

## پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین در گستره خسارت‌دیده زمین‌لرزه ۱۳۸۳ داهوئییه- زرند

محمدرضا قایم‌مقیان<sup>۱</sup>، سمیه احمدزاده<sup>۲\*</sup>، نوربخش میرزائی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ([mrgh@iiees.ac.ir](mailto:mrgh@iiees.ac.ir))  
<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ([ahmadzadeh@ut.ac.ir](mailto:ahmadzadeh@ut.ac.ir))  
<sup>۳</sup>دانشیار مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ([mirzaei@ut.ac.ir](mailto:mirzaei@ut.ac.ir))

(دریافت: ۸۷/۸/۲۳، پذیرش نهایی: ۸۷/۱۲/۱۵)

### چکیده

در این مقاله، پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین در گستره خسارت‌دیده زمین‌لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ (۲۲ فوریه ۲۰۰۵) داهوئییه- زرند عرضه شده است. بدین منظور با استفاده از روش‌های گوناگون آماری و روابط تضعیف، شتاب در نقاط متفاوت خسارت‌دیده محاسبه شده است. در روش آماری با استفاده از مقادیر بیشینه شتاب ثبت‌شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری محدوده مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه ۱۳۸۳ داهوئییه- زرند و روابط درون‌یابی عکس فاصله وزنی، شتاب جنبش زمین در نقاط گوناگون گستره، برآورد شده است. در بررسی آماری ضریب توان عکس فاصله وزنی با استفاده از شاخص جذر میانگین مربعات خطا بهینه شده است. سپس رابطه بهینه شده به‌منظور برآورد مقادیر شتاب در گستره خسارت‌دیده به‌کار گرفته شده است. در روش دوم با استفاده از رابطه تضعیف نسل جدید کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) و رابطه فوکوشیما (۲۰۰۳)، بیشینه شتاب در مناطق خسارت‌دیده برآورد شده است. با کمینه کردن تفاوت مقادیر شتاب‌های برآوردشده و ثبت‌شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری، ضرایب روابط تضعیف تصحیح‌شده و از روابط تصحیح‌شده در تعیین شتاب نقاط خسارت‌دیده نیز استفاده شده است. نتایج حاصل از تخمین مقادیر شتاب با روش‌های متفاوت نشان می‌دهد که رابطه تضعیف فوکوشیما (۲۰۰۳) از دقت بیشتری در تعیین شتاب نسبت به سایر روشها برخوردار است.

**کلید واژه‌ها:** بیشینه شتاب جنبش زمین، روش عکس فاصله وزنی، رابطه تضعیف نسل جدید، روابط تضعیف تصحیح‌شده، زمین‌لرزه ۱۳۸۳ داهوئییه- زرند، گستره خسارت‌دیده

## Seismic zonation of peak ground acceleration in the damaged areas of 22 February 2005 Dahooiyeh-Zarand earthquake

Ghayamghamian, M. R.<sup>1</sup>, Ahmadzadeh, S.<sup>2\*</sup>, Mirzaei, N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor of International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

<sup>2</sup>MSc Student of Institute of Geophysics, University of Tehran

<sup>3</sup>Associate Professor of Institute of Geophysics, University of Tehran

### Abstract

In this paper, seismic zonation of peak ground acceleration (PGA) in the damaged areas of 2005 February 22 Dahooiyeh-Zarand earthquake is presented. The PGA is evaluated in the damaged areas with both interpolation technique and attenuation relationships. In the interpolation method, PGA is estimated in different regions using inverse distance weighting (IDW) method and recorded PGA at the stations located in meizoseismal area of Dahooiyeh-Zarand (2005) earthquake. The optimum power of IDW method for best estimation of PGA is decided from the root mean squared error statistic. Then, IDW is applied to estimate PGA in the damaged areas where no records of PGA were available. In the second step, The PGA is estimated in the damaged areas using attenuation relationships of both Campbell and Bozorgnia (2008) and Fukushima (2003) attenuation relationships. Furthermore, the attenuation relationships were corrected by minimizing the difference between estimated and recorded PGA at the recording stations, where the PGA of mainshock was available. The results revealed that the estimated PGAs from the Fukushima (2003) attenuation relationship provides more accurate results than those derived from the other methods. Corresponding

\* نویسنده مسئول (Corresponding author)

**Keywords:** seismic zonation, peak ground acceleration, inverse distance weighting method, attenuation relationships, 2005 Dahooiyeh-Zarand earthquake, damaged areas.

## ۱ مقدمه

بیشینه شتاب جنبش زمین به منزله یکی از پارامترهای جنبش نیرومند زمین در تحلیل رفتار لرزه‌ای سازه‌ها و خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه مورد توجه است؛ معمولاً میزان خرابی‌ها با افزایش شتاب جنبش زمین در زمین‌لرزه، افزایش می‌یابد (کرامو، ۱۹۹۶). بررسی رابطه شتاب و خرابی‌های حاصل از زمین‌لرزه نیازمند تعیین شتاب در نقاط خسارت دیده است. با توجه به اینکه ثبت شتاب جنبش زمین به هنگام وقوع زمین‌لرزه با توجه به محدودیت ایستگاه‌های شتاب‌نگاری کشور غالباً در چند ایستگاه محدود صورت می‌گیرد، لازم است شتاب جنبش زمین در نقاط گوناگون خسارت دیده، با استفاده از روش‌های ممکن برآورد شود. شکل ۱ موقعیت ۱۰ ایستگاه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در محدوده مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه-زرنند را نشان می‌دهد. این منطقه در شمال غربی استان کرمان واقع شده که شامل شهرستان زرنند و بخش‌هایی از شهرستان‌های کرمان و راور است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود فقط سه ایستگاه شتاب‌نگاری در محدوده خسارت دیده واقع شده است. با وجود آنکه بالا و حتکن صددرصد تخریب و به حدود ۶۰ روستای دیگر خساراتی بین ۳۰ تا ۹۰ درصد وارد شده است؛ متأسفانه، در هیچ‌یک از این نقاط، ایستگاه شتاب‌نگاری برای ثبت شتاب وجود نداشته است، لذا برآورد رابطه خسارت یا مرگ و میر با شتاب امکان‌پذیر نیست. این در حالی است که به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ای در مناطق شهری و روستایی تعیین چنین توابعی ضروری است و لذا مقادیر شتاب در این نقاط باید به شیوه مناسب برآورد شود.

