسبی، لازم است نرخ ناسازگاری محاسبه شود تا اعتبار مقایسات ارزیابی شود. اگر نرخ ناسازگاری کمتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است؛ در غیر این صورت، تصمیم‌گیرنده باید در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (سبحانی و مملوکی، ۱۴۰۴؛ Vojtekova et al., 2020). این محاسبات توسط نرم‌افزار Super Decisions به صورت اتوماتیک محاسبه می‌گردد.

گام ۳: گام سوم در فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به تشکیل سوپرماتریس اولیه اختصاص دارد. برای تعیین اولویت‌های کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت‌های داخلی (W) محاسبه شده در ستون‌های مناسب یک ماتریس قرار می‌گیرند (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۴). نتیجه این فرایند، تشکیل یک سوپرماتریس (ماتریس تقسیم‌بندی شده) است که هر بخش آن، ارتباط بین دو خوشه در سیستم را نشان می‌دهد.

گام ۴: گام چهارم در فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به تشکیل سوپرماتریس وزنی اختصاص دارد. در این مرحله، سوپرماتریس اولیه به سوپرماتریس وزن‌دهی شده تبدیل می‌شود. برای این کار، لازم است سوپرماتریسی ایجاد شود که مجموع ستون‌های آن برابر با ۱

باشد، که به آن ماتریس تصادفی نیز گفته می‌شود. در واقع، ماتریس وزنی از طریق ضرب داده‌های ماتریس خوشه‌ای در سوپرماتریس وزن‌دهی نشده و نرمال‌سازی ماتریس حاصل به دست می‌آید (داداش‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

گام ۵: در گام پنجم از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، هدف محاسبه بردار وزنی عمومی یا ماتریس حد است. در این مرحله، سوپرماتریس موزون (وزنی) به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با یکدیگر برابر شوند. بر اساس ماتریس حاصل، بردار وزن عمومی مشخص می‌شود که نشان‌دهنده اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها در تصمیم‌گیری نهایی است (مکانیکی و صادقی، ۱۳۹۱). سرانجام با مراجعه به جدول سوپرماتریس حد، وزن نهایی هر معیار و زیرمعیار حاصل می‌گردد. هر یک از معیارها با توجه به وزن‌های حاصل شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS طبقه‌بندی مجدد می‌شوند. در نهایت، معیارهای مورد استفاده (معیارهای بازطبقه‌بندی شده) با توجه به وزن‌های حاصل از مدل ANP ترکیب می‌شوند و نقشه پهنه‌بندی مکان‌یابی پادگان‌های نظامی منطقه مورد مطالعه حاصل می‌گردد.

یافته‌ها

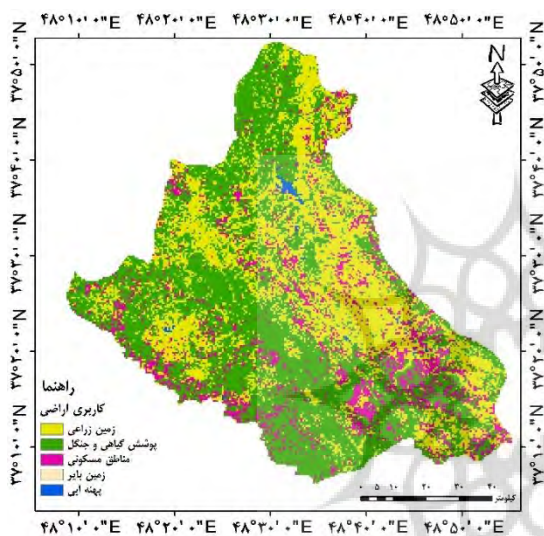
تحلیل عوامل ژئومورفولوژیکی مورد استفاده

پوشش گیاهی: با توجه به به شکل (۲)، دامنه تغییرات پوشش گیاهی شهرستان خلخال بین ۰/۱۴- تا ۰/۴۷ متغیر است. به‌طوری‌که مقادیر پایین‌تر (نزدیک ۰/۱۴-) نشان‌دهنده مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف، عموماً شامل زمین‌های سنگلاخی یا مناطقی با خاک کم حاصل هستند که استقرار پادگان در آن‌ها ممکن است به دلیل فرسایش شدید و فقدان پوشش طبیعی، مشکلات زیست‌محیطی و عملیاتی ایجاد کند. در مقابل، نواحی با مقادیر بالاتر (نزدیک به ۰/۴۷) دارای پوشش گیاهی متراکم‌تر هستند که اگرچه می‌توانند مزایایی همچون استتار طبیعی و کاهش فرسایش را فراهم کنند، اما ممکن است محدودیت‌هایی برای ساخت‌وساز و عملیات نظامی به وجود آورند. بنابراین، مکان‌های بهینه برای استقرار پادگان در محدوده‌هایی با پوشش گیاهی متوسط (حدود ۰/۱۵ تا ۰/۳۷) واقع شده‌اند که تعادلی میان استتار، پایداری زمین و امکان توسعه زیرساخت‌های نظامی را فراهم می‌کنند.

