

پهنه‌بندی کیفی آبخوان شهر بابک از منظر خورندگی و رسوب‌گذاری، تناسب کشاورزی، شرب و آبیاری تحت فشار

اکرم سیفی^۱، حسین ریاحی مدوار^۲

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، کرمان، ایران
(نویسنده مسئول) ۳۱۳۱۲۰۴۲ (۰۳۴) a.seifi@vru.ac.ir
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، کرمان، ایران

(دریافت ۹۴/۱۰/۱ پذیرش ۹۵/۳/۲۹)

چکیده

مدیریت کیفیت آب در آبخوان‌های چندمنظوره نیازمند بررسی وضعیت کیفی آنها بر اساس استانداردهای چندگانه است. با توجه به کمبود مطالعات در زمینه پایش آبخوان‌های چندمنظوره، این پژوهش با هدف بررسی وضعیت کیفی آب زیرزمینی آبخوان چندمنظوره کشاورزی- معدنی- شرب- صنعتی شهر بابک بر اساس شاخص‌های چندگانه (تناسب کشاورزی، آبیاری تحت فشار، شرب و کاربری صنعتی) صورت گرفت. مدل بهینه تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب در واریوگرام کروی، نمائی و گوسی با روش‌های کریجینگ و IDW(1-3) بر اساس شاخص‌های RMSE, MAE, RSS, R2 برای ۱۶ پارامتر مورد بررسی، انتخاب شد. پهنه‌بندی چندمنظوره در محیط GIS و بر اساس استانداردهای تناسب آب ویلکاکس، شولر، آبیاری قطره‌ای و بارانی وزارت نیرو، چهار شاخص خورندگی و رسوب‌گذاری و استانداردهای WHO و IRISI با لایه‌های اطلاعاتی ۱۶ گانه صورت گرفت و تحلیل همبستگی مکانی متغیرها نیز انجام شد. نقشه‌های پهنه کیفی نشان داد در ۱۰۰ درصد مساحت دشت، شاخص‌های پوکوریوس، لانزیلر، خورندگی و رایزنر چند برابر آستانه و بیانگر پهنه خورندگی وسیع در کاربری صنعتی بود. طبق نتایج، ۹۳ درصد مساحت دشت در کلاس‌های C4-S1 و C4-S2 نامناسب برای کشاورزی قرار گرفت. فقط ۱/۳ درصد از مساحت دشت قابل قبول برای شرب بود. نقشه پهنه‌بندی آبیاری قطره‌ای نشان داد که ۴۷/۶ درصد از مساحت دشت بیشترین محدودیت را از نظر کیفیت آب دارد. با توجه به درصد وسیع پهنه‌های نامناسب آب‌های زیرزمینی آبخوان از منظر مصارف چندمنظوره کشاورزی، شرب، صنعت و معدن لازم است استراتژی‌های پایش و مدیریت کیفی متناسب با نوع مصارف و اهداف توسعه اعمال شود.

واژه‌های کلیدی: آبخوان چند منظوره، آب زیرزمینی، خورندگی، رسوبگذاری، تناسب کشاورزی و شرب

۱- مقدمه

زیرزمینی و کاهش کیفیت و آسیب‌پذیر شدن آن‌ها شده است (AWWA 1984). در مناطق صنعتی و معدنی، اثرات رسوب و خورندگی در لوله‌های انتقال آب، بویلرها، توربین‌ها و دستگاه‌های صنعتی مصرف‌کننده، چالشی اساسی است (Kinsela et al. 2012; Amiri et al. 2014; Ehsani et al. 2014; Wang 2006; Zheng & Wang 2006)

روش‌های زیادی همچون مدل‌های شبیه‌سازی روش‌های آماری و روش‌های همپوشانی و شاخص‌ها برای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی براساس اهداف و مصارف متعدد، توسعه داده شده است (Zhang & Zhang 2010). از نظر مصارف شرب ابزارهای پایشی همچون نمودار شولر، استاندارد WHO، و در ایران نیز استاندارد

توزیع غیریکنواخت منابع آب شرب و تقاضای روزافزون ذبنفعان متعارض کشاورزی، صنعتی و شرب، آب‌های زیرزمینی را به‌عنوان تنها گزینه تأمین نیازها به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح نموده است (Anna Poorna & Janardhana 2015; Karamouz et al. 2008)

مصرف غیراصولی این منابع چندمنظوره مشکلات بسیاری از لحاظ کمیت، کیفیت، امنیت غذایی، سرمایه‌گذاری و اجتماعی پیش‌روی طرح‌های توسعه‌ی کشاورزی و منطقه‌ای قرار داده است. دفع نامناسب زباله‌های تولیدی و افزایش تولید واحدهای صنعتی موجب تولید و نشست آلودگی در این مناطق و ورود آنها به آب‌های

چهارمحال بختیاری (Ostavari, & Harchegani 2010)، ارزیابی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در ترکیه در فصل‌های مختلف (Vorol & Davraz 2015)، اصلاح روش تحلیل آسیب‌پذیری DRASTIC آب زیرزمینی در هند (Iqbal et al. 2015)، بازمینی و ارزیابی روش‌های تحلیل آسیب‌پذیری آبخوان (Hamaza et al. 2015) تحلیل پتانسیل آب‌های زیرزمینی در یونان با ترکیب رویکرد RS/GIS (Oikonomidis et al. 2015) و ارزیابی کارایی مدل تحلیل آسیب‌پذیری DRASTIC در کشورهای مختلف (Kumar et al. 2015) و آسیب‌پذیری آبخوان زاینده‌رود با روش اصلاح شده فازی DRASTIC (Setayesh et al. 2014) از جمله تحقیقات قابل توجه است.

از نظر مصارف صنعتی و معدنی نیز تمایل آب به خوردگی و رسوب‌گذاری با استفاده از شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری شامل شاخص اشباع لانژیلر^۱ (LSI)، شاخص پایداری رایزنر^۲ (RSI)، شاخص خوردگی^۳ (AI) و شاخص پوکوریوس^۴ (PI) سنجیده می‌شود (Rezaei et al. 2013) بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب چاه‌ها و قنوات رفسنجان آشامیدنی شهر تبریز (Taghipour et al. 2012)، خوردگی آب شهر خرم‌آباد (Alampiri et al. 1998)، وضعیت خوردگی آب آشامیدنی شهرکرد (Lalehzari & Tabatabaei 1999) و پتانسیل خوردگی در شبکه توزیع شهر بندرعباس (Mahvi et al. 2001) از جمله مطالعات مرتبط در این زمینه است. از عمده دلایل تنش‌های آبی می‌توان به افزایش جمعیت، محدودیت منابع، آسیب‌پذیری سیستم‌ها، آلودگی منابع و برنامه‌ریزی‌های بی‌رویه در توسعه بخش کشاورزی و صنعتی اشاره نمود (Karamouz et al. 2008). اطلاع از کیفیت آب‌های زیرزمینی و پایش چندمنظوره آنها می‌تواند منجر به مدیریت صحیح آنها و انتخاب مناطق مناسب برای اهداف و مصارف خاص شود به‌طوری‌که اثرات معکوس روی آب‌های زیرزمینی به حداقل برسد و حفاظت از منابع زیرزمینی، قابل حصول باشد. از طرف دیگر در مناطق کویر مرکزی ایران مصارف

۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (IRISI) قابل استفاده است (Amiri et al. 2014). سوابق مطالعات مرتبط عبارت‌اند از: ارزیابی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی و توصیه سیستم آب تصفیه کن خانگی (Kinsela et al.)، بررسی کیفیت آب آشامیدنی زیرزمینی حوضه Ratmao-Pathri Rao کشور هندوستان (Jing et al. 2014)، ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهربان (Asghari-mogham et al. 2015)، کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت امامزاده جعفر گچساران (Azizi & Mohammadzadeh 2012)

کیفیت فیزیکی و شیمیایی و فلزات سنگین آب شرب روستاهای شهرستان سراب (Pourakbar et al. 2012)، پهنه‌بندی کیفی آب شرب دشت قزوین (Nasseri et al. 2012)، تحلیل مکانی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی از آفت‌کش‌ها (Abrishamchi et al. 2012)، مکان‌یابی استحصال آب شرب دشت بیرجند بر اساس استاندارد شولر (Keshavarz et al. 2015)، پهنه‌بندی سمیت چاه‌های آب شرب سمنان (Allahbakhsh et al. 2016)

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان خوئیس با توجه به تغییرات کاربری اراضی (Mousavi et al. 2016)، استفاده از روش‌های سنجش از دور در ارزیابی کیفیت آب (Oikonomidis et al. 2015)

کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان با شاخص آنتروپی وزن دار (Amiri et al. 2014)، تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در مغولستان در اثر توسعه صنعتی و معدنی (Hofman et al. 2015) و پایش چندمعیاره کیفیت آب زیرزمینی در پرتغال (Junior et al. 2015).

