دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده عمران

تهاجم و پیشروی آب شور دریاچه ارومیه در آبخوان ساحلی

دشت مراغه – بناب (مطالعه موردی منطقه بناب)

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش : آب- مدیریت منابع آب

استاد راهنما:

دکتر سید مرتضی موسوی

استاد مشاور :

مهندس سید رسول حسینلر

نگارش:

امیر صافی

شهریور ماه 1390

بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده:

اهمیت مدیریت کمی وکیفی آب های زیرزمینی در ایران از آنجائی مورد توجه قرار می گیرد که رشد جمعیت از یک طرف و برداشت بیش از حد توان سفره های آب زیرزمینی از طرف دیگر، بحران آب را در کشور رقم زده است. نیاز به این امر بالاخص در سال های اخیر با افت سطح ایستابی بسیاری از آبخوان های کشور به علت برداشت بیش از حد مجاز، بیش از پیش احساس می‌شود. برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی باعث برهم خوردن حدفاصل آب شور و شیرین گشته و نتیجتاً پیشروی و تهاجم آب شور را در سفره‌های آب شیرین باعث می‌شود. در اثر این پدیده در برخی مناطق کشور به خصوص مناطق ساحلی، کشت محصولاتی که نیاز به آب با کیفیت بالا دارند، دیگر میسر نیست.

آبخوان ساحلی بناب واقع در جنوب شرقی دریاچه ارومیه، که به لحاظ کشاورزی یکی از پر اهمیت ترین دشت های استان آذربایجان شرقی است در سال های اخیر با افت قابل توجه سطح ایستابی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی روبرو بوده است.

در این پژوهش، ابتدا منطقه مورد مطالعه معرفی و به لزوم بررسی پدیده پیشروی آب شور دریاچه ارومیه در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. در این بررسی، تعداد 9 حلقه چاه پیزومتری و 5 حلقه چاه مشاهده کیفی مورد استفاده قرار گرفته اند. اطلاعات 9 چاه پیزومتری برای سال های 1382 تا 1389 و اطلاعات 5 چاه مشاهده کیفی برای سال های 1382 تا 1388 موجود می‌باشد. به منظور تکمیل اطلاعات موجود، با انجام یک سری عملیات صحرایی در سال 1390، اطلاعات این سال نیز به دوره آماری موجود اضافه گردید. پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، به تحلیل کیفیت آب شرب و کشاورزی در ابتدا و انتهای دوره طرح پرداخته شد. ابتدا برخی پارامترهای کیفی آب از قبیل: Na، Cl، TDS و EC مورد تحلیل قرار گرفتند و سپس با استفاده از دیاگرام های "شولر" و "ویل کاکس" کیفیت آب شرب و کشاورزی در این دو سال مقایسه گردید. بررسی های به عمل آمده، کاهش قابل توجه کیفیت آب شرب و کشاورزی در غرب منطقه مورد مطالعه و در حاشیه دریاچه ارومیه را نشان داد. سپس به علت سنجی کاهش کیفیت آب و امکان سنجی پیشروی آب شور دریاچه ارومیه در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. بررسی ها، پیشروی آب شور از سمت دریاچه ارومیه را تأیید کردند.

برای شبیه سازی این پدیده، از مدل VISUAL MODFLOW (VERSION 4.2) به همراه بسته نرم افزاری SEAWAT استفاده شد. پس از ساخت مدل، با تطبیق نتایج محاسباتی مدل و مقادیر مشاهداتی در چاه های انتخابی دشت، مدل، واسنجی شده و سپس صحت یابی گردید. عملیات واسنجی مدل در طول دوره آماری به چند روش انجام و بهترین روش، انتخاب و نتایج آن

در مدل ساخته شده "به روز" شد. از مدل نهایی برای پیش بینی وضعیت پیشروی آب شور در 20 سال آینده – 20 سال پس از ابتدای دوره طرح – با فرض ادامه روند کنونی در تغذیه و تخلیه آبخوان، استفاده گردید. نتایج به دست آمده، ادامه پیشروی آب شور را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. در پایان، سناریو های مدیریتی برای کاهش پیشروی آب شور ارائه گردید. در این سناریوها دو حالت کاهش پمپاژ و تغذیه مصنوعی در نظر گرفته شد.

در حالت اول با توجه به وجود ناحیه کشاورزی و شهر بناب که عمده مصرف آب در منطقه مورد مطالعه را موجب می شوند، 3 سناریو شامل کاهش پمپاژ چاه های بهره برداری ارائه و نتایج مربوط به افت سطح آب زیرزمینی و تغییر غلظت نمک دریاچه ارومیه ارائه گردید. در حالت دوم 2 سناریو بر اساس طرح تغذیه مصنوعی منطقه کشاورزی ارائه و در پایان یک سناریو به عنوان سناریوی برتر معرفی گردید. در این سناریو، سطح آب زیرزمینی در مقایسه با مقدار مدل بدون تغذیه مصنوعی به میزان 0/3 متر کاهش یافت. میزان غلظت نمک نیز در این سناریو به طور میانگین به میزان 21/15 میلی گرم در لیتر نسبت به مدل بدون تغذیه مصنوعی کاهش یافت. در نهایت، پیشنهادهایی برای انجام مطالعات بیشتر در این خصوص ارائه شد.