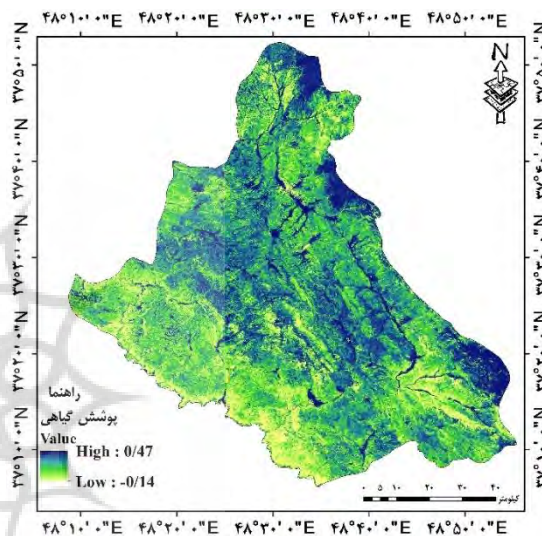
کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی شهرستان خلخال با استفاده از پایگاه داده GLC-FCS30D در محیط سامانه گوگل ارث انجین تهیه و در ۵ کلاس کاربری شامل: زمین زراعی، پوشش گیاهی و جنگل، پهنه آبی، مناطق مسکونی و زمین بایر استخراج گردید. در مرحله بعد در محیط ArcGIS خروجی نقشه تهیه و تولید شد. در فرآیند مکان‌یابی پادگان نظامی، انتخاب نواحی با حداقل تداخل با کاربری‌های حساس مانند زمین‌های زراعی و مناطق مسکونی ضروری است. زمین‌های بایر و مناطقی با پوشش گیاهی متوسط گزینه‌های مناسبی محسوب می‌شوند، زیرا علاوه بر کاهش تعارضات زیست‌محیطی و اجتماعی، هزینه‌های استقرار و ساخت‌وساز را نیز کاهش می‌دهند. همچنین، فاصله از منابع آبی و پرهیز از احداث پادگان در نزدیکی سکونتگاه‌ها به لحاظ امنیتی و زیست‌محیطی حائز اهمیت است. بنابراین، مکان‌های مطلوب در محدوده‌هایی با ترکیب زمین بایر و پوشش گیاهی ملایم، در مناطق با دسترسی مناسب به زیرساخت‌های حمل‌ونقل، قابل پیشنهاد خواهند بود. در شکل (۳) نقشه کاربری اراضی شهرستان خلخال ارائه شده است.

جنس خاک: همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است تنوع خاک در شهرستان خلخال در سه طبقه اصلی شامل خاک‌های لیتوسل نیمه‌مرطوب، خاک‌های استپی قهوه‌ای و خاک‌های آبرفتی غیرنمکی را شامل می‌شود. لذا در مکان‌یابی پادگان‌های نظامی، توجه به ویژگی‌های فیزیکی و پایداری خاک نقش کلیدی دارد. خاک‌های لیتوسل نیمه‌مرطوب که بخش وسیعی از منطقه را پوشش می‌دهند، به‌طور معمول عمق کمی دارند و از نظر قابلیت ساخت‌وساز محدودیت‌هایی ایجاد می‌کنند؛ بنابراین، این نواحی نیازمند بررسی‌های ژئوتکنیکی دقیق‌تر هستند. خاک‌های استپی قهوه‌ای که در نواحی مرکزی و شمالی نقشه دیده می‌شوند، به‌دلیل ساختار نسبتاً پایدار و زهکشی مناسب، شرایط بهتری برای احداث تأسیسات نظامی فراهم می‌کنند. همچنین، خاک‌های آبرفتی غیرنمکی در شمال غرب منطقه، اگرچه از لحاظ زهکشی مطلوب‌اند، اما در برخی موارد ممکن است پایداری مکانیکی کم‌تری داشته باشند و نیاز به ارزیابی دقیق‌تری برای پی‌سازی دارند. در نتیجه، مناطق دارای خاک‌های استپی قهوه‌ای اولویت بالاتری برای مکان‌یابی پادگان دارند.

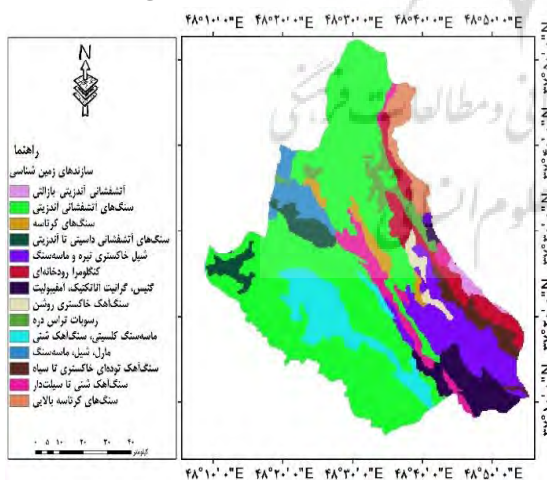
زمین شناسی: با توجه به نقشه زمین‌شناسی شهرستان خلخال، مکان‌یابی یک پادگان نظامی نیازمند بررسی دقیق ویژگی‌های زمین‌شناختی منطقه است. در این راستا، مناطقی با سنگ‌های سخت مانند گرانیت، سنگ‌های رسوبی مستحکم و مناطق با شیب کم، بستر مناسبی برای احداث یک پادگان خواهند بود، چرا که پایداری سازه‌ای بالایی دارند و خطر رانش زمین یا فرسایش در آن‌ها کم‌تر است. همچنین، باید از نواحی با سنگ‌های آتشفشانی ناپایدار، شیل‌های خاکستری و ماسه‌سنگی که امکان فرسایش و نشست دارند، اجتناب شود. علاوه بر این، نزدیکی به منابع آب و دسترسی به راه‌های مواصلاتی نیز از عوامل تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب است. با توجه به داده‌های ارائه‌شده در نقشه، نواحی با رنگ‌های نشان‌دهنده سنگ‌های مقاوم و فاصله از مناطق گسل خورده، گزینه‌های بهتری برای استقرار یک پایگاه نظامی محسوب می‌شوند. در شکل (۵) نقشه سازندهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



