طبقه بندی مواد منفجره مصرفی در معادن بر اساس اندیس قدرت

افشین اکبری دهخوارقانی*

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات

E-mail: afshinakbari@parsonline.net

چکیده:

مواد منفجره ای همچون آنفو علی رغم برخورداری از دانسیته و سرعت انفجار(VOD) پایین - در صورت طراحی صحیح - خردایش مطلوبی را در انفجارهای معدنی سبب می شوند. با توجه به این مسئله ارائه عاملی مستقل از دانسیته و سرعت انفجار، برای شناخت و طبقه بندی قدرت مواد منفجره ضروری به نظر می رسد. تاکنون خردایش مطلوب بدست آمده توسط آنفو با وجود سرعت انفجار پایین را یک استثنا بر شمرده اند. در صورتیکه میتوان آنرا به کمک اندیس قدرت پیشنهادی در این تحقیق از نظر علمی به خوبی توجیه نمود. بدین منظور، در اینجا قدرت مواد منفجره مرسوم در معدنکاری بر مبنای تعریفی از شیمی فیزیک که در فن انفجار در معادن متداول نبوده است، ارائه گردید و برای داشتن یک مبنای مقایسه و همچنین کنترل ارتباط موجود بین قدرت محاسبه شده و مطلوبیت خردایش، تمامی قدرتهای محاسبه شده را بر قدرت آنفو که خردایش حاصل از آن مطلوب می باشد، تقسیم شد تا اندیس قدرتی که فاقد بعد باشد بدست آید. بررسی داده های قدرت نشان داد مواد منفجره ای مثل آنفو و آلومینیم- آنفو که علی رغم سرعت انفجارِ کم ایجاد کننده خردایش مطلوبی هستند، از قدرت بالایی برخوردارند، همچنانکه بررسی داده های اندیس قدرت نشان می دهد که آلومینیم- آنفو اندیس قدرتی نزدیک به نیترو گلسیرین دارد و یا اندیس قدرت آنفو که برابر واحد است بیش از ماده پر سرعتی مثل تی ان تی می باشد. درصورتیکه دانسیته، سرعت انفجار و حتی انرژی وزنی این مواد بسیار کمتر از نیتروگلسیرین و تی ان تی است. علاوه بر این، بررسی ضریب همبستگی داده های قدرت بر حسب دانسیته و سرعت انفجار نشان می دهد که قدرت و به تبع آن اندیس قدرت مستقل از دانسیته و سرعت انفجار میباشند. لذا در این تحقیق پیشنهاد گردید تا برای طراحی انفجارهای معدنی با هدف انتخاب نوع ماده منفجره، به جای دانسیته و سرعت انفجار از اندیس قدرت که ضمن مستقل بودن از دانسیته و سرعت انفجار، توجیهی بهتر از رفتار مواد منفجره ارائه میکند، استفاده شود. به همین منظور رابطه موجود بین خرج ویژه آنفو و شاخص انفجار پذیری سنگ برای محاسبه خرج ویژه سایر مواد منفجره بوسیله اندیس قدرتهای بدست آمده در این تحقیق اصلاح (Modify) گردید. نتایج حاصله مبین دقت این روابط در قیاس با روابط مرسوم که اصلاح آنها به کمک نسبت انرژی وزنی (RWS) صورت گرفته است، میباشد.

واژه هـای کلیـدی: انفجـارهای معدنـی، قدرت، اندیس قدرت، سرعت انفجار، طراحی انفجار، انتخاب ماده منفجره،خرج ویژه، شاخص انفجارپذیری سنگ.

* تهران، بزرگراه شیخ فضل الله نوری، خیابان پاس- فرهنگیان، خیابان ارشاد، کوی ارشاد، خیابان دوم، پلاک 9 ، طبقه اول.

مقدمه:

در یک واکنش انفجاری انرژی و گازهایی که محصولات واکنش هستند، آزاد می شوند. حجم گازهای تولیدی (v) وگرمای حاصل از انفجار(q)با توجه به ترموشیمی مواد منفجره قابل محاسبه اند. گازهای حاصله اصولا دارای حجمی چند برابر خرج بکار رفته هستند که این افزایش حجم در یک فضای محصور همچون چالهای بکار رفته برای خرج گذاری در انفجارهای معدنی، در صورت غلبه بر مقاومت سنگ به کمک سایر عوامل مؤثر، عاملی در جهت خردایش که هدف این انفجارها است، بشمار می رود. همچنین افزایش دمای ناگهانی حاصل از انرژی آزاد شده نیز موجبات انبساط ناگهانی سنگ را فراهم آورده و عاملی در جهت غلبه بر مقاومت سنگ تلقی میگردد. علاوه بر اثری که هر یک از عوامل گاز و انرژی به تنهایی بر خردایش دارند، با توجه به وقوع اغلب این انفجارها در یک فضای محصور، حضور گاز و انرژی در کنار یکدیگر، اثر تشدیدکننده ای نیز از طریق انبساط مضاعف حجم گازهای حاصل از انفجار دارند. این عمل به کمک بخشی از انرژی آزاد شده که به مصرف افزایش دمای سنگهای پیرامون چال نرسیده است، صورت می گیرد.

