



Impact of the Groundwater Drawdown on The Instability and Deterioration of Water Well Screens

M.R. Ghafouri^{1*}, A. Shamohammadi²,
G.A. Kazemi³, K. Moradi Harsini⁴ and H. Sharafi⁵

Abstract

Vertical effective stress (σ'_v) as well as horizontal effective stress (σ'_h) are increased when groundwater levels declines. This in turn increases the stresses on the water well casings and screens resulted in deteriorated and ruptured casing/screens. In this research, the impact of water level drawdown on the increasing stresses on the water well casings is investigated. By studying yield strength of casings and screens, and the stresses imposed by the aquifer materials on them, it has been found that the stresses gradually increases during water table drawdown. Critical drawdowns can even destroy and break the casings/screens. The effect of diameter, thickness, and the slot specifications of the screens on their strength has also been assessed in this study. Based on the results, it is a worthwhile practice to use small diameter, thick casings/screens, with large number of slots, and thick filter packs for the problematic plains; plains with a high rate of well destructions.

Keywords: Effective stress, Pore water pressure, Yield strength, Water well deterioration, Water casing.

Received: April 24, 2012

Accepted: June 22, 2013

ارزیابی تأثیر افت سطح ایستابی بر ناپایداری و تخریب اسکرین‌های چاه‌های آب

محمدرضا غفوری^{۱*}، اعظم شامحمدی^۲، غلامعباس کاظمی^۳،
کاظم مرادی هرسینی^۴ و هانیه شرفی^۵

چکیده

با افت سطح آب زیرزمینی، تنش موثر عمودی وارده بر لوله‌های جدار چاه (σ'_v) افزایش یافته و به همراه آن تنش موثر افقی (σ'_h) نیز افزایش می‌یابد که این افزایش تنش به لوله‌های جدار چاه‌های آب و اسکرین‌ها نیرو وارد نموده و می‌تواند موجب تخریب و گسیختگی لوله‌های جدار شود. در این تحقیق به بررسی نقش افت سطح ایستابی در افزایش تنش‌های وارده بر لوله‌های جدار و اسکرین‌های چاه‌های آب پرداخته شده است. در بررسی مقاومت تسلیم لوله‌های جدار و اسکرین‌ها و تلفیق محاسبات با مقادیر تنش‌های وارده از سفره به لوله‌ها، مشخص گردید که با افزایش افت سطح ایستابی به تدریج تنش‌های وارده بیشتر شده و در افت‌های بحرانی می‌تواند موجب تخریب لوله‌های جدار و اسکرین‌ها گردد. همچنین در این تحقیق نقش قطر، ضخامت و تعداد شکافها بر مقاومت اسکرین‌ها ارزیابی شده است. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌گردد که در دشت‌های مسئله‌دار که آمار تخریب‌ها بالا بوده و افت سطح ایستابی زیادی دارند، برای افزایش مقاومت لوله‌ها، تا حد ممکن از لوله‌های جدار با قطر کمتر، ضخامت بیشتر ولی تعداد شکاف اسکرین‌های بیشتر و ضخامت فیلترپک بزرگتر استفاده گردد.

کلمات کلیدی: مقاومت تسلیم، فشار آب منفذی، تخریب چاه‌های آب، تنش موثر، لوله جدار.

تاریخ دریافت مقاله: ۵ اردیبهشت ۱۳۹۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱ تیر ۱۳۹۲

1- M.sc.in Hydrogeology, Shahrood University, Iran, Email: mrgh.ghafouri@gmail.com

2- Msc in Engineering Geology, Sazeh Pardazi Iran Consulting Engineering Co, Tehran, Iran.

3- Ph.D in Hydrogeology, Shahrood University of Technology, Dep of Geosciences, Shahrood, Iran.

4- Ph.D in Engineering Geology, Sazeh Pardazi Iran Consulting Engineering Co, Tehran, Iran.

5- M.sc. in Economic Geology, Kharazmi University, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران، تهران، ایران.

۳- دکترای هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۴- دکترای زمین‌شناسی مهندسی، مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران، تهران، ایران.

۵- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

در طی این پژوهش‌ها نکات مهم در طراحی و تجهیز ساختمان چاهها و دستورالعمل‌های نگهداری و مرمت آنها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تحقیقات دیگری مانند Lofgren (1979), Rudolph and Frind (1991), Larson et al. (2001), Carillo (1984), Booker et al. (1985), Ajalloeian and Bahadoran (1998) و Mousavi et al. (2001) در بررسی کیفی نقش برداشت آب زیرزمینی و تاثیرات آن در فرونشست زمین انجام شده است. در این تحقیقات ارتباط بین برداشت آب و نشست زمین به صورت کمی و کیفی مورد بحث قرار گرفته اما تأثیر آنها بر تخریب چاه‌های آب به صورت کمی مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

آل‌خمیس و همکاران (۱۳۸۵) تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله‌های جدار را با روش عددی المان محدود در حالت‌های دو و سه بعدی با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی ژئومکانیکی ABAQUS مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مکانیسم ایجاد مخروط افت باعث پدید آمدن دو حالت گسیختگی در لوله جدار می‌گردد. در یال این مخروط، رسوبات ماسه‌ای فوقانی می‌توانند به سمت مرکز مخروط بر روی رسپهای نرم بلغزند و باعث خمش در لوله جدار گردند. در حالت دوم، با گذشت زمان و افزایش افت سطح ایستابی، تراکم رس‌ها بیشتر و باعث نشست در مرکز مخروط افت می‌شود که در این وضعیت لوله جدار دچار کماتش می‌گردد.

همانطور که در بالا ذکر شد علیرغم تحقیقات مختلف در مورد مشکلات و مسائل چاه‌های آب، نقش کمی افت سطح ایستابی در تخریب چاه‌های آب دشت‌های مسئله‌دار مورد بررسی قرار نگرفته و لذا در این پژوهش به صورت کمی به بررسی تئوری نقش افت سطح ایستابی در افزایش تنش‌های وارده بر لوله‌های جدار و اسکرین‌ها و حدود مقاومت لوله‌های فولادی مورد استفاده در چاه‌ها پرداخته شده است. لازم به ذکر است که کلیه محاسبات مقاومت اسکرین‌ها و بررسی نقش افت سطح ایستابی در تغییر تنش‌های موثر افقی در محیط برنامه MATLAB-2007b کدنویسی و محاسبه گردیده است.