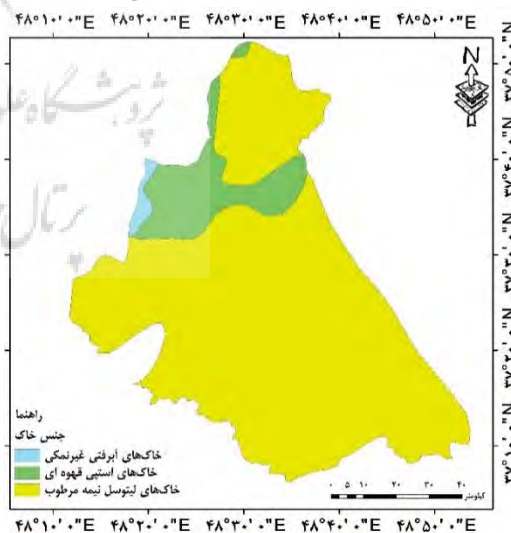
شکل ۳: نقشه کاربری اراضی



شکل ۲: نقشه پوشش گیاهی



شکل ۵: نقشه سازندهای زمین‌شناسی



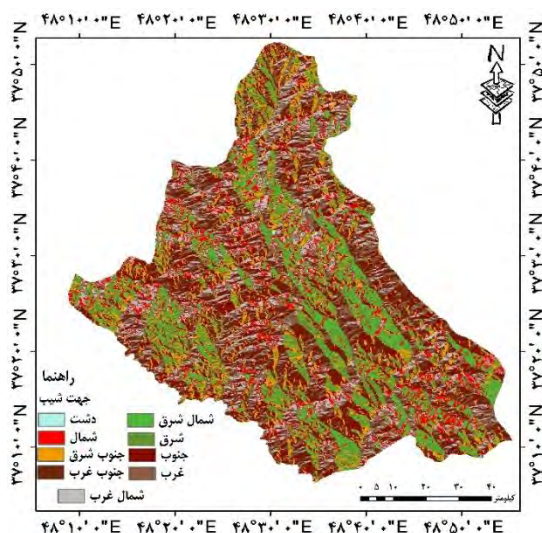
شکل ۴: نقشه جنس خاک

شیب: شکل (۶) نشان‌دهنده توزیع شیب در شهرستان خلخال است که یکی از مهم‌ترین عوامل در مکان‌یابی تأسیسات نظامی محسوب می‌شود. بر اساس این نقشه، نواحی با رنگ آبی دارای شیب کم و مناطق قرمز دارای شیب بالا (حداکثر تا ۶۲ درجه) هستند. برای

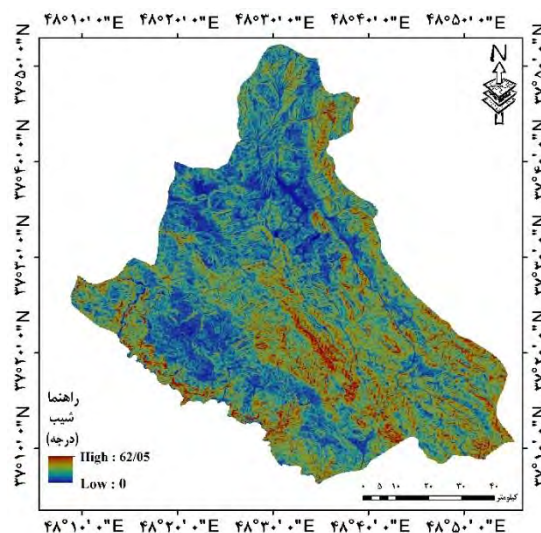
احداث یک پادگان نظامی، مناطقی با شیب کم‌تر از ۱۰ درجه ترجیح داده می‌شوند، زیرا شیب زیاد باعث افزایش هزینه‌های ساخت، کاهش پایداری سازه، و دشواری در استقرار نیروها و تجهیزات می‌شود. بر این اساس، نواحی آبی‌رنگ، به‌ویژه در دشت‌های میان‌کوهی و حاشیه رودخانه‌ها، می‌توانند گزینه‌های مناسبی باشند. با این حال، باید از مناطق مستعد فرسایش و سیلاب نیز اجتناب کرد، بنابراین تلفیق این داده‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی و هیدروژئومورفولوژیکی برای انتخاب بهینه ضروری است.

جهت شیب: نقشه‌ی جهت شیب شهرستان خلخال، توزیع مکانی جهات مختلف دامنه‌ها را نمایش می‌دهد که نقش مهمی در مکان‌یابی پادگان نظامی دارد. در انتخاب محل مناسب، دامنه‌های جنوبی و جنوب‌شرقی به دلیل دریافت بیش‌تر تابش خورشیدی، از نظر تأمین انرژی و کاهش یخبندان در فصول سرد، گزینه‌های مطلوب‌تری هستند. در مقابل، دامنه‌های شمالی و شمال‌غربی، به دلیل سایه‌اندازی بیش‌تر، رطوبت بالا و احتمال بیش‌تر یخ‌زدگی، گزینه‌های مناسبی محسوب نمی‌شوند. همچنین، مناطق دشت (نشان داده‌شده با رنگ آبی) به دلیل شیب ملایم، امکان احداث زیرساخت‌های گسترده و تسهیل در حمل‌ونقل نظامی را فراهم می‌کنند. بنابراین، ترکیب این داده‌ها با نقشه‌ی شیب و زمین‌شناسی، به انتخاب بهینه‌ی مکان پادگان کمک می‌کند، به‌ویژه در مناطقی که دارای شیب کم، جهت مناسب و زمین‌های مقاوم هستند (شکل ۷).

