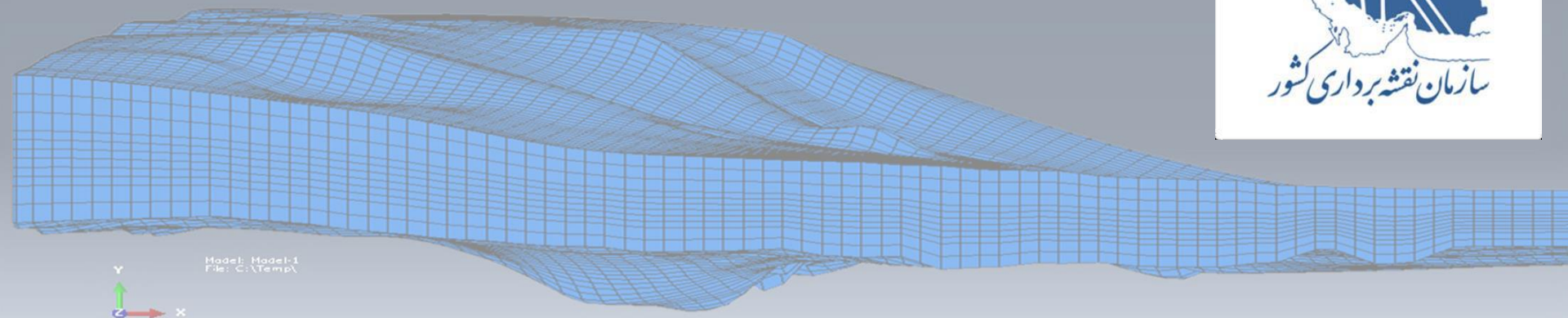




مدل سازی فرونشست زمین، ناشی از استخراج آب های زیرزمینی

لیلا کریمی دهکردی

اسفندماه ۱۴۰۰



هدف:

مدل سازی فرونشست زمین
ناشی از افت سطح آب های زیرزمینی در دشت تهران-کرج

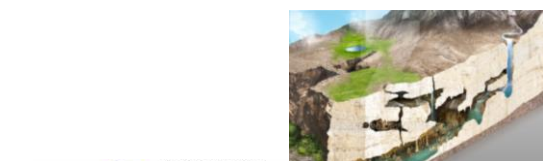
انگیزه:

- شناخت بهتر پدیده فرونشست و عوامل تاثیرگذار بر آن
- پیش بینی فرونشست
- اجتناب از پیامدهای فرونشست

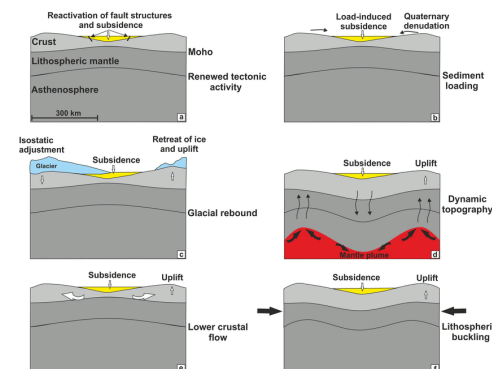
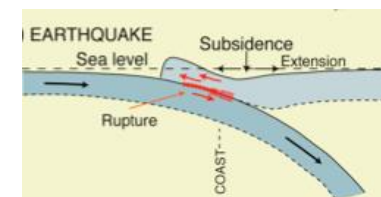
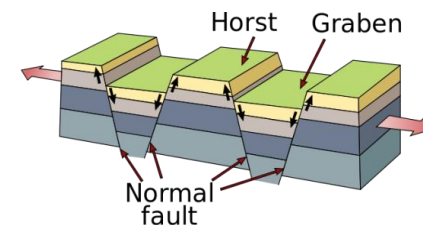
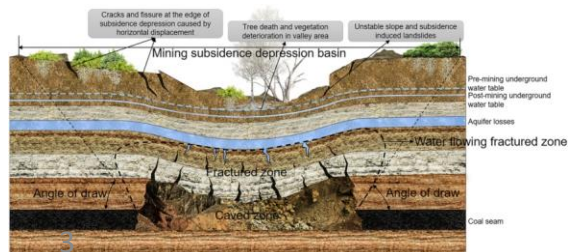
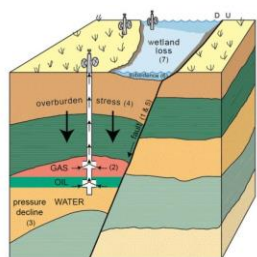
ضرورت:

سیستم پایش و پیش بینی فرونشست

مقدمه

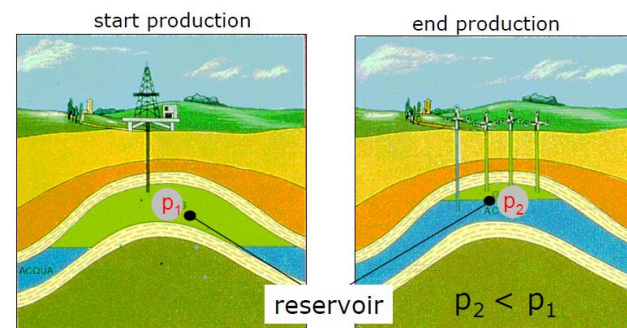
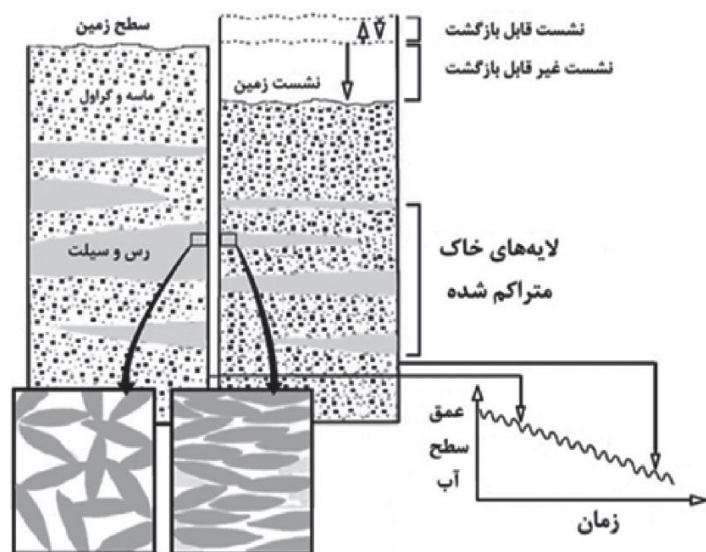


vibratory roller





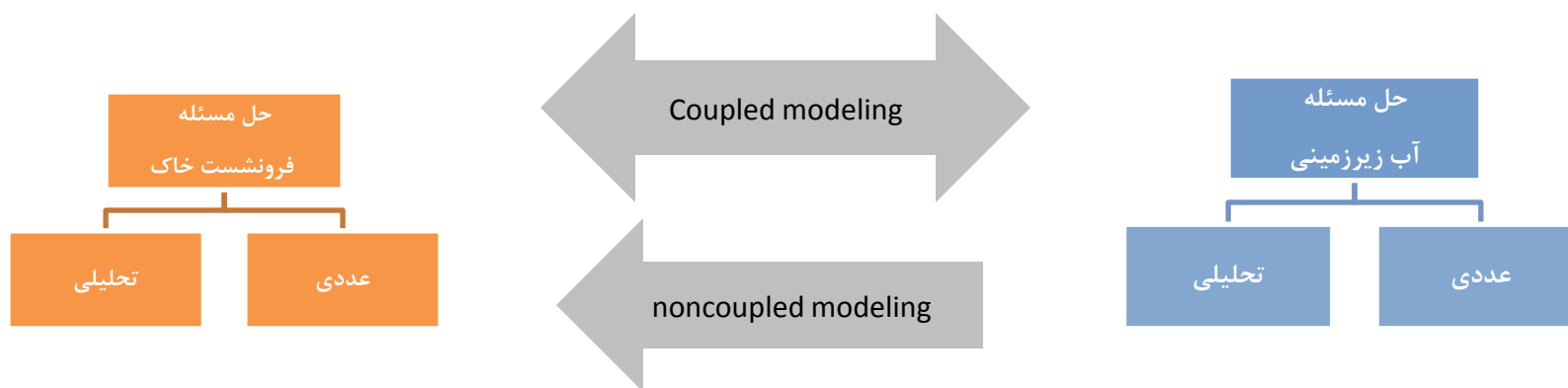
مکانیزم فرونشست



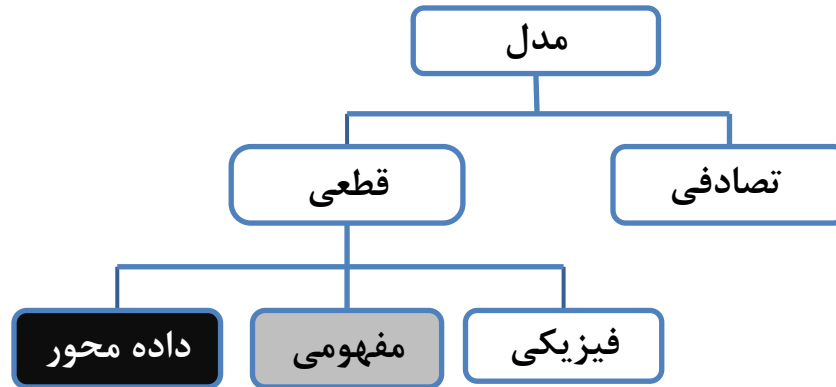
 Reservoir pore-pressure $\rightarrow$ **Compaction**
 Effective stress $\rightarrow$ **Subsidence**

