بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر زمین‌لرزه با نگرشی بر زمین‌لرزه زرند

مونا سلامت[۱]، دکتر حسین معماریان[۲] و دکتر مهدی زارع[۳]

چکیده

تغییرات قابل توجه سطح آب زیرزمینی در بسیاری از زمین‌لرزه‌های بزرگ دنیا مشاهده شده است. امروزه از این تغییرات به عنوان ابزاری جهت پیش‌بینی زمین‌لرزه‌های آتی، آگاهی از منابع آبی جدید و مبارزه با بحران آب بعد از وقوع زمین‌لرزه، استفاده می‌شود. مطالعه زمین‌لرزه‌های تاریخی و سده بیستم ایران نشان می‌دهد که بسیاری از آنها همراه با تغییرات قابل توجهی در سطح آب زیرزمینی منطقه بوده‌اند. به این منظور تغییرات سطح آب در زمین‌لرزه زرند با در دست داشتن اطلاعات هیدروژئولوژی مربوط به ٤ سال آبی ۸۵-۸۱، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد، که زمین‌لرزه مذکور سبب افت قابل توجه سطح آب در تعدادی از قنات‌های نزدیک به کانون زمین‌لرزه شده است. علاوه بر این، تغییرات جزئی سطح آب پیزومترهای مجاور گسل، نشان می‌دهد که روند عمومی تغییرات، قبل و بعد از زمین‌لرزه، در پیزومترهای منطقه یکسان است.

کلید واژه ها: سطح آب زیرزمینی، زمین‌لرزه، زرند- داهوئیه، قنات، کرمان.

Investigation of Ground water level changes caused by earthquakes comparisons with Zarand earthquake

Mona Salamat[1], Dr.Hossein Memarian [2] and Dr.Mehdi Zare[3]

Abstract

Significant ground water level changes have been recorded in most earthquakes of the world. Nowadays these are used as powerful tools to predict future earthquake, get information of new water sources and conquer water crisis after earthquake occurrences. Historical and instrumental earthquakes of Iran indicate that most of them were accompanied by considerable ground water level changes in the region. Therefore ground water level changes in Zarand earthquake were examined according to hydro geological data in a 4 year period, between 2002 and 2006. Then, ground water level changes in February 2005, Zarand-Dahuiyeh, earthquake, were analyzed in detail. The results showed that the earthquake caused considerable water level drop in Qanats nearest to earthquake epicenter. In addition to these negligible changes, water level records of nearest piezometers to fault revealed that general trends of changes before and after the earthquake were the same.

Keywords: groundwater level, earthquake, Zarand- Dahuiyeh, Qanat, Kerman.

.

[۱] کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، salamat.mona@gmail.com

[۲] استاد دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران. memarian@ut.ac.ir

[۳] دانشیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. mzare@iiees.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

آبهای زیرزمینی به عنوان مهمترین منابع تامین آب شیرین، به‌خصوص در نواحی خشک، از اهمیت بالایی برخوردارند. بنابراین، مطالعه نوسانات سطح آب، که منجر به بالا و پایین رفتن تراز آب زیرزمینی در این مناطق می‌شود، امری ضروری است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های رخداده در منطقه تاثیر بسزایی در تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه دارند (Ambraseys and Melville, 1982). این تغییرات که در اثر افزایش و یا کاهش فشار حفره‌ای خاک ایجاد می‌شود، منجر به پایین رفتن سطح آب داخل چاه‌ها و یا فوران آب از داخل آنها و خشکیدن پاره‌ای از چشمه‌ها و قنات‌ها یا جاری شدن آب از نقاطی که قبلاً خشک بوده است، می‌گردد. در بسیاری از موارد می‌توان از تغییرات لرزه‌ای سطح آب، قبل از رخداد زمین‌لرزه، به عنوان یک پیش‌نشانگر مهم جهت پیش‌بینی زمین‌لرزه‌های آتی استفاده نمود (Hartman and Jason, 2006). تاکنون ده‌ها پیش نشانگر مختلف برای زمین‌لرزه شناسایی شده که مهمترین آنها پیش‌نشانگرهای آبشناختی، لرزه‌شناختی، تغییرات مقاومت الکتریکی زمین و الگوی اتساع‌پذیری پوسته زمین می‌باشند. از پیش‌نشانگرهای آب شناختی می‌توان تغییرات سطح آب قبل از رخداد زمین‌لرزه و تغییرات غلظت گاز رادون در آبهای زیرزمینی را نام برد. علاوه بر این، آگاهی از تراز آب زیرزمینی بعد از زمین‌لرزه، اطلاعاتی ارزشمند در رابطه با بهره‌برداری و یا عدم بهره‌برداری از این منابع در اختیار ما قرار می‌دهد. همچنین در بسیاری از موارد بالا آمدن سطح آب زیرزمینی بعد از رخداد زمین‌لرزه مشکلات بسیاری در منطقه ایجاد کرده است، که با انجام مطالعاتی از این دست می‌توان به مقابله با چنین بحران‌هایی در منطقه پرداخت. به این منظور، در این مقاله، به دنبال بررسی رابطه سطح آب زیرزمینی و چند زمین‌لرزه بزرگ جهان، زمین‌لرزه‌های رخداده در ایران، که هر یک به نوعی تغییراتی در سطح آب زیرزمینی منطقه به وجود آورده‌اند، معرفی شده‌اند. در انتها، تغییرات سطح آب زیرزمینی در مجاورت گسل کوهبنان، تحت تاثیر زمین‌لرزه اسفندماه سال ۸۳ زرند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر زمین‌لرزه

تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌تواند قبل و یا بعد از رخداد زمین‌لرزه ایجاد شود. در بسیاری از زمین‌لرزه‌های بزرگ جهان، تغییرات سطح آب زیرزمینی قبل از رخداد زمین‌لرزه گزارش شده است. در زمین‌لرزه سال ۲۰۰۸ ونچوان[1] چین به بزرگای Mw=7.9، ۱۷ روز قبل از زمین‌لرزه، آب یک تالاب در مدت چند ساعت ناپدید شد و تغییرات غیرعادی سطح آب چند روز قبل از زمین‌لرزه سبب رفتار غیرعادی بسیاری از حیوانات و بیرون آمدن بسیاری از وزغ‌ها به سطح زمین شد (شکل۱). تغییرات غیرعادی سطح آب بعد از زمین‌لرزه نیز در بسیاری از زمین‌لرزه‌های بزرگ جهان مشاهده شده است که از آن‌جمله می‌توان به برخی زمین‌لرزه‌های اخیر اشاره کرد :