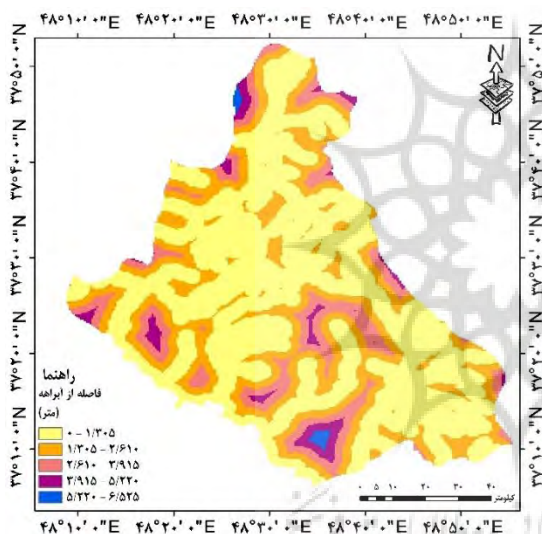
ارتفاع: نقشه طبقات ارتفاعی شهرستان خلخال در شکل (۸) ارائه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود مناطق مرتفع‌تر (بالای ۲۷۴۱ متر) به دلیل دیدبانی بهتر و دسترسی محدود، گزینه‌های مناسبی برای استقرار پادگان نظامی به شمار می‌روند. در مقابل، مناطق با ارتفاع پایین‌تر (۵۳۶ تا ۱۰۸۷ متر) به دلیل دسترسی آسان‌تر، برای استقرار نیروهای پشتیبانی و لجستیک مناسب‌تر هستند. به‌عبارتی دیگر انسان قادر به سازگاری با طیف وسیعی از شرایط آب و هوایی است. با این حال، ارتفاع به عنوان یک عامل اقلیمی، تاثیر مستقیمی بر دما، بارش و تبخیر دارد و به طور مستقیم بر امکان استقرار سکونتگاه‌ها تاثیر می‌گذارد. به ویژه ارتفاعات بالا به دلیل کمبود اکسیژن، محدودیت‌هایی را برای زندگی ایجاد می‌کنند. در نهایت، با توجه به موقعیت جغرافیایی شهرستان خلخال و همجواری با استان اردبیل، انتخاب مکانی که دسترسی مناسب به جاده‌های اصلی و فرعی داشته باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فاصله از آبراهه: با توجه به نقشه فاصله از آبراهه‌های شهرستان خلخال (شکل ۹)، می‌توان دریافت که پراکنش آبراهه‌ها به طور قابل توجهی در سراسر منطقه وجود دارد. این امر، امکان انتخاب مکان‌های متنوعی را برای استقرار پادگان نظامی فراهم می‌کند. با این حال، با توجه به ملاحظات امنیتی و پدافند غیرعامل، استقرار پادگان در مناطق دورتر از آبراهه‌ها (به ویژه مناطق با فاصله بیش از ۳/۹۱۵ متر) ارجحیت دارد. این امر، احتمال آسیب‌پذیری پادگان در برابر سیلاب و حملات دشمن را کاهش می‌دهد. از طرفی، دسترسی به آب برای مصارف روزانه و عملیاتی پادگان از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا، انتخاب مکانی که در عین دوری از آبراهه‌های اصلی، از طریق لوله‌کشی یا سایر روش‌ها امکان دسترسی به آب را داشته باشد، ضروری است. همچنین، توجه به توپوگرافی منطقه و اجتناب از استقرار پادگان در مناطق پست و در معرض سیلاب‌های فصلی، از دیگر نکات حائز اهمیت در مکان‌یابی است.



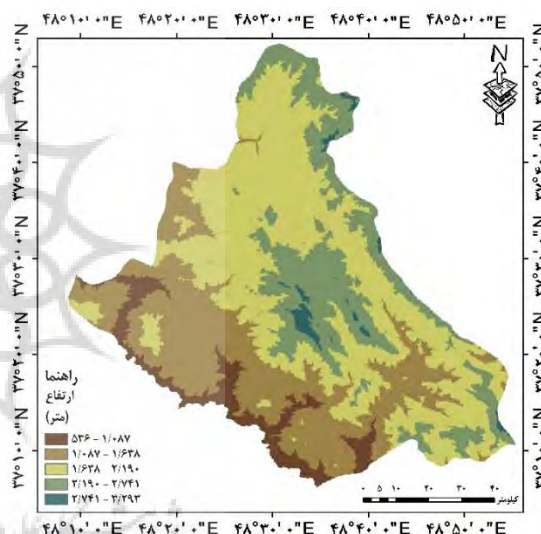
شکل ۷: نقشه جهت شیب



شکل ۶: نقشه شیب



شکل ۹: نقشه فاصله از آبراهه



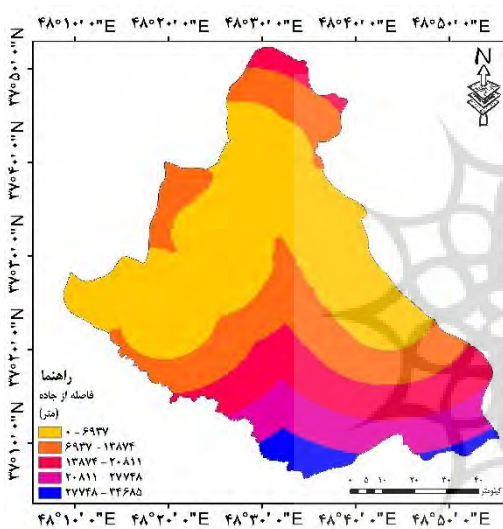
شکل ۸: نقشه ارتفاع

فاصله از گسل: با توجه به نقشه ارائه شده در شکل (۱۰) که فاصله از گسل‌های شهرستان خلخال را نشان می‌دهد، می‌توان دریافت که بخش‌های قابل توجهی از این شهرستان در معرض خطر لرزه‌خیزی قرار دارند. به طور خاص، از غرب و جنوب غرب به سمت مرکز و شرق، فاصله مکان‌ها به گسل نزدیک‌تر است و کم‌ترین فاصله با گسل در بخش‌های مرکزی و شرقی نمایش داده شده است که گویای ریسک بالاتر زلزله در این نواحی است. با توجه به این اطلاعات، استقرار پادگان نظامی در مناطق دورتر از گسل‌ها، به منظور کاهش خطرات ناشی از زلزله، توصیه می‌شود.

