بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی کشاورزی (سازه های آبی)

حل تحلیلی نوسانات جزر و مدی در یک سیستم آبخوان جزیره‌ای ناهمگن

توسط:

داوود محققیان

استادان راهنما:

دکتر مهدی اسدی آقبلاغی

استاد مشاور:

دکتر محمد رضا نوری

بهمن ۱۳۹۲

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه آقای داوود محققیان جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی آب گرایش سازه های آبی با عنوان: حل تحلیلی نوسانات جزر و مدی در یک سیستم آبخوان جزیره‌ای ناهمگن در تاریخ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با رتبه/نمره مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. **استاد/استادان راهنمای پایان نامه دکتر با مرتبه علمی امضاء**

۲. **استاد/استادان مشاور پایان نامه دکتر با مرتبه علمی امضاء**

۳. **استاد/استادان داور پایان نامه دکتر با مرتبه علمی امضاء**

دکتر ....

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی.....

دانشکده کشاورزی.....

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

سپاس و ستایش خدای را سزاست که سطر تعالی انسان را با خاک بندگی سرشت و آیه‌های علم و بینش و ایمان را در لابه لای باورش تقریر نمود.

سپاس خدایی را که اوّل و آخرِ وجود است، بی آنکه اوّلی بر او پیشی بگیرد یا آخری پس از او باشد؛

خدایی که دست هر چشمی از دامن دیدارش کوتاه است و فهم هر کبوتر توصیفگری از پرواز در آسمان وصفش عاجز.

سپاس خدای را، سپاسی که نکویی‌ها را با بهترین صورت ممکن، از طرف ما به سوی مقام اعلی علیین بالا برد تا مقربان درگاه الهی بر آن گواهی دهند.

سپاسی که ریسمانِ پیوندمان باشد با رسولان فرستاده خدا؛

سپاسی که بال پروازمان باشد، همدوش با ملائکه مقرب خدا.

سپاسی که ما را از ورطه دردناک آتش رها ساخته، به سایه سار کرم الهی پناه دهد.

سپاسی که در دیارِ وجودِ همیشگی نابودی نگیرد و در گذرِ نسیمِ کرامت، دگرگونی نپذیرد.

سپاسی که چون چشم‌ها خیره شود، روشنی چشمان باشد و چون روی‌ها سیاه گردند، سپیدی چهره‌مان گردد.

شکر و سپاس از استاد دانشمند و پر مایه ام جناب آقای دکتر محمد رضا نوری که از محضر پر فیض تدریسشان، بهره ها برده ام.

با امتنان بیکران از مساعدت های بی شائبهٔ جناب آقای دکتر مجید اولیا ریاست محترم دانشکده.

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن‌ها بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

با سپاس بی دریغ خدمت دوستان گران مایه ام آقایان یحیی محققیان، محمد محققیان که مراصمیمانه و مشفقانه یاری داده اند

با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر مهدی اسدی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

تقدیم به پدر و مادر عزیز و بزرگوارم

که به من چگونه زیستن را آموختند. آنان که در نشیب قرن، میان جادهٔ کمی دوباره مه گرفته، مرا میان بال‌های سبزشان به سرزمین عافیت گره زدند.

آنان که با

فروغ چشمانشان،

و گرمی دستانشان،

چون بادبان قایقی، همواره قامت مرا، میان سهمگین‌ترین غروب دریاها به ساحل سپید معرفت رسانده‌اند.

چکیده

در این پایان‌نامه، یک راه حل تحلیلی برای نوسانات آب‌های زیرزمینی ناشی از جزر و مد در یک سیستم آبخوان ساحلی ناهمگن با طول محدود توسعه داده شد. این سیستم آبخوان شامل یک آبخوان آزاد در بالا یک آبخوان نیمه محصور در پایین و یک لایه نیمه‌تراوا در بین آنها می‌باشد، تمام لایه‌ها به‌صورت ناهمگن در نظر گرفته شدند. پارامترهای بدون بعد جهت بررسی نتایج معرفی شدند، به عنوان مثال $L_m = L_1/L_2$ که در آن L_1 و L_2، به ترتیب نشت در لایه نیمه‌تراوای سمت چپ و راست می‌باشند. نتایج نشان داد که دامنه نوسانات در آبخوان آزاد با افزایش نشت افزایش پیدا می‌کند، اما نوسانات در آبخوان نیمه محصور با افزایش نشت کاهش پیدا می‌کند. به‌علاوه، افزایش پارامتر بدون بعد ضریب ذخیره در آبخوان آزاد $S_m = S_{11}/S_{12}$ باعث کاهش نوسانات سطح آب می‌شود. درصورتی‌که، نوسانات آب زیرزمینی در آبخوان محصور با تغییر پارامتر بدون بعد ضریب ذخیره $S_B = S_{21}/S_{22}$ تقریباً ثابت می‌ماند. همچنین، افزایش پارامتر بدون بعد ضریب انتقال در آبخوان‌های آزاد $T_m = T_{11}/T_{12}$ و نیمه محصور $T_B = T_{21}/T_{22}$ باعث افزایش نوسانات سطح آب شده است.