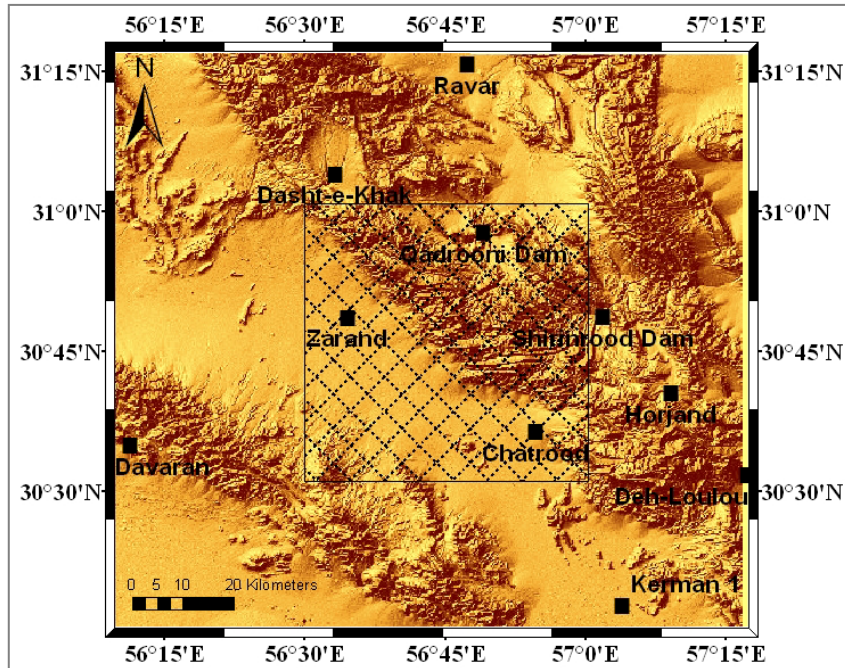
در این مقاله، بیشینه شتاب جنبش زمین در گستره

خسارت دیده با استفاده از روش درون‌یابی و نیز روابط تضعیف در محدوده مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه، تعیین و پهنه‌بندی شده است. در روش اول با استفاده از مقادیر شتاب ثبت شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری منطقه، توان رابطه درون‌یابی عکس فاصله وزنی، پهنه شده و شتاب جنبش زمین در نقاط مورد نظر برآورد و پهنه‌بندی شده است. در روش دوم با استفاده از نسل جدید روابط تضعیف کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) و رابطه فوکوشیما (۲۰۰۳) بیشینه شتاب در مناطق خسارت دیده و ایستگاه‌های شتاب‌نگاری برآورد شده است. سپس با کمینه کردن تفاوت مقادیر شتاب‌های برآورد شده و ثبت شده در ایستگاه‌ها، روابط تضعیف فوق برای منطقه مورد نظر تصحیح شده و از روابط تصحیح شده به‌منظور برآورد دقیق‌تر مقادیر شتاب و پهنه‌بندی آن در نقاط خسارت دیده استفاده شده است.

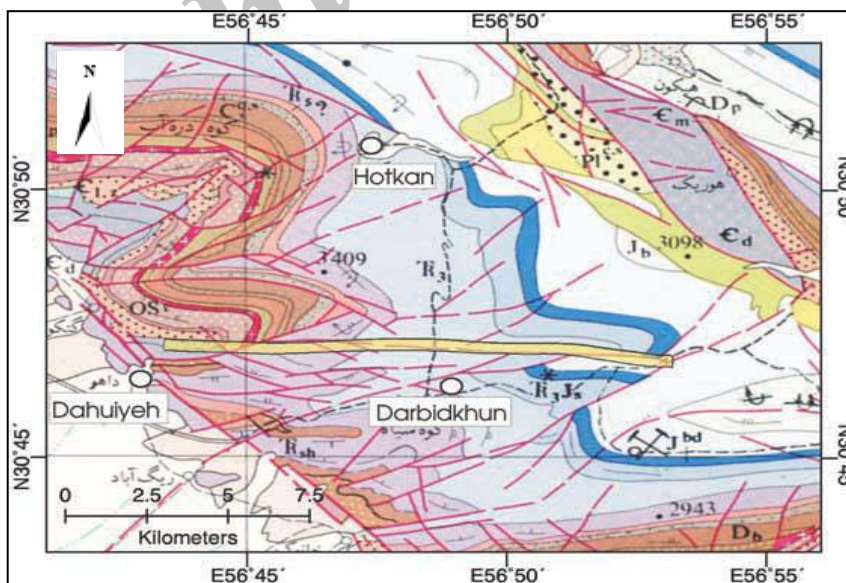
۲ زمین‌لرزه داهوئیه-زرنند و موقعیت گسل مسبب در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳ و در ساعت ۵ و ۵۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه (به وقت محلی) برابر با ساعت ۲ و ۲۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه به وقت GMT زمین‌لرزه نیرومندی به بزرگای گشتاوری  $M_w=6.4$ ، (سازمان زمین‌شناسی آمریکا) شهرستان زرنند و روستاهای اطراف آن را به شدت لرزاند. سازمان زمین‌شناسی آمریکا سازوکار معکوس با مولفه کوچک راستالغز را برای این زمین‌لرزه تعیین کرد و صفحه گسل با راستای شرقی - غربی و شیب به سمت شمال در این سازوکار نشان داده شد. زمین‌لرزه داهوئیه-زرنند روی گسل معکوس داهوئیه با راستای شرقی - غربی و طول تقریبی ۱۵ کیلومتر (طالبیان و همکاران، ۲۰۰۶) اتفاق افتاده است (شکل ۲). از ویژگی‌های گسل معکوس داهوئیه این است که گسیختگی آن به‌طور واضح، در سطح قابل مشاهده است. این گسل در

