محاسبه پارامتر های تجربی گسلش با استفاده از آمار چند متغییره

بهرام امیری[1]، دکترحبیب شاه نظری[2]و مسعود مجرب[3]

چکیده

با توجه به اهمیت گسلش و تاثیر آن بر جامعه بشری، بخصوص جان انسانها، اقتصاد جوامع و توسعه پایدار، در این بررسی سعی شد تا با گردآوری اطلاعات مربوط به یک زلزله مانند بزرگا، بزرگای گشتاوری، گشتاور لرزه ای، عمق زمین لرزه، طول گسیختگی و طول گسل، روابط تجربی حاکم براین عوامل بررسی و به صورت روابط تجربی گسلش ارائه شود. در همین راستا داده های کاتالوگ گسلش ایران (گسلهایی که فعالیت لرزه ای مشخص و پارامتر های لرزه ای مستند شده دارند) و زلزله های مهم دنیا گردآوری و طی چندین مرحله آماری، رگرسیون گیری شدند. داده ها به روش آمار تک متغییره و چند متغییره آنالیز شدند. و مناسبترین تابع خطی و غیر خطی با استفاده از نرم افزار های آماری، همچون DataFit به داده ها برازش شد.

کلید واژه ها: گسلش، روابط تجربی گسلش، حریم گسیختگی سطحی، رگرسیون گیری، آمار چند متغییره

Calculating Fault experimental Parameters using Multivariate Statistics

Bahram Amiri, Dr Habib Shahnazari and Masoud Mojarab

Abstract

Regarding the importance of faulting and its effect on the societies, specially the human beings' lives, communities' economy and sustainable development, this study is to collect the information about major earthquakes, moment magnitudes, seismic moments, earthquake depths, ruptures lengths and faults lengths. The experimental formulas governing these factors are studied and presented in the form of faulting experimental formulas. In this regard the data of Iran's faulting catalog (the faults that have determined seismic activities and documented seismic parameters) and worldwide important earthquakes are collected and then regressed in several statistic steps. The data are analyzed using monovariable and multivariable statistical methods. Finally, the best linear and nonlinear functions are fitted applying the statistical software such as Datafit.

Keywords: faulting, experimental fault formula, surface rupture zone, regressing, multivariate statistics.

---

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی خاک وپی دانشگاه علم وصنعت ایران amiri_b@yahoo.com

[2] دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران hshahnazari@iust.ac.ir

[3] دانشجوی دکترای مهندسی اکتشاف دانشکده فنی دانشگاه تهران mmojarab@gmail.com

مقدمه:

بشر در گذشته و حال سعی درفرموله کردن پدیده های اطراف خود داشته است که این امر وابسته به علوم ریاضی و آمار بوده است. محققین علوم زمین برای قاعده مند کردن پدیده های حوزه زمین شناسی، مجبور به لحاظ کردن پارامتر های غیر قابل کنترل زمین شناسی در محاسبات خود می باشند. بنابراین به دلیل ناشناخته ماندن قسمت های اعظم زمین، همیشه در محاسبات و فرموله کردن رفتار زمین یک عدم قطعیت وارد می شود. از اینرو محققین با به کار بستن علوم آمار و ریاضیات سعی در ارائه روابط تجربی در شاخه های مختلف علوم زمین از جمله زلزله، مکانیک خاک، زمین شناسی مهندسی و مکانیک سنگ کرده اند. برای محاسبه ی یک رابطه ی تجربی نکته قابل توجه، جامعه آماری است که برای محاسبه روابط از آن استفاده می شود. هرچه جامعه آماری اصولی تر و با دقت بیشتر انتخاب شود رابطه ی ارائه شده از عدم قطعیت پایین تری برخوردار خواهد بود. بنابراین در ارائه یک رابطه ی تجربی، انتخاب یک جامعه آماری نمونه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. لذا جامعه آماری مناسب باید نمونه کاملی از رفتار جامعه آماری کل باشد، تا بتوان با تقریب خوبی به رفتار جامعه آماری کل پی برد. دانشمندان علوم زمین روابط تجربی بسیاری در رابطه با گسلش و رفتار زون لرزه ای داشته اند.

ولز و کوپراسمیت ۱۹۹۴ روابط بسیاری را در مورد پارامترهای گسلش ارائه کرده اند. آنها برای محاسبه ی روابط تجربی از آمار دو متغیره و کاتالوگ لرزه ای دنیا استفاده کرده اند که به عنوان مثال می توان روابط بین بزرگا -جابجایی، گسیختگی سطحی- بزرگا و طول گسیختگی- بزرگای گشتاوری را نام برد. امبرسیز و ملویل نیز برای داده های ۱۹۰۰ تا ۱۹۷۹ ایران، روابط بزرگی و شدت را ارائه کرده اند. از پیشگامان ارائه روابط تجربی می توان به گوتنبرگ و ریشتر ۱۹۴۹ اشاره کرد. آنها بین فراوانی و بزرگی زمین لرزه ها یک رابطه ی خطی منفی را در نظر گرفتند. رابطه $\log(N)=a-b(M)$ که توسط گوتنبرگ و ریشتر در سال ۱۹۴۹ ارائه شد، یکی از کاربردی ترین و ماندگار ترین روابط تجربی در زلزله شناسی مهندسی می باشد.