تغییرات سطح آب نسبت به زمان نشان می‌دهد زمان تأخیر در آبخوان آزاد تغییر قابل‌توجهی نمی‌کند و برای آبخوان نیمه محصور نسبت به آبخوان آزاد کمتر می‌باشد. اختلاف‌فاز آبخوان آزاد ساحل چپ نسبت به پارامتر S_m نشان می‌دهد با افزایش S_m اختلاف‌فاز نوسانات آبخوان ساحل چپ افزایش می‌یابد اما برای آبخوان ساحل راست ابتدا باعث افزایش اختلاف‌فاز و سپس باعث کاهش اختلاف فاز شده است. اختلاف‌فاز نسبت به پارامتر S_B نشان می‌دهد پارامتر S_B تأثیر چندانی بر روی اختلاف‌فاز آبخوان آزاد و محصور ندارد. همچنین پارامتر ϕ اثر بیشتری بر روی آبخوان نیمه‌محصور داشته است.

مقایسه بین حل عددی و حل تحلیلی نشان داد بین این دو اختلاف ناچیزی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: نشت، آبخوان آزاد، آبخوان نیمه محصور، لایه نیمه‌تراوا، جریان یک بعدی، اندر کنش آب دریا و آب زیرزمینی.

فهرست مطالب

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱- مبانی مدل‌سازی آبخوان‌ها ۲

