

## تعیین مکان‌های مناسب برداشت آب جهت آبیاری با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای

### در دشت بیرجند

اصلان اگدرنژاد\*<sup>۱</sup>، نیاز علی ابراهیمی پاک<sup>۲</sup>، هادی محمدی والا<sup>۳</sup>، زهرا قربانی<sup>۴</sup> و محسن احمدی<sup>۵</sup>

(۱) استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۲) دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(۳) کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی.

(۴) دانشجوی دکتری رشته سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

(۵) دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

\* نویسنده مسئول: a\_eigder@ymail.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۴

### چکیده

منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در فاریاب اراضی بسیاری از مناطق ایران مخصوصاً شرق کشور دارند و اطلاع از تغییرات کمی و کیفی آن‌ها در یک حوضه و یا دشت تاثیر زیادی در تصمیم‌گیری بهره‌برداری از آن‌ها دارد. به همین دلیل این پژوهش به منظور پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند واقع در عرض جغرافیایی  $30^{\circ} 32'$  تا  $33^{\circ} 00'$  شمالی و طول جغرافیایی  $45^{\circ} 58'$  تا  $49^{\circ} 41'$  انجام شد. در این پژوهش، ابتدا لایه‌های مورد نیاز براساس عوامل نسبت جذبی سدیم، سختی کل، درصد سدیم محلول، بی‌کربنات سدیم باقیمانده، شاخص نفوذپذیری، نسبت جذبی منیزیم و نسبت کلایز در محیط GIS ایجاد و توسط روش ANP وزن‌دهی شدند. نتایج نشان داد که  $68/65$  درصد مساحت آبخوان در وضعیت نسبتاً بد قرار دارد. مناطق با کیفیت خوب و خیلی خوب به ترتیب با مساحت‌های  $5/25$  و  $5/34$  درصد بوده و به ترتیب در قسمت‌های جنوب شرقی و بخش‌هایی از مرکز و غرب این منطقه پراکنده می‌باشند. نامناسب‌ترین منطقه برای برداشت آب آبیاری در قسمت جنوب غربی این دشت قرار داشت و مساحتی بالغ بر  $13/77$  را پوشش می‌داد. براساس این نتایج، توسعه چاه‌های آب آبیاری در مناطق شرقی و جنوبی پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه‌ها: استحصال آب، پهنه‌بندی، نسبت کلایز، شاخص نفوذپذیری.

## مقدمه

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد دستیابی به منابع آب با کیفیت مطلوب از جمله عوامل تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود (یزدانی و منصوریان، ۱۳۹۳). در برخی از مناطق کشور مانند استان خراسان جنوبی، آب‌های زیرزمینی تنها منبع تأمین آب مورد نیاز برای مصرف به شمار می‌روند، لذا تعیین مناطق مناسب برای برداشت آب زیرزمینی با کیفیت مناسب می‌تواند سبب جلوگیری از اتلاف هزینه‌ها گردد. به همین دلیل استفاده از اطلاعات کیفیت منابع آب در برخی نقاط مشاهده‌ای و پهنه‌بندی کیفیت آب در این منطقه می‌تواند به این امر کمک موثری نماید (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۵). اهمیت این موضوع باعث شده که محققان بسیاری از جمله Collins و همکاران (2001)، Yaakup و همکاران (2005)، Shabani (2009) و Worqlul و همکاران (2017) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> به پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی برای مصارف بردازند. هم چنین استواری و همکاران (۱۳۹۰) از GIS به منظور پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب به منظور آبیاری دشت لردگان استفاده کرد و حشمتی و بیگی‌هرچگانی (۱۳۹۱) از GIS برای تعیین نقاط مناسب برای برداشت آب زیرزمینی در دشت شهرکرد استفاده کرد. دلبری و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی که روی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت کرمان انجام داد؛ نتیجه گرفتند که نواحی شمالی و غربی برای برداشت آب جهت آبیاری مناسب هستند. حیدری علمدارلو و همکاران (۱۳۹۲) تحقیق مشابهی روی دشت رودآب سبزوار انجام داد و عوامل اسیدیته، کلر و کل املاح جامد را برای این منظور استفاده کردند. صالحی و زینی‌وند (۱۳۹۳) با استفاده از GIS در پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی غرب شهرستان مریوان نشان دادند که کیفیت آب زیرزمینی این منطقه برای مصارف آبیاری مناسب است. محمدیاری و همکاران (۱۳۹۵) از GIS و طبقه‌بندی‌های ویلکاکس و سازمان بهداشت جهانی به منظور تعیین نقاط مناسب برداشت آب آبیاری در مناطق دهلران و مهران استفاده کردند. نتایج پژوهش چراغی‌زاده و شاهنظری (۱۳۹۵) در اراضی شهرستان‌های بابلسر و بابل به منظور برداشت آب جهت آبیاری نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در اراضی مورد مطالعه در وضعیت مناسبی به منظور مصارف آبیاری قرار دارد. سیفی و ریاحی‌مدوار (۱۳۹۶) در آزمایشی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان شهر بابل را از نظر مصارف کشاورزی بررسی کرده و گزارش کردند که آب زیرزمینی مورد مطالعه از نظر شاخص ویلکاکس در وضعیت نامناسبی قرار داشت. سجادی‌میان آب و یعقوبی (۱۳۹۶) کیفیت آب زیرزمینی برازجان را از نظر خصوصیات ژئوشیمیایی و به منظور مصارف آبیاری بررسی کردند. این محققان خلاف پژوهشگران پیشین از شاخص‌های متنوع‌تری مانند نسب جذب سدیم، شاخص نفوذپذیری و سدیم کربنات باقیمانده