با توجه به موارد فوق الذکر میتوان نتیجه گرفت که تفکیک این عوامل از یکدیگر برای قضاوت در خصوص قدرت ماده منفجره اشتباه بوده و بهتر است که به جای قضاوت به کمک حجم گاز حاصل از انفجار یا انرژی به تعریف عاملی دربرگیرنده هردوی آنها روی آورد.

همچنین در انفجارات معدنی که خرج بکار رفته معمولا از مواد منفجره ای همچون آنفو می باشد، حجم زیادی از گاز در اثر انفجار آزاد می شود. شکل خرج نیز چه به صورت پر شده در چال و چه بصورت فشنگی معمولا سیلندری است و در فضایی محصور منفجر می شود. حضور این گازها در کنار انرژی آزاد شده باعث اعمال فشار بر باقیمانده خرج که در حال انفجار(Detonation) است می شود. این فشار لحظه به لحظه و بطور هماهنگ با پیشروی روند انفجار خرج و افزایش حجم گاز و میزان گرمای ناشی از آن، افزایش میابد. آنچه که از این روند به نظر می رسد، افزایش دانسیته ماده منفجره در اثر فشار وارده از طریق انبساط مضاعف گاز بگونه ای فزاینده است که به افزایش سرعت انفجار(VOD) منجر می شود و با توجه به رابطه ای که بین فشار انفجار(POD) با دانسیته و سرعت انفجار وجود دارد،[1] این عامل نیز در حال افزایش خواهد بود و

---

[1] $POD=0.25\ \rho_e\ VOD^2$

که:

POD – فشار انفجار (Kpa) ρ_e – دانسیته ماده منفجره (gr/cm^3)

VOD^2 – سرعت انفجار (m/s)

نمی تواند ملاک قضاوت باشد. میزان این افزایش برای ماده منفجره ای هموژن مثل نیتروگلسیرین مـایع و در نقاط انتهایی خرج در حدود سی درصدخواهد بود[1]. بنابراین مجددا بر لزوم استفاده از عاملی در بـر گیرنـده گاز و انرژی بصورت توام تاکید میگردد. . این عامـل کـه قـدرت (Power) مـاده منفجـره نامیـده میشـود، از حاصلضرب حجم گازهای حاصل از انفجار(v) و انرژی آزاد شده (q) بدست می آید و میتوان آنرا در مقایسـه با قدرت یک ماده منفجره به عنوان مبنا و بصورت درصد، نسبت به آن ماده مبنا نشان داد که انـدیس قـدرت (Power Index) نامیده می شود.

در اینجا ابتدا حجم گازهای حاصله و انرژی آزاد شده از انفجار مواد منفجره معمـول در معـادن محاسـبه می شود. سپس به کمک آنها اندیس قدرت هر کدام از این مواد منفجـره نسـبت بـه آنفـو کـه در معـدنکاری مصرف وسیعی دارد، ارائه می شود و عدم وابستگی قدرت و اندیس قـدرت بـه دانسـیته وVOD هـم بصـورت ریاضی و هم ضمن ارائه روابطی بین دو مورد از عوامل طراحـی انفجـار یعنـی انـدیس انفجـار پـذیری سـنگ (Blastability Index) و خرج ویژه استدلال خواهد شد.