- زمین‌لرزه سال ۲۰۰۹ میلادی آکیلا[2] ایتالیا (Mw= ۶/۳) (Rossetto et al., 2009)
- زمین‌لرزه سال ۲۰۰۸ میلادی ونچوان چین (Mw=۷/۹)
- زمین‌لرزه سال ۲۰۰۳ میلادی توکاچی- اکی[3] ژاپن (Mw= ۸) (Naoji and Norio, 2004)
- زمین‌لرزه سال ۱۹۹۹ میلادی چی- چی[4] تایوان (Mw= ۷/۶) (Wen-chi et al., 2004)
- زمین‌لرزه سال ۱۹۹۵ میلادی کوبه[5] ژاپن (Mw=۷/۲) (Hartman and Jason, 2006)

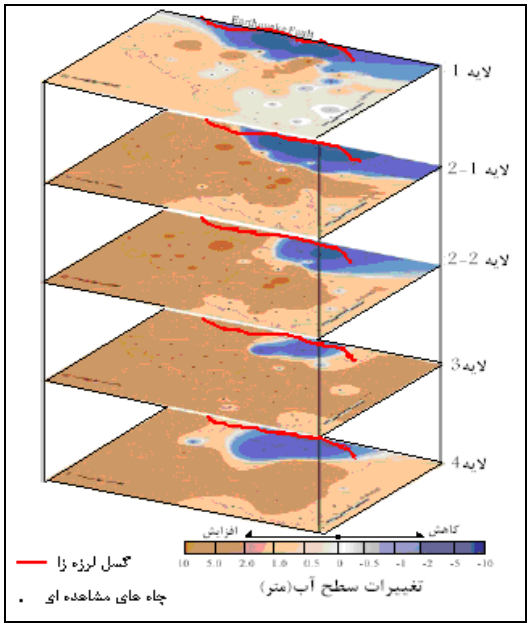
[1] Sichun
[2] L'Aquila
[3] Tokachi - oki
[4] Chi-Chi
[5] Kobe

Archive of SID

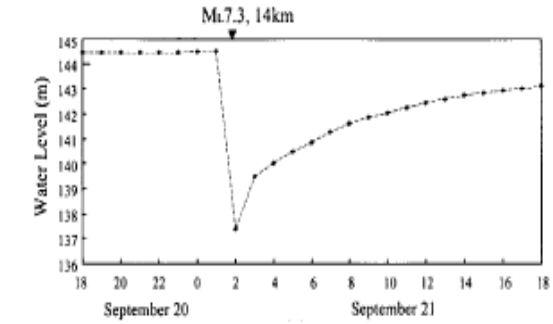
www.SID.ir

شکل ۱. بالا آمدن وزغ‌ها به سطح زمین در اثر تغییرات سطح آب زیرزمینی، ساعاتی قبل از رخداد زمین‌لرزه ونچوان چین

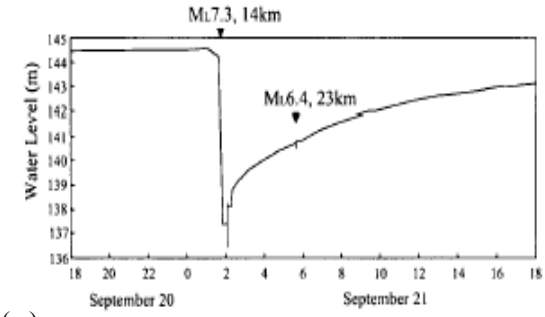
شکل(۲) تغییرات سطح آب در آبخوان‌های مختلف مخروط‌افکنه‌های محدوده چی- چی و شکل(۳) افت سطح آب در چاهی به فاصله ۱٤ کیلومتری از کانون زمین‌لرزه مذکور را نشان می‌دهد. (Wen-Chi et al., 2004)



شکل۲. تغییرات لرزه‌ای سطح آب و پراکندگی چاه‌ها در آبخوان‌های مختلف مخروط‌افکنه‌های محدوده چی- چی، تایوان، اطراف گسل لرزه‌زا. (لایه۱: آبخوان آزاد در اعماق کم، لایه‌های ۱-۲ و ۲-۲: آبخوان‌های محصور در اعماق متوسط و لایه‌های ۳ و ٤: آبخوان‌های محصور در اعماق زیاد هستند) (Wen-Chi et al., 2004)



(الف)



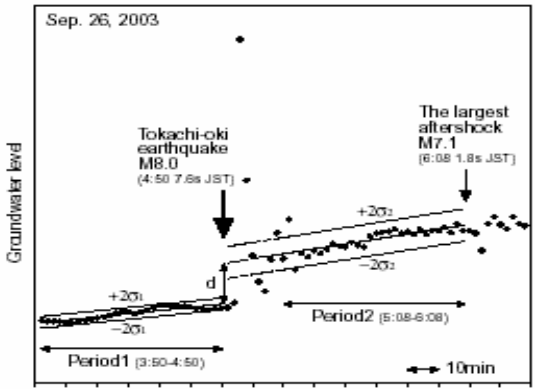
(ب)

شکل ۳. تغییرات ساعتی (الف) و آنالوگ (ب) سطح آب در چاهی به فاصله ۱٤ کیلومتری از کانون زمین‌لرزه چی- چی (Wen-Chi et al., 2004).

