

## پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت مختاران به منظور آبیاری با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

اصلان اگدرنژاد<sup>\*۱</sup>

[a\\_eigder@ymail.com](mailto:a_eigder@ymail.com)

نیازعلی ابراهیمی پاک<sup>۲</sup>

هادی محمدی والا<sup>۳</sup>

زهرا قربانی<sup>۴</sup>

محسن احمدی<sup>۵</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۰

### چکیده

زمینه و هدف: در حال حاضر منابع آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین منابع برای مصارف آبیاری است. لذا تعیین تغییرات کیفیتی آن‌ها در سطح یک دشت یا منطقه به منظور استفاده بهینه، ضروری است. این مطالعه با هدف پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت مختاران به منظور آبیاری با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) انجام یافته است.

روش بررسی: این تحقیق در دشت مختاران واقع در عرض جغرافیایی  $32^{\circ} 13'$  تا  $32^{\circ} 46'$  شمالی و طول جغرافیایی  $40^{\circ} 45'$  تا  $45^{\circ} 59'$  شرقی در استان خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۳ انجام یافت. در این آزمایش، لایه‌های مختلف کیفیت آب زیرزمینی بر اساس عوامل نسبت جذبی سدیم، سختی کل، درصد سدیم محلول، بی‌کربنات سدیم، شاخص نفوذپذیری، نسبت جذبی منیزیم و نسبت کلایز در محیط GIS ایجاد و توسط روش تحلیل شبکه‌ای وزن‌دهی شد.

۱ - استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

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 سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

۵ - دکتری آبیاری و زهکشی.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که مناطق شرقی دارای کیفیت بهتری از لحاظ آب زیرزمینی نسبت به مناطق غربی است. هم چنین، ۴۰/۷۲٪ سطح دشت دارای کیفیت مطلوب (۳/۲۸، ۱۷/۰۹ و ۲۰/۳۵٪ به ترتیب در بازه‌های خیلی خوب، خوب و نسبتاً خوب) و ۵۰/۲۸ درصد سطح دشت دارای کیفیت نامطلوب (۴۹/۱۱، ۷/۳۵ و ۲/۸۲٪ به ترتیب در بازه‌های نسبتاً بد، بد و خیلی بد) بوده است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** براساس نتایج به دست آمده، استحصال آب آبیاری از نقاط شرقی و شمالی دشت می‌بایست افزایش یافته و کشاورزی دیم در سایر نقاط مورد توجه قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی، دشت مختاران، روش ANP، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

## **Zoning of Mokhtaran Plain's Groundwater for Irrigation Using Analytical Network Process (ANP)**

**Aslan Egdernezhad<sup>1\*</sup>**

[a\\_eigder@ymail.com](mailto:a_eigder@ymail.com)

**Niaz Ali Ebrahimipak<sup>2</sup>**

**Hadi Mohammadi Vala<sup>3</sup>**

**Zahra Ghorbani<sup>4</sup>**

**Mohsen Ahmadede<sup>5</sup>**

Admission Date: July 16, 2018

Date Received: February 9, 2018

### **Abstract**

**Background and Objective:** Groundwater is one of the most important water resources for irrigation usage in arid and semi-arid regions like Iran. So, in order to determine groundwater potential zones, it is important to specify its quality variations over a plain. The aim of this study was to zoning the groundwater quality of Mokhtaran plain, Iran, for irrigation using network analysis (ANP) method.

**Material and Methodology:** Regarding this purpose, this research was conducted to zone Mokhtaran Plain's groundwater located at latitude between 32° 13'-32° 46' N and longitude between 58° 40'-59° 45' E in South-Khorasan, Iran, in 2015. Sodium adsorption ratio (SAR), total hardness (TH), sodium solubility percentage (SSP), residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI), magnesium adsorption ratio (MAR) and Kelly's ratio (KR) were used to create water quality layers in GIS. Analytical network process (ANP) was utilized to implement these layers.

**Findings:** The results showed that quality of groundwater was better at the east region compared to the west. According to the results, appropriated region for irrigation covered about 40.72% of the plain (consist of sub-categories: 3.28, 17.09 and 20.35% in the class of very appropriate, appropriate and semi-appropriate, respectively) and non-appropriate one covered 50.28% (consist of sub-categories: 49.11, 7.35 and 2.82% in the class of semi non-appropriate, non-appropriate and very non-appropriate, respectively).

**Discussion and Conclusion:** Regarding the results, it is necessary to extract groundwater at north and east part of the plain. Indeed, rainfed agriculture must be considered in other parts of the plain.

**Key words:** Zoning, Mokhtaran Plain, ANP Method, Geographic Information System.

---

1- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Associated Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3- M.Sc. of Irrigation and Drainage

4- PhD Student, Department of Water Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

5- Ph.D of Irrigation and Drainage

## مقدمه

ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است و به همین دلیل آب با کیفیت مناسب یکی از موانع توسعه کشاورزی در این کشور محسوب می‌شود (۱). در مناطق شرقی و مرکزی کشور، منابع آب زیرزمینی به عنوان عامل اصلی رونق کشاورزی است. لذا بررسی کیفیت آب در نقاط مختلف می‌تواند به تصمیم‌گیری در خصوص استفاده از آن کمک کند. در این مورد روش‌های کلاسیک برای ارزیابی کیفیت آب در سطح یک دشت جواب‌گو نبوده و ضروری است تا از روش‌های نوین مانند پهنه‌بندی استفاده کرد. با توجه به این موضوع، این روش توسط محققان مختلفی مورد توجه قرار گرفته است (۲). بدین منظور هر محقق برای استفاده از این روش، شیوه‌ای خاص ارائه داده است.