---

<sup>1</sup>-GIS

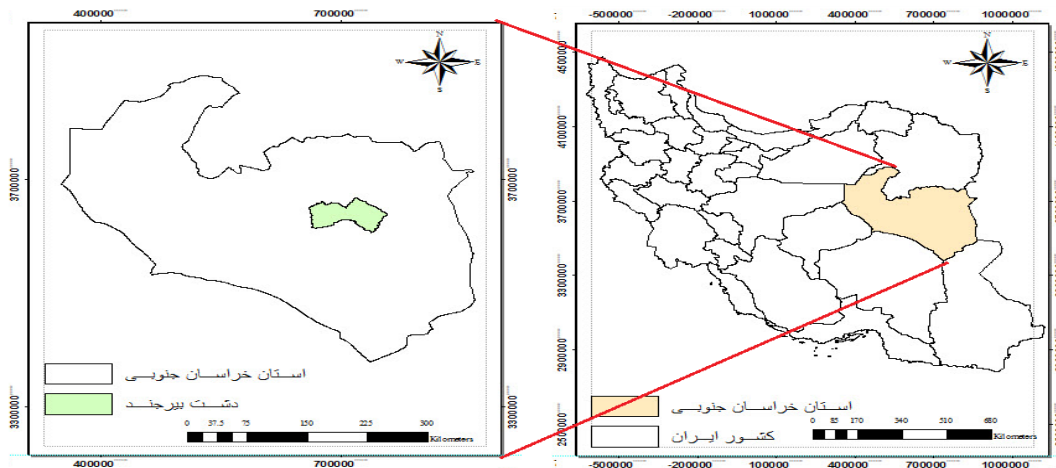
استفاده کرده و نشان دادند که کیفیت آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه در وضعیت متوسطی قرار داشت. نتایج حاصل از پژوهش‌ها نشان داد که گرچه هر کدام از محققان از عوامل متفاوتی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند، لیکن اثر هر شاخص را بر کیفیت نهایی یکسان در نظر گرفته‌اند. بدین منظور پیشنهاد شده است که از روش‌های وزن‌دهی به منظور رفع این مشکل استفاده شود تا نتایج نزدیک به واقعیت گردد (خاشعی‌سیوکی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Ganapuram، 2009؛ Sun et al، 2016). بر همین اساس، رمزی و همکاران (۱۳۹۳) از یک روش وزن‌دهی پایه به نام تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> برای تعیین مناطق مناسب برداشت آب زیرزمینی در استان خراسان جنوبی استفاده کردند. در این روش با وزن‌دهی به عوامل بی‌کربنات، اسیدیته، SAR، سدیم، شیب، سرعت باد و کلر، مناطق مناسب را شناسایی و پیشنهاد کردند. نتایج پژوهش Vadiati و Docheshmeh Gorgij (2014) که از روش وزن‌دهی AHP به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب آبیاری در دشت ایوانکی استفاده شده یود نشان داد که کیفیت آب این دشت در قسمت‌های جنوب و مرکزی برای آبیاری مناسب نیست در حالی که در قسمت‌های شرقی و غربی به ترتیب نسبتاً مناسب و خوب است. گرچه کاربرد روش AHP، سعی در دستیابی به نتیجه بهتر دارد؛ لیکن این روش اثر رابطه درونی عامل‌ها را در نظر نمی‌گیرد و تنها براساس اثر سلسله مراتبی به وزن‌دهی می‌پردازد (Saaty، 1980). لذا ضرورت دارد تا روش مناسب‌تری مانند تحلیل شبکه‌ای<sup>۳</sup> برای این کار در نظر گرفته شود. روش ANP علاوه بر در نظر گرفتن رابطه پیچیده میان سطوح تصمیم‌گیری و گزینه‌های مورد نظر، خطای تصمیم‌گیری در مقایسات را نیز کاهش می‌دهد (Saaty، 1996). علی‌رغم کاربرد این روش در تحقیقات مختلف (Garewal et al، 2017)؛ تاکنون مطالعات اندکی با استفاده از آن به منظور پهنه‌بندی مکان‌های مناسب برداشت آب جهت مصارف آبیاری انجام شده است. بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی و تعیین نقاط مناسب برداشت آب جهت مصارف آبیاری در دشت بیرجند و با استفاده از روش ANP در محیط GIS انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در دشت بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع در عرض جغرافیایی  $30^{\circ} 32'$  تا  $33^{\circ} 00'$  شمالی و طول جغرافیایی  $45^{\circ} 58'$  تا  $49^{\circ} 41'$  انجام شده است (شکل ۱).