بررسی‌های انجام گرفته، نشان داد که مهمترین پارامترهای موثر در تغییرات سطح آب در زمین‌لرزه چی- چی عبارتند از:

- خصوصیات آبخوان
- تنوع واحدهای زمین‌شناختی
- روانگرایی و قابلیت افزایش آن
- گرادیان هیدرولیکی پیش از زلزله

شکل(٤) تغییرات سطح آب پس از رخداد زمین‌لرزه توکاچی- اکی ژاپن را نشان می‌دهد (Naoji and Norio, 2004)



شکل ٤. تغییرات سطح آب پس از رخداد زمین‌لرزه توکاچی ژاپن (Naoji and Norio, 2004)

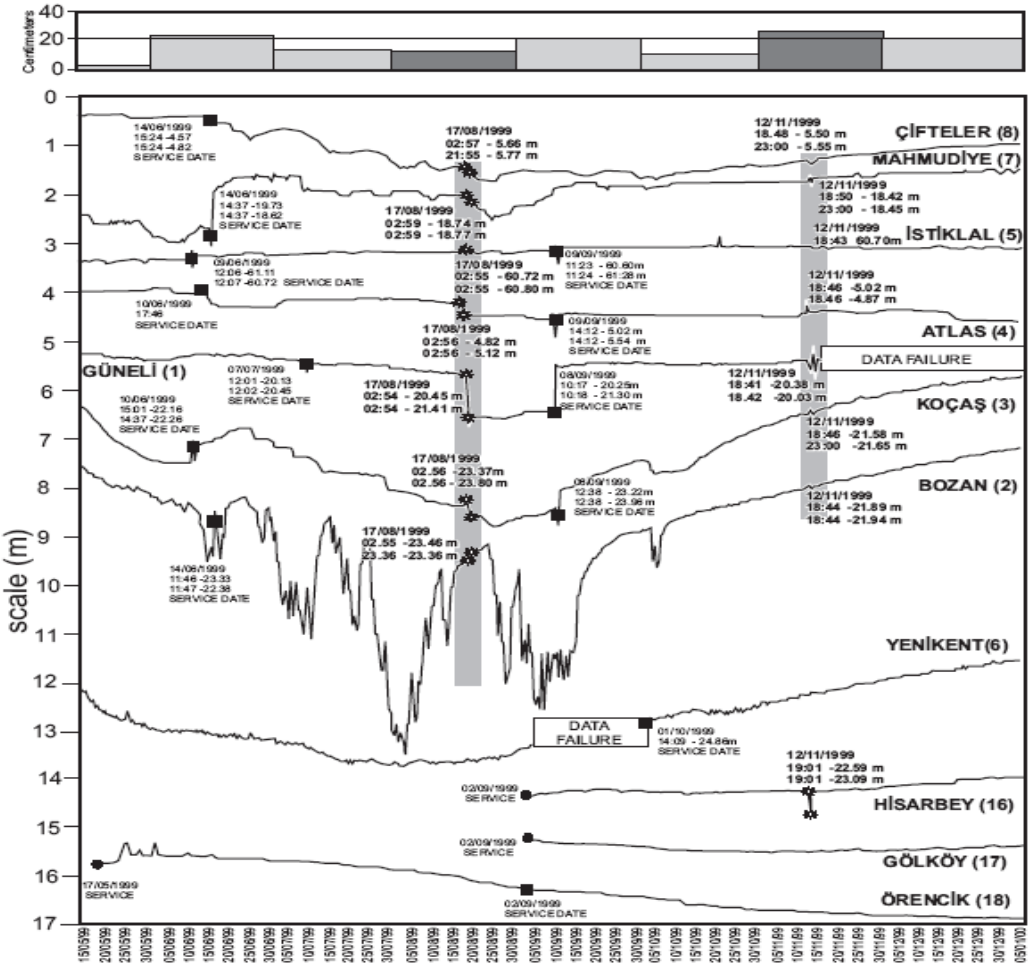
Archive of SID

www.SID.ir

منحنی تغییرات سطح آب نشان می‌دهد که عمده تغییرات پس از رخداد زمین‌لرزه، به صورت تغییرات نوسانی[1] و پله‌ای[2] بوده است. با توجه به شکل (٤)، تغییرات نوسانی سطح آب در دوره ۱ (قبل از وقوع زمین‌لرزه)، دارای انحراف معیار کمتری نسبت به دوره ۲ (پس از وقوع زمین‌لرزه)، می‌باشد ($\sigma_1 < \sigma_2$). اگر رگرسیون خطی تغییرات نوسانی در دوره‌های ۱ و ۲ رسم شود، بین دو خط رگرسیون حاصل، افتی به اندازه d مشاهده می‌شود. مقدار d را به عنوان افت پله‌ای سطح آب در نظر می‌گیرند. در صورتیکه بزرگای d از دو برابر انحراف معیار دوره‌های ۱ و ۲ بیشتر باشد $d > 2\sigma_1, 2\sigma_2$.

،میزان افت پله‌ای سطح آب به عنوان تغییرات شاخص در نظر گرفته می‌شود. در صورت عکس این حالت، تغییرات نوسانی شاخص است (Tsutomu et al., 2004).

به منظور افزایش دقت چنین مطالعاتی، لازم است تغییرات روزانه سطح آب به صورت نگاشتهایی رسم گردد. شکل(۵) تغییرات روزانه سطح آب زیرزمینی در محدوده اسکی‌شهیر[3] قبل و بعد از رخداد زمین‌لرزه‌های ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ و۲۲ نوامبر ۱۹۹۹ ایزمیت[4] و دوزجه[5] ترکیه را نشان می‌دهد (Yaltirak et al., 2005).



شکل(۵). تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های محدوده اسکی‌شهیر، قبل و بعد از رخداد زمین‌لرزه‌های ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ ایزمیت (چپ) و ۱۲ نوامبر ۱۹۹۹ دوزجه ترکیه (راست). بخش بالایی شکل، میزان کل بارش بین ماه‌های می تا دسامبر ۱۹۹۹ را نشان می‌دهد (Yaltirak et al., 2005).

[1] Oscillatory change
[2] Step- like
[3] Eskisehir
[4] Izmit
[5] Duzce

www.SID.ir

۲-۱. مطالعه زمین‌لرزه‌های موثر در تغییر سطح آب در ایران

در ادامه اطلاعات در دسترس، رابطه بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و زمین‌لرزه‌های تاریخی را به گونه‌ای که توسط امبرسیز و ملویل (1982) گزارش شده، مرور می‌کنیم.

مطالعه زمین‌لرزه‌های تاریخی و سده بیستم ایران نشان می‌دهد که تعدادی از زمین‌لرزه‌های رخداده در ایران همراه با تغییرات قابل ملاحظه سطح آب زیرزمینی منطقه بوده‌اند. تغییرات گوناگون سطح آب هم‌زمان و بعد از رخداد در بسیاری از زمین‌لرزه‌ها مشاهده شده است، به عنوان مثال در ذیحجه۲۰۳ زمین‌لرزه فاجعه باری در خاور خراسان روی داد که در نتیجه زمین‌لرزه سطح آب زیرزمینی بسیار بالا آمد و بیابان سدره بین شبرغان و بلخ را آب فرا گرفت و آنرا به سرزمینی حاصلخیز بدل کرد.

