



## بین ضریب انتقال امواج لرزه ای حاصل آتشفباری و خواص ناپیوستگی در سنگهای رسوبی

۱- عبدالهادی قزوینیان، بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس-تهران-ایران

email:hadi@modares.ac.ir

۲- علی احمدی<sup>۱</sup>، کارشناس ارشد مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، تهران-ایران

maile:aliamhadiminest@yahoo.com

۳- منیژه قره‌چه، دانشکده علوم اداری- دانشگاه شهید بهشتی- تهران - ایران

### چکیده:

برای تعیین خسارت ناشی از انفجار در معادن سنگی از معیار ارائه شده توسط شاب، دیمن و داویس (DIMEN&DAVIS,SHOB,1986) استفاده می شود که از رابطه  $V = KW^\alpha R^\beta$  تبعیت می کند.  $V$  سرعت موج ذره ای،  $W$  خرج در تاخیر،  $R$  فاصله از محل انفجار،  $\alpha, \beta$  ضرایب ثابت وابسته به آتشفباری و  $K$  در این رابطه ضریب ثابت انتقال امواج که به خواص زمین شناسی وابسته است. در این مجموعه ابتدا سرعت موج ذره ای در راستاهای مختلف ثبت شده است و فاصله نقاط انفجار تا نقطه ثبت توسط ژئوفون بدست آمده است. با رسم نمودار سرعت ذره ای در مقابل فاصله اندازه گیری توسط نرم افزار datafit ضریب  $K$  بدست آمده است. با تعیین خواص مختلف لایه بندی مانند امتیاز توده سنگ، تعداد ناپیوستگی، دانسیته سنگهای در بر گیرنده هر مقطع و زاویه بین راستای هر مقطع و راستای امتداد لایه بندی هر مقطع، رابطه بین این خواص ناپیوستگی و ضریب انتقال  $K$  در سنگهای رسوبی ارائه می شود و سپس با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل می شود.

واژه های کلیدی: سرعت موج ذره ای، انتقال امواج، ژئوفون، خواص ژئومکانیکی، انفجار، خواص ناپیوستگی

۱- تهران میدان انقلاب- خیابان آزادی- نرسیده به جمالزاده- جنب بانک سپه -بن بست خالقی- خوابگاه شهید حیدری- واحد ۶-  
تلفن منزل ۰۱۲۴-۴۲۲۳۱۰۶



## ۱-مقدمه:

انفجار همیشه تولید لرزش یا امواج لرزه ای می کند. امواج لرزه ای امواج الاستیک ناشی از خواص الاستیک سنگهاست [۱]. چنانچه به نقطه ای از قطعه سنگ نیرویی اثر کند که از حد الاستیک سنگ تجاوز نکند، تغییر شکل اندکی در آن نقطه ایجاد می گردد که به نقطه مجاور منتقل شده و به همین ترتیب از اطراف آن نقطه به نقاط دیگر انتشار می یابد [۲]. امواج لرزه ای ممکن است خسارات جبران ناپذیری به سنگهای باقیمانده پس از انفجار یا تاسیسات مجاور وارد کند [۳]. هرگاه فرکانس ارتعاشات ناشی از انفجار بین 1-100 هرتز باشد، استفاده از سرعت ذرات به عنوان معیار بررسی خسارت توصیه می شود [۴]. فرکانس ارتعاشات ناشی از انفجار در معادن سنگی بین 1-100 هرتز است [۵]. استانداردهای متفاوتی جهت پیش بینی حداکثر سرعت ذرات تا به حال ارائه شده است. شاب و دیمن و داویس رابطه  $PPV = Kd^\alpha W^\beta$  را برای پیش بینی حداکثر سرعت ذرات در معادن سنگی ارائه داده است [۶].