<sup>۲</sup>-Analytical Hierarchy Process (AHP)

<sup>۳</sup>-Analytical Network Process (ANP)



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

این دشت به مساحت ۳۱۵۵ کیلومتر مربع بین ارتفاعات مومن‌آباد و سیستان از شرق، کوه‌های باقران و کوه رج از جنوب، ارتفاعات شاه ناصر و اسفدن از شمال و ارتفاعات چنگ‌در و گرونک از غرب محدود است. در این پژوهش از اطلاعات برداشت شده از ۱۸ چاه و ۹ قنات در سطح دشت استفاده شد و عوامل عناصر کلسیم (Ca)، سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، پتاسیم (K)، کربنات (CO<sub>3</sub>)، بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub>) و هدایت الکتریکی (EC) تعیین گردید. سپس عوامل نسبت جذبی سدیم<sup>۴</sup>، سختی کل<sup>۵</sup>، درصد سدیم محلول<sup>۶</sup>، بی‌کربنات سدیم باقیمانده<sup>۷</sup>، شاخص نفوذپذیری<sup>۸</sup>، نسبت جذبی منیزیم<sup>۹</sup> و نسبت کلایز<sup>۱۰</sup> براساس روابط ۱ تا ۷ محاسبه گردید (Srikantaswamy, 2009; Eaton, 1950; و Gholami, 2009; Raghunath, 1987; Kelley, 1963).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (1)$$

$$TH = (2.5Ca) + (4.1Mg) \quad (2)$$

$$SSP = \frac{100(Na + K)}{Ca + Mg + Na + K} \quad (3)$$

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \quad (4)$$

$$PI = \frac{100(Na + \sqrt{HCO_3})}{Ca + Na + Mg} \quad (5)$$

<sup>4</sup>-Sodium Absorption Ratio: SAR

<sup>5</sup>-Total Hardness : TH

<sup>6</sup>-Sodium Solubility Percentage : SSP

<sup>7</sup>-Residual Sodium Carbonate : RSC

<sup>8</sup>-Permeability Index : PI

<sup>9</sup>-Magnesium Adsorption Ratio: MAR

<sup>10</sup>-Kellies Ratio: KR

$$MAR = \frac{100Mg}{Ca + Mg} \quad (۶)$$

$$KR = \frac{Na}{Ca + Mg} \quad (۷)$$

به منظور استفاده از این عامل‌ها در محیط GIS، دامنه هر کدام از آن‌ها مطابق جدول (۱) تعیین و لایه مربوط به هر عامل توسط روش درون‌یابی IDW در محیط نرم‌افزار ایجاد گردید.

جدول ۱: دامنه تغییرات عوامل مورد استفاده (Obiefuna و Sheriff، ۲۰۱۰؛ Vadiati و Docheshmeh Gorgij، ۲۰۱۴)

شاخص	واحد	دامنه
EC	میکروموس بر سانتی‌متر	>۳۰۰۰; ۷۰۰-۳۰۰۰; ۴۰۰-۷۰۰
SAR	-	۱۸-۲۶; ۱۰-۱۸; ۰-۱۰
SSP	درصد	۸۰-۸۵; ۶۰-۸۰; ۴۰-۶۰; ۳۵-۴۰
RSC	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	(-۰/۳۵) — (۲/۷); (-۰/۳۵) — (-۱/۹); (-۴/۲) — (-۱/۹); (-۱/۶) — (-۴/۲)
PI	درصد	۶۰-۸۰; ۴۰-۶۰; ۲۹-۴۰
MAR	درصد	۶۰-۷۲; ۴۰-۶۰; ۲۰-۴۰; ۱۸-۲۰
KR	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	۱/۵۸-۰/۸۴; ۰/۶-۰/۸۴; ۰/۴۴-۰/۶; ۰/۲۱-۰/۴۴
TH	میلی‌گرم بر لیتر	۱۰۲۷-۱۷۴۳; ۷۰۳-۱۰۲۷; ۴۳۰-۷۰۳; ۱۵۰-۴۳۰

برای تعیین وزن هر لایه از روش ANP و نرم‌افزار Super Decision استفاده شد. بدین ترتیب که تعداد ۲۰ پرسشنامه بین افراد خبره پخش شد و از نتایج به دست آمده از نظرسنجی آن‌ها ابتدا ماتریس‌های دوتایی تشکیل و امتیازات عددی مربوط به مقایسه‌های زوجی اهمیت دو گزینه براساس آن انجام شد (رابطه ۸):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

در رابطه فوق  $a_{ij}$  ترجیح عنصر  $i$  نسبت به عنصر  $j$  می‌باشد. البته در مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر، بنا به شرط معکوسی، رابطه (۹) برقرار است.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (۹)$$

معیار وزن‌دهی به هر عنصر با توجه به اعداد جدول (۲) و بر اساس نظر متخصصان انجام شد. سپس وزن نهایی هر الگو

براساس رابطه (۱۰) و نرخ ناسازگاری براساس رابطه (۱۱) محاسبه گردید.

جدول ۲: مقیاس انجام مقایسات زوجی (قدسی پور، ۱۳۸۵)

مقیاسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)	امتیاز عددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فاصله‌های بالا	۸ و ۶، ۴، ۲

$$A = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \quad (10)$$

$$I.R = \frac{I.I}{R.I.I} \quad (11)$$

در روابط مذکور  $a_{ij}$  ترجیح عنصر  $i$ م بر  $j$ ام است.  $w_j$  نشانگر اهمیت معیار،  $A$  ماتریس مقایسه زوجی،  $R.I.I$  شاخص ناسازگاری تصادفی (رابطه ۱۲)،  $I.I$  شاخص ناسازگاری (رابطه ۱۳) و  $I.R$  نرخ ناسازگاری می‌باشد.

$$R.I.I = 1.98 \frac{n-2}{n} \quad (12)$$

$$I.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (13)$$

نتایج روش ANP به منظور اعمال وزن هر لایه در محیط GIS مورد استفاده قرار گرفت. سپس کلیه لایه‌ها با اعمال وزن مربوطه، در محیط GIS تلفیق شدند و نقشه نهایی پهنه‌بندی ایجاد گردید.

## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که نرخ ناسازگاری روش ANP دارای مقداری کمتر از ۰/۱ است (جدول ۳)، لذا نتایج حاصله با روش قابل اعتماد است (Saaty, 2001). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین وزن مربوط به عامل‌های SAR و EC است به طوری که مجموع وزن این دو عامل تقریباً نیمی از کل وزن‌ها را به خود اختصاص داده است. عوامل KR، SSP و RSC به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۱۸، ۰/۱۱۵ و ۰/۱۱۰ در اولویت‌های سوم تا پنجم قرار دارند. عامل TH با مقدار ۰/۰۶۸ در رتبه ششم قرار دارد و نسبت به SAR به مقدار ۲۸/۸ درصد در نتیجه نهایی اثر کمتری داشت. کمترین وزن نیز به عامل PI اختصاص داشت؛ به طوری که وزن این عامل نسبت به SAR و EC به میزان ۲/۹۱ و ۲/۲۰ برابر کمتر بود. اختلاف بین بیشترین و

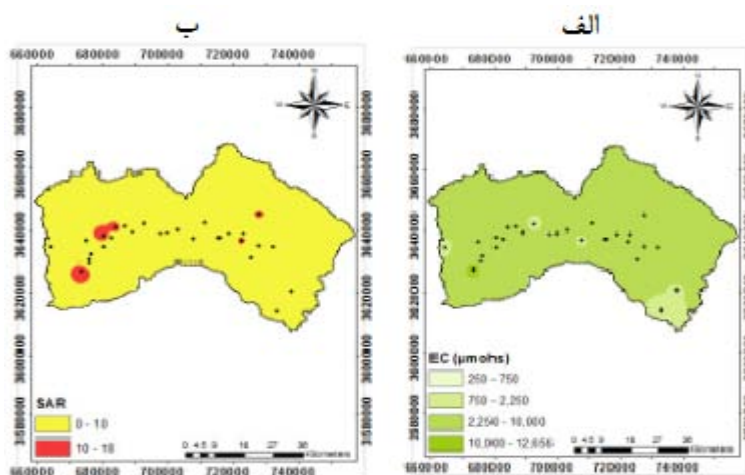
کمترین عامل نیز برابر ۰/۱۵۵ بود که با مقایسه این نتایج با مشاهدات Vadiati و Docheshmeh Gorgij (2014) مطابقت دارد مقایسه نتایج حاصل با مطالعات Vadiati و Docheshmeh Gorgij (2014) نشان داد که استفاده از روش ANP با فرض رابطه درونی بین عامل‌ها سبب کاهش وزن عوامل بالادست (SAR و EC) و افزایش وزن عوامل پایین دست (TH) شد (Saaty, 1996). بنابراین غلبگی دو عامل بالادست بر کل نتایج سرشکن شده و خطای ناشی از این حالت رفع گردیده است.

جدول ۳: نتایج وزن‌های به دست آمده با روش ANP

رتبه	وزن هر عامل	عناصر کیفی
۲	۰/۱۷۹	EC
۳	۰/۱۱۸	KR
۶	۰/۰۸۹	MAR
۷	۰/۰۸۱	PI
۵	۰/۱۱۰	RSC
۱	۰/۲۳۶	SAR
۴	۰/۱۱۵	SSP
۸	۰/۰۶۸	TH
-	۰/۰۰۱	نرخ ناسازگاری

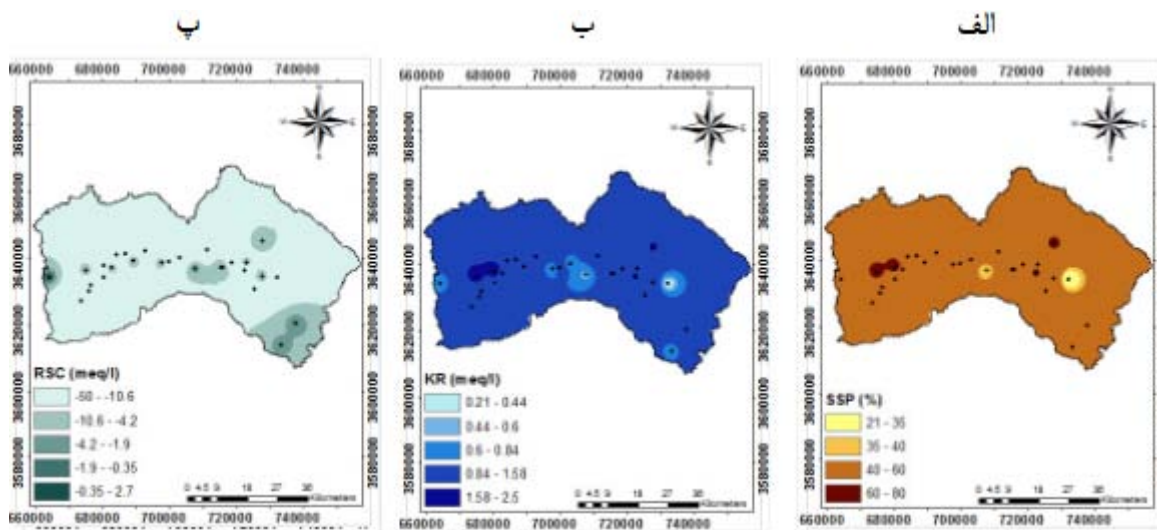
نتایج حاصل از پهنه‌بندی EC در دشت بیرجند نشان داد که در نقاط پراکنده‌ای از سطح دشت مقدار این عامل کمتر از ۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بود. در اکثر مناطق این دشت مقدار EC بین ۲۲۵۰-۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. مقدار SAR نیز در اکثر مناطق کمتر از ۱۰ بود ولی در برخی نقاط پراکنده نیز مقدار این عامل بین ۱۸-۱۰ متغیر بود. بنابراین در اکثر نقاط سطح این دشت، در کلاس S1C3 قرار دارد (Wilcox, 1954). لذا استفاده از آب این دشت برای مصارف آبیاری از نظر هدایت الکتریکی در وضعیت مطلوبی نیست ولی از نظر سدیم محدودیتی ندارد. با این وجود براساس گزارش‌های Sheikhy Narany و همکاران (۲۰۱۶) کیفیت آب زیرزمینی این دشت بر اساس این پارامترها در وضعیت قابل قبولی قرار داشت. این محققان بیشترین حد مجاز EC در آب زیرزمینی را برابر ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بیان کردند. با این وجود کاربرد این منبع آب می‌تواند سبب افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش عملکرد محصولات شود ( Khodapanah et al, 2009). بنابراین در نظر گرفتن آب لازم برای آبیاری جهت جلوگیری از تجمع املاح در سطح خاک ضروری است (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۵). از طرفی با توجه به کیفیت آب زیرزمینی در سطح دشت، استفاده از روش آبیاری بارانی و قطره‌ای (اخوان و قائمی‌زاده، ۱۳۹۳؛ سیفی و ریاحی‌مدوار، ۱۳۹۶) توصیه نمی‌شود و می‌بایست از آبیاری سطحی استفاده