در اول ذیحجه سال ۳٤٦ زمین‌لرزه فاجعه باری در شمال مرکزی ایران روی داد. در نتیجه این زمین‌لرزه، کوهی در نزدیکی ری شکاف برداشت و آب از زمین بیرون ریخت. در کوههای رویان در شمال ری، زمین لغزه‌های گسترده مسیر رودخانه‌ای را بست که آب آن پس نشست و دریاچه‌ای ساخت

در سال ۱۷۸۰ میلادی به دنبال یک پیش‌لرزه نیرومند، زمین‌لرزه فاجعه باوری در منطقه تبریز، این شهر را تقریباً به طور کامل ویران کرد. زمین‌لرزه با یک گسیختگی گسلی همراه بود که دست کم شصت کیلومتر درازا داشت. در منطقه پست باختر تبریز، خاک دچار روانگی شد و گل از زمین بیرون زد. در اثر لرزه چشمه‌ها و قنات‌ها خشکید و روانه‌های جدید آب در جاهای دیگری جریان یافت که در برخی جاها تا بدان اندازه زیاد بود که ناحیه درهم‌کوبیده شده در اثر زمین‌لرزه را سیل فرا گرفت. جریان آب پس از حدود ۲ ساعت بازایستاد و آب‌ها به سوی دریاچه ارومیه کشیده شد.

در۲۵ ژوئن سال ۱۸۲٤ میلادی زمین‌لرزه ویرانگری درمنطقه شیراز روی داد. زمین‌لرزه سبب بالا آمدن ماندگار سطح ایستابی در منطقه شیراز شد.

در۲ ژوئیه سال ۱۸٤۰ میلادی زمین‌لرزه فاجعه باری در منطقه بین فرات علیا و کوه آرارات روی داد که در اثر آن جریان آب در بسیاری از روانه ها و چشمه ها در فرات بالا و در منطقه شارور افزایش یافت، در حالیکه در منطقه نخجوان چشمه‌های بسیاری برای مدتی خشکید.

در مه سال ۱۸۷۵ میلادی زمین‌لرزه شدیدی در منطقه کوهبنان، روستا و دژ جور و نیز زیستگاه‌های طغرالجرد را ویران کرد. لرزه باعث خشکیدن چشمه‌ها در طغرالجرد و رسیدن آسیب به خانه‌ها گردید. روستای واسط نیز ویران شد و لرزه در کرمان و توابع آن به شدت حس شد.

در ۲۵ سپتامبر سال ۱۹۰۳ میلادی زمین‌لرزه شدیدی آسیب‌های گسترده‌ای به منطقه ترشیز (کاشمر) در سوی باختر تربت حیدریه در خراسان رساند. در اثر این زمین-لرزه در جریان آب چشمه‌ها و چاه‌ها نیز تغییراتی موقتی مشاهده شد.

در ۱۵ ژوئیه سال ۱۹۲۹ میلادی هنگام نیم‌روز یک زمین‌لرزه آسیب‌رسان استان‌های جنوب باختری خوزستان و بختیاری را لرزاند. پسلرزه ها و نیز چشمه های تازه‌ای که پس از زمین‌لرزه سربرآورند سبب جنبش‌های افزونتر توده لغزشی شدند.

در٦ مه سال ۱۹۳۰ میلادی زمین لرزه‌ای شهرستان شاهپور را در هم کوبید.این زمین‌لرزه در چشمه‌های ناحیه تاثیر گذاشته، اما این که هیچ‌گونه اثرماندگار بر حوزه‌های آبگیری لایه‌های آبده و یا تراوایی آن‌ها گذارده باشد جای تردید است. در نتیجه زمین لرزه، سطح ایستابی موقتا بالا رفت و مناطق پست دره را آب فراگرفت، اما به زودی به سطح پیشین خود فرو نشست.

در بعد از ظهر ۲۸ نوامبر سال ۱۹۳۳ میلادی، زمین‌لرزه گروه کوچکی از روستاهای کویری شمال باختر بهاباد را به کلی ویران کرد. در این روستاها وپیرامون آن، که در زمان زمین لرزه سطح ایستابی در حدود ۵ متری زیرسطح زمین بود، زمین‌لرزه باعث روان شدن گسترده خاک و بیرون ریختن گل توسط گلفشان‌ها شد. این

Archive of SID

www.SID.ir

زمین‌لرزه همچنین سبب فروریزش گسترده زمین و بیرون ریختن ماسه از شکاف‌ها، در امتداد زون باریکی، گردید. به‌نظرمی‌رسد که این نواحی با مرزهای باختری کفه رسی و با ناحیه‌هایی که سطح ایستابی آنها بالا است در ارتباط بوده‌اند. در یک جا شکستگی‌های زمین از روند یک قنات متروک پیروی کرده و باعث پدیداری افت ظاهری یک متری به پایین شد.

در ۵ ژوئیه سال ۱۹٤۸ میلادی زمین‌لرزه نیرومندی در استان کرمان حس شد. در منطقه جوپاز پس از زمین‌لرزه مدتی آبدهی قنات‌ها به گونه‌ای چشمگیر افزایش یافت.

در ۱ سپتامبر سال ۱۹٦۲ میلادی، در اثر زمین‌لرزه فاجعه باری در منطقه پرجمعیت جنوب قزوین ۱۲۲۰۰ تن کشته شدند. این زمین‌لرزه باعث پدید آمدن تغییراتی در منابع آب زیرزمینی و جریان چشمه‌ها شد. البته تغییرات ماندگار در مجراهای زیرزمینی، تنها در نواحی همسایه زون گسل و در سوی شمال آن زون روی داد.

زمین‌لرزه بم در ۵ دی ماه سال ۱۳۸۲، به بزرگای Mw=6/5 تحت تاثیر گسل ناشناخته‌ای که بعدها گسل ارگ بم نامیده شد، در عمق ۸ کیلومتری از سطح زمین به وقوع پیوست. زمین‌لرزه سبب تغییرات کمی و کیفی بسیاری در آبخوان‌های منطقه گردید. چکیده تغییرات ایجاد شده در آبهای زیرزمینی در اثر این زمین لرزه عبارت است از (سالاری، ۱۳۸٤):

– افت شدید سطح آب زیرزمینی بعد از وقوع زمین‌لرزه.