کلمات کلیدی: سطح ایستابی، آبخوان ساحلی، پیشروی آب شور، دشت بناب، SEAWAT ،VISUAL MODFLOW

فهرست مطالب

1 کلیات 1

۲ مروری بر مطالعات پیشین .....

۲-۱ - تاریخچه مدل سازی پیشروی آب شور 6

۲-۲ روش های بررسی پیشروی آب شور 7

2-2-1 بررسی های ژئوفیزیکی 7

2-2-2 بررسی های ژئوشیمیایی 9

2-2-3 مطالعات تجربی 11

2-2-4 مدل های ریاضی 12

2-2-5 مدل های با حدفاصل مشخص یا حدفاصل با پخشیدگی 13

2-2-5-1 مدل های با حدفاصل مشخص 14

2-2-5-2 مدل های با حد فاصل با پخشیدگی 15

۲-۳ پیشروی آب شور در سفره های آب زیرزمینی ساحلی 18

2-3-1 روش های کنترل پیشروی آب شور 22

۳ معرفی منطقه و تحلیل کیفی آب زیرزمینی .....

۳-۱ موقعیت منطقه 24

۳-۲ هدف تحقیق 26

۳-۳ داده های موجود و دوره آماری مورد بررسی 26

۳-٤ ویژگی های عمومی منطقه 27

3-4-1 موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی دریاچه ارومیه 27

3-4-2 مورفولوژی منطقه 28

3-4-3 چینه شناسی 28

۳-۵ تحلیل کیفی آب زیرزمینی دشت بناب 28

3-5-1 کاتیون ها 29

3-5-2 آنیون ها 30

3-5-3 طبقه بندی آب از نظر شرب 31

3-5-3-1 نمودار شولر 32

3-5-4 طبقه بندی آب از نظر کشاورزی 32

3-5-4-1 روش طبقه بندی ویل کاکس 33

3-5-5 نتایج تجزیه کامل شیمیایی نمونه آب انتخابی دشت بناب 33

3-5-6 بررسی کیفی آب شرب و کشاورزی منطقه بناب 34

3-5-6-1 چاه های کیفی 34

3-5-6-2 طبقه بندی آب منطقه از نظر شرب 37

3-5-6-3 طبقه بندی آب منطقه از نظر کشاورزی 40
3-5-7 علت سنجی کاهش کیفی آب زیرزمینی 42
3-5-8 رابطه بین هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول 43
4 استفاده از مدل برای تحلیل جریان آب زیرزمینی .....
٤-١ تعریف مدل 45
٤-٢ انواع مدل های آب زیرزمینی 46
4-2-1 مدل های فیزیکی یا مدل های محیط متخلخل 46
4-2-1-1 مدل جعبه ماسه ای 46
4-2-1-2 مدل تشابهی 46
4-2-1-3 مدل تشابهی الکتریکی 46
4-2-1-4 مدل تشابهی حرارتی 47
4-2-2 مدل های ریاضی 48
4-2-2-1 مدل ریاضی تجربی 48
4-2-2-2 مدل ریاضی احتمالاتی 48
4-2-2-3 مدل ریاضی تحلیلی 48
4-2-2-4 مدل ریاضی عددی 48
4-3 معادلات اساسی حاکم بر جریان آب های زیرزمینی 49
4-3-1 معادله برنولی 49
4-3-2 معادله پیوستگی 50
4-3-3 معادله دارسی 51
4-3-4 معادله عمومی حاکم بر جریان آب زیرزمینی 53
٤-٤ معادلا ت حاکم بر پیشروی آب شور 55
٤-٥ مراحل تهیه یک مدل ریاضی 56
4-5-1 هدف از تهیه مدل 56
4-5-2 ایجاد مدل مفهومی 57
٤-٦ انتخاب معادله حاکم و تهیه برنامه کامپیوتری 58
4-6-1 طراحی مدل 58
4-6-2 چارچوب فیزیکی 59
4-6-3 طراحی شبکه 59
4-6-4 انتخاب استرس پریودها و گام های زمانی 60
4-6-5 طراحی چاه‌های مشاهده ای 60
4-6-6 تعیین شرایط مرزی 60
4-6-7 شرایط اولیه 61
4-6-8 تخمین پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، ذخیره ویژه و آبدهی ویژه 62

4-6-9 واسنجی و تحلیل حساسیت 62
4-6-10 صحت سنجی 63
4-6-11 پیش بینی 63
4-6-12 اطلاعات مورد نیاز برای شبیه سازی جریان و آلودگی در آبخوان ها با استفاده از مدل 64
4-6-13 روند نما 65
٤-٧ انتخاب برنامه (بستهٔ نرم افزاری) 66
4-7-1 انتخاب برنامه و بستهٔ نرم افزاری در این تحقیق 67
4-7-1-1 قابلیت های نرم افزار *Visual Modflow 4.2* 68

5 مدل سازی منطقه مورد مطالعه .....