۲- تغییرات تنش موثر خاک و تأثیر آن روی اسکرین‌ها در اثر افت سطح آب زیرزمینی

تنش کل (σ) در نهشته‌های اشباع یا نیمه اشباع توسط ساختمان دانه‌ها و آب منفذی تحمل می‌شود. برداشت آب زیرزمینی و زهکشی

امروزه به دلیل نیاز به آب بیشتر، سالانه میلیاردها مترمکعب آب زیرزمینی از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق پمپاژ و از آبخوان‌ها استخراج می‌شود. همواره و تا به امروز مشکلاتی در بهره‌برداری از چاه‌ها وجود داشته که خود موجب تخریب ساختار، ناکارآمدی سیستم، عدم اطمینان خاطر در استفاده از آن و تحمیل زیان‌های مالی زیاد به ویژه در بخش کشاورزی شده است. در سال‌های اخیر نشست همراه با افت سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از آبخوان‌های کشور گزارش گردیده است. در اثر برداشت زیاد و افت بیش از حد آب، دشت‌های مهمی مانند دشت رفسنجان، کبودر آهنگ - فامنین همدان، سنجایی - روانسر کرمانشاه و دشت ورامین با مشکل نشست زمین، ماسه‌دهی و تخریب چاه‌ها همراه هستند (غفوری، ۱۳۸۹؛ ابراهیمی لویه، ۱۳۸۷). در بیشتر دشت‌های کشور به خصوص در دشت‌های سلماس و شبستر، گرگان و ترکمن صحرا، دشت خاش از حوضه تفتان و دشت سراب و تبریز، تخریب زودرس و ناپایداری چاه‌های آب زیرزمینی، از مشکلات و عوامل بروز خسارات فراوان به کشاورزان می‌باشد (اصغری مقدم و افزون، ۱۳۷۴؛ احمدی عامله، ۱۳۸۴؛ شاهی دشت و عباس‌نژاد، ۱۳۸۹).

طبق آمارهای موجود در دشت شبستر استان آذربایجان شرقی، ۱۰۸ حلقه چاه از ابتدای سال ۱۳۸۳ تا پایان شش ماهه نخست سال ۱۳۸۸ بر اثر نقص فنی از رده خارج و حدود ۲۵۲ حلقه چاه دارای کاهش قابل توجه آبدهی شده‌اند. در این دشت، اغلب عمر چاه‌ها به بیش از ۳ سال نمی‌رسد و چه بسا در موارد متعددی در همان ماه‌های اولیه بهره‌برداری به سبب سوختن پمپ‌ها و یا شکست لوله‌ها و فرو افتادن آن‌ها به درون چاه با مشکل مواجه می‌شوند (غفوری و همکاران، ۱۳۸۹). آثار افت ۶۰ متری آب زیرزمینی در طی ۴۰ سال برداشت بی‌رویه در دشت مشهد به صورت گسیختگی و کج شدگی لوله‌های جدار نمایان بوده و موجب ایجاد مشکلاتی برای کشاورزان گردیده است (غفوری و مداح، ۱۳۸۹؛ افشار و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات کیفی بسیاری درباره نقش افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین و تأثیر آن در تخریب لوله‌های جدار چاه‌های آب و سایر عوامل اثرگذار بر عملکرد چاه‌ها انجام شده است (به عنوان مثال: غفوری و مداح، ۱۳۸۹؛ افشار و همکاران، ۱۳۸۹). یکی از مهمترین عوامل کاهش بازدهی چاه‌ها پوسته‌گذاری و گرفتگی منافذ تشکیلات اطراف چاه و فیلتر شنی می‌باشد. در این زمینه تحقیقات متعددی از جمله Van Beek et al. (2009), Bradford et al. (1995), Blackwell et al. (2005) و Juhasz et al. (2004) و Breedveld (2007) انجام شده است که

$$\sigma'_{vf} = D_2 \gamma_{Soil} + h_2 (\gamma_{SatSoil} - \gamma_w) \quad KN/m^2 \quad (3)$$

$$\Delta \sigma'_v = \sigma'_{vf} - \sigma'_{vi} = \Delta h \gamma_{Soil} - \Delta h (\gamma_{SatSoil} - \gamma_w) \quad KN/m^2 \quad (4)$$

که در این روابط: h_1 و h_2 (بر حسب متر)؛ به ترتیب ارتفاع سطح آب زیرزمینی از سطح مبنا قبل و بعد از افت، Δh ؛ میزان افت سطح آب زیرزمینی بر حسب متر، D_1 و D_2 ؛ به ترتیب عمق سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از افت (بر حسب متر)، γ_{Soil} و $\gamma_{SatSoil}$ ؛ وزن مخصوص خاک خشک و اشباع (بر حسب KN/m^3)، σ'_{vi} ؛ تنش مؤثر قائم اولیه در عمق معین (بر حسب KN/m^2)، σ'_{vf} ؛ تنش مؤثر قائم در همین عمق پس از افت سطح آب زیرزمینی (بر حسب KN/m^2)، و $\Delta \sigma'_v$ ؛ افزایش تنش مؤثر در عمق معین پس از افت سطح آب زیرزمینی به اندازه Δh می‌باشد. با توجه به اینکه تنش‌های مؤثر عمودی (σ'_v) وارده در سفره آب زیرزمینی هم‌راستا با لوله‌های جدار چاه‌ها می‌باشند بدین‌رو برآورد مولفه تنش مؤثر افقی (σ'_h) که می‌تواند به عنوان یک نیروی برشی یا فشارشی در سطوح عمود بر لوله‌جدار عمل نماید و موجبات شکست، پارگی و لهیدگی لوله‌ها را فراهم آورد لازم است. ضریب تنش جانبی که با توجه به جنس رسوبات و داشتن زاویه اصطکاک داخلی قابل محاسبه است از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = 1 - \sin \varphi \quad (5)$$

