دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

اولویت‌بندی مکانی زهکشی زیرزمینی در محدوده پروژه آبیاری و زهکشی البرز

سهراب خلیلی واودره[۱]، علی شاهنظری[۲]، میرخالق ضیاءتبار احمدی[۳] و مجتبی چراغی‌زاده[۴]

۱، ۳ و ۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: aliponh@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۲۳

چکیده

برای تولید نیازهای غذایی جمعیت در حال رشد جهان، لازم است بهره‌وری آب کشاورزی افزایش یابد. بخش عمده این افزایش باید به واسطه سرمایه‌گذاری‌های مرتبط با بهبود عملیات‌های آبیاری و زهکشی در اراضی کشاورزی موجود حاصل شود. هزینه بالای اجرای طرح‌های زهکشی و محدودیت‌های مالی، اجرای این طرح‌ها را با چالش روبرو می‌کند؛ لذا به منظور استفاده بهینه از منابع مالی موجود، اولویت‌بندی مکانی اجرا، امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در این پژوهش اولویت‌بندی مکانی زهکشی زیرزمینی در محدوده پروژه آبیاری و زهکشی البرز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت. اولویت‌بندی بر مبنای داده‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و فاصله تا سطح ایستابی (عمق سطح ایستابی)، انجام شد. پس از تعیین حدود آستانه برای هر یک از عوامل مؤثر، مکان‌یابی انجام و نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج شد. بعد از ترکیب نقشه‌های پهنه‌بندی شده، نقشه اولویت اجرای زهکشی زیرزمینی به دست آمد. برای انجام میان‌یابی از ابزار آنالیز زمین‌آمار نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. با توجه به نتایج، روش کریجینگ نتایج قابل قبولی را در در میان‌یابی ارایه داد. پس از پهنه‌بندی موقعیت‌های با اولویت‌های مختلف برای زهکشی، مشخص شد مساحتی در حدود ۱۰۳۰۰ هکتار (حدود ۵۵ ٪ از مجموع اراضی) در اولویت‌های اول و دوم اجرا قرار گرفت. این اراضی عموماً در نیمه شمالی محدوده در نزدیکی دریای خزر بودند. مشکل اصلی در این مناطق شوری، ماندابی بودن اراضی یا تلفیقی از این دو عامل بود. با توجه به تأثیر زهکشی بر بهبود عملکرد برنج به عنوان یکی از اصلی‌ترین محصولات محدوده مورد مطالعه، اجرای سیستم‌های زهکشی برای اولویت‌های بالا توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهسازی و تهویه خاک، زهکشی زیرزمینی، مازندران، مکان‌یابی

مقدمه

کمبود آب مهم‌ترین تهدید برای بقای بشر، اکوسیستم طبیعی و تکوین تمدن‌ها است. امنیت غذایی، بهداشت و اقتصاد کلان تحت تأثیر کمبود آب به شدت دچار آسیب می‌شود. سرانه آب در ایران که در سال‌های ۱۳۳۷-۱۳۳۵ حدود ۵۰۰۰-۴۰۰۰ متر مکعب در سال بوده، در حال حاضر به کمتر از ۲۰۰۰ متر مکعب در سال رسیده است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۰ به کم‌تر از ۱۰۰۰ متر مکعب در سال برسد. بخش کشاورزی به عنوان مصرف کننده عمده آب (حدود ۹۰ درصد کل منابع قابل دسترس)، بایستی ضمن رقابت سرسختانه و مستمر با سایر بخش‌ها از جمله صنعت، شرب و خانگی به ارزش اقتصادی آب بیش‌تر توجه نماید (۱۸). با وجود پیشرفت تکنولوژی و علوم در قرن حاضر، جهان در یک وضع ناپایدار تولید مواد غذایی قرار گرفته و علی‌رغم تحول و توسعه کشاورزی، همچنان گرسنگی انسان‌های بیشماری را در معرض تهدید قرار داده است (۱۰). برای تولید نیازهای غذایی و فیبر جمعیت در حال رشد جهان، لازم است یا بهره‌وری اراضی تحت کشت افزایش یافته یا اراضی بیشتری تحت کشت قرار گیرد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تولید مواد غذایی در ۲۵ سال آینده باید دو برابر شود (۱۶). بخش عمده این افزایش باید به واسطه سرمایه‌گذاری‌های مرتبط با بهبود عملیات‌های آبیاری و زهکشی در اراضی کشاورزی موجود حاصل گردد. یکی از مهم‌ترین عملیات‌های آبیاری و زهکشی، زهکشی اراضی می‌باشد. زهکشی اراضی به عنوان یکی از مهمترین عوامل مؤثر در حفظ یا بهبود عملکرد در واحد سطح، وسیله‌ای برای رشد تولیدات، تضمینی برای توسعه پایدار در آبیاری و ابزاری برای حفاظت از منابع خاک است. زهکشی اراضی به عنوان ابزاری برای مدیریت سطح آب زیرزمینی، از کاهش بهره‌وری اراضی زراعی به دلیل خیز سطح ایستابی و تجمع نمک در ناحیه ریشه جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر بخش وسیعی از اراضی که در حال حاضر تحت کشت نمی‌باشند، دارای مشکل شوری و ماندابی می‌باشند که بهره‌برداری از آن‌ها تنها به واسطه احداث سیستم‌های زهکشی امکان‌پذیر می‌گردد (۲۰). محدودیت منابع آب و خاک، به عنوان یکی از اصلی‌ترین مشکلات تولید مواد غذایی، مطرح می‌باشد.

این محدودیت‌ها موجب شده تا تصمیم‌گیران و محققان به دنبال روش‌هایی باشند که با استفاده از آن‌ها امکان اتخاذ بهترین تصمیم‌ها با شرایط موجود محلی وجود داشته باشد. به عنوان مثال الباورودی طی تحقیقی در مصر ارزیابی مناسب بودن اراضی را با مدل‌های با مبنای سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار داد. وی پس از بررسی مشخصه‌های مختلف کیفی موثر بر حاصلخیزی خاک، نقشه‌های کیفی مناسب بودن اراضی برای رویش گندم را در منطقه مورد مطالعه ارایه نمود (۷). در سال‌های اخیر به‌منظور بهره‌برداری بهتر از منابع آب و خاک در هزاران هکتار از

