



SÜLFÜRLÜ CEVHER STOKLARININ İSTATİSTİKSEL OLARAK İNCELENMESİ

¹A. Hadi ÖZDENİZ

¹Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya, Türkiye

¹hozdeniz@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 17.03.2015; Kabul/Accepted in Revised Form: 26.03.2015)

ÖZET: Büyük miktarlarda cevher kullanan işletmeler, üretim aksamalarından kaynaklanan problemlerden etkilenmemek için stok yaparak üretim yapmak zorundadırlar. Yapılan bu stoklarda oluşabilecek kendiliğinden yanma nedeniyle önemli derecede güvenlik, ekonomik ve çevresel problemler meydana getirmektedir. Bu çalışma Canada/Sudbury’de büyük miktarlarda sülfürlü cevher üreten bir işletmenin stok sahasında yapılmıştır. İşletmenin stok sahasında; sırasıyla eni, boyu ve yüksekliği 6.0x9.0x3.0 m olan bir stok oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yığın için iç bölgelerine 6 adet sıcaklık sensörü yerleştirilerek yığın içi sıcaklık verileri toplanmıştır. Aynı zamanda da cevher yığınları üzerinde etkili olan parametrelerden hava sıcaklığı, havanın nemi, atmosfer basıncı, rüzgâr hızı gibi değerler sürekli olarak eşzamanlı ölçülmüştür. Cevher yığından alınan değerlere çoklu regresyon analizleri yapılarak, bir istatistiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen istatistiksel modelden elde edilen korelasyon katsayıları değerleri yaklaşık % 65.3 seviyelerinde olduğu ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sülfürlü cevher, kendiliğinden yanma

Statistical Modelling of Industrial Dimensional Of Sulphide Ores Stock

ABSTRACT: Enterprises producing/consuming high amounts of ore are obliged to work in stocks to be affected by problems arising from production disruptions. Made of industrial-scale due to self-heating may occur in the stock, economic, security operation and environmental problems. In this study, Canada / Sudbury in producing large quantities of sulphide ore and the production of surplus stock of a company in the field of storing ore inventory was carried out in the field. The company's stock area; respectively at an ore pile of 6.0x9.0x3.0 m width, length and height is formed. Temperature inside the stockpile created by placing the stock in the interior of the 6 temperature sensor data is collected. At the same time the ore pile on the influential parameters such as temperature, air humidity, atmospheric pressure and wind speed is continuously measured values at the same time. The values obtained from the stock multiple regression analysis was applied and we developed a statistical model. Improved correlation coefficients obtained from statistical models have been measured to be approximately 65.3% level.

Key Words: Wind Sulphide ores, spontaneous combustion

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Pirotit, sfalerit, kalkopirit, kömür gibi bazı cevherler doğası gereği, atmosfer ile teması sırasında havadan oksijen alarak, kimyasal mekanizmalarla devam eden ve aynı zamanda ortama ısı verme eğiliminde olan cevherlerdir. Ekzotermik bir reaksiyon olan bu olay sonucu üretilen ısının, çevreye olan kayıp ısıdan fazla olması durumunda, stok içerisinde sıcaklık yükselmeleri meydana gelmektedir. Eğer

ortam şartları gerçekleşirse kükürtlü cevherlerinde kendiliğinden yanma oluştuğu görülmüştür. Bu olay özellikle cevherin nakliyesi esnasında önemli problemler oluşturmaktadırlar (Kirshenbaum, 1968). Kükürtlü mineral konsantrelerinde kendinden yanma olayı, organik cevher olan kömürle aynı şekildedir. Kömürün bünyesindeki organik bileşenler havayla temas ederek reaksiyona girdiği gibi, kükürtlü mineraller de havadaki nem, basınç ve cevher tane boyutuna bağlı olarak oksijenle reaksiyona girerek devam eden ısı artışı, kritik bir sıcaklık değerinden sonra kendiliğinden yanmaya dönüşür ve kontrolden çıkarak çevresel ve ekonomik zararlar meydana getirebilir (Farnsworth, 1977; Good, 1977). Ayrıca yapılan çalışmalarda hava kalitesinde problemler oluşturduğu görülmektedir (Brown and Miller, 1977).