بنابراین:

$$K \cdot \sigma'_v = \sigma'_h \quad KN/m^2 \quad (6)$$

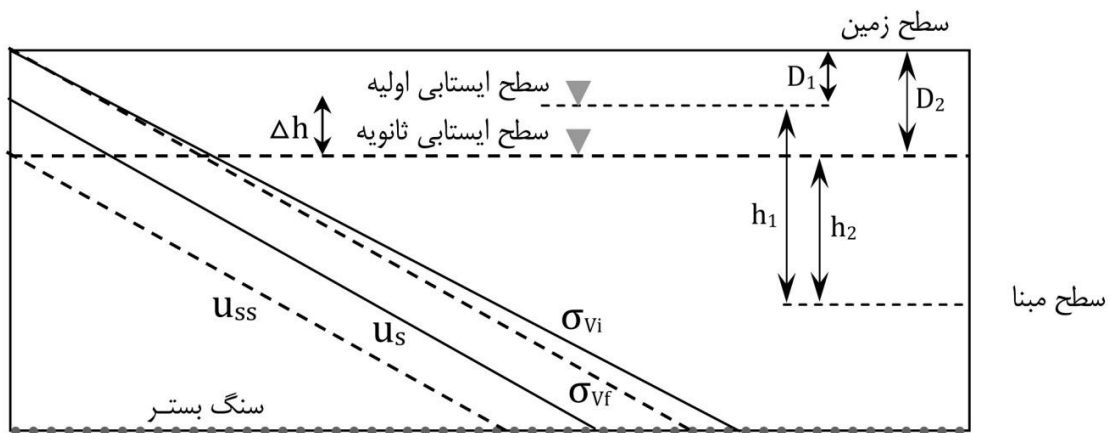
حال چنانچه مجموع تنش مؤثر افقی پیشین در یک عمق خاص و افزایش تنش مؤثر افقی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در آن عمق از مقاومت لهیدگی یا مقاومت تسلیم لوله‌های جدار و اسکری‌ها بیشتر شود موجب لهیدگی و شکست لوله‌ها یا باز شدن دهانه شکاف‌های اسکری‌ها خواهد گردید (شکل ۲).

آب از حفرات منجر به کاهش فشار آب منفذی (u) می‌شود که این پدیده به معنی انتقال تدریجی تنش از آب منفذی به دانه‌ها و ساختمان خاک است (Bell, 1987). با از بین رفتن خاصیت شناوری ذرات جامد، تنش مؤثر (σ') وارد بر دانه‌های خاک و لایه‌های زیرین خاک، که ناشی از وزن طبقات فوقانی است، افزایش می‌یابد. در صورت عدم تحمل دانه‌های خاک، این افزایش فشار به نوبه خود موجب تحکیم و تراکم لایه‌های ریزدانه خاک و در نتیجه نشست زمین می‌گردد. بطور کلی تحکیم نتیجه‌ای از افزایش تنش مؤثر می‌باشد. مطابق شکل ۱ قبل از افت سطح آب، فشار آب منفذی برابر با فشار هیدرواستاتیک است ($u = u_s$) و پس از گذشت زمان زیادی از افت سطح آب، فشار آب منفذی حالت پایدار^۱ به خود می‌گیرد ($u = u_{ss}$). با کاهش u و با این فرض که تغییر وزن مخصوص خاک در اثر افت آب ناچیز است، تغییرات σ ناچیز بوده، بنابراین σ' در لایه‌های خاک افزایش می‌یابد.

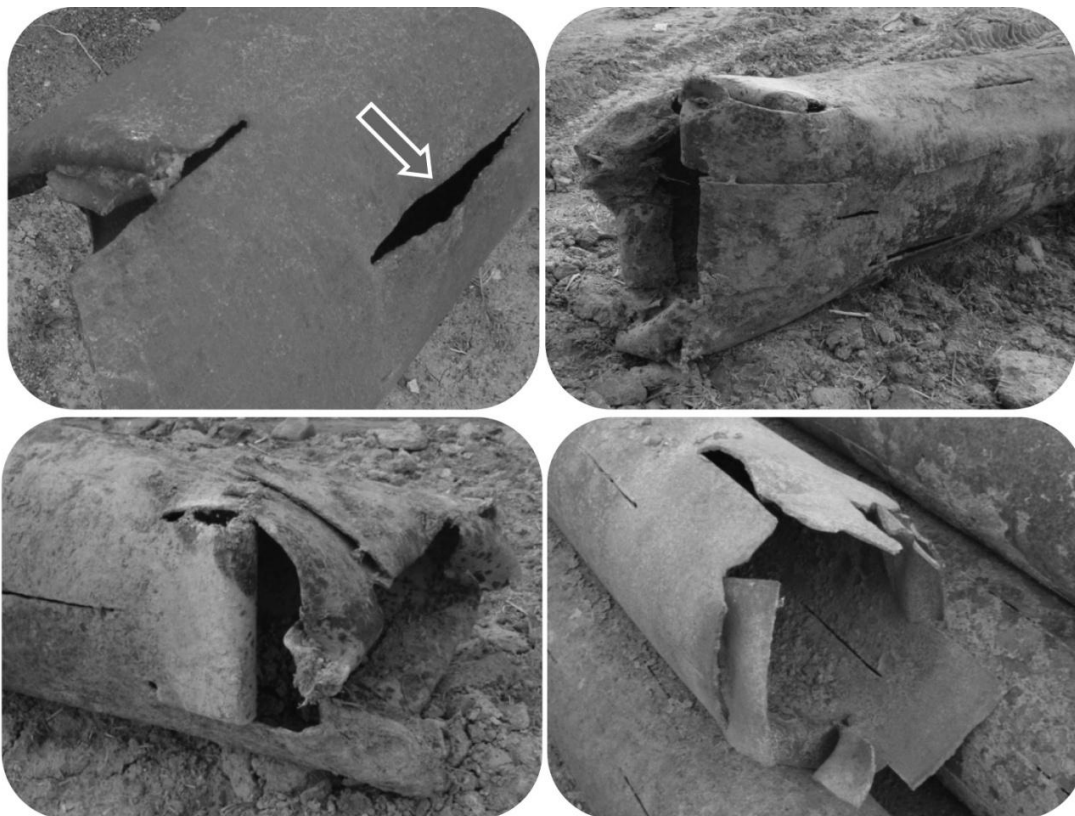
با فرض یک سطح مجازی افقی در عمقی که چاه دچار مشکل گردیده است (به طور مثال سطح مبنا در شکل ۱)، دیده می‌شود که تنش کل وارد بر این سطح، بار قائم ناشی از وزن طبقات بالایی آن می‌باشد و علاوه بر آن، نیروی فشار هیدرواستاتیک آب زیرزمینی نیز به سمت بالا بر این سطح اثر می‌کند. نمودارهای تنش کل و فشار آب منفذی قبل و بعد از افت سطح آب در شکل ۱ ارائه شده است. مطابق این شکل، افزایش تنش مؤثر در اثر افت سطح آب زیرزمینی، در سطوح زیرین تراز نهایی آب زیرزمینی ثابت و برابر کاهش فشار هیدرواستاتیکی است که در اثر افت سطح آب حاصل می‌شود. تغییرات تنش مؤثر ناشی از افت سطح آب زیرزمینی به اندازه Δh را در سطح مبنا می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد (داس، ۱۹۴۱):

$$\Delta h = \Delta D_1 - h_2 = D_2 - D = h_1 \quad m \quad (1)$$

$$\sigma'_{vi} = D_1 \gamma_{Soil} + h_1 (\gamma_{SatSoil} - \gamma_w) \quad KN/m^2 \quad (2)$$