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} - \alpha p \delta_{ij}$$

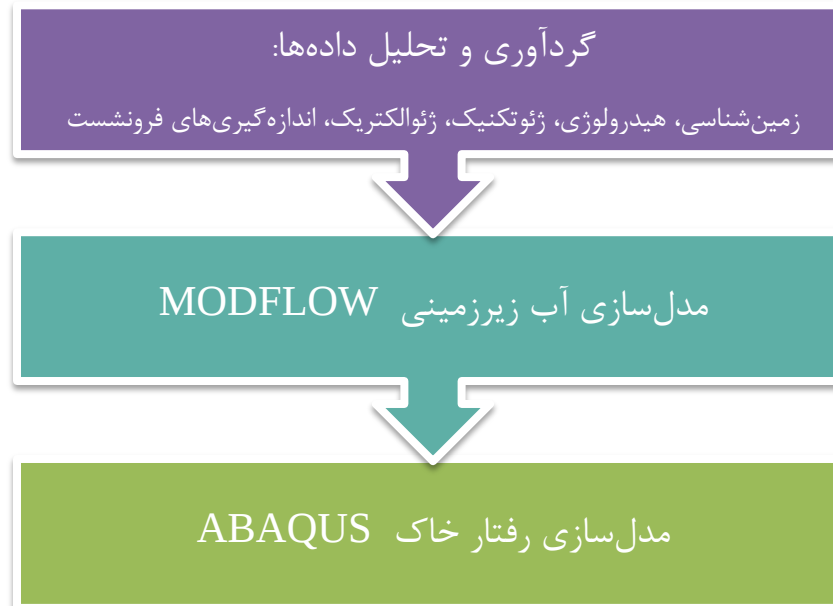
حل معادلات آب و تغییر شکل خاک



مدل: چکیده/ ساده سازی شده ای از واقعیت

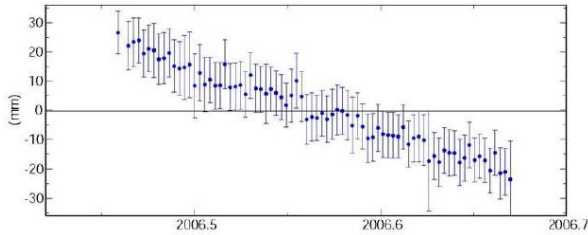


روش تحقیق

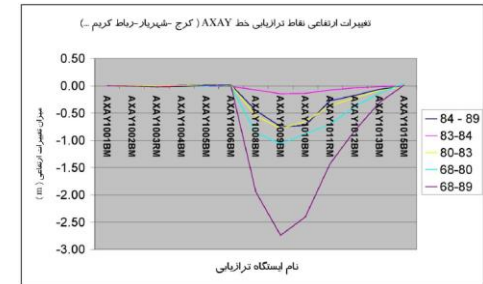
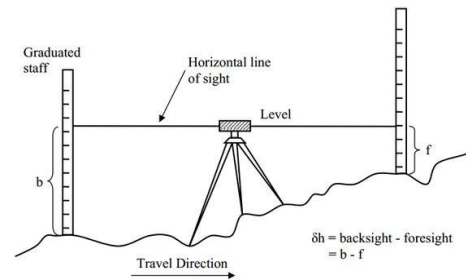


روش های اندازه گیری فرونشست

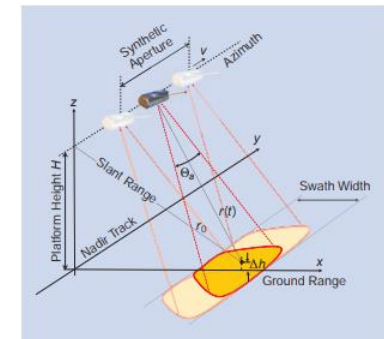
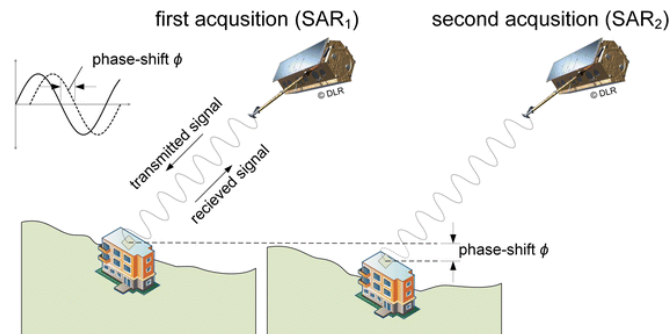
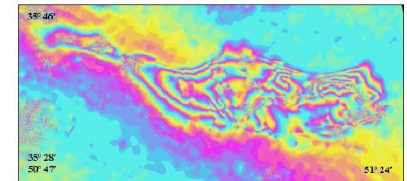
سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)



ترازیابی دقیق



روش تداخل سنجی راداری



فرونشست در جهان

- اولین گزارش، ایالت آلابامای ایالات متحده در سال ۱۹۰۰
- ایالت کالیفرنیا - ژاپن (توکیو) - تالیند (بانکوک) - مکزیک - چین - ایتالیا - استرالیا - هند
- بیش از ۱۵۰ شهر مهم جهان

فرونشست در ایران

- اولین دشت : رفسنجان ۱۳۴۶ - لوله زایی چاه ها
- تهران، مشهد، نیشابور، کاشمر، ورامین، رفسنجان، زرنند، همدان، اصفهان، یزد، کاشمر و ...



(Motagh et al. 2007)

تاریخچه مدل سازی فرونشست

- مدل سازی تحلیلی:
- اصل تنش موثر - (Terzaghi, 1925)
- تئوری پروالاستیسیته - (Biot, 1941)
- تئوری جامع تحکیم - (Verruijt, 1969), (Noorishad et al. , 1982)

- مدل سازی عددی:

- المان محدود

- افزودن بسته نرم افزاری IBS به MODFLOW برای محاسبه فرونشست-مدل رفتاری الاستیک
- افزودن بسته نرم افزاری SUB به MODFLOW برای محاسبه فرونشست-مدل رفتاری الاستیک
- مدل سازی معکوس پارامترهای آبخوان- ضریب ذخیره الاستیک و غیر الاستیک و ثابت زمانی تراکم با SUB



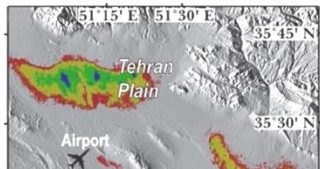
تاریخچه بررسی فرونشست زمین در دشت تهران

اندازه گیری فرونشست:

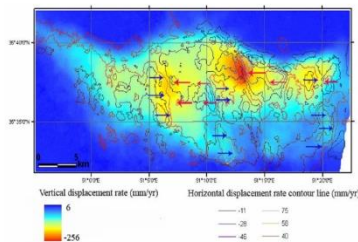
- سازمان نقشه برداری - تراز یابی و GPS - ۱۳۸۰
- سازمان زمین شناسی - مطالعات تخصصی فرونشست دشت تهران - شهریار - ۱۳۸۴
- بکارگیری تکنیک InSAR

مدل سازی فرونشست:

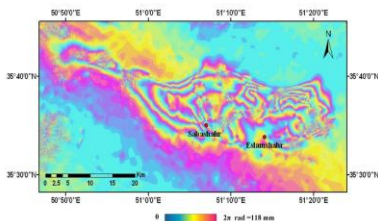
- مدل سازی تراکم آبخوان شهریار با استفاده از نرم افزار MODFLOW - فتوت اسکندری و کرمی (۱۳۸۸)
- استفاده از شبکه های عصبی برای مدل سازی فرونشست تهران - (Dehghani et al., 2013)
- بررسی پیامدهای ناشی از فرونشست و سنجش آسیب پذیری بافت های شهری شریفی کیا و همکاران، ۱۳۸۹-۱۳۹۰ و ۱۳۹۲
- استفاده از شبکه های عصبی و الگوریتم ژنتیک برای مدل سازی فرونشست دشت تهران - انگورانی (۱۳۹۴)
- استفاده از MODFLOW شبیه سازی فرونشست زمین در دشت جنوب غربی تهران - (Mahmoudpour et al., 2016)
- استفاده از نرم افزار MODFLOW برای مدل سازی فرونشست در منطقه ۱۹ شهری تهران - (Arjomandi 2018)



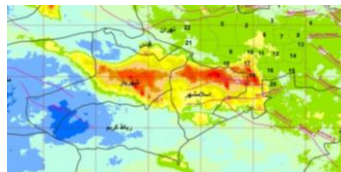
(Motagh et al., 2008)



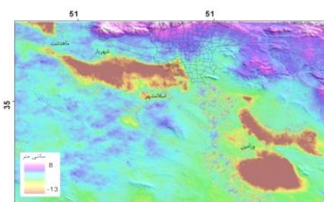
(دهقانی ۱۳۸۸)



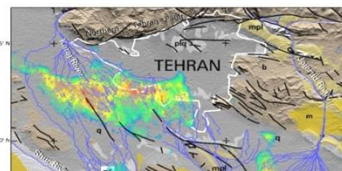
(شریفی کیا، ۱۳۸۹)



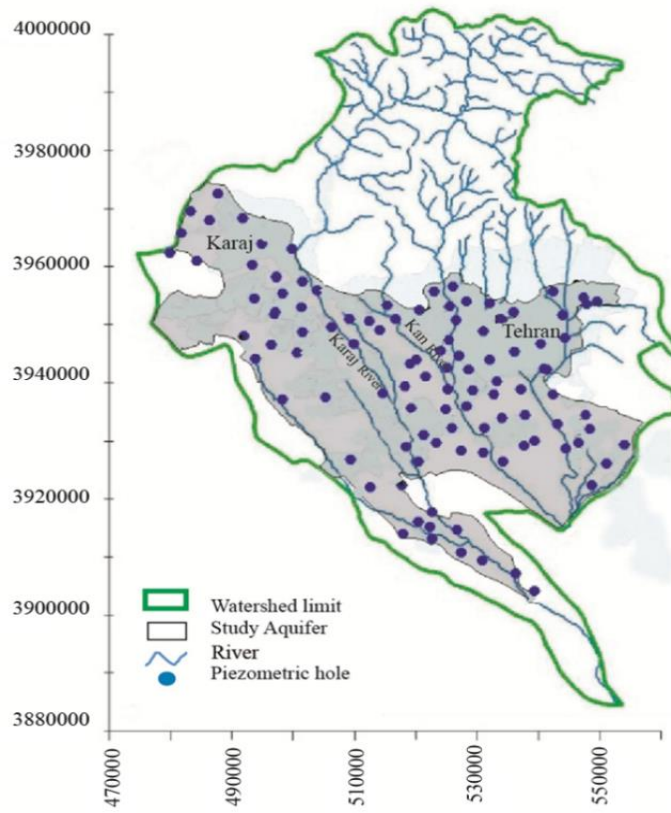
(سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۶)