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

اراضی شالیزاری دو استان شمالی گیلان و مازندران، طرح‌های یکپارچه‌سازی شالیزارها انجام شد. به دلایل مختلف، همچنان در بخش وسیعی از این شالیزارها، شرایط مناسب برای کشت دوم فراهم نشد. با توجه به وجود بخش اعظم شالیزارهای کشور در دو استان مذکور (۷۵/۲۶ درصد شالیزارهای کشور (۲))، برقراری شرایط مناسب برای تنوع کاربری اراضی دو دوره زراعی سالانه و استفاده بهینه از پتانسیل‌های اقلیمی منطقه می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به خودکفایی در تولید محصولات زراعی قابل کشت در منطقه، ایفا نماید (۲). با توجه به گستردگی طرح‌های زهکشی، این طرح‌ها با هزینه‌های اجرایی بالایی همراه هستند. محدودیت منابع مالی به عنوان یکی از محدودیت‌های معمول برای تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در اغلب کشورها بویژه کشورهای در حال توسعه، اجرای طرح‌های کشاورزی از جمله طرح‌های زهکشی را با چالش روبرو می‌کند (۵)؛ لذا استفاده بهینه از منابع مالی محدود، اولویت‌بندی مکانی اجرای طرح‌های زهکشی را به امری اجتناب ناپذیر تبدیل می‌کند. برای مشخص کردن اولویت‌ها در نقاط مختلف، استفاده از ابزارهای مدیریت مکانی اطلاعات چون سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] می‌تواند بسیار مفید واقع شود. به صورتی که این سامانه با در اختیار قرار دادن قابلیت‌هایی چون امکان تلفیق اطلاعات مشخصه‌های تأثیرگذار بر پارامتر هدف و نیز نمایش گرافیکی اطلاعات مکانی به صورت نقشه، تصمیم‌گیری را برای مدیران تسهیل می‌نماید. سهولت در تصمیم‌گیری و بالا رفتن دقت با در اختیار داشتن اطلاعات مکانی نتایج هرچه بهتر در اجرای پروژه‌ها را نیز در پی خواهد داشت. با توجه به مطالب یاد شده در این پژوهش اولویت‌بندی مکانی زهکشی زیرزمینی در محدوده پروژه آبیاری و زهکشی البرز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی واقع شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در شهرستان‌های بابل، قائم‌شهر، کیاکلا، جویبار، امیرکلا و بابلسر در استان مازندران واقع شده است. این منطقه از شمال به دریای خزر، از جنوب به سلسله جبال البرز، از شرق به رودخانه سیاهرود و از غرب به رودخانه بابل محدود می‌شود. به طور کلی منطقه مورد مطالعه در ناحیه عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۳ درجه شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). وسعت محدوده‌های آبخوان انهار حدود ۹۰۵۲۰ هکتار است (۱). با توجه به شرایط مساعد اقلیمی، کشت برنج، زراعت غالب در منطقه طرح می‌باشد. به‌طوری که اراضی فاریاب منطقه عموماً به کشت برنج اختصاص یافته و کشت سایر نباتات زراعی به واسطه محدودیت منابع آب، در حواشی شمالی و ساحل راست رودخانه تالار انجام می‌پذیرد (۱۴).

مشخصه‌های مورد بررسی

زهکشی اراضی به عنوان یک ابزار در مدیریت سطح آب زیرزمینی نقشی مهم در حفاظت و نیز ارتقای محصولات کشاورزی ایفا می‌کند. زهکشی از کاهش تولید در اراضی فاریاب در نتیجه افزایش سطح ایستابی و نیز تجمع املاح در ناحیه ریشه جلوگیری می‌کند. سهم قابل توجهی از اراضی که در حال حاضر قابل کشت نمی‌باشند با مشکلات شوری و بالا بودن سطح آب مواجه هستند. زهکشی تنها راه برای اصلاح چنین خاک هایی است (۱۵). با توجه به عنوان شدن بالا بودن سطح ایستابی و نیز شوری به عنوان اصلی‌ترین دلایل برای انجام زهکشی، در پژوهش حاضر به‌منظور اولویت‌بندی مکانی زهکشی در محدوده مورد مطالعه، در پروژه حاضر از داده‌های هدایت الکتریکی[2] عصاره اشباع خاک و داده‌های فاصله سطح ایستابی از سطح زمین استفاده شده است. این داده‌ها توسط شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس تهیه شده‌اند. داده‌ها مربوط به ۱۶۳ نقطه (اکثراً واقع بر یک شبکه یک کیلومتر در یک کیلومتر) در محدوده آبگیر اراضی در محدوده پروژه البرز بودند (شکل ۲).

تحلیل ساختار فضایی و اولویت‌بندی مکانی مشخصه‌های مؤثر بر زهکشی زیرزمینی

بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف–اسمیرونوف[3] در نرم‌افزار SPSS انجام شد (جدول‌های ۱ و ۲). تبدیل‌های استفاده شده برای نرمال کردن داده‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از نوع لگاریتمی و برای فاصله از سطح ایستابی باکس–کاکس[4] بود (جدول ۲).

جدول ۱– بررسی نرمال بودن داده‌های هدایت الکتریکی و فاصله از سطح ایستابی با آزمون کولموگوروف– اسمیرونوف

Table 1. Normality analyzing of electrical conductivity and distance from water table data by using Kolmogorov-Smirnov test

ردیف	مشخصه	تعداد	میانگین	انحراف معیار	مشخصه معنی‌داری* (P-Value)
۱	EC	۱۶۳	۲۱۶۶/۳۸۰	۱۰۷۶/۷۱۹	۰/۰۰۹
۲	DTWT	۱۳۸	۱۵۹	۱۳۱/۲۳	۰/۰۲۷

*: مشخصه معنی‌داری بزرگتر از ۰/۰۵ بیانگر تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال است.

1- Geographic Information System (GIS)
2- Electrical Conductivity (EC)
3- Kolmogrov – Smironov test
4- Box-Cox transformation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

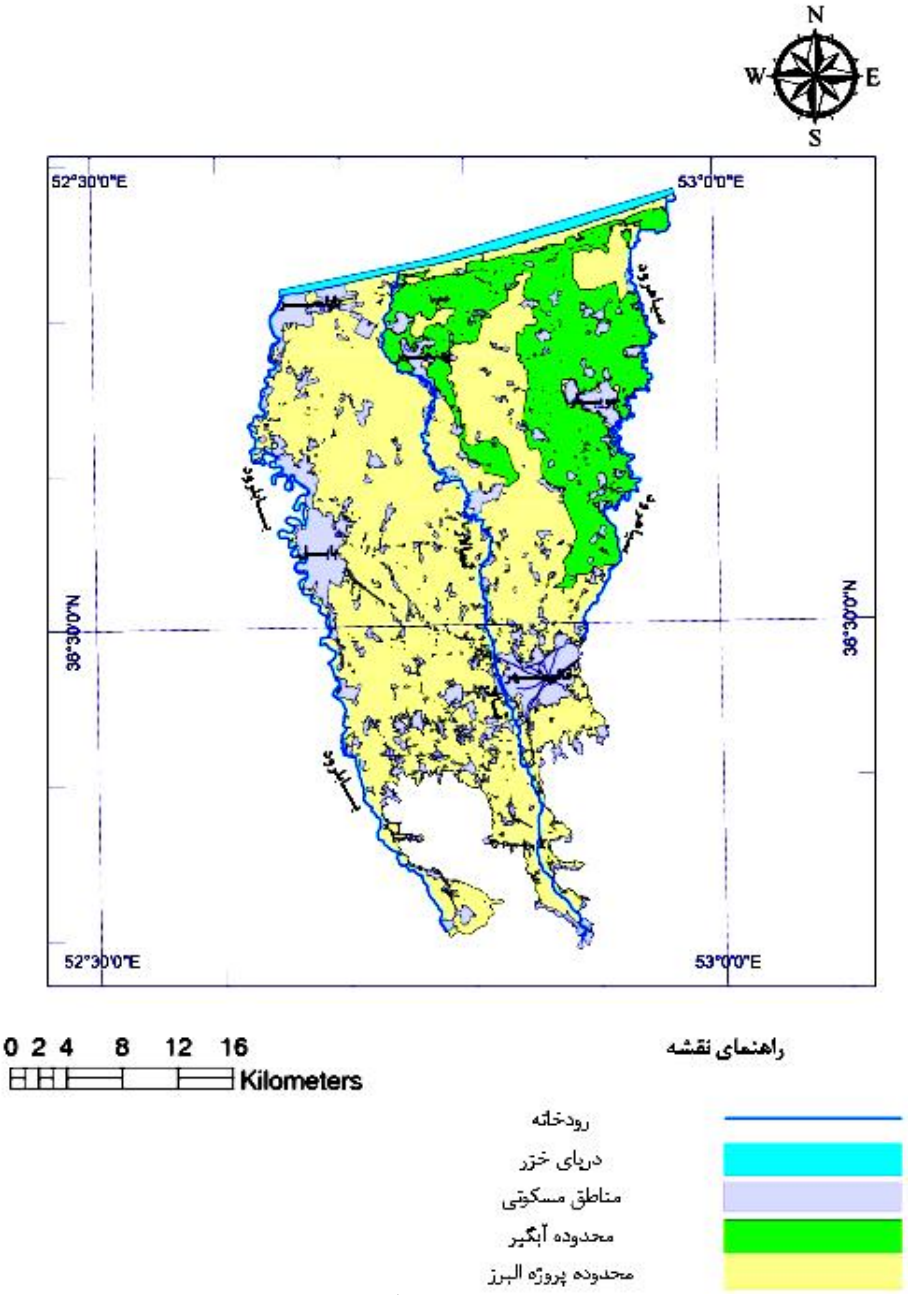
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