از نظر مصارف کشاورزی یکی از راهکارهای مناسب برای حفظ منابع موجود، استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار (آبیاری‌های قطره‌ای و بارانی) است (NRC 1993; Ghaemzadeh & Akhevan 2014)

اما لازم است که به واقعیت این سامانه‌ها و قابلیت استفاده آب موجود در آنها توجه اساسی شود (Seifi 2014). در این زمینه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری (Al-hadithi 2012)، تعیین مناطق مستعد اجرای سامانه‌های تحت فشار در دشت کرمان (Nashat & Nikpour 2010)، تحلیل کیفی آب زیرزمینی دشت همدان (Ghaemzadeh & Akhevan 2014)، مؤلفه‌های کیفیت مؤثر در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در دشت لرندگان استان

¹ Langelier Saturation Index

² Ryznar Stability Index

³ Aggressive Index

⁴ Puckorius Index

چندمنظوره در محیط GIS بر اساس شاخص‌های تناسب آب: ویلکاکس، شولر، آبیاری قطره‌ای و بارانی وزارت نیرو، IRISI، WHO، شاخص‌های خوردنگی و رسوب‌گذاری، LSI، RSI، AI، PI.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز شهر بابک - خاتون آباد با وسعت ۳۱۹۷ کیلومتر مربع با حداکثر ارتفاع ۳۴۴۰ و حداقل ۱۵۳۰ متر در شمال غربی استان کرمان قرار گرفته است (شکل ۱). این سفره تأمین‌کننده آب برای مصارف مختلفی همچون محصولات کشاورزی (پسته، بادام، به، انگور و انار)، آب شرب شهرستان شهر بابک و شهرها و روستاهای اطراف، صنایع معدن مس سرچشمه، معدن مس میدوک، صنایع جنبی مس و ذوب، معادن فیروزه و کاشی است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن، خشک می‌باشد.

متنوعی همچون کشاورزی، شرب، صنعتی و معدنی از یک آبخوان واحد صورت می‌پذیرد که هر کدام استاندارد پایش کیفی خاص خود را می‌طلبد که خود لزوم انجام تحقیقی پیرامون پایش کیفی چندمنظوره با شاخص‌های چندگانه را از منظر پهنه‌بندی مکانی و آمایش سرزمینی مشهود می‌سازد.

با توجه به کمبود مطالعات در زمینه پایش کیفی و مکانی آبخوان‌های چندمنظوره، این پژوهش با وجه تمایز و هدف بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی آبخوان چندمنظوره کشاورزی - معدنی - شرب - صنعتی دشت شهر بابک بر اساس شاخص‌های چندگانه (تناسب کشاورزی، آبیاری قطره‌ای و بارانی، شرب، خوردنگی و رسوب‌گذاری) صورت گرفت.

دیگر اهداف فرعی تحقیق عبارت‌اند از تعیین مدل بهینه تغییرات مکانی متغیرهای تصادفی در واریوگرام کروی، نمائی و گوسی با روش‌های کریجینگ و (IDW (1-3) برای ۱۶ پارامتر کیفی مورد بررسی در مصارف چهارگانه، تدوین پهنه‌های تناسب مصارف

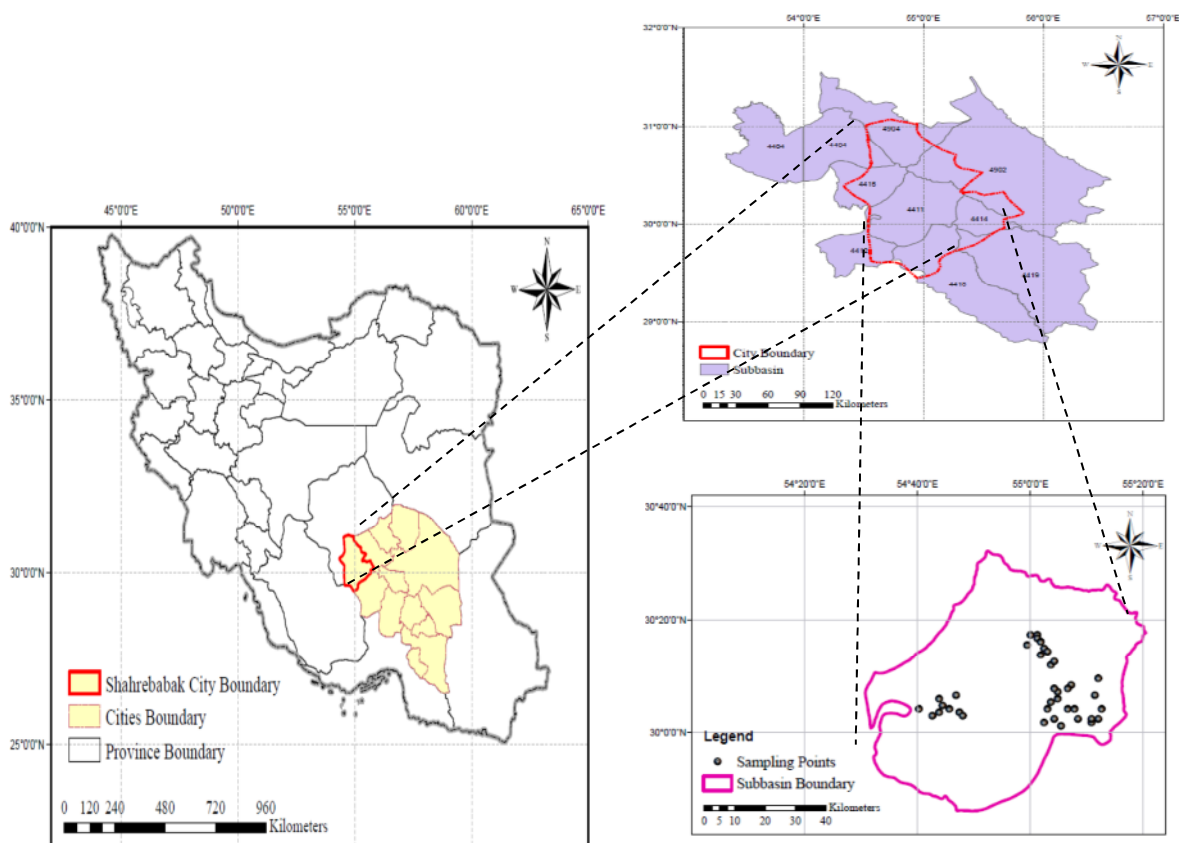


Fig. 1. Locations of the study area and the water sampling points

شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری آب

۲-۲- پهنه‌بندی مکانی

در این تحقیق برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های ناحیه‌ای از روش‌های زمین آماری کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در محیط GIS استفاده شد و برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط GIS 10.1 از روش ارزیابی متقابل استفاده شد. در این تحقیق به منظور تحلیل تغییرات مکانی متغیرهای تصادفی از واریوگرام استفاده شد. با برآزش مدل‌های مختلف بر مجموعه داده‌ها، بهترین مدل تئوری ($\gamma(h)$) از بین مدل‌های کروی، نمائی، گوسی بر اساس معیارهای R^2 و RSS (مجموع مربعات باقیمانده) انتخاب شدند (Goovaerts 1997). به منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌ها، از پارامترهای RMSE، MAE و R^2 استفاده شد. پس از انتخاب بهترین مدل درونیابی، اقدام به رسم لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌ها در محیط ArcGIS 10.2 شد. سپس هر یک از لایه‌ها بر اساس استانداردهای ارائه شده در جداول ۱ تا ۵ کلاسه‌بندی شدند و در نهایت نقشه ترکیبی لایه‌ها به برای منطقه مورد مطالعه رسم شد.