٥-١ هدف از مدل سازی 70
٥-٢ تهیه مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه 70
٥-٣ تعیین مرز زیرین آبخوان 72
٥-٤ تعیین مرز بالایی آبخوان 73
٥-٥ تهیه شبکه مدل و گسسته سازی مکانی 75
٥-٦ گسسته سازی زمانی 76
٥-٧ شرایط مرزی 77
٥-٨ تعیین نوع مرزهای جریان در حاشیه آبخوان بر اساس شواهد هیدرولیکی 78
٥-٩ شرایط اولیه 81
٥-١٠ مولفه های هیدروژئولوژیکی آبخوان 82
5-10-1 برداشت آب از آبخوان 82
5-10-2 تبخیر 83
5-10-3 تغذیه 85
٥-١١ پارامترهای هیدرولیکی آبخوان 86
٥-١٢ غلظت اولیه 87
٥-١٣ منطقه تغذیه آلودگی 87
٥-١٤ واسنجی مدل 88
٥-١٥ واسنجی مدل در حالت ماندگار 89
٥-١٦ آنالیز حساسیت 90
٥-١٧ واسنجی مدل در حالت ناماندگار 91
٥-١٨ صحت سنجی 92
٥-١٩ واسنجی مدل کیفی دشت بناب 94
5-20 تهیه بیلان آب زیرزمینی دشت بناب 96
5-20-1 بیلان جزء به جزء 98
٥-٢١ پیشروی آب شور در سفره آب زیرزمینی دشت بناب 100

5-21-1 پیش بینی وضعیت آبخوان با ادامه روند کنونی 102
5-21-1-1 افت سطح سفره آب زیرزمینی با توجه به پمپاژ چاه های بهره برداری 102
5-21-1-2 حدفاصل آب شور دریاچه ارومیه و آب شیرین آبخوان دشت بناب 106
5-21-2 مقایسه غلظت نمک در چاه های مشاهده کیفی 107
5-21-2-1 بررسی پیشروی آب شور در سال 1402 108
٦ سناریوهای مدیریتی .....
٦-١ - مدیریت منابع آب زیرزمینی و استفاده از مدل برای پیش بینی آینده 109
6-1-1 اقدامات ممکن برای بهبود اوضاع 110
6-1-1-1 کم کردن پمپاژ 111
6-1-1-2 عدم پمپاژ 111
6-1-1-3 تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی 111
6-1-2 سناریوی اول-کاهش دبی پمپاژ چاه های بهره برداری در ناحیه کشاورزی 112
6-1-3 سناریوی دوم-کاهش دبی پمپاژ چاه های بهره برداری در ناحیه کشاورزی و شهر بناب 113
6-1-4 سناریوی سوم-کاهش دبی پمپاژ چاه های بهره برداری در ناحیه کشاورزی و شهر بناب..... 114
6-2 تغذیه مصنوعی 115
6-2-1 پیش بینی وضعیت آبخوان با اعمال تغذیه مصنوعی 115
6-2-2 مدیریت وکاربری حوضه برای کاهش سیلاب 116
6-2-3 پخش و گسترش سیلاب در پایاب حوضه 116
6-2-3-1 سناریوی چهارم- تغذیه مصنوعی ناحیه ای از دشت بناب با استفاده از رودخانه صوفی چای 117
6-2-3-2 سناریوی پنجم- تغذیه مصنوعی دو ناحیه از دشت بناب با استفاده از رودخانه صوفی چای 118
6-2-4 انتخاب بهترین سناریو با توجه به محدودیت های موجود 119
٧ نتیجه گیری .....
٧-١ نتیجه گیری و پیش بینی وضعیت آبخوان با ادامه روند کنونی یا سناریو های مدیریتی 121
7-2 پیشنهادهایی برای ادامه کار 124
٨ منابع و مراجع 125
9 پیوست 131