جدول ۲- بررسی نرمال بودن داده‌های هدایت الکتریکی و فاصله از سطح ایستابی تبدیل شده با آزمون کولموگوروف-اسمیرونوف

Table 2. Normality analyzing of electrical conductivity and distance from water table transformed data by using Kolmogorov-Smirnov test

ردیف	مشخصه	تعداد	میانگین	انحراف معیار	مشخصه معنی‌داری* (P-Value)	رابطه استفاده شده برای تبدیل داده‌ها برای تبعیت از توزیع نرمال
۱	$EC_{(N)}$	۱۶۳	۷/۵۷	۰/۴۸	۰/۹۵	$EC_{(N)}=Ln(EC)$
۲	$DTWT_{(N)}$	۱۳۸	۲۱/۰۲	۱۰/۳۴	۰/۶۷۹	$DTGWT_{(N)}=((DTGWT-۱)/\lambda)$ و $\lambda = ۰/۵$

*مشخصه معنی‌داری بزرگتر از ۰/۰۵ بیانگر تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال است.

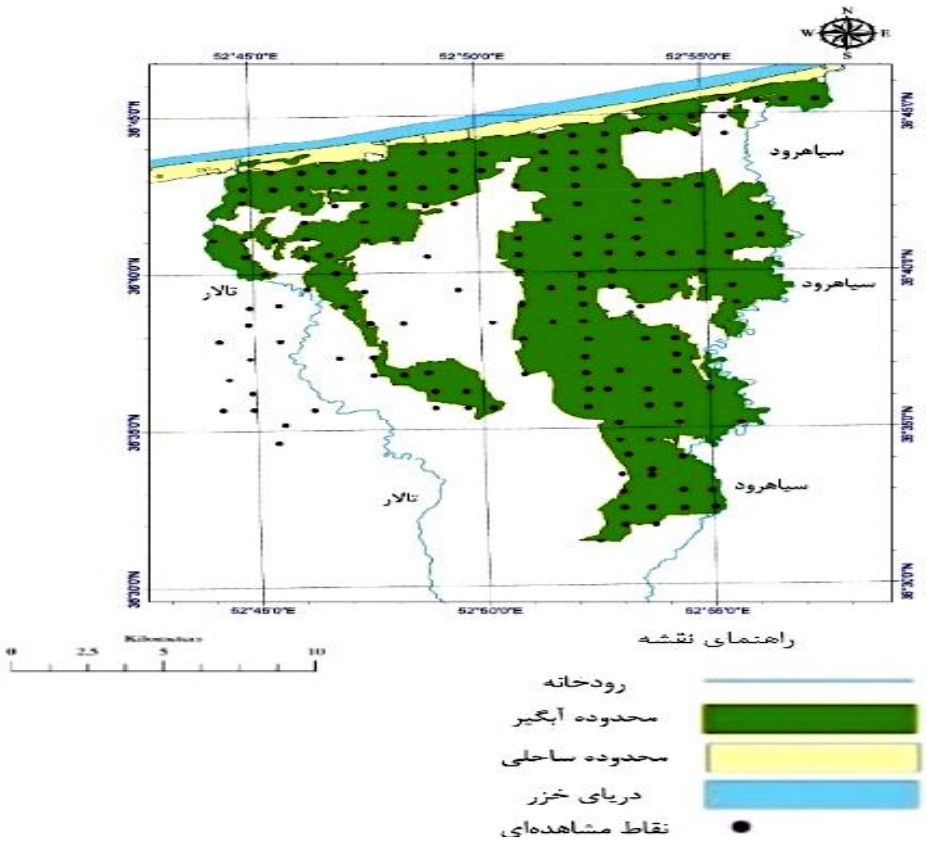


شکل ۱- محدوده جغرافیایی پروژه آبیاری و زهکشی البرز

Figure 1. The geographic range of Alborz irrigation and drainage project

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]



شکل ۲- محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در پروژه البرز
Figure 2. The geographic range of studied area within Alborz project

گروه‌بندی داده‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بر مبنای مقدار آسیب ناشی از تأثیر شوری انجام شد (جدول ۳). کلاس‌بندی داده‌های فاصله تا سطح ایستابی برای داشتن اولویت بالای اجرای زه‌کشی زیرزمینی (جدول ۴)، بر مبنای متوسط عمق ریشه گیاهان مختلف زراعی و باغی (جدول ۵) انجام شد. اثر متقابل و همزمان مشخصه‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و فاصله سطح ایستابی از سطح زمین روی اولویت زهکشی در جدول ۶ مشخص شده است. این جدول از ترکیب جدول‌های ۳ و ۴ حاصل شد. با توجه به این مطلب که در زهکشی زیرزمینی اولین هدف خارج کردن آب مازاد می‌باشد مشخصه اصلی در اولویت‌بندی در جدول ۶، فاصله تا سطح ایستابی در نظر گرفته شد. در ادامه برای مشخص کردن زیراولویت‌ها برای اولویت‌های اصلی (مشخصه فاصله از سطح ایستابی)، مشخصه هدایت الکتریکی عصاره اشباع مد نظر قرار گرفت؛ به این ترتیب که ۳ زیراولویت برای اولویت اصلی شماره ۱ و ۴ زیراولویت برای سایر اولویت‌های اصلی (۲، ۳ و ۴) مشخص شد.