به عنوان مثال کولینز و همکاران (۳)، یاکوب و همکاران (۴)، شعبانی (۵) و وورکول و همکاران (۶) استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> را پیشنهاد داده‌اند. از این روش به منظور تعیین تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی از شاخص‌های کیفیت آب برای کاربرد در آبیاری توسط استواری و همکاران (۷) در دشت لردگان استفاده شد. دلبری و همکاران (۸) به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از GIS برای تعیین مناطق مناسب جهت آبیاری استفاده کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که نواحی شمالی و غربی بدین منظور مناسب بوده و بقیه مناطق نسبتاً مناسب می‌باشند. نتایج آزمایش حیدری‌علمدارلو و همکاران (۹) در دشت رودآب سبزوار، صالحی و زینی‌وند (۱۰) در شهرستان مریوان، محمدیاری و همکاران (۲) در مناطق مهران و دهلران، چراغی‌زاده و شاه‌نظری (۱۱) در شهرستان‌های بابلسر و بابل نشان داد که پهنه‌بندی جواب مناسبی برای دشت‌ها دارد. آزمایش‌های سیفی و ریاحی‌مدوار (۱۲) با استفاده از پهنه‌بندی، به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان شهر بابک از نظر کشاورزی و آبیاری، نشان داد که کیفیت آب این دشت از نظر شاخص ویلکاکس در وضعیت نامناسب قرار دارد.

سجادی‌میاناب و یعقوبی (۱۳) به ارزیابی ژئوشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت برازجان برای مصارف کشاورزی پرداختند. این محققان از عوامل متفاوت‌تر از سایر محققان بدین منظور استفاده کردند. بدین صورت که عوامل کیفی این دشت با استفاده از روابطی به شاخص‌های نسبت جذب سدیم، شاخص نفوذپذیری، کربنات تبدیل و از این عوامل به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که آب‌های زیرزمینی این دشت دارای کیفیت متوسط برای آبیاری هستند. ارزیابی تحقیقات انجام یافته نشان داد که هر کدام با استفاده از عوامل متفاوتی به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی پرداخته‌اند، لیکن نتایج تحقیقات در این خصوص نشان می‌دهد که برای تعیین کیفیت نهایی آب زیرزمینی از روش‌های وزن‌دهی به عوامل کیفی آب باید استفاده کرد (۱۴-۱۶). این اقدام باعث می‌شود عواملی که بر کیفیت نهایی آب زیرزمینی اثر می‌گذارند وزن بیشتری داشته و به واقعیت نزدیک‌تر باشند.

بر این اساس رمزی و همکاران (۱۷) با استفاده از یک روش وزن‌دهی به نام تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> در محیط GIS کیفیت آب‌های زیرزمینی در استان خراسان جنوبی را برای مصارف آبیاری پهنه‌بندی کردند. این محققان عوامل بی‌کربنات، اسیدیته، SAR، سدیم، شیب، سرعت باد و کلر را مورد آزمایش قرار داده و به وزن‌دهی این عوامل برای تعیین مناطق مورد نیاز اجرای سیستم آبیاری پرداختند. دو چشمه‌گرگیج و ودیعتی (۱۸) با استفاده از روش AHP در محیط GIS به پهنه‌بندی کیفیت آب آبیاری در دشت ایوانکی پرداختند. نتایج آزمایش این محققان نشان داد که کیفیت آب دشت‌های جنوبی و مرکزی برای آبیاری مناسب نیست در حالی که در قسمت شرقی و غربی دشت به ترتیب نسبتاً مناسب و خوب است. روش AHP اثر رابطه درونی عوامل را در نظر نمی‌گیرد و تنها براساس اثر سلسله مراتبی به وزن‌دهی می‌پردازد (۱۹). بنابر این به نظر می‌رسد که این روش نمی‌تواند گزینه مناسبی

2- Analytical Hierarchy Process (AHP)

1- GIS

(۲۲-۲۵). این عوامل به ترتیب ارزیابی مشکلات نفوذ به علت عدم تعادل سدیم در آب آبیاری، میزان وجود یون‌های منیزیم و کلسیم، میزان رسوب کلسیم و منیزیم، مقدار سدیم مضر برای خاک و گیاه، میزان نفوذپذیری، مشکلات ناشی از نفوذ در اثر عدم تعادل منیزیم در آب آبیاری و میزان سمیت سدیم در آب آبیاری را نشان می‌دهند.

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

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

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

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

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

$$MAR = \frac{100Mg}{Ca+Mg} \quad (6)$$

$$KR = \frac{Na}{Ca+Mg} \quad (7)$$

دامنه تغییرات این عوامل براساس جدول ۱ تعیین شد و برای ایجاد لایه‌ها در محیط GIS با استفاده از روش زمین آمار وزن‌دهی معکوس فاصله<sup>۱</sup>، به دلیل دقت بالاتر نسبت به سایر روش‌های زمین آمار در این دشت، مورد استفاده قرار گرفت.