Cevher içerisindeki elementel sülfür, demir-sülfat ve pirotit arasındaki reaksiyondan veya demiroksit ve sülfürik asit arasındaki reaksiyonların bir sonucudur. Hidratasyonun ısı ve suyla çözünebilen demir sülfat gibi demir türlerinin hidrolizi, 100 C° nin üstündeki sıcaklıklarda olduğu öne sürülmektedir (Rosenblum and Spira, 1995). Ayrıca Rosenblum ve Spira (1993) nin yaptığı bir çalışmada, kendiliğinden ısınmanın oda sıcaklığında arttığını gözlemlemiştir. 40-50 ve 70 C° lerde yapılan deneylerin sonunda ölçülen ağırlık kazanımının sülfür içeriği ile orantılı olduğunu göstermiştir (Somot and Finch, 2010).

Sudbury metalik cevherleri üzerinde laboratuvar ölçekli birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, doğrudan endüstriyel boyutlu yığınlar üzerinde ayrıntılı çalışmalar hemen hemen hiç yapılmamıştır. Endüstriyel ölçekli çalışmaların çok uzun süre gerektirmesi ve pahalı olması nedeniyle sayıları oldukça kısıtlıdır (Ozdeniz, 2003, Fierro ve diğ., 2001). Yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalar, gram mertebelerinde cevher örnekleri üzerinde gerçekleştirilmekte ve sınırlı sayıdaki parametrelerin olay üzerindeki etkisi, yalnızca deney şartlarında geçerli olmak üzere incelenebilmektedir. Bu nedenle laboratuvar ölçekli deneysel çalışmaların bir bütün olarak incelenmesi güç olduğu gibi, elde edilen sonuçların pratiğe uyarlanması da oldukça zor olmaktadır (Sensogut and Ozdeniz, 2005; Ozdeniz, 2009; Ozdeniz, 2010). Bu çalışmada, endüstriyel boyutlu sülfürlü cevher stokları üzerinde, hava şartları etkisinde yığın iç sıcaklıkları ölçülerek, elde edilen bu değerler ile istatistiksel bir model geliştirilmeye çalışılmıştır.

DENEY SİSTEMİ VE DENEYİN YAPILIŞI (TEST SYSTEM AND EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Deneyle ilgili stok, Canada/Sudbury deki bir işletmenin cevher stok sahasında oluşturulan ve yeraltı ocağından çıkarılıp herhangi bir işleme tabii tutulmamış -450 mm boyutlarındaki cevherlerdir. Oluşturulan cevher yığınının uzunluğu 9.0 m, eni 6.0 m, yüksekliği 3.0 m dir. Yaklaşık olarak üçgen prizma şeklinde oluşturulan yığının genel görünüşü Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Stoğunun görünüşü. View from the stockpile formed.

Yığının içerisine önceden belirlenmiş noktalara, sıcaklık değerlerini hassas şekilde algılayabilecek, 6 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Bu sensörler yığında, yerden 0,75 m yüksekliğe T1, T2 ve T3 nolu sensörler olmak üzere 3 adet, yerden 1,50 m'deki yüksekliğe ise T4, T5 ve T6 nolu olmak üzere toplam 3 adet sensörler yerleştirilmiştir. Bu 6 adet sensör yığın kenarına yerleştirilen datalogger a bağlanmıştır.

Yığında toplamda 4850 saatlik veri alınmıştır. Yığından her saat başında değer alınmıştır. 6 adet sensöre ait her bir saatte alınan verilerin toplamı 29100 adettir. Ayrıca bu süre içinde yığın üzerinde etkili olan atmosferle ilgili parametrelerden hava sıcaklığı, havanın nemi, gökyüzünün durumu, çığ noktası, atmosfer basıncı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bulut görünebilirliği ve nesne görünebilirlik değerleri olmak üzere toplam 9 adet parametre devamlı olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu verilerin toplamı ise 43650 adettir. Genel toplamda ise 72750 adet veri alınmıştır. Yığından alınan numunelerin kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmektedir.

