

بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جدار

رضا آل خمیس^۱ سعید کریمی نسب^۲ فرزاد آریانا^۳

(دریافت ۸۵/۳/۱۸ پذیرش ۸۵/۱۰/۹)

چکیده

نشست یکی از پدیده‌های مخاطره آمیز زمین شناسی می باشد که در اثر فعالیتهای بشری همچون تخلیه دراز مدت آب، نفت و گاز از مخازن زیرزمینی و یا استخراج از معادن زیرزمینی می تواند تشدید شود. هنگامی که سفره ابدار تحت بهره برداری قرار می گیرد، نیروهای متعادل کننده سفره ابدار در اثر تخلیه آب زیرزمینی دچار تغییر می گردند، و زمین نشست می کند و سرانجام فرو نشست رخ می دهد. یکی از عواقب نشست ناشی از بهره برداری آبهای زیرزمینی، رشد لوله جدار چاه آب می باشد. البته این لوله جدار نیست که رشد می کند بلکه زمین اطراف لوله جدار است که به سمت پایین می رود. نیروهای ناشی از نشست همچنین می تواند باعث تخریب لوله جدار چاه گردد که این موضوع باعث تحمیل هزینه های تعمیر و یا حتی جایگزینی چاه می گردد. در این مقاله توسط روش عددی المان محدود در حالت های دو و سه بُعدی و با استفاده از نرم افزار ABAQUS به بررسی تأثیر نشست حاصل از بهره برداری آبهای زیرزمینی و افت سطح آبهای زیرزمینی بر لوله جدار چاههای آب با استفاده از اطلاعات یک حوزه آبریز پرداخته شد. نتایج حاصل از شبیه سازیهای ژئومکانیکی به کمک نرم افزار ABAQUS نشان داد که مکانیسم ایجاد کاسه فرونشست باعث پدید آمدن دو حالت گسیختگی لوله جدار می گردد. در یال این گودال رسوبات سطحی می توانند به سمت مرکز گودال، بر روی رسوبات نرم بلغزند و در مسیر حرکت خود باعث خمش در لوله جدار شوند. در نزدیکی مرکز گودال فرونشست، مشکل از گونه دیگری است. تراکم قابل ملاحظه رسوبات نرم با گذشت زمان، باعث کوتاه شدگی فاصله سطح زمین تا کف چاه می گردد. همان گونه که انتظار می رود در این وضعیت لوله جدار دچار کماتش می شود و در بعضی موارد، لوله های جدار از زمین بیرون می زنند.

واژه های کلیدی: نشست، آب زیرزمینی، لوله جدار، کماتش، ABAQUS.

Investigating the Effect of Land Subsidence Due to Groundwater Discharges on Well Casing Damage

Reza Alkhamis¹

Saeed Kariminasab²

Farzad Aryana³

(Received June 8, 2006 Accepted Dec. 30, 2006)

Abstract

Subsidence is a geologically hazardous phenomenon that can be aggravated by human such activities as long term water, oil, and gas extraction from underground resources or other mining activities. Abstractions from aquifers cause the aquifer-maintaining forces to lose their state of equilibrium whereby land starts to settle and ultimately subsides. One of the consequences of exploiting groundwater is the rising of well casings. Actually, it is not the well casings that rise but the ground around them that subsides. Subsiding forces can damage well casings and this can foist repair costs, or the wells might even need to be replaced by new ones. In this paper finite element methods in two and three dimensional modes as well as ABAQUS software were used to investigate the impacts of subsidence from groundwater exploitation and drawdown on well casings. This investigation was based on data obtained from a real basin. The results obtained through geomechanical simulations using ABAQUS software have shown that the mechanism by which subsidence "bowls" are created cause two forms of rupture in the casings. At the edges of the bowl, surface sediments might slide on soft clay toward the center of the well and cause the casings to bend along their way. Around the center of the bowl something different happens. Considerable compaction of soft clay over time causes the distance between the surface and the bottom of the well to decrease, which results in the buckling of the casings and, in some cases, causes the casings to stick out of the ground.

Keywords: Subsidence, Groundwater, Casing, Buckle, ABAQUS.

1- MSc. in Rock Mechanics, Alkhamiss_Reza@yahoo.com
2- Assistance Professor, Department of Mining, Shahid Bahonar University of Kerman
3- The Late Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

۱- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، Alkhamiss_Reza@yahoo.com
۲- استادیار بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳- دانشیار فقید بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان

میزان نرخ بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در سالهای اخیر با رشد چشمگیری همراه بوده، و همین موضوع باعث به وجود آمدن مشکلاتی شده است. یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که در حوزه‌های بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی وجود دارد، پدیده تنشست و گسیختگی لوله جدار چاهها می‌باشد، که تاکنون باعث تحمیل خسارات و بروز مشکلات عدیده‌ای برای بهره‌برداران این حوزه‌ها شده است.

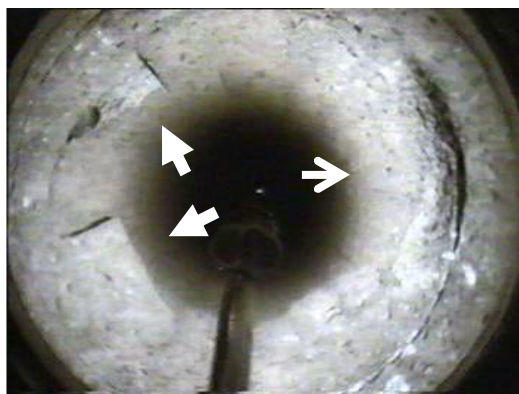
پدیده گسیختگی لوله جدار چاه شامل آسیب دیدگی لوله جدار چاههای بهره‌برداری تحت تأثیر عواملی همچون کشش^۱، کمناش^۲، فرو روندگی^۳، ترکیدگی^۴ و یا برش^۵ حاصله از پدیده تنشست ناشی از بهره‌برداری سیالات منابع زیرزمینی می‌باشد [۱]. پیامدهای وقوع این پدیده در مراحل اولیه شامل کاهش فشار، افت تولید و انحراف از محور قائم لوله‌های جدار و به تله افتادن تجهیزات درون چاهی می‌گردد و در مراحل حادثر به علت تغییر شکل زیاد، بریدگی لوله‌های جدار چاه را به دنبال دارد. در پی وقوع چنین مشکلاتی چاههای بهره‌برداری علی‌رغم هزینه‌های زیاد در حین احداث و اجرا بدون استفاده رها می‌شوند، [۲]. فشردگی و تراکم در سفره آبها پاسخی مستقیم به کاهش هد آب زیرزمینی است که می‌توان آن را به صورت رابطه‌ای ساده بین افزایش تنش مؤثر و کاهش فشار آب منفذی بیان نمود. تخلیه آب موجب تراکم رسوبات دربرگیرنده سفره آب و افزایش تنش مؤثر می‌شود. تنش ناشی از وزن روباره در محیط‌های اشباع و یا نیمه اشباع توسط ذرات خاک و آب