$$\log(N)=a-b(M)\rightarrow N=10^{a-b(M)}$$

در معادله ی فوق، N تعداد تجمعی زمین لرزه ها در دوره ی زمانی مورد نظر، M بزرگی زمین لرزه در همان دوره و a و b مقادیر ثابت مکانی هستند.

$$a=\frac{\sum x^2\sum y-\sum x.\sum xy}{n\sum x^2-(\sum x)^2}$$

$$\boldsymbol{b}=\frac{\boldsymbol{n\sum xy-\sum x.\sum y}}{\boldsymbol{n\sum x^2-(\sum x)^2}}$$

که در روابط فوق n تعداد آماره موجود، $x=-M$ و $y=\log(N)$ می باشد. محاسبات به عمل آمده نشان می دهد که مقدار a برای نقاط مختلف، متفاوت است ولی مقدار b تقریباً بین $1.5-0.5$ تغییر می کند.

در ۱۹۸۲ آمبرسیز و ملویل بهترین انطباق رابطه ی ریشتر – گوتنبرگ را برای سراسر ایران بر پایه ی زمین لرزه های قرن بیستم به صورت ذیل محاسبه کرده اند.

$$\log(N)=6.88-0.86(M)$$

N تعداد زلزله هایی است که طی یک سال با بزرگی M یا بیشتر در ایران رخ می دهد. رابطه ی بزرگا – طول گسیختگی را می توان یکی از کاربردی ترین روابط گسلش دانست. در همین راستا محققین زلزله شناس روابط تجربی بسیاری ارائه کرده اند. Tocher در ۱۹۵۸ رابطه ی $\boldsymbol{M=\log L+5.7}$ را برای زلزله های آمریکا را ارائه کرد.

Housner در ۱۹۶۹ رابطه ی دیگری را برای زمین لرزه های بزرگتر از 5/6 ریشتر معرفی کرد. که عبارت است از :

$$M=1.5\log L+5.34$$

در مورد روابط تجربی گسلش در ایران نیز می توان به روابط نوروزی و مهاجر در ۱۹۷۸ برای محاسبه ی بزرگا – طول گسیختگی $M=\log L+5.4$، نوروزی ۱۹۸۵ $\log L=-0.126+0.675M_S$ و رابطه ی

تجربی بزرگا طول گسل زارع ۱۹۹۹ $M_W = 0.91Ln(L_R) + 3.66$، اشاره کرد.

زارع براساس طول گسل های زمین لرزه ای ایران (گسیختگی سطحی قابل مشاهده و گزارش شده در زمین لرزه ها) فهرستی از ۲۳ گسل زمین لرزه ای فراهم کرده است که در آن بزرگای زمین لرزه های (پیش از سده بیستم) براساس بررسیهای آمبرسیز و ملویل ۱۹۸۲ بوده و طول گسل های بنیادی با در نظر گرفتن قطعه بندی، و طول نسبتاً پیوسته و مستقیم از گسل پیاده شده است.

نهایتاً روابط ولز و کوپراسمیت را می توان به عنوان مهمترین و کاملترین روابط تجربی گسلش نام برد. در این تحقیق نیز سعی شده تا با جمع آوری داده های زمین لرزه و مشخصات هندسی و ساز و کار گسل ها و همچنین با استفاده ازروابط آماری دو و چند متغیره به فرموله کردن روابط گسلش پرداخته شود. مطالعات گذشته همچون ولز و کوپراسمیت، نوروزی، زارع بر پایه آمار دو متغیره بنا شده است حال آنکه جنبایی یک گسل و حوضه تاثیر آن به عوامل زیادی بستگی دارد. به عنوان مثال محاسبه طول گسیختگی از بزرگا، به دلیل استفاده از یک عامل (بزرگا) عدم قطعیت های زیادی را به دنبال دارد. برای اینکه گسلی بتواند نمود سطحی در سطح زمین داشته باشد علاوه بر بزرگا به عواملی همچون عمق کانونی زمین لرزه، گشتاور لرزه ای، طول گسل و پهنای یک گسل نیز بستگی دارد. هر چقدر عمق کانونی یک زمین لرزه کمتر باشد محل تلاقی صفحه گسیختگی گسل با سطح زمین که یک خط را تشکیل می دهد بیشتر می شود. همچنین بر عکس این پدیده نیز ممکن است اتفاق بیفتد. بنابراین در این بررسی با کامل کردن اطلاعات کاتالوگ گسل های ایران (گسل های که دارای گسیختگی سطحی بوده اند) روابط تجربی چند متغیره ارائه شد. همچنین برای پایین بردن عدم قطعیت، پارامترهای بیشتری در محاسبه هر یک از پارامترهای گسلش همچون طول گسیختگی، بزرگا، شدت و ... به کار گرفته شد.

