Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی اثر افزایش آب دریا در پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی
(مطالعه موردی آبخوان تالار بابل هراز)

مهدی نواری
کارشناس ارشد مهندسی آب دانشگاه صنعتی شریف

بهزاد عطایی آشتیانی
استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

1- مقدمه

نابود شدن منابع آبهای زیرزمینی در نقاط ساحلی به علت پیشروی آب شور در آبخوان‌های این نواحی در حال حاضر یکی از مسائل مهم در تامین نیازهای آبی در این مناطق می‌باشد. در نواحی ساحلی آب شور به صورت یک گوه از زیر وارد آبخوان می‌گردد. با توجه به تفاوت چگالی موجود بین آب شور و شیرین یک ناحیه انتقالی بین دو سیال شکل می‌گیرد. میزان پیشروی آب شور و وسعت ناحیه انتقالی به عوامل مختلفی بستگی داردکه عبارتند از: تغییرات سطح آب دریا، خصوصیات آبخوان، رژیم هیدرولوژیکی بالادست، برداشت از آبخوان، جزرومد و نوسانات فصلی آب دریا.

این پدیده بیش از یک قرن شناخته شده است و در طول قرن گذشته فعالیت‌های زیادی برای مدل‌سازی این پدیده انجام گرفته است که این فعالیت‌ها شامل روش‌های تحلیلی، نیمه تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی می‌باشد.

در این مقاله اثر تغییرات سطح آب دریا بر پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. برای شبیه‌سازی این پدیده تغییرات سطح آب دریای خزر به عنوان الگوی تغییرات سطح آب دریا مورد توجه قرار گرفته و به عنوان شرایط مرزی دریا به مساله طراحی شده اعمال خواهد گردید.

2- مدل عددی

در این تحقیق به منظور بررسی اثر تغییرات سطح آب دریا در پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی نیاز به مدلی می‌باشد که قابلیت حل جریان وابسته به چگالی را داشته باشد و همچنین بتواند شرایط مرزی پیچیده مرز دریا را مدل نماید. با توجه به این نیازها مدل FEMWATER [5] انتخاب گردید.

اعتبار مدل‌های عددی معمولاً توسط چند مساله نمونه که به صورت تحلیلی حل شده‌اند یا قبلاً توسط سایر مدل‌ها مدل‌سازی شده‌اند، بررسی می‌گردد. بررسی اعتبار مدل انتخاب شده در این مقاله در مرجع[1] ارایه شده است.

3- بررسی اثر افزایش سطح آب دریا بر پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی

به منظور بررسی اثر افزایش سطح آب دریا، یک مساله فرضی طراحی گردید. شکل هندسی و شرایط اولیه و مرزی مساله در شکل 1 نشان داده شده است. ابتدا تغییرات سطح آب دریا به این مساله اعمال گردید و اثر این تغییرات مورد بررسی قرار گرفت سپس این تغییرات به مدل اصلی اعمال گردید. نتایج شبیه‌سازی مساله برای حالت اشاره شده در ادامه ارائه خواهد شد. شبکه مورد استفاده دارای (20*40) 800 المان مکعبی با عرض واحد می‌باشد. ضرایب پراکندگی طولی و عرضی برابر 10 و 2 متر ، مقدار شار ورودی از مرز خشکی 0/004 متر بر روز و میزان شار ورودی از بالا 0/002 متر بر روز می‌باشد. با توجه به خصوصیات غیرخطی مساله، برای دستیابی به شرایط مناسب‌تر از لحاظ همگرایی از گام‌های زمانی متغییر در شبیه‌سازی استفاده گردید. گامهای زمانی به صورت غیرخطی از 10 روز تا 500 روز تغییر می‌نماید. چگالی آب تازه و آب شور به ترتیب برابر 1000 و 1025 کیلوگرم بر مترمکعب و تخلخل محیط برابر 0/35 در نظر گرفته شد. مقادیر سایر پارامترهای مساله در روی شکل نشان داده شده است.