۱-۲-هدف از مدل ریاضی یک آبخوان ساحلی ۲

۱-۳-شبیه‌سازی سیستم جریان آب زیرزمینی ساحلی ۴

۱-۴-مدل‌سازی کمی آبخوان ۴

فصل دوم ۶

بررسی منابع ۶

۲-۱-تعریف اصطلاحات علمی ۶

۲-۱-۱-آب‌های زیرزمینی ۶

۲-۱-۲-سفره آب زیرزمینی (Aquifer) ۶

۲-۲-تقسیم‌بندی سفره‌های آب زیرزمینی ۶

۲-۲-۱ سفره‌های تحت‌فشار ۷

۲-۲-۲-سفره‌های آزاد ۷

۲-۲-۳-سفره‌های نشتی و نیمه تحت‌فشار ۸

۲-۳-خواص هیدرولیکی سفره ۸

۲-۳-۱ هدایت هیدرولیکی ۸

۲-۳-۲-ضریب قابلیت انتقال ۸

۲-۳-۳-ضریب ذخیره و آب دهی ویژه ۸

۲-۴-معادلات جریان آب زیرزمینی ۱۰

۲-۴-۱-آبخوان‌های تحت‌فشار ۱۰

۲-۴-۲-آبخوان‌های آزاد ۱۰

۲-۴-۳-معادله خطی شده بوسینسک ۱۱

۲-۵-انواع شرایط مرزی در آب‌های زیرزمینی ۱۱

۲-۶-نوسانات بر اثر پدیده‌های متئورلوژیکی ۱۲

۲-۶-۱-فشار اتمسفر ۱۲

۲-۶-۲-بارش ۱۲

۲-۶-۳-باد ۱۲

۲-۶-۴-نوسانات در اثر جزر و مد ۱۳

۲-۶-۵-نوسانات در اثر زلزله ۱۳

۲-۶-۶-نوسانات در اثر افزایش بار ۱۳

۲-۷-اثرات نامطلوب نوسانات آب زیرزمینی ۱۳

۲-۷-۱-اثرات زیان‌بخش پایین رفتن سطح آب زیرزمینی ۱۳
۲-۷-۲-اثرات زیان‌بخش بالا آمدن سطح آب زیرزمینی ۱۴
۲-۸-مدل‌سازی آب زیرزمینی ۱۴
۲-۹-انواع مدل‌های آب زیرزمینی ۱۴
۲-۱۰-تقسیم‌بندی مدل‌های ریاضی ۱۶
۲-۱۰-۱ مدل‌های تحلیلی ۱۶
۲-۱۰-۲ مدل‌های عددی ۱۶
۲-۱۰-۳-مدل‌های مدیریتی ۱۸
۲-۱۱-تاریخچه مطالعات آبخوان‌های ساحلی ۱۸
۲-۱۲-انواع آبخوان‌ها ۱۹
۲-۱۲-۱-آبخوان تک لایه ۱۹
۲-۱۲-۲-آبخوان چندلایه ۲۲
۲-۱۲-۳-آبخوان چندلایه با طول محدود ۳۰
فصل سوم ۳۳
مواد و روش‌ها ۳۳
۳-۱- حل تحلیلی ۳۵
۳-۱-۱-راه حل تحلیلی اول ۳۵
۳-۱-۲-راه حل تحلیلی دوم ۴۵
۳-۲- حل عددی ۴۷
فصل چهارم ۵۳
بحث و نتایج ۵۳
۴-۱-موقعیت و نحوه اجرای پژوهش ۵۳
۴-۲-حل تحلیلی ۵۴
۴-۲-۱- حل تحلیلی اول ۵۴
۴-۲-۲-حل تحلیلی دوم ۷۷
۴-۳-حل عددی ۸۲
۴-۴-مقایسه حل عددی و حل تحلیلی ۸۴
۴-۵-آنالیز حساسیت ۸۷
۴-۶- مقایسه حل حاضر با تحقیقات ۹۲
فصل پنجم ۹۴
نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۴
۵-۱-نتیجه‌گیری ۹۴

۵-۲-پیشنهادها ۹۵
منابع ۹۶

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- نمایش مفهوم ضریب ذخیره ۱۰

شکل ۲-۲-آبخوان مورد استفاده در مطالعه پارلانج و همکاران [۳۷] ۱۹

شکل ۲-۳- تغییرات بار آبی را در برابر مکان (به نقل از سانگ و همکاران [۴۵]) ۲۰

شکل ۲-۴- تغییرات بار آبی را در برابر مکان در زمان‌های مختلف (به نقل از یه و همکاران [۵۴]) ۲۱

شکل ۲-۵-آبخوان مورد استفاده در مطالعه شیا و همکاران [۴۹] ۲۱

شکل ۲-۷- آبخوان مورد استفاده در مطالعه جنگ و همکاران [۲۶] ۲۳

شکل ۲-۸- دامنه نوسانات سطح آب در آبخوان محصور در برابر مکان برای مقادیر مختلف نشت (جنگ و همکاران [۲۶]) ۲۴

شکل ۲-۹- تغییرات دامنه نوسانات سطح آب در آبخوان محصور در برابر مکان برای مقادیر مختلف T (به نقل از جنگ و همکاران [۲۶] ۲۵

شکل ۲-۱۰- تغییرات دامنه نوسانات سطح آب در آبخوان محصور در برابر مکان برای مقادیر مختلف s (به نقل از جنگ و همکاران [۲۶] ۲۵

شکل ۲-۱۱- آبخوان مورد استفاده در مطالعه لی و همکاران [۲۹] ۲۶

شکل ۲-۱۲- آبخوان مورد استفاده در مطالعه اسدی-آقبلاغی و همکاران [۱۱] ۲۷

شکل ۲-۱۳- تغییرات دامنه نوسانات آبخوان آزاد نسبت به زاویه کف برای نشت‌های مختلف (به نقل از اسدی-آقبلاغی و همکاران [۱۱]) ۲۸

شکل ۲-۱۴- تغییرات دامنه نوسانات آبخوان محصور نسبت به زاویه کف برای نشت‌های مختلف (به نقل از اسدی-آقبلاغی و همکاران [۱۱]) ۲۹

شکل ۲-۱۵- تغییرات بار آبی را در برابر مکان در δهای مختلف (به نقل چوانگ و همکاران [۱۷]) ۳۰

شکل ۲-۱۶- آبخوان مورد استفاده در مطالعه روتزول و همکاران [۴۲] ۳۱

شکل ۲-۱۷- مقایسه تغییرات بار آبی حل تحلیلی و بار آبی مشاهده شده در برابر زمان برای مکان‌های مختلف (به نقل روتزول و همکاران [۴۳]) ۳۱

شکل ۲-۱۸- آبخوان مورد استفاده در مطالعه هوانگ و همکاران [۲۵] ۳۲

شکل ۳-۱- آبخوان ناهمگن دو لایه است که از دو طرف به در یا احاطه شده است. ۳۴

شکل ۳-۲- آبخوان مربوط به حل عددی ۴۷

شکل ۳-۳- نمودار روش تفاضل محدود ۴۸

شکل ۳-۴- محور مختصات مربوط به تقریب مشتق به ترتیب برای الف) یک بعدی و ب) دو بعدی نشان می‌دهد..... ۴۸