مصارف شرب آب، از طبقه‌بندی شولر استفاده شد (جدول ۴) (Alizadeh et al. 1999). از شاخص‌های لانزیلر، رایزنر، شاخص خورندگی و پوکوریوس برای کاربری صنعتی و در تحلیل خورندگی و رسوب‌گذاری استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۲- درجه محدودیت کیفیت آب آبیاری برای روش آبیاری قطره‌ای (IRSI 2008)

Table 2. Irrigation water restriction level for the drip system (IRSI 2008)

Parameter	EC ($\mu\text{mohs/cm}$)	TDS (mg/L)	pH
No Restriction	<800	<500	<7
Low to Middle Restriction	800-3000	500-2000	7-8
Serious Restriction	>3000	>2000	>8

جدول ۳- درجه محدودیت کیفیت آب آبیاری برای روش آبیاری بارانی (Hamza et al. 2015)

Table 3. Irrigation water restriction level for the sprinkler system (Hamza et al. 2015)

Parameter	Na (meq/L)	Cl (meq/L)	HCO ₃ (meq/L)
No Restriction	< 3	< 3	<1.5
Low to Middle Restriction	> 3	> 3	1.5-8.5
Serious Restriction			>8.5

جدول ۴- استاندارد شولر برای مصارف شرب آب

Table 4. Schuler quality chart for drinking water

Quality	Na ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	TDS (mg/L)	TH (mg/L)
Good	<115	<175	<145	<500	<250
Acceptable	115-230	175-350	145-280	500-1000	250-500
Average	230-460	350-700	280-580	1000-2000	500-1000
Inappropriate	460-920	700-1400	580-1150	2000-4000	1000-2000
Completely Inappropriate	920-1840	1400-2800	1150-2240	4000-8000	2000-4000
Non-potable	>1840	>2800	>2240	>8000	>4000

جدول ۱- طبقه‌بندی ویلکاکس

Table 1. Wilcox classification

Parameter	Class	Value	Quality
SAR	S ₁ (Low)	< 10	Perfect
	S ₂ (Average)	10-18	Good
	S ₃ (High)	18-26	Average
	S ₄ (Very High)	> 26	Bad
EC (dS/m)	C ₁ (Low)	< 0.25	Perfect
	C ₂ (Average)	0.25-0.75	Good
	C ₃ (High)	0.75-2.25	Average
	C ₄ (Very High)	> 2.25	Bad

۲-۳- استانداردهای ارزیابی کیفیت آب

نمونه‌برداری آب از ۳۸ چاه واقع در دشت شهر بابک توسط آب منطقه‌ای کرمان انجام گرفت. برای بررسی کیفیت آب به منظور کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکاکس (جدول ۱)، درجه محدودیت کیفی آب آبیاری برای روش آبیاری بارانی (جدول ۲) طبق استاندارد FAO و روش‌نامه مطالعات توجیهی سامانه‌های آبیاری تحت فشار (ISIRI 2008) انجام شد (جدول ۳). به منظور بررسی

جدول ۵- خلاصه شاخص‌های پایداری آب (NRC 1993; Ghaemizadeh & Akhevan 2014)

Table 5. Summary of water stability indices (NRC 1993; Ghaemizadeh & Akhevan 2014)

Index	Equation	Value	Comment
Langelier Saturation	$LSI = pH - pHs$	$LSI > 0$	Supersaturate conditions and tendency to sedimentation of calcium carbonate
	$pHs = (9.3 + A + B) - (C - D)$	$LSI = 0$	Equilibrium phase
	$A = (\log_{10}[TDS] - 1) / 10$	$LSI < 0$	Undersaturate conditions and tendency to decomposition of calcium carbonate
	$B = -13.12 \log_{10} (T + 273) + 34.55$		
	$C = \log_{10} [Ca^{2+} \text{ as } CaCO_3]$		
Ryznar Stability	$D = \log_{10} [\text{alkalinity as } CaCO_3]$		
	$RSI = 2(pHs) - pH$	$RSI < 6$	Supersaturate conditions and tendency to sedimentation of calcium carbonate
		$6 < RSI < 7$	Equilibrium phase
Aggressive		$RSI > 7$	Undersaturate conditions and tendency to decomposition of calcium carbonate
	$AI = pH - \log(\text{Alkalinity} \cdot \text{Hardness})$	$AI < 10$	High corrosion
		$10 < AI < 12$	Middle corrosion
Puckorius		$AI > 12$	Non-corrosion
	$PI = 2pHs - pHeq$	$PI > 6$	Corrosive
	$pHeq = 1.46 \log(T \text{ Alkalinity}) + 4.54$	$PI < 6$	Sedimentation

جدول ۶- شاخص‌های آماری پارامترهای کیفی آب دشت شهر بابک و حد بیشینه آنها بر اساس استانداردهای ISIRI و WHO

Table 6. Statistical indices of the water quality parameters in Shar-e-Babak plain and their maximum limits according to WHO and ISIRI standards

Parameter	Minimum	Maximum	Average	Standard	
				ISIRI	WHO
pH	6.5	8	7.49	7-8.5	6.5-9.2
HCO ₃ (mg/L)	61	488	217.2	150	150
TDS (mg/L)	593	6078	257.9	1500	600
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0	1608	657.6	400	250
Cl ⁻ (mg/L)	142	5502	1103	400	200
Ca ²⁺ (mg/L)	40	800	230	300	300
Mg ²⁺ (mg/L)	12	360	90	200	300
TH (mg/L)	0	3500	929	200	
EC (μS/cm)	912	15450	4310		500
Na ⁺ (mg/L)	104	2730	672	200	200

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل واریوگرام و انتخاب مدل میانبایی بهینه

در جدول ۶ واریوگرام‌های پارامترهای اندازه‌گیری شده در آبخوان دشت شهر بابک آورده شده است. مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر پارامترهای SO₄، HCO₃، آنیون، pH، SAR، TDS، EC، LSI و AI کوچک‌تر از ۰/۲۵ به دست آمد که بیانگر همبستگی قوی مکانی این مؤلفه‌ها در دامنه تأثیرشان است. سایر مؤلفه‌ها یعنی Cl، TH، Ca، Mg، RSI و PI دارای همبستگی مکانی متوسط در دامنه تأثیر خود بودند. همچنین بر اساس مقادیر R² و RSS، مدل‌های واریوگرامی برای مؤلفه‌های بی‌کربنات، شوری، نسبت جذبی سدیم و شاخص لانژیلر پیش‌بینی‌های بهتری نسبت به

سایر مؤلفه‌ها داشتند. دامنه تأثیر مؤلفه‌های SO₄، HCO₃، RSI و PI زیاد و بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰ متر بود اما سایر مؤلفه‌ها دامنه تأثیر کوچک‌تر از ۱۰۰۰۰ متر داشتند. کمترین و بیشترین دامنه تأثیر به ترتیب مربوط به مؤلفه TDS با مدل نمایی و HCO₃ با مدل گوسی بود.

پس از مقایسه روش‌های میانبایی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله، برای تمامی مؤلفه‌ها به جز pH، ضریب تعیین یکی از توان‌های روش وزن‌دهی عکس فاصله بیشتر از روش کریجینگ بود. مقدار RMSE و MAE یکی از توان‌های روش وزن‌دهی عکس فاصله کمتر از روش کریجینگ بود. پس از رتبه‌بندی روش‌های میانبایی مربوط به هر مؤلفه، روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله با

آب زیرزمینی برداشت شده از این قسمت‌ها موجب آسیب رساندن به خاک و ایجاد محیط نامناسب برای رشد گیاه و در نتیجه آسیب رساندن به محصولات می‌شود. همچنین مقدار SAR قسمت‌های شمالی و شرق دشت در کلاس S1 و SAR قسمت‌های جنوبی و غرب آن در کلاس S2 قرار گرفته است. مطابق شکل ۲ و جدول ۷، آب زیرزمینی ۶/۹ درصد از مساحت دشت در شرق آن در کلاس C3-S1، ۴۵/۳ درصد از مساحت دشت در شمال و مرکز آن در کلاس C4-S1 و در نهایت ۴۷/۸ درصد از مساحت دشت در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوبی آن در کلاس C4-S2 قرار گرفته است. کلاس C3-S1 بیانگر کیفیت شور آب و قابل استفاده برای کشاورزی، کلاس‌های C4-S1 و C4-S2 بیانگر کیفیت خیلی شور آب و نامناسب برای کشاورزی هستند. کیفیت آب زیرزمینی دشت شهر بابک با وجود مناطق صنعتی بسیاری که در این شهرستان وجود دارد، نامناسب است و انتظار می‌رود در صورت عدم مدیریت و بهره‌برداری مناسب این آب‌ها، در آینده‌ای نه چندان دور، امکان کشاورزی در این دشت به‌طور کل از بین رفته و وضعیت دشت وخیم‌تر شود.