¹Tension
²Buckling
³Collapsing
⁴Bursting
⁵Shearing

منفذی تحمل می‌گردد [۳]. از طرف دیگر باید توجه داشت که کاهش فشار آب منفذی به صورت آبی رخ نمی‌دهد، پس از شروع عملیات پمپاژ، به تدریج این فشار به کمتر از مقدار اولیه اش کاهش می‌یابد و سرانجام به حالت پایدار می‌رسد. بنابراین پدیده فرونشست زمین یک پدیده وابسته به زمان می‌باشد و نباید انتظار داشت که همزمان با عملیات پمپاژ رخ دهد [۴]. به طور کلی میزان فرونشست زمین توسط تنش مؤثر، به ضخامت و قابلیت تراکم پذیری رسوبات، مدت زمانی که بارگذاری اعمال شده و نرخ و نوع تنش اعمال شده بستگی دارد [۵]. از جمله مسائل مترتب بر فرونشست زمین عبارت‌اند از: ۱- تغییر سطح آب زیرزمینی و تغییر الگوی جریانهای آب سطحی [۶]: ۲- کاهش کیفیت آب و حتی در بعضی مناطق، هجوم آب شور [۷]: ۳- کاهش ضریب ذخیره سفره آبها [۸]: ۴- محدودیت در عملیات پمپاژ در مناطق نشست کرده [۹]: ۵- تمرکز سیلاب در مناطق نشست کرده [۱۰]: ۶- گسیختگی لوله جدار چاه [۱۱]: ۷- تخریب ساختمانها، سازه‌ها، مزارع و راههای مواصلاتی [۱۲]. در سالهای اخیر به علت رشد روز افزون بهره‌گیری از منابع آب زیرزمینی و کاهش نزولات جوی غالب این پدیده‌ها در کشورهای مختلف جهان رخ داده است. ایالات آریزونا و کالیفرنیا در آمریکا، شهرهای توکیو و اوساکا در ژاپن، ونیز در ایتالیا، بانکوک در تایلند، جاکارتا در اندونزی، هانوی در ویتنام و مکزیکو در مکزیک از جمله مناطق مهم در جهان می‌باشند که با پدیده فرونشست زمین مواجه هستند [۱۳-۲۰]. در کشور ما نیز پدیده فرونشست در دشتهای رفسنجان، مشهد، کرمانشاه، ایرانشهر، اصفهان و دیگر دشتهایی که منبع عمده تأمین آب شرب، زراعی و یا صنعتی آنها از منابع زیرزمینی می‌باشد به وفور مشاهده شده است (شکل ۱) [۲۱-۲۵].



شکل ۱- الف- نشست زمین پیرامون لوله جدار یک چاه آب در دشت رفسنجان [۲۵]



شکل ۱-ب- تصویر حاصل از ویدئومتری گسیختگی لوله جدار در یکی از چاههای آب شرب واقع در شمال غرب شهر مشهد (محل‌های گسیختگی روی شکل مشخص شده است). [۲۱]

می‌باشد. برطبق این اصل، وزن رسوبات بالایی یا روبارهٔ یک سفره آب زیرزمینی به وسیله بخش جامد و سیال محتوی در منافذ موجود تحمل می‌گردد. هنگامی که فشار سیال در فرآیند تخلیه کاهش یابد، تنش بیشتری به بخش جامد وارد می‌گردد و همان طور که در شکل ۲- الف نشان داده شده است در این حالت سازند دچار تراکم و در نهایت نشست می‌گردد [۳۱]. افت سطح پیزومتریک در یک سفره آب باعث افزایش تنش مؤثر در محیط مجاورش می‌گردد. کاهش فشار آب منفذی موجب تراکم و نشست خاک می‌شود. رابطه تنش مؤثر به خوبی این ارتباط را نشان می‌دهد:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (1)$$

در این رابطه:

σ : تنش کل، σ' : تنش مؤثر و u : فشار آب منفذی می‌باشد. تغییر در مقدار تنش مؤثر، تغییر در فشار آب منفذی را به دنبال دارد. یعنی:

$$\sigma \Delta' = -\Delta u \quad (2)$$

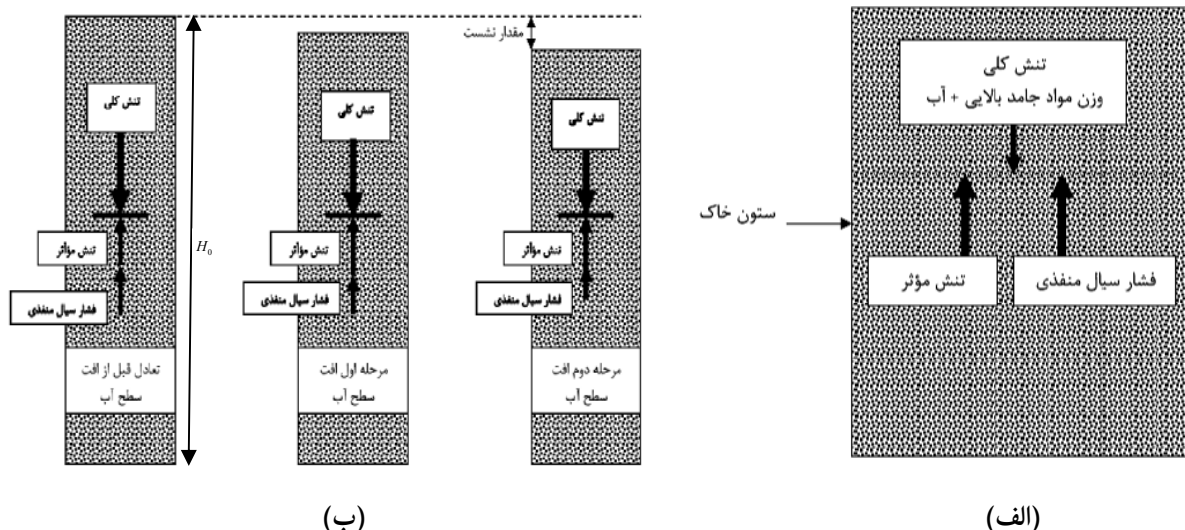
وقتی که فشار آب منفذی از حالت تعادل شرایط مرزی فراتر رود، فرآیند نشست شروع می‌شود. به منظور برآورد نشست، اطلاع از مقادیر ضرایب تغییر حجم، فشردگی و شاخص تراکم ضروری است. با در نظر گرفتن یک لایه از خاک رس اشباع مطابق شکل ۲-ب، که تحت اعمال تنش عمودی واقع شده است، پس از اعمال تنش ضخامت اولیه تقلیل می‌یابد. با توجه به حالت فوق مقدار نشست خاک (ΔH) را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} \times C_c \times \text{Log} \left(\frac{\sigma' + \Delta \sigma'}{\sigma'} \right) \quad (3)$$

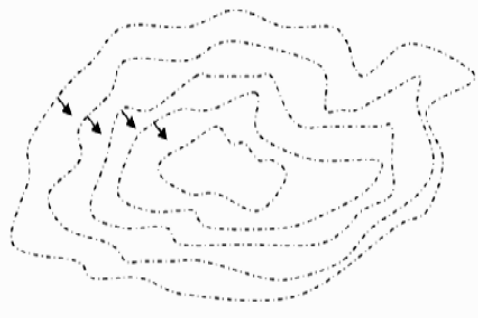
که در این رابطه: e_0 و C_c به ترتیب، پوکی اولیه و شاخص تراکم می‌باشد [۳۲].

در این تحقیق از میان همه پدیده‌های مرتبط با فرو نشست زمین، به تبیین گسیختگی لوله جدار چاههای آب پرداخته شده است. این پدیده در ایران نیز به واسطه بهره‌برداری بیش از حد منابع آب در مناطق مختلف، به خصوص در نواحی گرم و خشک که بهره‌برداری از ذخایر آب زیرزمینی بیش از اندازه صورت می‌گیرد، دیده می‌شود. پیامد گسیختگی لوله‌های جدار، ایجاد خسارت و یا از رده خارج شدن چاهها می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در این زمینه مشخص شده است که وقوع این پدیده همزمان با افزایش نرخ بهره‌برداری آبهای زیرزمینی در این نوع حوزه‌ها بوده است [۲۱]. پدیده گسیختگی لوله جدار، بیش از آنکه در خصوص بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مورد تحقیق کارشناسان قرار گیرد، در مورد چاههای نفت و گاز مورد توجه بوده است و تا کنون مقالات بسیاری در این خصوص انتشار یافته است. سرمایه‌گذاری بسیار زیاد در بهره‌برداری از چاههای هیدروکربوری، شرایط پیچیده ژئومکانیکی و بهره‌برداری از این قبیل مخازن در مقایسه با چاههای آب، از جمله عواملی می‌باشند که تحقیقات در خصوص گسیختگی لوله جدار چاههای نفت و گاز را در اولویت قرار داده است [۲۶-۳۰]. آسیب دیدگی لوله‌های جدار، گویای عملکرد تنش‌هایی است که در اثر تخلیه سیال از محیط متخلخل، از حالت تعادل خارج شده‌اند و با ایجاد تغییراتی در محیط به دنبال تثبیت شرایط تعادلی جدیدی می‌باشند.

۲- فرآیند نشست حاصل از بهره‌برداری آبهای زیرزمینی در اثر استخراج آبهای زیرزمینی تغییراتی همچون نشست بر سازند حاوی سیال به وجود می‌آید. این تغییرات می‌تواند در نهایت بر لوله جدار چاههای واقع در این سازندها مؤثر باشد. رابطه بین تغییرات سطح آب و تراکم سفره آبدار بر اساس اصل تنش مؤثر، استوار



شکل ۲- فرآیند نشست در سفره آبدار [۳۱]



شکل ۳- یک حالت شماتیک از منحنیهای هم افت سطح آب زیرزمینی یک دشت [۳۱]

تحقیق سعی شده است که با توجه به روند افت سطح آب نشان داده شده در شکل فوق تأثیر نشست حاصل از افت سطح آب زیرزمینی بر چاه آب در دو ناحیه مورد بررسی قرار گیرد. ناحیه اول بخش مرکزی این حوزه می باشد که روند افت سطح آب در این منطقه یک حالت نسبتاً متقارن دارد (شکل ۴- الف). ناحیه دوم نیز یال حوزه آبریز می باشد که افت سطح آب در این ناحیه دارای روند نزولی در یک جهت است (شکل ۴- ب).