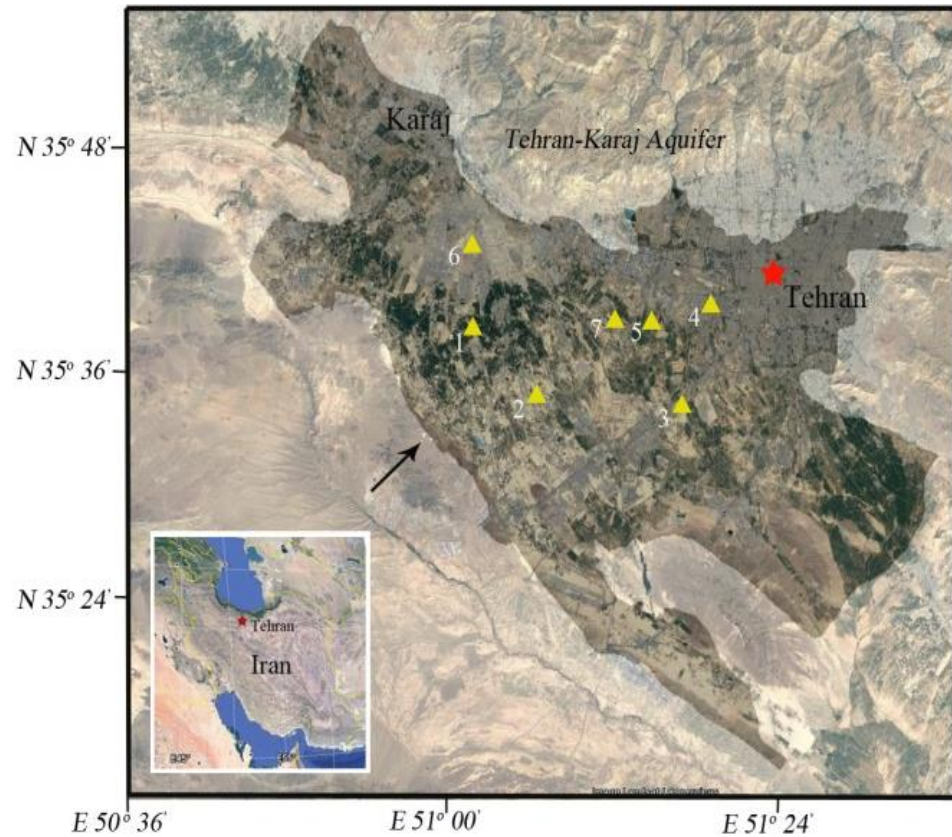
(روستا، ۱۳۹۵)



(Haghighi and Motagh, 2019)

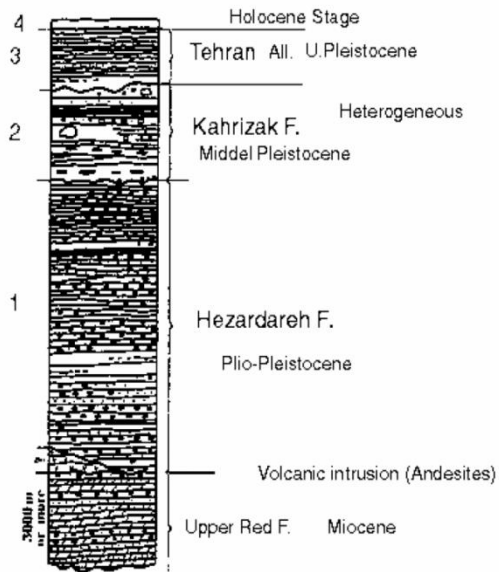


(برپایه اطلاعات سازمان آب)



(Based on Google earth picture)

زمین شناسی



(Rieben, 1955)

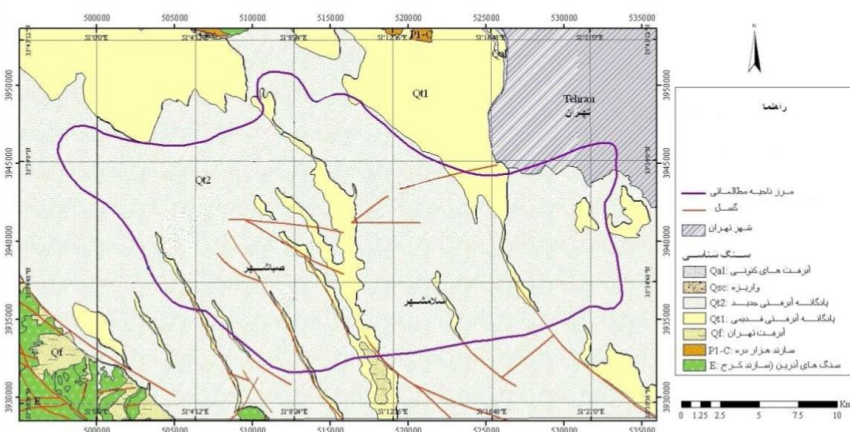
بررسی های لرزه ای

بررسی های ژئوالکتریکی

بررسی های ژئوتکنیکی

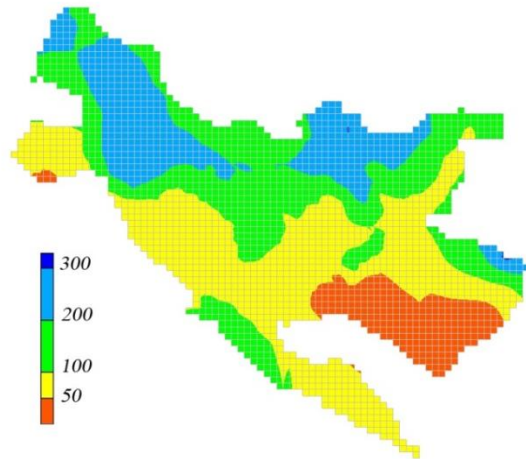
- سازند آبرفتی هزاردره (سری A)
- سازند کهریزک (سری B)
- سازند آبرفتی تهران (سری C)
- آبرفت های عهد حاضر (سری D)

آب شناسی

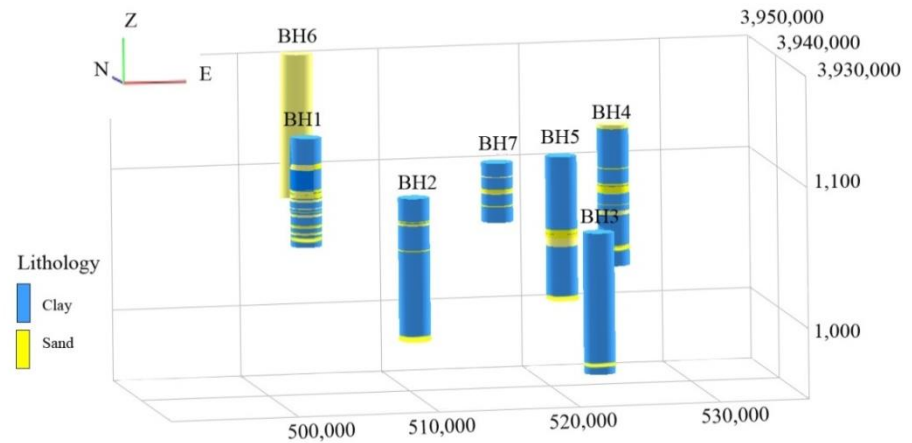


(سازمان زمین شناسی، ۱۳۸۸)

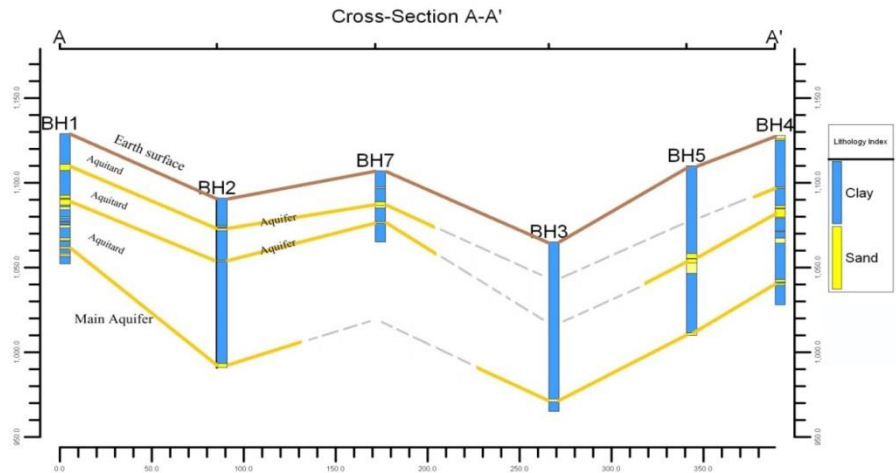
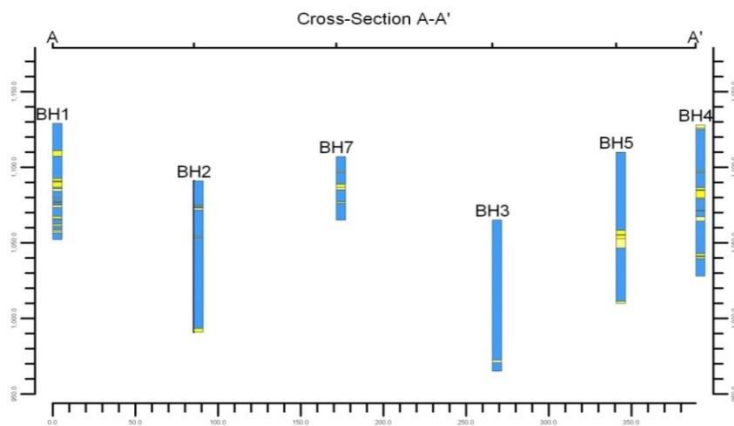
- میانگین بارندگی سالانه : ۲۵۰ میلی متر - بیشترین مقدار در شمال منطقه ۵۰۰ میلی متر و در جنوب کمتر از ۲۰۰ میلی متر در سال
- مهم ترین رودخانه های تغذیه کننده : رودخانه های کرج و کن
- چاه بهره برداری : بیش از ۳۶۰۰۰ حلقه چاه بهره برداری با مجموع برداشت سالیانه حدود ۲ میلیارد مترمکعب آب
- چاه پیزومتر : ۱۴۲ چاه پیزومتر برای پایش سطح آب سفره