با رسم لایه‌های مؤلفه‌های محدود کننده مربوط به هر روش آبیاری (بارانی و قطره‌ای)، نقشه ترکیبی برای آبخوان دشت شهر بابک رسم شد. برای ارزیابی کلی روش‌های آبیاری، نقشه‌ها با وزن یکسان با یکدیگر جمع شدند و نقشه شاخص کیفی

توان‌های ۲ و ۳ به‌عنوان روش مناسب‌تر تخمین زده شد و پهنه‌بندی مؤلفه‌ها انتخاب شد.

۳-۲- پهنه‌بندی مؤلفه‌های کیفیت آب براساس استانداردهای

تناسب آب کشاورزی و آبیاری تحت فشار

در شکل ۲ طبقات کیفیت آب زیرزمینی دشت شهر بابک بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس به لحاظ مصارف کشاورزی و برای کلاس‌های مختلف و ترکیب لایه‌های EC و SAR به‌منظور تعیین نقاط آسیب‌پذیری ارائه شده است. مطابق شکل ۲، توزیع مکانی EC نشان می‌دهد که آب اکثر آبخوان به جز قسمت کوچکی از شرق آبخوان، در کلاس C4 قرار دارد.

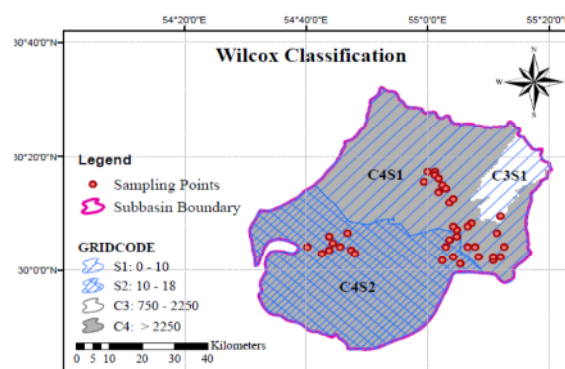


Fig. 2. Classification of water quality for irrigation uses according to Wilcox classification system

شکل ۲- طبقه‌بندی کیفی آب به منظور استفاده کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس

جدول ۷- مشخصات بهترین مدل‌های برازش داده شده به نیم تغییرنماهای پارامترها و شاخص‌های کیفی آب

Table 7. Characteristics of the best models fit to half variograms of water quality parameters and indices

Parameter	Best Model	Nugget effect (C_0)	Sill (C_0+C)	Range of influence
SO_4^{2-} (meq/L)	Spherical	0.05	0.34	26550
Cl^- (meq/L)	Exponential	0.18	0.69	5200
HCO_3^- (meq/L)	Gaussian	0.05	0.34	26580
Anion (meq/L)	Exponential	0.05	0.45	5180
pH	Spherical	0.0004	0.003	9700
TDS (mg/L)	Exponential	0.07	0.39	4580
TH (mg/L)	Exponential	0.26	0.52	4680
SAR	Spherical	0.0001	0.17	6810
EC (μ mohs/cm)	Exponential	0.03	0.39	4750
Na^+ (meq/L)	Spherical	0.001	0.46	8010
Mg^{2+} (meq/L)	Exponential	0.25	0.61	6900
Ca^{2+} (meq/L)	Gaussian	0.35	0.59	9600
LSI	Spherical	0.05	0.34	7600
RSI	Gaussian	0.36	0.84	10910
AI	Spherical	0.02		6500
PI	Gaussian	0.002	0.005	14080

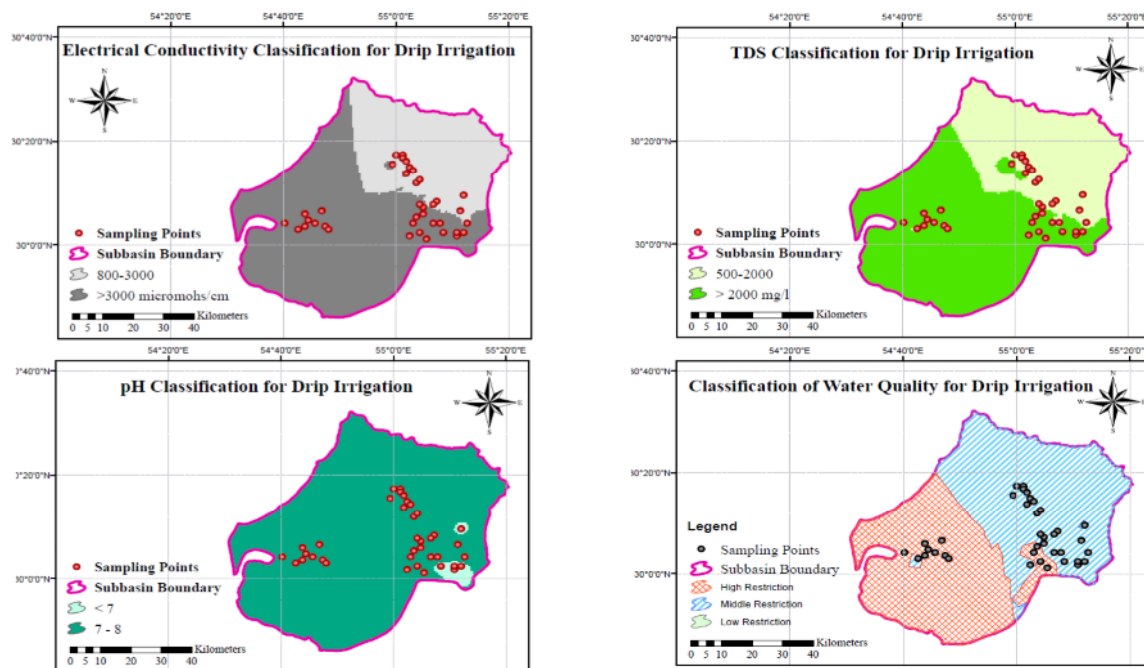


Fig. 3. Water quality classification according to the standards recommended by Power Ministry for application in drip irrigation systems

شکل ۳- طبقه‌بندی کیفی آب به منظور استفاده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بر اساس معیارهای وزارت نیرو

محدودیت متوسط برای آبیاری قطره‌ای هستند که سطحی در حدود ۵۲/۳ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. بقیه دشت یعنی در قسمت‌های شمالی غربی، مرکزی، غربی، جنوب غربی و قسمت‌هایی از جنوب با مساحت ۴۷/۶ درصدی از نظر پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی دارای محدودیت جدی به لحاظ آبیاری قطره‌ای هستند. مطابق با شکل پهنه‌بندی ویلکاکس، فقط آب قسمت‌های شرقی این دشت قابل چشم‌پوشی برای آبیاری قطره‌ای است.

به منظور پهنه‌بندی محدودیت آبیاری بارانی از محدوده‌های وزارت نیرو استفاده شد. از شکل ۴ و جدول ۳ ملاحظه می‌شود که غلظت مؤلفه‌های سدیم و کلر در آب زیرزمینی دشت شهر بابک برای استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی محدودیت متوسط تا زیاد ایجاد می‌کند. نقشه‌های همپوشانی لایه‌های محدود کننده آبیاری نیز بیانگر این است که ۲۹ درصد مساحت دشت دارای محدودیت جدی و بقیه دارای محدودیت متوسط است.

روند غلظت یون‌های سدیم و کلر همانند یکدیگر و مشابه با غلظت کل مواد جامد محلول و شوری می‌باشد. باید به این نکته نیز توجه شود که اگرچه LSI نشان داد که در هیچ یک از آب‌چاه‌ها

مجموع با اجتماع مرزها تهیه شد (Ghaemizadeh & Akhevan 2014). مطابق شکل ۳، توزیع مکانی EC و TDS در دشت شهر بابک مشابه یکدیگر است. کمترین مقدار EC و TDS در قسمت‌های شمالی و شرقی دشت مشاهده شد. وجود سازندهای شور و گچی و حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در قسمت‌های غربی دشت سبب بروز بحران در کمیت و کیفیت آب‌های این قسمت شده است. در این مناطق اکثراً پسته کاشت می‌شود اما آب برخی از چاه‌ها حتی برای رشد و عملکرد پسته نیز محدودیت جدی دارد. نقشه پهنه‌بندی اسیدیته نیز نشان می‌دهد که فقط در قسمت کوچکی از سطح دشت واقع در جنوب شرقی آن، مقدار pH بین ۶/۵ تا ۷ قرار دارد و بقیه سطح دشت اسیدیته بین ۷ تا ۸ دارند، بنابراین آب زیرزمینی این دشت عمدتاً قلیایی است. زیاد بودن مقدار pH با تأثیر بر حل شدن کانی‌های موجود در سازندها بر شاخص لانتیلر تأثیر معکوس دارد. جنوب شرقی سبب افزایش پتانسیل خوردگی آب در این قسمت‌ها می‌شود. با ترکیب لایه‌های EC، TDS و pH نقشه پهنه‌بندی محدودیت آبیاری قطره‌ای حاصل شد. همانطور که ملاحظه می‌شود قسمت‌های شرقی، شمالی، جنوبی و جنوب شرقی دشت دارای