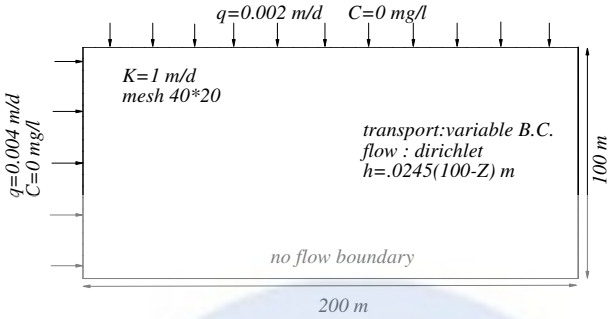
3-1 شبیه‌سازی تغییرات سطح آب بر روی مساله فرضی

تغییرات سطح آب دریای خزر به آبخوان فرضی مورد مطالعه در این بخش (شکل1) اعمال گردید. با توجه به اینکه در این شبیه‌سازی تنها بررسی اثر افزایش آب دریا مورد نظر بود مسأله فقط برای ساحل قائم مدل سازی گردید. به منظور شبیه‌سازی، مدل به مدت 40000 روز (تا زمان رسیدن به شرایط دائم) در شرایطی که ارتفاع سطح آب ثابت باشد اجرا گردید. سپس تغییرات تراز آب بین سالهای 1356 تا 1376 نسبت به صفر اشل سرسره بندر انزلی (شکل2) به مدل اعمال گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد انتخاب شرایط مرزی بالا دست (مرز خشکی) در بدست آوردن نتایج صحیح بسیار موثر می‌باشد. از این رو در این تحقیق شرایط مرزی شار و هد مورد بررسی و مقایسه

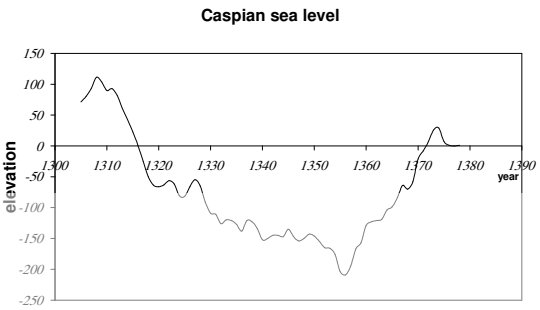
www.SID.ir

Archive of SID

قرار گرفت. نتایج نهایی شبیه‌سازی تغییرات سطح آب دریا با بکارگیری شرط مرزی هد در مرز خشکی در شکل 3 ارائه شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است

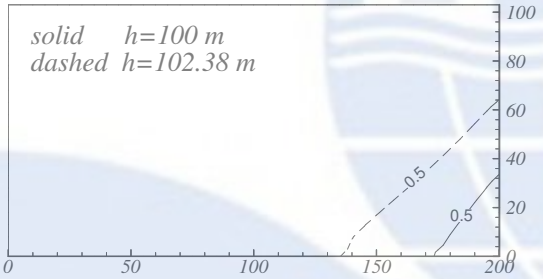


شکل 1- شکل ساحل و شرایط مرزی در حالت ساحل قائم



شکل 2- تغییرات سطح آب دریای خزر از سال 1300 الی 1378

تغییرات سطح آب دریا باعث تغییر در گرادیان هیدرولیکی در آبخوان می‌گردد و بالطبع جریان موجود در آبخوان نیز تغییر می‌نماید و با کاهش دبی تخلیه شده به دریا میزان پیشروی آب شور افزایش می‌یابد.



شکل3- نتایج شبیه‌سازی تغییرات سطح آب دریا بر روی آبخوان فرضی

3-2 بررسی اثر تغییرات سطح آب دریای خزر بر آبخوان‌های منطقه تالار – بابل – هراز

منطقه مورد مطالعه در عرض شمالی 36 تا 37 درجه و طول شرقی 52 تا 53 درجه قرار گرفته است. این منطقه نوار ساحلی دریای خزر در محدوده رودخانه‌های سیاه رود تا آلش رود را در بر می‌گیرد. شکل 4 موقعیت جغرافیایی این مناطق را نشان می‌دهد.