فهرست جدول ها

جدول 2-1: انواع آب برپایه محتوی 8
جدول 3-2: طبقه بندی آب شرب طبق نمودار شولر..... 38
جدول 3-3:مقایسه کیفیت آب در سال های 1382 و 1386 38
جدول 3-4:مقایسه کیفیت آب کشاورزی در سال های 1382 و 1386 40
جدول 3-6: نسبت Cl/HCO_3 در چاه های کیفی دشت بناب 42
جدول 5-1: غلظت نمک چاه های مشاهده ای کیفی در سال های 1382 و 1402..... 107
جدول 6-1: نتایج سناریوی اول در مقایسه با نتایج مدل کنونی در سال 1402..... 112
جدول 6-2: نتایج سناریوی دوم در مقایسه با نتایج مدل کنونی در سال 1402..... 113
جدول 6-3: نتایج سناریوی سوم در مقایسه با نتایج مدل کنونی در سال 1402..... 114
جدول 6-4: نتایج سناریوی چهارم در مقایسه با نتایج مدل کنونی در سال 1402..... 118
جدول 6-5: نتایج سناریوی پنجم در مقایسه با نتایج مدل کنونی در سال 1402 118
جدول 7-1: غلظت نمک چاه های مشاهده ای کیفی در سال های 1382 و 1402 122
جدول 9-1: میزان تغذیه و تبخیر در سفره آب زیرزمینی آبخوان بناب 140
جدول 9-2: نتایج تجزیه کامل شیمیایی نمونه آب انتخابی دشت مراغه – منطقه بناب– درمهرماه 1382 154
جدول 9-3: نتایج تجزیه کامل شیمیایی نمونه آب انتخابی دشت مراغه – منطقه بناب– درمهرماه 1386 154

فهرست شکل ها

شکل 2-1: تعادل هیدرواستاتیکی بین آب شور و شیرین 14
شکل 2-2: موقعیت ناحیه انتقالی 16
شکل 2-3: حد فاصل آب شور و آب شیرین در سفره های ساحلی 19
شکل 2-4: بالازدگی آب شور در نتیجه پمپاژ بیش از حد توان سفره آب زیرزمینی 20
شکل 2-5: تعیین حد فاصل آب شور و شیرین 21
شکل 3-1: موقعیت محدوده مطالعاتی بناب در ایران 25
شکل 3-2: موقعیت محدوده مطالعاتی بناب در آذربایجان شرقی و در ساحل جنوب شرقی دریاچه ارومیه 25
شکل 3-3: موقعیت قرار گیری چاه های کیفی دشت بناب 34
شکل 3-4: میزان سدیم موجود برحسب اکی والان در لیتر 35
شکل 3-5: میزان کلر موجود بر حسب اکی والان درلیتر 35
شکل 3-6: میزان TDS برحسب میلی گرم درلیتر 36
شکل 3-7: تغییرات هدایت الکتریکی در سال های 1380 و 1388..... 37
شکل 3-8: دیاگرام "شولر" چاه های کیفی در سال 1382 39
شکل 3-9: دیاگرام "شولر" چاه های کیفی در سال 1386 39
شکل 3-10: تغییرات شوری – قلیایی چاه های کیفی در سال 1382..... 41
شکل 3-11: تغیرات شوری – قلیایی چاه های کیفی در سال 1386 41
شکل 3-12: رابطه خطی بین EC و TDS..... 44
شکل 4-1: نمایش مفهومی معادله پیوستگی 50
شکل 4-2: آزمایش دارسی 52
شکل 4-3: نحوه شبکه بندی آبخوان 59
شکل 4-4: روند نما مـدل سازی آب زیرزمینی..... 66
شکل5-1: لاگ حفاری مربوط به یکی از گمانه های پیزومتری دشت بناب 71
شکل 5-2: نقشه هم تراز سنگ کف دشت بناب در شبکه مدل 73
شکل 5-3: نقشه هم تراز توپوگرافی دشت بناب در شبکه مدل 74
شکل 5-4: نمای سه بعدی لایه های زمین در دشت بناب 74
شکل 5-5: شبکه بندی کلی مدل دشت بناب در محیط نرم افزار Visual Modflow 76
شکل 5-6: مرز هد ثابت – دریاچه ارومیه 79
شکل 5-7: مرز هد متغیر با جریان ثابت – ورودی آبخوان 80