برای تصمیم‌گیری در خصوص کیفیت نهایی آب زیرزمینی باشد و بهتر است روش تحلیل شبکه‌ای<sup>۱</sup> جایگزین آن شود. تحلیل شبکه‌ای علاوه بر در نظر گرفتن رابطه پیچیده میان سطوح تصمیم‌گیری و گزینه‌های مورد نظر، خطای تصمیم‌گیری در مقایسه را نیز کاهش می‌دهد (۲۰). در خصوص استفاده از روش ANP در پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مطالعات اندکی صورت گرفته است؛ لیکن در سایر علوم مورد استفاده قرار گرفته است (۲۱).

با توجه به مرور منابع، نوآوری این تحقیق استفاده از روش ANP برای وزن‌دهی به پارامترهای شیمیایی آب جهت مصارف آبیاری است. به همین دلیل با توجه به اهمیت پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای آبیاری، در این تحقیق از روش ANP به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت مختاران، استان خراسان جنوبی استفاده شد.

#### روش بررسی

این تحقیق در دشت مختاران واقع در استان خراسان جنوبی بین عرض جغرافیایی ۱۳° تا ۳۲° ۴۶' شمالی و طول جغرافیایی ۴۰° ۵۸' تا ۴۵° ۵۹' شرقی در سال ۱۳۹۳ انجام یافت (شکل ۱). این دشت در محدوده شهرستان‌های بیرجند و سربیشه قرار دارد و مساحت ۲۴۲۷۰۱/۸۳ هکتار است. در این آزمایش مقادیر کلسیم (Ca)، سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، پتاسیم (K)، کربنات (CO<sub>3</sub>)، بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub>) و هدایت الکتریکی (EC) براساس میانگین نمونه‌برداری‌های منتهی به سال ۱۳۹۳ از ۱۸ چاه و ۹ قنات در سطح دشت تعیین شد. سپس عوامل نسبت جذبی سدیم<sup>۲</sup>، سختی کل<sup>۳</sup>، درصد سدیم محلول<sup>۴</sup>، بی‌کربنات سدیم<sup>۵</sup>، شاخص نفوذپذیری<sup>۶</sup>، نسبت جذبی منیزیم<sup>۷</sup> و نسبت کلایز<sup>۸</sup> براساس روابط ۱ تا ۷ محاسبه شدند

1- Analytical Network Process (ANP)

2- Sodium Absorption Ratio: SAR

3-Total Hardness : TH

4- Sodium Solubility Percentage : SSP

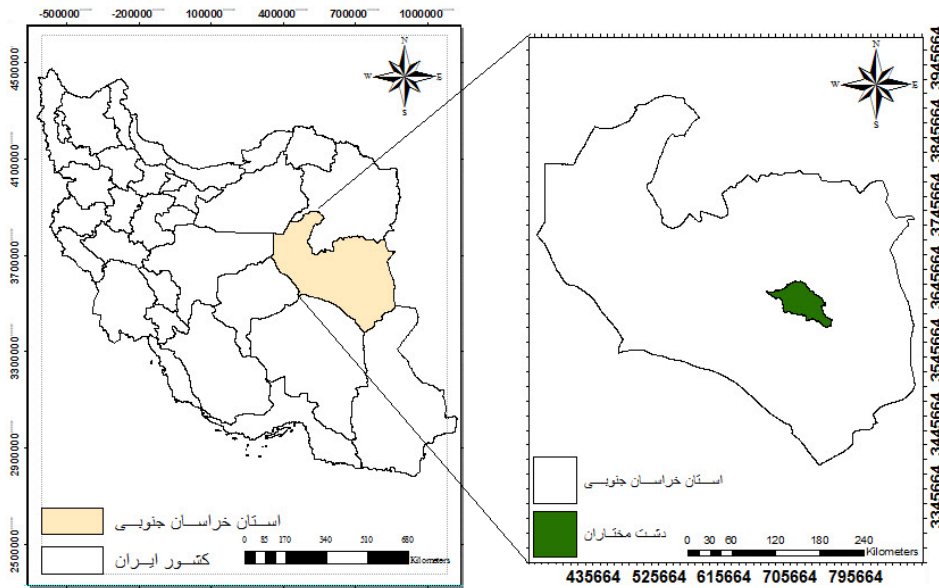
5- Residual Sodium Carbonate : RSC

6- Permeability Index : PI

7- Magnesium Adsorption Ratio: MAR

8- Kelly's Ratio: KR

9 -Inverse Distance Weighting: IDW



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Location of study area

جدول ۱- واحد و دامنه تغییرات عوامل مورد استفاده (۱۸ و ۲۶)

Table 1. Unit and range of parameters (18 and 26)