– تغییر در میزان آبدهی قنوات و چاه‌های مجاور گسل لرزه‌زا.

– کاهش میزان جریانات ورودی در محدوده مجاور گسل.

– افزایش غلظت یون‌های سولفات و کلراید در نواحی شمالی و شرقی دشت، به دلیل جابجایی لایه‌های سنگی آتشفشانی (توفیت)، در اثر حرکت گسل.

– تغییر شیب هیدرولیکی و جهت جریان در نواحی مجاور گسل لرزه‌زا.

– نامطلوب شدن کیفیت آب از نظر شرب و کشاورزی در نواحی مجاور گسل (میزان این تغییرات در فواصل دورتر از گسل لرزه‌زا در حد ناچیزی بوده است).

– کاهش آبدهی و خشک شدن قنات‌ها در اثر جابجایی مسیر آن‌ها توسط گسل.

با مطالعه زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی ایران، و بررسی تاثیر آنها در تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه، می‌توان تغییرات سطح آب در زمین‌لرزه‌های نامبرده را به صورت زیر خلاصه کرد:

– بالا آمدن ماندگار سطح ایستابی

– بالا آمدن وسپس افت سطح ایستابی

– بالا آمدن سطح ایستابی به دلیل پدیده روانگرایی

– فوران آب از سطح زمین

– افت سطح ایستابی

– خشک شدن آب چشمه‌ها و قنات ها

بررسی تغییرات سطح آب در اثر زمین‌لرزه زرند– داهوئیه

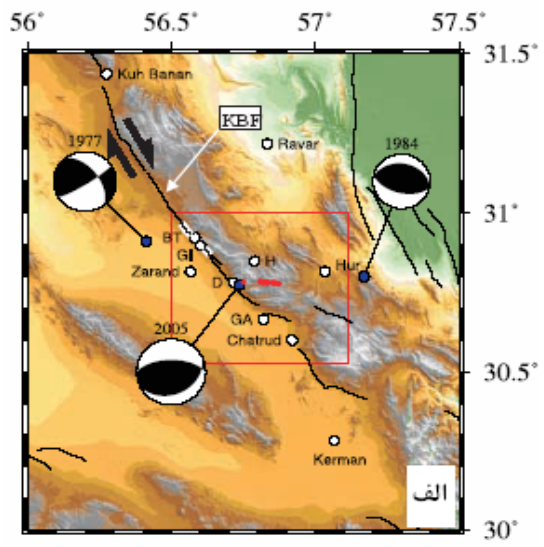
زمین‌لرزه زرند– داهوئیه در ٤ اسفند ماه سال ۱۳۸۳ به بزرگای امواج سطحی Ms=6/5 در شرق شهرستان زرند، واقع در استان کرمان، به‌وقوع پیوست (Talebian et al., 2006).

مختصات رومرکز این زمین‌لرزه ۳۰/۷٦ درجه عرض شمالی و ٥٦/۷٤ درجه طول شرقی می‌باشد. رویداد اصلی در منطقه زرند با حدود ۳۰ پسلرزه دنبال شد و در عصر همان روز بزرگترین پسلرزه به بزرگای ٤/۲ ثبت شده است. ژرفای کانونی این زمین‌لرزه ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر بوده است. این زمین‌لرزه در اثر فعالیت گسل شرقی– غربی داهوئیه، از شاخه‌های فرعی گسل امتداد لغز کوهبنان، در محدوده زرند، رخداده است (Zare et al., 2007).

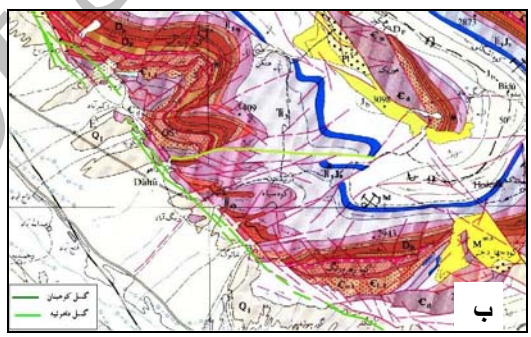
شکل٦ (الف) موقعیت محدوده زرند و ساز و کار زمین‌لرزه مذکور را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



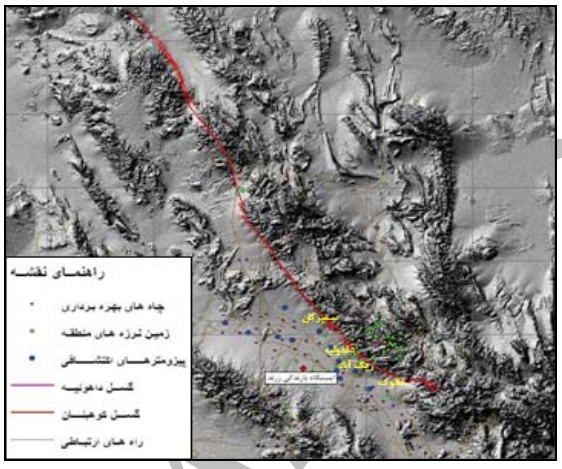
شکل ٦ (الف). موقعیت محدوده زرند در استان کرمان به همراه سازوکار زمین‌لرزه‌های رخداده اطراف گسل (BT: باب تنگل، GI: گیسک، D: داهوئیه، H: هوتکن و GA: گورچوئیه) (Talebian et al., 2006).