منطقه برابر با  $510 \text{ cm/s}^2$  مربوط به ایستگاه سد شیرین رود است. این ایستگاه در راستای گسل داهوئیه و در امتداد حد شرقی گسل قرار گرفته است. نداشت ثابت شده در این ایستگاه نشان‌دهنده حضور یک تپ

نزدیکی روستای داهوئیه به‌منزله یکی از شاخه‌های فرعی گسل کوه‌بان در انتهای جنوبی آن قرار گرفته است. بیشترین شتاب گزارش شده از ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در



شکل ۱. پراکندگی ۱۰ ایستگاه شتاب‌نگاری مورد استفاده در منطقه زرنده. کادر داخل شکل محدوده مناطق خسارت‌دیده را نشان می‌دهد.



شکل ۲. گسل داهوئیه روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه زرنده. نوار باریک (زرد رنگ) شکستگی‌های همراه زمین‌لرزه را نشان می‌دهد.

(طالبیان و همکاران، ۲۰۰۶).

اندازه‌گیری شده در اطراف نقطه برآورد، استفاده می‌شود (بابک و دوچ، ۲۰۰۸). مقادیر اندازه‌گیری شده‌ای که به موقعیت برآورد نزدیک‌تر هستند، نسبت به نقاط دورتر تأثیر بیشتری در برآورد دارند و وزن بیشتری در محاسبه مقادیر دارند، به همین دلیل این روش، عکس فاصله وزنی نامیده شده است (جانسون و همکاران، ۲۰۰۱).

در این روش به منظور برآورد کردن مقدار کمیت در نقطه موردنظر به کمک نقاط مجاور، از رابطه ۱ استفاده می‌شود (باروف و مک دانل، ۱۹۹۸):

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

که در آن،  $Z^*(x)$  مقدار برآورد شده متغیر  $Z$  در نقطه  $x$ ،  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده شده متغیر  $Z$  در نقطه  $x_i$ ،  $\lambda_i$  وزن نسبت داده شده به متغیر  $Z$  در نقطه  $x_i$  و  $n$  تعداد نقاط نمونه است. مقادیر وزن‌ها نیز با رابطه زیر تعریف می‌شوند (باروف و مک دانل، ۱۹۹۸):

$$\lambda_i = \frac{d_i^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-r}}, i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

که در آن،  $d_i$  فاصله بین موقعیت برآورده شده و نقاط نمونه،  $r$  توان وزن‌دهی فاصله و  $n$  تعداد نقاط نمونه است. اگر مقدار توان صفر باشد، وزن‌ها مقادیر یکسانی دارند و با فاصله رابطه‌ای نخواهند داشت. وقتی مقدار توان زیاد می‌شود، وزن‌ها برای نقاط دور به سرعت کاهش می‌یابند و نقاط نزدیک به نقطه برآورد، وزن بیشتری خواهند داشت و اگر مقدار آن خیلی زیاد باشد، فقط نقاط نزدیک، در پیش‌بینی مؤثر خواهند بود. بنابراین، توان‌های متفاوت، برآوردهای متفاوتی ایجاد می‌کنند و باید مقدار بهینه توان درحکم یکی از عوامل مؤثر در درون‌یابی عکس فاصله وزنی، تعیین شود. عامل مؤثر دیگر در درون‌یابی به روش عکس فاصله وزنی، تعداد نقاط همسایگی است. با توجه به این نکته که

بسامد کم با دامنه زیاد می‌باشد. این تب احتمالاً به علت پدیده جهت‌پذیری یا دوپلر بر روی نگاشت ایجاد شده و از مشخصات جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل است. از آنجایی که ایستگاه شیرین رود در فاصله ۲۵ کیلومتری از رومرکز زمین‌لرزه قرار دارد، لذا، این تب را می‌توان به پدیده دوپلر نسبت داد و معمولاً تب جهت‌پذیری برای گسلی با بزرگا در مقیاس  $M_w=6.4$  در محدوده زیر ۱۵ کیلومتر قابل مشاهده نمی‌باشد. پدیده‌های جهت‌پذیری یا دوپلر غالباً توسط روابط تضعیف حتی نسل جدید این روابط که به NGA معروف هستند، به درستی لحاظ نگردیده است (گراوز و همکاران، ۲۰۰۸؛ استار و همکاران، ۲۰۰۸) لذا، در روابط تضعیف از شتاب ایستگاه شیرین رود استفاده نشده است.