بررسی پارامترهای موثر در مدل‌سازی

مطالعات ژئوفیزیک

بررسی‌های ژئوفیزیک انجام شده در منطقه نشان می‌دهد ضخامت رسوبات آبرفتی در نواحی جنوبی منطقه طرح بویژه در حوزه رودخانه هراز حدود 400 متر می‌باشد لازم به ذکر است سنگ بستر آبخوان‌های ناحیه معمولاً از جنس رس می‌باشند بنابراین به سبب نزدیکی مقاومت مخصوص این مصالح با رسوبات جدید آبرفتی تشخیص ضخامت لایه‌ها در برخی نواحی با تقریب همراه می‌باشد [2] و [3].

ضریب قابلیت انتقال

ضریب قابلیت انتقال آبخوان، براساس مطالعات انجام شده بر روی60 چاه بهره‌برداری با پراکندگی مناسب و آزمایش پمپاژ در آنها انجام گرفت و بعد از تصحیح مقادیر بدست آمده از آزمایش ، مقادیر ضرایب قابلیت انتقال قابل قبول تعیین گردید[2]و[3].

ضریب هدایت هیدرولیکی

بر اساس مقادیر ضریب قابلیت انتقال و ضخامت آبخوان مقدارK در نواحی مختلف مورد مطالعه تعیین گردید. این مقادی در جدول 1 ارائه شده است [2] و [3].

گرادیان هیدرولیکی

بر اساس آمار برداشت شده از چاه‌های مشاهده‌ای در مقاطع انتخاب شده سطح آب زیرزمینی در انتهای محدودهٔ مورد تعیین گردید و بر اساس این اطلاعات گرادیان هیدرولیکی منطقه در هر ناحیه تعیین گردید و در مدل‌سازی به‌کار گرفته شد

www.SID.ir

Archive of SID

بیلان آب زیرزمینی

محاسبه بیلان آب زیرزمینی لازمه بسیاری از مطالعات می‌باشد هر چند برای مطالعاتی مانند مطالعه حاضر بیلان کل سال‌های مدل‌سازی مورد نیاز می‌باشد. با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات مورد نیاز، در مدل‌سازی‌های مورد نظر از تغییرات سطح آب سفره که نتیجه مطالعات بیلان می‌باشد صرفنظر گردید.

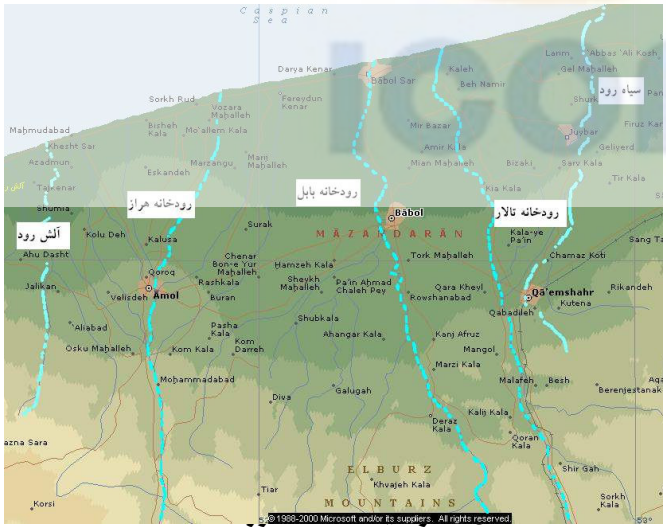
با توجه به اینکه مدل‌سازی در این تحقیق به صورت دو بعدی انجام می‌گیرد ، منطقه مورد بررسی به چهار ناحیه و در هر ناحیه یک مقطع برای مطالعات مدل‌سازی انتخاب گردید. تقسیم بندی انجام شده به شرح زیر می‌باشد.