در این رابطه:

$PPV$ : سرعت ذره ای ماکزیمم

$d$ : فاصله از محل انفجار

$K$ : ضریب ثابت مربوط به زمین شناسی

$\alpha, \beta$ : ضرایب ثابت وابسته به آتشفباری

$W$ : وزن خراج در تاخیر

ضریب انتقال امواج  $K$  به زمین شناسی مقاطع انتقال امواج وابسته است. عوامل مختلفی بر ضریب انتقال امواج  $K$  در لایه های زمین شناسی تاثیر دارند. مهمترین عوامل دانسیته، تخلخل، انیزوتروپی، فشار آبهای زیر زمینی، دما و فشار محصور می باشند [۷]. علاوه بر این عوامل خواص توده سنگ نیز بر میزان انتقال امواج تاثیر دارند. خواص درزه ها فاصله داری درزه ها، تعداد ناپیوستگیها و زاویه راستای انتشار امواج با راستای موازی امتداد لایه بندی نیز از عوامل تاثیر گذار بر ضریب انتقال امواج می باشد.

## ۲-تاثیر خواص ناپیوستگیها بر انتقال موج ذره ای:

تحقیقات زیادی در مورد تاثیر عوامل ناپیوستگی سنگها بر روی لرزش ناشی از انفجار انجام شده است. زمان عبور امواج، به دانسیته مواد سنگی و کانیها بستگی دارد. با افزایش دانسیته سنگهای عبور امواج به



علت بالا رفتن همسانگردی و انسجام سنگ انتقال امواج لرزه ای بهتر انجام می شود و ضریب انتقال امواج بالا می رود [۸].

$$V = ad - b \quad (1)$$

که در این فرمول  $b, a$  ضرایب ثابت

$V$ : سرعت انتشار موج  $d$ : دانسیته سنگها

درزه ها در انتقال امواج لرزه ای نقش اساسی دارند، بطوریکه می توان گفت تمامی عوامل تاثیر گذار بر روی انتقال امواج نوعی به درزه ها وابسته اند. خواص درزه ها از قبیل فاصله داری، مواد پرکننده و وضعیت درزه ها بیشترین تاثیر را بر روی انتقال امواج دارند [۹]. وجود لایه های سست باعث کاهش انتقال امواج لرزه ای می شود. لایه های سست باعث پایین آمدن ضریب الیسیسته سنگها و افزایش میرایی امواج خواهد شد و ضریب انتقال امواج را کاهش می دهد [۱۰]. تعداد درزه ها بر میزان انتقال امواج تاثیر زیادی دارند. بر طبق آزمایشات انجام شده بر روی چند سنگ مشخص شده است، رابطه خطی معکوس بین تعداد درزه ها و سرعت موج ذره ای وجود دارد [۱۱]. بطوریکه با افزایش تعداد درزه ها سرعت امواج ذره ای کاهش می یابد و معادله رگرسیون به صورت زیر ارائه شده است [۱۱]:

$$J_n = -aV_p + b \quad (2)$$

که در آن:

$J_n$ : تعداد درزه ها

$V_p$ : سرعت انتشار موج

$a, b$ : ضرایب ثابت

وضعیت درزه ها که معمولاً با زبری درزه ها (FRC) تعریف می شود، بر میزان انتقال امواج موثر است. طبق تحقیقات انجام گرفته بین زبری درزه ها و سرعت موج ذره ای رابطه ای از نوع درجه دوم وجود دارد. با افزایش FRC سرعت موج ذره ای در ابتدا به کندی و سپس به تندی کاهش می یابد [۱۲].

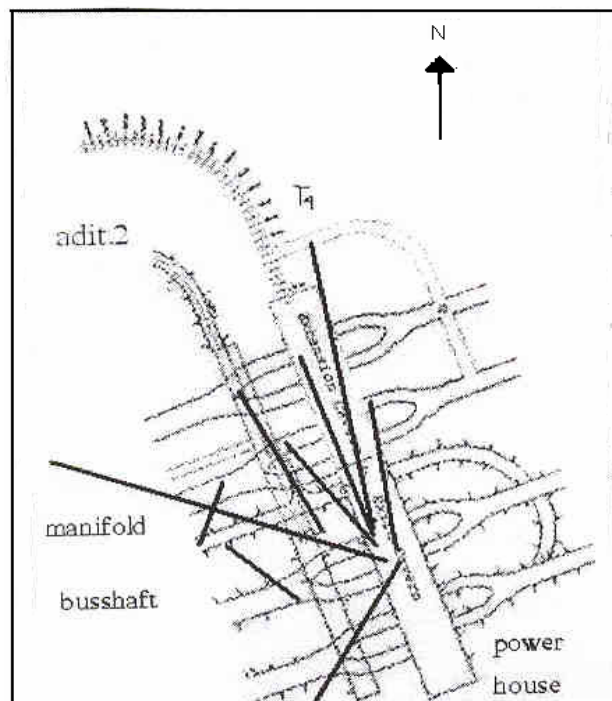
### ۳- معرفی محل تحقیق:

مجموعه نیروگاهی و مغار توسعه مسجد سلیمان در مجاورت مجموعه نیروگاهها فاز (۱) در حال ساخت است. به علت مجاورت این سازه ها با هم، باید در هنگام حفاری دقت زیادی بکار برد. انفجارهایی که



برای احداث مجموعه نیروگاهی فاز توسعه انجام می شود، در صورتی که احتیاطهای لازم صورت نگیرد، سبب بروز لرزش های شدید زمین خواهد شد و خسارات جبران ناپذیری را به تجهیزات نگهداری، ابزار دقیق و تاسیسات نصب شده در مغارهای فاز (۱) وارد خواهد کرد. برای بررسی این موضوع، در مواقع انفجار در سازه های فاز توسعه اقدام به نصب ژئوفون در مکانهای نظیر مغار اصلی و مغار ترانسفرمر فاز (۱) شد تا میزان لرزش ناشی از انفجار در این مکانها بررسی شود. در راستاهای مورد مطالعه با استفاده از خواص ژئومکانیکی سنگهای مسیر عبور امواج، امتیاز توده سنگهای مسیر بدست آورده شده است. توسط ژئوفون فاصله نقاط انفجار و سرعت موج ذره ای برای خرج در تاخیرهای مختلف بدست آمده است. و رابطه بین این دو مقدار از طریق نرم افزار بدست آمده است. که ضریب ثابت این معادله همان ضریب انتقال  $k$  است. با استفاده از این تحقیق می توان قبل از شروع انفجار با استفاده از مطالعات مقدماتی ژئومکانیکی میزان خسارت انفجار در مناطق مختلف را بدست آورد.

شکل (۱) جانمایی راستاهای مورد مطالعه در نیروگاه سد مسجد سلیمان را نشان می دهد. خطوط سیاه پر رنگ راستای مقاطع مورد مطالعه می باشد [۱۳].



شکل ۱- نمایی از نیروگاه فاز توسعه و فاز (۱) و راستاهای مطالعه شده [۳].



#### ۴- انجام تحقیق

تحقیق مورد نظر در منطقه رسوبی لایه ای سد مسجد سلیمان که لیتولوژی آن شامل سنگهای عموماً کنگولومرا، ماسه سنگ، رس سنگ سیلت می باشد انجام شده است.

در جدول (۱) تعداد لایه های در بر گیرنده مقاطع مورد مطالعه آمده است، تعداد لایه های گذرنده هر مقطع در کمترین حالت ۲ لایه و در بیشترین ۹ لایه می باشد.

جدول ۱- تعداد مقاطع با تعداد لایه های گذرنده از مقطع

شماره مقطع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
تعداد لایه	۵	۲	۲	۵	۷	۳	۹	۶	۹

در جدول شماره ۲ مشخصات و اطلاعات حاصل از برداشت مقطع شماره ۴ به عنوان نمونه آمده است، در این جدول مشخصات برداشت شده و خواص ژئومکانیکی مربوط به مقطع شماره ۴ آمده است:



جدول ۲- خصوصیات ژئومکانیکی برداشت از مقطع ۴ در نیروگاه مسجد سلیمان

شماره لایه	۱	۲	۳	۴	۵
جنس لایه	رس سنگ	رس سیلت	کنگولومرا	رس	سیلت
ضخامت لایه(متر)	32/8	2/48	6/31	7/31	11/8
فرکانس ناپیوستگی	10	16/6	0/55	10	12/5
(G pa)UCS	48	29	75	48	50
فاصله داری درزه ها(متر)	0/1	0/06	1/8	0/1	0/08
وضعیت درزه ها	زبری پایین	صاف	زبری بالا	زبری پایین و هوانزده	صاف
آبهای زیر زمینی	مرطوب	مرطوب	مرطوب	مرطوب	مرطوب