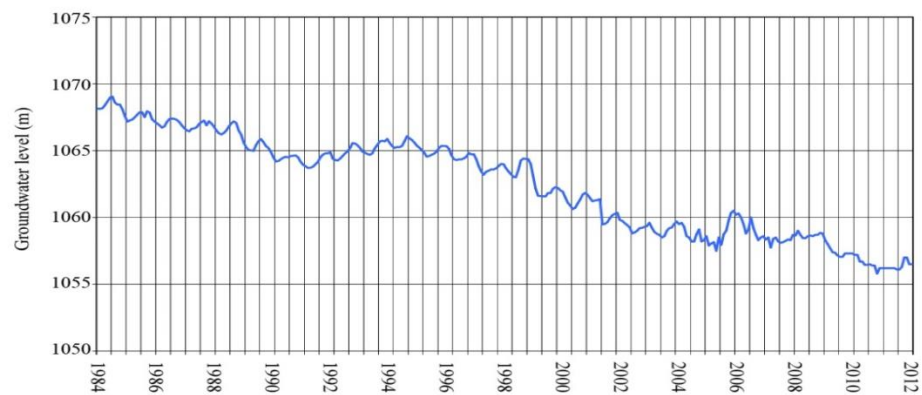
ضخامت آبرفت



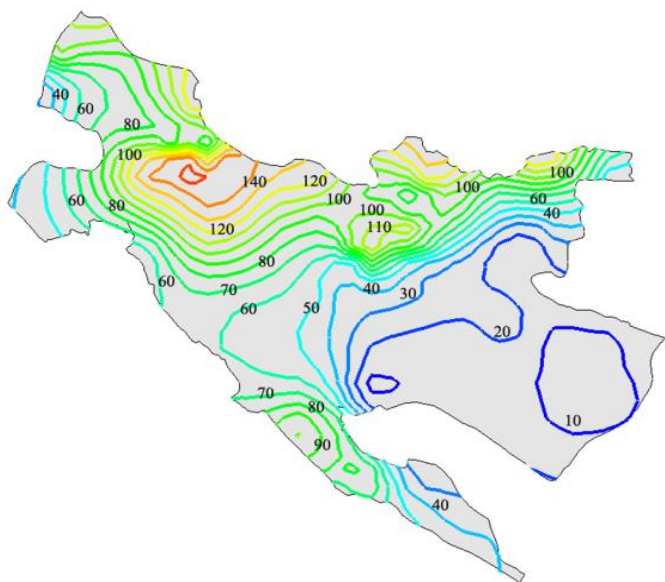
استراتیگرافی چاه های ژئوتکنیک



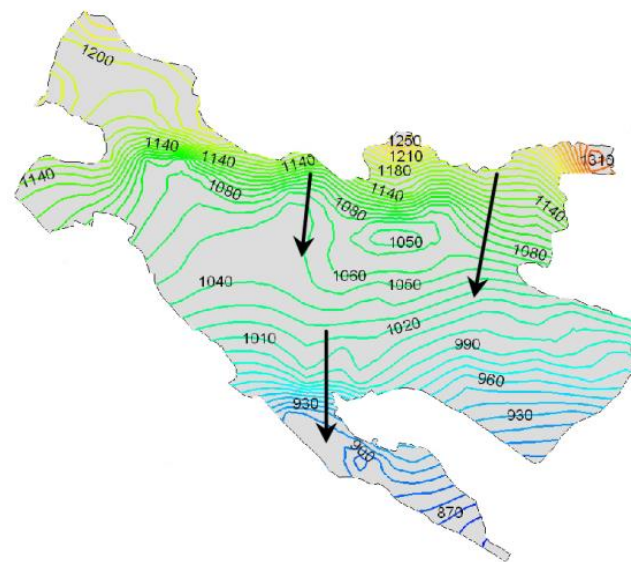
لایه بندی آبخوان



(هیدروگراف واحد-سازمان آب)



عمق سطح آب زیرزمینی

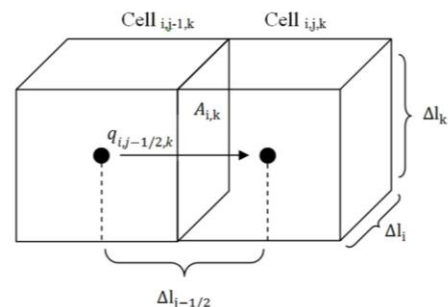


جهت جریان آب زیرزمینی

معادلات ریاضی جریان آب زیرزمینی

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$h(x, y, z, t) = \text{constant} \quad \frac{dh(x, y, z, t)}{dn} = \text{constant} \quad \frac{dh}{dn} + c \cdot h = \text{constant}$$



$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta t$$

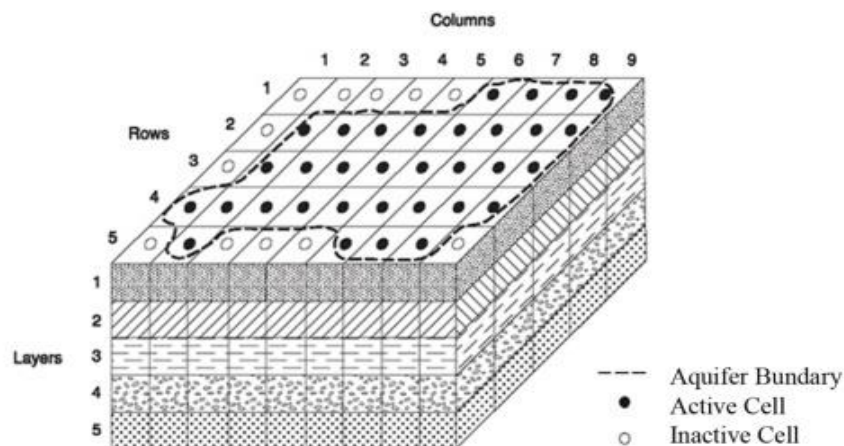
$$q_{i,j-1/2,k} = k_{i,j-1/2,k} A_{i,k} \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta l_{j-1/2}}$$

$$\frac{\Delta^2 h_{i,j,k}}{\Delta x} = \frac{h_{i+1,j,k} - 2h_{i,j,k} + h_{i-1,j,k}}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} = \frac{h_{i,j,k}(t_0 + \Delta t) - h_{i,j,k}(t_0)}{\Delta t}$$

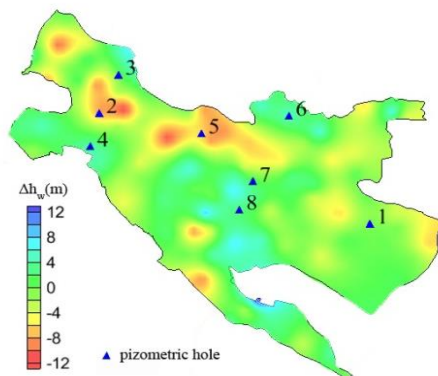
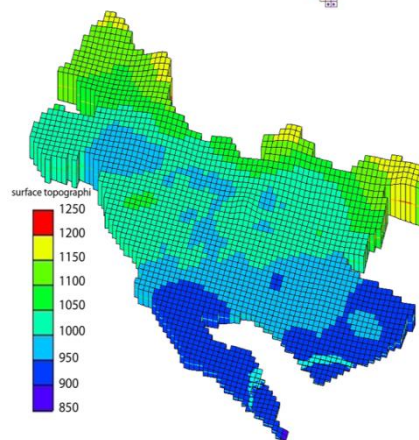
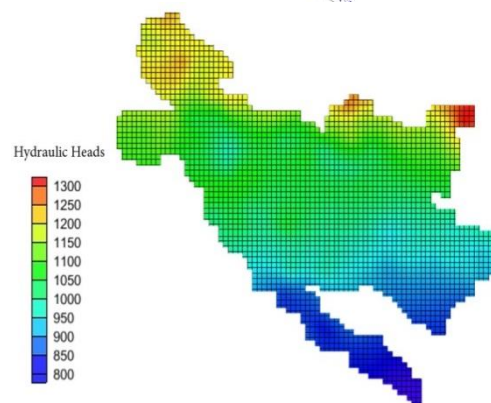
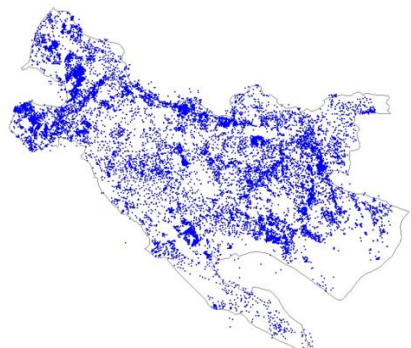
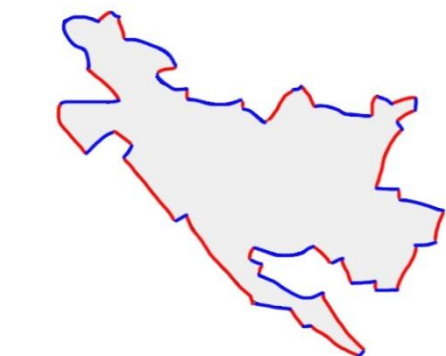
مدل جریان آب زیرزمینی:

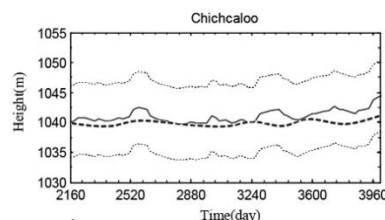
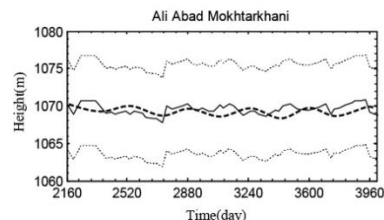
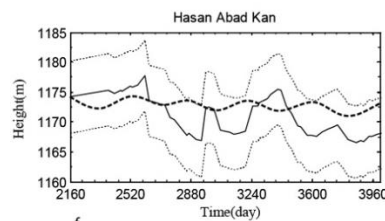
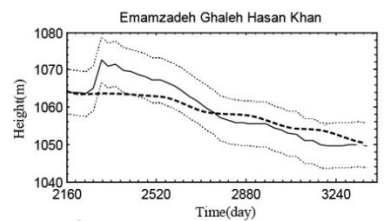
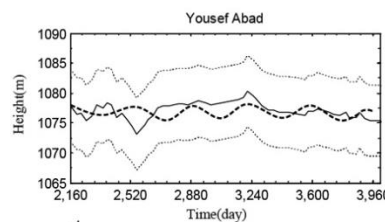
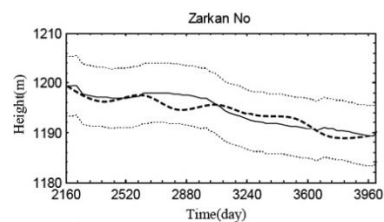
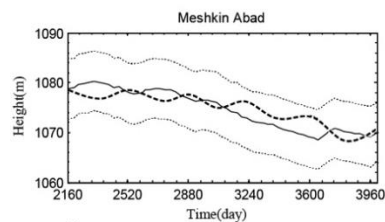
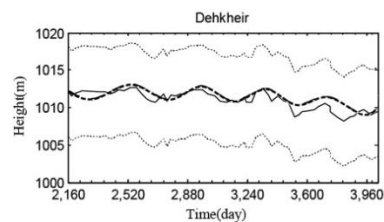
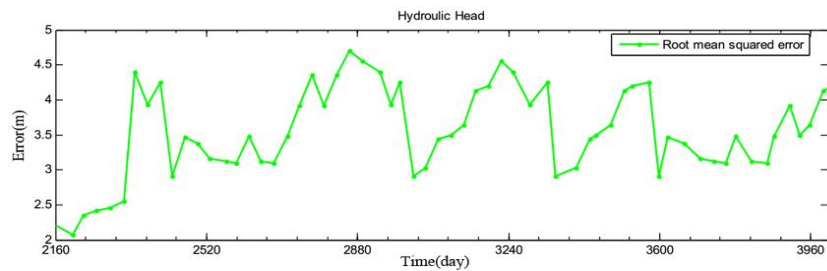
- توزیع بار هیدورلیکی در سیستم
- ترکیب قانون دارسی و معادلات پیوستگی



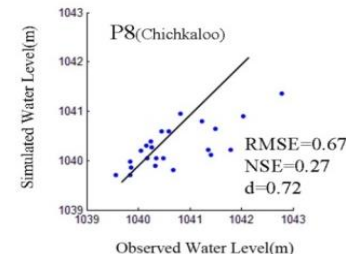
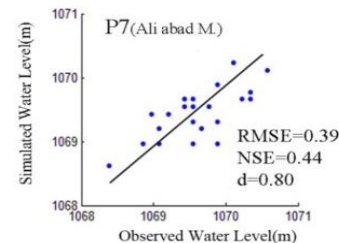
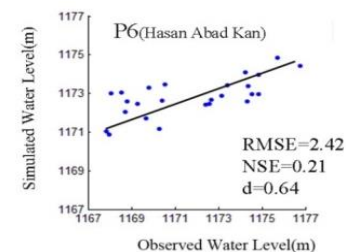
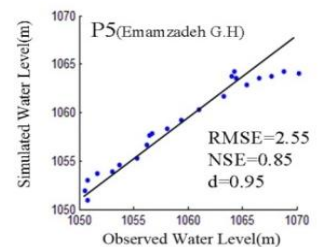
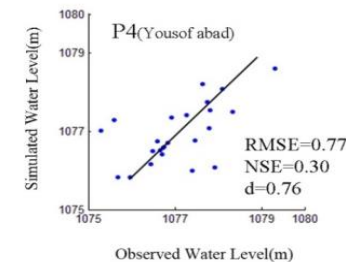
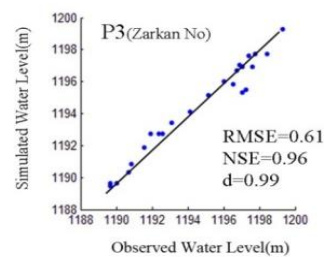
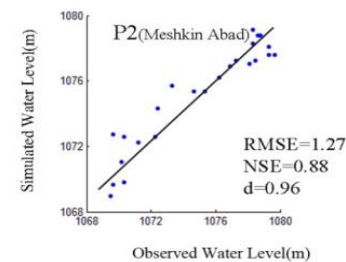
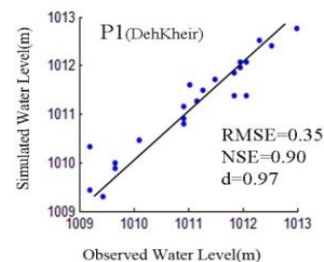
مدل آبخوان تهران-کرج

- محدوده آبخوان
- مقادیر اولیه و شرایط مرزی
- منابع تخلیه و شارژ
- ایجاد شبکه
- کالیبراسیون مدل





ارزیابی مدل آب زیرزمینی



معادلات ریاضی تغییر شکل

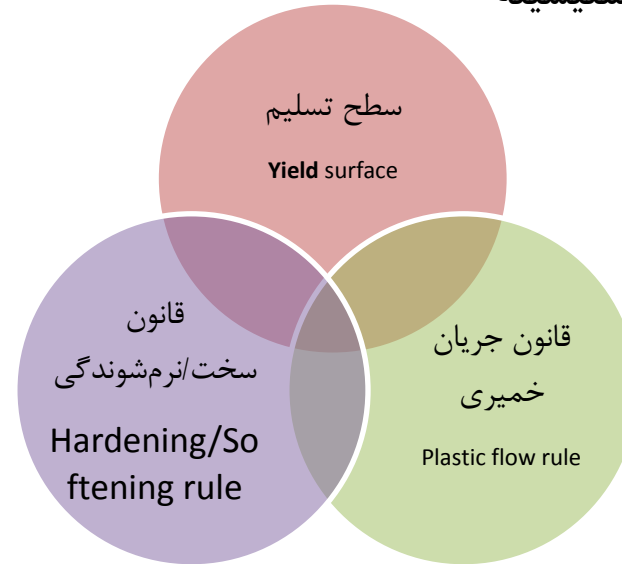
$$\frac{\partial(\sigma'_{xx} - \alpha P)}{\partial x} + \frac{\partial\sigma'_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma'_{xz}}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial\sigma'_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial(\sigma'_{yy} - \alpha P)}{\partial y} + \frac{\partial\sigma'_{yz}}{\partial y} = 0$$

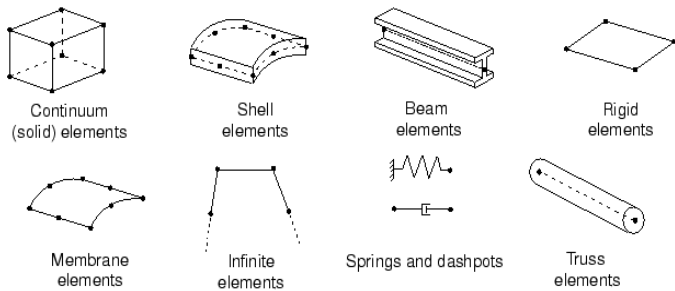
$$\frac{\partial\sigma'_{zx}}{\partial z} + \frac{\partial\sigma'_{zy}}{\partial z} + \frac{\partial(\sigma'_{zz} - \alpha P)}{\partial z} + \rho^s g = 0$$