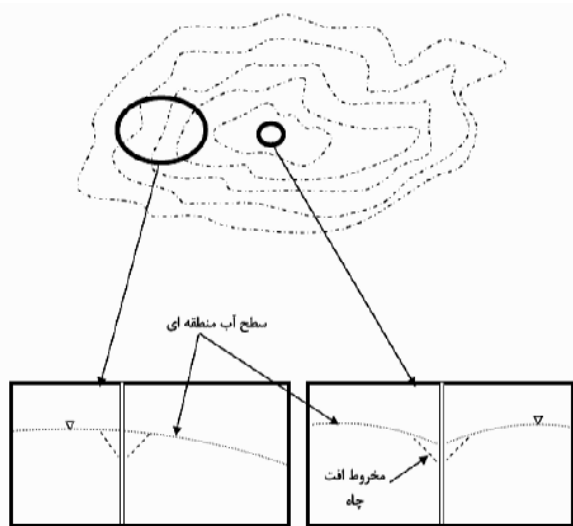
۳-۱- انتخاب روش و مدل رفتاری

به واسطه نشست حاصل از بهره برداری آبهای زیرزمینی و افزایش تنش مؤثر، نیروهایی در دیواره پدید می آیند که در بحث گسیختگی لوله جدار چاه از اهمیت خاصی برخوردار می باشند. به منظور درک عملکرد نیروهای ناشی از نشست حاصل از افت سطح آب زیرزمینی؛ روش عددی اجزای محدود به کمک نرم افزار

۳- آنالیز عددی نشست حاصل از افت سطح آب زیرزمینی و تأثیر آن بر لوله جدار چاه

افت منطقه ای سطح آب در یک محدوده وسیع معمولاً به تراکم چاههای بهره برداری و میزان نرخ آنها بستگی دارد. به عنوان مثال هنگامی که در یک ناحیه از حوزه آبریز، تراکم چاهها و نرخ بهره برداری آبهای زیرزمینی افزایش یابد، در صورت یکسان بودن شرایط لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی در تمام نواحی آن حوزه مطمئناً نرخ افت سطح آب در نواحی با تراکم چاه بالا بیش از نواحی دیگر خواهد بود. روند نرخ افت سطح آب با دور شدن از آن ناحیه به تدریج کاهش می یابد. این حالت معمولاً در غالب حوزه های آبریز باعث به وجود آمدن منحنیهای هم افت سطح آبهای زیر زمینی به صورتی که در شکل ۳ ملاحظه می شود، خواهد گردید.

همان گونه که از شکل ۳ نیز مشخص می باشد، افت سطح آب در مناطق مرکزی حوزه بیشتر از نواحی جانبی می باشد. در این



شکل ۴- نمایش سطح آب زیرزمینی در مقاطع بخش مرکزی و یال یک حوزه آبریز [۳۱]

که ابعاد مسائل، عمق لایه‌ها، تراز آب و افت سالانه سطح آب از گزارشها و کارهای تحقیقاتی انجام شده در این زمینه استخراج گردیده است [۲۲ و ۲۳]. در مورد دسته‌ای از مشخصات خاک و لوله جدار به کار رفته که در مناطق مذکور اندازه‌گیری نشده‌اند، مقادیر پیشنهادی کتب مرجع در این زمینه منظور گردیده است [۳۴-۳۷]. لازم به ذکر است در جدول ۱ مقادیر γ ، e_0 و ν به ترتیب ضریب ارتجاعی، نسبت پواسون، نسبت پوکوی و وزن مخصوص می‌باشند.

در شکل ۶ منحنی هم‌تراز نشست در جهت قائم مشاهده می‌گردد. اما نکته مهم در بررسی علل گسیختگی لوله جدار چاه آب معمولاً تغییر مکانهای افقی پیرامون چاه و فشار حاصله از این جابه‌جایی‌ها بر لوله جدار چاه می‌باشد. بدین منظور در ادامه جابه‌جایی‌های افقی حاصل از یک متر افت سطح آب در این حالت مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج حاصل، در شکل ۷ مشاهده می‌گردد.

ABAQUS به کار گرفته شد [۳۳]. در این تحقیق با توجه به موقعیت چاه در حوزه نشست از مدل‌های متفاوتی استفاده شد. مدل مورد استفاده در بخش مرکزی حوزه نشست به دلیل بارگذاری متقارن محوری لایه‌های مختلف تحت تحکیم، از نوع کرنش صفحه‌ای با تقارن محوری بود. اما در یال حوزه نشست با توجه به عدم بارگذاری متقارن به دلیل افت نامتقارن سطح آب در یک یال حوزه، از یک مدل سه بعدی استفاده شد. لازم به ذکر است، مدل به کار رفته در این تحقیق بر اساس معادلات همبسته تحکیم^۱ بود [۳۱].

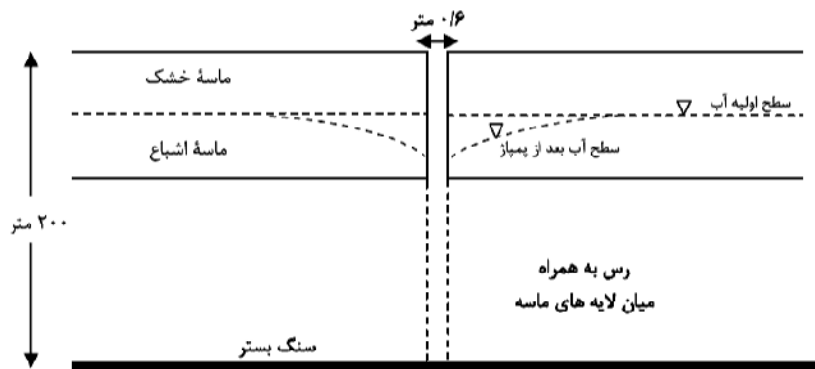
۳-۲- آنالیز نشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در بخش مرکزی حوزه‌های آبریز و تأثیر آن بر لوله جدار چاه

در این بخش با فرض دبی پمپاژ ۲ لیتر بر ثانیه، ضریب هدایت هیدرولیکی 1×10^{-5} متر بر ثانیه، افت سالیانه ۱ متر سطح آبهای زیرزمینی، میزان نشست و تأثیر آن بر لوله جدار چاه واقع در بخش مرکزی حوزه‌های آبریز مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است

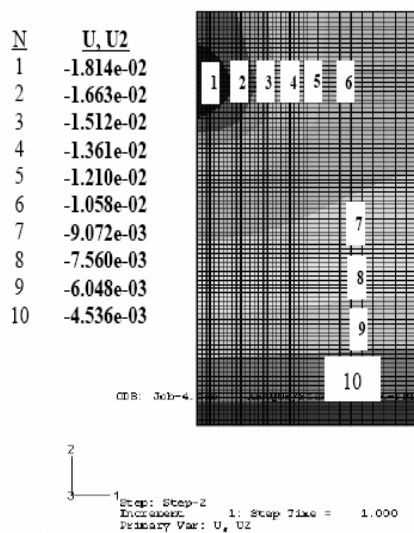
¹ Coupled Equations of Consolidation

جدول ۱- مشخصات لایه‌های سفره آبدار مورد نظر [۲۲]