آبهای زیر زمینی و تعداد ناپیوستگی موجود در مقطع مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه امتیاز توده سنگهای هر لایه ثبت سرعت ذره ای ناشی از انفجارات برای جهات مختلف توسط ژئوفون ۱۵۰۰ UVS در چند نقطه انجام شده است. فاصله نقاط انفجار و نقطه ثبت با استفاده از مختصات نقشه برداری بدست آمده است. اندازه گیریها در ۹ مقطع با لیتولوژی مختلف انجام شده است. هر مقطع شامل سنگهای با ضخامتهای مختلف و خواص متفاوت می باشد. در ۹ مقطع مذکور برداشتهای زمین شناسی انجام شده



است. با استفاده از نقشه های زمین شناسی منطقه و نقشه های مقاطع حفاری و انجام مطالعات زمین شناسی و آزمایشگاهی فرکانس ناپیوستگی در جهت مورد نظر، RQD، وضعیت درزه های مقاطع، وضعیت آبهای زیر زمینی و تعداد ناپیوستگی موجود در مقطع بدست آمده است. زاویه آزیموت راستای مقاطع با امتداد جهت عمود بر درزه های هر مقطع بدست آورده شده است. سپس فرکانس ناپیوستگی در راستای مقاطع بدست آمده است تا RQD جهت دار هر لایه محاسبه شود. در ابتدا فرکانس ناپیوستگی از فرمول (۳) بدست آمده است [۱۴]:

$$\lambda = \lambda_0 \cos \delta \quad (3)$$

که در آن:

$\lambda$ : فرکانس ناپیوستگی در جهت عمود بر دسته درزه ها

$\lambda_0$ : فرکانس ناپیوستگی در راستای مقاطع

$\delta$ : زاویه دو راستای مقاطع عمود بر درزه های برداشت شده

پس از به دست آوردن فرکانس ناپیوستگیها RQD از دو فرمول (۴ و ۵) برای هر مقطع بدست آمده است [۱۴]:

$$RQD = 110/4 - 3/68\lambda \quad \lambda \leq 6 \quad (4)$$

$$RQD = 100e^{0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad \lambda > 6 \quad (5)$$

در ادامه امتیاز توده سنگهای لایه های مقاطع با در نظر گرفتن ۵ فاکتور پایه محاسبه شده است. برای بدست آوردن امتیاز توده سنگ هر مقطع به امتیاز های محاسبه شده هر لایه تشکیل دهنده مقطع ضریب وزنی اختصاص داده شد، سپس RMR ( امتیاز توده سنگ ) مقاطع با روش ارائه شده توسط بیناوسکی بدست آمده است [۱۰]. RMR محاسبه شده برای ۹ مقطع در جدول (۳) آمده است.

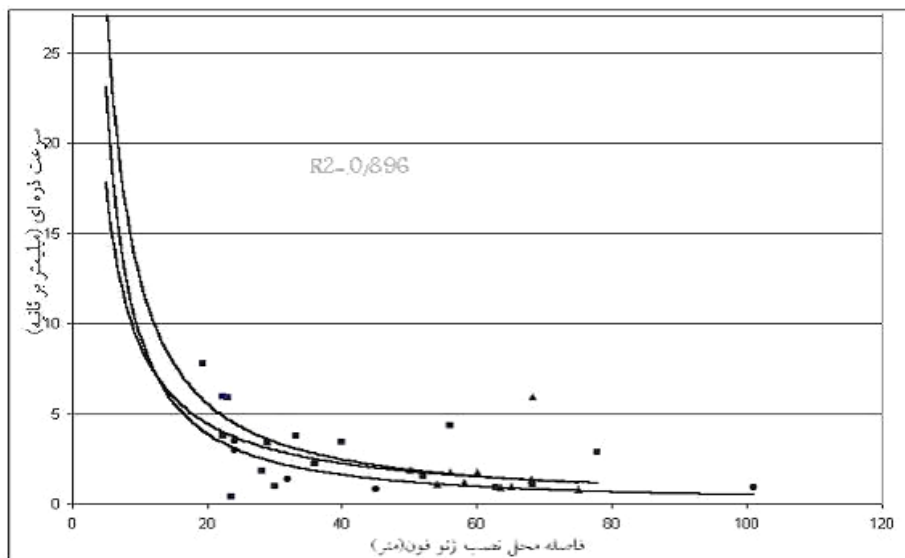
در مرحله بعد سرعت ذره ای ثبت شده توسط ژئوفون بر حسب خرج در تاخیرهای نزدیک به هم برای هر مقطع جداگانه دسته بندی شده اند. با استفاده از نرم افزار datafit نمودار سرعت در برابر فاصله برای