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p$$

تئوری پلاستیسیته

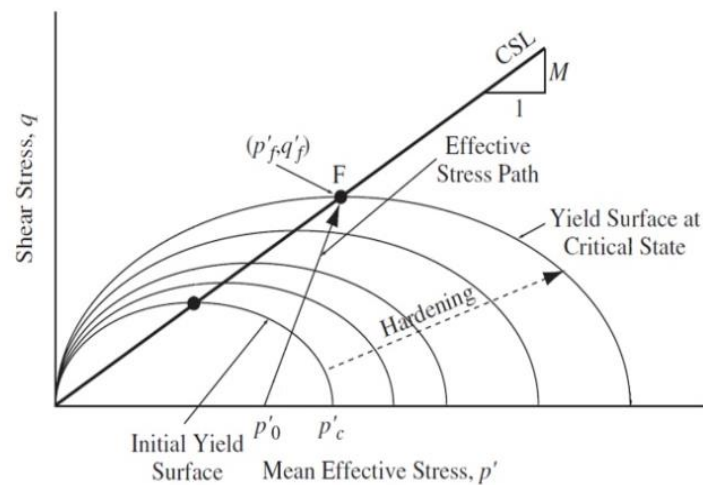
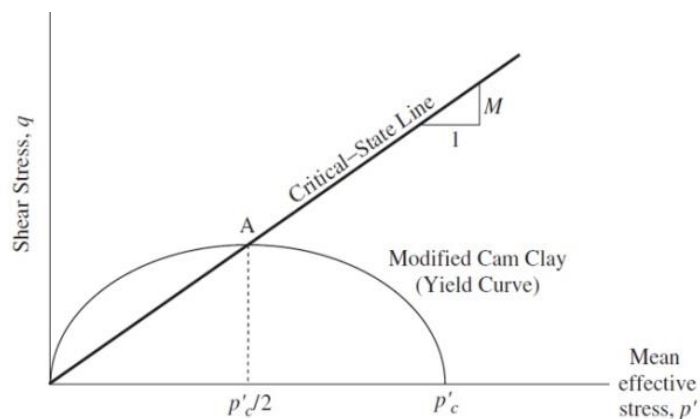
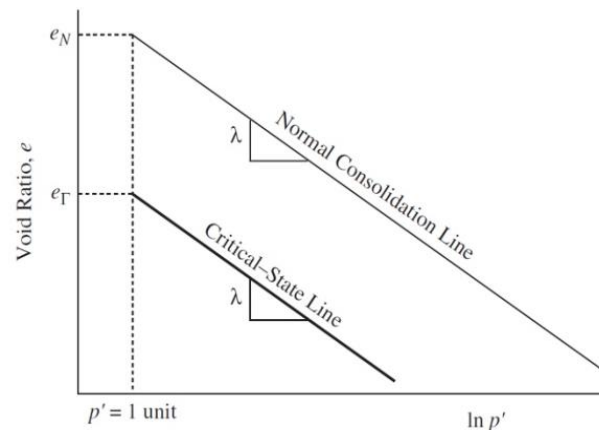
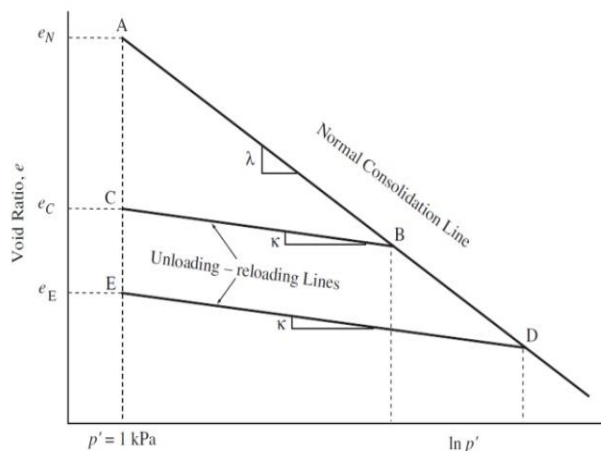


حل عددی المان محدود

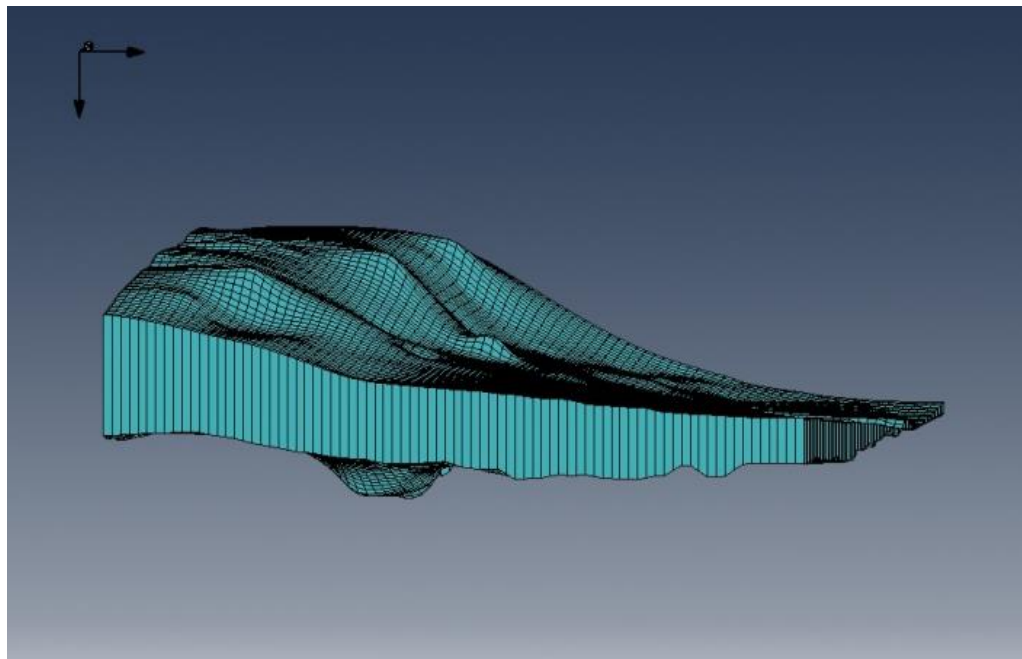
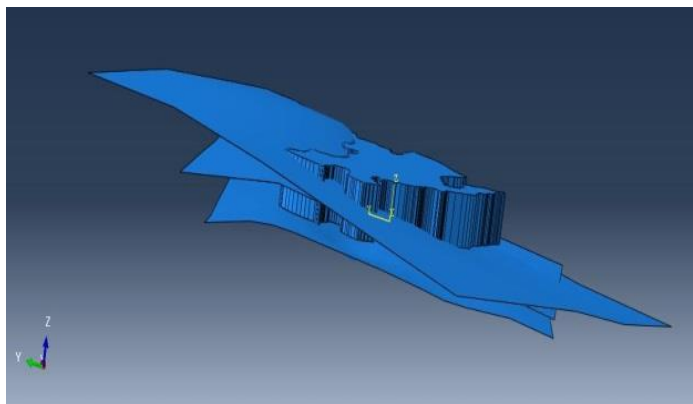
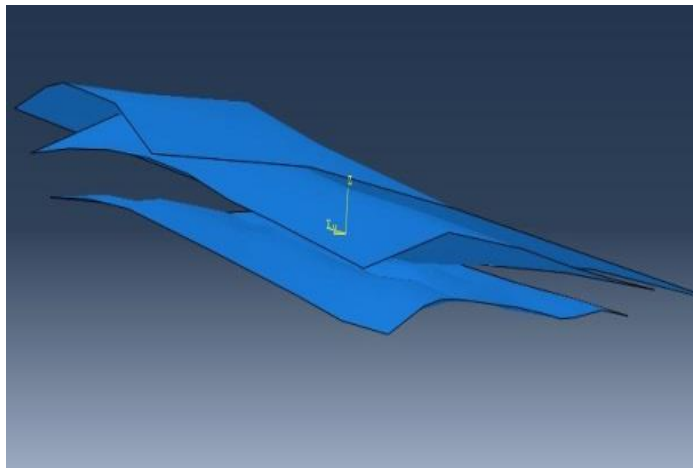


$$Ku^e = f^e$$

پارامترهای مدل اصلاح شده Cam Clay : $M, \lambda, \kappa, \Gamma, v$



مراحل ساخت مدل خاک



مشخصات ساخت مدل خاک

Mass density (kg/m ³)	Young's modulus (Mpa)	Poisson's Ratio	Hydraulic Conductivity (m/s)	Initial porosity	Compression index rang	M	Γ
1800	5	0.33	2e-10	0.5	0.01-0.2	1	2.1

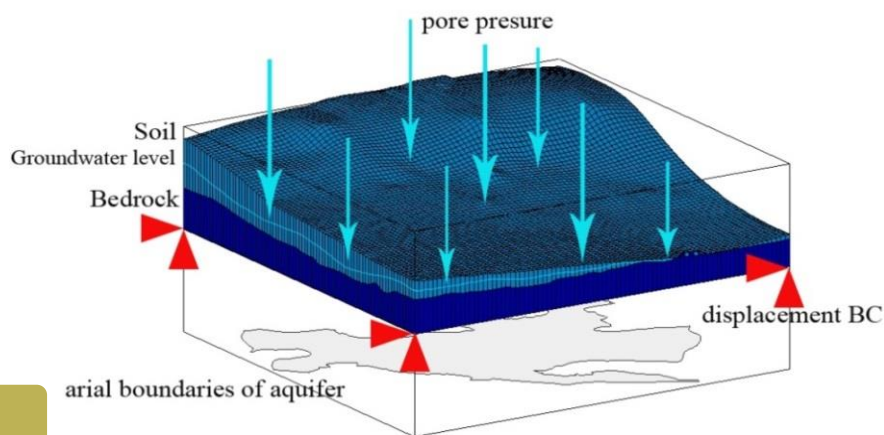
گام های اجرای مدل

Initial step: شرایط اولیه و شرایط مرزی

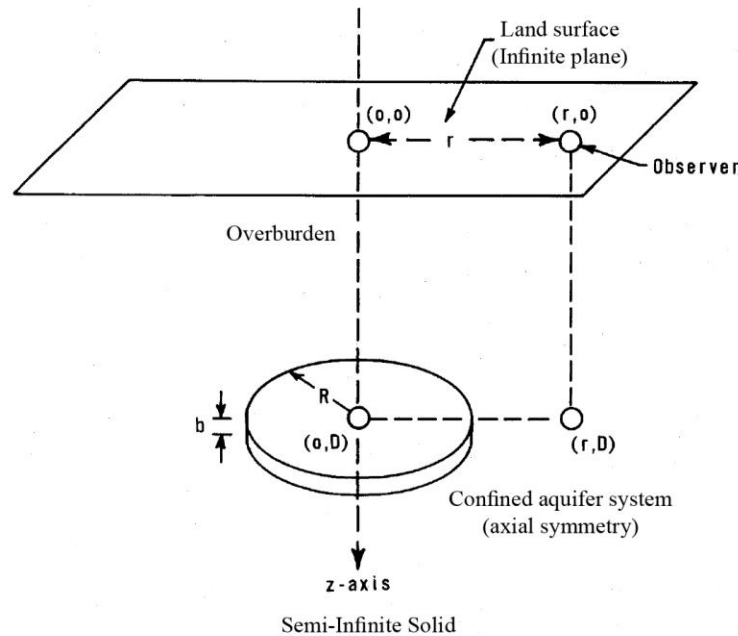
Geostatic: نیروی گرانش - توزیع اولیه فشار حفره ای