جدول ۳- حدود آستانه‌ای به کار رفته برای هدایت الکتریکی عصاره اشباع (۹)
Table 3. The thresholds used for electrical conductivity of saturation extract (9)

هدایت الکتریکی عصاره اشباع (میکروموس بر سانتی‌متر)	اولویت
< ۲۵۰	۵
۲۵۰ – ۷۵۰	۴
۷۵۰ – ۲۰۰۰	۳
۲۰۰۰ – ۳۰۰۰	۲
> ۳۰۰۰	۱

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

جدول ۴- حدود آستانه‌ای به کار رفته برای فاصله تا سطح ایستابی برای اولویت‌بندی زهکشی

Table 4. The thresholds used for distance from water table for drainage priority

فاصله تا سطح ایستابی (متر)	اولویت
۰ – ۰/۵	۱
۰/۵ – ۱	۲
۱ – ۱/۵	۳
۱/۵ – ۲	۴
> ۲	۵

جدول ۵- عمق ریشه در گیاهان مختلف (۸)

Table 5. The root depth for different plants (8)

ردیف	گیاه	عمق ریشه (متر)	ردیف	گیاه	عمق ریشه (متر)
۱	جو	۱	۱۵	سیب زمینی	۰/۴
۲	مرکبات	۱/۱	۱۶	حبوبات	۰/۶
۳	کاکائو	۰/۷	۱۷	برنج	۰/۵
۴	نارگیل	۱	۱۸	کائوچو	۱
۵	قهوه	۰/۹	۱۹	کنجد	۱
۶	پنبه	۱	۲۰	سورگوم	۱
۷	فیبر	۰/۸	۲۱	سویا	۰/۶
۸	علوفه	۰/۸	۲۲	نیشکر	۱/۲
۹	بادام زمینی	۰/۵	۲۳	آفتابگردان	۰/۸
۱۰	ذرت	۰/۹	۲۴	سیب زمینی شیرین	۱
۱۱	نخل	۰/۷ = ۱/۱	۲۵	چای	۰/۹
۱۲	غلات و حبوبات	۱	۲۶	تنباکو	۰/۷
۱۳	میوه های دیگر	۱	۲۷	سبزیجات	۰/۴
۱۴	ریشه های دیگر	۰/۵	۲۸	گندم	۱

جدول ۶- ترکیب مشخصه‌های مختلف برای تعیین زیراولویت‌های اجرای زهکشی زیرزمینی

Table 6. Considering different characteristics to define the sub-priorities to conduct subsurface drainage

اولویت اصلی	زیر اولویت	فاصله تا سطح ایستابی (متر)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع (میکروموس بر سانتی‌متر)
۱	۱–۱	۰ – ۰/۵	۳۰۰۰ – ۲۰۰۰
	۱–۲		۲۰۰۰ – ۷۵۰
	۱–۳		۷۵۰ – ۲۵۰
۲	۲–۱	۰/۵ – ۱	۳۰۰۰ – ۲۰۰۰
	۲–۲		۲۰۰۰ – ۷۵۰
	۲–۳		۷۵۰ – ۲۵۰
	۲–۴		< ۲۵۰
۳	۳–۱	۱ – ۱/۵	۳۰۰۰ – ۲۰۰۰
	۳–۲		۲۰۰۰ – ۷۵۰
	۳–۳		۷۵۰ – ۲۵۰
	۳–۴		< ۲۵۰
۴	۴–۱	۱/۵ – ۲	۳۰۰۰ – ۲۰۰۰
	۴–۲		۲۰۰۰ – ۷۵۰
	۴–۳		۷۵۰ – ۲۵۰
	۴–۴		< ۲۵۰

آنالیز زمین‌آماری

تحلیل ساختار فضایی مشخصه‌های مورد بررسی برای رسم نقشه‌های پهنه‌بندی، با استفاده از آنالیزهای زمین‌آماری، با ابزار آنالیز زمین‌آماری[1] در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد (جدول ۷). تکنیک مورد استفاده برای میان‌یابی و به دست آوردن نقشه خطوط هم‌تراز برای مشخصه‌های مورد بررسی نرمال شده، روش کریجینگ معمولی[2] بود.

برای بررسی تغییرات مکانی از نیم‌تغییرنما[3] (رابطه ۱) استفاده شد (۱۱). نیم‌تغییرنما عدم تشابه بین داده‌ها را هر چه فواصل بین آن‌ها افزایش می‌یابد، بیش‌تر نشان می‌دهد. نیم‌تغییرنمای تجربی[4] که با $\gamma^*(h)$ نشان داده می‌شود با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \qquad (۱)$$

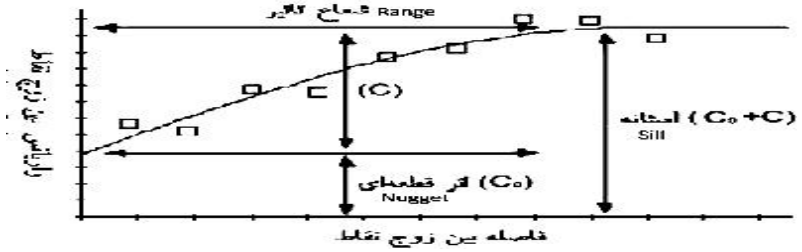
که در آن، $N(h)$ تعداد کل جفت نقاط می‌باشد و $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر در نقاط x_i و x_i+h می‌باشد. از نظر تئوری، مقدار نیم‌تغییرنما به ازای $h=0$ بایستی به سمت صفر میل کند ولی در عمل عوامل مختلفی از جمله خطاهای نمونه‌برداری و آماده‌سازی داده‌ها و همچنین تغییرات کوچک مقیاس باعث بروز پرشی در مبدأ نیم‌تغییرنما می‌شود که به مقدار این پرش، اثر قطعه‌ای[5] می‌گویند. همانگونه که در شکل ۳ نیز مشخص است، با افزایش فواصل

1- Geostatistical Analyst
2- Ordinary Kriging
3- Semivariogram
4- Experimental Semivariogram
5- Nugget effect

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

بین جفت نقاط، مقدار نیم‌تغییرنما نیز افزایش یافته و سپس به حد ثابتی می‌رسد که به آن حد آستانه گفته می‌شود و فاصله‌ای که در آن حد آستانه رخ می‌دهد شعاع تأثیر نامیده می‌شود (۱۱).



شکل ۳- اجزای مختلف نیم‌تغییرنما (۱۱)
Figure 3. The semivariogram components (11)

برای سنجش شدت و ضعف همبستگی مکانی، معیارهای مختلفی وجود دارد که یکی از آن‌ها نسبت بخش ساختاردار (C) به کل واریانس یا حد آستانه (C_0+C) نیم‌تغییرنما است. با زیاد شدن مقدار C، مقدار C_0 (بخش بدون ساختار نیم‌تغییرنما) کم می‌شود و این امر نشان‌دهنده همبستگی مکانی بالاتر متغیر مورد نظر می‌باشد که در بهترین حالت این نسبت می‌تواند برابر یک شود. به طور کلی اگر این نسبت بزرگ‌تر از ۷۵ درصد باشد، یعنی داده‌ها همبستگی مکانی خوبی دارند. زمانیکه این نسب

ت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد یعنی داده‌ها همبستگی مکانی متوسط دارند و اگر نسبت C/(C0+C) کم‌تر از ۲۵ درصد باشد این مفهوم را می‌رساند که داده‌ها دارای همبستگی مکانی ضعیفی می‌باشند (۱۱).