الف) قدرت ماده منفجره:

با توجه به لزوم توام در نظر گرفتن q , v برای قضاوت در خصوص قدرت ماده منفجـره کـه دلیـل آن در مقدمه بیان شد قدرت ماده منفجره به صورت زیر تعریف می شود.

$$EP = q \times v \qquad (1)$$

که:

EP- قدرت ماده منفجره (تعریف مجازی)

q- انرژی آزاد شده در اثر انفجار (KJ/g)

v- حجم گازهای آزاد شده در اثر انفجار (Lit/g)

ب) اندیس قدرت:

این اندیس به صورت درصد حاصل تقسیم قدرت هر ماده منفجره به قدرت ماده منفجره مبنا، نشـان داده میشود.

$$PI = \frac{q \times v}{q_{\text{Basic Explosive}} \times V_{\text{Basic Explosive}}} \times 100 \qquad (2)$$

که:

PI- اندیس قدرت (بدون واحد).

q- انرژی آزاد شده در اثر انفجار ماده منفجره مورد بررسی (KJ/g).

v- حجم گازهای آزاد شده در اثر انفجار ماده منفجره مورد بررسی (Lit/g).

$q_{\text{Basic Explosiv}}$ - انرژی آزاد شده در اثر انفجار ماده منفجره مبنا (KJ/g).

$V_{\text{Basic Explosive}}$ - حجم گازهای آزاد شده در اثر انفجار ماده منفجره مبنا (Lit/g).

ج) محاسبه حجم گاز حاصله و انرژی آزاد شده:

به منظور محاسبه قدرت و اندیس قدرت مواد منفجره معمول، حجم گازهای حاصله و انرژی آزاد شده از انفجار واحد جرم آنها در این تحقیق با روشی یکسان محاسبه شده تا برای مقایسه از یکدستی لازم برخوردار باشند. نتایج حاصله در جدول ۱ ارائه شده اند.

جدول ۱- حجم گاز و انرژی حاصل از انفجار مواد منفجره معمول.

ماده منفجره	واکنش انفجاری	Q (KJ/mol)	V (Lit/mol)	q (KJ/g)	v (Lit/g)
آنفو	$3\,NH_4NO_3 + CH_2 \rightarrow CO_2 + 3\,N_2 + 7\,H_2O\ (Gas) + Q$	963	246/554	3/79	0/97
آلومینیم – آنفو	$O_3 + CH_2 + 2Al + CO_2 + 13H_2O(Gas) + Al_2O_3\ (Solid) + Q$	2995/71	448/28	5/46	0/82
دوغابی خشک	$21NH_4NO_3 + 2C_6H_2CH_3(NO_2)_3 \rightarrow 47H_2O(Gas) + 14CO_2 + 24N_2 + Q$	9080/87	1905/19	4/255	0/86
دوغابی تر	$O_3 + 2C_6H_2CH_3(NO_2)_3 + 20H_2O(Liquid) O(Gas) + 14CO_2 + 24N_2 + Q$	8202/07	2353/47	3/29	0/94
باروت	$KNO_3 + 8C + 3S \; 3K_2SO_4(solid) + 2K_2CO_3(solid) + 6CO_2 + 5N_2 + Q$	4037/16	246/554	3/35	0/202
نیتروگلیسیرین	$4\,C_3H_5(NO_3)_3 \rightarrow 12CO_2 + 10H_2O + 6N_2 + O_2 + Q$	5760/20	650	6/34	0/716
تی ان تی	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3 \rightarrow 7CO + 7C(solid) + 5\,H_2O(Gas) + 3\,N_2 + Q$	1844/76	336/21	4/06	0/740

همچنین به منظور دخیل نمودن داده های حاصل از مواد منفجره صنعتی در روند مقایسه، پنج نوع دوغابی و پنج نوع امولسیون صنعتی نیز مورد بررسی قرار می گیرند. موادی که در ترکیب غالب این گونه دوغابی ها نقش دارند، نیترات آمونیم، نیترات سدیم، آب، غلیظ کننده، اتلین گلیکول، سوخت، گوگرد، گلیسونایت، آلومینیم، و روان کننده خشک می باشد. همچنین برای این امولسیون ها معمولا از نیترات آمونیم، نیترات سدیم، آب، امولسیون ساز، روغن، بالن های میکرونی، و آلومینیم استفاده می شود.

برای محاسبه حجم گازهای حاصله و انرژی آزاد شده از انفجار واحد جرم این دوغابی ها و امولسیون ها که فرمولاسیون پیچیده ای دارند نمیتوان از روشهای تئوریک سود جست. بنابراین مطابق نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی [2] حجم گازهای حاصله و انرژی آزاد شده از انفجار واحد جرم این مواد در جدول ۲ درج میگردد.