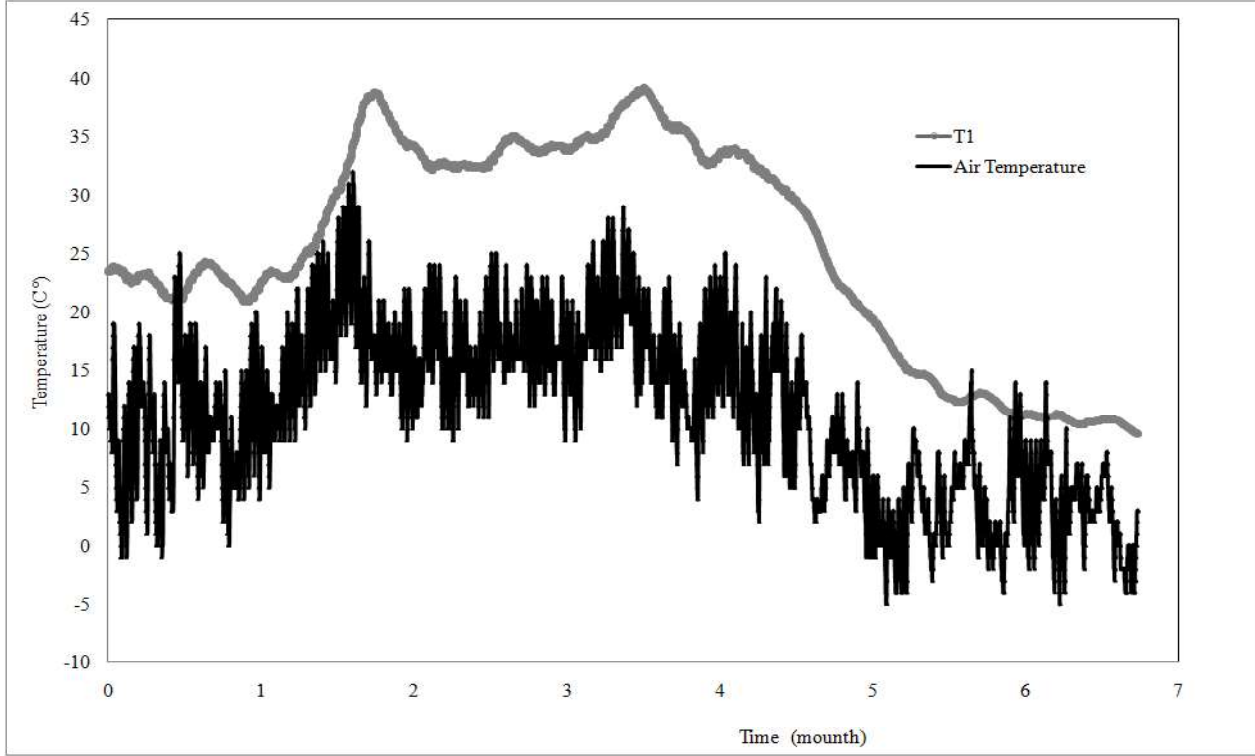
Çizelge 1. Numunelere ait kimyasal analizler (Chemical analysis of samples)

Elek aralığı (μm)	Fe (%)	Cu (%)	Ni (%)	S (%)
13200	0,11	0,45	0,21	4,60
13200x9500	0,11	0,36	0,23	4,63
9500x6700	0,12	0,43	0,32	5,40
6700x3360	0,13	0,36	0,29	6,10
3360x2380	0,13	0,42	0,26	5,90
2380x1700	0,13	0,40	0,31	6,56
1700x1180	0,15	0,46	0,36	8,34
1180x850	0,18	0,54	0,44	10,40
850x600	0,20	0,57	0,45	10,90
600x425	0,22	0,65	0,56	12,80
425x212	0,25	0,79	0,70	14,40
212x150	0,27	0,82	0,66	15,10
150x105	0,25	0,84	1,08	15,10
105x75	0,25	0,84	0,96	14,60
75	0,23	0,94	0,91	13,30

ALINAN VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF DATA RECEIVED)

Yığın içerisinde sıcaklık değerlerini ölçmek için Pt100 sensörleri kullanılmıştır. İstasyon noktalarına ait ilk 24 saatlik değerleri gösteren veriler Çizelge 2’de verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, deneye başlangıç yığın içi sıcaklık değerleri 22–25 °C lerden havaların yavaş yavaş ısınmaya başlamasıyla geçen 52 günlük sürede 40°C ye ulaşmıştır. Daha sonra havaların biraz serinlemesiyle 33-35 °C lere düştüğü gözlenmiştir. 103 günlere doğru havalar yeniden ısınmasıyla yığın içi sıcaklık değerleri 40 °C lere yükselmiştir. Daha sonra havaların yavaş bir şekilde giderek soğumasıyla yığın içi sıcaklıklarda düşmeye devam etmiştir. Hem alt tabakadaki T1, T2 ve T3 sensörlerinin hem de üst tabakada bulunan T4, T5 ve T6 istasyon noktalarının hepsinde sıcaklık değerleri paralel seyretmiştir. Yığın içinden elde edilen sıcaklık değerleri ile hava sıcaklık değerleri arasında yakın ilişkinin olduğu ve havanın ısınma ve soğuma dönemleri ile bire bir paralellik gösterdiği Şekil 2 de görülmektedir.