برای ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی، روش اعتبارسنجی متقابل[1] استفاده شد. از دو معیار مجذور میانگین مربعات خطا[2] (رابطه ۲) و میانگین انحراف خطا[3] (رابطه ۳) برای سنجش روش‌ها استفاده شد (۱۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \qquad (۲)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Z^*(x_i) - Z(x_i))}{n} \qquad (۳)$$

در این روابط $Z^*(x_i)$ برابر مقدار برآورد شده متغیر در نقطه x_i، $Z(x_i)$ برابر مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x_i و n تعداد نقاط مشاهده‌ای است.

جدول ۷- مشخصات مدل‌های برازش داده شده به نیم‌تغییرنماهای مربوط به شاخص‌های مورد بررسی
Table 7. The settings of models of analyzed characteristics semivariograms

ردیف Row	شاخص Index	مدل Model	شعاع تأثیر(متر) Range (m)	آستانه جزئی(C) Partial sill (C)	اثر قطعه‌ای (C_0) Nugget (C_0)	C/(C+C0)	MBE	RMSE
۱	$EC_{(N)}$	گوسی	۴۵۰۰	۰/۰۷۰	۰/۰۰۷	۰/۹۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۹۷
۲	$DTWT_{(N)}$	کروی	۶۵۰۰	۹۰/۷۷۵	۲۸	۰/۷۵۲	۰/۰۰۱	۱۰/۷۵۰

$EC_{(N)}$: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (نرمال شده)
$DTWT_{(N)}$: فاصله تا سطح ایستابی (نرمال شده)

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی عصاره اشباع

پس از انجام مراحل مختلف میان‌یابی، محدوده‌های هم‌هدایت الکتریکی (همEC) روی محدوده آبگیر اراضی در پروژه البرز مشخص شد (شکل ۴ و جدول ۸). بر مبنای نتایج حاصله، کلاس ۲ (۷۵۰ > EC > ۲۵۰) با مساحت حدود ۱۲۰۰ هکتار (۶۵ درصد از کل مساحت اراضی)، بیشترین سهم را به خود اختصاص داد. بعد از کلاس ۲، به ترتیب کلاس‌های ۳ (۲۰۰۰ > EC > ۷۵۰)، ۴ (۳۰۰۰ > EC > ۲۰۰۰) و ۱ (EC < ۲۵۰) بیش‌ترین مساحت‌ها را داشتند.

بررسی پراکندگی هدایت الکتریکی نشان از روند افزایشی در این مشخصه از شرق در مجاورت رودخانه سیاهرود به سمت غرب در کنار رودخانه تالار داشت. کمترین هدایت الکتریکی در مجاورت رودخانه سیاهرود در ناحیه مرکزی محدوده و بیشترین هدایت الکتریکی در ناحیه غربی محدوده وجود داشت (شکل ۶). برای رفع مشکل شوری به عنوان یکی از اهداف اصلی زهکشی، اجرای سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در نواحی غربی محدوده آبگیر اراضی، اولویت بیشتری خواهد داشت.

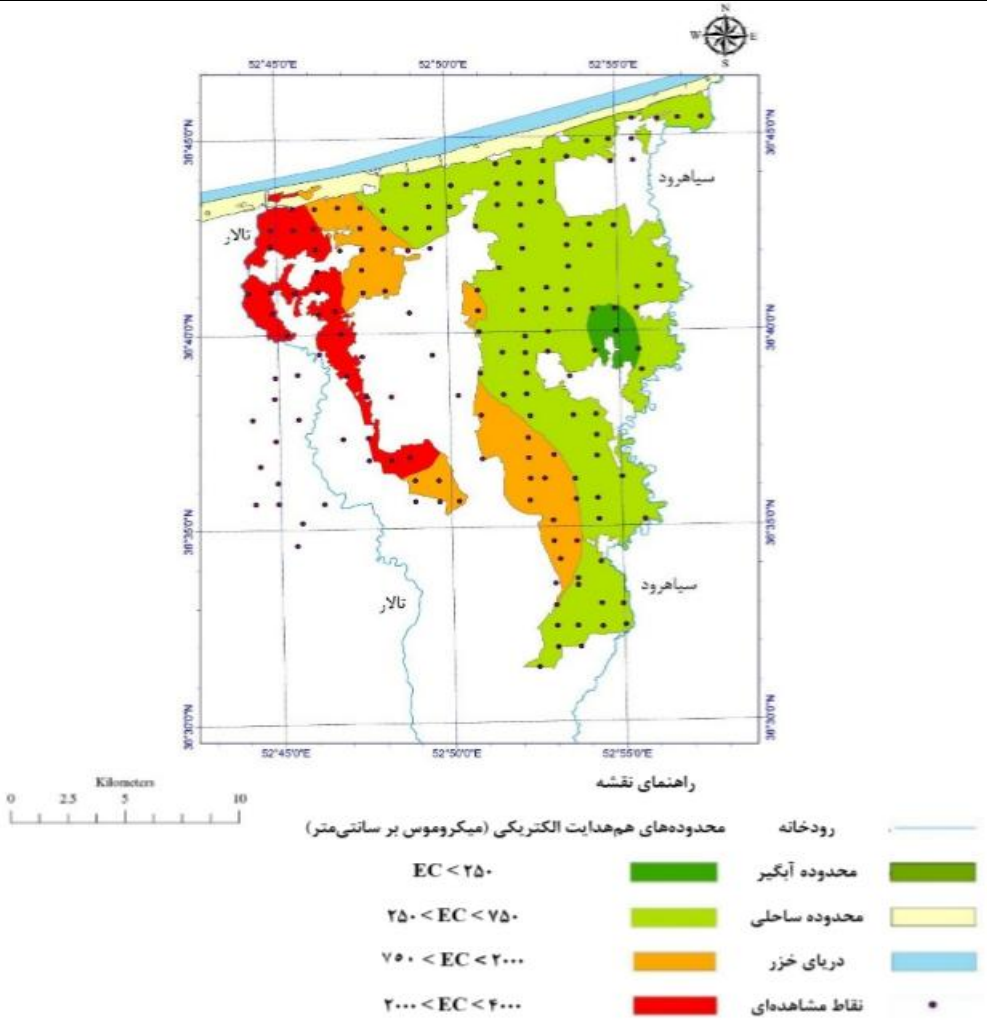
1- Cross Validation 2- Root Mean Square Error 3- Mean Bias Error

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

جدول ۸- مساحت مربوط به محدوده‌های با هدایت الکتریکی یکسان

Table 8. The area of zones with equal electrical conductivity

هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر)	کلاس EC	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
< ۲۵۰	۱ (عالی)	۴۸۶/۹۴	۲/۵۸
۲۵۰ – ۷۵۰	۲ (خوب)	۱۲۳۴۲/۱۵	۶۵/۳۸
۷۵۰ – ۲۰۰۰	۳ (مجاز)	۳۷۴۰/۷۲	۱۹/۸۲
۲۰۰۰ – ۳۰۰۰	۴ (مشکوک)	۲۳۰۷/۷۸	۱۲/۲۲
جمع		۱۸۸۷۷/۶۱	۱۰۰/۰۰



شکل ۴- محدوده‌های با هدایت الکتریکی یکسان در محدوده آبگیر اراضی در پروژه البرز

Figure 4. The zones with equal electrical conductivity within Alborz project

فاصله تا سطح ایستابی (عمق سطح ایستابی)

بر مبنای نتایج حاصل از پهنه‌بندی مشخصه فاصله سطح ایستابی از سطح زمین (شکل ۵) مشخص شد کلاس ۲ این مشخصه (۱ > D > ۰/۵) با مساحتی در حدود ۸۶۰۰ هکتار (معادل ۴۵ درصد از کل مساحت اراضی) بیش‌ترین سهم را داشته است. بعد از این کلاس، به ترتیب کلاس‌های ۵ (D > ۲)، ۳ (۱/۵ > D > ۱)، ۴ (۲ > D > ۱/۵) و ۱ (۰/۵ > D > ۱) واقع شدند (جدول ۹).