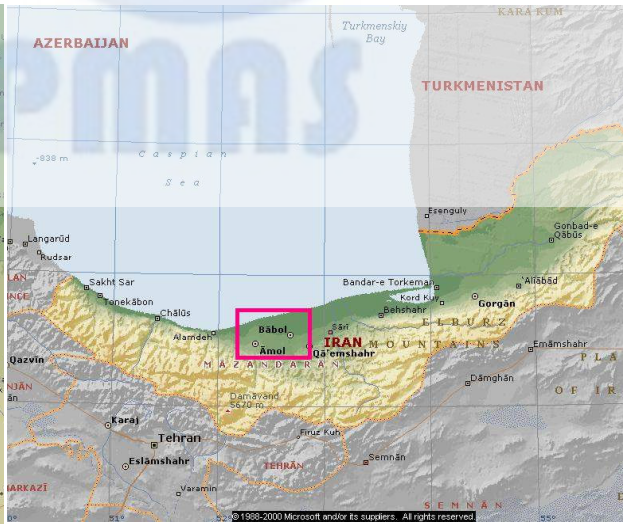
ناحیه یک : حد فاصل رودخانه‌های سیاه‌رود و تالار ، *ناحیه دو* : حد فاصل رودخانه‌های تالار و بابل ، *ناحیه سه* : حد فاصل رودخانه‌های بابل و هزار ، *ناحیه چهار* : حد فاصل رودخانه‌های هزار و آلش‌رود

سپس برای هر یک از چهار مقطع در نظر گرفته شده اطلاعات مورد نیاز به شرح جدول 1 از مراجع استخراج گردید.

جدول1: پارامترهای مدل‌سازی مقاطع [2] و [3]

	مقطع 1	مقطع 2	مقطع 3	مقطع 4
موقعیت مکانی مقاطع	حد فاصل سیاه رود و تالار	حد فاصل تالار و بابل رود	حد فاصل بابل رود و هراز	حد فاصل هراز و آلش رود
ضخامت آبخوان (m)	200	200	200	400
طول مدل‌سازی شده آبخوان (m)	2550	6575	2550	2550
گرادیان هیدرولیکی	$3/18*10^{-3}$	$4/82*10^{-4}$	$3/18*10^{-3}$	$5/45*10^{-3}$
پراکندگی طولی (m)	50	50	50	50
پراکندگی عرضی (m)	10	10	10	10
ضریب هدایت هیدرولیکی (m/d)	0/15	0/15	0/2	0/462
تخلخل	0/35	0/35	0/35	0/35
چگالی آب شور (Kg/m^3)	1015	1015	1015	1015
چگالی آب شیرین (Kg/m^3)	1000	1000	1000	1000
شیب ساحل (درصد)[-]	0/06	0/06	0/06	0/08





3-3 مدل‌سازی عددی مقاطع انتخابی

بر اساس اطلاعات جدول 1 مقاطع مورد نظر مدل‌سازی گردیدند. که در این مقاله نتایج مقاطع چهارم ارائه خواهد شد. ناحیه چهارم (شکل 5) به 1200 المان مکعبی با ابعاد متفاوت تقسیم گردید. در نواحی نزدیک دریا طول و ارتفاع المان‌ها کوچکتر انتخاب گردید و نواحی دور از ساحل المان‌های با ابعاد بزرگتر انتخاب گردید. برای رسیدن به نتایج دقیق در مدل‌سازی شرایط مرزی بالادست به صورت هد در نظر گرفته شد در شکل5 ، z فاصله از کف آبخوان می‌باشد. شرایط مرزی معادله جریان در طرف دریا به صورت هد و شرط مرزی

www.SID.ir

Archive of SID

معادله انتقال به صورت شرط مرزی متغیر در نظر گرفته شد. ابتدا برای رسیدن به شرایط دائم مدل برای زمان بسیار طولانی اجرا گردید سپس تغییرات سطح آب به مدل اعمال گردید. نتایج مدل‌سازی مقاطع انتخابی در شکل6 نشان داده شده است.