### ۳ تخمین شتاب با روش درون‌یابی عکس فاصله وزنی

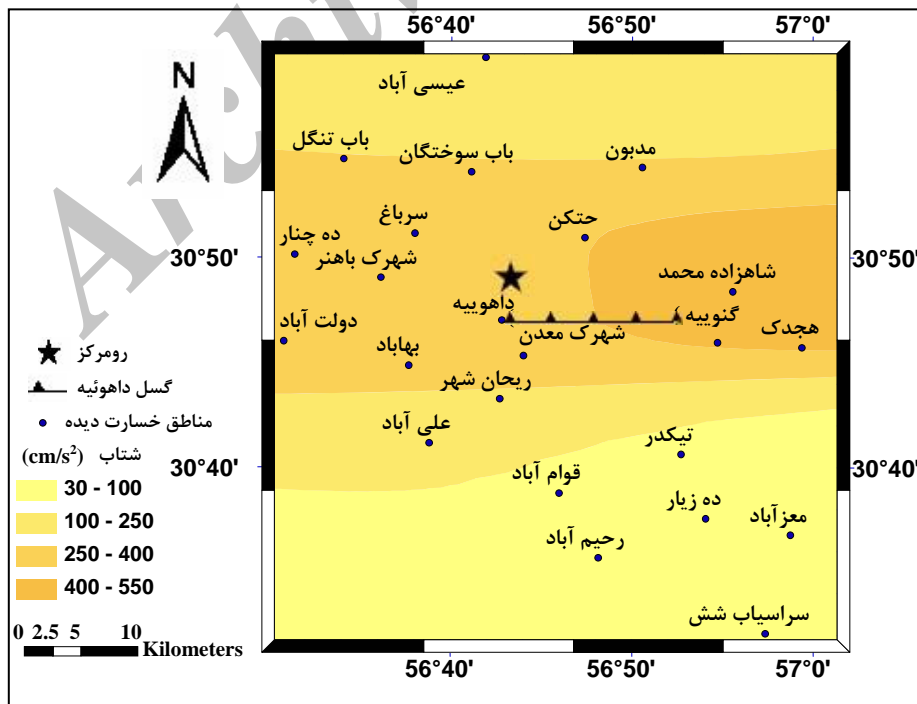
پیش‌بینی مقدار یک کمیت در مناطق اندازه‌گیری نشده، براساس نقاطی که در آنها اندازه‌گیری صورت گرفته است را درون‌یابی می‌گویند (باروف و مک دانل، ۱۹۹۸). در روش‌های درون‌یابی مکانی، برخلاف روش‌های درون‌یابی کلاسیک که تنها مقدار نمونه‌ها در درون‌یابی مدنظر قرار می‌گیرند، موقعیت نقاط و ارتباط مکانی نقاط با یکدیگر نیز مورد توجه است. درون‌یابی مکانی یکی از مهم‌ترین مسائل در علوم محیطی و زمینی به‌شمار می‌رود. چون نمونه برداری‌ها در تحقیقات گوناگون اغلب در نقاط محدود صورت می‌گیرد که با فواصل نسبتاً زیاد از یکدیگر قرار دارند؛ بنابراین، برای برآورد کمیت موردنظر در نقاط میانی از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود (وبستر و الیور، ۲۰۰۱). روش عکس فاصله وزنی یکی از ساده‌ترین و رایج‌ترین روش‌های درون‌یابی مکانی است که در آن برای پیش‌بینی مقدار کمیت در موقعیت مورد نظر، از مقادیر

مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ برای توان در نظر گرفته شد و مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای هر کدام از حالت‌ها محاسبه شد. با توجه به مقادیر جذر میانگین مربعات خطا که برای حالت‌های متفاوت در جدول ۱ محاسبه شده است، ملاحظه می‌شود که روش عکس فاصله وزنی با توان ۳ کمترین مقدار خطا را داشته و توان ۳ به‌منزله توان بهینه تعیین شد. همچنین با توجه به وجود گسل داهوئیه در محدوده موردنظر و تأثیر ناهمسانگردی ناشی از گسلش بر داده‌های شتاب، استفاده از ۱۰ نقطه نمونه (شتاب ایستگاه‌ها) در یک همسایگی بیضوی محدود شد. شکل ۳ پهنه‌بندی شتاب را در گستره خسارت دیده زرنند به روش عکس فاصله وزنی با توان بهینه نشان می‌دهد. همچنین مقادیر شتاب برآورد شده در مناطق خسارت دیده نیز در جدول ۲، ستون دوم، نشان داده شده است.

مقادیر نقاطی که به هم نزدیک هستند شباهت بیشتری به هم دارند و نقاط دورتر تأثیر کمتری دارند، می‌توان آنها را از محاسبات خارج کرد (فرخی سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵). بنابراین، می‌توان تعداد نقاط همسایگی یعنی  $n$  را در شعاع مشخصی که آن را شعاع جستجو می‌نامند، محدود ساخت. در صورتی که جهت روی داده‌ها مؤثر باشد، یعنی داده‌ها ناهمسانگرد باشند، تعداد نقاط نمونه در یک بیضی محدود می‌شوند که محور بزرگ‌تر آن موازی با جهت مؤثر خواهد بود. در صورتی که داده‌ها همسانگرد باشند، محدوده جستجو منطبق بر دایره خواهد بود. برای تخمین شتاب در منطقه زرنند به روش عکس فاصله وزنی، با توجه به اینکه توان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در این روش است، لذا، از روش اعتبارسنجی برای تعیین توان بهینه استفاده شده است. بدین منظور

جدول ۱. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا به ازای توان‌های متفاوت در روش عکس فاصله وزنی

توان	۱	۲	۳	۴	۵	۶
RMSE	۱۲۰/۶	۱۰۷/۷	۱۰۳/۷	۱۰۴	۱۰۵/۳	۱۰۶/۸



شکل ۳. نقشه پیش‌بینی شتاب در گستره خسارت دیده زرنند به روش عکس فاصله وزنی.

با استفاده از دو رابطه تضعیف کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) و فوکوشیما (۲۰۰۳) در مناطق خسارت دیده برآورد شده و در جدول ۲، ستون‌های سوم و چهارم، آمده است.