شکل 5-8: مرز بار هیدرولیکی وابسته به جریان 81
شکل 5-9: موقعیت چاه های بهره برداری دشت بناب 83
شکل 5-10: شرایط مرزی مدل و موقعیت سلول های تعریف شده برای بسته تبخیر و تعرق 84
شکل 5-11: ناحیه بندی منطقه از نظر تغذیه 86
شکل 5-12: نقشه هم تراز هدایت هیدرولیکی در لایه اول برحسب (m/s) 87
شکل 5-13: منطقه تغذیه آلودگی در دشت بناب (دریاچه ارومیه) 88
شکل 5-14: برازش هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت ماندگار 90
شکل 5-15: برازش هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت ناماندگار 92
شکل 5-16: صحت سنجی بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت ناماندگار در سال 1389 93
شکل 5-17: صحت سنجی بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت ناماندگار در سال 1390 94
شکل 5-18: صحت سنجی نتایج واسنجی مدل کیفی در سال 1383 95
شکل 5-19: صحت سنجی نتایج واسنجی مدل کیفی در سال 1385 96
شکل 5-20: بیلان آب زیرزمینی در ابتدای سال 1382 97
شکل 5-21: بیلان آب زیرزمینی در انتهای سال 1402 98
شکل 5-22: بیلان آب زیرزمینی ناحیه 1 99
شکل 5-23: بیلان آب زیرزمینی ناحیه 2 100
شکل 5-24: غلظت نمک دشت بناب در سال 1382 101
شکل 5-25: غلظت نمک دشت بناب در سال 1388 101
شکل 5-26: افت سطح آب زیرزمینی در محل چاه های بهره برداری 103
شکل 5-27: سطح آب زیرزمینی در سال 1382 104
شکل 5-28: سطح آب زیرزمینی در سال 1402 104
شکل 5-29: افت سطح آب زیرزمینی 105
شکل 5-30: حدفاصل آب شور و شیرین در سال 1382 106
شکل 5-31: حدفاصل آب شور و شیرین در سال 1402 106
شکل 9-1: ساختار زمین شناسی شرق دریاچه ارومیه 132
شکل 9-2: ساختار زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بناب 133
شکل 9-3: راهنمای نقشه زمین شناسی 133
شکل 9-4: مقطع زمین شناسی 134

شکل 9-5: نقشه هم تراز سطح زمین 134
شکل 9-6: نقشه هم تراز سطح لایه اول 135
شکل 9-7: نقشه هم تراز سطح لایه دوم 136
شکل 9-8: نقشه هم تراز سنگ بستر 137
شکل 9-9: نقشه هم تراز هدایت هیدرولیکی لایه اول 138
شکل 9-10: نقشه هم تراز هدایت هیدرولیکی لایه دوم 138
شکل 9-11: نقشه هم تراز هدایت هیدرولیکی لایه سوم 139
شکل 9-12: سری زمانی هد ثابت دریاچه ارومیه 139
شکل 9-13: ناحیه بندی آبخوان دشت بناب 140
شکل 9-14: نمونه ای از چاه های بهره برداری وارد شده در مدل 141
شکل 9-15: بیلان آب زیرزمینی دشت بناب برحسب زمان 142
شکل 9-16: مقادیر تغذیه و تخلیه آب از سفره آب زیرزمینی برحسب زمان 142
شکل 9-17: تغییرات بار هیدرولیکی در چاه های پیزومتری برحسب زمان 143
شکل 9-18: تغییرات غلظت برحسب زمان در چاه های کیفی 143
شکل 9-19: بیلان نمک سفره آب زیرزمینی در سال 1382 144
شکل 9-20: بیلان نمک سفره آب زیرزمینی در سال 1402 144
شکل 9-21: بیلان نمک آب زیرزمینی دشت بناب برحسب زمان 145
شکل 9-22: مقادیر تغذیه و تخلیه نمک از سفره آب زیرزمینی برحسب زمان 145
شکل 9-23: موقعیت قرار گیری لاگ چاه های حفاری در دشت بناب 146
شکل 9-24: لاگ حفاری مربوط به گمانه پیزومتری بناب (قره چیق کنار میدان ورزش) 147
شکل 9-25: لاگ حفاری مربوط به گمانه پیزومتری داخل بلوار (بناب) 148
شکل 9-26: لاگ حفاری مربوط به گمانه پیزومتری جاده دریا (بناب) 149
شکل 9-27: لاگ حفاری مربوط به گمانه پیزومتری روبروی قبرستان (بناب) 150
شکل 9-28: لاگ حفاری مربوط به گمانه پیزومتری رشت کوچک (بناب) 151
شکل 9-29: لاگ حفاری مربوط به گمانه پیزومتری قشلاق خانه برق (بناب) 152
شکل 9-30: نقشه هم تراز بار هیدرولیکی اولیه در دشت بناب 153
شکل 9-31: نقشه هم تراز غلظت اولیه در دشت بناب 153