روش کار

همانطور که در مقدمه نیز عنوان شد اساس مطالعات تجربی، داشتن یک جامعه نمونه از داده ها می باشد. هرچقدر داده ها از دقت بالایی برخوردار باشند نتایج بررسی منجربه روابط با خطای کمتر می شود. بنابراین کاتالوگ گسلهای ایران (گسلهای دارای گسیختگی ثبت شده) با مطالعه و بررسی مقالات، ژورنالها و گزارشهای معتبرو مستند شده در سازمانها و پژوهشگاه ها تهیه شد. پس از تهیه کاتالوگ، بر اساس قضاوت مهندسی جفت پارامتر های گسلش و همچنین پارامتر های مناسب در محاسبه روابط چند متغییره انتخاب شدند. بعد از طبقه بندی داده ها ماتریس همبستگی برای پارامتر های گسلش محاسبه شد و نهایتا پس از انتخاب جفت و چند پارامتر های با ضرایب همبستگی بالا، داده ها در نرم افزار DataFit فراخوانی و رگرسیونگیری شدند.

و جهان (بانک داده) جمع آوری اطلاعات گسلهای ایران
آنالیز داده (تعیین صحت و درستی)
طبقه بندی داده ها (براساس قضاوت مهندسی)
محاسبه ضرایب همبستگی
رگرسیونگیری دو و چند متغییره

رگرسیون گیری دو متغییره

مدل رگرسیون دو متغییره به صورت زیر نوشته می شود

$$y = \alpha + \beta x + \delta$$

که در آن x متغیر مستقلی است که توزیع نرمال دارد و y متغیر وابسته به x است و از روی آن تخمین زده می شود. α یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال است که

عرض از مبدا خط رگرسیون را معرفی می کند. β شیب خط رگرسیون و بالاخره δ متغیری است تصادفی که مولفه ی بازماند یا اثر تصادفی نامیده می شود. این مولفه مقداری از تغییرپذیری y است که در معادله خط به حساب نمی آید و معرف خطای تصادفی و سیستماتیک تغییر پذیری، متغیرهای ناشناخته و تغییر پذیری محل است. در این بررسی از روش کمترین مربعات برای انجام عملیات رگرسیون استفاده شده است. این روش براساس کمترین مربعات انحراف نقاط (داده ها) از خط برازش شده، بنا شده است. این روش معمولاً به منظور تخمین مقدار یک متغیر از روی متغیر دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. در ادامه برخی روابط محاسبه شده دو متغیره ارائه شده است.

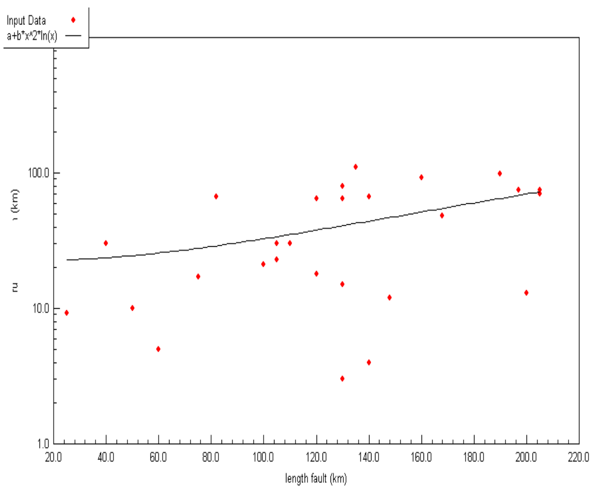
رابطه طول گسیختگی – طول گسل

یکی از مهمترین دغدغه های مهندسین برای مکان یابی سازه های مهم، طول گسیختگی احتمالی حاصل از طول گسل نزدیک به محل سایت می باشد. بنابراین داده های متغییر گسیختگی همراه با طول گسل های آن جمع آوری و مورد تحلیل آماری قرارگرفت. برای انجام عملیات رگرسیون از نرم افزار DataFit استفاده شد. در گام اول برای اطمینان از صحت کار ماتریس همبستگی تشکیل گردید. ضریب همبستگی 0.48 و آزمون نیکویی برازش برای داده ها $R^2 = 0.22$ محاسبه شد. در نهایت رابطه $y = a + bx^2 \ln(x)$ همراه با ضرایب $a = 22.34$ و $b = 2.24$ برای تعیین طول گسیختگی سطحی از طول گسل به دست آمد شکل (۱).