#### ۵ برآورد شتاب با استفاده از روابط تضعیف تصحیح شده

به منظور برآورد دقیق‌تر مقادیر شتاب، روابط تضعیف با استفاده از مقادیر شتاب ثبت شده در ایستگاه‌ها تصحیح شدند. بدین منظور ابتدا مقادیر شتاب برای ایستگاه‌های شتاب‌نگاری منطقه با استفاده از روابط تضعیف کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) و فوکوشیما (۲۰۰۳) محاسبه شد. سپس با کمینه کردن تفاوت مقادیر شتاب‌های حاصل از روابط تضعیف و مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌ها، ضرایب تصحیح روابط تضعیف تعیین شد و شتاب در نقاط خسارت دیده با استفاده از روابط تضعیف تصحیح شده برآورد شد. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نحوه تصحیح رابطه کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) و رابطه فوکوشیما (۲۰۰۳) را برای برآورد مقادیر شتاب در منطقه نشان می‌دهد. نقاط لوزی مقادیر شتاب برآورد شده با استفاده از روابط تضعیف و نقاط مثلثی مقادیر تصحیح شده شتاب با روابط تضعیف تصحیح شده را نشان می‌دهد. همچنین خطوط نقطه چین و ممتد به ترتیب، خط برازش شده به مقادیر برآوردی شتاب با روابط تضعیف اولیه و روابط تصحیح شده را نشان می‌دهند. بدیهی است هرچه خط برازش شده به مقادیر شتاب به خط  $y=x$  نزدیک‌تر شود تفاوت مقادیر شتاب برآوردی و ثبت شده کمتر و دقت برآورد بیشتر خواهد بود (پیکان‌ها نشان‌دهنده تغییر روند داده‌ها در فرآیند تصحیح روابط هستند). مقادیر شتاب با استفاده از روابط تضعیف تصحیح شده برای نقاط خسارت دیده برآورد و در جدول ۲، ستون‌های پنجم و ششم، عرضه شده است. ضمناً نقشه پهنه‌بندی با استفاده از شتاب‌های محاسبه شده با روابط تضعیف تصحیح شده برای گستره خسارت دیده در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

#### ۴ برآورد شتاب با استفاده از روابط تضعیف

یکی دیگر از روش‌های برآورد بیشینه شتاب در نقاطی که در آنها مقدار شتاب ثبت نشده است، استفاده از روابط تضعیف است. از میان روابط تضعیف موجود دو رابطه کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) و فوکوشیما (۲۰۰۳) برای تعیین شتاب جنبش زمین انتخاب شد. رابطه تضعیف کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) مدل  $NGA$  و نسل جدید روابط تضعیف کمپل و بزرگنیا است که برای زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی گشتاوری ۴ تا ۸٫۵ و فواصل صفر تا ۲۰۰ کیلومتر در نواحی فعال تکتونیکی معتبر است. رابطه کلی کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) به صورت زیر است:

$$\ln \bar{Y} = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (3)$$

که در آن،  $\bar{Y}$  برآورد میانی میانگین هندسی مؤلفه افقی (GMRot150) و جملات سمت راست رابطه به ترتیب بیانگر اثر بزرگی، فاصله، نوع گسلش، فرادیواره، ساختگاه کم‌عمق و شکل حوزه رسوبی است. جزئیات رابطه فوق در کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) ارائه شده است. دیگر رابطه تضعیف مورد استفاده، رابطه تضعیف فوکوشیما (۲۰۰۳) است که برای زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی گشتاوری ۵٫۵ تا ۷٫۴ و فواصل ۰٫۵ تا ۲۳۵ کیلومتر معتبر است. این رابطه برای تخمین بیشینه شتاب به صورت زیر تعریف می‌شود (فوکوشیما، ۲۰۰۳):

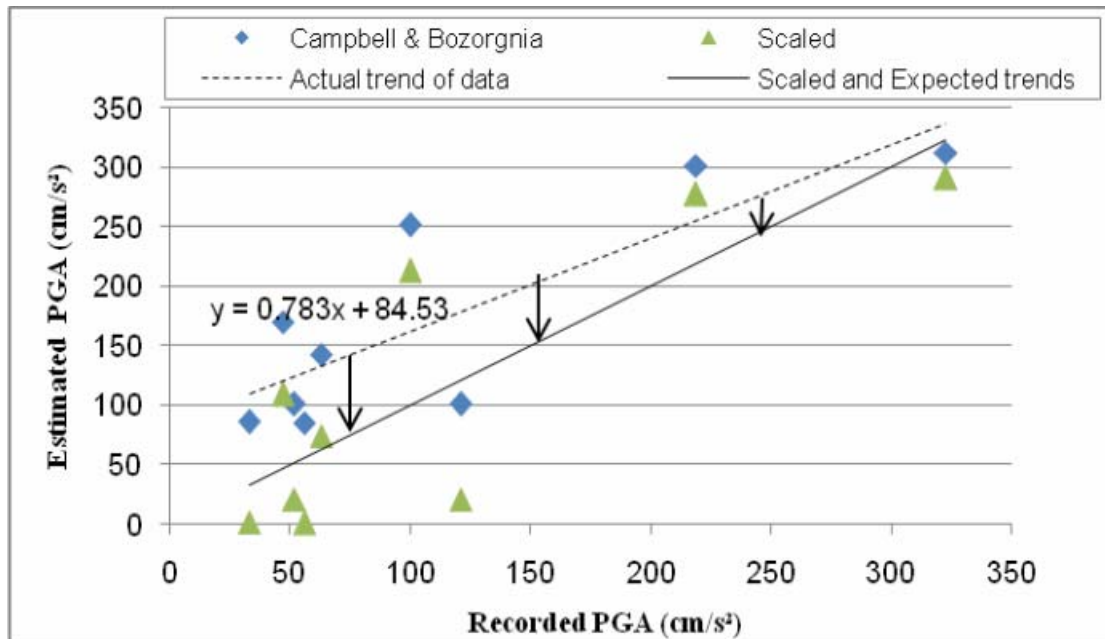
$$\log PGA = 0.307M - \log(R + 0.013 * 10^{0.261M}) - 0.00117R + \sum c_j \delta_j \quad (4)$$

که در آن  $PGA$  بیشینه شتاب بر حسب  $cm/s^2$ ،  $M$  بزرگی گشتاوری و  $R$  کوتاهترین فاصله ساختگاه تا صفحه گسل است. اندیس  $j$  برای ساختگاه سنگی برابر ۱ و برای ساختگاه خاکی برابر ۲ است که مقادیر  $c_1$  و  $c_2$  به ترتیب برابر ۱/۶۴ و ۱/۳۴ می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به مطالعه اثرات ساختگاهی در منطقه زرنند (نوجوان، ۱۳۸۴)، خاک غالب مناطق گستره زرنند از نوع III و IV می‌باشد. در نهایت، شتاب جنبش زمین