1 - کلیات

امروزه دستیابی به منابع آب آشامیدنی یکی از چالش‌های اساسی در جهان است. بحران دستیابی به منابع آب منجر به این شده که سازمان‌های بین‌المللی نیز دستیابی به آب سالم را به عنوان یکی از اهداف توسعه هزاره، در نظر بگیرند تا جامعه جهانی برای آن برنامه‌ریزی کند، چرا که با افزایش جمعیت و فعالیت انسان‌ها، نیاز به آب بیش از پیش احساس می شود. این در حالی است که مقدار آب موجود در کره زمین ثابت بوده و از کل آب موجود در کره زمین، حدود 97 درصد آن به صورت دریاها و اقیانوس هاست که به علت شوری آن، در شرایط عادی نمی تواند مورد استفاده بشر قرار گیرد؛ از 3 درصد آب شیرین باقی مانده نیز، 2 درصد آن بصورت یخ های قطبی است که آنها نیز در شرایط موجود قابل استفاده نمی باشند؛ قسمت اعظم 1 درصد باقی را آبهای زیرزمینی تشکیل می دهند. بی‌شک در این چرخه زیست محیطی، کشور ایران به عنوان کشوری با میانگین بارش سالانه حدوداً 250 میلی متر در سال (تقریباً یک سوم میانگین بارش سالیانه استاندارد) که در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد، با کمبود منابع آب به‌طور جدی روبه‌روست. علاوه بر این، زمان و مکان ریزش نزولات جوی نیز با نیازهای کشاورزی که عمده ترین نیاز موجود به آب است، مطابقت ندارد. اکثر شهرهای بزرگ ایران نیز در مناطقی واقع شده اند که دسترسی آنها به منابع آب های سطحی کم است و اکثراً از آب های زیر زمینی استفاده می کنند و وجود چاه ها، قنات ها و... دلیلی بر این مدعاست. از اینرو حفاظت و نگهداری منابع آب زیرزمینی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است [3] و [62].

سفره‌های آب زیرزمینی که به لحاظ هیدرولیکی پیوسته با آب‌های شور مجاورند، بیشتر در کناره‌های دریای خزر، خلیج فارس و دریاچه‌های بزرگ داخلی نظیر دریاچه ارومیه وجود دارند.

درمجاورت این آب شور، یک نوار آب نیمه شور یا لب شور به وجود آمده است که اگر در جهت مخالف حرکت آب زیرزمینی پیش برویم، به آب شیرین‌تر برخورد می‌کنیم تا جایی که به قسمت‌های نفوذ و تغذیه می‌رسیم که در آن‌جا آب کیفیت بسیار مناسبی دارد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که درایران به علت استفاده زیاد از آب زیرزمینی شیرین حاشیه آب‌های شور، در بسیاری از مناطق از جمله در مناطق زیر، آب‌های شور به طرف سفره آب های زیرزمینی مجاور حرکت کرده و سبب شوری منابع آب زیرزمینی می شوند:

- دشت‌های ساحلی شمال ایران در حاشیه دریای خزر
- دشت‌های ساحلی جنوب ایران درحاشیه خلیج فارس و دریای عمان
- دشت‌های اطراف دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران
- دشت‌های اطراف دریاچه‌های شور ومناطق کویری فلات مرکزی ایران

در مناطقی که امکان پیشروی آب شور وجود دارد، مدیریت و کنترل صحیح منابع آب زیرزمینی، در جلوگیری از مسائل به وجود آمده بسیار موثر است. برای این کار باید هیدرولیک آب زیرزمینی به خوبی شناخته شود و میزان بهره‌برداری آب کنترل گردد و همیشه جریان آب شیرین به نحوی برقرار باشد که به طور مطمئن از پیشرفت آب شور جلوگیری به عمل آورد. به این ترتیب، امکان به هم خوردن تعادل بین آب شور و شیرین و در نتیجه بروز مشکلات، خیلی کمتر خواهد بود.

در زمینه پیشگیری از پیشروی آب شور به سفره آب های زیرزمینی راهکارهای بسیاری ارائه شده که از جمله آنها استفاده از مدل‌های فیزیکی و عددی است. هر یک از مدل‌های فیزیکی و عددی به نوبه خود دارای مزایا و معایبی هستند و غالباً هیچ یک از آن‌ها قادر نیستند تا جریان را به همراه همهٔ پیچیدگی‌هایش شبیه‌سازی کنند. مدل‌های فیزیکی بسیار پر هزینه‌اند و کاربرد آن‌ها محدود به

همان نمونه ای است که مدل برای آن ساخته شده است و ایجاد تغییراتی هر چند جزئی در آن‌ها بسیار پر هزینه است. اجرا و ساخت مدل‌های عددی، بسیار کم هزینه‌تر از مدل‌های فیزیکی است و کاربرد آن‌ها محدود به یک نمونه خاص نیست . علاوه بر این، در مدل‌های عددی قدرت مانور بر روی حوضه آبریز و سفره آب زیرزمینی بسیار بالا است و می‌توان آبخوان را با همان ابعاد واقعی خود شبیه سازی نمود. درنتیجه در این مدل‌ها می‌توان تمام خصوصیات جریان را همزمان بررسی نمود. نقطه ضعف بزرگ مدل‌های عددی، عدم امکان منظور نمودن کلیه پارامترهای موثر در طبیعت است. به عبارت دیگر، در این مدل‌ها به دلیل فرضیات ساده کننده، فقط عوامل عمده موثر بر جریان مورد مدل سازی قرار می‌گیرند. البته امروزه با پیشرفت تکنیک‌های شبیه سازی رایانه‌ای و افزایش کارائی رایانه های شخصی، تلاش برای مدل کردن تعداد بیشتری از پارمترهای موثر، شتاب گرفته است.