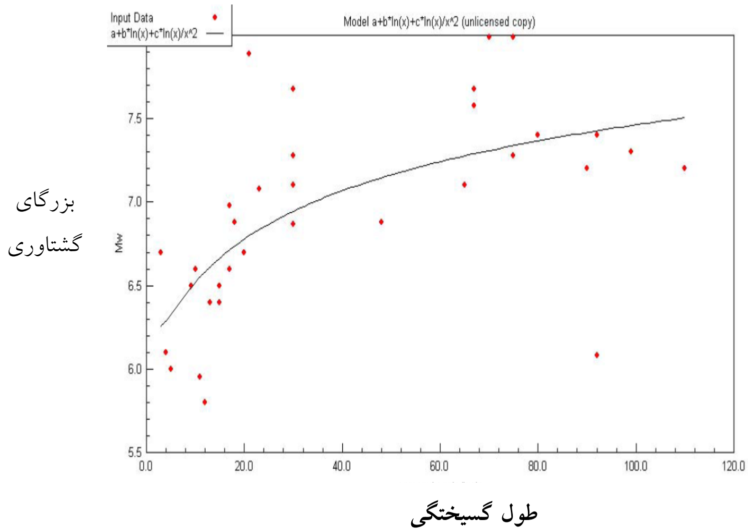
رابطه بزرگای گشتاوری – طول گسیختگی

یکی دیگر از روابط مهم در زلزله شناسی مهندسی تخمین بزرگی بر روی یک گسل فعال در زمان نبود لرزه ای است. در واقع این محاسبه یکی از برآوردهای اولیه یک گسل براساس طول آن است و نتایج حاصل از آن به عنوان یکی از راههای تعیین بزرگا در چشمه های لرزه زا در تحلیل خطر زمین لرزه را شامل می شود. به بیان ساده رابطه ی بزرگا- طول گسیختگی یک معیار تجربی است که به مهندسان طراح اجازه می دهد تا در انتخاب محل سایت، میزان لرزه خیزی و بزرگاهای احتمالی را برآورد کنند. نهایتاً رابطه پس از رگرسیون گیری به صورت $Y = a + b\ln X + cX^{-2}\ln X$ محاسبه شد که در آن $a = 5.4487$ و $b = 0.4373$ و $c = 2.7080$ ضرایب ثابت معادله بالا می باشند. همانطور که در ماتریس همبستگی قابل مشاهده است ضریب همبستگی رابطه ی فوق، $R = 0.54$ به دست آمدکه نشان از یک رابطه با دقت متوسط بین جامعه نمونه انتخاب شده دارد شکل ۱.

طول گسیختگی



طول گسل



شکل۱- نمودار برازش شده بر داده های طول گسیختگی، طول گسل و بزرگا

توابع رگرسیون چند متغیره

در بخش قبل رهیافت رگرسیون گیری محدود به توابع دو متغیره x و y بود. تقریباً تمام محققین در این زمینه روابط دو متغیره ارائه کرده اند. بنابراین در این تحقیق سعی برآن است تا توابع چند متغیره برای ارائه روابط تجربی گسلش استفاده شود. اصولاً برای یک رویداد در زلزله شناسی مهندسی و یا حتی در سایر علوم مهندسی و غیر مهندسی چندین عامل دخیل است. به عنوان مثال برای پارامتر طول گسیختگی، علاوه بر طول گسل و بزرگا مسئله ی عمق کانون زمین لرزه نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. در واقع زمین لرزه های عمیق طول گسیختگی سطحی کمتری نسبت به زمین لرزه های کم عمق دارند.

در ادامه مجموعه پارامترهایی که از لحاظ علمی و فنی با هم در ارتباط بودند انتخاب و به صورت ۳ و ۴ پارامتری رگرسیون گیری شدند. در بحث آماری چند متغیره برای اطمینان از ضریب همبستگی دو راه وجود دارد یکی استفاده از ماتریس همبستگی که رابطه ی هر پارامتر را با دیگر پارامترها بیان می کند و راه دوم استفاده از آزمون نیکویی برازش یا ضریب همبستگی چند گانه می باشد.

تحلیل رگرسیون چندگانه

در بسیاری از موارد با متغیرهایی سروکار داریم که تابعی از دو یا چند متغیر مستقل می باشد. به عنوان مثال طول گسیختگی سطحی که تابعی از بزرگا – یا گشتاور لرزه ای، عمق زمین لرزه و طول گسل است. همچنین میزان شدت یک زمین لرزه علاوه بر بزرگی به عمق کانونی زمین لرزه نیز بستگی دارد.

تخمین یکی از پارامترها از روی مقادیر متغیرهای دیگر نیاز به محاسبه و ارائه مدلی دارد که بتواند ارتباط بین پارامترمجهول را با متغیرهای معلوم بیان نماید. چنین مدلی از طریق برازش خطی به داده ها و آزمون نیکویی برازش به آنها انجام می گیرد. در رگرسیون چند گانه اهداف چندی دنبال می شود که مهمترین آنها به قرار زیر است:

۱- خلاصه کردن حجم زیادی از داده ها به صورت یک تابع از چند متغیر مستقل.

۲- درک فرآیند مربوط به پدیده ی مورد بررسی، به عنوان مثال رابطه ی طول گسل، طول گسیختگی و بزرگا.