جدول ۲- حجم گاز و انرژی حاصل از انفجار مواد منفجره صنعتی.

v (Lit/g)	q (KJ/g)	ماده منفجره
1/01	2/85	دوغابی نوع 1
0/99	3/20	دوغابی نوع 2
0/94	3/47	دوغابی نوع 3
0/90	3/93	دوغابی نوع 4
0/83	4/79	دوغابی نوع 5
0/96	3/02	امولسیون نوع 1
0/93	3/28	امولسیون نوع 2
0/91	3/54	امولسیون نوع 3
0/86	4/05	امولسیون نوع 4
0/78	4/90	امولسیون نوع 5

د) محاسبه قدرت و اندیس قدرت:

با توجه به اعداد ارائه شده طی جدول 1 و جدول 2 در خصوص انرژی آزاد شده از انفجار هر گرم ماده منفجره(q) وحجم گازهای حاصل از هر گرم ماده منفجره(v)، ذیلاً طی جدول (۳) قدرت ماده منفجره(EP) و اندیس قدرت ماده منفجره(PI) برای مواد منفجره ای که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند، ارائه می شود. شایان ذکر است که در محاسبه اندیس قدرت(PI)، ماده منفجره مبنا آنفو فرض شده است که علت آن استفاده از آنفو در مقیاسی وسیع برای معدنکاری است.

جدول۳- PI , EP مواد منفجره مورد بررسی که PI آنها بر مبنای آنفو حساب شده است.

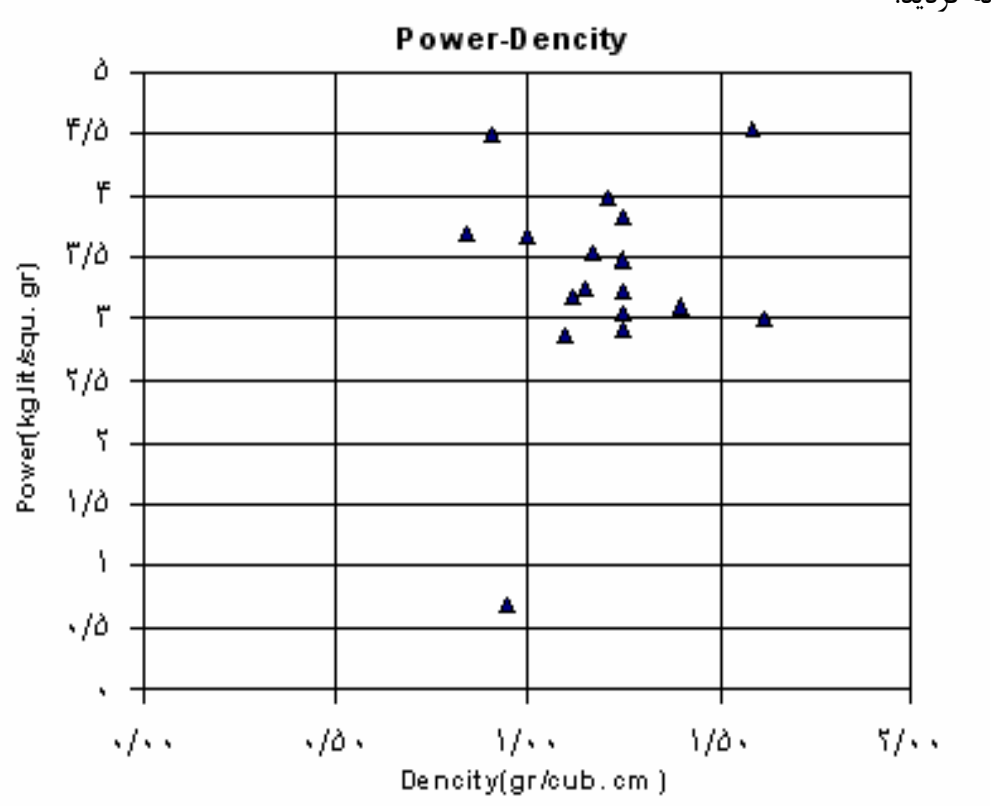
ماده منفجره	d (g/cm^3)	$EP = q \times v$	PI
آنفو	0/84	3/68	1
آلومینیم – آنفو	0/91	4/48	1/2
دوغابی خشک	1/0	3/66	0/99
دوغابی آبدار	1/40	3/10	0/84
باروت	0/95	0/69	0/19
نیتروگلیسیرین	1/59	4/54	1/23
تی ان تی	1/62	3/00	0/81
دوغابی نوع 1	1/10	2/88	0/78
دوغابی نوع 2	1/12	3/17	0/86
دوغابی نوع 3	1/15	3/26	0/89
دوغابی نوع 4	1/17	3/54	0/96
دوغابی نوع 5	1/21	3/98	1/08
امولسیون نوع 1	1/25	2/90	0/79
امولسیون نوع 2	1/25	3/05	0/83
امولسیون نوع 3	1/25	3/22	0/87
امولسیون نوع 4	1/25	3/48	0/95
امولسیون نوع 5	1/25	3/82	1/04