دامنه	واحد	شاخص
>۳۰۰۰; ۷۰۰-۳۰۰۰; ۴۰۰-۷۰۰	$\text{mhos.cm}^{-1}\mu$	EC
۱۸-۲۶; ۱۰-۱۸; ۰-۱۰	-	SAR
۸۰-۸۵; ۶۰-۸۰; ۴۰-۶۰; ۳۵-۴۰	%	SSP
(-۰/۳۵) — (۲/۷); (-۰/۳۵) — (-۱/۹); (-۴/۲) — (-۱/۹); (-۱۰/۶) — (-۴/۲)	$\text{meq.l}^{-1}$	RSC
۶۰-۸۰; ۴۰-۶۰; ۲۹-۴۰	%	PI
۶۰-۷۲; ۴۰-۶۰; ۲۰-۴۰; ۱۸-۲۰	%	MAR
۱/۵۸-۰/۸۴; ۰/۶-۰/۸۴; ۰/۴۴-۰/۶; ۰/۲۱-۰/۴۴	$\text{meq.l}^{-1}$	KR
۱۰۲۷-۱۷۴۳; ۷۰۳-۱۰۲۷; ۴۳۰-۷۰۳; ۱۵۰-۴۳۰	$\text{mg.l}^{-1}$	TH

عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو گزینه براساس آن انجام گرفت (رابطه ۸):

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

به منظور تعیین وزن هر لایه از روش ANP و نرم افزار Super Decision استفاده شد. این نرم افزار وزن دهی پارامترها را براساس روش ANP و به صورت شبکه‌ای در نظر می‌گیرد. بدین ترتیب که با تعیین خوشه‌ها، معیارها و گزینه‌ها عمل وزن دهی انجام گرفت. مقایسه‌ها برای وزن دهی براساس مقدار وزن اختصاص داده شده به هر پارامتر انجام یافت. با توجه به این موضوع و پیش از ورود داده‌ها به نرم افزار Super Decision، ابتدا ماتریس‌های دوتایی تشکیل و امتیازات

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

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

سپس با استفاده از وزن به دست آمده برای هر لایه توسط روش ANP، کلیه لایه‌ها در محیط Arc Map 10.2 تلفیق شدند و نقشه نهایی پهنه‌بندی ایجاد گردید.

#### یافته‌ها

نتایج (جدول ۳) نشان داد که طبق روش ANP به کار رفته، میزان نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ به دست آمد. بنابراین اعداد حاصل قابل اعتماد است (۲۸). عوامل SAR و EC به ترتیب با اوزان ۰/۲۳۶ و ۰/۱۷۹ بیشترین میزان را در بین عوامل مورد بررسی داشتند. لذا این دو عامل اصلی و تأثیر گذارتر هستند. عوامل KR، SSP و RSC در اولویت‌های بعدی قرار دارند. کمترین میزان اوزان نیز به عوامل TH و PI اختصاص یافت که به ترتیب مقادیری برابر ۰/۰۶۸ و ۰/۰۸۱ بودند. نتایج تحقیق دوچشمه‌گرگیج و ودیعتی (۱۸) نشان داد که بیشترین وزن با استفاده از روش AHP به EC و SAR اختصاص داشته است. مقادیر این وزن‌ها در روش AHP به ترتیب برابر با ۲/۳ و ۳/۲ بود. کمترین میزان وزن در آزمایش دوچشمه‌گرگیج و ودیعتی (۱۸) به عامل TH (۰/۲) اختصاص داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

مقایسه نتایج با وزن‌های به دست آمده (جدول ۳) نشان داد که روش ANP با فرض روابط درونی بین عوامل سبب کاهش وزن عوامل SAR و EC و افزایش وزن عواملی مانند TH شده است (۲۰). بر این اساس از خطای ناشی از غالب بودن دو عامل EC و SAR بر تصمیم‌گیری نهایی جلوگیری کرده است. مقایسه میزان اوزان سایر عوامل در تحقیق حاضر با مطالعه دوچشمه‌گرگیج و ودیعتی (۱۸) نیز این نتایج را تایید می‌کند.

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.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (9)$$

معیار وزن‌دهی به هر عنصر با توجه به اعداد جدول (۲) و بر اساس نظر متخصصان انجام یافت. بدین منظور، بیست پرسش‌نامه بین متخصصان پخش شد. سپس وزن نهایی هر الگو براساس وزن داده شده به هر پارامتر و طبق رابطه (۱۰) و نرخ ناسازگاری براساس رابطه (۱۱) محاسبه گردید.

#### جدول ۲- مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی (۲۷)

Table 2. Pair-wise comparison scale for ANP preferences (27)

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

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

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

در روابط یادشده  $a_{ij}$  ترجیح عنصر  $i$  بر  $j$  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.

## جدول ۳- نتایج میزان اوزان حاصل از روش ANP

Table 3. Results for priority vector

رتبه	وزن هر کازدام عوامل	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

توجه به این نتایج، از نظر هدایت الکتریکی، کیفیت آب این دشت به جز مناطق کوچکی در شرق آن، عمدتاً در کلاس C4 قرار می‌گیرد. با وجود این از نظر مقادیر سدیم عمدتاً در کلاس S1 قرار دارد (۳۳).