کرد. گرچه با توجه به مسائل فنی و اجتماعی نیز تمایل به استفاده از آبیاری تحت فشار در این منطقه بسیار پایین است (رمزی و همکاران، ۱۳۹۳). در نتیجه تنها گزینه مورد استفاده در دشت آبیاری سطحی است و انتخاب مکان مناسب برای آبیاری با توجه سیستم آبیاری سطحی است.



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی عوامل EC (الف) و SAR (ب)

نتایج نشان داد که عامل SSP، در بیشتر سطح دشت دارای مقادیری بین ۴۰-۶۰ درصد بود (شکل ۳) و بخش‌هایی از مرکز نیز دارای مقادیر کمتر از ۴۰ درصد و بالای ۶۰ درصد بود. بنابراین در اکثر مناطق سطح دشت، تجمع سدیم در آبخوان در حد بالایی است (Hakim et al., 2009). مقدار عامل KR نیز در اکثر مناطق سطح دشت بین ۱/۵۸-۰/۸۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. مقدار عامل RSC در بیشتر نقاط مقداری منفی و کمتر از ۴/۲- بود. مقدار این عامل بالا تنها در بخش‌های کوچکی از جنوب شرقی و غرب این دشت است.

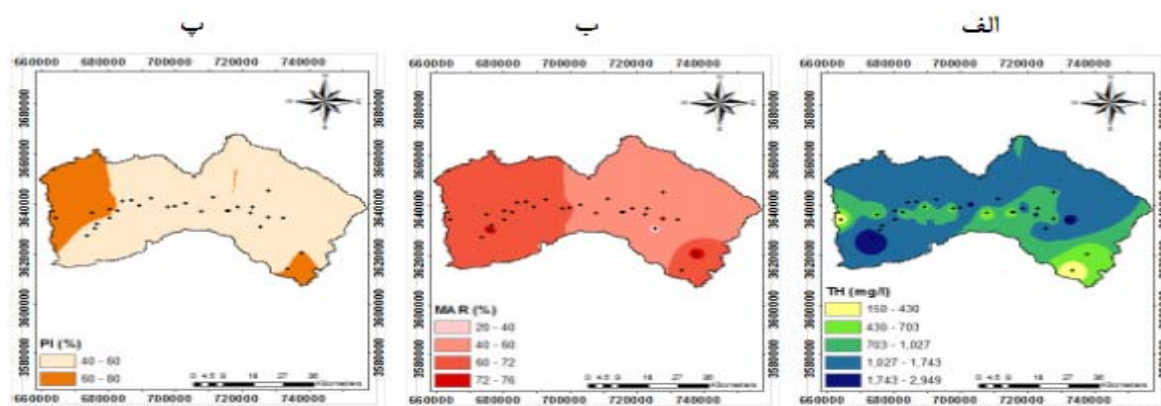


شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی عوامل SSP (الف)، KR (ب) و RSC (پ)



با توجه به مقادیر عواملی مانند SSP، SAR و KR که در سطح دشت مقادیر نسبتاً بالا و یکسانی داشتند؛ مقدار کاتیون‌ها در سطح نسبتاً بالایی بودند. به همین دلیل مقدار عامل RSC در سطح دشت پایین بود (مقیمی، ۱۳۹۴). بنابراین استفاده از آب زیرزمینی در این دشت خطری برای رسوب کربنات‌ها ندارد.