از طرف دیگر، در مدل‌های عددی، هنگام پیاده کردن مرزهای محیط، هنگام آماده نمودن معادلات حاکم بر جریان توسط روش مورد استفاده در مدل و همچنین هنگام حل عددی معادلات به دست آمده، امکان بروز خطا وجود دارد. هر یک از این خطاها با تمهیداتی قابل کاهش هستند، اما هرگز از بین نمی‌روند. به همین علت بهتر است در موارد اولیه استفاده از مدل، جواب‌های به‌دست آمده از مدل با نتایج آزمایشگاهی تطبیق و کنترل شوند تا نقاط قوت و ضعف مدل مشخص گردد.

در این پایان نامه سعی شده است تا پیشروی آب شور از سمت دریاچه ارومیه در دشت بناب نسبت به ابتدای دوره طرح بررسی شود و با توجه به شرایط موجود، به پیش بینی آینده پرداخته شود. ابتدا با توجه به دیاگرام های شولر و ویل‌کاکس، با استفاده از نرم افزار *Aquachem*[1] کیفیت آب زیرزمینی در شروع و پایان دوره‌ی طرح بررسی می‌شود. سپس با استفاده از نرم افزار *Visual*

[1] AquaChem, Version 2011.1, Schlumberger

Modflow[1] به تحلیل روند پیشروی آب شور دریاچه ارومیه به سمت سفره آب زیرزمینی دشت بناب پرداخته می شود. این نرم افزار، معادلات جریان و انتشار آلودگی را به روش تفاضل محدود با استفاده از شرایط مرزی تعریف شده در مدل، حل می نماید. شرایط موجود در ابتدای دوره طرح به عنوان اطلاعات ورودی وارد مدل شده و پس از کالیبراسیون مدل برای تطبیق واقعیت با نتایج حاصله از مدل، پیشروی آب شور برای 20 سال آینده – از ابتدای دوره طرح – پیش بینی می‌شود.

فصل اول پایان نامه، به بیان اهمیت و ضرورت مطالعه پدیده پیشروی آب شور در نواحی ساحلی پرداخته و به لزوم استفاده از مدلهای عددی برای مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی تأکید کرده است.

در فصل دوم، ابتدا به بیان چگونگی ایجاد پدیده پیشروی آب شور در سواحل پرداخته شده و در نهایت به بررسی تاریخچه مطالعات تجربی، تحلیلی و عددی انجام شده بر روی این پدیده پرداخته شده است.

در فصل سوم، منطقه مورد مطالعه معرفی و جهت تحلیل کیفی آب شرب و کشاورزی از دیاگرام های "شولر" و "ویل‌کاکس" استفاده شده است.

در فصل چهارم، معادلات حاکم بر جریان و معادله انتشار آلودگی بررسی و مدل عددی مورد استفاده در این پایان نامه معرفی شده است.

در فصل پنجم، پارامترها و اطلاعات مورد نیاز، به عنوان ورودی های مدل بررسی می‌شوند. این اطلاعات به دو صورت اطلاعات کمی و اطلاعات کیفی وارد مدل می شوند. اطلاعات کمی شامل خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان، مقادیر تغذیه (میزان نفوذ بارش، میزان نفوذ رواناب

[1] Visual MODFLOW, Version 4.2.0.151, Waterloo Hydrogeologic Inc.

سطحی، برگشت آب شرب، صنعت و کشاورزی)، هد اولیه و مقادیر پمپاژ می‌باشد. اطلاعات کیفی شامل پارامترهای کیفی انتشار نمک، منطقه تغذیه آلودگی و غلظت اولیه دشت می‌باشد. سپس به آنالیز حساسیت وکالیبراسیون مدل پرداخته می‌شود و در پایان، سناریوهایی برای پیش بینی آینده مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲ ش

۲-۱ - تاریخچه مدل سازی پیشروی آب شور

مدل های ریاضی می توانند به درک مکانیسم پیشروی آب شور در آبخوان ساحلی کمک کنند [13]. مدل‌های انتقال جریان و انتشار آلودگی می توانند برای شبیه سازی پیشروی آب شور و پیش بینی غلظت املاح در آبخوان‌های ساحلی مورد استفاده واقع شوند. مدل های تحلیلی و عددی زیادی برای پیش بینی مرز آب شور و شیرین مورد استفاده قرار گرفته اند [4].