همانطور که درشکل6 مشاهده می‌گردد خطوط هم غلظت 10،50 و90 درصد قبل و بعد از افزایش سطح آب دریا به جز در بالای آبخوان که در هثر تبادلات سطحی می‌باشد ، بر هم منطبق می‌باشند. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده و مقایسه شرایط حاضر با مطالعات سایر محققین دو عامل عمده می‌تواند باعث رسیدن به این نتایج باشد که عبارتند : ناهمگنی ، ارتفاع آبخوان یا به عبارت بهتر نسبت دامنه تغییرات سطح آب به ارتفاع آبخوان و مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان.

ابتدا ناهمگنی و ضخامت آبخوان بررسی گردید. بدین ترتیب که بر اساس اطلاعات موجود آبخوانی به ضخامت 70 متر انتخاب گردید. در این آبخوان ابتدا یک آبخوان آزاد به ارتفاع تقریبی 25 متر، سپس یک لایه 10 متری با نفوذپذیری کم و در زیر این لایه، یک آبخوان تحت فشار به ارتفاع 35 متر قرار دارد. مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی لایه نیمه نفوذپذیر 0/01 آبخوان آزاد ، ضرایب پراکندگی طولی و عرضی این لایه 10 و 2 متر و مقدار تخلخل محیط 0/38 انتخاب شد. شرایط مرزی مساله مانند قبل در نظر گرفته شد. مشخصات آبخوان‌های آزاد و تحت فشار مانند مقطع یک می‌باشد

نتایج نشان داد با اعمال ناهمگنی و کاهش ضخامت آبخوان خطوط هم غلظت در دو حالت قبل و بعد از افزایش سطح آب دریا بر یکدیگر منطبق می‌باشد بنابراین ناهمگنی و ارتفاع آبخوان در این شبیه‌سازی تاثیری بر نتایج نداشت و قبل و بعد از افزایش سطح آب خطوط هم غلظت بر هم منطبق شدند. مساله دیگری که مورد بررسی قرار گرفت مساله ضریب هدایت هیدرولیکی می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی که مراجع مختلف برای مدل‌سازی مسائل واقعی استفاده نموده‌اند بسیار بیشتر از این مقادیر می‌باشد اثر این عامل مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان مثال عطایی آشتیانی و همکاران [4] مقدار K را برابر 8/4 متر بر روز و Sherif و همکاران [6] مقدار K را 100 متر بر روز در نظر گرفته‌اند.

بر این اساس در یکی از مقطع ، مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی از 0/462 متر بر روز به 10 متر بر روز افزایش داده شد و مساله شبیه‌سازی گردید. نتایج شبیه‌سازی در شکل 7 نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش ضرایب هدایت هیدرولیکی خط هم غلظت 50 درصد بعد از افزایش سطح آب، 100 متر بیشتر داخل آبخوان پیشروی می‌نماید. زیرا با افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی سرعت جریان در آبخوان افزایش می‌یابد و پاسخ آبخوان به تغییرات سطح آب افزایش می‌یابد. به تبع آن در حالت دائم آبخوان در زمان کمتری به حالت تعادل می‌رسد. بنابراین به نظر می‌رسد با شرایط موجود از نظر ضرایب هدایت هیدرولیکی تغییرات سطح آب دریا تاثیر چندانی بر آبخوان‌های ساحلی ناحیه مورد مطالعه در سواحل دریای خزر نداشته باشد. زیرا بر اساس نتایج مدل‌سازی مقدار کم این ضرایب زمان پاسخ به تغییرات را به شدت افزایش می‌دهد و عملاً آبخوان در شرایط طبیعی طی یک دوره 60 یا 70 ساله (نصف پریود نوسان سطح آب) فرصت پاسخ به این نوسان را نمی‌یابد. البته در این مطالعه به علت فقدان اطلاعات مورد نیاز تاثیر پارامترهای هیدرولوژیکی در نظر گرفته نشده است. پس از تغییر ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان مساله آبخوان غیر همگن تحت تاثیر تغییرات آب دریا مجدداً مدلساری گردید که نتایج آن در شکل 8 نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود با اعمال ناهمگنی در لایه‌های خاک شکستگی‌هایی در خطوط همطراز غلظت 50 در مشاهده می‌گردد همچنین با تغییر سطح آب دریا نیز این خط همطراز در آبخوان پیشروی می‌کند.