۳- تخمین کمیت هایی که اندازه گیری آنها مشکل و یا پر خطا است، ولی مرتبط با کمیت های دیگری است که اندازه گیری آنها ساده و کم خطا می باشد.

مدل خطی عمومی

فـرض کنیـد $x_1, x_2, \ldots, x_k$ متغیرهـای قابـل انـدازه گیری (با خطای کم) باشند و y یک متغیر تصادفی قابـل اندازه گیری با پراش σ^2، به طوری که:

$$\mathrm{E}(y) = \mu y = \beta_\circ + \sum_{i=1}^{k} \beta_i \chi_i$$

کـه در آن $\mathrm{E}(y)$ امیـد ریاضـی y و β_i معـرف ضرایب خطی مجهـول هـستند. اگـر σ^2 بـه χ_i و β_i بستگی نداشته باشد. رابطه فوق را می توان به صورت زیر نوشت:

$$y = \beta_\circ + \sum_{i=1}^{k} \beta_i \chi_i + e$$

که در آن e یک متغیر تصادفی غیر قابل اندازه گیـری است به طوری که $\mathrm{E}(\boldsymbol{e}) = \mathbf{0}$ و

$$\sigma e^2 = \sigma^2$$

شرایط فوق را مدل خطی عمـومی مـی نامنـد. بـرای استفاده از این مدل ابتدا باید مقادیر χ_i بـرای هـر مـورد مشخص کرد. این امـر یـا از طریـق انـدازه گیـری یـا بـه صورت انتخاب مقادیر از شیب تعیـین شـده انجـام پـذیر است. اولین گروه از مقادیر χ_i که نتیجه ی اندازه گیـری متغیرهای مختلف (k) در یک نمونه است را به صـورت x11, x12,… x1k نشان می دهـیم. حـال مقـادیر y_1 متناظر با این مقادیر در همان نمونه اندازه گیری می شود. بنابراین می توان معادلـه زیـر را بـرای انـدازه گیـری هـا نوشت.

$$y_1 = \beta_\circ + \sum_{I=1}^{k} \beta_i \chi_{1i} + e_1$$

سپس نمونه دوم مورد اندازه گیری قـرار مـی گیـرد و یک دسته داده ی دیگر به دست می آید. این عمل برای n نمونه انجام می شـود. کـه در آن $\boldsymbol{n} \geq \boldsymbol{k}$ اسـت. در ایـن حالت معادلات زیر را می توان نوشت:

$$y_1 = \beta_\circ + \beta_1\chi_{11} + \beta_2\chi_{12} + \ldots + \beta_k\chi_{1k} + e_1$$
$$y_2 = \beta_\circ + \beta_1\chi_{21} + \beta_2\chi_{22} + \ldots + \beta_k\chi_{2k} + e_2$$
$$y_n = \beta_\circ + \beta_1\chi_{n1} + \beta_2\chi_{n2} + \ldots + \beta_k\chi_{nk} + e_n$$

ماتریکس $[\chi]$ و بردارهای $[y]$ ، $[\beta]$ ، $[e]$ را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$[y] = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} ۱ & \boldsymbol{x}_{11} & \boldsymbol{x}_{12} & \ldots & \boldsymbol{x}_{1k} \\ ۱ & \boldsymbol{x}_{21} & \boldsymbol{x}_{22} & \ldots & \boldsymbol{x}_{2k} \\ ۱ & \boldsymbol{x}_{n1} & \boldsymbol{x}_{n2} & \ldots & \boldsymbol{x}_{nk} \end{pmatrix}$$

$$[\beta] = \begin{bmatrix} \beta_\circ \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad [\boldsymbol{e}] = \begin{bmatrix} \boldsymbol{e}_1 \\ \boldsymbol{e}_2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{e}_k \end{bmatrix}$$

ستون اول ماتریکس $[\chi]$ (که از تعـدادی عـدد یـک تشکیل شده است) جمله ی $\beta_\circ$ معادلات y_1 تـا y_n را تشکیل مـی دهـد. رابطـه ی مـاتریس معـادلات فـوق را می توان به صورت زیر نوشت (حسنی پاک۲۰۰۰) :

$$[\boldsymbol{y}] = [\chi][\beta] + [\boldsymbol{e}]$$

یکی از روش های تعیـین مقـادیر β_i روش کمتـرین مربعات است. براساس این روش مقادیر β_i باید طـوری محاسبه شوند که مقادیر e_i نظیر آنها مینـیمم شـوند. اگـر معیار فوق را دنبال کنیم به دستگاه معادلات زیـر خـواهیم رسید که از حل آن ضرایب β_i به دست می آید.

$$[S][\beta] = [g]$$

که در آن ماتریس $[S]$ به قرار زیر است:

$$\begin{pmatrix} SSx_1^2 & SSx_1x_2 & SSx_1x_3 & \cdots & SSx_1x_k \\ SSx_2x_1 & SSx_2^2 & SSx_2x_3 & \cdots & SSx_2x_k \\ & & & & \\ SSx_kx_1 & SSx_kx_2 & SSx_kx_3 & \cdots & SSx \end{pmatrix}$$