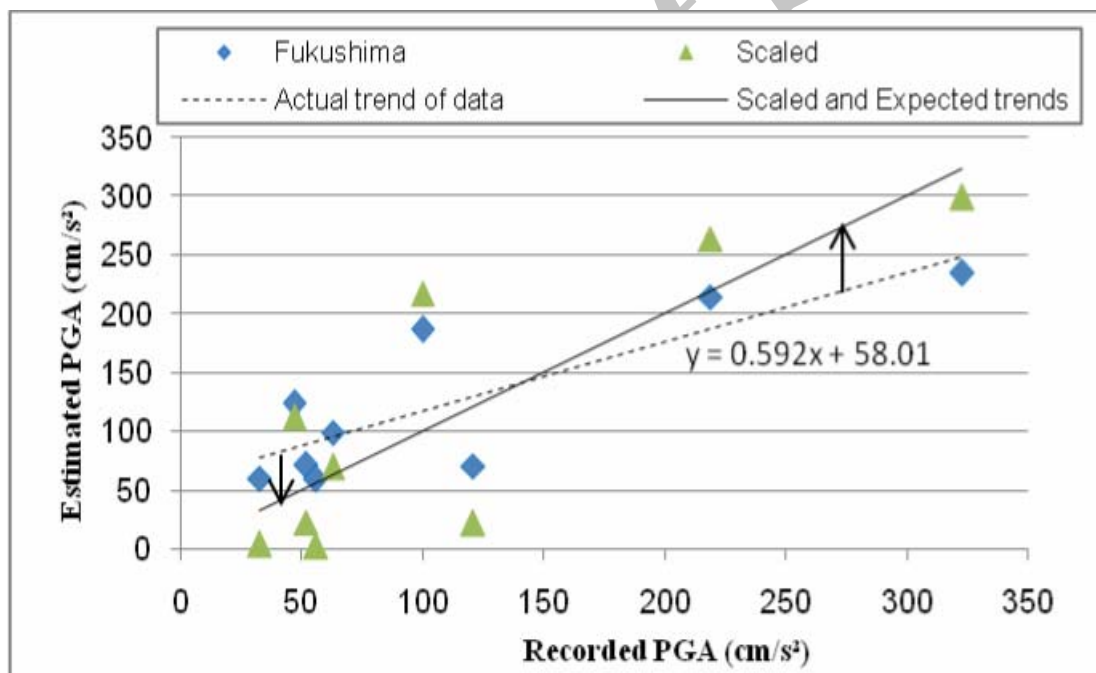
جدول ۲. مقادیر شتاب برآوردشده در مناطق خسارت‌دیده، با استفاده از روش عکس فاصله وزنی، روابط تضعیف اولیه و روابط تضعیف تصحیح شده

برحسب (cm/s<sup>2</sup>)

شتاب محاسبه‌شده با رابطه تصحیح شده فوکوشیما (۲۰۰۳)	شتاب محاسبه‌شده با رابطه تصحیح شده کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)	شتاب محاسبه‌شده با رابطه فوکوشیما (۲۰۰۳)	شتاب محاسبه‌شده با رابطه کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)	شتاب محاسبه‌شده با روش عکس فاصله وزنی	روش منطقه
۲۰۷۵	۱۰۵۸	۱۲۸۶	۹۱۳	۳۴۸	داهوئییه
۴۶۱	۴۳۳	۳۳۱	۴۲۴	۳۱۱	به‌آباد
۳۵۷	۳۴۳	۲۶۹	۳۵۳	۱۳۱	علی آباد
۱۸۹	۱۸۶	۱۷۰	۲۳۰	۳۲۴	دولت آباد
۱۹۶	۱۹۶	۱۷۴	۲۳۸	۳۲۶	ده چنار
۲۰۲	۲۰۸	۱۷۸	۲۴۷	۲۵۸	باب تنگل
۳۷۰	۴۰۱	۲۷۷	۳۹۸	۲۷۳	باب‌سوختگان
۱۹۹	۲۰۸	۱۷۶	۲۴۸	۲۰۸	عیسی آباد
۸۵۶	۸۹۸	۵۶۵	۷۸۸	۳۹۵	حتکن
۴۰۴	۴۴۰	۲۹۷	۴۲۹	۲۶۶	مدبون
۹۸۱	۷۹۳	۶۳۹	۷۰۶	۵۰۳	شاهزاده‌محمد
۱۳۶۲	۹۱۲	۸۶۴	۷۹۹	۴۱۵	گنوییه
۳۲۰	۳۱۰	۲۴۸	۳۲۷	۹۵	قوام آباد
۲۶۰	۲۵۴	۲۱۲	۲۸۳	۹۹	ده زیار
۴۶۱	۴۳۳	۳۳۱	۴۲۴	۴۰۹	هجدک
۴۴۲	۴۱۷	۳۲۰	۴۱۱	۷۵	تیکدر
۱۹۶	۱۹۳	۱۷۴	۲۳۵	۱۰۰	معزآباد
۲۰۴	۲۰۰	۱۷۹	۲۴۱	۹۹	رحیم آباد
۱۱۸	۱۱۶	۱۲۸	۱۷۵	۶۶	سرآسیاب‌شش
۴۲۴	۴۲۵	۳۰۹	۴۱۷	۳۴۱	سرباغ
۱۸۲۵	۱۰۱۸	۱۱۳۸	۸۸۲	۳۳۶	شهرک معدن
۷۵۶	۶۴۷	۵۰۶	۵۹۱	۲۱۶	ریحان شهر
۳۶۷	۳۵۶	۲۷۵	۳۶۳	۳۲۳	شهرک باهنر