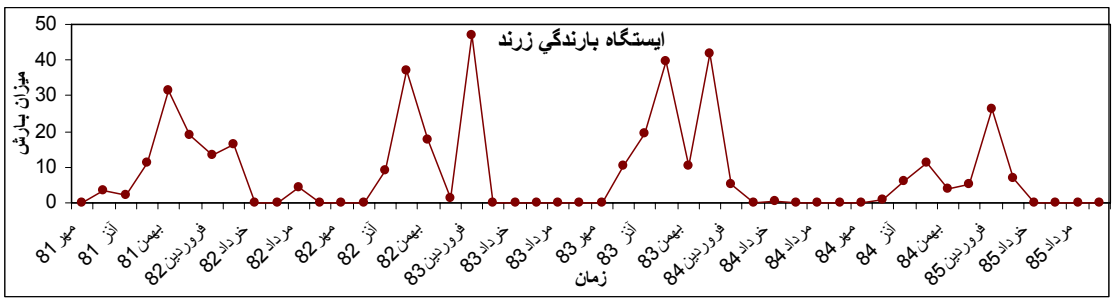
شکل ٦ (ب). موقعیت گسل داهوئیه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ رفسنجان (GSI 1992)

زمین‌لرزه مذکور تغییرات قابل توجهی در آبدهی چاه‌ها و قنات‌های منطقه ایجاد کرده است.

با بهره‌گیری از اطلاعات ١٤ پیزومتر، چاه‌های بهره‌برداری اطراف آنها، میزان بارش در ایستگاه بارندگی زرند و زمین‌لرزه رخداده، تغییرات سطح آب در پیزومترهای اطراف گسل، قبل و بعد از زمین‌لرزه اسفندماه زرند- داهوئیه، مورد بررسی قرار گرفت. به منظور آگاهی از جریانات ورودی اطراف هر یک از پیزومترها از میزان بارش مربوط به ایستگاه بارندگی زرند (شکل ۹) و برای آگاهی از میزان تخلیه آب اطراف پیزومترها در زمان رخداد زمین‌لرزه، از چاه‌های بهره‌برداری نزدیک هر پیزومتر، استفاده شده است. شکل (۷) پراکندگی منابع آبی مختلف اطراف گسل کوهبنان، نزدیک به کانون زمین‌لرزه را نشان می‌دهد. شکل (۷) نشان می‌دهد که گسل امتداد لغز کوهبنان (Bachmanov et al., 2004) به صورت مرزی میان ارتفاعات سنگی و رسوبات آبرفتی جوان، قرار گرفته است. بنابراین، دیواره سمت راست گسل، که تماماً در ارتفاعات سنگی قرار گرفته، فاقد هرگونه پیزومتر اکتشافی است. تمامی پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری دیواره سمت چپ گسل در محدوده دشت زرند، که شامل رسوبات رسی آهک دار، ماسه و گراول است، قرار دارند (رادفر، ۱۳۸۲).



شکل ۷. موقعیت منابع آبی مختلف اطراف گسل کوهبنان

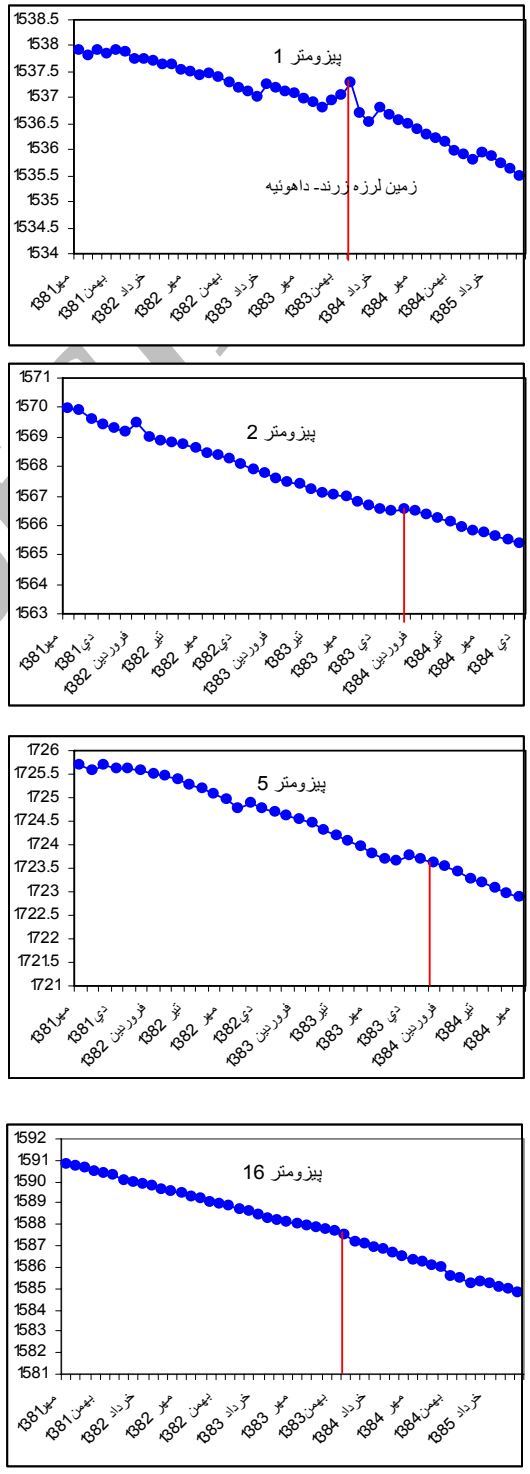


شکل۸ منحنی میزان بارش، قبل و بعد از زمین‌لرزه زرند- داهوئیه در ایستگاه بارندگی

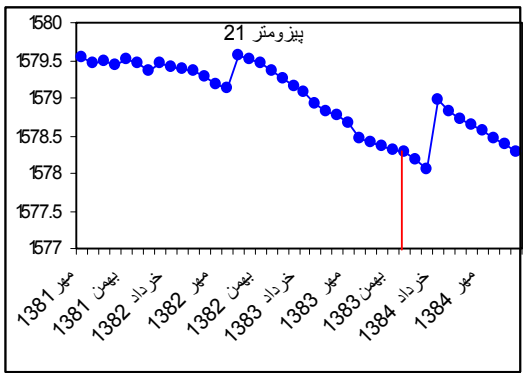
Archive of SID

www.SID.ir

شکل (۹) تغییرات سطح آب در پیزومترهای شماره ۱، ۲، ۵، ۱۶ و ۲۱ را نشان می‌دهد. افت سطح آب در پیزومترهای شماره ۱ و ۲۱ کاملاً مشهود است ولی افت سطح آب در اثر زمین‌لرزه زرند- داهوئیه در پیزومترهای شماره ۲، ۵ و ۱۶ جزئی است.