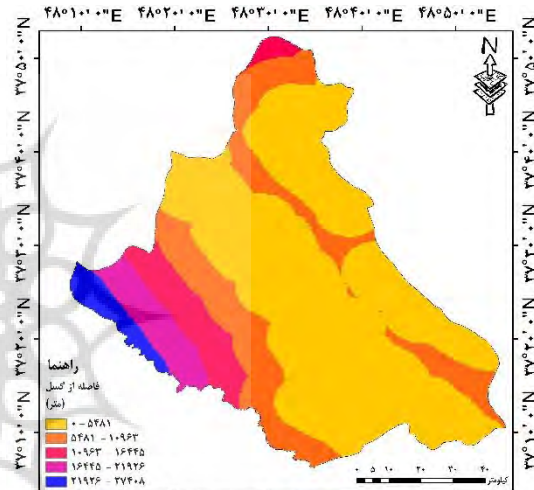
فاصله از جاده: نقشه فاصله از جاده شهرستان خلخال (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که دسترسی به جاده‌ها در این شهرستان به طور قابل توجهی متفاوت است. مناطق مرکزی و شرقی شهرستان، به دلیل تراکم بیشتر جاده‌ها، از دسترسی بهتری برخوردار هستند. در مقابل، مناطق غربی و جنوبی شهرستان، به دلیل فاصله بیشتر از جاده‌های اصلی، دسترسی محدودتری دارند. با توجه به این اطلاعات، استقرار پادگان نظامی در مناطق مرکزی و شرقی شهرستان، به منظور تسهیل دسترسی نیروها و تجهیزات، توصیه می‌شود. با این حال، باید توجه داشت که دسترسی به جاده‌ها تنها یکی از عوامل مؤثر در مکان‌یابی پادگان نظامی است و سایر عوامل مورد استفاده نیز باید لحاظ شود.

فاصله از روستا: با توجه به نقشه فاصله از روستاهای شهرستان خلخال شکل (۱۲)، می‌توان دریافت که پراکنش روستاها در این شهرستان به طور نسبتاً یکنواخت است. با این حال، مناطق مرکزی و شرقی شهرستان، از تراکم روستایی بیش‌تری برخوردار هستند. این امر، نشان‌دهنده دسترسی بهتر به نیروی انسانی و امکانات محلی در این مناطق است. از طرفی، مناطق غربی و جنوبی شهرستان، به دلیل فاصله بیش‌تر از روستاها، از تراکم جمعیتی کم‌تری برخوردار هستند. با توجه به این اطلاعات، استقرار پادگان نظامی در مناطقی که دسترسی مناسبی به روستاها دارند، می‌تواند از نظر تأمین نیروی انسانی و پشتیبانی محلی، مزیت محسوب شود.

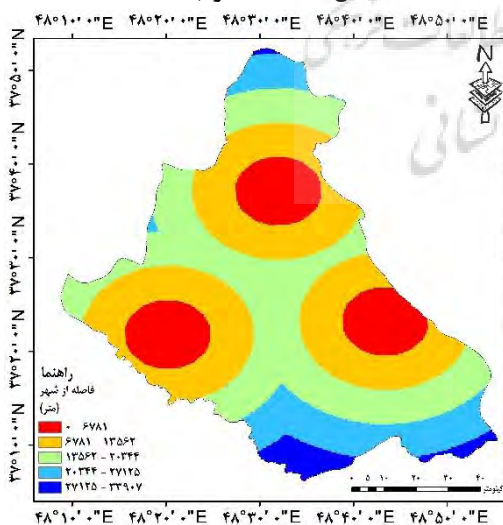
فاصله از شهر: همانطوری که در شکل (۱۳) ملاحظه می‌شود مناطق مرکزی شهرستان خلخال، به دلیل نزدیکی به شهر، از دسترسی بهتری به امکانات شهری برخوردار هستند. این امر، می‌تواند از نظر تأمین نیازهای روزانه پادگان نظامی و دسترسی به خدمات پشتیبانی، مزیت محسوب شود. از طرفی، مناطق حاشیه‌ای شهرستان، به دلیل فاصله بیش‌تر از شهر، از دسترسی محدودتری به امکانات شهری برخوردار هستند. با توجه به این اطلاعات، استقرار پادگان نظامی در مناطقی که دسترسی مناسبی به شهر خلخال دارند، می‌تواند از نظر لجستیکی و پشتیبانی، مزیت محسوب شود.