Groundwater withdrawal: تغییر فشار حفره ای

Consolidation: محاسبه تغییر شکل



شرایط مرزی



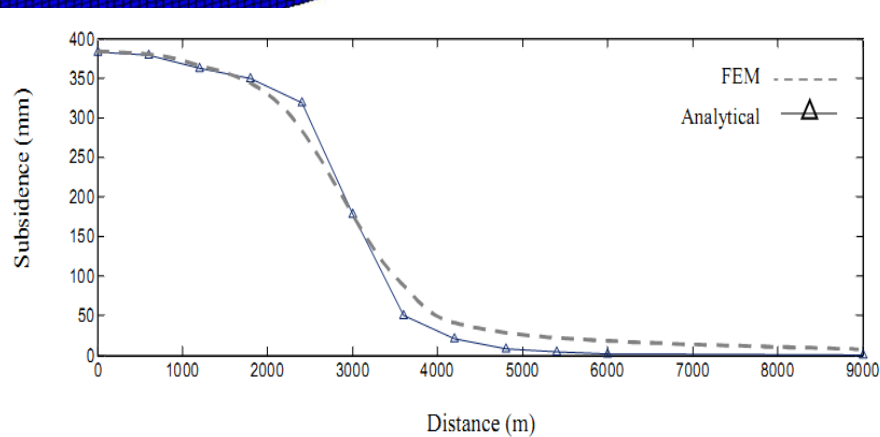
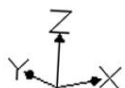
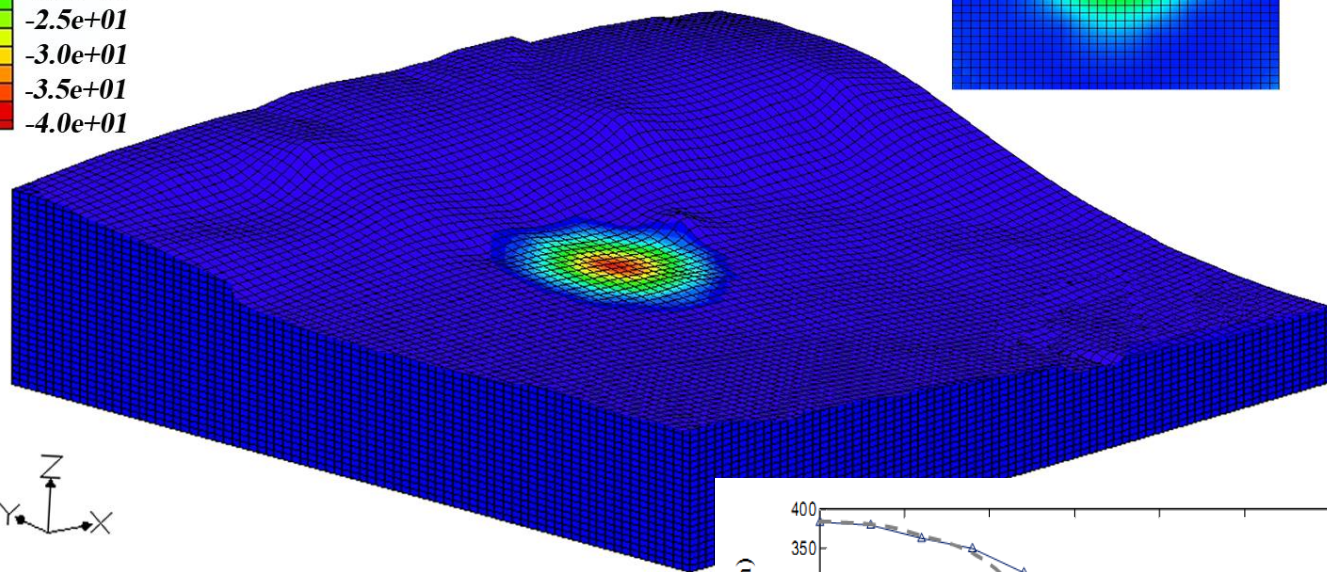
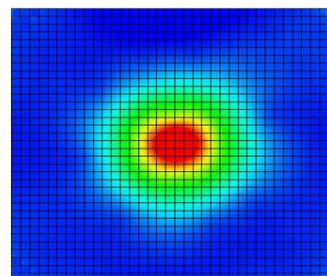
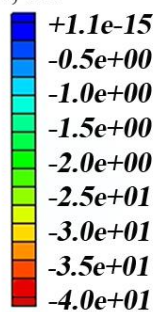
تئوری پروالاستیسیتة
 با مفهوم هسته کرنش Nucleus-of-strain
 (Geertsma, 1973a)

$$u_z(r, 0) = -2c_m(1 - \nu)\Delta p \cdot h \cdot R \int_0^{\infty} e^{-D\alpha} J_1(\alpha R) J_0(\alpha r) d\alpha$$

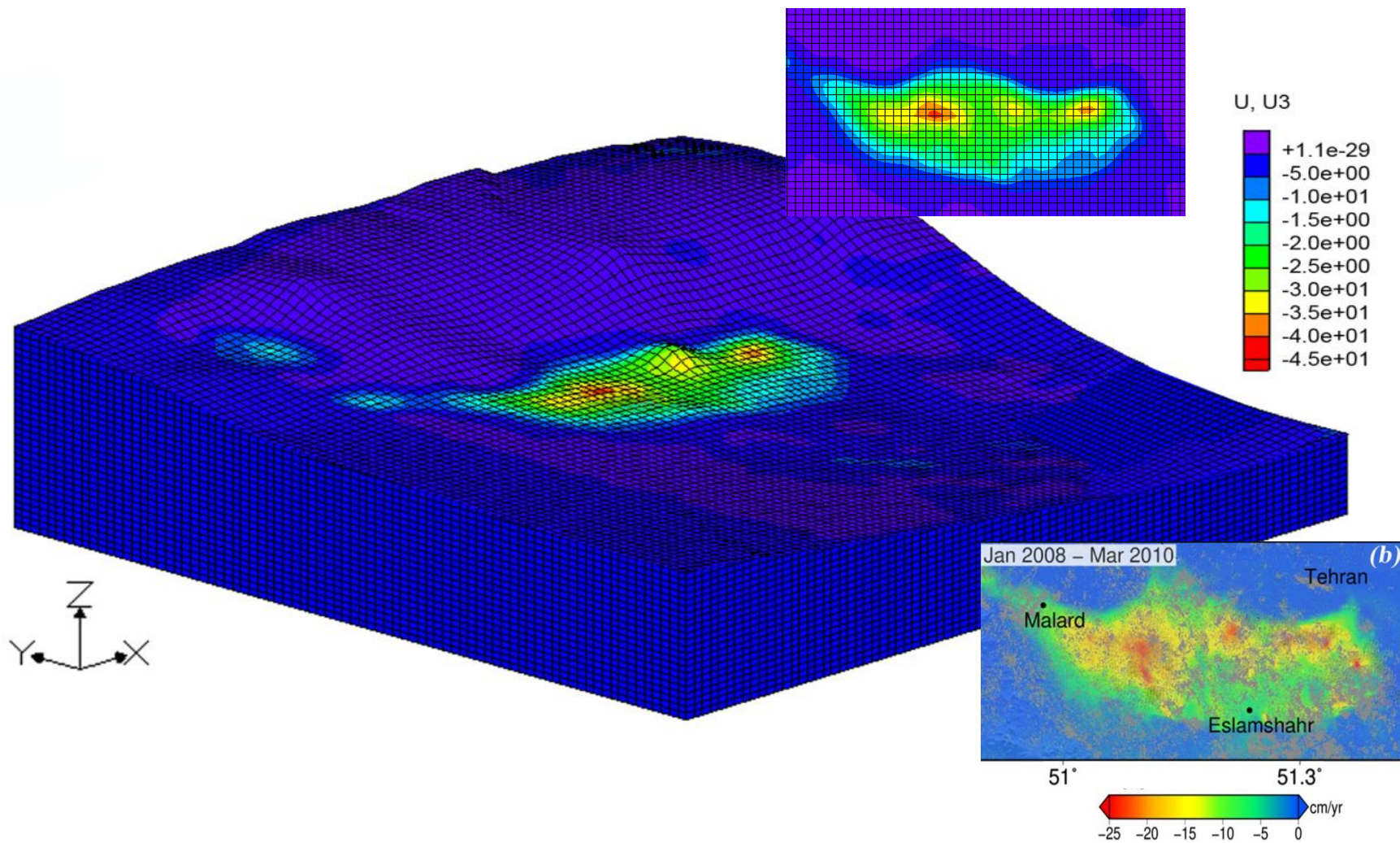
اجرای مدل برای آبخوانی به شکل دیسک با شعاع ۳ کیلومتر، ارتفاع ۱۰ متر و عمق قرارگیری ۳۰۰ متر، با فرض محیط همگن و ایزوتروپ و رفتار الاستیک خاک، فرونشست ناشی از ۱ متر افت آب