شکل ۱- پروفیل‌های تنش کل (σ) و فشار آب منفذی (u) قبل (خطوط پر) و بعد (خطوط خط چین) از افت سطح آب زیرزمینی (کیومرثی، ۱۳۸۱)



شکل ۲- اسکرین‌های تخریب شده در چاه عطاخانی روستای زیناب دشت شبستر - صوفیان (لایه آبدار ریزدانه)

۳- بررسی مقاومت تسلیم (گسیختگی) لوله‌های جدار و اسکرین‌های چاه آب

لوله‌های مختلف مورد استفاده در چاه‌های آب در تنوع مختلفی از جنس‌ها شامل انواع لوله‌های فولادی، ترموپلاستیک، فایبرگلاس، لوله‌های سیمانی و لوله‌های سیمانی آزیستی می‌باشند که تا به امروز لوله‌های فولادی معمول‌ترین نوع مورد استفاده در چاه‌های آب کشور ما بوده‌اند. مقاومت لوله‌های فولادی مطابق با ترکیب شیمیایی و شیوه‌های ساخت آن متغیر است (Driscoll, 1986; Roscoe Moss Co, 1989). مقاومت لوله‌های فولادی در مقابل گسیختگی و لهیدگی، تحت نیروهای هیدرواستاتیک به وسیله قطر خارجی و ضخامت دیواره آن تعریف می‌شود (Timoshenko, 1983). رابطه (۷) برای تخمین مقاومت گسیختگی لوله‌های جدار فولادی بکار می‌رود (Timoshenko, 1983). این رابطه که به فرمول تیموشنکو معروف است به عنوان رایجترین روش در دسترس، برای تخمین مقاومت گسیختگی لوله‌های فولادی با نسبت‌های ضخامت به قطر، که برای استفاده در چاه‌های آب متداول است مورد استفاده قرار می‌گیرد (Roscoe Moss Company, 1989).

$$P_{cr} = \{3.E/(1-u^2)\} \times \{1/(D_o/t - 1)^3\} \quad \text{psi} \quad (7)$$

که در آن:

P_{cr} : مقاومت گسیختگی (لهیدگی) یک لوله گرد (psi)

D_o : قطر خارجی لوله جدار (اینچ)

t : ضخامت دیواره (اینچ)

u : ضریب پواسون (۰/۳)

E : مدول یانگ برای فولاد (3×10^7 psi)

برای محاسبه مقاومت لهیدگی لوله اسکرین باید مقاومت گسیختگی لوله جدار را در رابطه زیر ضریب ضرب کرد (Timoshenko, 1983).

$$C = \frac{[\pi.(D_o - t)] - L.N}{\pi.(D_o - t)} \quad (8)$$

که در آن:

D_o : قطر خارجی لوله جدار (اینچ)

t : ضخامت دیواره (اینچ)

L : عرض شکاف (عمود بر محور لوله) به اینچ

N : تعداد شکاف‌های محیط لوله

با توجه به روابط بالا، مقاومت گسیختگی (لهیدگی) برای لوله‌های جدار و اسکرین فولادی بکار رفته در اغلب چاه‌های آب کشور قابل محاسبه می‌باشد.

۴- بررسی تغییرات تنش‌های ناشی از افت سطح آب و پتانسیل تخریب در یک چاه

در این مرحله از مطالعات وضعیت تنش‌های وارده به لوله‌های جدار یک چاه و همچنین بررسی وضعیت مقاومت لوله‌های جدار و اسکرین‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۳).

مطابق آنچه که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد ضخامت لایه آبدار مورد نظر برابر با ۱۸۰ متر است که ۲۰ متر فوقانی (h_1) از ماسه لای‌دار متراکم و ۱۶۰ متر تحتانی از رس و سیلت ناخالص سفت تشکیل شده است. عمق اولیه ایستابی پیش از برداشت از لایه آبدار در عمق ۲۰ متری از سطح زمین و پس از برداشت آب در طی سناریوی نخست ۱۰ متر (h) افت نموده و در طی سناریوی‌های بعدی به ترتیب ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ متر افت داشته است. عمق مبنای محاسبات جهت بررسی تنش‌های وارده به لوله‌جدار از سنگ کف (برابر با ۱۸۰ متر $h_1 + h_2$) در نظر گرفته شده است. قطر خارجی لوله جدار مطابق با انواع متداول مورد استفاده در کشور ما برابر با ۱۴ اینچ و ضخامت لوله برابر با ۰/۲ اینچ (۵/۱۶ میلی‌متر) از جنس فولاد سیاه معمولی می‌باشد. تعداد شکاف‌های اسکرین در هر دور از لوله برابر با ۵ شکاف و عرض آن‌ها ۴ میلی‌متر می‌باشد. در این تحقیق سعی بر آن که در عمق مبنای تعیین شده وضعیت تنش‌های اعمالی به لوله جدار و اسکرین‌ها و تأثیر تغییرات تنش‌های ناشی از

افت سطح ایستابی بر روی مقاومت لوله‌های جدار و نیز نقش قطر، ضخامت و باز شدگی بر مقاومت اسکرین‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

همانطور که قبلاً بیان گردید برای تخمین مقاومت گسیختگی لوله‌های فولادی با نسبت ضخامت به قطر رابطه تیموشنکو مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس مقاومت لوله جدار به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_{cr} = \{3.E/(1-u^2)\} \times \{1/(D_o/t - 1)^3\} \quad \text{psi}$$

$$D_o = 14 \text{ inch}$$

$$t = 0.2 \text{ inch}$$

$$P_{cr} = 301.1 \text{ psi}$$

و بر اساس رابطه ۸ مقاومت اسکرین‌ها به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