شکل ۳-۵- نحوه نمایش نقاط در آبخوان آزاد و نیمه محصور. ۴۹

شکل ۳-۶- نحوه نمایش نقاط برای شبکه تفاضل محدود..... ۵۰

شکل ۴-۱-دامنه نوسانات سطح آب زیرزمینی در (الف) آبخوان آزاد و (ب) آبخوان نیمه محصور برای مقادیر مختلف نشت. ۵۵

شکل ۴-۲- تغییرات سطح آب در برابر زمان برای مقادیر مختلف نشت، در (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۵۷

شکل ۴-۳- تغییرات نوسانات آب زیرزمینی نسبت به T_M (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۶۰

شکل ۴-۴- تغییرات نوسانات آب زیرزمینی نسبت به T_B (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۶۲

شکل ۴-۵- تغییرات نوسانات آب زیرزمینی نسبت به ضریب بی‌بعد S_m (الف)آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۶۵

..... ۶۷

شکل ۴-۶- تغییرات نوسانات آب زیرزمینی نسبت به ضریب بی‌بعد S_B (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۶۷

شکل ۴-۷- تغییرات سطح آب در برابر زمان برای مقادیر مختلف T_m، در (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۶۹

شکل ۴-۸-اختلاف‌فاز نسبت به پارامتر S_m برای مقادیر مختلف نشت (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۷۲

شکل ۴-۹-اختلاف‌فاز نسبت به پارامتر S_B برای مقادیر مختلف نشت (الف)آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۷۴

شکل ۴-۱۰-اختلاف‌فاز نسبت به پارامتر T_m برای مقادیر مختلف نشت (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، و نسبت به T_B برای نشت‌های مختلف (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۷۶

شکل ۴-۱۱-دامنه نوسانات سطح آب زیرزمینی در (الف) آبخوان آزاد و (ب) آبخوان نیمه محصور برای مقادیر مختلف نشت. ..۷۸

شکل ۴-۱۲- تغییرات نوسانات آب زیرزمینی نسبت به ضریب بی‌بعد S_m (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، و نسبت به ضریب بی‌بعد S_B (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$. ۸۰

شکل ۴-۱۳- تغییرات نوسانات آب زیرزمینی نسبت به T_m (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، و نسبت به T_B (ج) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$ . . ۸۲

شکل ۴-۱۴- تغییرات سطح آب در برابر زمان برای مکان‌های مختلف، در (الف) و (ب) آبخوان آزاد و (ج) و (د) آبخوان نیمه محصور. ۸۴

شکل ۴-۱۵- مقایسه بین حل تحلیلی و حل عددی در (الف) آبخوان آزاد و $x = 50\ \mathrm{m}$، (ب) آبخوان آزاد و $x = 150\ \mathrm{m}$، (ج) آبخوان نیمه محصور و $x = 50\ \mathrm{m}$ و (د) آبخوان نیمه محصور و $x = 150\ \mathrm{m}$ ۸۶

شکل ۴-۱۶- تغییرات نوسانات آب زیرزمینی نسبت به مقادیر استاندارد شده هر یک از پارامترها (الف) و (ب) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$، (پ) و (ج) آبخوان آزاد در $x = 150\ \mathrm{m}$، (د) و (ذ) آبخوان نیمه محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (ر) و (ز) آبخوان نیمه محصور در $x = 150\ \mathrm{m}$ ۹۱

شکل ۴-۱۷- مقایسه دامنه نوسانات آب زیرزمین حل حاضر با حل قبلی [۲۶] نسبت مسافت (الف) آبخوان آزاد در $x = 50\ \mathrm{m}$ و (ب) آبخوان محصور در $x = 50\ \mathrm{m}$ ۹۳

فصل اول

مقدمه

آبخوان‌های ساحلی (Coastal aquifer) یکی از منابع آبی مهم در مناطق ساحلی می‌باشند. در این مناطق از سطح جهان که اغلب، مناطقی پرجمعیت، صنعتی و پراهمیت هستند، به دلیل فشارهای وارده، امکان بروز چالش‌های زیست‌محیطی، وجود دارد. از معمول‌ترین آن‌ها، می‌توان به رخ دادن پدیده نوسانات آبخوان‌های ساحلی و پیشروی آب شور به دلیل برداشت نادرست و بیش‌ازحد آب زیرزمینی ساحلی و کاهش کیفیت آن اشاره نمود که محدودیت‌های زیادی را در نحوه بهره‌برداری از آبخوان‌های ساحلی فراهم می‌نماید. شناخت صحیح سیستم آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی و پدیده نوسانات آبخوان‌های ساحلی در تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب موجود و کنترل این نوسانات ضروری است [۴].