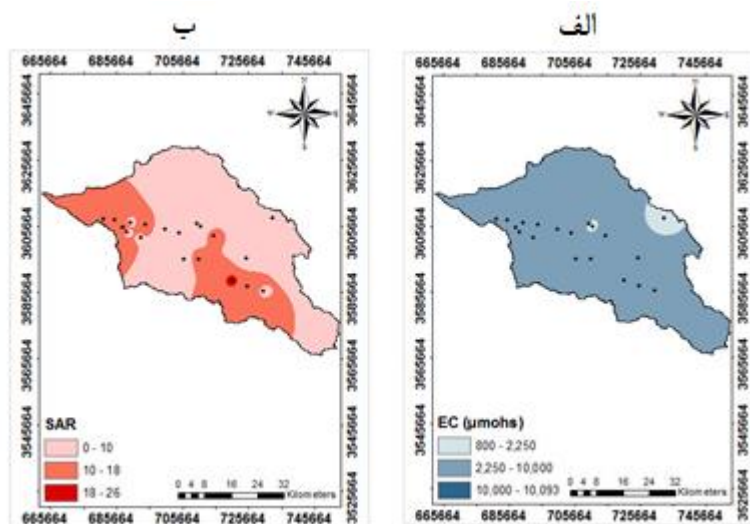
پهنه‌بندی مقادیر به دست آمده برای عامل SSP نشان داد در بخش‌هایی از غرب و جنوب این دشت مقادیر SSP بیشتر از ۶۰٪ بوده است (شکل ۳). این نتایج نشان دهنده تجمع سدیم در خاک است (۳۴). در سایر نواحی نیز مقدار این عامل بین ۴۰-۶۰٪ بود. عامل KR در قسمت‌هایی از جنوب، جنوب شرقی، شمال و غرب این دشت در وضعیت نامناسبی بود و مقادیر این عامل بین ۴/۶-۱/۵۸ میلی‌اکی‌والان بر گرم متغیر بود. در نقاط کوچک و پراکنده‌ای از سطح دشت نیز این عامل مقادیر پایینی داشت. به طوری که تغییرات آن در بازه ۰/۶-۰/۴۴ میلی‌اکی‌والان بر گرم بود. مقادیر عامل RSC در بیشتر نواحی منفی بود. کمترین مقادیر این عامل در نواحی غربی و قسمت کوچکی از جنوب دشت مشاهده شد. بیشترین مساحت دشت از لحاظ این عامل در بازه ۱۰/۶-۴/۲ میلی‌اکی‌والان بر گرم قرار داشت. تنها در محدوده کوچکی از شرق این دشت مقدار RSC مثبت بود. با توجه به حداکثر مقدار RSC در این دشت، محدودیتی در خصوص این پارامتر مشاهده نشد.

در شکل ۲ نقشه‌های پهنه‌بندی عوامل EC و SAR نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، کمترین میزان EC در قسمت کوچکی از غرب و مرکز این دشت وجود داشت، لیکن در کلیه مناطق میزان این عامل در حد نسبتاً بالایی بود. براساس گزارش شیخی‌نرانی و همکاران (۲۹)، کیفیت آب زیرزمینی در این دشت در حد مطلوبی نیست. در این گزارش بیشینه EC در آب زیرزمینی برای انجام آب آبیاری را ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بیان کردند. بنابراین کاربرد این آب برای آبیاری سبب افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش عملکرد محصولات می‌شود (۳۰). به همین دلیل لازم است تا تمهیداتی، مانند افزایش آب آبیاری، برای آشویی املاح نیز در نظر گرفته شود (۳۱). از طرفی با توجه به کیفیت آب زیرزمینی در سطح دشت، استفاده از روش آبیاری بارانی و قطره‌ای (۱۲ و ۳۲) 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 بسیار پایین است (۱۷). در نتیجه تنها گزینه مورد استفاده در دشت آبیاری سطحی است و انتخاب مکان مناسب برای آبیاری با توجه سیستم آبیاری سطحی است. در قسمت‌هایی از شرق و جنوب این دشت وضعیت متوسط از نظر عامل SAR مشاهده شد در حالی که این عامل در اکثر نقاط دارای وضعیت مناسب بود. با



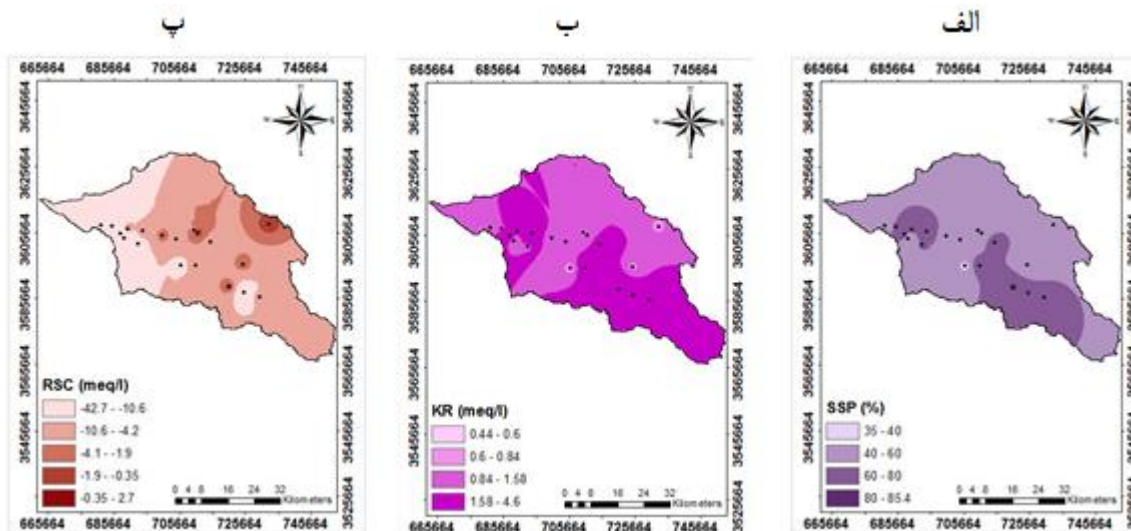
افزایش هدایت الکتریکی و کاهش محصولات کشاورزی می‌شود (۳۵)؛ لذا این دشت از این لحاظ محدودیتی نداشت. در بخش‌هایی از شرق، جنوب و غرب دشت مقادیر این عامل بین ۶۰-۷۲٪ متغیر بود. در سایر نقاط نیز مقادیر نسبتاً پایینی داشت.