4 – جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله مساله پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا تغییرات بر روی یک مساله فرضی اعمال گردید سپس تغییرات به یک آبخوان واقعی اعمال گردید. مطالعه آبخوان فرضی نشان داد انتخاب شرایط مرزی خشکی تاثیر بسیار زیادی در دسترسی به نتایج صحیح دارد. بنابراین در شبیه‌سازی آبخوان واقعی شرط مرزی هد برای مرز خشکی انتخاب گردید. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، در آبخوان واقعی تغییرات سطح آب، تغییرات محسوسی را بر روی خطوط هم غلظت نشان نداد.

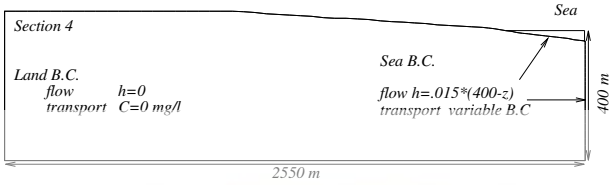
بنابراین عواملی مانند ناهمگنی ، ارتفاع آبخوان و ضریب هدایت هیدرولیکی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد ناهمگنی و ارتفاع آبخوان تغییری در نتایج برای دو حالت ارتفاع سطح آب دریا بوجود نمی‌آورد. در مرحله بعد ضریب هدایت هیدرولیکی به مقادیر متناسب با نواحی ساحلی افزایش داده شد نتایج نشان داد پیشروی آب شور در اثر افزایش مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی، افزایش می‌یابد. هر چند در پیشروی آب شور پارامترهای بسیار زیادی دخیل می‌باشند. اما نتیجه دیگری که از این مطالعات حاصل می‌گردد ، لزوم تحقیقات گسترده در خصوص تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی در نوار ساحلی می‌باشد. مقادیر ضرایب هدایت هیدرولیکی ارائه شده در مطالعات ژئوهیدرولوژی موجود احتمالاً مربوط به نقاط دور از ساحل می‌باشد زیرا بر اساس طبقه بندی مراجع، خاکی با این مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی در دسته ماسه بسیار ریز ، لس و لای قرار دارد. به نظر می‌رسد این مقادیر قابل تعمیم‌دهی به کل نوار ساحلی در محدوده مورد مطالعه در این تحقیق نیست.

در کنار نتایج شبیه‌سازی عددی نتایج روابط تحلیلی نیز در روی شکل 6 نشان داده شده است همانطور که دیده می‌شود نتایج حاصل از رابطه گیبن– هرزبرگ دور از واقعیت می‌باشد. ولی نتایج رابطه گلوور در برخی حالت‌ها تطابق خوبی با خط هم غلظت 50 درصد دارد.

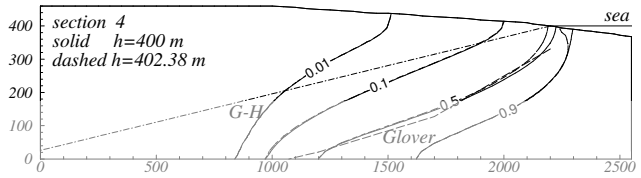
www.SID.ir

Archive of SID

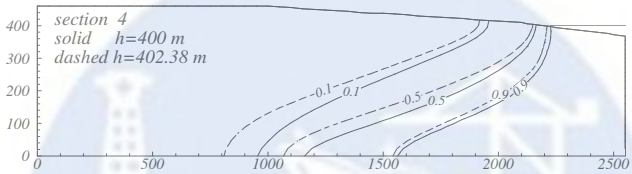
البته لازم به ذکر است در پیشروی آب شور مساله مهم ناحیه پراکندگی می‌باشد و برای مصارف مختلف شرب ، کشاورزی و صنعت نیز خط هم غلظت یک درصد مهم می‌باشد که از روابط تحلیلی هیچ تخمینی از محل قرار گیری خطوط هم غلظت و میزان گسترش ناحیه پراکندگی بدست نمی‌آید این مساله لزوم و اهمیت مدل‌سازی عددی را نشان می‌دهد.