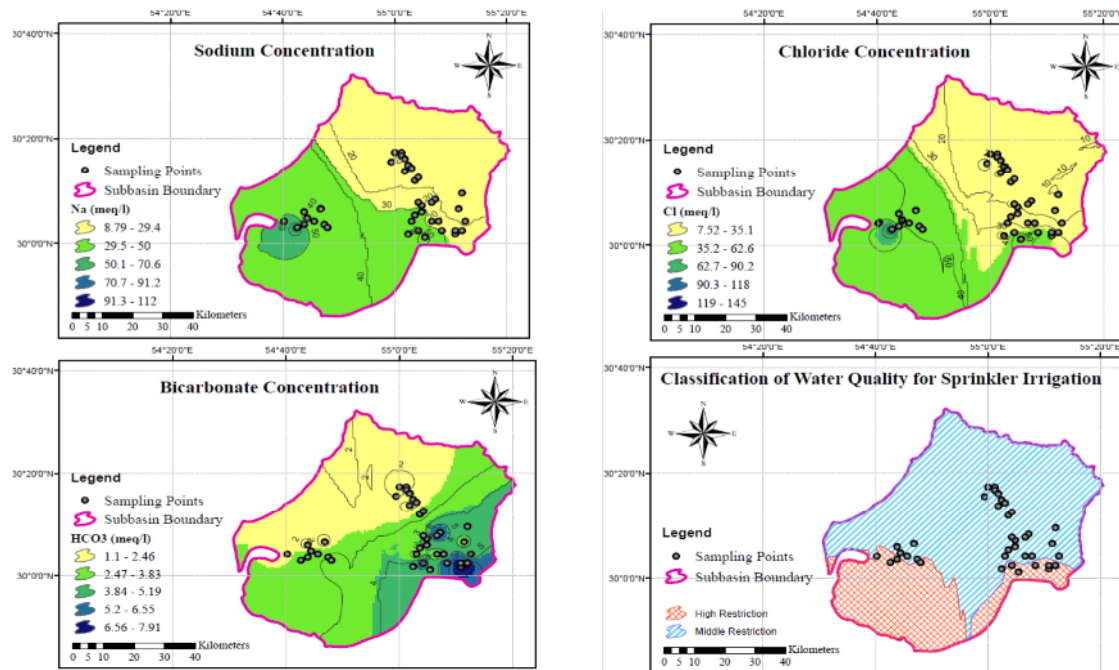


Fig. 4. Water quality classification according to the standards recommended by Power Ministry for application in drip irrigation systems

شکل ۴- طبقه‌بندی کیفی آب به منظور استفاده در سامانه‌های آبیاری بارانی بر اساس معیارهای وزارت نیرو

غلظت ۵۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌یابد.

نقشه طبقه‌بندی سختی کل آب در شکل ۵ نشان می‌دهد که فقط قسمتی از مناطق شرقی دارای آب با کیفیت قابل قبول (۷/۸ درصد از مساحت دشت) هستند، ۴۲/۶ درصد از مساحت دشت دارای کیفیت آب نامناسب و ۴۹/۴ درصد دارای کیفیت آب زیرزمینی بد از نظر سختی کل هستند. فقط آب چاه در قسمت غربی دشت دارای کیفیت موقتاً قابل شرب از نظر سختی کل با مساحت ۰/۲ درصد است. نقشه پهنه‌بندی سختی کل نیز افزایش سختی از سمت شرق به غرب دشت را نشان می‌دهد. درصد مساحت مربوط به هر یک از کیفیت‌های آب شامل کیفیت قابل قبول، نامناسب، بد، موقتاً قابل شرب و غیرقابل شرب در نقشه سدیم به ترتیب ۰/۰۲، ۳۷/۶۳، ۲۳/۳۸، ۳۸/۹۵ و ۰/۰۲ و در نقشه کلر به ترتیب به مقدار ۰/۴۱، ۳۴/۷۲، ۲۴/۴۲، ۲۹/۴۰ و ۰/۱۵ می‌باشد. نقشه طبقه‌بندی سولفات نیز نشان می‌دهد که در اکثر مساحت دشت کیفیت آب نامناسب و بد است. نقشه پهنه‌بندی سولفات در شکل ۶ بیانگر افزایش غلظت یون سولفات از شرق به غرب دشت شهربابک است و این وضعیت در مورد نقشه‌های

مشکل رسوب کربنات وجود ندارد اما خورنده بودن آب می‌تواند اثرات منفی روی تجهیزات مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری بارانی ایجاد کند. همچنین آب‌های حاوی سدیم زیاد در طولانی مدت بر ساختمان خاک اثر می‌گذارد و محیط اطراف ریشه را تخریب و خاک را سدیمی می‌کند.

۳-۳- پهنه‌بندی مؤلفه‌های کیفیت آب بر اساس استانداردهای

تناسب آب برای مصرف شرب

در شکل ۵ نقشه طبقه‌بندی پارامتر TDS بر مبنای استاندارد شولر نشان می‌دهد که فقط ۰/۸ درصد از مساحت منطقه دارای آب با کیفیت قابل قبول به لحاظ پارامتر TDS است. همچنین مناطق با کیفیت آب نامناسب، بد و موقتاً قابل شرب از نظر کل مواد جامد محلول به ترتیب ۳۷، ۶۱ و ۱/۲ درصد از سطح دشت شهر بابک را به خود اختصاص داده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود کمترین مقدار TDS در قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی (حداقل مقدار ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر) وجود دارد و با پیشروی به سمت مناطق مرکزی، غربی و جنوبی این آبخوان، غلظت TDS افزایش (با