عامل TH در مناطق شرقی کمتر از مناطق غربی دشت بود به طوری که با حرکت از شرق به غرب دشت، بر مقادیر این عامل افزوده شد (شکل ۴). تغییرات MAR به صورت پراکنده در سطح دشت مشاهده شد. در مناطق پراکنده‌ای از مرکز دشت، عامل MAR در حد بیشینه خود بود و مقادیری بین ۷۲-۸۶٪ داشت. با توجه به بالا بودن مقدار منیزیم در آب آبیاری سبب



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

Figure 2. Zoning of EC (right) and SAR (left)



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

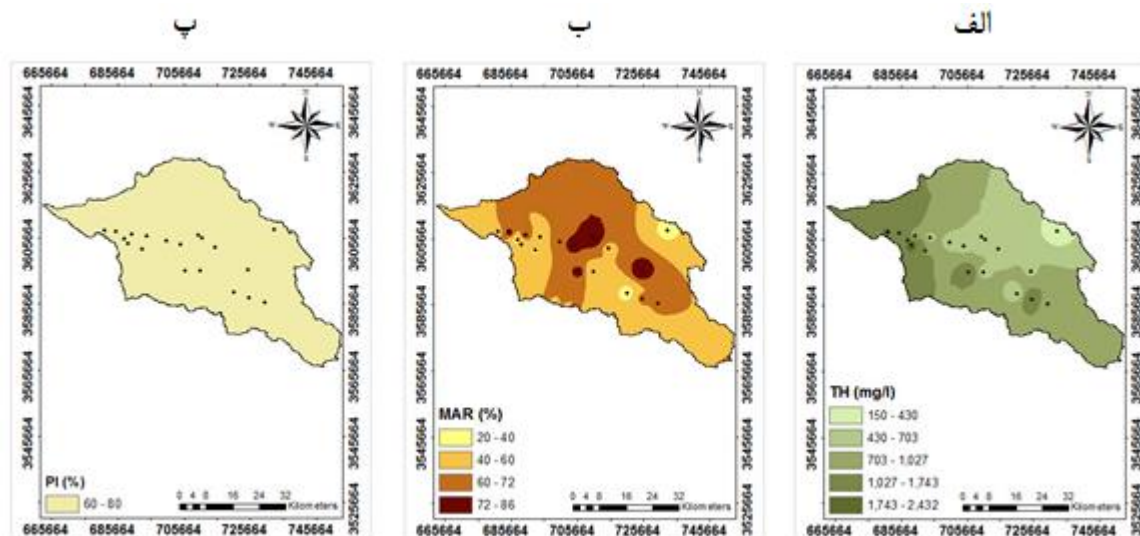
Figure 3. Zoning of SSP (right), KR (middle) and RSC (left)

مقادیر بالای کلسیم، منیزیم و سدیم بود. به همین دلیل شاخص RSC نیز در مناطق شرقی دارای شرایط بهتری است.

مقایسه نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های SAR، MAR، KR، TH و SSP نشان داد که مناطق جنوبی و غربی دشت دارای

مقادیر PI تغییرات چندانی در سطح دشت، نداشت و مقادیر آن در یک کلاس (۸۰-۶۰٪) قرار داشت. این مقادیر نشان داد که سطح دشت از لحاظ شاخص نفوذپذیری در وضعیت مناسبی نیست. به همین دلیل استفاده دراز مدت از آب زیرزمینی، میزان نفوذپذیری خاک را تحت تأثیر قرار خواهد داد (۳۶).

با توجه به شیب عمومی دشت در جهت مناطق غربی است (۳۶)؛ آب زیرزمینی در طی مسیر بر اثر ترکیب با سازندهای زمین‌شناسی دچار کاهش کیفیت شده و مقادیر کاتیون‌های مورد نظر در آن افزایش یافته است. به همین علت هدایت الکتریکی نیز در مناطق غربی بیشتر از شرق بود (شکل ۱). صالحی و زینی‌وند (۱۰) و حیدری‌علمدارلو و همکاران (۹) نیز افزایش هدایت الکتریکی را در دشت‌های مختلف بر اثر سازندهای زمین‌شناسی تأیید کرده‌اند. بر خلاف سایر عوامل،