خرج در تاخیرهای مختلف برای هر مقطع به طور جداگانه بدست آورده شده است. با در نظر گرفتن معادله (۶) به عنوان معیار بررسی خسارت، ضریب انتقال امواج (K) برای هر مقطع بدست آمد.

$$V = Kd^{\alpha}W^{\beta} \quad (۶)$$

شکل (۴) نمودار سرعت ذره ای فاصله را برای مقطع شماره ۸ برای خرج در تاخیرهای مختلف نشان می دهد. همانطوریکه در شکل نشان داده شده است مقدار ضریب ثابت (K) برای سه خرج در تاخیر ۱/۵، ۱۰ و ۵۰ کیلوگرم در مقطع شماره ۸ برابر ۴۴۰ بدست آمده است.



شکل (۴): نمودار کلی مربوط به معادله سرعت ذره ای برای انفجارهای انجام شده در مقطع شماره ۸

$$V = 440 \frac{W^{0.8}}{R^{1.5}} \quad R^2 = 0.896 \quad (۷)$$

برای مقاطع دیگر این مرحله تکرار می شوند و ضریب انتقال امواج (K) برای همه مقاطع بدست آمده است. در جدول ۳ مقدار RMR و K محاسبه شده برای ۹ مقطع آورده شده است:

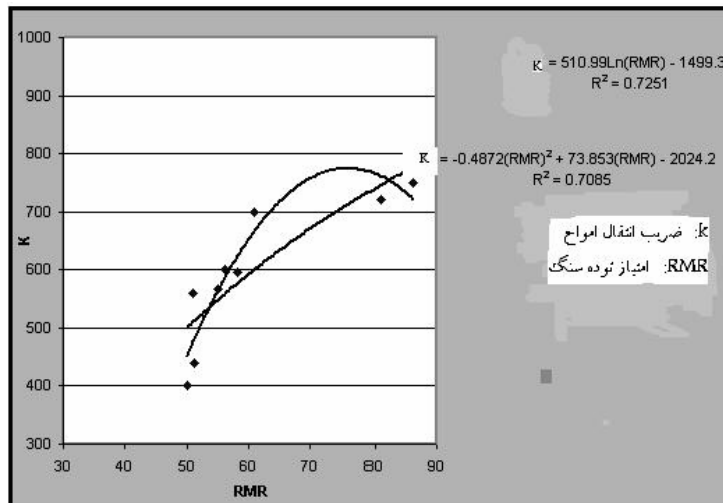




جدول ۳: مقادیر RMR و K بدست آمده برای مقاطع مختلف.

شماره مقطع	محل انفجار	محل ثبت	RMR <sub>TOTAL</sub>	K
۱	مغار نیروگاه فاز (۲)	مغار نیروگاه فاز (۱)	81	720
۲	مغار ترانسفرمر فاز (۲)	مغار ترانسفرمر فاز (۱)	86	750
۳	منی فولد بالا دست	مغار نیروگاه فاز (۱)	55	567
۴	منی فولد پایین دست	مغار ترانسفرمر	58	595
۵	XLPE400	مغار نیروگاه فاز (۱)	51	560
۶	T4	مغار نیروگاه فاز (۱)	56	600
۷	ADIT.NO2	مغار نیروگاه فاز (۱)	60/88	700
۸	BUSDUCT8	SF6	51	440
۹	BUSDUCT5	SF6	50	400

نمودار RMR در برابر K برای ۹ مقطع مورد مطالعه رسم شده است. همانطوریکه در شکل ۵ نشان داده شده است رابطه لگاریتمی بین دو متغیر ضریب همبستگی نسبتاً خوبی دارد.