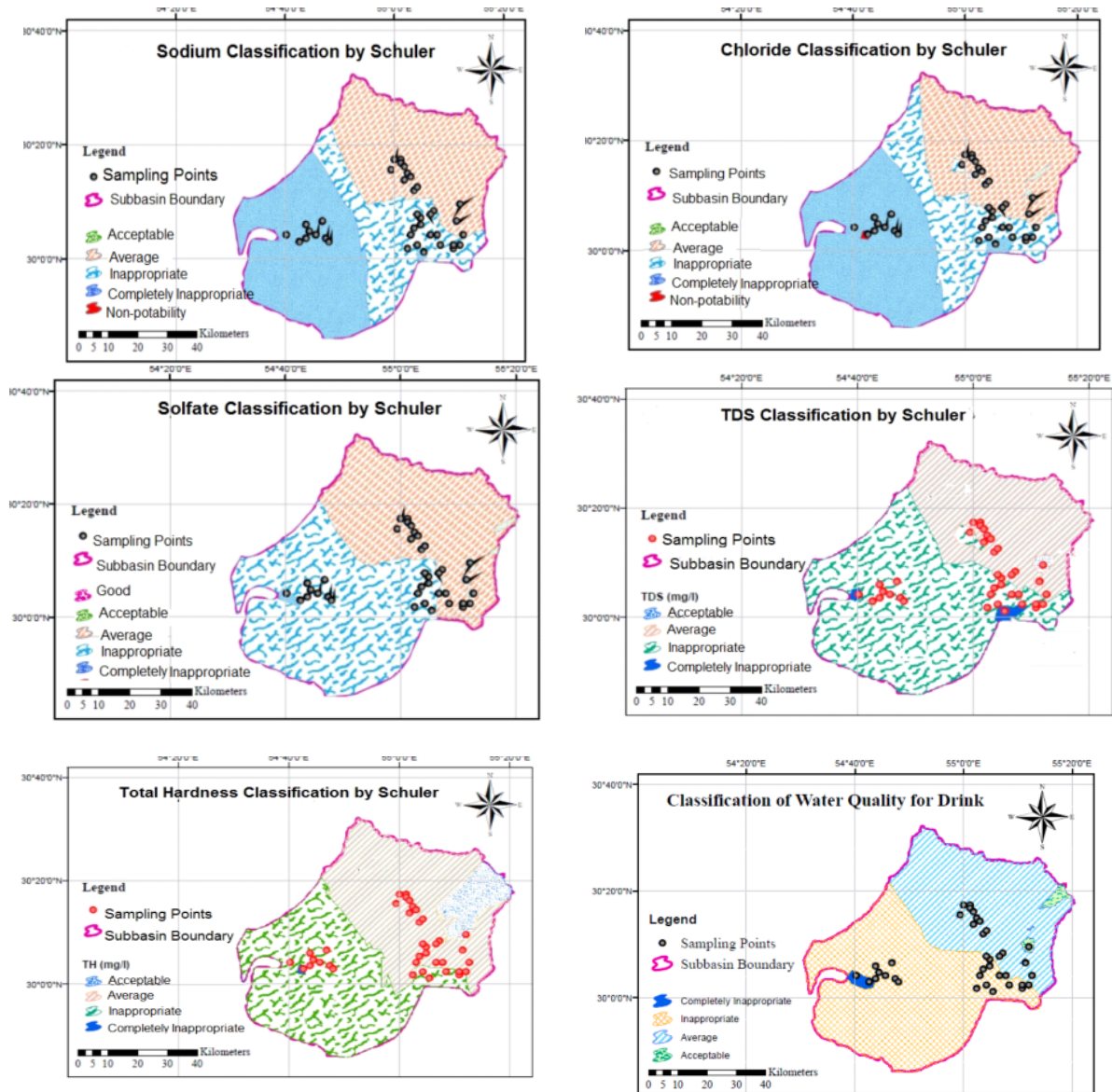


Fig. 5. Water quality classification for application in drip irrigation systems according to Schuler system

شکل ۵- طبقه‌بندی کیفی آب به منظور استفاده شرب بر اساس طبقه‌بندی شولر

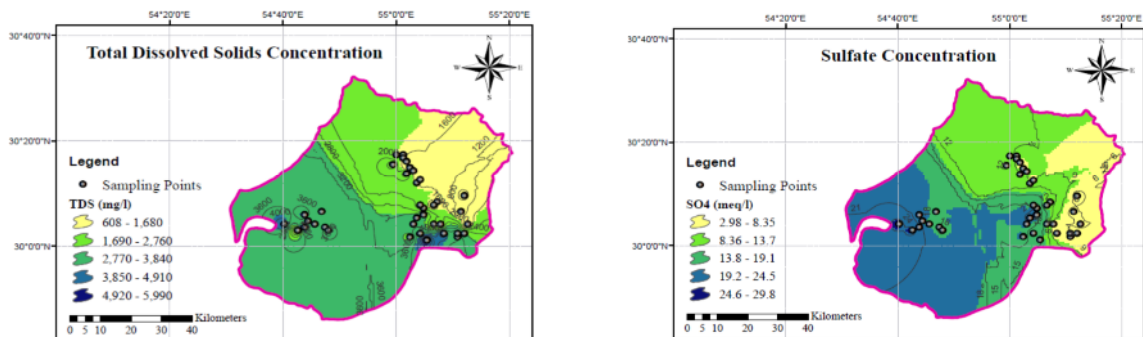


Fig. 6. Zoning of groundwater total dissolved and sulphates for Shahr-e-Babak plain aquifer

شکل ۶- پهنه‌بندی کل مواد جامد محلول و سولفات آب زیرزمینی دشت شهر بابک

جدول ۸- درصد مساحت اراضی موجود در زیرحوضه مورد بررسی از نظر کیفیت آب

Table 8. Percentages of land areas of the study subbasin according to water quality

Agriculture (Wilcox classification)				
Class	C3-S1	C4-S1	C4-S2	
Percentage area	6.9	45.3	47.8	
Drip irrigation (ISIRI classification)				
Status	No restriction	Low to middle restriction		Serious restriction
Percentage area	0.1	52.3		47.6
Sprinkler irrigation (ISIRI classification)				
Status	No restriction	Low to middle restriction		Serious restriction
Percentage area	-	71		29
drinking (Schuler classification)				
Status	Acceptable	Average	Inappropriate	Completely Inappropriate
Percentage area	1.3	41.5	56.3	0.9

شرب به سمت نامطلوب پیش می‌رود که در صورت عدم جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی در سال‌های آتی این وضعیت بدتر خواهد شد.

۳-۴- پهنه‌بندی مؤلفه‌های رسوبگذاری و خوردگی آب

همانطور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، تمامی قسمت‌های دشت دارای وضعیت خوردگی بسیار شدید است که می‌تواند ناشی از وجود معادن در این دشت باشد. البته باید یادآورد شد که چون pH آب در تمامی موارد کمتر از ۸ است، شاخص پورکوروس، شاخص مناسبی برای نمایش خوردگی یا رسوبگذاری به حساب نمی‌آید (Setayesh et al. 2014). مقادیر TDS و TH بالای آب در قسمت‌های غربی دشت، شرایط برای تشکیل رسوب را مساعدتر می‌کند که سبب کاهش خوردگی می‌شود. بالا بودن غلظت سولفات نسبت به حد استاندارد سبب تشدید خوردگی آب‌های زیرزمینی دشت شده است. بر اساس نتایج، آب زیرزمینی دشت شهر بابک تمایل به خوردگی دارد. همبستگی شاخص‌های خوردندگی LSI، AI، RS، PI و مؤلفه‌های آنها بر اساس نقشه‌های آنها محاسبه شد (جدول ۹). با توجه به جدول ۹، همبستگی بین تمامی مؤلفه‌ها به جز دو مؤلفه HCO_3^- -TDS و pH-TDS معنی‌دار بود ($p < 0.01$). همبستگی pH-TH به مقدار جزئی بزرگ‌تر از همبستگی pH-TDS بود و همبستگی HCO_3^- -pH بسیار بزرگ‌تر از همبستگی دو مورد قبل بود. بنابراین می‌توان گفت که نقش بی‌کربنات در قلیایی کردن pH آب بیشتر از نقش TH و TDS است. این نتیجه در ارزیابی آب زیرزمینی شهرکرد (Lalezari & Tabatabaei 1999)

پهنه‌بندی یون‌های کلر و سدیم صادق است (شکل ۴). وجود سولفات بالا در قسمت‌های غربی دشت، احتمال نامطلوب شدن کیفیت آب را بیش از سایر مناطق کرده است. در این نقشه، ۰/۰۱ درصد مساحت دشت دارای کیفیت خوب آب از نظر سولفات، ۱/۰۵ درصد دارای کیفیت قابل قبول در قسمت‌های شرقی، ۴۳/۶۵ درصد دارای کیفیت نامناسب، ۵۴/۷ درصد دارای کیفیت بد و ۰/۵۹ دارای کیفیت موقتاً قابل شرب است. نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت شهر بابک براساس پارامترهای ذکر شده از طریق وزن دهی خطی برآورد شد. در این روش، سطوح کیفیت اولیه آب زیرزمینی حاصل از پهنه‌بندی کلیه مؤلفه‌ها به‌طور جداگانه بر اساس جمع جبری و با اهمیت یکسان، همپوشانی و نقشه نهایی تهیه شد (شکل ۵). با توجه به شکل مزبور، مناطق دارای آب زیرزمینی با کیفیت قابل قبول در قسمت شرقی دشت (فقط یک چاه) قرار گرفته است که ۱/۳ درصد از مساحت دشت را به خود اختصاص داده‌اند. مناطق با طبقات نامناسب در قسمت‌های شرقی، شمالی، شمال شرقی و جنوب شرقی دشت واقع شده‌اند که شامل ۴۱/۵ درصد از مساحت دشت در مناطق مرکزی، شمال غربی، غرب، جنوب و جنوب غربی دشت در طبقه شرب بد قرار گرفته‌اند که این مناطق نیز ۵۶/۳ درصد مساحت دشت را دربر می‌گیرند. ۰/۹ درصد مساحت دشت نیز دارای کیفیت موقتاً قابل شرب در قسمت غرب هستند. فقط ۱/۳ درصد از مساحت دشت دارای آب با کیفیت قابل قبول شرب است که شامل یک چاه در قسمت شرقی دشت می‌شود (جدول ۸). بنابراین ملاحظه می‌شود که آب زیرزمینی دشت از نظر کیفیت