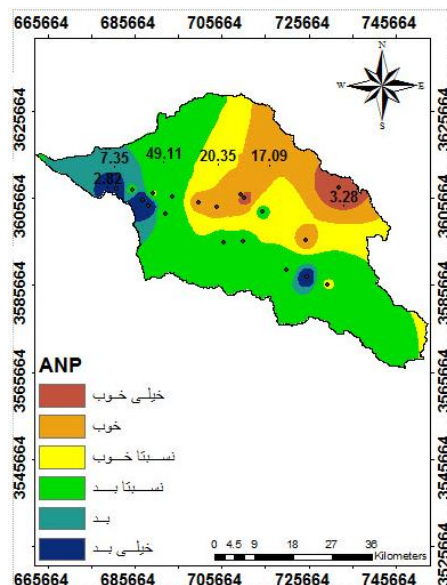


شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی عوامل TH (الف)، MAR (ب) و PI (پ)

Figure 4. Zoning of TH (right), MAR (middle), and PI (left)

خوب و نسبتاً خوبی است و بیشترین مساحت این دشت به منظور اجرای این روش آبیاری نامناسب بود، به طوری که مناطق نسبتاً بد، بد و خیلی بد به ترتیب مساحت ۴۹/۱۱، ۷/۳۵ و ۲/۸۲٪ این دشت را به خود اختصاص دادند.

پهنه‌بندی کلیه لایه‌ها با فرض وزن‌های به دست آمده از جدول ۲ نشان داد که ۳/۲۸٪ سطح دشت به منظور آبیاری در بازه خیلی خوب قرار دارد (شکل ۵). هم چنین نتایج نشان داد که حدود ۱۸/۰۹ و ۲۰/۳۵٪ سطح دشت به ترتیب در وضعیت



شکل ۵- نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی

Figure 5. Final groundwater suitability map

مصارف آبیاری در دشت مختاران استفاده شد. نتایج نشان داد که روند کاهش کیفیت آب زیرزمینی از سمت مناطق شرقی به سمت غرب این دشت وجود دارد. بر این اساس، ۴۰/۷۲ و ۵۹/۲۸٪ مساحت این دشت به منظور برداشت آب جهت آبیاری به ترتیب در وضعیت مناسب و نامناسب قرار گرفت. با توجه به کیفیت آب زیرزمینی و شرایط موجود، آبیاری سطحی بهترین گزینه برای آبیاری در این منطقه می‌باشد. همچنین با توجه به الگوی کشت موجود و کیفیت آب مورد استفاده، کشت گیاهان گندم و جو مناسب‌تر از سایر محصولات کشاورزی است. همچنین می‌بایست استحصال آب آبیاری از نقاط شرقی و شمالی دشت افزایش یافته و کشاورزی دیم در سایر نقاط مورد توجه قرار گیرد.

#### Reference

1. Yazdani, V. and Mansouriyan, H. 2014. The exploit potential zoning of groundwater resources by using of quantity and quality data in Neishaboer plain, Iranian of Irrigation and Water Engineering, 4(15): 118-132. (In Persian)

بر این اساس، حدود ۵۹/۲۸٪ مساحت این دشت در وضعیت نامطلوبی برای استحصال آب جهت آبیاری قرار دارد. در وضعیت کنونی نیز گندم و جو بیشترین سطح زیر کشت در این منطقه را دارند (۳۷٪). با وجود این، در صورت استفاده از آب زیر زمینی برای کشت این دو محصول، کاهش عملکردی برابر با ۵۰٪ وجود خواهد داشت (۳۸٪). نتایج بررسی‌های تغییر الگوی کشت در سطح این دشت نیز ناموفق بوده و کلیه نتایج بر ادامه کشت این دو محصول دلالت دارند (۳۹-۴۱٪). از طرفی، محدودیت منابع آب نیز سبب شده است تا تنها ۳۸٪ اراضی این منطقه تحت آبیاری باشند (۳۷٪). بنابراین با جمع‌بندی نتایج به دست آمده و شکل ۵، توصیه می‌شود منابع آبی استحصال شده در نقاط شرقی و شمالی مورد توجه بیشتری قرار گیرد و پمپاژ از سایر نقاط تا حد ممکن کاهش یابد. با انتقال کشاورزی آبی به نقاط شرقی و شمالی، سهم سایر نقاط از کشاورزی دیم افزایش یابد، تا علاوه بر کاهش فشار بر منابع آب، صدمات ناشی از کیفیت پایین آب آبیاری نیز رفع گردد.

#### نتیجه‌گیری

در این تحقیق از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) به منظور تعیین مناطق مناسب برای برداشت آب زیرزمینی جهت