مطالعات انجام‌شده در آبخوان‌های ساحلی را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد. گروه اول تحقیقاتی است که درباره نفوذ آب شور دریا به سواحل تمرکز یافته‌اند که درصدد تعیین میزان گسترش، تغییرات کمی و کیفی آب شور و شیرین و شکل هندسی مرز آب شور و شیرین هستند. مبنای تئوریک بکار گرفته در مطالعات این گروه معادله گیبن-هرزبرگ است که بعدها با استفاده از تجربیات صحرایی، مدل‌های مختلف تحلیلی و عددی و مطالعات آزمایشگاهی برای حالت‌های مختلف گسترش داده‌شده‌اند [۴۶، ۳۶، ۲۹، ۱۵]. این گروه معمولاً در مطالعه ناحیه‌ای جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی در آبخوان‌های ساحلی سطح تراز آب در مرز آبخوان ساحلی را معادل متوسط سطح تراز دریا در نظر می‌گیرند و از تغییرات ایجادشده توسط جزر و مد و امواج صرف‌نظر می‌کنند [۱].

گروه دوم بر روی اثر جزر و مد دریا بر رفتار هیدرولیکی آبخوان ساحلی متمرکز شده‌اند و تغییرات کیفی آب اهمیت چندانی نداشته است. جزر و مد باعث نوسانات دوره‌ای سطح آب آبخوان ساحلی می‌شود. پیشروی موج جزر و مد در داخل آبخوان به خاطر اصطکاک و تلفات انرژی باعث میرا شدن دامنه نوسانات تغییرات سطح آب زیرزمینی در جهت خشکی می‌شود [۱۵].

حرکت غیرخطی سطح ایستابی به خاطر روند سینوسی جزر و مد می‌تواند باعث شود که حتی در صورت عدم وجود جریان از ساحل به دریا، سطح ایستابی بالاتر از سطح دریا قرار گیرد [۴۴]. مطالعات در مورد تأثیرات جزر و مد در آبخوان‌های ساحلی در چهار گروه متمرکز شده است [۵۲]: ۱) نوسانات سطح آب زیرزمینی با جزر و مد مقایسه شده که به طور مشخص کاهش و تغییر دامنه نوسانات با دور شدن از خط ساحل در آبخوان را تأیید می‌کنند، ۲) بین دوره زمانی جزر و مد و نوسانات سطح ایستابی آبخوان اختلافی بوده است که وجود زمان تأخیر را تأیید می‌کنند، ۳) مدل‌های ریاضی که تغییرات جزر و مد و سطح ایستابی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند، ۴) استفاده از جزر و مد برای مشخص کردن خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های ساحلی.

محققین مختلف مکانیسم واکنش آبخوان‌های ساحلی به جزر و مد دریا را تحت تأثیر گسترش موج حاصل از جزر و مد در داخل آبخوان می‌دانند که با فاصله گرفتن از خط ساحل اثر آن در چاه‌ها و پیزومترها کمرنگ تر شده و با زمان تأخیر رویت خواهد شد. نمود این مکانیسم به قابلیت انتقال (Transmissivity) آبخوان بستگی دارد. هر چه قابلیت انتقال زیادتر باشد، نوسانات سطح تراز آب بیشتر بوده و سریع‌تر مشاهده خواهد شد. در آبخوان‌های محصور مکانیسم دومی نیز دخالت دارد که در آن واکنش الاستیک آبخوان به جزر و مد را بیان می‌کنند [۱].

۱-۱- مبانی مدل‌سازی آبخوان‌ها

افزایش بی‌رویه جمعیت در سال‌های اخیر، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بیش از اندازه از سفره‌های آب زیرزمینی ساحلی باعث به بار آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور در سال‌های گذشته شده است. لذا مدیریت و بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی ساحلی می‌بایست به‌عنوان یک اصل مهم در برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد [۳].

بدون شک بهترین حالت شناخت رفتارهای یک سیستم سفره آب ساحلی، انجام یکسری تحقیق‌های درازمدت برای هر منطقه خاص می‌باشد که با توجه به وضعیت کنونی و سقف محدود بودجه‌های پژوهشی عملاً امکان‌پذیر نیست. در این میان با ابزاری مانند شبیه‌سازی و یا مدل‌ها می‌توان با دقت قابل قبولی شرایطی مشابه آنچه در طبیعت موجود است، ایجاد نموده و به نتایج رضایت‌بخشی دست‌یافت [۳].