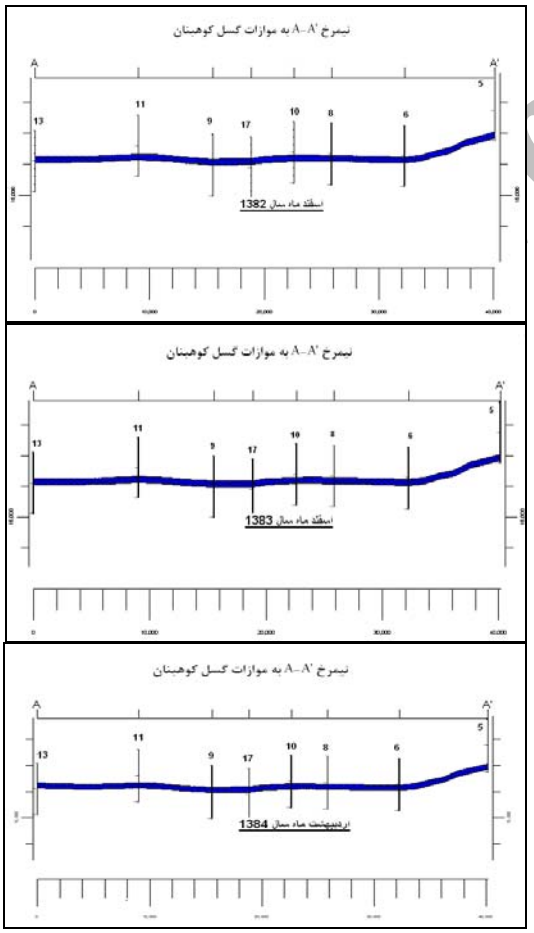


شکل ۸. تغییرات سطح آب در پیزومترهای ۱، ۲ و ۵ . خط قرمز زمان رخداد زمین‌لرزه زرند را نشان می‌دهد.



ادامه شکل ۸. تغییرات سطح آب در پیزومترهای ۱۶ و ۲۱ . خط قرمز زمان رخداد زمین‌لرزه زرند را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی روند عمومی تغییرات در نواحی مجاور گسل، تغییرات سطح آب در زمانی مشخص در ۸ پیزومتر موازی گسل رسم شد. شکل (۹) تغییرات سطح آب در این پیزومترها را قبل و بعد از زمین‌لرزه اسفندماه سال ۸۳، زرند- داهوئیه نشان می‌دهد.



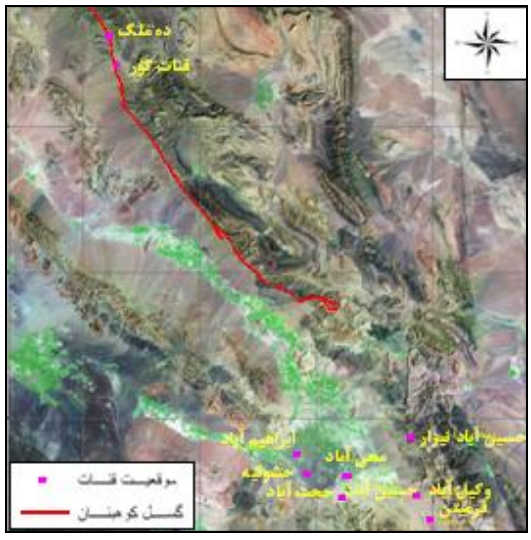
شکل ۹. روند عمومی تغییرات در دوران قبل و بعد از زمین‌لرزه اسفند ماه سال ۸۳

www.SID.ir

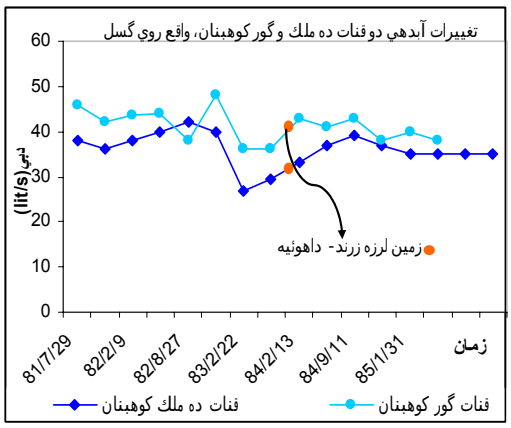
تغییرات سطح آب پیزومترهای موازی گسل در زمانهای مذکور نشان می‌دهد، که علیرغم تغییرات جزئی سطح آب در هر یک از پیزومترها (شکل ۸)، روند عمومی تغییرات سطح آب، قبل و بعد از زمین‌لرزه در منطقه، تقریباً یکسان بوده است (شکل ۱۰).

۳-۱. بررسی قنات‌های نزدیک به کانون زمین‌لرزه

شکل(۱۱) پراکندگی قنات‌های نزدیک به کانون زمین‌لرزه زرند را نشان می‌دهد . از مجموع ۱۰ رشته قنات مورد مطالعه، قنات‌های ده‌ملک و گور کوهبنان روی گسل قرار دارند و مابقی، با فاصله‌ای نه چندان زیاد، در قسمتهای جنوبی گسل قرار گرفته‌اند. به‌منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی، با توجه به اطلاعات مربوط به دبی قنات‌ها در سالهای آبی ۸۲-۸۱ تا ۸۵-۸۴ هیدروگراف مربوطه ترسیم شد. نوسانات سطح آب زیرزمینی در دو قنات ده‌ملک و گور کوهبنان، که روی گسل قرار دارند، نسبت به قنات‌هایی که در فواصل دورتری از گسل قرار دارند، بیشتر است. با توجه به دور بودن دو قنات مذکور نسبت به رومرکز زمین‌لرزه، تغییرات قابل توجهی در زمان رخداد زمین‌لرزه در این دو قنات، مشاهده نمی‌شود. (شکل ۱۲).