جدول (۳) ارائه کننده نتایج جالبی است. در این جدول مشاهده می شود که ماده منفجره ای مثل آنفوکه دانسیته کم($0/84g/cm^3$) و به تبع آن VOD کمی دارد قدرت واندیس قدرتی بیش از تی ان تی که

ماده منفجره ای با دانسیته بالا($1/62g/cm^3$) و VOD بالااست، دارد. و به همین ترتیب آلومینیم- آنفو با درصد وزنی اجزای مورد نظر در این تحقیق که دانسیته ای در حد($0/91g/cm^3$) را ایجاب می کند، قدرت و اندیس قدرتی نزدیک به نیتروگلسیرین با دانسیته ($1/59g/cm^3$) وVOD بالا که ماده منفجره پایه اغلب دینامیتها است و به عنوان ماده منفجره ای قوی شناخته می شود، دارد. همچنین برای مواد منفجره دوغابی که در این جدول آورده شده اند، دیده می شود که ضمن ثبوت نسبی دانسیته قدرت و اندیس قدرت متفاوت است و برای امولسیون های
آورده شده نیز که دانسیته ثابتی دارند، قدرت و اندیس قدرت متفاوتی دیده می شود.

ه) بررسی ضریب همبستگی داده های قدرت- دانسیته :

اگر داده های قدرت جدول 3 را به عنوان متغیر وابسته بر حسب دانسیته به عنوان متغیر مستقل ترسیم کنیم، نتیجه شکل 1 خواهد بود. از این شکل به نظر می رسد که نمی توان هیچ نموداری با ضریب همبستگی مطلوب به این نقاط برازش نمود و این نتیجه مؤید تفسیری است که در قسمت قبل برای این جدول ارائه گردید.



شکل ۱- ترسیم داده های قدرت در برابر دانسیته.

جهت اثبات این مدعا که هیچ رابطه قابل قبولی بین دانسیته ماده منفجره و قدرت و اندیس قدرت آن وجود ندارد، با استفاده از نرم افزار SPSS تلاش گردید تا مدل ریاضی قابل قبولی از طریق برازش منحنی بر داده های ناشی از ترسیم قدرت بر حسب دانسیته بدست آید. شایان ذکر است که با توجه به حساسیت بسیار زیاد ضریب همبستگی به مقادیر خارج از محدوده عمومی داده ها، ابتدا باروت به عنوان یک داده خارج از محدوده کنار گذاشته شده و سپس سایر داده ها به نرم افزار سپرده شده است. نرم افزار نیز به نوبه خود کوشش نموده تا بعضی داده ها را در جهت دستیابی به ضریب همبستگی بهتر حذف کند یا کم اثر نماید، ولی نتایج حاصله که طی جدول 4 ارائه میشوند از حاکی از ضرایب همبستگی بسیار پایین برای انواع مدلهای برازش شده بر این داده ها است که تایید کننده عدم وجود ارتباط بین قدرت و اندیس قدرت و دانسیته است.

جدول۴- ضریب همبستگی داده های قدرت- دانسیته با در نظر گرفتن مدلهای مختلف برازش منحنی.

مدل برازش شده	Linear	Logarithmic	Inverse	Quadratic	Cubic	Compound	Power	S	Growth	Exponential
ضریب همبستگی	0/076	0/089	0/103	0/107	0/107	0/095	0/108	0/160	0/095	0/095

و) بحث و نتیجه گیری :

از یک طرف مشاهده می شود که مواد منفجره با دانسیته پایینی همچون آنفو و آلومینیم-آنفو که قدرت و اندیس قدرتی در حد مواد منفجره با دانسیته بالا از خود نشان میدهند، در عمل نیز طی انفجارهای معدنی خردایشی مطلوب را سبب می شوند. از طرف دیگر نیز هیچ رابطه ای بین قدرت و اندیس قدرت مواد منفجره با دانسیته و به تبع دانسیته با VOD و POD ملاحظه نمی شود. بنابراین نتیجه گیری می گردد، در طراحی انفجارهای معدنی که در فضای محصورِ چال و با خرج گذاری سیلندری شکل و با هدف خردایش صورت می گیرند، هنگام انتخاب ماده منفجره به تناسب سختی سنگ، ملاکهای دانسیته، VOD و POD برای قضاوت مناسب نمی باشند و بهتر است بر خلاف رویه ای که تاکنون معمول بوده، در طراحی اینگونه انفجارها برای انتخاب ماده منفجره از قدرت یا اندیس قدرت استفاده شود.