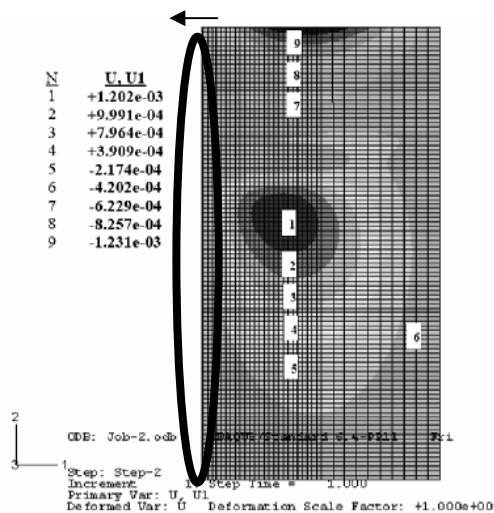
γ (KN/m^3)	e_0	C_c	ν	E (KN/m^2)	نام لایه
۱۹	۰/۴۳	۰/۰۷	۰/۲۵	۳۰۰۰۰	ماسه خشک
۲۰/۸	۰/۴۳	۰/۰۷	۰/۲۵	۳۰۰۰۰	ماسه اشباع
۱۹/۶	۰/۶۷	۰/۶۱	۰/۳	۷۵۰۰	رس ماسه دار اشباع
۱۵/۷	۰/۶۷	۰/۶۱	۰/۳	۷۵۰۰	رس ماسه دار



شکل ۵- افت سطح آب در اطراف یک چاه پمپاژ [۲۲]



شکل ۶- منحنیهای هم تراز جابه جایی قائم ناشی از افت ۱ متر سطح آب زیرزمینی پیرامون یک چاه آب [۳۱]



شکل ۷- منحنیهای هم تراز جابه جایی افقی ناشی از افت ۱ متر سطح آب زیرزمینی پیرامون یک چاه آب [۳۱]

همان گونه که در منحنی مذکور نیز مشخص است، در بخش دیواره چاه آب (سمت چپ مدل) جابه‌جایی‌هایی به سمت محور چاه صورت گرفته است (بیضی سیاه رنگ شکل ۷). با توجه به متقارن بودن مدل می‌توان نتیجه گرفت که جابه‌جایی‌های افقی به سمت محور چاه باعث اعمال نیروهای فشاری از دیواره چاه بر لوله جدار می‌گردد. بنابراین در مرحله بعد نیروهای فشاری حاصل از این نشست محاسبه گردید که در شکل ۸ ملاحظه می‌گردد.

همان طور که در شکل ۸ نیز مشخص است به واسطه نشست رخ داده در بخش دیواره چاه نیروهای فشاری القایی به وجود می‌آید. در ادامه به بررسی تأثیر این نوع نیروها که در فرآیند بررسی گسیختگی لوله جدار چاههای آب یکی از گامهای مهم به شمار می‌آید، پرداخته شده است [۳۱].

۳-۳- تحلیل مقاومت فرو روندگی لوله جدار چاه آب در برابر فشارهای حاصل از دیواره چاه

همان گونه که در بخش قبل نیز ملاحظه گردید، لوله جدار چاه در اثر نشست حاصل از پمپاژ یک چاه تحت فشارهای همه جانبه از طرف دیواره چاه می‌باشد. به منظور بررسی مقاومت یا عدم مقاومت لوله جدار در برابر این نوع نیروها، ابتدا می‌بایست مقاومت فرو روندگی لوله جدار محاسبه شود. در این بخش از روش عددی اجزای محدود برای محاسبه مقاومت فرو روندگی لوله جدار مورد نظر بهره گرفته شد. ابتدا با توجه به نسبت (D/t) لوله جدار مورد نظر، فرم فرو روندگی لوله جدار مورد نظر مشخص گردید. بر اساس مشخصات ارائه شده در جدول ۲ نسبت (D/t) برابر با ۵۰ می‌باشد،

بنابراین با توجه به اینکه این نسبت از ۴۵ بزرگتر می‌باشد، پس شکل فرو روندگی لوله جدار مورد نظر به شکل الاستیک است و می‌بایست از روش تحلیلی فرو روندگی الاستیک استفاده شود [۳۱].

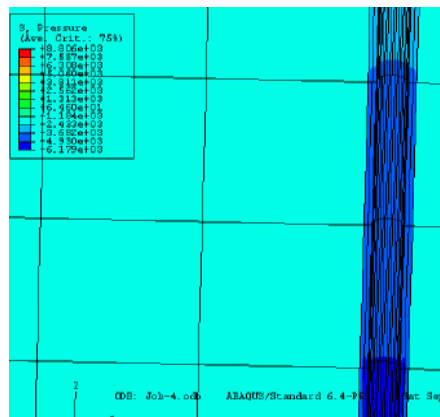
لازم به ذکر است که لوله جدارهای مورد استفاده در کشور غالباً بر اساس مشخصات مذکور و استاندارد ASTM A 53 می‌باشد.

۳-۳-۱- محاسبه مقاومت فرو روندگی لوله جدار به روش اجزاء محدود

یکی از مزایای مهم نرم افزار ABAQUS وجود ماژول خاک^۱ در آن می‌باشد، که امکان بررسی محیط‌هایی که ترکیبی از جنس‌های مختلف همچون سنگ، خاک و فلز است را به وجود می‌آورد. در این نرم افزار هنگامی که شکل فرو روندگی الاستیک باشد، یا به عبارت دیگر رفتار مواد به صورت خطی (تغییر مکان کوچک) تغییر کند، روش حلی به نام روش Bukle پیشنهاد شده است، که الگوریتم‌های محاسباتی آن برای تحلیل پروسه فرو روندگی در این حالت مناسب می‌باشد. در این روش تنها شکل فرو روندگی و خرابی به کار برارائه می‌شود. سپس با معرفی یک مقدار به نام مقدار ویژه و ضرب آن در مقدار باری که به مدل اعمال شده است، می‌توان مقدار بار فرو روندگی مدل را به دست آورد [۳۲].