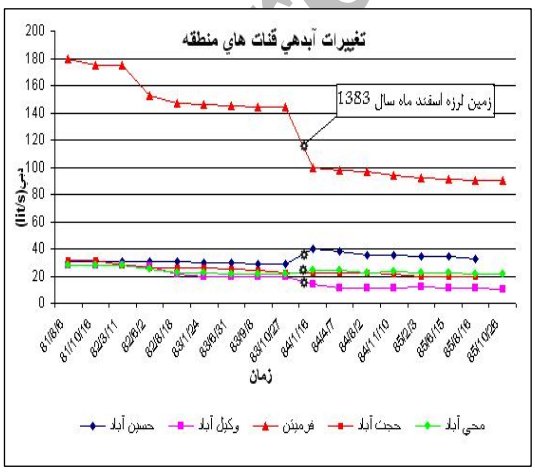


شکل ۱۰. موقعیت قنات‌های منطقه اطراف گسل کوهبنان



شکل ۱۱. تغییرات آبدهی دو قنات ده‌ملک و گور کوهبنان، واقع روی گسل

در قنات‌هایی که با فاصله از گسل قرار گرفته‌اند، میزان نوسانات سطح آب کمتر است ولی به دلیل نزدیک بودن این قنات‌ها به رومرکز زمین‌لرزه، تغییرات قابل توجهی در قنات‌های مذکور، قبل و بعد از وقوع زمین‌لرزه مشاهده می‌شود (شکل۱۳). هیدروگراف قنات‌های دور از گسل، نشان می‌دهد که بیشترین میزان آبدهی مربوط به قنات فرمیتن است (در حدود ۱۸۰ لیتر بر ثانیه) که دو ماه قبل از زمین‌لرزه اسفندماه سال۸۳ افت شدیدی در میزان آبدهی این قنات به وجود آمده و تا یک ماه پس از زمین‌لرزه ادامه دارد. زمین لرزه مذکور همچنین سبب کاهش آبدهی قنات‌های وکیل آباد، حجت آباد و افزایش آبدهی قنات‌های حسین آباد و محی آباد شده است.



شکل ۱۲. تغییرات آبدهی قنات‌های قرار گرفته در فواصل نزدیک به کانون زمین‌لرزه زرند- داهوئیه

Archive of SID

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات سطح آب زیرزمینی در بسیاری از زمین‌لرزه‌های ایران و جهان مشاهده شده است. خصوصیات آبخوان، واحدهای زمین‌شناسی، روانگرایی و گرادیان هیدرولیکی از پارامترهای موثر در تغییرات سطح آب قبل و بعد از رخداد زمین‌لرزه است.

مطالعه دقیق‌تر وضعیت آب زیرزمینی در زمان زمین‌لرزه اسفندماه سال ۸۳ زرند- داهوئیه نشان داد که تغییرات قابل توجهی در سطح آب زیرزمینی قنات‌های منطقه، قبل و بعد از رخداد زمین‌لرزه، به وجود آمده، در حالیکه تغییرات در پیزومترهای منطقه، جزئی بوده است. این امر نشان می‌دهد که قنات‌های منطقه می‌توانند به عنوان موثرترین پارامتر جهت بررسی تغییرات لرزه‌ای سطح آب در منطقه، مورد استفاده قرار گیرند و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به چندین سال آبی در چند رشته قنات انتخابی، در نواحی لرزه‌خیز ایران، امری موثر در دقیق‌تر شدن چنین مطالعاتی است.

نتایج حاصله، نشان می‌دهد، وجود شبکه متراکمی از پیزومترها، به همراه تجهیزات مناسب و برداشتهای دقیق، جهت اندازه‌گیری تغییرات سطح آب زیرزمینی، در نواحی زلزله‌خیز ایران، کمک شایان توجهی در انجام چنین مطالعاتی در مناطق لرزه‌خیز می‌کند.

منابع

- رادفر، ش. ۱۳۸۲. "تحلیل ساختاری، ریخت زمین ساختی و نو زمین ساختی گسل کوهبنان"، پایان نامه دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- سالاری، ه. ۱۳۸٤. " اثرات گسل بم و زلزله بم بر روی منابع آب زیرزمینی دشت بم"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., (1982). "A history of Persian Earthquake", *Cambridge University Press*.
- Bachmanov, D., Trifonov, V., Hessami, K., Kozhurin, A., Iranova, T., Rogozhin, E., Hademi, M., and Jamali, F., (2004). "Active faults in the Zagros and Central Iran", *Tectonophysics*, No. 380: pp.221-241.
- Geological Survey of Iran, 1992. Geological Map of Rafsanjan 1:250000 scale.
- Hartman, J. and Jason, L., (2006). "The influence of Seismotectonics on Precursory Changes in Groundwater composition for the 1995 Kobe Earthquake, Japan", *Hydrogeology Journal*, No.14: pp1307-1318.
- Naoji, K. and Norio, M., (2004). "Evaluation of Coseismic Groundwater Changes Caused by the 2003 Tokachi-oki Earthquake", 4th Taiwan-Japan Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction.
- Rossetto, T., Peiris, N., Alarcon, J., Sargeant, S., and Verrocci, E., (2009). " The L'Aquila (Italy) Earthquake of 6th April 2009, A preliminary field report by EEFIT".
- Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A., Ghassemi, A., Ghorashi, M., Hallingsworth, J., Jakson, J., Nissen, E., Oveisi, B., Parsons, B., Priestley, K., and Saiidi, A., (2006). "The Dahuiyeh (Zarand) Earthquake of 2005 February 22 in Central Iran: Reactivation of an Intermountain reverse fault", No. 164: pp137-148.
- Tsutomu, S., Norio, M., Yuichi, K., Naoji, K., Macoto, T., Yasuto, K., Hisao, I., Akio, C., Takashi, S., Kunio, O., and Shigeki, Y., (2004). "Changes in Groundwater level associated with the 2003 Tokachi-oki Earthquake", *Earth Planets Space*, No. 56: pp.395-400.
- Wen-Chi, W., Naoji, K., Norio, M., Yuichi, K., Ching-Wee, L., Chjeng, S., and Youe-Ping, L., (2004). "Effects of Seismic Ground motion and Geological setting on the Coseismic Groundwater level

Archive of SID

www.SID.ir

Changes Caused by the 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan", *Earth Planets Space*, No.56: pp873-880.

- Yaltirak, C., Yalcini, T., Yuce, G., and Bozkurtoglu, E., (2005). "Water level Changes in Shallow wells Before and After the 1999 Izmit and Duzce Earthquake and Comparsion with Long-Term Water level Observations (1999-2004), NW Turkey", *Turkish Journal of Earthscince*, No. 14: pp. 281-309.
- Zare, M., Sinaiean, F., and Ghasemi, H., (2007). "Near-fault and Attenuation of Strong ground motion in South- East of Iran".

Archive of SID

www.SID.ir