برای به کار بستن این نظریه میتوان رابطه موجود بین اندیس انفجار پذیری سنگ و خرج ویژه بر مبنای آنفو - یعنی معادله (۱) - را بر حسب خرج ویژه سایر مواد منفجره به کمک اندیس قدرتی که بر حسب آنفوی خالص به عنوان ماده منفجره مبنا محاسبه شده است، اصلاح (Modify) کرد.

$$SC = 0/004\ BI \qquad (۱)$$

که:

SC –خرج ویژه (Kg ANFO/Tonne of Rock)

BI – اندیس انفجارپذیری سنگ (بدون واحد)

این اصلاح به صورت زیر انجام خواهد شد.

$$SC = (0/004 \div PI_{ANFO})\, BI \qquad (۲)$$

که:

SC- خرج ویژه ماده منفجره مصرفی (Kg /Tonne of Rock)

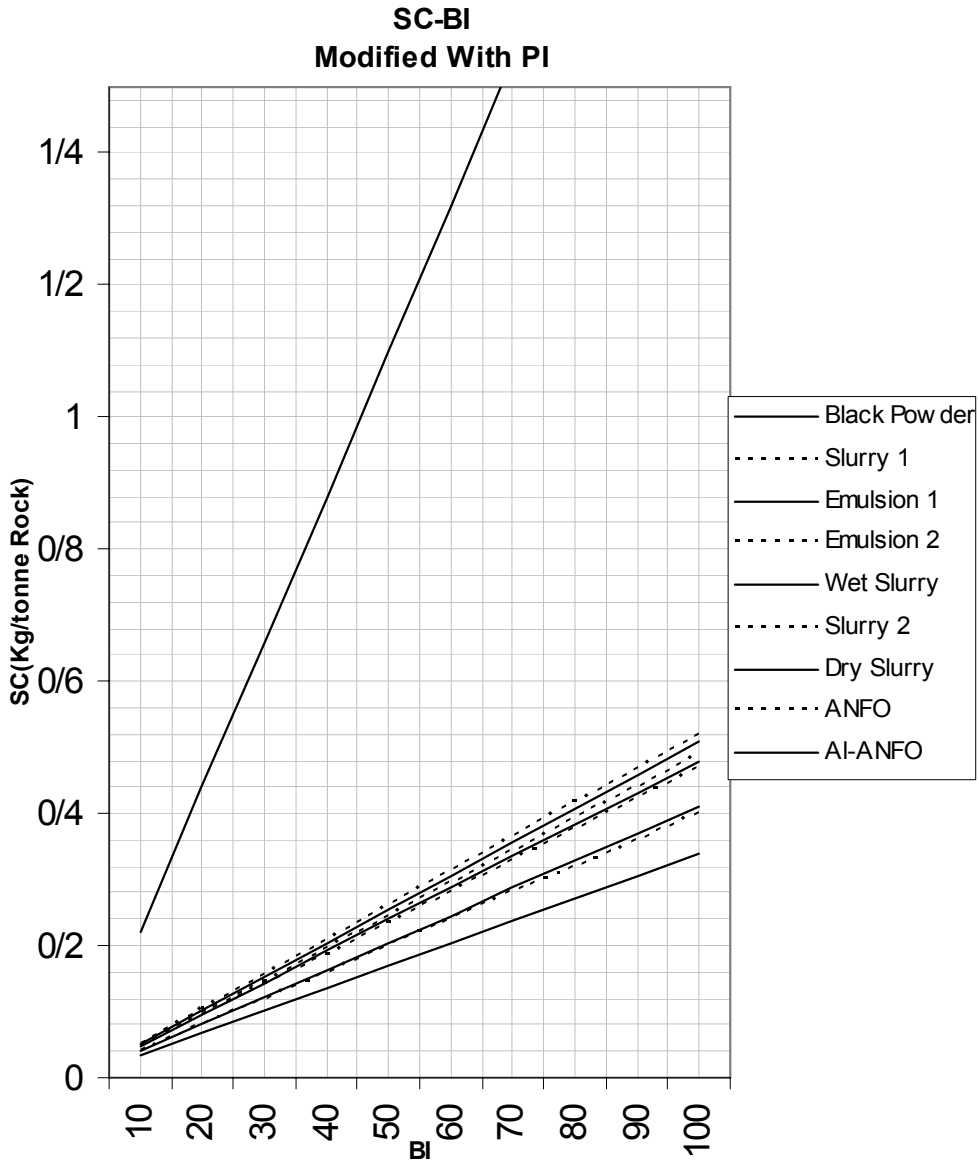
PI_{ANFO} - اندیس قدرت ماده منفجره مورد نظر بر مبنای آنفو (بدون واحد)