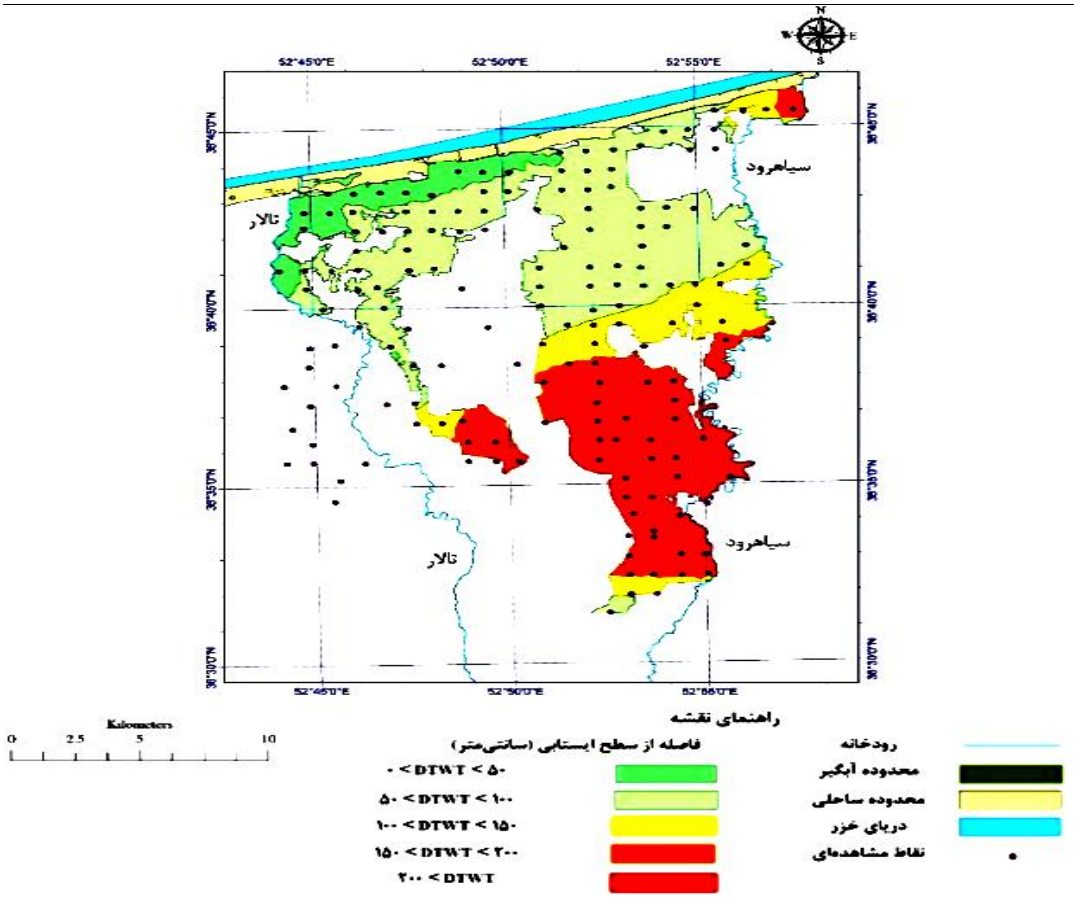
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

جدول ۹- مساحت مربوط به محدوده‌های با فاصله از سطح ایستابی یکسان

Table 9. The area of zones with equal distance from water table

فاصله از سطح ایستابی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۰ – ۰/۵	۱۶۷۸/۷۶	۸/۸۹
۰/۵ – ۱	۸۶۳۷/۰۰	۴۵/۷۵
۱ – ۱/۵	۲۴۸۳/۸۰	۱۳/۱۶
۱/۵ – ۲	۲۲۱۴/۳۰	۱۱/۷۳
> ۲	۳۸۶۳/۷۵	۲۰/۴۷
جمع	۱۸۸۷۷/۶۱	۱۰۰/۰۰



شکل ۵- محدوده‌های با فاصله از سطح ایستابی یکسان در محدوده آبگیر اراضی در پروژه البرز

Figure 5. The zones with equal distance from water table within Alborz project

کمترین فاصله از سطح ایستابی بیشتر در نواحی ساحلی دریای خزر مشاهده شد (شکل ۵). روند کلی افزایش سطح ایستابی راستای شمال به جنوب بود. در جنوبی‌ترین قسمت محدوده یک کاهش در فاصله تا سطح ایستابی مشاهده شد، لذا با توجه به این مشخصه، اجرای سیستم‌های زهکشی در نواحی نزدیک به ساحل دریای خزر اولویت بیشتری خواهند داشت. تعیین محل دقیق‌تر اجرای این سیستم‌ها با در نظر گرفتن دیگر عوامل، امکان‌پذیر خواهد بود.

اولویت‌بندی اجرای پروژه‌های زهکشی زیرزمینی

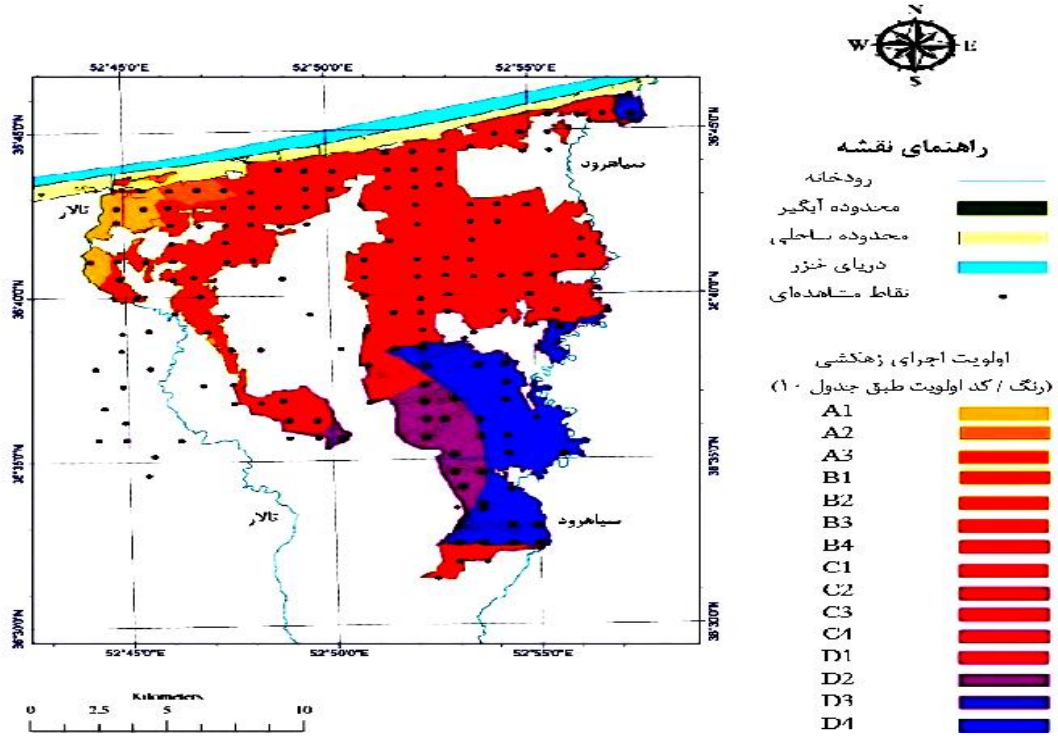
اولویت‌بندی اجرای پروژه‌های زهکشی زیرزمینی بر مبنای چگونگی تأثیر عوامل مختلف نشان داد حدود ۱۶۸۰ هکتار (۸/۸۹٪) از اراضی بیشترین اولویت برای اجرای زهکشی (اولویت ۱) را داشتند. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده اولویت دوم دارای مساحت حدود ۸۶۴۰ هکتار (۴۵/۷۵٪) بود. اولویت‌های ۳ و ۴ به ترتیب دارای مساحت‌های حدود ۲۴۸۰ هکتار (۱۳/۱۶٪) و ۶۰۸۰ هکتار (۳۲/۲۰٪) بودند. در بین زیراولویت‌ها، زیراولویت ۳-۲ با سهم ۳۳/۳۱٪ بیشترین مساحت (حدود ۶۲۹۰ هکتار) را به خود اختصاص داد و بعد از آن زیراولویت‌های ۳-۴ و ۲-۴ واقع شدند (جدول ۱۰ و شکل ۶).