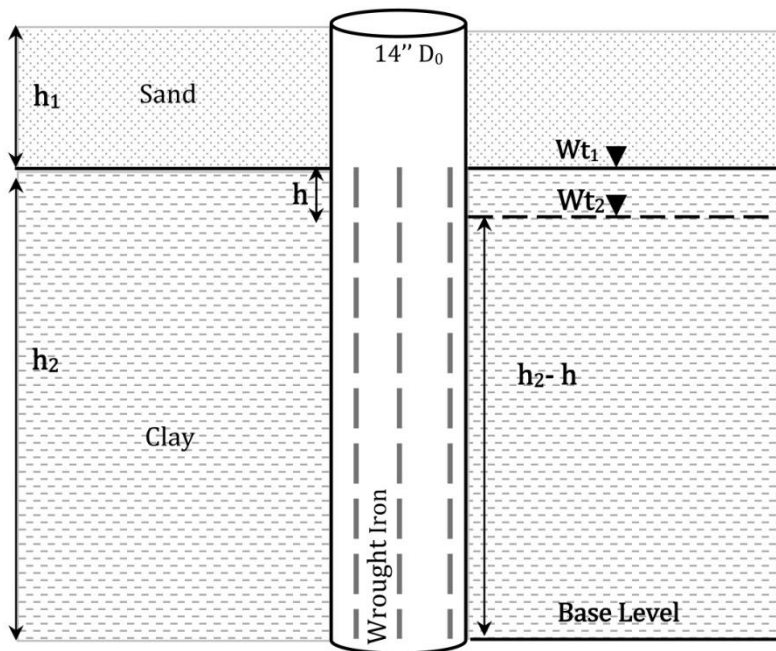
$$L = 4 \text{ mm} = 0.156 \text{ inch}$$

$$N = 5$$

$$C = \frac{[\pi \cdot (D_o - t)] - L \cdot N}{\pi \cdot (D_o - t)} = 0.98$$

$$P_{cr, \text{Screen}} = C \times P_{cr, \text{Casing}} = 0.98 \times 301.1 = 295.6 \text{ psi}$$

خصوصیات مکانیک خاکی ذرات تشکیل دهنده لایه آبدار و بخش غیر اشباع در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به توضیح است که زاویه اصطکاک داخلی در رس خالص برابر با صفر می‌باشد و مقاومت برشی آن‌ها ناشی از چسبندگی می‌باشد. اما به دلیل اینکه معمولاً همراه با ذرات درشت‌تر می‌باشند زاویه اصطکاک داخلی برابر با ۱۰ درجه برای لایه خاکی مورد بحث در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- تصویر شماتیک نشان‌دهنده لایه‌های آبدار و وضعیت چاه در مثال محاسبه تنش‌ها و مقاومت لوله‌جدار

جدول ۱- ویژگی‌های مهندسی خاک‌ها و رسوبات (Hunt, 1984)

نوع خاک	نسبت تخلخل	میزان رطوبت در وضعیت اشباع %	وزن مخصوص خشک KN/m ³	وزن مخصوص اشباع KN/m ³	زاویه اصطکاک داخلی
ماسه شل	۰/۸	۳۰	۱۴/۵	۱۸/۸۵	۳۰
ماسه متراکم	۰/۴۵	۱۶	۱۸	۲۰/۸۸	۳۷
ماسه لای‌دار شل	۰/۶۵	۲۵	۱۶	۲۰	۲۹
ماسه لای‌دار متراکم	۰/۴	۱۵	۱۹	۲۱/۸۵	۳۵
رس سفت	۰/۶	۲۱	۱۷	۲۰/۷۵	-
رس نرم	۱/۴ - ۰/۹	۵۰ - ۳۰	۱۴/۵ - ۱۱/۵	۲۱/۷۵ - ۱۴/۹۵	-

نشان‌دهنده این است که مقاومت اسکرین (۲۹۵/۶ psi) از تنش‌های موثر وارده (۲۵۶/۶ psi) در عمق مبنای محاسبات بیشتر بوده و بنابراین اسکرین‌ها در برابر تنش‌های وارده مقاوم هستند. افت سطح ایستابی و در نتیجه کاهش فشار منفذی به صورت یک رابطه خطی در افزایش مقادیر تنش موثر افقی وارده به اسکرین‌ها موثر واقع گردیده و همانطور که مشاهده می‌گردد پس از ۵۰ متر افت می‌توان بیان نمود که اسکرین‌ها در عمق مبنای محاسبات تحت تنش‌های تقریباً بحرانی قرار گرفته‌اند. در کاهش فشار منفذی حاصل از ۶۰- ۵۰ متر افت سطح ایستابی، تنش‌های موثر افقی و مقاومت تسلیم اسکرین‌ها به یکدیگر بسیار نزدیک شده و در مقادیر افت بیشتر، اعوجاج و نهایتاً شکست و پارگی اسکرین‌ها در عمق مبنای محاسبات مورد انتظار است.

به طور طبیعی مقادیر افت سطح ایستابی در لایه‌های آبدار به ندرت به مقادیر در نظر گرفته شده در مثال بالا می‌رسد ولی به علت برداشت زیاد از چاه‌های آب، مخروط افت سطح آب (به ویژه در

$$\gamma_{SiltySand-dry} = 19 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{Clay, Unsaturated} = 17 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{Clay, Saturated} = 20.75 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi_{Clay} \cong 10^\circ$$

$$\gamma_w = 9.81 \text{ KN/m}^3$$

ضریب فشار جانبی خاک ($\frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$) که با توجه به جنس رسوبات زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) را ۱۰ درجه در نظر می‌گیریم از رابطه زیر بدست می‌آید:

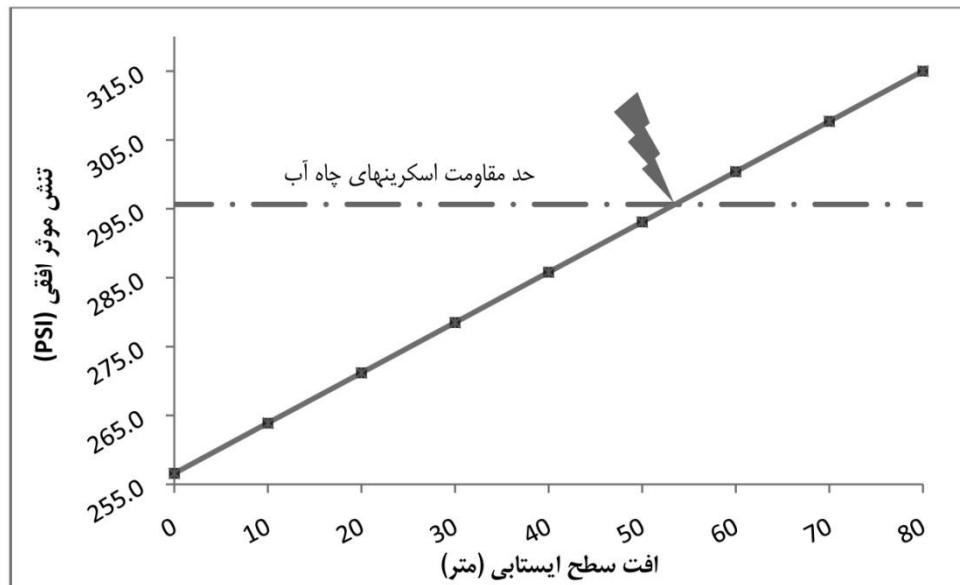
$$K = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 10 = 0.826$$

در جدول ۲ تغییرات تنش موثر افقی در اثر افت سطح ایستابی و محدوده پایداری اسکرین‌ها تحت تنش‌های وارده محاسبه شده است.

همانطور که در جدول ۲ و شکل ۴ خلاصه نتایج محاسبات ارائه گردیده است مقاومت گسیختگی لوله‌های فولادی شکافدار یا همان اسکرین‌ها با مشخصات فرض شده در مسئله برابر با ۲۹۵/۶ psi بدست آمده است. در حالت بدون افت سطح آب، اختلاف تنش موثر افقی (وارده بر اسکرین) و مقاومت اسکرین برابر با ۳۹ psi است. این

جدول ۲- تغییرات تنش موثر افقی در اثر افت سطح ایستابی و وضعیت پایداری اسکرین‌ها

افت سطح آب (متر)	مقاومت اسکرین (psi)	تنش موثر افقی (psi)	اضافه تنش نسب به حالت بدون افت (psi)	اختلاف تنش با مقاومت اسکرین (psi)	وضعیت تنش وارده به اسکرین
۰	۲۹۵/۶	۲۵۶/۶	۰	۳۹	تقریباً عادی
۱۰		۲۶۳/۹	۷/۳	۳۱/۷	تقریباً عادی
۲۰		۲۷۱/۲	۱۴/۶	۲۴/۴	تحت تنش
۳۰		۲۷۸/۵	۲۱/۹	۱۷/۱	تحت تنش نسبی بالا
۴۰		۲۸۵/۸	۲۹/۲	۹/۸	تقریباً بحرانی
۵۰		۲۹۳/۱	۳۶/۵	۲/۵	بحرانی و احتمال اعوجاج
۶۰		۳۰۰/۴	۴۳/۸	۴/۸	بحرانی و احتمال اعوجاج
۷۰		۳۰۷/۷	۵۱/۱	۱۲/۱	فوق بحرانی و احتمال تخریب
۸۰		۳۱۵	۵۸/۴	۱۹/۴	فوق بحرانی و تخریب



شکل ۴- تغییرات تنش موثر افقی وارده به اسکرین در اثر افت سطح ایستابی و حد مقاومت گسیختگی اسکرین

که در رابطه ۷ مشاهده می‌شود هر چه نسبت قطر لوله‌جدار به ضخامت آن (D/t) کمتر شود مقاومت گسیختگی لوله جدار و اسکرین افزایش می‌یابد بطوریکه هرچه قطر کمتر و ضخامت بزرگتر انتخاب گردد به صورت یک رابطه توانی درجه سوم مقاومت لوله جدار افزایش می‌یابد. در مثال بالا چنانچه به جای لوله جدار ۱۴ اینچی از لوله‌جدار ۱۲/۷۵ اینچی (۱۲ اینچ اسمی) با همان مشخصات و تعداد شکافها استفاده می‌گردید مقاومت این لوله برابر با psi و بدست می‌آید که به راحتی در تنش موثر ناشی از افت ۸۰ متری سطح ایستابی و مقادیر بیشتر از آن مقاوم است. یا چنانچه ضخامت اسکرین از ۰/۲۰ اینچ به ۰/۲۵ اینچ یا ۰/۳۰ اینچ افزایش یابد مقاومت اسکرینها به ترتیب تا ۵۸۳ psi و ۱۰۱۹ psi افزایش می‌یابد. بنابراین انتخاب لوله‌های جدار و اسکرین‌های مناسب در چاه‌هایی که در دشت‌های مسئله‌دار قرار دارند از مهمترین نکات تجهیز چاه‌ها محسوب می‌گردد. متأسفانه در ایران در دشت‌هایی که لایه‌های آبدار زیرزمینی از رسوبات ریزدانه تشکیل شده است حفاران و کشاورزان بدلیل آبدهی ضعیف این تشکیلات از لوله‌های جدار با قطر بزرگتر استفاده می‌کنند که در این حالت به دلیل کاهش مقاومت ناشی از افزایش قطر لوله، افت زیاد سطح ایستابی و حضور سازندهای ریزدانه با زاویه اصطکاک داخلی کوچکتر (و در نتیجه افزایش نسبت تنش افقی به تنش عمودی بیشتر) شرایط برای تسریع در تخریب لوله‌های جدار مهیا می‌گردد. نمونه این طراحی‌ها در سازندهای ریزدانه و با آبدهی ضعیف حاشیه دریاچه ارومیه مانند دشت‌های شبستر - صوفیان، دشت سلماس و ... به خوبی قابل مشاهده و آمار تخریب لوله‌های جدار این مناطق به شدت بالا