۱-۲-هدف از مدل ریاضی یک آبخوان ساحلی

هدف مدل ریاضی یک آبخوان ساحلی شبیه‌سازی طبیعی آبخوان با استفاده از یکسری روابط ریاضی می‌باشد. درصورتی‌که بتوان شبیه‌سازی یک آبخوان را انجام داد و آن را با شرایط طبیعی تطبیق داد، به سهولت می‌توان با تغییر در محل، مقدار و زمان برداشت به بررسی اثرات بهره‌برداری از سفره پرداخت. یک مدل آب زیرزمینی در واقع فرم ساده‌شده‌ای از یک سیستم واقعی آب‌های زیرزمینی است که به طور تقریبی همبستگی بین عمل و عکس‌العمل هیدرودینامیکی را در یک سیستم ارائه می‌کند. با توجه به ماهیت سیستم و انتظاری که از مدل وجود دارد، ممکن

است که در مدل‌های مختلف، فرضیات و ساده‌نگری‌هایی وجود داشته باشد و بر همین اساس می‌توان ادعا کرد که هیچ مدلی در آب زیرزمینی وجود ندارد که بتواند در همه سیستم‌های طبیعی آب‌های زیرزمینی پاسخگو باشد [۳].

بر اساس نوع فرضیاتی که در این زمینه می‌توان در نظر گرفت، مدل‌های مختلفی وجود دارند:

۱. جعبه سیاه

۲. مدل مفهومی

۳. مدل ریاضی (تحلیلی و عددی)

مدل‌هایی از نوع جعبه سیاه با استفاده از روش‌های تجربی و معمولاً بر پایه همبستگی آماری بین داده‌های مشاهده‌ای در خروجی و ورودی سیستم بنانهاده شده‌اند. این نوع مدل‌ها به دلیل صرف‌نظر کردن از آنچه در درون سیستم طبیعی آبخوان می‌گذرد، به‌خصوص عدم در نظر گرفتن حالت ناپایدار، بندرت در آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پس از مدل‌های جعبه سیاه می‌توان مدل‌های مفهومی را به واقعیت نزدیک‌تر دانست. این نوع مدل‌ها با توجه به آنچه در طبیعت آبخوان آب زیرزمینی وجود دارد مانند شرایط زمین‌شناسی، نوع جریان اعم از ورقه‌ای و یا متلاطم، مؤلفه‌های جریان ورودی و خروجی، شرایط مرزی و غیره تهیه می‌شوند [۳].

گرچه مدل‌های مفهومی در جهت آگاهی و شناخت اولیه از شرایط حاکم بر محیط آبخوان کمک شایانی می‌کنند ولی به دلیل توصیفی بودن آن‌ها، نمی‌توان نتایج آن را به‌صورت عدد و رقم ارائه کرد و به همین جهت در مدیریت آبخوان مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. با این حال تهیه این مدل‌ها در فرآیند مدل‌سازی ریاضی آب‌های زیرزمینی لازم و ضروری می‌باشند.

از طرف دیگر شایان، یک مدل فیزیکی در مقیاس کوچک‌تر تهیه کرد و با انجام یکسری آزمایش‌ها، تحقیق‌هایی را انجام داد. ولی باوجود مشکلات فراوانی که در این راه وجود دارد، فقط می‌توان مدل فیزیکی را به فرم بسیار ساده‌شده‌ای از محیط طبیعی در نظر گرفت. ضمن اینکه، انتقال نتایج حاصل از مدل فیزیکی به محیط واقعی، باعث ورود خطا و نهایتاً دستیابی به نتایج غیرمعقول می‌شود. علاوه بر این، به علت وقت و هزینه زیاد جهت تهیه مدل‌های فیزیکی سفره آب زیرزمینی را عامل بازدارنده تهیه این نوع مدل‌ها دانست[۳].

بر این اساس و به علت عدم قابلیت مدل‌هایی از نوع جعبه سیاه، مفهومی و فیزیکی، اکثر مراکز علمی و پژوهشی دنیا، جهت شناخت بهتر آبخوان و مدیریت آن از مدل‌های ریاضی (عددی) نمایشگر سیستم استفاده می‌کنند [۳]. از طرف دیگر می‌توان دریافت که لازم نیست حتماً مدل جهت پیش‌بینی تهیه و بررسی شود. درصورتی‌که مدل به‌صورت تفسیرکننده تهیه شده باشد، می‌توان کاستی‌های تهیه مدل مفهومی را شناسایی و اقدام به بررسی مجدد آن نمود. حتی می‌توان اقدام به مدل‌سازی به‌صورت کلی نمود و بدون تحریف، نتایج را با ارائه خطای مدل برای کارفرما مشخص نمود تا کارفرما بیشتر با کاستی‌های منطقه یا آبخوان آگاه شود و اقدام به بهبود روند جمع‌آوری اطلاعات نماید. سطح مدل‌سازی از سمت کلی به سمت پیش‌بینی کننده پیشرفته‌تر شده و حجم عملیات نیز افزایش می‌یابد. مدل پیش‌بینی کننده نیاز مبرم به انجام تمامی مراحل الگوریتم مدل‌سازی را دارد و صحت‌سنجی مدل می‌بایستی به نحو احسن انجام‌شده باشد [۳].