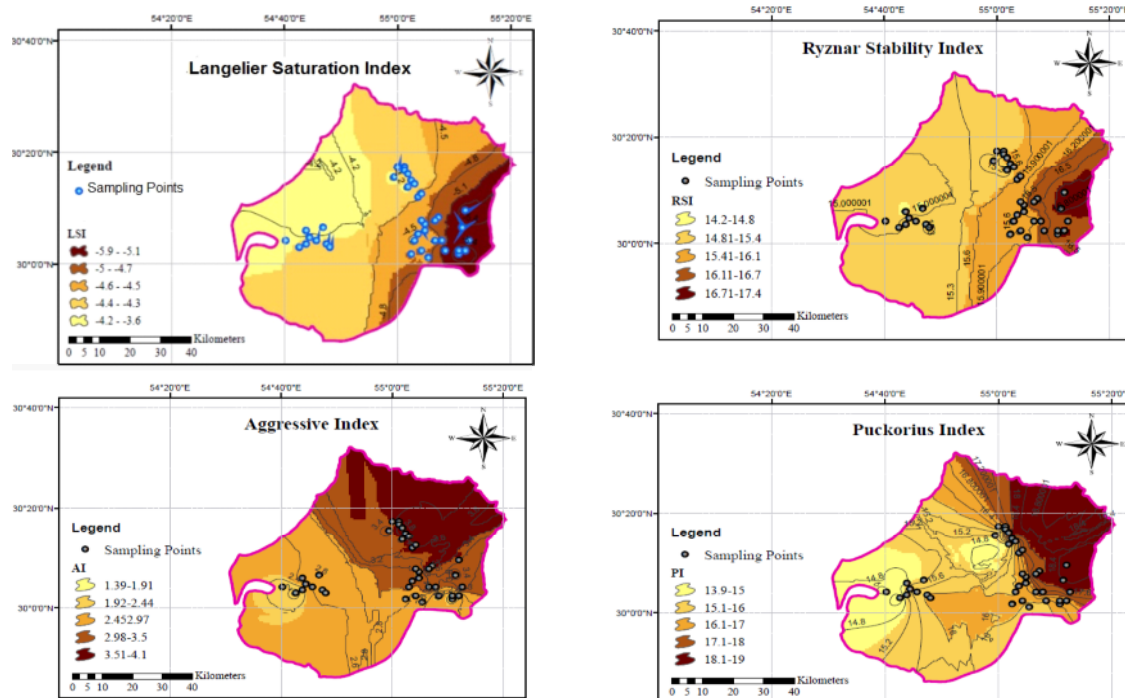


Fig. 7. Water quality zoning according to corrosiveness and sedimentation indices

شکل ۷- پهنه‌بندی کیفی آب بر اساس شاخص‌های خوردگی و رسوب

جدول ۹- ضرایب همبستگی پیرسون نقشه‌های خوردگی و مؤلفه‌های آنها در آب زیرزمینی دشت شهر بابک

Table 9. Pearson correlation coefficients of corrosiveness maps and their components in Shahr-e-Babak aquifer

Parameter	TDS	Ca	HCO ₃	pH	TH	LSI	RSI	AI	PI
TDS	1	0.72*	-0.03	0.006	0.74*	0.45*	-0.54*	-0.78*	-0.74*
Ca		1	0.22*	-0.14*	0.98*	0.52*	-0.67*	-0.89*	-0.89*
HCO ₃			1	-0.64*	-0.13*	-0.82*	0.79*	-0.12*	0.52*
pH				1	-0.18*	0.72*	-0.56*	0.42*	-0.21*
TH					1	0.45*	-0.59*	-0.92*	-0.85*
LSI						1	-0.98*	-0.23*	-0.82*
RSI							1	0.4*	0.91*
AI								1	0.74*
PI									1

همبستگی را با HCO_3 ($r = -0.82$) و pH ($r = 0.72$) و سپس با pH ($r = 0.72$) داشت و بنابراین احتمال تأثیر HCO_3 بیشتر از سایر مؤلفه‌ها بوده است. شاخص RSI نیز با تمامی مؤلفه‌های خود همبستگی بالایی داشت که در بین آنها بیشترین همبستگی مربوط به HCO_3 ($r = 0.79$) بود. در ضمن، شاخص‌های LSI و RSI همبستگی منفی و بسیار بزرگی ($r = -0.98$) دارند. شاخص‌های AI و PI نیز با مؤلفه‌های مربوط به خود شامل pH ، TH و HCO_3 برای AI و TDS، Ca و HCO_3 برای PI همبستگی معنی‌دار داشتند. بیشترین همبستگی مربوط به AI-TH ($r = -0.92$) و PI-Ca ($r = -0.89$) بود.

و آبخوان لردگان (Ostovari & Harchegani 2010) نیز وجود داشت. بین TDS با TH همبستگی قوی و معنی‌داری مشاهده شد. با توجه به اینکه TDS از مجموع غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها منشأ می‌گیرد، منطقی است که با TH (بیانگر غلظت کاتیون‌های Ca و Mg) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته باشد. در این تحقیق همبستگی TSD-TH به‌طور معنی‌داری بسیار بزرگ‌تر از همبستگی TDS- HCO_3 بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نقش کاتیون‌های Ca و Mg در ایجاد جامدات محلول آب بیشتر از نقش آنیون HCO_3 بوده است. شاخص اشباع لائزیر با تمام مؤلفه‌های خود همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که در بین آنها بیشترین

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

برای آبیاری بارانی را داشت. براساس نقشه پهنه‌های تولید شده در ۱۰۰ درصد مساحت دشت، شاخص لانژیلر منفی، شاخص خورندگی بسیار خورنده و شاخص رایزنر دو برابر آستانه و بیانگر پهنه خورندگی وسیع است. بر اساس شاخص لانژیلر در هیچ یک از آب‌چاه‌ها مشکل رسوب کربنات وجود ندارد اما خورنده بودن آب می‌تواند اثرات منفی روی ادوات مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری بارانی و صنعتی ایجاد کند. با توجه به وضع موجود آب‌های زیرزمینی دشت شهر بابک، لازم است اقدامات لازم، منطقی و علمی انجام شود تا آسیب‌های ناشی از خورندگی آب به سیستم‌های کشاورزی، صنعت و آبرسانی کاهش یابد. به این منظور می‌توان از روش‌هایی همچون رنگ زدن لوله‌ها، استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلنی به جای لوله‌های آزیست و فلزی، تنظیم pH و تزریق مواد بازدارنده در سیستم استفاده کرد که البته پرهزینه می‌باشند. نقشه پهنه‌بندی کیفیت شرب آب زیرزمینی دشت شهر بابک نیز نشان داد که فقط ۱/۳ درصد از مساحت دشت دارای آب با کیفیت قابل قبول برای شرب است و ۹۸ درصد مساحت آبخوان آب مناسبی به لحاظ شرب ندارد. بنابراین استفاده از این آب موجب بروز مشکلات بهداشتی و سلامتی عدیده‌ای خواهد شد.

این پژوهش با هدف بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی آبخوان چندمنظوره کشاورزی - معدنی - شرب - صنعتی دشت شهر بابک بر اساس شاخص‌های چندگانه (تناسب کشاورزی، آبیاری قطره‌ای و بارانی، شرب، خوردگی و رسوبگذاری) صورت گرفت. مقایسه مؤلفه‌های کیفی آب زیرزمینی با استانداردهای WHO و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) نشان داد که در اکثر چاه‌های مورد بررسی، پارامترهای کل مواد جامد محلول (TDS)، بی‌کربنات (HCO_3)، سولفات (SO_4^{2-})، کلر (Cl)، سدیم (Na)، شوری (EC) و سختی (TH) از حد مجاز بیشتر می‌باشند. مدل وزن‌دهی عکس فاصله روش مناسبی برای پهنه‌بندی مؤلفه‌ها بود. با توجه به بررسی صورت گرفته و نتایج حاصل، مشخص شد که مساحت کمی از دشت شهر بابک قابلیت کشاورزی از نظر کیفیت آب‌های زیرزمینی را دارد و ۹۳ درصد مساحت دشت در کلاس‌های C4-S2 و C4-S1 نامناسب برای کشاورزی قرار داشت. مقادیر EC و TDS و به‌طور کلی غلظت املاح سولفات، سدیم، کلر از شرق دشت به سمت غرب و جنوب غربی افزایش یافته است. در مجموع کیفیت آب در نواحی شمالی و شرقی دشت قابلیت بیشتری برای کاربرد در سامانه‌های قطره‌ای و در تمامی دشت قابلیت کاربرد

References

- Annapoorna, H. & Janardhana, M.R., 2015, "Assessment of groundwater quality for drinking purpose in rural areas surrounding a defunct copper mine", *Aquatic Procedia*, 4, 685-692.
- Abrishamchi, A., Taheri-Shahraiyini, H. & Tajrishy, M., 2012, "Groundwater vulnerability assessment to pesticides and their ranking and clustering", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 23 No. 3 (83), 27-16. (In Persian).
- Alampiri, R., Khoramabadi, G.h., Shahmansouri, M. & Farzadkia, M., 1998, "Corrosive and sedimentaionl potential of Khoramabad urban water network using corrosive indicies" *Lorestan University of Medical Sciences*, 3, 79-89. (In Persian)
- Al-hadithi, M., 2012, "Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality in Ratmao-Pathri Rao watershed, Haridwar District India", *Scientific and Industrial Research*, 3(6), 395-402.
- Alizadeh, A., 1999, *Drip irrigation (principle and applications)*, 2nd Ed., Imamreza Publisher, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Allahbakhsh, J., Ghomi, N. & Roudbari, A.A., 2016, "Using the IRWQIGT index to determine toxicity levels in groundwater resources: A case study of semnan province", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 27 No. 4 (104), 75-83. (In Persian)
- AWWA, 1984, "Determining internal corrosion potential in water supply systems", *American Water Works Association*, 76(8), 83-88.