لایه‌های آبدار ریزدانه) در اطراف چاه‌ها بسیار شدید می‌باشد که این امر موجب افزایش تنش موثر افقی و در نهایت گسیختگی لوله‌های جدار می‌گردد. در بسیاری از لایه‌های آبدار ریزدانه رسی و سیلتی در همان روزهای اولیه پمپاژ مقادیر افت بوجود آمده بعضاً بیشتر از مقادیر فرض شده در مثال بالا مشاهده می‌گردد. آل‌خمیس و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله‌های جدار با روش عددی المان محدود در حالت‌های 2D و 3D با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی ژئومکانیکی ABAQUS نیز به این نتیجه رسیدند که افت سطح آب زیرزمینی موجب ایجاد تنش‌های افقی و در نتیجه جابجایی‌های افقی می‌گردد که طبق مدل‌سازی آنان تا افت ۳۰ متری سطح ایستابی تنش‌های وارده کمتر از مقاومت تسلیم لوله‌جدار می‌باشد. منحنی‌های هم جابجایی افقی در این مدل‌سازی نشاندهنده جابجایی سازندهای اطراف چاه به سمت محور چاه و ایجاد نیروهای فشاری به لوله جدار چاه می‌باشند. همچنین حرارت ناشی از گاز استیلن در هنگام شکافدار نمودن لوله‌های جدار، محل جوشکاری و اتصال لوله‌های جدار به هم و یا فرسودگی و خوردگی موجب کاهش مقاومت اسکرین‌ها می‌گردد (Driscoll, 1986).

۵- بررسی نقش انتخاب اسکرین‌های مناسب

در مورد نقش انتخاب اسکرین‌های مناسب‌تر برای دشت‌های مسئله‌دار بهتر است از لوله‌های با حداقل قطر (که تامین کننده دبی مورد نیاز باشد) و حداکثر ضخامت ممکن بهره گرفته شود. البته رعایت این مسئله در سایر چاه‌ها نیز قابل توصیه می‌باشد. همانطوری

می‌باشد (غفوری، ۱۳۸۹). در شکل ۲ اسکرین‌های شکسته و له شده چاه‌های آب در دشت شبستر و در شکل ۵ نشست زمین در اثر افت سطح ایستایی در این دشت نشان داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل شده در این تحقیق برای دشت‌های مسئله دار که دارای تشکیلات ریزدانه با آبدهی ضعیف هستند پیشنهاد می‌گردد به جای افزایش قطر لوله‌های جدار و اسکرین‌ها که موجب کاهش مقاومت آن‌ها می‌گردد از لوله‌های به قطر کمتر مثلاً ۱۲/۷۵ اینچ (۱۲ اینچ اسمی) استفاده گردد و در عوض جهت افزایش سطح باز تعداد شکاف‌های آن‌ها بیشتر و یا از فیلتریک ضخیم‌تری استفاده گردد. کاهش مقاومت ناشی از افزایش تعداد شکاف‌ها نسبت به کاهش مقاومت ناشی از افزایش قطر لوله‌ها به مراتب کمتر بوده و در این حالت لوله‌ها می‌توانند به خوبی در برابر تنش‌های وارده مقاومت لازم را داشته باشد. همانطور که در روابط ۷ و ۸ مشاهده می‌شود قطر لوله با توان سوم مقاومت و تعداد شکاف‌ها (N) ارتباط خطی درجه یک با مقاومت لوله‌ها دارند. بنابراین یک افزایش کوچک در قطر لوله‌های جدار به شدت مقاومت آنرا کاهش می‌دهد. همانطور که در محاسبات مقاومت لوله‌های جدار مشاهده می‌گردد مقاومت اسکرین‌ها (با تعداد ۵ شکاف ۳×۲۰۰ میلی‌متر در هر دور لوله) نسبت به لوله‌جدار فاقد شکاف تنها ۷/۵ psi (۲۹۵/۶-۳۰۱/۱ psi) کمتر شده است. همچنین به لحاظ مسائل اقتصادی انتخاب لوله‌جدار کوچکتر (ولی تعداد شکاف بیشتر) بسیار ارزاتر می‌باشد. باید در نظر گرفت که اسکرین خوب یک مولفه مهم از طراحی چاه است، البته پاسخی به تمام مشکلات یک چاه نیست.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق تغییرات تنش موثر افقی در اثر افت سطح ایستایی و محدوده پایداری اسکرین‌ها تحت تنش‌های وارده مورد بررسی قرار گرفته است، که نتایج نشان می‌دهد در حالت بدون افت سطح آب، تنش‌های افقی موثر محاسبه شده (۲۵۶/۶ psi) از مقاومت اسکرین (۲۹۵/۶ psi) کمتر می‌باشند و بنابراین اسکرین‌ها تحت تنش‌های وارده مقاوم هستند. افت سطح ایستایی و در نتیجه کاهش فشار منفذی به صورت یک رابطه خطی در افزایش مقادیر تنش موثر افقی وارده به اسکرین‌ها موثر می‌باشد. با کاهش فشار منفذی حاصل از ۶۰-۵۰ متر افت سطح ایستایی، تنش‌های موثر افقی و مقاومت تسلیم اسکرین‌ها به یکدیگر بسیار نزدیک شده و با افت بیشتر سطح ایستایی، اعوجاج و نهایتاً شکست و پارگی اسکرین‌ها در عمق مبنای محاسبات مورد انتظار است. به طور کلی در مورد نقش افت سطح ایستایی در تخریب لوله‌های جدار و اسکرین‌های چاه‌های آب می‌توان اینگونه اظهار نظر نمود که در لایه‌های آبدار ریزدانه با آبدهی ضعیف، تأثیر بسیار مهمی در تنش‌های وارده به لوله‌های چاه‌ها داشته و گاهی به تنهایی می‌تواند موجبات تخریب آن‌ها را فراهم آورد. در سفره‌های درشت دانه دارای تراوایی و آبدهی مناسب که در اثر برداشت آب از آن‌ها افت کمتری ایجاد می‌گردد (به دلیل گسترش جانبی مخروط افت) و نیز زاویه اصطکاک داخلی بالاتر این رسوبات که تنش افقی کمتری را ایجاد می‌کنند، تنش‌های وارده نقش مؤثری در ایجاد گسیختگی در لوله‌های جدار ندارد ولی به طور کلی در کنار سایر عوامل تخریب لوله‌های جدار مانند خوردگی و



شکل ۵- نمایی از نشست ۷۰ cm زمین در اطراف بیژومتر روستای وایقان دشت شبستر - صوفیان (غفوری، ۱۳۸۹)