نتایج نشان داد که تغییرات TH در سطح دشت بسیار گسترده بود (شکل ۴). در قسمت‌های شمالی و جنوب‌غربی دشت، عامل TH دارای مقادیر بالایی است و کمترین مقادیر این عامل در بخش‌های کوچکی از غرب و جنوب شرقی این دشت دیده شد. در مرکز و جنوب نیز مقادیر این عامل عمدتاً کمتر از ۱۰۲۷ میلی‌گرم بر لیتر بود هم چنین نتایج نشان داد که شرق دشت از نظر عامل MAR مقدار کمتری نسبت به قسمت‌های غربی و جنوب شرقی است و مقدار MAR در قسمت‌های شرقی کمتر از ۶۰ درصد و در سایر قسمت‌های دشت بیشتر از این مقدار بود. جهت شیب سنگ بستر آبخوان در جهت شرقی-غربی است و این آبخوان دارای ۹ جبهه ورودی (۶ جبهه از جنوب، دو جبهه از شمال شرق و یک جبهه از شمال غرب) و ۱ جبهه خروجی (در غرب) دشت است. بنابراین حرکت آب زیرزمینی در این مسیرها و تأثیر پذیرفتن آن از سازندهای زمین‌شناسی سبب کاهش کیفیت آن می‌شود (Hamzaoui-Azaz et al., 2010; Shahbazi and Feiznia, 2011). البته در برخی موارد کیفیت آب زیرزمینی برای برخی شاخص‌های مورد بررسی تحت تأثیر محل ورود جریان نبوده است که این به علت سازند شیمیایی متفاوت در آن محل است (حیدری علمدارلو و همکاران، ۱۳۹۲). این پدیده به خصوص برای مناطق حوضه مرکزی و کویری ایران بسیار شایع است (Shahbazi و Feiznia، 2011). نتایج حاضر با مشاهدات صالحی و زینی‌وند (۱۳۹۳) و حیدری علمدارلو و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. این نتایج نیز کاهش کیفیت آب زیرزمینی را در مسیر حرکت خود در آبخوان گزارش کردند. با توجه به یکسان بودن مقادیر عامل KR و SAR در سطح دشت، در قسمت‌های غربی و جنوب شرقی مقدار منیزیم در آب زیرزمینی بالا بود. این عامل سبب افزایش هدایت الکتریکی و کاهش محصولات کشاورزی می‌گردد (Joshi et al., 2009).

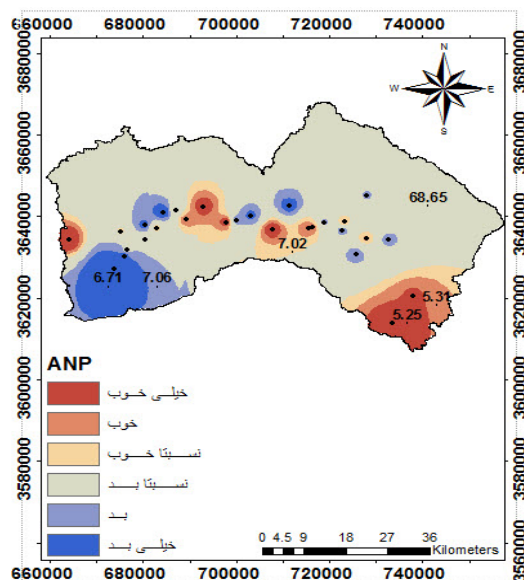


شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی عوامل TH (الف)، MAR (ب) و PI (پ)

نتایج نشان داد که شاخص PI نیز در قسمت‌های شمال‌غربی، غرب و جنوب‌شرقی مقداری بالاتر از ۶۰ درصد داشت که برای استفاده به عنوان آب آبیاری مشکل ایجاد خواهد کرد. به همین دلیل استفاده دراز مدت از آب زیرزمینی این دشت، میزان نفوذپذیری خاک را تحت تأثیر قرار خواهد داد (مقیمی، ۱۳۹۴). لیکن در سایر مناطق این عامل در حد قابل قبولی بود و یکی از علل آن را می‌توان غلظت مناسب یون سدیم، با توجه به شکل ۲، در این مناطق دانست.

بیشترین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در این دشت به گندم و جو اختصاص دارد (بی‌نام، ۱۳۹۵). علی‌رغم تجربیات کشاورزان این منطقه برای کشت این محصولات، تحقیقات انجام شده توسط محققان مختلف از جمله جوان و فال-سلیمان (۱۳۸۷) و نخعی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی نیز کشت گیاهان جو و گندم را در این منطقه مناسب‌تر از سایر گیاهان نشان داد. براساس نتایج منتشر شده توسط Mass و Haffman (۱۹۷۶) کاهش عملکرد گندم و جو با کیفیت آب موجود در این منطقه حداکثر برابر با ۵۰ درصد است. گرچه برخی تحقیقات نیز نشان داده است که کشاورزان با استفاده از ارقام محلی و یا اصلاح شده سبب بهبود عملکرد گیاهان از جمله گندم در این منطقه شده‌اند (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۷).

نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند با اعمال ضرایب هر لایه (جدول ۳) در شکل (۵) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که ۵/۲۵ و ۵/۳۴ درصد این دشت که عمدتاً در جنوب‌شرقی و بخش‌های کوچکی از مرکز و غرب این دشت را شامل می‌شدند به ترتیب کیفیت خیلی خوب و خوب به منظور مصارف آبیاری داشتند.