- Amiri, V., Nakhaei, V. & Sohrabi, N., 2014, "Groundwater quality assessment using water quality index weighted entropy", *Advance Application Geology*, 7, 31-40. (In Persian).
- Asghari-moghadam, A., Javanmard, Z., Vadiati, V. & Najib, M., 2015, "Groundwater quality assessment of Mehrban aquifer using GQI FGQI indices", 1(2), 79-98. (In Persian).
- Azizi, F., & Mohammadzadeh, H., 2012, "Vulnerability zoning and quality assessment of Imamzadeh aquifer using DRASTIC and GWQI methods", *Water Engineering*, 5(13), 11-14. (In Persian).
- Ehsani, S., Salehpour, M., Ardekni, H., Abasi, H. & Poyan, M., 2014, "Investigation of scale and coorsion potential of groundwater quality of Sary city", *Human and Environment*, 24, 19-31. (In Persian).
- Ghaemizadeh F. & akhevan, S., 2014, "Applicabilty of under pressure irrigation systems based on water quality in Hamadan aquifer", *Soil and Water Conservation Journal*, 1(21), 65-85. (In Persian).
- Ghaemizadeh, F. & Akhavan, S., 2014, "The feasibility study of pressurized irrigation systems performance based on water quality (Case study: Hamedan Province plains)", *Journal of Soil and Water Conservation*, 21(1), 65-83. (In Persian)
- Goovaerts, P., 1997, *Geostatistics for natural resources evaluation*, Oxford University Press, New York.
- Hamza, S.M., Ahsan, A., Imteaz, M.A., Rahman, A., Mohammad, T.A. & Ghazali, A.H., 2015, "Accomplishment and subjectivity of GIS-based DRASTIC groundwater vulnerability assessment method: A review", *Environmental Earth Sciences*, 73(7), 3063-3076.
- Hofmann, J., Watson, V. & Scharaw, B., 2015, "Groundwater quality under stress: Contaminants in the Kharaa River basin (Mongolia)", *Environmental Earth Sciences*, 73(2), 629-648.
- Iqbal, J., Gorai, A.K., Katpatal, Y.B. & Pathak, G., 2015, "Development of GIS-based fuzzy pattern recognition model (modified DRASTIC model) for groundwater vulnerability to pollution assessment", *Environmental Science and Technology*, 12(10), 3161-3174.
- ISIRI., 2008, "Drinking water: Physical and chemical specifications", ISIRI 1053, 5th revision, Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (In Persian)
- Jang, C.S. & Chen, S.K., 2015, "Integrating indicator-based geostatistical estimation and aquifer vulnerability of nitrate-N for establishing groundwater protection zones", *Hydrology*, 523, 441-451.
- Jing, X.Y., Yang, H., Cao, Y. & Wang, W., 2014, "Identification of indicators of groundwater quality formation process using a zoning model", *Hydrology*, 514, 30-40.
- Junior, R. V., Varandas, S. G. P., Fernandes, L. S. & Pacheco, F. A. L., 2015, "Multi criteria analysis for the monitoring of aquifer vulnerability: A scientific tool in environmental policy", *Environmental Science and Policy*, 48, 250-264.
- Karamouz, M., Ahmadi, A. & Nazif, S., 2008, "Challenges and opportunities models optimal utilization of water resources management", *First Regional Conference on the Exploitation of Water Resources and River Basins CARON (opportunities and challenges)*, Shahr-e-Kord University, Iran. (In Persian)
- Keshavarz, A., Khashaei, A. & Najafi, M.H., 2015, "Locating of suitable area of pumping drinking water using FAHP method (Case study: Birjand aquifer", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 25 No. 3 (91), 135-142. (In Persian)
- Kinsela, A.S., Jones, A.M., Collins, R.N. & Waite, T.D., 2012, "The impacts of low-cost treatment options upon scaleformation potential in remote communities reliant on hard groundwaters. A case study: Northern Territory, Australia", *Science of the Total Environment*, 416, 22-31.
- Kumar, P., Bansod, B.K., Debnath, S.K., Thakur, P.K. & Ghanshyam, C., 2015, "Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation", *Environmental Impact Assessment Review*, 51, 38-49.
- Lalehzari, R. & Tabatabaei, H., 1999, "Chemical properties of Shahre-kord quality", *Environmental Science*, 36(53), 55-62. (In Persian)

- Mahvi, A., Dinarlo, H., Jamali A. & Alipour, V., 2001, "Corresivity and sedimentation in Bandare-Abbas water distribution network", *Hormozgan Physician*, 4, 335-340. (In Persian)
- Malekotian, M., Mobeini, M., Sharif, I. & Haghighipour, A., 2014, "Corrosive and sedimentational potential of urban water networks in rural wells of rafsanzjan", *Rafsanzjan University of Medical Sciences*, 13(3), 304-293. (In Persian).
- Mousavi, F., Yaghoubi, M. & Chitsazan, M., 2016, "Land use management by assessing aquifer vulnerability in Khovayes plain using the DRASTIC and SINTACS Models", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 27 No. 3 (103), 88-92. (In Persian)
- Nashat, A. & Nikpour, N., 2010, "Using GIS for under pressure irrigation location selection in Kerman aquifer", *Water Resources*, 4, 77-84. (In Persian).
- Nasseri, M., Tajrishy, M., Nikoo, M. & Zaherpour, J., 2011, "Recognition and spatial mapping of multivariate groundwater quality index using combined fuzzy method", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 24 No. 1 (85), 82-93. (In Persian).
- National Reasearch Council., 1993, *Groundwater vulnerability assessment: Contamination potential under condition of uncertainties*, National Academy Press., Washington, D.C., 185pp.
- Oikonomidis, D., Dimogianni, S., Kazakis, N. & Voudouris, K., 2015, "A GIS/Remote sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece", *Hydrology*, 525, 197-208.
- Ostavari, H. & Harchegani H., 2010, "Quality assessment of Lordegan aquifer and effects of geological structures", MSc Thesis, Shahre-Kord University. (In Persian)
- Pourakbar, M., Mosafari, M.S., Khatibi, A. & Moradi, M., 2015, "Groundwater quality assessment from a hydrogeochemical viewpoint (A case study of Sarab county)", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 26, No.3 (97), 116-126. (In Persian).
- Rezaei, F., Safavi, H.R. & Ahmadi, A., 2013, "Groundwater vulnerability assessment using fuzzy logic: A case study in the Zayandehrood aquifers, Iran", *Environmental Management*, 51(1), 267-277.
- Seifi, A., 2014, "Salinity and oxyfertigation management of Pistachio Orchards under subsurface drip irrigation", A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Philosophy (PhD) in Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Setayesh, F., Mazrouei, F., Ebrahimi, A. & Dastjerdi, M., 2014, "Zoning of Isfahan drinking water distribution network corrosion potential in summer and autumn of 2011 using Geographic Information System (GIS)", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 25 No. 1 (89), 91-96.
- Taghipour, H., Shaker-khatibi, M., Pourakbar, M. & Jafarpour, S., 2012, "Corrosive and sedimentation potential in urban water network of Tabriz City", *15th National Congress of Environmental Health*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Varol, S. & Davraz, A., 2015, "Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: A case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey)", *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1725- 1744.
- Wang, X.J., 2006, "Study on evolution and formation of chemical composition of groundwater in Yinchuan Plain", *Chan'an University Paper*, 4, P641.12.
- Zhang, Q. & Zhang, L., 2010, "Main water environmental problem and its countermeasures in Yinchuan Plain", *Earth Science Environmental*, 32 (4), 392-397.
- Zheng, G., & Wang, R., 2006, "Research on the bearing capacity of water resources in Yinchuan Plain", *Ningxia University, (Nat. Sci. Ed.)*, 27 (1), 80-83.