در این بخش مقاومت فرو روندگی لوله، بر اساس روش

^۱ Soil



شکل ۸- منحنیهای هم- پتانسیل، ناشی از افت ۱ متر سطح آب زیرزمینی در دیواره چاه آب [۳۱]

جدول ۲- مشخصات هندسی و مکانیکی لوله جدار فولادی بر اساس استاندارد ASTM A 53

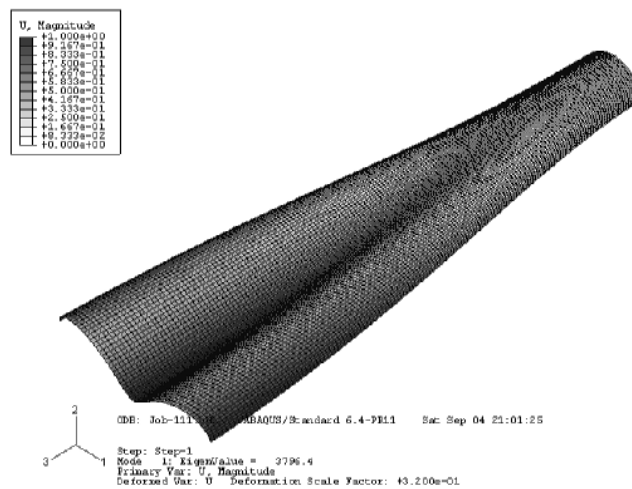
ضخامت (متر)	قطر (متر)	ضریب پواسون	ضریب ارتجاع (MPa)	تنش تسلیم (MPa)
۰/۰۰۸	۰/۴	۰/۳	۲۵۵	۲۰۰

گسیختگی لوله جدار زمانی به یک بحران تبدیل می‌شود که در مدت زمان کمتر از عمر استاندارد یک چاه، که معمولاً بیش از ۳۰ سال می‌باشد، رخ دهد لذا در ادامه با فرض افزایش دبی چاه به میزان ۴۰ لیتر بر ثانیه، و افت سالیانه ۱ متر سطح آب، مقادیر جابه‌جایی افقی و فشارهای حاصل از نشست ناشی از افت ۳۰ متر سطح آب زیرزمینی در اطراف یک چاه پمپاژ نیز مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج حاصل از آن در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌گردد [۳۱].

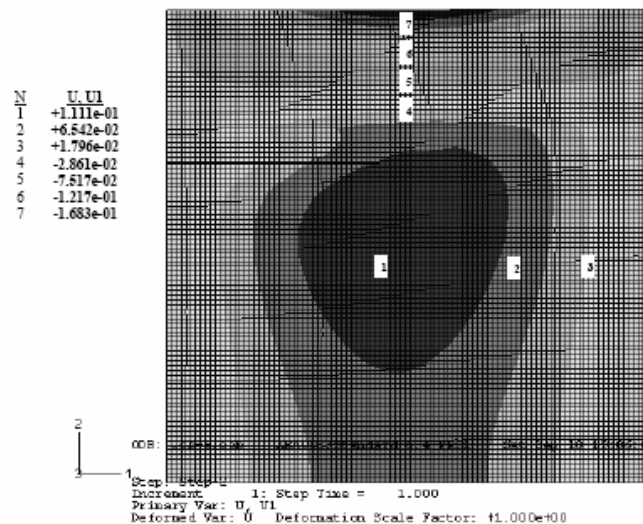
در نهایت فشارهای حاصل از افت سطح آبهای زیرزمینی در اطراف یک چاه آب به میزان ۱ متر و ۳۰ متر محاسبه گردیده است و با مقاومت فرو روندگی محاسبه شده لوله جدار مقایسه شده است.

پیشنهادی Bukle محاسبه گردید. جدول ۲ شامل مشخصات لوله جدار فولادی است و بار اعمال شده بر لوله ۱kPa بود. ضمناً در این تحلیل با توجه به متقارن بودن هندسه لوله و بار اعمال شده بر لوله جدار فقط نیمی از لوله جدار تحت بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این آنالیز در شکل ۹ مشاهده می‌گردد.

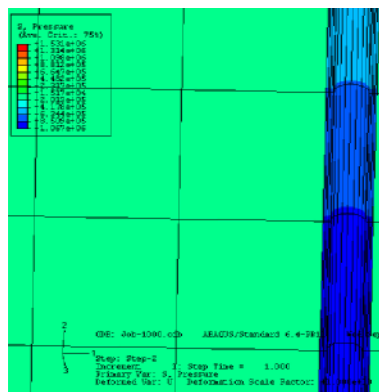
حالا با توجه به مشخص شدن مقاومت فرو روندگی لوله جدار می‌توان تأثیر فشارهای حاصل از نشست را بر لوله جدار بررسی کرد. همان طور که قبلاً نیز ملاحظه گردید، میزان نشست و فشارهای حاصل از نشست ناشی از افت ۱ متر سطح آب زیرزمینی در اطراف یک چاه پمپاژ مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که پدیده



شکل ۹- تغییر شکل الاستیک لوله جدار کور با ضخامت ۸ میلی‌متر [۳۱]



شکل ۱۰- منحنیهای هم‌تراز جابه‌جایی افقی ناشی از افت ۳۰ متر سطح آب زیرزمینی پیرامون یک چاه آب [۳۱]



شکل ۱۱- منحنیهای هم- پتانسیل ناشی از افت ۳۰ متر سطح آب زیرزمینی در دیواره چاه آب [۳۱]