شکل ۵: نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی

ضخامت آبخوان بیرجند در مناطق شرقی بیشتر از مناطق غربی است (همراز و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین؛ کیفیت مطلوب و ضخامت بیشتر سبب می‌شود تا بتوان چاه‌های بیشتری در این منطقه حفر نمود. ۶/۷۱ و ۷/۰۶ درصد سطح این دشت که عمدتاً در مناطق جنوب غربی و نقاط پراکنده‌ای از مرکز دشت را شامل می‌شدند به ترتیب دارای کیفیت خیلی بد و بد بودند. سطوح دارای کیفیت نسبتاً بد شامل ۶۸/۶۵ درصد این دشت بود. بخش‌هایی از جنوب و جنوب شرقی نیز با مساحت ۷/۰۲ درصد دارای کیفیت نسبتاً خوب برای مصارف آبیاری بود. به علت محدودیت منابع آب، حدود ۳۸ درصد از اراضی کشاورزی در این دشت تحت آبیاری هستند و مابقی به صورت دیم کشت می‌شوند (بی‌نام، ۱۳۹۵). بنابراین، منابع آبی استحصال شده در نقاط شرقی و شمالی می‌بایست بیشتر مورد استفاده قرار گیرند تا عملکرد بهتری به دست آید.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش، با در نظر گرفتن وزن‌های به دست آمده از روش ANP نشان داد که سطح وسیعی از این آبخوان (۶۸/۶۵ درصد) از نظر مصارف آبیاری در وضعیت نسبتاً بد قرار داشت. مساحتی برابر با ۵/۲۵ و ۵/۳۴ درصد از این دشت به ترتیب در وضعیت‌های خیلی خوب و خوب قرار دارند. این مناطق در قسمت‌های جنوب شرقی و بخش‌هایی از مرکز و غرب این منطقه پراکنده اند. نامناسب‌ترین مناطق برای آبیاری در این دشت در محل خروجی آبخوان (جنوب غربی) قرار دارد در مجموع مساحتی برابر با ۱۳/۷۷ درصد از این دشت را تحت پوشش دارد. با در نظر گرفتن کیفیت آب این آبخوان و محدودیت کمی سایر منابع آب، چاه‌های موجود در قسمت‌های شرقی و جنوبی برای آبیاری می‌توانند توسعه یابند.

### منابع

استواری، ی.، بیگی هرچگانی، ح و داودیان، ع. (۱۳۹۰). ارزیابی بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی از شاخص‌های کیفی آب برای کاربرد در طراحی آبیاری قطره‌ای در دشت لردگان. آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲(۵)، ص ۲۴۲-۲۵۴.

بی‌نام. (۱۳۹۵). آمارنامه جهاد کشاورزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

جوان، ج و فال سلیمان، م. (۱۳۸۷). بحران آب و لزوم توجه به بهره‌وری آب کشاورزی در نواحی خشک (مطالعه موردی: دشت بیرجند). جغرافیا و توسعه، شماره ۶(۱۱)، ص ۱۱۵-۱۳۸.

چراغی‌زاده، م و شاهنظری، ع. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی اراضی برای اجرای سامانه آبیاری موضعی با ارزیابی مشخصه‌های آب و خاک (مطالعه موردی: شهرستان‌های بابل و بابلسر)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲(۳۲): ۶۳-۸۰.

- حشمتی، س. س. و بیگی هرچگانی، ح. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد به منظور استفاده در طراحی سامانه‌های آبیاری. پژوهش آب در کشاورزی، شماره ۲۶(۱)، ص ۴۳-۵۹.
- حیدری علمدارلو، ا.، برآبادی، ح و طلوعی، س. (۱۳۹۲). ارزیابی کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت رودآب سبزواری. تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، شماره ۴(۲)، ص ۱-۱۲.
- خاشعی سیوکی، ع.، قهرمان، ب و کوچک‌زاده، م. (۱۳۹۱). ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مثال موردی: دشت نیشابور). پژوهش آب ایران، شماره ۵(۹)، ص ۱۰-۱.
- دلبری، م.، افراسیاب، پ و سالاری، م. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی فراسنج‌های کیفی (شوری و سدیمی) آب با استفاده از روش‌های زمین آماری؛ مطالعه موردی: دشت کرمان. مهندسی منابع آب، شماره ۶، ص ۲۴-۱۱.
- رمزی، ر.، خاشعی سیوکی، ع و شهیدی، ع. (۱۳۹۳). تعیین مناطق مستعد آبیاری قطره‌ای با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در استان خراسان جنوبی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، شماره ۱۸(۶۹)، ص ۲۲۷-۲۳۶.
- سجادی‌میان‌آب، ز و یعقوبی، س. م. (۱۳۹۶). ارزیابی ژئوشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت برازجان برای مصارف کشاورزی. دانش کشاورزی و تولید پایدار، شماره ۲۷(۱)، ص ۱۴۵-۱۳۳.
- سیفی، ا و ریاحی‌مدوار، ح. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی کیفی آبخوان شهر بابک از منظر خورندگی و رسوب‌گذاری، تناسب کشاورزی، شرب و آبیاری تحت فشار. آب و فاضلاب، در نوبت چاپ.
- شریعت‌راد، س. (۱۳۹۲). ژئومورفولوژی و رسوب‌شناسی بخش شمالی دشت مختاران؛ خراسان جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند.
- شهیدی، ع.، زمانی، غ.، کشکولی، ح ع و امیرآبادیزاده، م. (۱۳۸۷). مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری دو رقم‌گندم تحت تنش‌های شوری و خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، شماره ۱۱(۱)، صفحه ۲۵-۱۷.
- صالحی، ح و زینی‌وند، ح. (۱۳۹۳). بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب و کشاورزی و انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی آن (مطالعه موردی: غرب شهرستان مریوان). اکوهیدرولوژی، شماره ۱(۳)، ص ۱۶۶-۱۵۳.
- قائم‌زاده، ف و اخوان، س. (۱۳۹۳). امکان‌سنجی اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار براساس کیفیت آب (مطالعه موردی: دشت‌های استان همدان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۲۱(۱)، ص ۸۵-۶۵.
- قدسی‌پور، س. ح. (۱۳۸۵). تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- محمدیاری، ف.، توکلی، م و اقدر، ح. (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران از لحاظ کشاورزی با روش‌های زمین‌آمار. علوم و مهندسی آبیاری، شماره ۳۹(۴)، ص ۷۱-۸۳.
- مقیم، ه. (۱۳۹۴). ارزیابی زمین‌شیمیایی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت ساری-قائم‌شهر از نظر شرب و کشاورزی. مهندسی منابع آب، شماره ۸، ص ۶۸-۵۱.