۱-۳-شبیه‌سازی سیستم جریان آب زیرزمینی ساحلی

با توجه به اینکه در تدوین مدل‌های مدیریت منابع آب آگاهی از رفتار سفره جهت تعیین میـزان برداشـت از آبخـوان نقش اساسی را ایفا می‌نماید، لذا لازم است وضعیت تراز سطح آب زیرزمینی در اثـر تغییـرات طبیعـی و مصـنوعی بـه گونه‌ای مناسب مدل‌سازی و شبیه‌سازی شود. با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی آب زیرزمینی می‌توان خـواص مکـانی و زمانی سیستم آبخوان را به‌صورت فیزیکی و یا ریاضی بیان نمود. شبیه‌سازی سفره‌های آب زیرزمینی شامل اسـتفاده از روابط و پارامترهای فیزیکی آبخوان است، بـه‌طـوری کـه بـه ازای تغییـرات در ورودی و خروجـی سیسـتم، میـزان تغییرات ذخیره آب زیرزمینی مشخص شود. در این فصل روابط و معادلات حـاکم بـر سیسـتم جریـان آب زیرزمینـی جهت بررسی رفتار سفره و در نهایت شبیه‌سازی آن ارائه می‌شود [۳].

۱-۴-مدل‌سازی کمی آبخوان

تهیه مدل ریاضی برای مطالعه وضعیت آب‌های زیرزمینی یک منطقه، این امکان را فراهم می‌سازد که بر اسـاس آمـار و اطلاعات موجود رفتار سفره آب زیرزمینی مورد نظر را شبیه‌سازی نموده و با استفاده از مدل، در صـورت اعمـال هـر گونه تغییر در شرایط تخلیه، تغذیه و شرایط مرزی، وضعیت آینـده سـفره را در هـر نقطـه و هـر زمـان تعیـین نمـود. مدل‌های ریاضی از سال ۱۸۰۰ به‌منظور مطالعات آب‌های زیرزمینی، مورد استفاده قرارگرفته است. یک مـدل ریاضـی مشتمل بر مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل می‌باشد که جریان آب‌های زیرزمینی را تحت حاکمیت خود دارد. بدیهی است که دقت پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط مدل تا حدود زیادی بستگی به انطبـاق مـدل بـا شـرایط واقعـی سـفره آب‌های زیرزمینی و درستی آمار و فرضیات منظور شده توسط کاربر دارد. معادلـه آب زیرزمینـی از ترکیـب معـادلات حرکت و پیوستگی و در نظر گرفتن اصل بقاء انرژی نتیجه می‌شود [۳]. برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریـان آب‌های زیرزمینی از روش‌های تحلیلی یا عددی استفاده می‌شود. اگرچه روش‌هـای تحلیلـی خیلـی از جـذابیت هـای روش‌های دیگر را ندارند، با این وجود برای شرایط واقعی آبخوان به عنوان تنها جایگزین می‌باشند. زیرا برای وقتی کـه هندسه آبخوان پیچیده باشد و یا مصالح آبخوان غیرهمگن باشند، به روش‌های متداول ریاضـی قابـل حـل نبـوده و در سال‌های اخیر با توسعه کاربرد کامپیوتر، برای حل آن‌ها از روش‌های عددی بهره گرفته می‌شود. کاربرد این معـادلات و حل آن‌ها توسط روش‌های عددی، مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی نامیده شده است. مدل های تحلیلی می‌توانـد بـرای محاسبه مقدار مجهول برای هر نقطه از منطقه مورد مطالعه استفاده شود. این روش زمانی کاربرد دارد که حل دقیقـی برای مسئله وجود داشته باشد. از مزایای این مدل می‌توان به‌سرعت و دقت بالا و هزینه پایین اشاره کرد. این مـدل‌هـا محدود به سیستم های ساده می‌باشد و برای شرایط پیچیده با وجود داده‌های کافی روش های پیچیده‌ای لازم است.