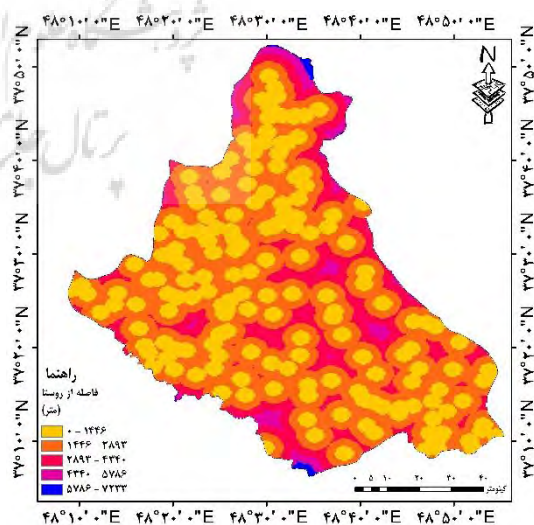
شکل ۱۱: فاصله از جاده



شکل ۱۰: نقشه فاصله از گسل

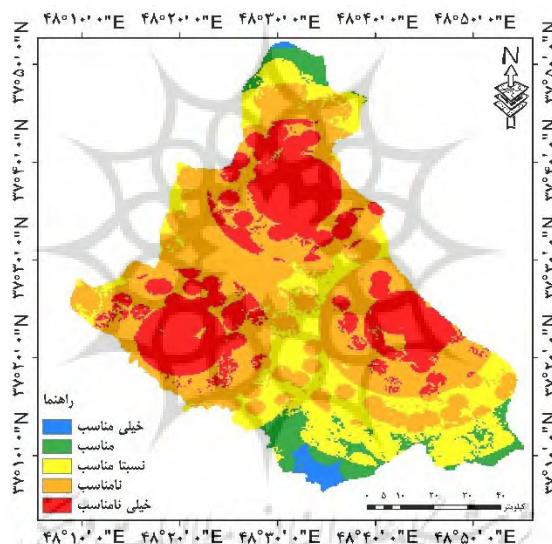


شکل ۱۳: نقشه فاصله از شهر



شکل ۱۲: نقشه فاصله از روستا

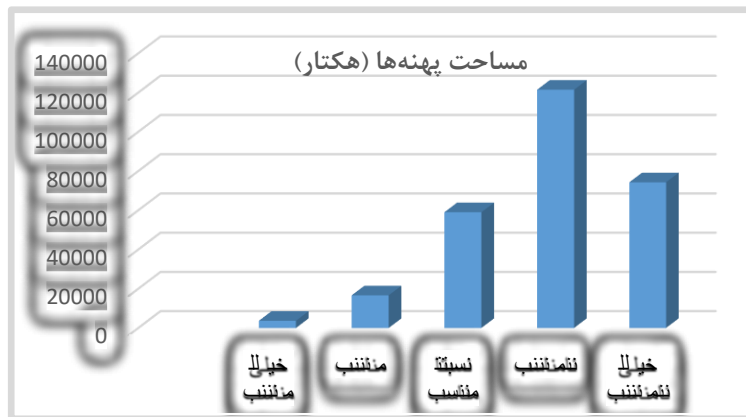
در نهایت با تلفیق و همپوشانی نقشه‌های موضوعی مورد استفاده در محیط ArcGIS و با استفاده از ابزار Raster Calculator نقشه نهایی پهنه‌بندی مکان‌یابی پادگان‌های نظامی در شهرستان خلخال در پنج پهنه خیلی مناسب، مناسب، نسبت مناسب، نامناسب و خیلی نامناسب تهیه و تولید شد (شکل ۱۴). با بررسی نقشه پهنه‌بندی نهایی مکان‌یابی پادگان نظامی در شهرستان خلخال، می‌توان دریافت که مناطق مرکزی شهرستان به عنوان «مناطق خیلی مناسب» و «مناطق مناسب» برای استقرار پادگان نظامی شناسایی شده‌اند. این مناطق به دلیل دسترسی بهتر به شهر و روستاها، وجود زیرساخت‌های مناسب و فاصله امن از گسل‌های فعال، از اولویت بالاتری برخوردار هستند. در مقابل، مناطق حاشیه‌ای شهرستان، به ویژه در بخش‌های غربی و جنوبی، به عنوان «مناطق نامناسب» و «مناطق خیلی نامناسب» شناسایی شده‌اند. این مناطق به دلیل فاصله زیاد از مراکز جمعیتی، دسترسی محدود به جاده‌ها از نظر مکان‌یابی پادگان نظامی، ریسک بالاتری دارند. در نهایت، با توجه به اهمیت استراتژیک شهرستان خلخال و لزوم حفظ امنیت منطقه، انتخاب مکانی مناسب برای پادگان نظامی، با در نظر گرفتن تمامی عوامل مؤثر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا باید به گونه‌ای انجام شود که ضمن تأمین نیازهای عملیاتی، کم‌ترین هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی را به همراه داشته باشد. در جدول (۱) و شکل (۱۵) مساحت و درصد هر یک از پهنه‌ها به همراه گراف ارائه شده است.



شکل ۱۴: نقشه نهایی مکان‌یابی پادگان‌های نظامی شهرستان خلخال

جدول ۱: مساحت و درصد پهنه‌ها

پهنه‌ها	مساحت (هکتار)	درصد مساحت به کل شهر %
خیلی مناسب	۳۶۶۶	۱/۳۳
مناسب	۱۶۶۱۶	۶/۰۵
نسبتاً مناسب	۵۸۹۸۱	۲۱/۴۵
نامناسب	۱۲۱۴۲۳	۴۴/۱۶
خیلی نامناسب	۷۴۲۴۵	۲۷
مجموع	۲۷۴۹۳۱	۱۰۰