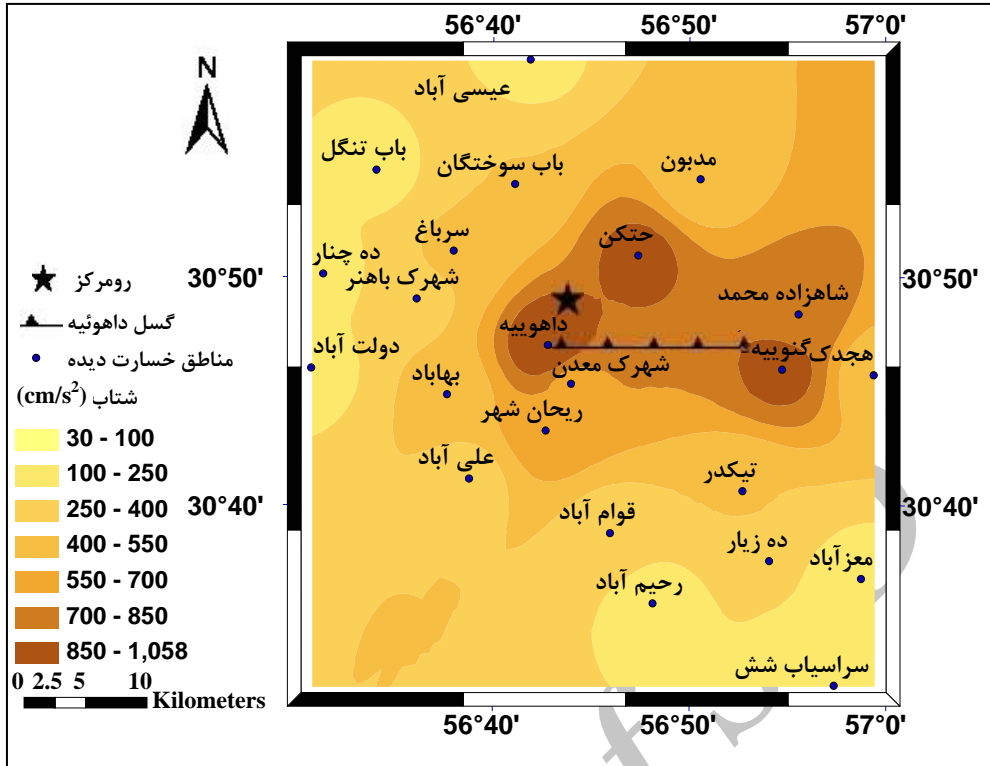


شکل ۴. نحوه تصحیح رابطه کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) برای برآورد مقادیر شتاب در منطقه زرنند

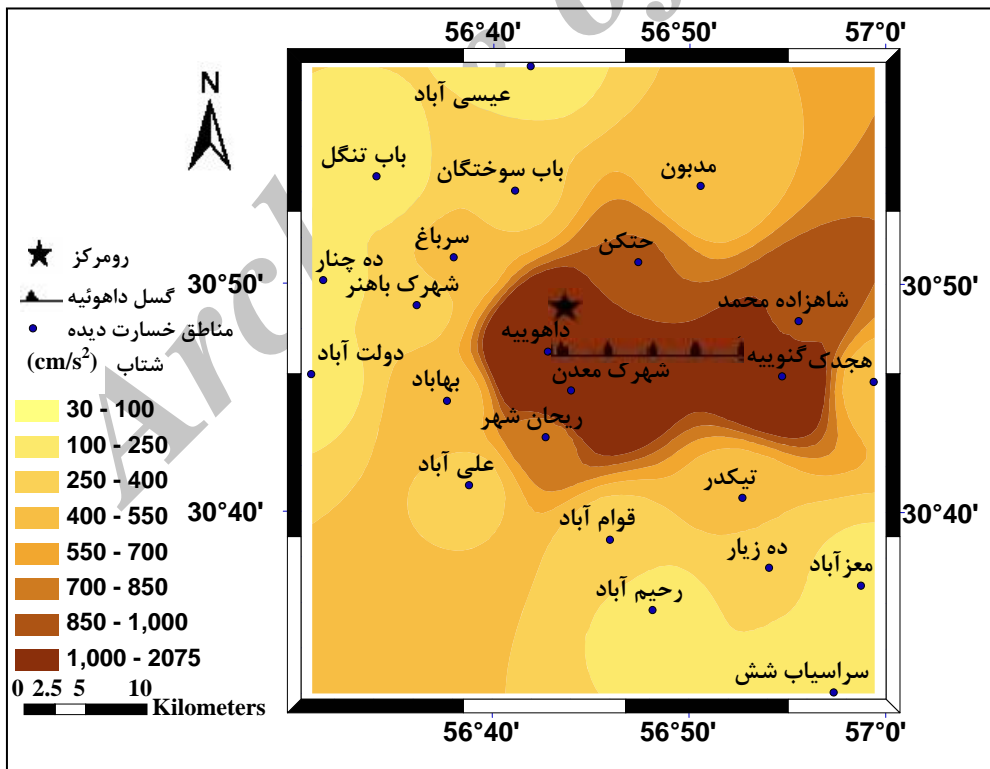


شکل ۵. نحوه تصحیح رابطه فوکوشیما (۲۰۰۳) برای برآورد مقادیر شتاب در منطقه زرنند





شکل ۶. پهنه‌بندی شتاب برای گستره خسارت‌دیده زرنند با استفاده از رابطه تضعیف تصحیح‌شده کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)



شکل ۷. پهنه‌بندی شتاب برای گستره خسارت‌دیده زرنند با استفاده از رابطه تضعیف تصحیح‌شده فوکوشیما (۲۰۰۳)

## ۶ نتیجه گیری

تضعیف فوکوشیما (۲۰۰۳) در تخمین شتاب نسبت به روابط دیگر از دقت بیشتری برخوردار است. بر همین اساس، تصحیح روابط تضعیف اگرچه برای رابطه کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) مقادیر بهتری را عرضه کرده است؛ اما در بالا بردن دقت برآورد رابطه فوکوشیما (۲۰۰۳) مؤثر نبوده است. این امر با توجه به روند داده‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ قابل توضیح است. همانگونه که در شکل ۴ مشخص است در برآورد شتاب توسط رابطه کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)، تمامی مقادیر در ایستگاه‌ها دست بالا برآورد شده‌اند، لذا تصحیح این رابطه با روند یکنواخت خطی به نتایج مناسبی منجر شده است. حال آنکه در شکل ۵ مقادیر شتاب تا مقدار  $120 \text{ (cm/s}^2\text{)}$  دست بالا و از آن به بعد دست پایین برآورد شده است؛ بنابراین تصحیح مقادیر با رابطه خطی و حتی روابط غیرخطی تأثیر چندانی در بهبود نتایج نداشته است.