شایان ذکر است که تاکنون روش مرسوم اصلاح این رابطه برای استفاده جهت محاسبه خرج ویژه سایر مواد منفجره، کاربرد نسبت انرژی وزنی(Relative Weight Strength) ماده منفجره مورد نظر به آنفوی خالص به عنوان ضریب تصحیح بوده است که این نسبت به نوبه خود تابع نسبت VOD ماده مورد نظر به VOD آنفو میباشد. در اینجا ضمن اصلاح رابطه (1) به کمک اندیس قدرت، روابط بدست آمده با روابط اصلاح شده توسط RWS مقایسه می گردند تا برتری اندیس قدرت و صحت عملکرد آن از این طریق نیز استدلال گردد. روابط اصلاح شده بوسیله PI و روابط اصلاح شده بوسیله RWS در جدول 5 ملاحظه می گردند.

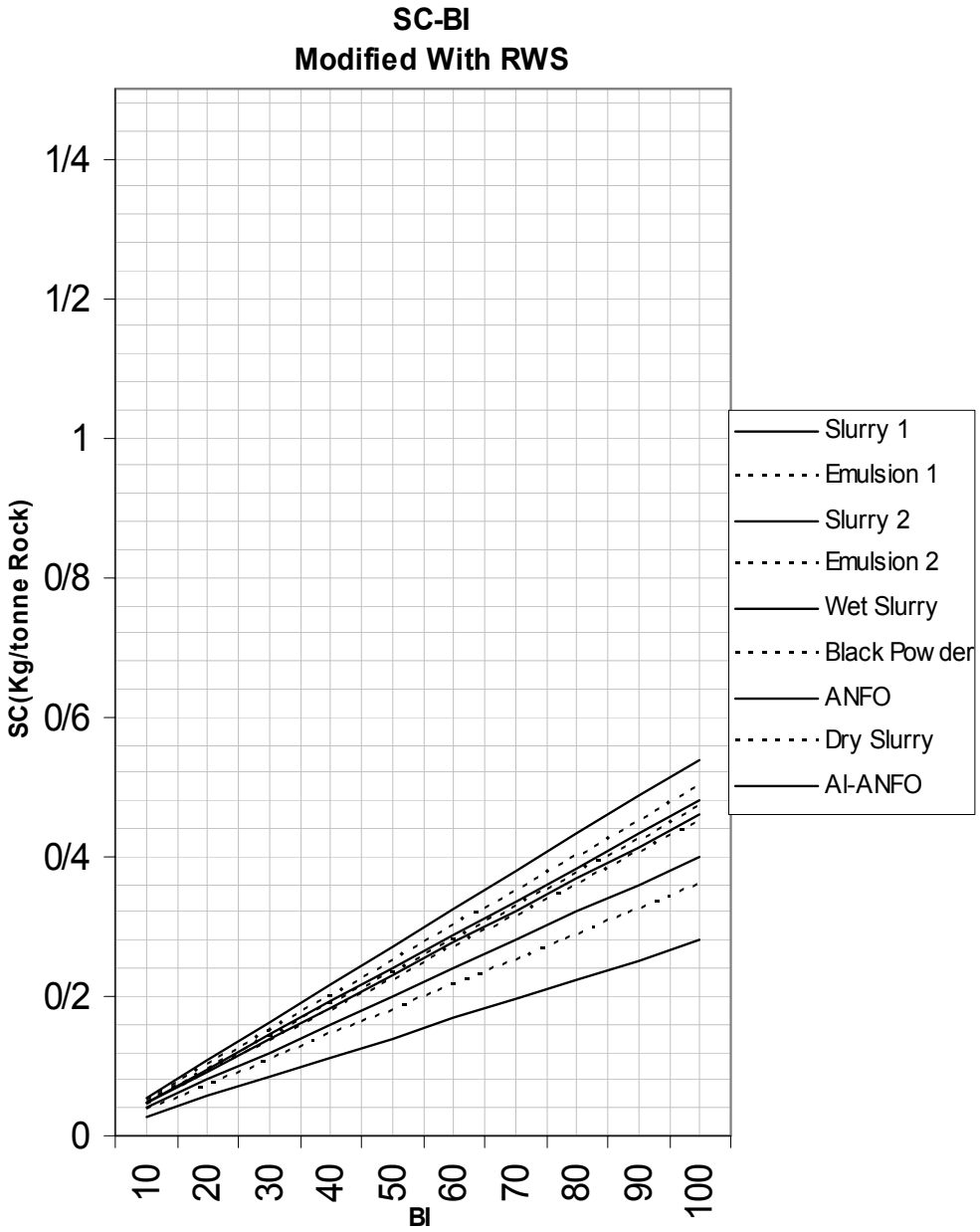
جدول ۵- روابط محاسبه خرج ویژه برای مواد منفجره مختلف بر حسب شاخص انفجارپذیری سنگ.