روش‌های عددی (Numerical Methods) به گروهای مختلفی تقسیم می‌شوند که هر کدام از گروه‌هـا بـا اسـتفاده از فرضیاتی به حل معادلات حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینـی مـی‌پردازنـد. در ایـن میـان از دو روش تفاضـل محـدود (Finite Difference) و اجزای محدود (Finite Element) در برنامه‌ها و نـرم‌افزارهـای رایـج در زمینـه حـل معـادلات دیفرانسیل آب‌های زیرزمینی بیشتر استفاده شده است. به‌منظور حل آن معادلات، ابتدا سطح آبخوان مورد مطالعه بـه شبکه‌هایی با ابعاد مشخص تقسیم‌بندی می‌شود. در این شبکه‌ها، مقادیر تـراز سـطح آب (در مـدل‌سـازی کمـی) و یـا مقادیر غلظت (در مدل‌سازی کیفی) به‌عنوان شرایط اولیه مشخص می‌باشد [۳].

با توجه به اینکه مناطق ساحلی زیادی که در ایران وجود دارند، لذا تحقیق در زمینه آبخوان‌های ساحلی ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر این اکثر آبخوان‌های ساحلی دارای طول محدود و به صورت ناهمگن می‌باشند. بنابراین، در این پایان‌نامه یک راه حل تحلیلی برای نوسانات ناشی از جزر و مد در یک آبخوان ساحلی ناهمگن با طول محدود ارائه شد. در این مطالعه برای حل تحلیلی از نرم‌افزار mathematica و برای حل عددی از نرم‌افزار matlab استفاده شد. این تحقیق بر روی دینامیک آب زیرزمینی در پاسخ به نوسانات جزر و مدی در سیستم آبخوان ساحلی غیر همگن با طول محدود متمرکز شده است. و اثر پارامترهای آبخوان مانند ضریب انتقال، ضریب ذخیره و فاکتور نشت را بر روی نوسانات جریان آب زیرزمینی بررسی شد. این پایان‌نامه مشتمل بر پنج فصل است که شامل مقدمه، بررسی منابع، مواد و روش‌ها، بحث و نتایج و نتیجه‌گیری و پیشنهادها است. هدف از این تحقیق به‌دست آوردن یک راه حل تحلیلی برای بار آبی در یک سیستم آبخوان جزیره‌ای با طول محدود با توجه به معادلات حاکمه و بررسی اثر پارامترهای هیدرولیکی آبخوان بر نوسانات بار آبی و همچنین بررسی اثر ناهمگنی سیستم آبخوان بر پارامتر های هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی و مقایسه حل تحلیلی با عددی می‌باشد.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱-تعریف اصطلاحات علمی

۲-۱-۱-آب‌های زیرزمینی (Groundwaters)

آب زیرزمینی آبی است که در زیر سطح زمین، درزها و فضاهای حفره‌ای را در صخره‌ها و رسوبات پر می‌کند. گاهی، آب‌های زیرزمینی سال‌ها حتی قرن‌ها قبل از مصرف دست‌نخورده باقی می‌مانند. بیش از ۹۰٪ آب آشامیدنی کل جهان از آب زیرزمینی است. مردم هر روز ۱۷۰۰ میلیارد لیتر آب مصرف می‌کنند. ۹۷٪ آب‌های کره زمین درون اقیانوس‌ها است و ۲٪ آن یخ زده است. آب مورد نیاز انسان از ۱ ٪ باقیمانده تهیه می‌شود که از یکی از دو منبع زیر به‌دست می‌آید: آب سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و نهرها) و یا از آب‌های زیرزمینی [۶].

۲-۱-۲-سفره آب زیرزمینی (Aquifer)

سفره آب به لایه یا منطقه قابل‌نفوذی در زیر سطح زمین گفته می‌شود که آب در آن می‌تواند جریان یابد. سفره آب همچنین باید قابلیت آب دهی خوبی داشته باشد، سطح فوقانی سفره آب، یا سطح ایستابی (Water table) همواره افقی نیست و به طور طبیعی از منطقه تغذیه آن، یعنی محل و منطقه‌ای که آب زیرزمینی را تأمین می‌کند، به‌طرف محل تخلیه دارای شیب است. به طور کلی شکل سطح ایستابی غالباً از شکل سطح زمین پیروی می‌کند. ولی برآمدگی‌های آن هموارتر است؛ بنابراین سطح ایستابی در نواحی پست در نزدیک سطح زمین و در تپه‌ها و کوه‌ها در عمق زیادتر قرار دارد [۲].

۲-۲-تقسیم‌بندی سفره‌های آب زیرزمینی

لایه‌های آبدار را معمولاً به سه دسته تقسیم می‌کنند:

۱-سفره‌های تحت‌فشار یا محصور (Confined aquifer)

۲-سفره‌های آزاد (Unconfined aquifer)