با توجه به لزوم برآورد شتاب در نقاط خسارت دیده و اهمیت رابطه خرابی- شتاب در تحقیقات کاهش خطرپذیری لرزه‌ای شهرها و روستاها، شتاب در نقاط گوناگون خسارت دیده در زمین لرزه ۱۳۸۳ داهوئی- زرنند، برآورد و پهنه‌بندی شده است. بدین منظور از روش عکس فاصله وزنی درحکم یکی از روش‌های درون‌یابی و همچنین روابط تضعیف نسل جدید کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸) و فوکوشیما (۲۰۰۳) استفاده شده است. به منظور بالا بردن دقت در برآورد مقادیر شتاب، روابط تضعیف پیش گفته با استفاده از شتاب‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری منطقه تصحیح شدند. با مقایسه مقدار میانگین خطای مطلق (MAE) مربوطه برای روش‌های متفاوت برآورد مقادیر شتاب که در جدول ۳ عرضه شده‌اند، ملاحظه می‌شود که استفاده از رابطه

جدول ۳. مقادیر شتاب ثبت شده در ایستگاه‌ها و مقدار برآورد شده آنها با استفاده از روش‌های متفاوت برآورد برحسب  $(\text{cm/s}^2)$ 

روش ایستگاه	عکس فاصله وزنی	رابطه فوکوشیما (۲۰۰۳)	رابطه تصحیح شده فوکوشیما (۲۰۰۳)	رابطه کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)	رابطه تصحیح شده کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)	بیشینه شتاب ثبت شده
چترود	۷۱	۱۸۷	۲۱۸	۲۵۲	۲۱۳	۱۰۰
زرنند	۴۲۸	۲۳۵	۲۹۹	۳۱۳	۲۹۲	۳۲۳
قدرونی	۲۱۶	۲۱۵	۲۶۴	۳۰۲	۲۷۸	۲۱۹
حرجند	۱۶۲	۱۲۴	۱۱۲	۱۷۱	۱۱۰	۴۷
راور	۶۳	۷۱	۲۲	۱۰۱	۲۱	۱۲۱
کرمان ۱	۵۲	۶۰	۴	۸۶	۲	۳۳
ده لؤلؤ	۸۲	۷۲	۲۳	۱۰۱	۲۲	۵۲
دشتخاک	۲۰۴	۹۹	۷۰	۱۴۳	۷۵	۶۳
داوران	۱۰۱	۶۰	۳	۸۶	۱	۵۶
شیرین رود*	۲۷۴	-	-	-	-	۵۱۰
میانگین خطای مطلق	۷۸٫۲	۴۳٫۷	۵۲٫۲	۶۶٫۸	۵۴٫۸	

\* از شتاب ایستگاه شیرین رود در روابط تضعیف استفاده نشده است.

- Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y., 2008. NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra*, Vol 24, No. 1, 139-171.
- Fukushima, Y., 2003. Attenuation Relation For West Eurasia Determined With Recent Near-Fault Records From California, Japan And Turkey, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 7, No. 4, 573-598.
- Graves, R., Callaghan, S., Deelman, E., and Field, E., 2008, Physical Based Probabilistic Seismic Hazard Calculation for Southern California, No. 41, 14WCEE, Beijing, china.
- Johnston, K., Ver-Hoef, J. M., Krivoruchko, K. and Lucas, N., 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands, 300pp.
- Kramer, S. L., 1996. Geotechnical earthquake engineering, Prentice-Hall, New Jersey, 653pp.
- Star, L. M., Stewart, J. P., Robert, W., and Hudnut, K. W., 2008, Validation Against NGA Empirical Model of Simulated Motions for M 7.8 Rupture of San Andreas Fault, No. 78, 14WCEE, Beijing, china.
- Talebian, M., Biggs, J., Bolurchi, M., Copley, A., Ghassemi, A., Ghorashi, M., Hollingworth, J., Jackson, J., Nissen, E., Oveisi, B., Parsons, B., Proiestly, K., and Saidi, A., 2006. The Dahuiyeh (Zarand) earthquake of 2005 February 22 in central Iran :reactivation of an intramountain reverse fault. *Geophys.J.Int.* Vol.164, 137-148.
- Webster, R. and Oliver, M.A., 2001. Geostatistics for environmental science, John Wiley & Sons LTD, Toronto.

## تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن به‌خاطر در اختیار گذاشتن اطلاعات شتاب‌نگاشت‌های زمین‌لرزه ۱۳۸۳ داهوئی-زرنند تقدیر و تشکر می‌شود.

## منابع

فرجی سبکیار، ح. و عزیزی، ق.، ۱۳۸۵، ارزیابی میزان دقت روش‌های درونیابی فضایی، مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸، صفحات ۱۲-۱.

نوجوان، ع.، ۱۳۸۴، بررسی اثر خطی و غیرخطی ساختگاه و طبقه‌بندی ساختگاه شبکه شتاب‌نگاری با استفاده از نگاشت‌های زلزله‌های آوج، بم و زرنند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

- Babak, O. and Deutsch, C.V., 2008. Statistical approach to inverse distance interpolation, Published online <http://www.springerlink.com/content/e27811r601t4515g/fulltext.html>.
- BHRC, 2005 Building and Housing Research Center, <http://www.bhrc.ac.ir>.
- Burrough, P. A. and McDonnell, R. A., 1998. Principles of Geographical Information Systems, Spatial Information Systems and Geostatistics, Oxford University Press, New York.