مدل های عددی می توانند به دو دسته تقسیم بندی شوند: مدل هایی با مرز مشخص بین آب شور و شیرین، و مدل هایی با مرز پخشیدگی[1] بین آب شور وشیرین. برای اولین بار *Herzberg* در سال 1889، و سپس *Ghyben* در سال 1901 یک مدل ساده برای پیشروی آب شور ساختند [32] و[27]. این مدل ساده با عنوان مدل *Ghyben- Herzberg* شناخته شده است و فرض می کند که آب شور دریا و آب شیرین سفره آب زیرزمینی با مرز دقیقی از هم جدا شده اند. *Hubbert* در سال 1940 و *Henry* در سال 1959 برای پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی بر پایه فرضیه حد فاصل و مرز دقیق بین آب شور و شیرین راه حل های عددی ارائه دادند [33] و [31] .

البته در عمل، مرز آب شور و شیرین یک مرز دقیق نیست و آب شور و شیرین طی یک فرآیند مکانیکی پخشیدگی، با هم ادغام می شوند. پهنای ناحیه پخشیدگی به ویژگی‌های آبخوان و جنبش ذرات آب به علت نوسانات مربوط به تغذیه، بستگی دارد [18]. فرضیه مرز دقیق آب شور و شیرین – در صورتی که مرز باریک باشد – می تواند در برخی شرایط برای به دست آوردن موقعیت تقریبی آب شیرین در زمین های کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. در غیر این صورت، فرآیند پخشیدگی

[1] Dispersion

باید در نظر گرفته شود و حرکت ذرات آب شور در این ناحیه برای توصیف این پدیده به حساب آید [42].

۲-۲ روش های بررسی پیشروی آب شور

تحلیل فرآیند شوری در مناطق ساحلی، نیازمند اطلاعات زمین شناسی و مشخصات هیدروشیمیایی آبخوان می باشد. پیشروی آب شور در آبخوان های ساحلی، توسط چندین روش از قبیل روش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی بررسی می شود. همچنین، تعدادی مطالعات تجربی و مدل های عددی و تحلیلی متفاوت برای بررسی پیشروی آب شور در آبخوان های ساحلی ارائه شده است. این رویکردها سعی در تعیین موقعیت حدفاصل آب شور و شیرین، و پیش بینی تغییرات تراز آب و شوری را دارند. یک توصیف مختصر از روش هایی که استفاده شده اند، در بخش های بعدی ارائه شده است.

2-2-1 بررسی های ژئوفیزیکی

پیشروی آب شور می تواند با بررسی کل مواد جامد محلول (*TDS*[1]) در آب شیرین تشخیص داده شود. درجه شوری در ناحیه انتقالی بین آب‌های شور و شیرین تغییر می‌کند. خطوط هم تراز *TDS* معرف شوری می باشند و موقعیت خطوط هم تراز *TDS=1000* سطح تأثیر پیشروی آب شور را مشخص می کند [48]. توصیف نوع آب بر پایه *TDS* ، پیشنهاد شده توسط *USGS* ، در جدول 2-1 آمده است.

[1] Total Dissolved Solid

جدول 2-1: انواع آب برپایه محتوی[9]

توصیف	TDS (ppm) یا (mg/l)
آب شیرین	<1000
آب اندکی شور	1000–3000
آب با شوری ملایم	3000–10000
آب با شوری زیاد	10000–35000
آب شور	> 35000

روش‌های ژئوفیزیکی، توزیع فضایی خصوصیات فیزیکی زمین را اندازه‌گیری می کنند. چندین روش ژئوفیزیکی می تواند برای بررسی های هیدروژئولوژیک استفاده شود [13]، از قبیل:

- روش های ژئوفیزیکی سطحی
- روش های گمانه زنی
- بررسی های ژئوفیزیکی یکپارچه

محققین بسیاری از روش های ژئوفیزیکی برای بررسی پیشروی آب شور استفاده کرده‌اند. *Melloul* و *Goldenberg* در سال 1997روش های متفاوتی از پایش[1] پیشروی آب شور در آبخوان های ساحلی را با استفاده از روش‌های مستقیم ارائه کردند. این روش‌ها شامل اندازه گیری شوری آب زیرزمینی، نمونه های مشاهده‌ای آب زیرزمینی و چاه‌های پمپاژ، و روش های غیر مستقیم با استفاده از ژئوالکترومغناطیس بود [49]. *Mulrennan* و *Woodroffe* در سال 1998 فرآیند پیشروی آب شور در دشت های ساحلی رودخانه *Mary* در استرالیا را تحت تأثیر جزر و مد بررسی کردند [52]. *Nowroozi* و همکاران در سال 1999 از روش مقاومت صدایی *Schlumberger* در بررسی حد فاصل آب شور و شیرین در ساحل شرقی ویرجینیا استفاده کردند [53]. *Willer* و همکاران در سال

[1] Monitoring