فرسودگی لوله‌ها، لرزه‌خیزی و حرکات تکتونیکی منطقه و ماسه‌دهی می‌تواند به تخریب سریعتر آن‌ها کمک نماید. در مورد نقش انتخاب لوله‌های جدار مناسب‌تر با توجه به نتایج حاصل شده در این تحقیق برای دشت‌های مسئله‌دار که دارای تشکیلات ریزدانه با آبدی ضعیف هستند پیشنهاد می‌گردد به جای افزایش قطر لوله‌های جدار و اسکری‌ها که موجب کاهش مقاومت آن‌ها می‌گردد، از لوله‌های با قطر کمتر و جهت جبران کاهش سطح باز تعداد شکاف‌ها بیشتر و فیلترپیک ضخیم‌تر استفاده شود. کاهش مقاومت ناشی از افزایش تعداد شکاف‌ها نسبت به کاهش مقاومت ناشی از افزایش قطر لوله‌ها به مراتب کمتر بوده و در این حالت لوله‌ها می‌توانند بخوبی در برابر تنش‌های وارده مقاومت لازم را داشته باشد. همچنین به لحاظ مسائل اقتصادی انتخاب لوله‌جدار کوچکتر (ولی تعداد شکاف بیشتر) بسیار ارزاتر می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1. Steady state

۷- مراجع

ابراهیمی لویه ع (۱۳۸۷) بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و پیامدهای آن، مطالعه موردی: دشت رفسنجان. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۴، شماره ۳: ۷۶-۷۹.

احمدی عامله ع (۱۳۸۴) گزارش بررسی عوامل مؤثر بر پارگی و انحراف لوله‌های جدار چاه‌ها در دشت روانسر - سنجایی کرمانشاه. شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب.

اصغری مقدم ا، افزون م (۱۳۷۴) مطالعه علل تخریب ساختمان چاه‌های آب در حوضه آبریز تلخه رود، استان آذربایجان شرقی. مجموعه مقالات دومین همایش زمین‌شناسی ایران.

افشار س، غفوری م، لشکری پور غ، موسوی مداح س م (۱۳۸۹) بررسی چگونگی نشست زمین و تخریب لوله‌های جدار چاه‌های آب در شمال غرب دشت مشهد. سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

آل‌خمیس ر، کریمی‌نسب س، آریانا ف (۱۳۸۵) تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جدار. آب و فاضلاب، شماره ۶۰: ۷۷-۸۸.

داس ب ا (۱۹۴۱) اصول مهندسی ژئوتکنیک، طاحونی ش، (مترجم)، مؤسسه انتشارات پارس‌آئین، جلد اول، ویرایش دوم، ۸۳۱ صفحه.

شاهی دشت ع، عباس‌نژاد ا (۱۳۸۹) ارزیابی اثرات زیست محیطی تخلیه سفره آب زیرزمینی دشت جیرفت و پیش‌بینی شرایط در آینده. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۷، شماره ۱: ۷۷-۸۱.

غفوری م (۱۳۸۹) گزارش مطالعات بررسی علل تخریب و ناپایداری چاه‌های آب دشت شبستر. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ویرایش دوم، اسفند ۸۹.

غفوری م، کاظمی غ ع، سمیعی ع، حشمتی س، شکریان د (۱۳۸۹) بررسی علل تخریب و ناپایداری چاه‌های آب دشت شبستر، آذربایجان شرقی. نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه.

غفوری م، موسوی مداح س م (۱۳۸۹) بررسی اثرات نشست زمین بر گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در دشت مشهد و ارائه راهکارهای مناسب. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران.

کیومرثی ک (۱۳۸۱) مدل‌بندی نشست زمین در اطراف یک چاه پمپاژ به کمک روش اجزاء محدود. پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

Ajalloeian R and Bahadoran B (1998) Ground subsidence due to percolating and pumping water (case studies in Iran). In: Proc. The 19th Asian Conference on Remote Sensing, Manila.

Bell FG (1987) Subsidence, Ground Engineer's Reference Book, 1st edition, Butterworths and Co. Publishers.

Blackwell IM, Howsam P and Walker MJ (1995) Borehole performance in alluvial aquifers: particulate damage. Journal of Eng Geol 28:151-162.

Booker JR, Small JC and Carter JP (1985) Prediction of subsidence caused by pumping of groundwater. Proc. 21st the IAHR congress, Melbourne, Australia: 130-134.

Bradford SA, Simunek J, Bettahar M, Tadassa YF, Van Genuchten MT and Yates SR (2005) Straining of colloids at textural interfaces. Water Resour Res 41:W10404.

Breedveld R, Van Beek K and Doedens G (2007) Towards a clogging free well field Tullen't Waal (Vitens MN), Abstraction wells of the future (in Dutch). H₂O 40(2): 48-50.

Carillo N (1984) Influence of artesian wells on the sinking of Mexico City. Proc. 2nd Int. Conf. Soil Mech. Foundation Eng, Rotterdam 3: 156-159.

Driscoll F (1986) Groundwater and Wells, Johnson Division, St. Paul, Minnesota.

- Mousavi SM, Shamsai A, EI Naggari MH and Khamehchian M (2001) A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran. *J. Civ. Eng.* 28(3); 452-464.
- Roscoe Moss Company (1989) Handbook of Groundwater Development, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.
- Rudolph DL and Frind EO (1991) Hydraulic response of highly compressible aquitards during consolidation. *Water Resources Research* 27 (1):17-30.
- Timoshenko SP (1983) History of Strength of Materials. Dover Publications, 452 pages, ISBN: 0486611876.
- Van Beek K, Breedveld R and Stuyfzand P (2009) Prevention of two types of well clogging. *Journal of Am Water Works Assoc* 101(4): 125-134.
- Hunt RE (1984) Geotechnical Engineering Investigation Manual, McGraw Hill.
- Juhász M, Balemans M and Jansen C (2004) Better understanding in well clogging by flow measurements and high frequent potential measurements (in Dutch). *H₂O* 37(17): 29-31.
- Larson KJ, Barasaolu H and Mariño MA (2001) Prediction of optimal safe groundwater yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model. *Journal of Hydrology*; 242, 79-102.
- Lofgren BE (1979) Changes in aquifer-system properties with ground water depletion. In: Proc. International Conference on Evaluation and Prediction of Land Subsidence, Pensacola, American Society of Civil Engineers: 26- 46.