در این ماتریس

$$SSx_i^2 = \sum_{j=1}^{n}(x_{ji} - \overline{x_i})^2$$

$$SSx_ix_j = \sum_{k=1}^{n}\left(x_{ki} - \overline{x_i}\right)\left(x_{kj} - \overline{x_j}\right)$$

همچنین در رابطه ی فوق بردار $[g]$ به صورت زیر تعریف می شود:

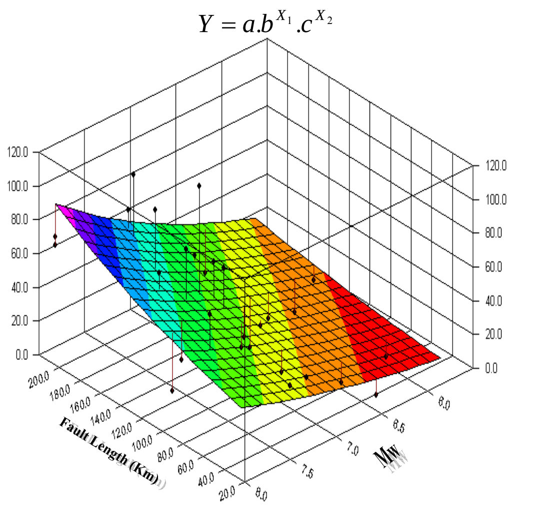
$$[g] = \begin{bmatrix} SSxy \\ SSx_2y \\ \\ SSx_ky \end{bmatrix}$$

که در آن :

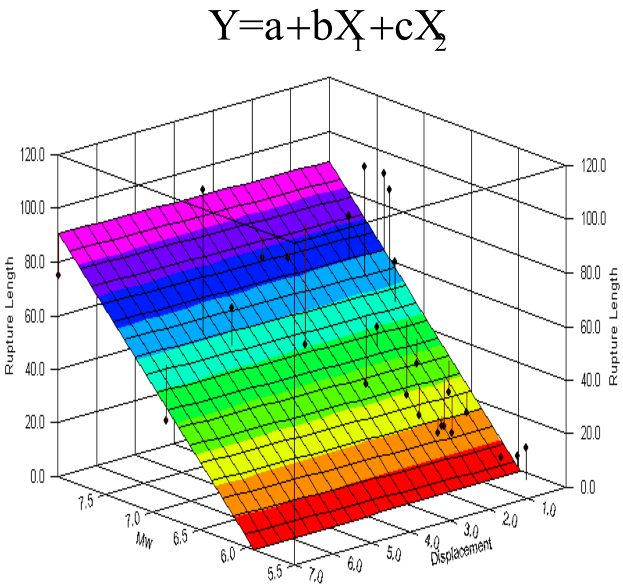
$$SSx_iy = \sum_{j=1}^{n}\left(x_{ji} - \overline{x_i}\right)\left(y_i - \overline{y}\right)$$

طول گسیختگی – طول گسل و بزرگای گشتاوری

محاسبه ی طول گسیختگی در مطالعات اولیه ی یک سایت ازجمله مطالعات پایه برای کاهش خطر در زمان وقوع یک زلزله است در بخش های قبل طول گسیختگی را در آمار دو متغیره بررسی کردیم حال به جای بررسی جداگانه طول گسل، بزرگا با استفاده از هر دو پارامتر مذکور، طول گسیختگی محاسبه شده است. بنابراین فرمول بدست آمده برای طول گسیختگی عبارت است از $Y = a.b^{X_1}.c^{X_2}$ که در آن $a = 0.0120$، $b = 1.0046$، $c = 3.87$ و ضریب همبستگی چند گانه و یا همان آزمون نیکویی برازش نیز $R^2 = 0.45$ محاسبه شد شکل۲. همچنین رابطه بزرگای گشتاوری، جابجایی و طول گسیختگی نیز در نرم افزار DataFit محاسبه شد شکل۳.



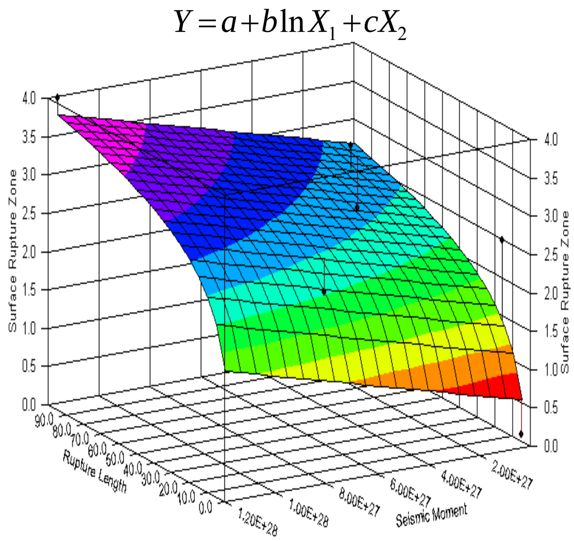
شکل۲- رابطه طول گسل، بزرگای گشتاوری و طول گسیختگی، خروجی نرم افزار DataFit