شکل ۱۵: مساحت پهنه‌ها براساس مساحت کل شهر

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی نقش مهمی در ارتقای امنیت، مدیریت منابع و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی دارد. استفاده از روش‌های تحلیل مکانی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند ANP در محیط GIS امکان انتخاب مناسب‌ترین مکان‌ها را با در نظر گرفتن معیارهای متنوع فراهم می‌کند. بنابراین هدف از این پژوهش مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی در شهرستان خلخال با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که مکان‌یابی بهینه پادگان‌های نظامی در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، دسترسی به زیرساخت‌ها و ملاحظات امنیتی است. با استفاده از مدل ANP و تحلیل داده‌های سنجش از دور در محیط GIS وزن‌دهی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر انجام شد که بر این اساس، مناطقی با شیب ملایم، فاصله مناسب از مناطق شهری و زیست‌محیطی حساس، دسترسی به راه‌های ارتباطی و منابع آبی، و حداقل تداخل با کاربری‌های نامناسب، به عنوان مکان‌های بهینه شناسایی شدند. مقایسه نتایج با موقعیت‌های موجود نشان داد که برخی از پادگان‌های فعلی در مکان‌های کم‌بهره قرار دارند و امکان بهینه‌سازی موقعیت آن‌ها از طریق مطالعات تکمیلی وجود دارد. همچنین، تحلیل نقشه‌های پوشش گیاهی نشان داد که توسعه پادگان‌ها نباید منجر به تخریب منابع طبیعی و زیستگاه‌های حساس شود، بلکه باید با استفاده از روش‌های توسعه پایدار، تأثیرات منفی کاهش یابد. در وهله آخر نیز با همپوشانی و تلفیق لایه‌های مورد استفاده اقدام به تهیه و تولید نقشه نهایی در پنج پهنه (خیلی مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، نامناسب و خیلی نامناسب) گردید. که به ترتیب دارای مساحت ۳۶۶۶، ۱۶۶۱۶، ۵۸۹۸۱، ۱۲۱۴۲۳، ۷۴۲۴۵ هکتار را شامل می‌شوند. در این بین پهنه‌های خیلی مناسب با (۱/۳۳ درصد) و نامناسب با (۴۴/۱۶ درصد) به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین درصد از کل مساحت منطقه را برخوردار بودند. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از فن‌آوری‌های GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌ویژه ANP می‌تواند دقت و کارایی مکان‌یابی تأسیسات نظامی را بهبود بخشد و در عین حال به برنامه‌ریزی استراتژیک و مدیریت بهینه منابع کمک کند. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود که در تصمیم‌گیری‌های آتی، علاوه بر معیارهای فعلی، ملاحظات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌صورت گسترده‌تری مورد بررسی قرار گیرند تا مکان‌یابی پادگان‌ها با حداقل چالش‌های ممکن همراه باشد. نتایج این مطالعه مشابه نتایجی است که سایر پژوهشگران از جمله پاشازاده و همکاران (۱۳۹۷)، داداش‌پور و همکاران (۱۳۹۱) و سپهوند و همکاران (۱۴۰۲) انجام دادند. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی با توجه به این‌که برخی از نواحی ممکن است به‌ویژه در فصل‌های خاص در معرض سیل یا رانش زمین باشند. پیشنهاد می‌شود که با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل‌های هیدرولوژیکی در GIS نواحی مستعد سیل یا لغزش زمین شبیه‌سازی شوند تا مکان‌هایی که از این خطرات دور هستند، شناسایی و انتخاب شوند. همچنین علاوه بر تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی، باید ملاحظات امنیتی مانند دسترسی به مناطق استراتژیک و امکان پنهان‌سازی پادگان‌ها از دید دشمن نیز مد نظر

قرار گیرد. مناطقی که دارای ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی خاص (مانند دره‌ها یا کوه‌ها) هستند و می‌توانند از نظر استراتژیک محافظت شوند، به‌عنوان مکان‌های بهینه برای پادگان‌ها پیشنهاد می‌شوند.

منابع و مأخذ

- پاشازاده، منوچهر، سیدین، افشار، و پارسای مقدم، مهدی. (۱۳۹۷). تحلیل نقاط بهینه استقرارگاه‌های نظامی بر مبنای ملاحظات دفاعی و امنیتی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان اردبیل). مدیریت نظامی، ۱۷(۲)، ۵۱-۲۳.
https://jmm.iranjournals.ir/article_29077.html
- جوان، خدیجه، عزیزی، علیرضا، و موسوی، میرنجف (۱۴۰۳). آمایش دفاعی و مکان‌یابی پناهگاه‌های شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: شهر ارومیه). جغرافیا و روابط انسانی، انتشار آنلاین از تاریخ ۲۳ خرداد ۱۴۰۳.
 10.22034/gahr.2024.457959.2134
- حیدری، محمدتقی، و طاهری، علیرضا (۱۴۰۰). تحلیل تناسب کاربری‌های استراتژیک اراضی درون شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مورد مطالعه: تیپ مستقل ۲۱۶ مکانیزه زرهی ارتش). علوم و فنون نظامی، ۵۸(۱۷)، ۵-۲۷.
 10.22034/qjmst.2022.529425.1529
- داداش‌پور، هاشم، خدابخش، حمیدرضا، رفیع‌یان، مجتبی (۱۳۹۱). تحلیل فضایی و مکان‌یابی مراکز اسکان موقت با استفاده از تلفیق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱، ۱۱۱-۱۳۱.
 10.22067/geo.v1i1.16543
- رضایی، حسن، و مرادی، مریم. (۱۴۰۰). شناسایی ابعاد و مولفه‌های مکان‌گزینی پادگان‌های نظامی، مدیریت نظامی، ۲۱(۴)، ۶۳-۸۲.
 10.22034/iamu.2022.540110.2654
- روستایی، شهرام، فتحی، محمدحسین، فخری، سیروس، و محمدی‌فر، عادل. (۱۳۹۲). تحلیل ژئومورفولوژیکی مکان‌گزینی مراکز نظامی (مطالعه موردی: دامنه‌های غربی کوهستان سه‌نند). پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، ۴۵(۳)، ۲۰۹-۲۲۸.
 10.22059/jhgr.2013.35253
- سبحانی، بهروز، و مملوکی، مرتضی (۱۴۰۴). مکان‌یابی بهینه مناطق کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۳)، ۳-۶.
https://www.srds.ir/article_217273.html
- سپهوند، آسیه، سپهوند، علی، و امیری، علیرضا. (۱۴۰۲). محاسبه میزان اهمیت شاخص‌های موثر در مکان‌یابی استقرارگاه‌های نظامی با تاکید بر دوره دفاع مقدس مطالعه موردی: استان کرمانشاه. اطلاعات جغرافیایی، ۳۲(۱۲۶)، ۱۳۱-۱۵۲.
 10.22131/sepehr.2023.557367.2891
- سلاورزی زاده، محمد، و ولی‌پور، پیمان (۱۴۰۳). تحلیلی بر مکان‌یابی پناهگاه‌های امن شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (نمونه موردی: شهر اهواز). جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، ۵۳(۱۴)، ۸۹-۱۲۰.
 10.22111/gaij.2024.49245.3219
- سلیمانی، رضا، ولیزاده کامران، خلیل، مختاری، داود، و سعیدی، علی (۱۴۰۲). نقش عناصر و عوامل اقلیمی موثر در مکان‌یابی مراکز نظامی استان آذربایجان شرقی با رویکرد پدافند غیرعامل. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۷(۸۳)، ۷۳-۸۴.
doi.org/10.22034/gp.2023.10787
- عابدینی، موسی، صبوری، حمیرا، و پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۴). پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارتباط آن با کاربری اراضی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رضی‌چای، استان اردبیل). مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۲)، ۸۴-۶۸.
https://www.srds.ir/article_214387.html