- sodicity using selected geostatistical methods, Case study: Kerman plain, Water Engineering, 6(16): 11-23. (In Persian)
9. Heidary Alamdarlo, E., Barabadi, H. and Toloie, S. 2013. Evaluating quality of groundwater resources for irrigation, Roudab plain, Sabzevar, Renewable Natural Resources Research, 26(1): 43-59. (in Persian)
  10. Salehi, H., and Zeinivand, H. 2015. Assessing groundwater quality and selection of the most appropriate spatial interpolation method (Case study: West of Marivan city, Iran), Echohydrology, 1(3): 153-166. (In Persian)
  11. Cheraghizade, M. and Shahnazari, A. 2016. The land zonation for applying drip irrigaton system by evaluating of water and soil characteristics (case study: Babol and Babolsar counties), Journal of Water and Soil Conservation, 23(2): 63-80. (In Persian)
  12. Siefi, A., and Riahi-Madvar, H. 2017. Qualitative zoning of Shahr-e-Babak aquifer based on its corrosiveness, sedimentation and applicability for agricultural, drinking, and pressure irrigation uses, Journal of Water and Wastewater, in press. (In Persian)
  13. Sajadi Mianab, Z. and Yaghubi, M. 2017. Geochemical evaluation of groundwater quality in Borazjan plain for agricultural purpose, Sustainable Agriculture and Production Science, 27(1): 133-145. (In Persian)
  14. Ganapuram, S., Kumar, V., Krishna, M., Kahya, E., and Demirel, C. 2009, Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote
  2. Mohammadyari, F., Tavakoly, M. and Aghda, H. 2016. Assessment and zoning of groundwater quality in agricultural areas of Mehran and Dehloran with geostatistical methods, Journal of Irrigation Science and Engineering, 39(4): 71-83. (In Persian)
  3. 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): 611-621.
  4. 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.
  5. Shaabani, 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. 1:47-59.
  6. 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: 1-13.
  7. Ostovari, Y. Beigi Harchegani, H. and Davoodnia, A. 2011. Assessment, spatial variability and mapping of some water quality parameters for use in drip irrigation design in Lordegan plain, Iran, Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(5): 242-254. (In Persian)
  8. Delbari, M., Afrasiab, P and Salari, M. 2013. Mapping water salinity and

22. Eaton, F.M., 1950. Significance of carbonate in irrigation waters. *Soil. Sci.*,69, 123–133.
23. Raghunath, I.I.M., 1987. *Groundwater*, second ed. Wiley Eastern Ltd, New Delhi.
24. Kelley, W.P., 1963. Use of saline irrigation water. *Soil. Sci.*,95, 355–391.
25. 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.
26. 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): 131-141.
27. Ghodsipoor, S. H. 2006. Analytical Hierarchy Process, Amirkabir University of Technology. (in Persian)
28. Saaty T L. 2001, The allocation of intangible resource: The analytic hierarchy process and linear programming. *Socio-Economic Planning Science*. 37(3): 169-184.
29. 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, *Arab Journal of Geoscience*, 9(502).
30. Khodapanah, I., Sulaiman, W. N. A., Khodapanah, N. 2009. Groundwater quality assessment for different purpose in Eshtehard district, Treran, Iran, *European Journal of Scientific Research*, 36(4): 543-553.
31. Mohammadyari, F., Tavakoly, M. and Aghda, H. 2016. Assessment and sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*. 40(7): 506-518.
15. Khashei-Siuki, A., Ghahraman, B., and Kouchakzadeh, M. 2011. Fuzzy-Analytic Hierarchy Process Method for Evaluating Groundwater Potentials of Aquifers ( Case study: Nayshabur Plain), *Iranian Water Research Journal*, 5(9): 43-59. (in Persian)
16. 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): 324-337.
17. Ramzi R, Khashei-Siuki A, and Shahidi A. 2014. Determination of Suitable Zone of Drip Irrigation using Analytical Hierarchy Process Method in South Khorasan Province. *JWSS*. 2014; 18 (69): 227-236. (In Persian)
18. 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): 176-185.
19. Saaty T L. 1980, *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
20. Saaty T L. 1996, *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
21. 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*, in press.

37. Anonymous, 2017, Agricultural Statistics, Ministry of Agriculture, Office of Statistics and Information Technology.
38. Mass, E V., and Hoffman, G. J. 1976. Crop salt tolerance, evaluating existing data. International Salinity Conference Pub. Book. Aug 1976.
39. Javan, J., and Fal-Soleimani, M., 2008. Water crisis and importance of water productivity in agriculture in dry area of Iran (case study: Birjand plain), Geography and Development Iranian Journal, 6(1): 115-138. (In Persian)
40. Nakhaee, M., Hashemi, R., Khashei Siuki, A., and Ahmadee, M. 2016. Optimization of crop pattern using analytical hierarchy process and linear programming (case study: Plain Birjand), Journal of Irrigation Science and Engineering, 39(2): 115-124. . (In Persian)
41. Shahidi, A., Zamani, Gh., Kashkuli, H. A., and Amirabadizadeh, M. 2009, Managing and scheduling irrigation of two cultivars under salinity and drought stress conditions, Environmental Stress in Crop Science, 1(1): 17-25. (In Persian)
- zoning of groundwater quality in agricultural areas of Mehran and Dehloran with geostatistical methods, Journal of Irrigation Science and Engineering, 39(4): 71-83. (in Persian)
32. Ghaemizadeh, F., and Akhavan, S., 2014. The feasibility study of pressurized irrigation systems performance based on water quality (Case Study: Hamedan Province plains), JWSC, 21(1): 65-85. . (In Persian)
33. Wilcox LV, 1954. Classification and Use of Irrigation Waters. Department of Agriculture, United States, Circular No. 696, Washington D.C. Pp. 16.
34. 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. Am. J. Environ. Sci., 5, 413-419
35. 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): 285-292.
36. Moghimi, H. 2015. Assessment of Hydrochemical Characteristics of Groundwater Resources of the aquifer of the Sari-Ghaemshahr plain for Drinking and Irrigation Purposes, Water Engineering, 8: 51-68. (in Persian)