شکل۳- رابطه بزرگای گشتاوری، جابجایی و طول گسیختگی ، خروجی نرم افزار DataF

پهنای پهنه ی گسلش – طول گسیختگی و گشتاور لرزه ای

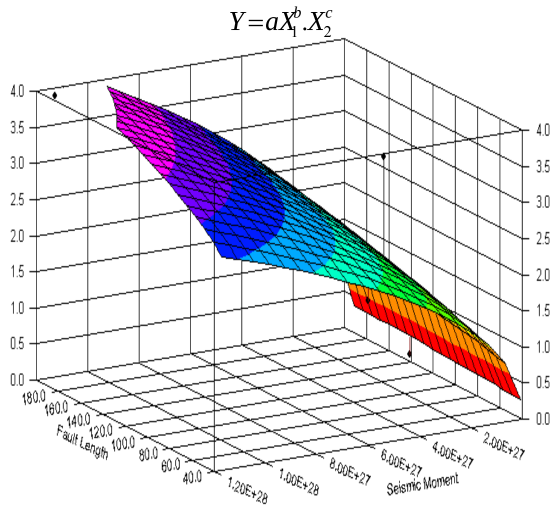
پهنه ی گسیختگی یکی از مهمترین پارامترهای یک رویداد لرزه ای می باشد. البته در این جا منظور از زون تاثیر گسل، تغییر شکل زمین در اثر بهم ریختگی گسیختگی و یا در اثر مولفه های امواج سطحی و پیکری می باشد. بنابراین برای حالت محافظه کارانه و بالابردن ضریب اطمینان می توان پهنای خطر زمین لرزه را از رابطه ی $Y = a + b\ln X_1 + cX_2$ که در آن $a = -0.37$، $b = 0.66$، $c = 9.25$ می باشد، با داشتن و یا محاسبه ی گشتاور لرزه ای و طول گسیختگی، محاسبه کرد. رابطه ی فوق با ضریب همبستگی چند گانه $R^2 = 0.74$ دارای قابلیت اطمینان بالایی است شکل۴.



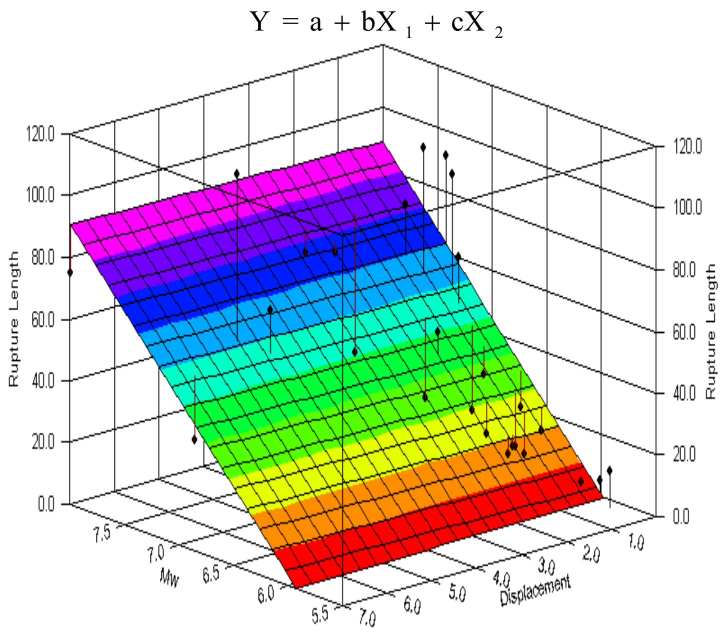
شکل ۴ – رابطه طول گسیختگی، گشتاورلرزه ای و زون گسلش، خروجی نرم افزار DataFit

پهنای زون گسلش – طول گسل و گشتاور لرزه ای

یکی دیگر از پارامترهای مهم در محاسبه ی پهنه ی زون گسلش، استفاده از گشتاور لرزه ای و طول گسل شناسایی شده می باشد. رابطه ی به دست آمده دارای ضریب همبستگی چندگانه $R^2 = 0.72$ می باشد که ضریب همبستگی بالایی است و در آن $a = 2.3863E-13$، $b = 0.2501$، $c = 0.4522$ می باشد. بنابراین با داشتن طول گسل، گشتاور لرزه ای طبق رابطه $Y = aX_1^b.X_2^c$ زون خطر گسلش قابل محاسبه خواهد بود شکل۵.