با توجه به نقشه پهنه‌بندی اولویت اجرای زهکش زیرزمینی (شکل ۶)، اراضی اولویت‌دار (اولویت‌های ۱ و ۲) عموماً در نیمه شمالی محدوده آبگیر اراضی پروژه البرز واقع شدند. این مناطق یا به واسطه واقع شدن در موقعیت‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

دارای مشکل شوری و یا به واسطه قرار گرفتن در موقعیت‌های مشکل‌دار به لحاظ سطح ایستابی و یا تلفیقی از این دو مشکل در اولویت‌های اصلی زهکشی زیرزمینی قرار گرفتند. نتایج نشان داد با نزدیک‌تر شدن به ساحل دریای خزر اولویت اراضی برای اجرای زهکشی، بیشتر شد.



شکل ۶- محدوده‌های با اولویت اجرای زهکش زیرزمینی یکسان در محدوده آبگیر اراضی در پروژه البرز
Figure 6. The zones with equal priority for conducting subsurface drainage within Alborz project

جدول ۱۰- مساحت مربوط به محدوده‌های دارای اولویت یکسان برای اجرای زهکش زیرزمینی
Table 10. The area of zones with equal priority for conducting subsurface drainage

شماره اولویت	کد روی نقشه	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر متر)	فاصله از سطح ایستابی (متر)	مساحت (هکتار)	جمع مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	جمع مساحت (درصد)
۱-۱	A-1	۲۰۰۰ – ۳۰۰۰	۰ – ۰/۵	۷۲۷/۱۸	۱۶۷۸.۷۶	۳/۸۵	۸.۸۹
۱-۲	A-2	۷۵۰ – ۲۰۰۰		۳۱۴/۸۰		۱/۶۷	
۱-۳	A-3	۲۵۰ – ۷۵۰		۶۳۶/۷۸		۳/۳۷	
۲-۱	B-1	۲۰۰۰ – ۳۰۰۰	۰/۵ – ۱	۱۲۴۵/۴۵	۸۶۳۷.۰۰	۶/۶۰	۴۵.۷۵
۲-۲	B-2	۷۵۰ – ۲۰۰۰		۱۰۸۵/۱۴		۵/۷۵	
۲-۳	B-3	۲۵۰ – ۷۵۰		۶۲۸۷/۳۶		۳۳/۳۱	
۲-۴	B-4	EC < ۲۵۰		۱۹/۰۵		۰/۱۰	
۳-۱	C-1	۲۰۰۰ – ۳۰۰۰	۱ – ۱/۵	۱۶۵/۲۶	۲۴۸۳.۸۰	۰/۸۸	۱۳.۱۶
۳-۲	C-2	۷۵۰ – ۲۰۰۰		۴۸/۸۳		۰/۲۶	
۳-۳	C-3	۲۵۰ – ۷۵۰		۱۸۱۰/۲۸		۹/۵۹	
۳-۴	C-4	EC < ۲۵۰		۴۵۹/۴۳		۲/۴۳	
۴-۱	D-1	۲۰۰۰ – ۳۰۰۰	D > ۱/۵	۱۶۹/۸۹	۶۰۷۸.۰۵	۰/۹۰	۳۲.۲۰
۴-۲	D-2	۷۵۰ – ۲۰۰۰		۲۲۹۱/۹۶		۱۲/۱۴	
۴-۳	D-3	۲۵۰ – ۷۵۰		۳۶۰۷/۷۳		۱۹/۱۱	
۴-۴	D-4	EC < ۲۵۰		۸/۴۷		۰/۰۵	

استفاده از ابزارهای مدیریت مکانی مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی در اولویت‌بندی اجرای سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در سطح یک منطقه با ممکن ساختن صرفه‌جویی در وقت و هزینه بسیار مفید می‌باشد. لذا در این پژوهش اولویت‌بندی مکانی زهکشی زیرزمینی در محدوده پروژه البرز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از مشخصه‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و فاصله سطح ایستابی از سطح زمین مورد بررسی واقع شد. در میانیابی عوامل مؤثر بر زهکشی زیرزمینی، روش کریجینگ، نتایج قابل قبولی را در میانیابی ارایه داد. در مطالعات انجام شده توسط زاهدی‌فر و همکاران (۱۹)، موسوی و همکاران (۱۳) و باقری بداغ‌آبادی و همکاران (۴) نیز روش کریجینگ