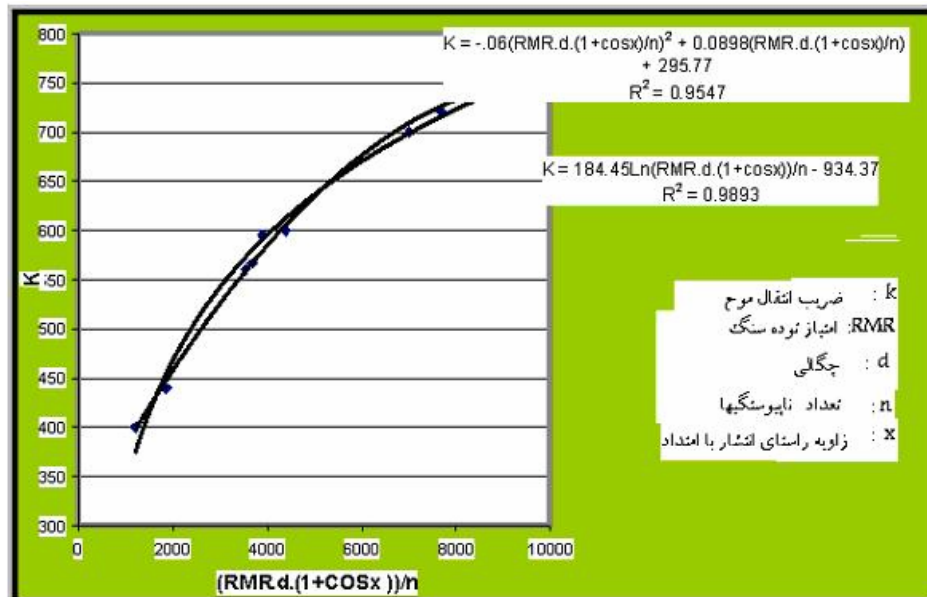
شکل ۵- نمودار رگرسیونی مربوط به میزان مقدار K در مقابل RMR

## ۵- نرمالایز کردن K و RMR

ضریب همبستگی حاصل از نمودار نسبت به پروژه های موجود پایین نیست ولیکن با توجه به این که یک سری عوامل در RMR وارد نشده است ، بهتر است با تحلیل این عوامل تاثیر گذار دقت کار افزایش یابد.

در مرحله نرمالایز کردن ، فاکتورهای موثر مانند جگالی (d) ، تعداد ناپیوستگیها در واحد متر (n) و کسینوس زاویه بین راستای ناپیوستگی با راستای انتشار امواج (x) تحلیل شده اند.

در ابتدا تاثیر دانسیته مورد ارزیابی قرار گرفته می شود. ضریب همبستگی از ۰/۷۲۵۱ به مقدار ۰/۷۹۸۲ رسیده است. سپس با تعداد ناپیوستگیها در واحد متر و زاویه راستای انتشار امواج با امتداد موازی لایه ها نرمالایز انجام شده است. در نتیجه همانطوریکه در شکل (۶) نشان داده شده است ضریب همبستگی به میزان قابل توجهی بالا رفته است.