رابطه ماده منفجره	اصلاح شده با PI	اصلاح شده با RWS
آلومینیم- آنفو	SC =0/0034 BI	SC =0/0028 BI
دوغابی خشک	SC =0/0041 BI	SC =0/0036 BI
دوغابی تر	SC =0/0048 BI	SC =0/0046 BI
دوغابی 1	SC =0/0052 BI	SC =0/0054 BI
دوغابی 2	SC =0/0047 BI	SC =0/0048 BI
امولسیون 1	SC =0/0051 BI	SC =0/0050 BI
امولسیون 2	SC =0/0049 BI	SC =0/0047 BI
باروت	SC =0/022 BI	SC =0/0045 BI

در جدول فوق بین تمامی روابطی که بوسیله PI اصلاح شده اند با تمامی روابط اصلاح شده بوسیله RWS تفاوتی مشاهده می شود. اما این روابط خاص محاسبه خرج ویژه باروت هستند که ضعف RWS و قوت PI را در روند اصلاح روابط به منظور محاسبه خرج ویژه آشکار می کنند. این موضوع به خوبی از طریق مقایسه شکل ۲ و شکل ۳ که از ترسیم روابط جدول ۵ بدست آمده اند آشکار می گردد.



شکل ۲ – خرج ویژه بر حسب اندیس انفجار پذیری سنگ (اصلاح شده با PI).



شکل ۳– خرج ویژه بر حسب اندیس انفجار پذیری سنگ (اصلاح شده با RWS).

با ملاحظه شکلهای 2 و 3، جابجایی بزرگی در نمودار باروت مشاهده می شود. علت آن داشتن محصولات انفجاری غیر گازی شکل است که سبب کاهش PI باروت میگردد و چنانچه انتظار میرفت نمودار رابطه (SC – BI) باروت که از اصلاح رابطه (SC – BI) آنفو بوسیله PI بدست آمده است، بخوبی از سایر نمودارها جدا شده است. در صورتیکه نمودار رابطه (SC – BI) باروت که از اصلاح بوسیله RWS حاصل شده است کماکان در محدوده عمومی سایر نمودارها قرار دارد و عملا خرج ویژه نادرستی را برای باروت نشان می دهد و اجرای آن خردایش مطلوبی در پی نخواهد داشت. خرج ویژه ای که از طریق نمودار حاصل از رابطه اصلاح شده بوسیله PI در شکل 2 برای باروت ملاحظه می شود نیز در عمل به علت نیاز به حفاری ویژه (Specific Drilling) زیاد قابل اجرا نمی باشد که این امر خود مبین صحت این نمودار است و درست به همین علت است که امروزه باروت ماده منفجره ای با استفاده محدود تلقی می شود .

علاوه بر مسایل خاص باروت که از آنها در استدلال جهت اثبات صحت عملکرد PI در اصلاح رابطه (SC – BI) آنفو برای سایر مواد منفجره استفاده گردید، ملاحظه می شود که سایر نمودارها نیز جابجایی نشان می دهند. هر چند ظاهرا این جابجایی ها از نظرعددی کوچک می باشند، حاصلضرب آنها درتناژ سنگ سایت انفجاری در پروسه طراحی عددی با معنی خواهد بود .

مراجع:

[۱] Akhavan, Jacqueline, (۱۹۹۸), "*The Chemistry of Explosives*", Royal Society of Chemistry, Cambridge.

[۲] Sudweeks, W.B., (۱۹۸۵), "*Physical and chemical properties of industrial slurry explosives*", I&EC Product Research and Development Vol.۱۲۴, pp ۴۳۲-۴۳۶.