نخعی، م.، هاشمی، ر.، خاشعی سیوکی، ع و احمدی، م. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). علوم و مهندسی آبیاری، شماره ۳۹(۲)، ص ۱۱۵-۱۲۴.

همراز، ب.، اکبرپور، ا و پوررضا بیلندی، م. (۱۳۹۴). تحلیل عدم قطعیت پارامتری MODFLOW توسط روش GLUE (مطالعه موردی: دشت بیرجند). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۲۲(۶)، ص ۶۱-۷۹.

یزدانی، و و منصوریان، ح. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های کمی و کیفی آبخوان دشت نیشابور. مهندسی آبیاری و آب، شماره ۴(۱۵)، ص ۱۱۸-۱۳۲.

**Collins M G, Steiner F R, and Rushman M J. (2001).** Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*. 28 (5), pp: 611-621.

**Docheshmeh Gorgij, A. and Vadiati, M. (2014).** Determination of groundwater quality based on important irrigation indices using analytical hierarchy process method, *Agricultural Advances*, 3(6), pp: 176-185.

**Eaton, F.M., (1950).** Significance of carbonate in irrigation waters. *Soil Science*, 69, pp: 123-133.

**Ganapuram, S., Kumar, V., Krishna, M., Kahya, E., and Demirel, C. (2009).** Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*. 40(7), pp: 506-518.

**Garewal, S. K., Vasudeo, A. D., Landge, V. S. and Ghare, A. D. (2017).** A GIS-based modified DRASTIC (ANP) method for assessment of groundwater vulnerability: A case study of Nagpur city, India, *Water Quality Research Journal*, 53(2), pp: 121-135.

**Gholami, S. and Srikantaswamy, S., (2009).** Analysis of agricultural impact on the Cauvery river water around KRS dam World. *Appl. Sci. J.*, 68, 1157-1169.

**Hakim, M.A., Juraimi, A.S., Begum, M., Hasanuzzaman, M., Uddin, M.K. and Islam, M.M. (2009).** Suitability evaluation of groundwater for irrigation, drinking and industrial purposes. *American Journal of Environmental Science*, 5, pp: 413-419.

**Hamzaoui-Azaza, F., Ketata, M., Bohlila, R., Gueddari, M., and Riberio, L. (2010).** Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss-Koutine aquifer. southeastern Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 174 (1), pp: 283-298.

**Joshi DM, Kumar A, and Agrawal N, (2009).** Assessment of the irrigation water quality of River Ganga in Haridwar District India. *Journal of Chemistry*, 2(2), pp: 285-292.

**Kelley, W.P., (1963).** Use of saline irrigation water. *Soil Science*, 95, pp: 355-391.

- Khodapanah, I., Sulaiman, W. N. A., and Khodapanah, N. (2009).** Groundwater quality assessment for different purpose in Eshtehard district, Treran, Iran, *European Journal of Scientific Research*, 36(4), pp: 543-553.
- Mass, E V., and Hoffman, G. J. (1976).** Crop salt tolerance, evaluating existing data. *International Salinity Conference Pub. Book*. Aug 1976.
- Obiefuna G.I, and Sheriff A, (2010).** Assessment of shallow groundwater quality of Pindiga Gombe area, Yola Area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. *Research Journal Of Environmental And Earth Sciences*, 3(2), pp: 131-141.
- Raghunath, I.I.M., (1987).** *Groundwater*, second ed. Wiley Eastern Ltd, New Delhi.
- Saaty T L. (1980).** *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty T L. (1996).** *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty T L. (2001).** The allocation of intangible resource: The analytic hierarchy process and linear programming. *Socio-Economic Planning Science*, 37(3), pp: 169-184.
- Shabani, M. (2009).** Determination of the most suitable geostatistical method for mapping of groundwater pH and TDS (a case study: Arsanjan plain). *Journal of Water Engineering*, 1 pp: 47-59.
- Shahbazi, R., and Feiznia, S. (2011).** Geological effects on degradation of surface water and groundwater quality in central drainage basin of Iran (case study: Cheshmeh-Ali Damghan watershed), *Quarterly Environmental Erosion Researches*. 1(1), pp: 93-104.
- Sheikhy Narany, T., Ramli, M. F., Fakharian, K. and Aris, A. Z. (2016).** A GIS-index integration approach to groundwater suitability zoning for irrigation purposes, *Arabian Journal of Geoscience*, 9(7).
- Sun, H., Wang, S., and Hao, X. (2017).** An improved hierarchy process methods for the evaluation of agricultural water management in irrigation districts of north China, *Agricultural Water Management*, 179(1), pp: 324-337.
- Wilcox LV, (1954).** *Classification and Use of Irrigation Waters*. Department of Agriculture, United States, Circular No. 696, Washington D.C. Pp. 16.
- Worqlul, A. W., Jeong, J., Dile, Y. T., Osorio, J., Schmitter, P., Gerik, T., Sirmivasan R., and Clark, N. (2017).** Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia, *Applied Geography*, 85, pp: 1-13.
- Yaakup, A., Ahmad Nazri, M. L., Sulaiman, S., and Bajuri, H. (2005).** GIS in urban planning and management. In: *Malaysian Experience International Symposium & Exhibition on Geoinformation*, Penang, Malaysia.