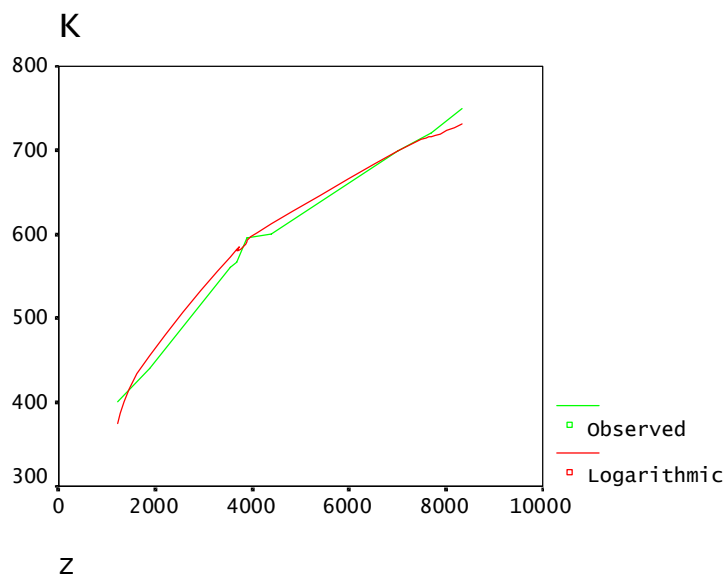
شکل (۶) - نمودار رگرسیونی مربوط به ضریب ثابت  $k$  در مقابل  $\frac{1 + \cos x}{n} (RMR.d)$

در شکل (۶) نشان داده شده است که میزان ضریب انتقال امواج لرزه ای به میزان قابل توجهی با نرمالایز کردن داده بالا رفته و حتی مقدار آن به عدد ۱ بسیار نزدیک شده است.

### ۶- تحلیل نتایج بدست آمده توسط نرم افزار SPSS

بدین منظور با استفاده از نرم افزار SPSS اقدام به بررسی رابطه ریاضی بین متغیرهای فوق شد که نتایج تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه و تحلیل نشان دهنده این موضوع می باشد که رابطه بین متغیرهای فوق یک رابطه لگاریتمی است. نرم افزار SPSS دقیقاً نتیجه مشابه نتایج نرم افزارهای EXCEL و DATAFIT داده است.

شکل (۷) نمودار مشاهده‌ای و نمودار رگرسیونی حاصل در نرم افزار SPSS را برای ضریب انتقال  $K$  در مقابل  $Z = \frac{(RMR.d.(1 + \cos))}{n}$  نشان داده است.



شکل (۷): نمودار رسم شده بین دو متغیر  $K$  و  $(RMR.d.(1 + \cos)/n)Z$  توسط نرم افزار SPSS

به منظور بررسی این که این رابطه ناشی از تصادف نبوده و به عبارت دیگر معنی دار است آزمون فرضیه زیر توسط نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

فرضیه: رابطه لگاریتمی  $K = 184.45Ln(z) - 934.37$  بین متغیرهای فوق معنی دار است.

که فرضیه فوق به دو زیر فرضیه تقسیم بندی می شود:

- بتا یا ضریب  $(RMR.d.(1 + \cos)/n)Z$  یعنی عدد  $184/45$  معنی دار است.
- آلفا یا ضریب ثابت یعنی عدد  $934/37$  معنی دار است.

جدول (۵) بررسی معنی داری رابطه بین  $K, (RMR.d.(1 + \cos)/n)Z$ .

ضریب	مقدار	سطح معنی داری یا Sig
ضریب $Z$ یا بتا	۱۸۴/۴۴۹۲	۰/۰۰۰۱
ضریب ثابت	-۹۳۴/۳۶۵۳	۰/۰۰۰۰



رابطه نهایی به شکل فرمول (۸) ارائه می شود:

$$V = \left( 184.45 \ln \left( \frac{RMR.d.(1 + \cos x)}{n} \right) - 934.37 \right) \frac{W^{0.8}}{R^{1.5}} \quad (8)$$

$V$ : سرعت ذره ای بر حسب متر بر ثانیه

$R, W$ : به ترتیب خرج در تاخیر و فاصله از محل انفجار

$RMR$ : امتیاز توده سنگ  $d$ : دانسیته

$n$ : تعداد ناپیوستگیها در مقطع انتشار امواج

$x$ : زاویه راستای انتشار امواج و امتداد ناپیوستگی

## ۶- نتیجه گیری

اگر سطح معنی داری بدست آمده از طریق نرم افزار SPSS کمتر از ۰/۰۵ باشد آنگاه آماره های فوق (ضریب ثابت و بتا) دقیق می باشد. در نتیجه رابطه لگاریتمی بدست آمده که شامل ضرایب ثابت و بتا است معنی دار و مورد تایید است. جدول (۵) که حاصل از تحلیل داده ها در نرم افزار SPSS می باشد، نشان داده است که این رابطه بسیار معنی دار است.