- عبادی‌نژاد، سیدعلی، بهرام‌آبادی، و بهروز (۱۳۹۵). مکان‌یابی پاسگاه‌های مرزی و تعیین مناطق مستعد نفوذ با استفاده از سیستم استنتاج فازی و GIS (مطالعه موردی نوار مرزی شهرستان نهبندان). مدیریت نظامی، ۱۶(۳)، ۶۳-۹۲.
https://jmm.iranjournals.ir/article_25881.html
- علیزاده، محمد، رحیمی، محمد، فراگردی، زهره، و افراسیابی، فاطمه (۱۳۹۸). ارزیابی ژئوسایت‌های شهرستان خلخال در راستای توسعه پایدار گردشگری. جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۰(۱۹)، ۴۲۱-۴۳۳. 20.1001.1.22286462.1398.10.37.23.2
- کیخایی، مهدی، رفیع‌زاده ملک‌شاهی، ارسلان، و بیرانوند، نادر (۱۴۰۰). طراحی سامانه Web-GIS مبتنی بر مسیریابی بهینه بین نقاط مختلف صحنه نبرد به منظور مدیریت و طرح‌ریزی صحیح عملیات‌های نظامی آینده. آینده‌پژوهی دفاعی، ۲۲(۶)، ۶۹-۹۴. 10.22034/dfs.2021.532116.1503
- مکانیکی، جواد، و صادقی، حجت (۱۳۹۱). مکان‌یابی مراکز بهداشتی-درمانی (بیمارستان‌ها) شهر بیرجند، از طریق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و مقایسه زوجی در محیط GIS. آمایش محیط، ۱۹، ۱۲۱-۱۴۲.
<https://cv.birjand.ac.ir/mikaniki/fa/articlesInPublications/34706>
- میرآبادی، مصطفی، بشارتی‌فر، صادق، و نظری، حسین (۱۴۰۲). مکان‌یابی بهینه زندان‌ها از منظر اصول و معیارهای پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: شهر دوگنبدان). پژوهشات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳(۷۱)، ۶۱-۷۹. Doi:10.61186/jgs.23.71.61
- نیکبخت، محبوبه، دزندی، زینب، و اسماعیل‌زاده، هادی. (۱۴۰۱). مکان‌یابی پاسگاه‌های مرزی در مناطق شمال شرقی کشور با استفاده از مدل تلفیقی FAHP (مطالعه موردی: لطف‌آباد، نوخندان، باجگیران). پژوهش‌نامه خراسان بزرگ، ۱۳(۴۹)، ۶۹-۸۶. 10.22034/jgk.2022.308612.0
- Brooke, S. (2023). Location: An Analysis of Safe Haven Siting in New York City partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Arts in Department of Urban and Environmental Policy and Planning, Tufts University. <https://dl.tufts.edu/concern/pdfs/br86bf68k>
- Jensen, B. M. (2018), The role of ideas in defense planning: revisiting the revolution in military affairs, *Defence studies*, 18(3), 302-317. DOI:10.1080/14702436.2018.1497928
- Karatas, mumtaz; yakici, ertan & razi, nasuh (2018), Military Facility Location Problems: A Brief Survey, in book: Operations Research for Military Organizations, 9(1), 1-27. DOI: 10.4018/978-1-5225-5513-1.ch001
- Liu, Chang; Xiao, Bin and Wang, Weijie (2020), Analysis on project management of military barracks in high altitude area, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. DOI: 10.1088/1757-899X/780/5/052013
- Nappi, M. & Souza, J., (2015). Disaster Management: Hierarchical Structuring Criteria for Selection and Location of Temporary Shelters, *Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 75 (3), 2421-2436. DOI: 10.1007/s11069-014-1437-4
- Nicoara, Gabriela & pinzariu, sorin (2021), considerations regarding the location and the role of organizational culture in the Romanian military environment, *land forces academy review*, 26(1), 55-61. DOI: 10.2478/raft-2021-0009
- Rueda, diego f. & calle, eusebi (2017), using interdependency matrices to mitigate targeted attacks on interdependent networks, *international journal of critical infrastructure protection*, 16, 3-12. DOI: 10.1016/j.ijcip.2016.11.004
- Sennaroglu, B., & Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173. DOI: 10.1016/j.trd.2017.12.022
- Ural, Ece & Severcan, yucel can (2022). Assessing user preferences regarding military site regeneration: The case of the Fourth Corps Command in Ankara. *Cities*, 129, 103- 118. DOI: 10.1016/j.cities.2022.103807

- Vojtekova, J., Vojtek, M. 2020. Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia. *Geomatics, natural hazards and risk*, 11(1), 131-148. DOI: 10.1080/19475705.2020.1713233
- Yang, R. Xu, Q. Au, M. H. Yu, Z. Wang, H. & Zhou, L. (2018). Position based cryptography with location privacy: A step for fog computing. *Future Generation Computer Systems*, 78, 799-806.
- Yang, R. Xu, Q. Au, M. H. Yu, Z. Wang, H. & Zhou, L. (2018). Position based cryptography with location privacy: A step for fog computing. *Future Generation Computer Systems*, 78, 799-806. DOI:10.1016/j.future.2017.05.035
- Yigitcanlar, T. Dur, F. and Dizdaroglu, D. (2015), towards prosperous sustainable cities: A multiscalar urban sustainability assessment approach, *Habitat International*, 45, 36- 46. DOI: 10.1016/j.habitatint.2014.06.033