شکل ۵ – رابطه طول گسل، گشتاورلرزه ای و زون گسلش، خروجی نرم افزار DataFit



شکل ۶– رابطه بزرگای گشتاوری، جابجایی و طول گسیختگی، خروجی نرم افزار DataFit

نهایتا داده ها برای تمامی پارامتر ها ی گسلش محاسبه ودر جداول پیوست ارائه شده است. با توجه به محدودیت اطلاعاتی و نبود داده های کافی، در محاسبات، خطاهای ناشی از خلاء های اطلاعاتی به وضوح نمایان

است. بنا براین در هنگام استفاده از یک رابطه لازم است تا به تعداد داده و میزان خطای رگرسیون توجه شود.

نتیجه گیری

با وجود پیشرفت های صورت گرفته در علوم و ساخت تجهیزات پیشرفت مهندسی و آزمایشگاهی، به علت پیچیده بودن سیستم فعال و چند جانبه زمین، محققین نتوانسند رفتار این سیستم را در زمینه زلزله پیش بینی کنند. بنا براین دانشمندان علوم زمین سعی در مدل کردن پارامتر های گسلش و زلزله با استفاده از داده های مشاهده ای برداشت شده کرده اند. اولین رابطه تجربی را ریشتر در سال ۱۹۴۹ ارائه داد و در همین راستا روابط تجربی متعددی ارائه شد. هرچند که روابط تجربی اشکالاتی را در زمینه نحوه جمع آوری اطلاعات و روش آنالیز دارد، ولی با توجه به اهمت موضوع گسلش می توانند در ارزیابی و برآورد خطر در یک پهنه لرزه خیز بکار روند. یکی از نکات اساسی در محاسبه روابط تجربی مسئله داده مناسب می باشد. بنا براین باید در زمان وقوع یک زمین لرزه بازدید های میدانی از منطقه زلزله زده صورت گیرد و تغییر شکل های زمین همراه با داده های دستگاهی اندازه گیری شوند. تهیه یک کاتالوگ لرزه ای مناسب و گزارشهای معتبر در هر زلزله به یک رابطه مناسب منجر خواهد شد. نهایتا پس از جمع آوری داده مناسب باید سعی کرد تا روش های مناسب آماری در تحلیل ها استفاده شود. در مطالعه حاضر نیز سعی شد تا داده های مناسب از مراکز معتبر زلزله شناسی جمع آوری و با چند روش آماری تحلیل شوند.

منابع

- بربریان، م، ۱۳۷۱، پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و گسلش در گستره تهران گزارش شماره ۵۶ سازمان زمین شناسی کشور.
- پورکرمانی، م،۱۳۷۷، لرزه خیزی ایران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- حسنی پاک، ع، ۱۳۸۰، تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- رده، ا، (امبرسیز،ن، ملویل،چ)،۱۳۷۰، تاریخ زمین لرزه های ایران، انتشارات آگاه.
- سلیمانی،ش،حسینی،م،۱۳۷۷، تحلیل خطر زمین لرزه با رهیافت تعیینی برای نیروگاه منتظر القائم با تاکید بروی شمای مورفوتکتونیک و نئوتکتونیک. پژوهشنامه موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- زارع، م،۱۳۷۴رابطه های مناسب بزرگا، شدت و بیشینه شتاب افقی براساس زمین لرزه های ایران، پژوهشنامه موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۶ ص ۱۲-۱۴.
- Wells, D. L. K. and Coppersmith. J, 1994. New Empirical Relation Among Magnitude Rupture Length, Rupture Width, Area, and Surface Displacement, Bulletin of the Seismological society America., Vol. 84, PP.974-1002.
- Ghasemi, H. 2006.Stochastic Finite fault Simulation for the 2002 Changure - Avaj earthquake, NW Iran, Journal of the Earth and Space, Vol. 32, pp. 25-35.
- Talebian, M. Biggs, J. 2006. The Dahuiyeh (Zarand) Earthquake of 2005 22 February In Central Iran Reactivation of Intermountain reverse fault, Geophysics. J. Int, Vol. 164, pp.137-148.
- Shrifikia, M. 2005 Mapping of fault rupture of the 28 May 2004 Iran Earthquake (M=6.2) Using Satellite Image.
- Berberian, M. Asudeh, I. 1979. Mechanism of the main shock and theaftershock study of the Tabas-Golshan (Iran) earthquake of 16September, Bulletin of the seismological society of America, Vol. 69, pp. 1851-1859.
- Walker, R. Jackson, J. 2004. Active faulting and seismicity of the Dashte bayaz region, Eastern Iran, Geophysics. J. Int , Vo, 157, pp. 265- 282.

- IIEES Research Bulletin, Vol, 4, NO. 6, Winter 1995.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 6, NO. 1, Spring 1997.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 7, NO. 1, Spring 1998.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 4, NO. 2 & 3, summer and autumn 2001.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 5, NO. 1, Spring 2003.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 5, NO. 4, Winter 2003.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 8, NO. 2, 3 Summer and Autumn 2005.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 9, NO. 1, Spring 2006.
- IIEES Research Bulletin, Vol, 9, NO. 2, Summer 2006.
- www.iiees.ac.ir
- www.bhrc.ac.ir