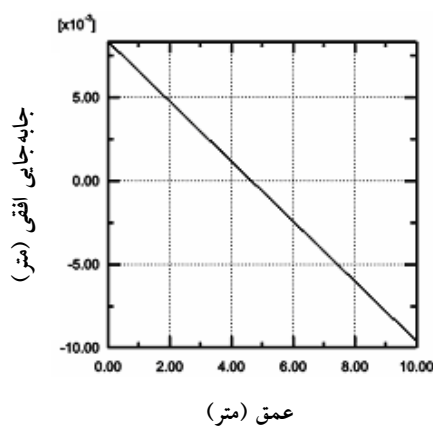
جدول ۳- مقایسه میان مقاومت فرو روندگی لوله و فشار اعمالی از دیواره چاه [۳۱]

۳/۷۹	مقاومت فرو روندگی لوله جدار کور به روش عددی اجزاء محدود (MPa)
۰/۰۰۶۲	حداکثر فشار حاصل در دیواره چاه ناشی از افت ۱ متر سطح آبهای زیرزمینی به روش عددی اجزاء محدود (MPa)
۱/۰۷	حداکثر فشار حاصل در دیواره چاه ناشی از افت ۳۰ متر سطح آبهای زیرزمینی به روش عددی اجزاء محدود (MPa)

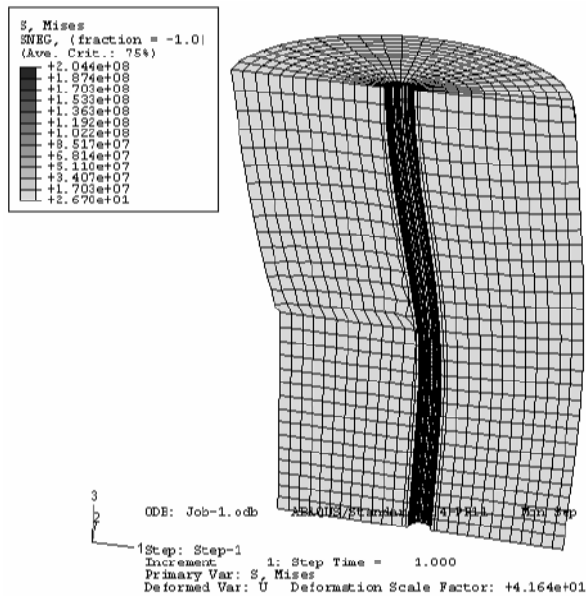
همانند جدول ۱ می باشد. همان گونه که قبلاً نیز اشاره گردید، نکته مهم در بررسی علل گسیختگی لوله جدار معمولاً تغییر مکانهای افقی پیرامون چاه و تأثیر این جابه جاییها بر لوله جدار چاه می باشد. در این تحقیق نیز ابتدا میزان جابه جاییهای افقی ناشی از افت نامتقارن ۱ متر سطح آب زیرزمینی محاسبه گردید. سپس میزان جابه جاییهای حاصله بر لوله جدار چاه اعمال گردید تا تنش اعمالی از این جابه جاییها بر لوله جدار مشخص گردد. در ادامه این روند تا افت ۹ متر سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج حاصل در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مشاهده می گردد.

۳-۴- آنالیز نشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در یال حوزه های آبریز و تأثیر آن بر لوله جدار چاه

در این بخش با فرض افت سالیانه ۱ متر سطح آبهای زیرزمینی، میزان نشست و تأثیر آن بر لوله جدار چاه واقع در بخش جانبی (یال) حوزه های آبریز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین افت سطح آب حاصل از پمپاژ چاه هم ۱ متر در نظر گرفته شد. مدل استفاده شده در این بخش با توجه به عدم بارگذاری متقارن به دلیل افت نامتقارن سطح آب در یک یال حوزه، یک مدل سه بُعدی در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که مشخصات فیزیکی، مکانیکی



شکل ۱۲- نمودار میزان جابه جایی حاصل از افت ۹ متر سطح آب زیرزمینی [۳۱]



شکل ۱۳- منحنیهای هم تراز تنش ناشی از جابه‌جایی‌های حاصل از افت منطقه ای ۹ متر سطح آب زیرزمینی در لوله جدار کور [۳۱]

۴- نتیجه گیری

۱- منحنیهای هم تراز جابه‌جایی قائم نشان دهنده جابه‌جایی سازند پیرامون چاه به سمت پایین یا به عبارت دیگر نشست زمین اطراف چاه آب می‌باشد.

۲- منحنیهای هم تراز جابه‌جایی افقی نشان دهنده جابه‌جایی سازند پیرامون چاه (در سرتاسر عمق چاه) به سمت محور چاه و ایجاد نیروهای فشاری بر لوله جدار درون چاه می‌باشد.

۳- حداکثر نیروی حاصله در دیواره چاه که از نشست حاصل از افت ۳۰ متر سطح آب حاصل می‌شود هم از میزان مقاومت فروروندگی لوله جدار کمتر بوده است.

۴- با توجه به موارد مذکور می‌توان گفت که مشکلات ناشی از

نشست زمین بر لوله جدار چاهها در حالت افت متقارن و یکنواخت سطح آبهای زیرزمینی معمولاً کماتش و یا بیرون زدگی لوله جدار به واسطه جابه‌جایی‌های قائم پیرامون چاهها که ناشی از تراکم لایه‌های اطراف است، می‌باشد.

۵- افت سطح آب در یالهای حوزه آبریز مورد نظر باعث ایجاد جابه‌جایی‌هایی در خلاف جهت در دیواره چاه می‌شود. این جابه‌جایی‌ها حاصل از لغزش لایه‌های فوقانی لایه رسی می‌باشد. در حوزه آبریز مورد بررسی در این تحقیق، با افزایش افت نامتقارن سطح آب به مقدار ۹ متر تنش حاصل در لوله جدار چاه برابر با $204/4$ MPa می‌گردد، که این مقدار از تنش تسلیم لوله جدار فولادی (۲۰۰ MPa) بیشتر می‌باشد.

۵- مراجع

- 1- Roscoe Moss Co. (1989). *Handbook of groundwater development*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.
- 2- Bruno, M.S. (2001). "Geomechanical analysis and decision for mitigation related casing damage." SPE 71695.
- 3- Bell, F.G. (1987). *Subsidence, ground engineer's reference book*, F.G. Bell, ed., 1st Ed., Butterworths and Co. Publishers.
- 4- Scott, R.F. (1979). "Subsidence-a review in evaluation and prediction of subsidence." S.K. Saxema, ed., *Proc., Conf. ASCE*, Gainesville, 1-25.
- 5- Lofgren, B.N. (1968). "Analysis of stress causing land subsidence." *U.S. Geol. Surv., Proc. Paper* 600-B, 219-225.