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

به عنوان بهترین روش میان‌یابی شناخته شد. استفاده از روش کریجینگ به عنوان روش با کمترین خطا برای تمام مشخصه‌های مورد بررسی برای میانیابی یکسان بود. بر مبنای نتایج حاصله، از مجموع مساحت اراضی، حدود ۹ درصد در اولویت اول و حدود ۴۶ درصد در اولویت دوم اجرای سامانه-های زهکشی زیرزمینی قرار گرفتند؛ ماتیو و همکاران (۱۲)، ازهر و همکاران (۳)، ساتیانارایانا و بونسترا (۱۷) و درزی و همکاران (۶)، افزایش عملکرد برنج را به عنوان نتیجه‌ای از اجرای سامانه زهکشی گزارش کرده‌اند، لذا با توجه به اختصاص سطح قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه به این محصول، اجرای سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر می‌نماید. در این راستا می‌توان مطالعاتی با محوریت بررسی اقتصادی اجرای این سامانه‌ها را نیز مورد بررسی قرار داد. همانگونه که در نقشه نهایی اولویت‌بندی اجرای سامانه‌های زهکشی مشخص می‌باشد (شکل ۶). اراضی با اولویت بالای اجرای سامانه‌های زهکشی بیشتر در نزدیکی سواحل دریای خزر واقع شده‌اند. تأثیر وجود دریای خزر بر سطح شوری خاک اراضی را می‌توان از دلایل این امر عنوان نمود. در عین حال با توجه به جغرافیای منطقه که بین دریای خزر و رشته‌کوه‌های البرز واقع شده است، می‌توان اینگونه بیان نمود که آن دسته از اراضی که با فاصله بیشتری از دریای خزر واقع شده‌اند، دارای خصوصیاتی چون دارا بودن زهکش‌های طبیعی به صورت رودها و دره‌ها می‌باشند. این مهم بر کمتر بودن مشکلات ناشی از بالا بودن سطح ایستابی موثر می‌تواند باشد. با توجه به نتایج، ضرورت انجام مطالعات دقیق‌تر در موقعیت‌های دارای مشکل در جهت اجرای سامانه‌های زهکشی زیرزمینی وجود خواهد داشت. همچنین، با استفاده از نتایج و نقشه‌های حاصله، می‌توان پروژه‌هایی مانند مکان‌یابی بهترین موقعیت‌ها برای اجرای کانال‌های زهکشی را مورد بررسی قرار داد. به صورتی که پس از بررسی بهترین مسیر برای انتقال زهاب، این امکان وجود خواهد داشت تا نسبت به مکان‌یابی بهترین موقعیت‌ها برای اجرای تجهیزات اصلی سیستم‌های زهکشی مانند محل اجرای سازه‌ها و نیز ایستگاه‌های پمپاژ (در صورت نیاز) نیز مطالعاتی نیز انجام داد.

منابع

1. Anonymous (1). 2007. Alborz Comprehensive water and soil management plan. Mahab Ghods Consulting Engineering Company Report N. 1: 568 pp (In Persian).
2. Anonymous (2). 2010. Agricultural statistics report. Jahad e Keshavarz Ministry, Vol. 1 (In Persian).
3. Azhar, A. H., M.M. Alam and M. Rafiq. 2005. Agricultural impact assessment of subsurface drainage projects in Pakistan– crop yield analysis. Pakistan Journal of Water Resources, 9: 1-7.
4. Bagheri Bodaqabadi, M., A. Amini Faskhoodi and A. Esfandiarpoor. 2007. Soil salinity zoning in order to use as landscape using geostatistical technique and principles of AHP (Kish Island). Research Journal of Isfahan University, 1: 101-116 (In Persian).
5. Bokusheva, R. and S. Kumghakar. 2008. Modeling Farms' Production Decisions under Expenditure Constraints, 107th EAAE Seminar "Modeling of Agricultural and Rural Development Policies". Sevilla, Spain, 18 pp.
6. Darzi, A., S.M. Mirlatifi, A. Shahnazari, F. Ejlali and M.H. Mahdian. 2012. Effect of surface and subsurface drainage in rice yield components at paddy lands. Journal of Water research at agriculture, 26: 61-70 (In Persian).
7. El Baroudy, A.A. 2016. Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. Catena, 140: 96-104.
8. FAO, R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper No. 56 Rome.
9. Fipps, G. 2003. Irrigation water quality standards and salinity management. Texas A and M. Agrilife extension service, United States department of agriculture and country commissioners courts of Texas cooperating, 18 pp.
10. Hosseini, S.A., S.M. Miremadi, Sh. Kheiry and S. Seifzade. 2010. The effects of time Management on the yield of canola from the Viewpoint of experts of Agriculture Organization of Qazvin Province. New discoveries at agriculture, 4: 191-202 (In Persian).
11. Kayedani, M. and M. Delbari. 2011. Zoning the soil salinity and assessment of salinity risk at Miankangi region (Sistan) by geostatistical methods. Journal of irrigation science and engineering, 35: 49-59 (In Persian).
12. Mathew, E.K., R.K. Panda and M. Nair. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. Agricultural Water Management, 47: 191-209.
13. Moosavi, A., A.R. safanian, N. Mirghafari and L. Khodakarami. 2011. Investigating the spatial distribution of heavy metals in soils of Hamadan province. Journal of soil Research, 25: 323-336 (In Persian).
14. Poormohamad, Y., A. Shahnazari, A.R. Emadi and M.Kh. ZiatabarAhmadi. 2011. Comprehensive water resources management, case study: Alborz dam Basin. M.Sc. Thesis at Irrigation and drainage. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Water Engineering Dep (In Persian).
15. Ritzema, H.P. 1994. Drainage principles and applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, the Netherland. 1107 pp.
16. Ritzema, H.P. 2007. Performance Assessment of Subsurface Drainage Systems- Case Studies from Egypt and Pakistan. Wageningen, Alterra, the Netherlands, 137 pp.
17. Satyanarayana, T.V. and J. Boonstra. 2007. Subsurface drainage pilot area experiences in three irrigated project commands of Andhra Pradesh in India. Irrigation and Drainage. 56: 245-252.
18. Sepaskhah, A.R., A.R. Tavakoli and F. Moosavi. 2006. Deficit irrigation use and principles. Iranian committee of irrigation and drainage press, pp: 1-10 (In Persian).
19. Zahedifar, M., S.A.A. Moosavi and M. Rajabi. 2013. Zoning of chemical characteristics of the quality of Fasa plain's underground water using geostatistical methods. Journal of water and soil, 27: 812-822 (In Persian).
20. ZiatabarAhmadi, A., A. Shahnazari, M.Kh. ZiatabarAhmadi and Q. Aqajani. 2011. Performance evaluation of subsurface drainage in conditions of preventing the entry of vertical flow. M.Sc. thesis in Irrigation and drainage. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Water engineering Dep, 97 pp (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]

Spatial Prioritization of Subsurface Drainage within the Alborz Project

Sohrab Khalili Vavdare[1], Ali Shahnazari[2], Mir Khaleqh ZiatabarAhmadi[3] and Mojtaba Cheraghizade[4]

1- Graduated M.Sc. Student, Professor and Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(Corresponding author: aliponh@yahoo.com)
Received: March 9, 2016 Accepted: July 13, 2016

Abstract

In order to produce the world's growing population food demands, it would be necessary to increase the productivity. Most of this increase should be gain by funding for improving irrigation and drainage at current fields. High costs of these projects and the funds' limitation make challenges to conduct the projects; so in order to have optimized use of the limited funds, it would be necessary to spatial prioritize the projects. At the current study spatial prioritization of subsurface drainage within the Alborz irrigation and drainage project was evaluated by using geographical information system (GIS). Prioritization was done based on the electrical conductivity and depth to water table. After determining limitations for effective factors on positioning, the interpolation done and interpolated maps were exported. After complexion of the interpolated maps for different factors, the prioritization map for conducting subsurface drainage was gained. The geostatistical analysis tool of ArcGIS software was used for interpolation. According to the results the kriging method had acceptable results for interpolation. After positioning the locations with various prioritizations, it founded that an area about 10300 ha (about 54.64 % of total area) was in the 1st and 2nd prioritizations. Generally these lands were at the northern half of area near to Caspian Sea. The main problems of these lands were salinity, swamplands or mixture of these two factors. According to the positive effect of drainage on rice productivity as one of the main crops of the area, conducting subsurface drainage systems for higher priorities is suggested.

Keywords: Mazandaran, Positioning, Soil improvement and aeration, Subsurface drainage

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.180]