□ تعداد ناپیوستگیها به طور قابل توجهی در کاهش میزان  $K$  موثر می باشند، مقدار ضریب  $K$  در امتدادهای موازی لایه بیشتر از امتداد عمود بر لایه می باشد.

□ محاسبات در منطقه مورد مطالعه، با فرض اینکه تنش  $\sigma_3$  عمودی داشته باشیم انجام شده است. در اعماق زیاد تنشهای افقی باعث تغییر در خواص ژئومکانیکی و سرعت موج لرزه ای می شوند. در این تحقیق تاثیر تنشها مورد بررسی قرار نگرفته است.

□ اگر  $(RMR.d.(1 + \cos)/n)$  را درجه انسجام سنگ بنامیم و هر چه این نسبت بالاتر باشد، سنگ یکپارچه تر می باشد. و هر چه سنگ منسجم باشد مقدار  $K$  بیشتر است.



□ نتایج و فرمول بدست آمده را می توان برای سنگهای توده ای بکار برد. زاویه بین راستای انتشار امواج و امتداد لایه بندی بر میزان ضریب لرزه ای موثر است، بطوریکه با افزایش آن از میزان  $K$  کاسته می شود.

□ مقدار  $n$  در فرمول بدست آمده نسبت به زاویه راستای انتشار امواج به راستای موازی لایه و دانسیته سنگ، تاثیر بیشتری بر روی ضریب همبستگی  $(r^2)$  دارد.

## ۷- مراجع

- ۱- اصانلو، مرتضی، "طراحی و برنامه ریزی و روشهای استخراج معادن سطحی"، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، پاییز ۱۳۷۴.
- ۲- بخشنده، امطنه، "پیش بینی اثرات ناشی از انفجار در معادن روباز بر روی سازه های سطحی مجاور"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه امیر کبیر، ۱۳۷۷.

- 3-Hustrulid, William,"Blasting Principles for Open pit Mining", a.a.Balkema, 1999, VOL.2.
- 4-Tamrock, Napuri," Surface Drillingand Blasting" World Mining Equipment, Vol.23, PP.43—46, 1998.
- 5-Lopez Jimeno,Carlos and etal ., " Drilling and Blasting of Rock" ,A.A.Balkema, 1995.
- 6-Inoue,M,"Relation between Geomechanical Properties and Elastic Wave Velocity", Int.Symp.Weak Rock, 1981,PP.9-13.
- 7- Dowding, C.H, "Blast Vibration and Control" , Printoce Hall, Inc., Eglewood Cliff,1998
- 8-Gariglo,p,"Longitudinal Waves Propagation in a Limestone: Relation shipBetween Velocity and Density", Rock Mech .Rock eng,1989,Vol.22,PP.299-306.
- 9-Cai.j.G, Zhao.J,"Effect of Multile Parallel Fractures on particle Velocity in Rock Masses", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,2000,Vol.37,PP.682-698.
- 10-Forney.W.L,"Effect of Weak Layers on Particle Velocity Measurment", Rock Mech and Rock Eng,1997,Vol.30,PP.1-18.
- 11-Kahraman.S," A Correlation Between P-Wave Velocity, Number of Joint and Schmidt Hammer Rebound Number", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,2001,Vol.38,PP.729-733.
- 12-Kahraman.S,"The Effect of Fracture Roughness on P-Wave Velocity", Engineering Geology,2002.Vol63,PP.347-350.
- 13-Iran Water & Power Resources Dev. Co," Geology & Site Investigation Report,31Godar-Landar Hyderelectric Power Project", 1992.
- 14- Stephen D.Priest," Discontinuity Analysis for Rock Engineering", Champman 7 Hall,1993, PP.95-135.
- 15-Bieniawski, Z.T.(1973) ," Engineering Classification of Jointed Rock Masses", international journal of Civil Engineering, Vol.15, PP.335-344.