- 6- Lofgren, B.E. (1979). "Changes in aquifer-system properties with ground water depletion." *Proc., International Conference on Evaluation and Prediction of Land Subsidence*, Pensacola, American Society of Civil Engineers, 26- 46.
- 7- Belitz, K., and Phillips, S.P. (1995). *Alternatives to agricultural drains in California's San Joaquin Valley: Results of a regional-scale hydrogeologic approach*, US Geological Survey Open-File Report 91-535, 71.
- 8- Rudolph, D.L., and Frind, E.O. (1991). "Hydraulic response of highly compressible aquitards during consolidation." *Water Resources Research*, 27 (1), 17-30.
- 9- Ortega-Guerrero, A., Rudolph, D.L., and Cherry, J.A.(1999). "Analysis of long-term land subsidence near Mexico City: Field investigations and predictive modeling." *Water Resources Research*, 35 (11), 3327-3341.
- 10- Hua, Z., Tiezhu, L., and Xinhong, L.(1993). "Economic benefit risk assessment of land subsidence in Shanghai." *Environmental Geology*, 21, 208-211.
- 11- Holzer, T.L. (1989). "State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas." *Engineering Geology*, 27, 449- 466.
- 12- Ireland, R.L., Poland, J.F., and Riley, F.S. (1984). *Land subsidence in the San Joaquin Valley, California, as of 1980*, US Geological Survey Professional Paper, 437-I, 93.
- 13- Larson, K.J., Başağaoğlu, H., and Mariño, M.A. (2001). "Prediction of optimal safe groundwater yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model." *J. Hydrology*, 242, 79-102.
- 14- Bitelli, G., Bonsignore, F., and Unguendoli, M. (2000). "Leveling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley." *J. Geodynamics*, 30 (3), 355-369.
- 15- Bell, F.G. (1983). *Fundamentals of engineering geology*, Butterworth & Co. publishers ltd.
- 16- Carillo, N. (1984). "Influence of artesian wells on the sinking of Mexico City." *Proc., 2nd Int. Conf. Soil Mech. Foundation Engg, Rotterdam*, 3, 156-159.
- 17- Booker, J.R., Small, J.C., and Carter, J.P. (1985). "Prediction of subsidence caused by pumping of groundwater." *Proc., 21st the IAHR congress*, Melbourne, Australia, 130-134.
- 18- Poland, J. F. (1984). *Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal*, International Hydrological Programme Working Group 8.4, UNESCO, Studies and Reports in Hydrology, No. 40, Paris, 305.
- 19- Poland, J.F. (1984). *Guide book to study of land subsidence due to groundwater withdrawal*, 1st Ed., 175-184.
- 20- Trinh, M. T., and Fredlund, D. G. (2000). "Modelling subsidence in the Hanoi City area, Vietnam." *J. Can. Geotech*, 37, 621-637.
- ۲۱- کریمی نسب، س. (۱۳۸۳). گزارش تحقیقی پروژه بررسی علل گسیختگی لوله جدار چاههای آب شهر مشهد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۲۲- رحمانیان، د. (۱۳۷۳). نشست زمین بر اثر بهره برداری از آبهای زیرزمینی در کرمان، شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، کرمان.
- ۲۳- رحمانیان، د. (۱۳۶۵). "نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آبهای زیرزمینی در کرمان." م. آب، کرمان.
- 24- Ajalloeian, R., and Bahadoran, B. (1998). "Ground subsidence due to percolating and pumping water (case studies in Iran)." *Proc., The 19th Asian Conference on Remote Sensing*, Manila.

- 25- Mousavi, S. M., Shamsai, A., EI Naggar, M. H., and Khamehchian, M. (2001). "A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran." *Can. J. Civ. Eng.*, 28(3), 452-464.
- 26- Addis, M.A., Choi, X., and Gunning, J. (1998). "The influence of the reservoir stress-depletion response on the lifetime considerations of well completion design." Eurock '98, Vol. 1, *Proc., SPE/ISRM, Rock Mechanics in Petroleum Engineering*, 441-443.
- 27- Nagel, N.B. (2001). "Compaction and subsidence issues within the petroleum industry: From Wilmington to Ekofisk and beyond." *Phys. Chem. Earth (A)*, 26 (1-2), 3-14.
- 28- Geertsma, J.(1973). "Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs." *J. Pet. Technol.*, 25, 734-744.
- 29- Chin, L., Boade, R.R., Prevost, J.H., and Landa, G.H. (1993). "Numerical simulation of shear-induced compaction in the Ekofisk reservoir." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 30 (7), 1193-1200.
- 30- Bruno, M.S. (1990). "Subsidence-induced well failure." *Proc., 60th Annu. SPE Calif. Reg. Mtg. (Ventura, Calif., 90.04.04-06)*, 383-390, (SPE-20058).
- ۳۱- آل خمیس، ر. (۱۳۸۴). "بررسی تأثیر نشست حاصل از بهره برداری آبهای زیرزمینی بر لوله جدار چاههای آب." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- 32- Lambe, T.H., and Withman, R.V.(1969). *Soil mechanics*, 1st Ed., John Wiley, & Sons, New York.
- 33- *ABAQUS/Standard Version 6.2.5*. (2001). © Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, RI , <<http://www.abaqus.com/>> , 2001.
- 34- Poland, J.f., and Working group. (1984). *Mechanics of land subsidence due to fluid withdrawal, Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal*, 1st Ed., McGraw-Hill, New York.
- 35- Bowles, J. (1979). *Physical and geotechnical properties of soils*, 1st Ed., McGraw-Hill, New York.
- ۳۶- نجمایی، م. (۱۳۶۹). *میدرولوژی مهندسی*. چاپ اول، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- 37- Terzaghi, K., and Peck, R. B. (1976). *Soil mechanics in engineering practice*, 1st Ed., John Wiley & Sons, New York.