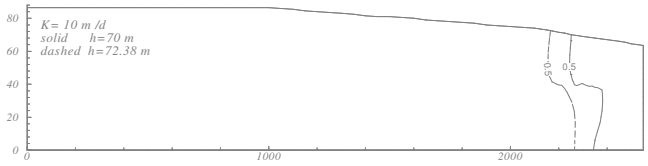
شکل 5 – شرایط مرزی و هندسه مقاطع مدل‌سازی شده



شکل 6- خطوط هم غلظت50،10و90درصد برای مقطع 4



شکل7- خطوط هم غلظت 10 ،50 و 90 درصد برای مقطع 4 با تغییر K



شکل8- خطوط هم غلظت 50 درصد برای آبخوان ناهمگن کم ارتفاع با تغییر K

5- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس صلوی‌تبار مسوول وقت بخش منابع آب شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس و مهندسین مشاور پژوهاب به سبب همکاری در ارائه اطلاعات موجود قدردانی نمایند.

6- فهرست مراجع

1) نواری، مهدی"بررسی اثرات تغییرات سطح آب دریا و هندسه ساحل بر پیشروی آب شوردر آبخوان‌های ساحلی"؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب ؛ دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف،1380 .

2) "طرح تالار- بابل- هراز ؛ مطالعات مدل ریاضی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت‌های تالار-بابل- هراز" ؛ مهندسی مشاور مهاب قدس، 1370.

3) " مطالعات شناسایی تکمیلی و طرح جامع توسعه منابع آب و خاک منطقه ساحلی دریای خزر"؛ مهندسین مشاور پژوهاب،1363 .

4) Ataie-Ashtiani, B., R. E. Volker, and D. A. Lockington, *Tidal effects on sea water intrusion in unconfined aquifers*, J. of Hydrology, 216 (1-2), 17-31, 1999.

5) Hsin-Chi, J.L., David, R.R., Talbot, C.A., Gour-Tsyh Yeh, Cheng, J.R.,Cheng, H.P, FEMWATER: *A three dimensional finite element computer model for simulating density-dependent flow and transport in variably saturated media*, technical report CHL-97-12 , U.S. Army Corps of Engineers Waterways and Experiment Station , 1997.

6) Sherif, Mohsen. M., Singh, Vijay P., *Effect of climate change on sea water intrusion in coastal aquifers*, Hydrol. Process. 13, 1277-1287 (1999)

www.SID.ir

Archive of SID

Investigation of Effects of Projection of Salty Water into Coastal Areas

(Case study: Babol Haraz)

M. Navari: Water Engineer, Sharif University of Technology

B. Ataee Ashtiani: associate professor of civil engineering, Sharif University of Technology

Abstract

Loss of underground waters in coastal areas that is a result of projection of water into salty water is increasingly becoming a vital issue in provision of fresh water and meeting the needs for water in such areas. Since the density of fresh water and salty water differs, a transitional area emerges between these two sorts of water which is the result of such difference. The extent of projection of salty water into the transitional area depends on a variety of factors which include changes of sea level, upper hand hydrological regime, tides and seasonal sways of sea water. This phenomenon has been known for over one century. This article seeks to study the effects of sea water on the projection of salty water into coastal areas. For the purpose of simulation of this phenomenon, Caspian Sea level changes were taken as a model.

Keywords: *underground waters, projection, salty water, transitional area, Persian Gulf, simulation, extent of projection*

www.SID.ir