مدل پروالاستیک

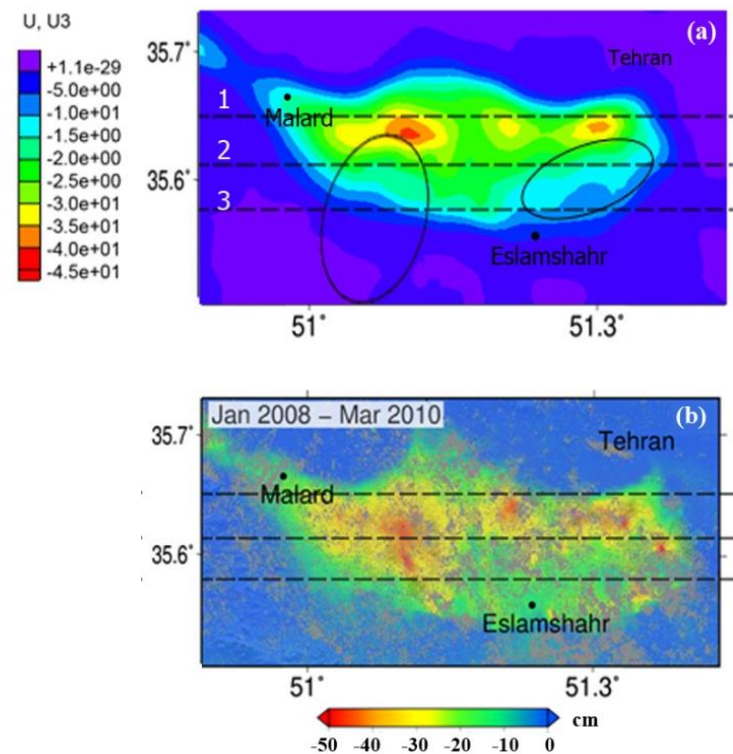
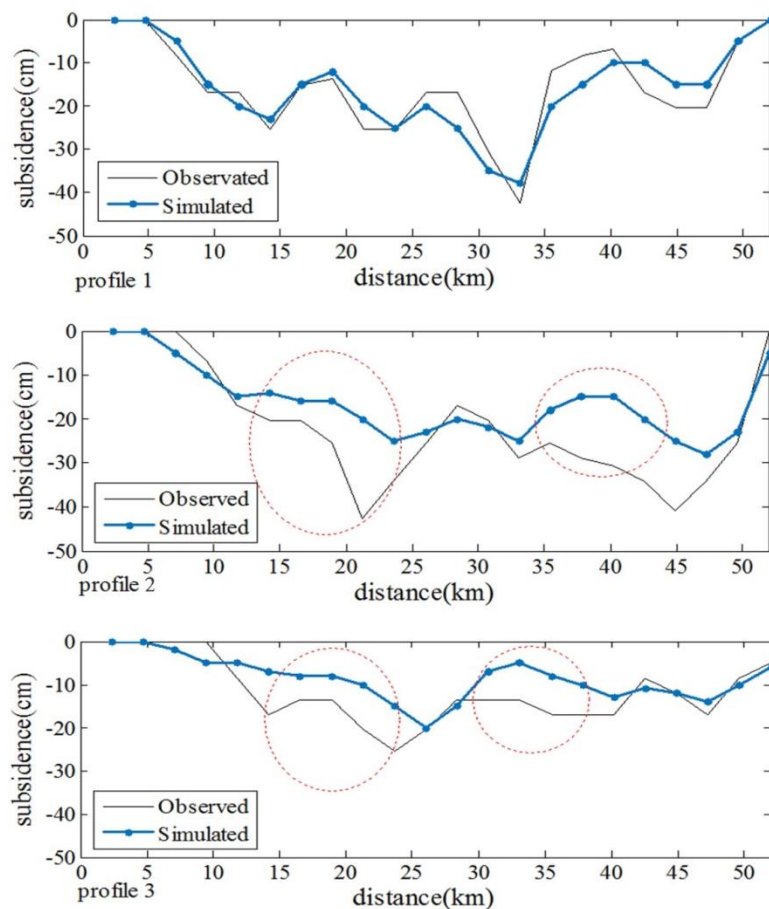
U, U3



مدل پروپلاستیک



(Haghighi and Motagh 2019)

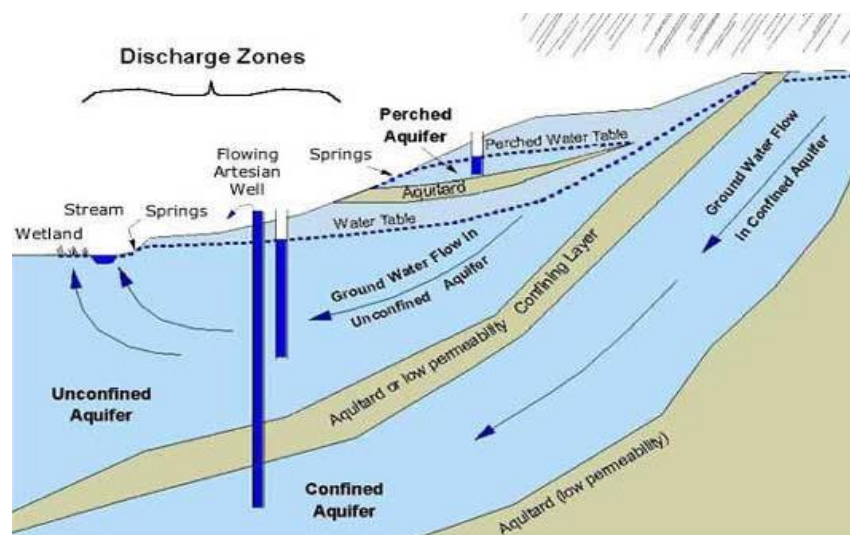
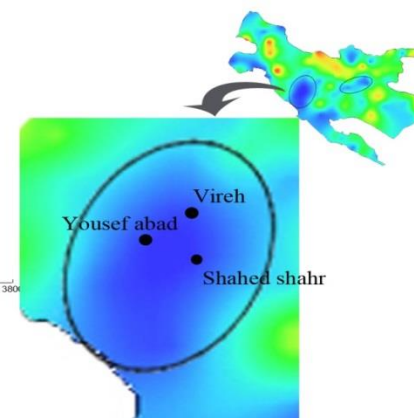
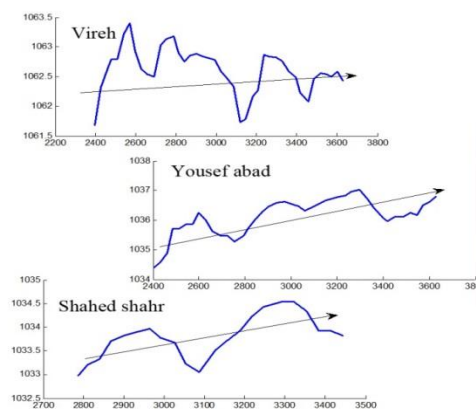
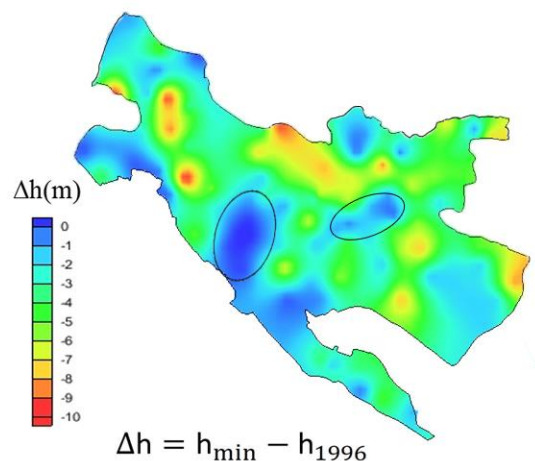


خطای جذر میانگین مربعات :

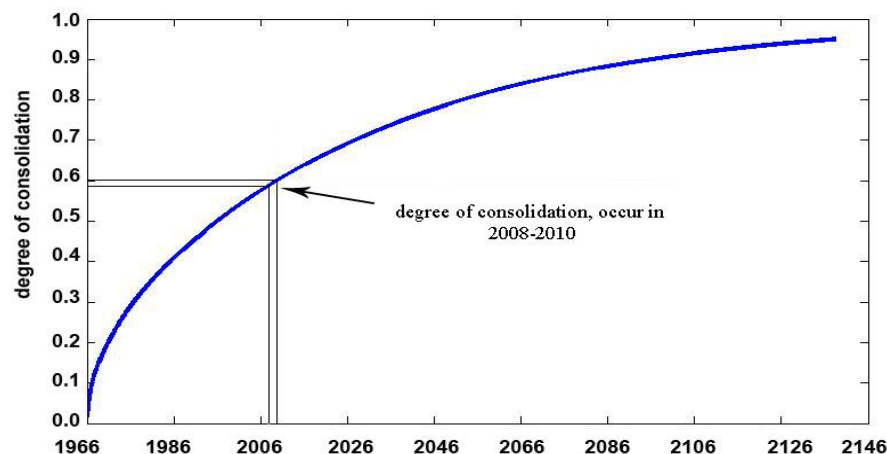
۶/۷ سانتی متر با در نظر گرفتن تمام چاههای پیزومتر (۴.۲-۹-۵.۶)

۴ سانتی متر با صرف نظر کردن از مشاهدات چاههای پیزومتری غیر مرتبط با آبخوان اصلی (۴.۲-۴-۳.۶)

مقدار فرونشست رخ داده در این بازه زمانی (۴۵-۰ سانتی متر) - دقت ۸۵٪ مدل



از سال ۱۹۶۹ تا ۱۹۹۶ کاهش سطح آب زیرزمینی، به میزان متوسط ۰.۵ متر در سال



تکمیل روند تحکیم در منطقه، حدود ۱۸۰ سال طول می کشد.
حاصل آن، فرونشست تقریبی ۷ سانتی متر در سال برای سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۱

جمع بندی

- مدل سازی عددی فرونشست زمین ناشی از افت سطح آب های زیرزمینی آبخوان تهران-کرج
- گام اول، جمع آوری داده ها و استخراج اطلاعات مورد نیاز
- گام دوم، شبیه سازی تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی در منطقه
- استفاده از مشاهدات پیزومتری دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۶ برای کالیبراسیون مدل
- اجرای مدل برای شبیه سازی دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱-هم خوانی خوب مقادیر تراز آب محاسبه شده با مقادیر مشاهده شده آن در چاه های پیزومتر
- گام سوم، مدل سازی فرونشست خاک
- استفاده از اندازه گیری های InSAR سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۵ برای مقید نمودن مدل و برآورد شاخص فشردگی خاک
- اجرای مدل برای شبیه سازی فرونشست رخ داده در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۸-تطابق خوب الگوی فرونشست محاسباتی با الگوی فرونشست مشاهداتی

پیشنهادات

- افزایش تعداد چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه
- حفر چاه‌های مشاهده‌ای با عمق متناسب با آبخوان اصلی
- حفر گمانه‌های ژئوتکنیک عمیق‌تر برای تعیین لایه بندی دقیق خاک
- انجام مطالعات ژئوفیزیک برای شناخت لایه های زیرسطحی
- ادامه پایش فرونشست در منطقه با بهره‌گیری از روش‌های ژئودتیکی به ویژه InSAR
- مدیریت بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی برای حفظ تعادل بین آب ورودی و خروجی از آبخوان

با سپاس



سرچشمه زاینده رود

چشمه کوهرنگ-۱۴۰۰

چشمه کوهرنگ-۱۳۹۷