Tarih ve saat	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	Hava sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Gökyüzü	Çiğ noktası (°C)	Basınç (kpa)	Rüzgar hızı (km/h)	Rüzgar yönü	Nesne görünebilirlik (ft)	Bulut görünebilirlik (km)
2009-05-07 15:46:12	23,63	21,48	22,38	22,93	22,82	21,96	13	94	hafif yağmur	12	100,51	18	S	sınırsız	24,0
2009-05-07 16:46:12	23,48	21,63	22,68	23,23	23,16	22,11	12	97	hafif yağmur	12	100,52	22	S	sınırsız	24,0
2009-05-07 17:46:12	23,42	21,76	22,84	23,4	23,23	22,16	11	100	hafif yağmur	11	100,54	22	S	sınırsız	24,0
2009-05-07 18:46:12	23,4	21,86	22,91	23,51	23,28	22,18	11	100	hafif yağmur	11	100,45	21	S	sınırsız	24,0
2009-05-07 19:46:12	23,39	21,96	22,98	23,58	23,34	22,18	11	100	hafif yağmur	11	100,42	17	SSW	sınırsız	24,0
2009-05-07 20:46:12	23,4	22,06	23,05	23,63	23,37	22,17	10	100	sisli	10	100,48	9	SSW	sınırsız	24,0
2009-05-07 21:46:12	23,42	22,13	23,1	23,65	23,39	22,18	10	100	hafif yağmur	10	100,55	9	SW	sınırsız	24,0
2009-05-07 22:46:12	23,44	22,21	23,1	23,68	23,42	22,14	10	100	sisli	10	100,54	4	WSW	sınırsız	24,0
2009-05-07 23:46:12	23,45	22,25	23,14	23,69	23,43	22,11	10	100	sisli	10	100,57	5	SW	sınırsız	24,0
2009-05-08 00:46:12	23,45	22,29	23,19	23,69	23,42	22,05	10	100	sisli	10	100,56	8	WSW	sınırsız	24,0
2009-05-08 01:46:12	23,48	22,35	23,16	23,7	23,44	22,02	10	100	sisli	10	100,57	8	SW	sınırsız	24,0
2009-05-08 02:46:12	23,49	22,38	23,2	23,75	23,44	21,97	10	100	sisli	10	100,58	9	SSW	sınırsız	24,0
2009-05-08 03:46:12	23,51	22,42	23,18	23,74	23,42	21,91	9	100	sisli	9	100,59	8	SW	sınırsız	24,0
2009-05-08 04:46:12	23,53	22,45	23,19	23,73	23,45	21,84	9	100	sisli	9	100,57	13	SW	sınırsız	24,0
2009-05-08 05:46:12	23,54	22,48	23,16	23,71	23,45	21,78	9	100	sisli	9	100,59	-	-	sınırsız	24,0
2009-05-08 06:46:12	23,55	22,51	23,14	23,7	23,45	21,73	9	100	sisli	9	100,58	5	SSW	sınırsız	24,0
2009-05-08 07:46:12	23,57	22,54	23,15	23,69	23,48	21,67	8	100	sisli	8	100,6	-	-	sınırsız	24,0
2009-05-08 08:46:12	23,6	22,57	23,17	23,68	23,52	21,64	9	100	sisli	9	100,61	-	-	sınırsız	24,0
2009-05-08 09:46:12	23,66	22,64	23,18	23,69	23,52	21,62	11	96	sisli	10	100,62	5	WSW	sınırsız	24,0
2009-05-08 10:46:12	23,77	22,74	23,23	23,76	23,59	21,66	13	77	sisli	9	100,59	8	S	sınırsız	24,0
2009-05-08 11:46:12	23,83	22,81	23,2	23,77	23,62	21,61	16	65	sisli	10	100,58	21	S	sınırsız	24,0
2009-05-08 12:46:12	23,89	22,88	23,24	23,75	23,67	21,6	17	60	sisli	9	100,56	18	SSW	sınırsız	24,0
2009-05-08 13:46:12	23,91	22,87	23,24	23,72	23,68	21,6	18	59	sisli	10	100,52	22	S	sınırsız	24,0
2009-05-08 14:46:12	23,93	22,92	23,21	23,72	23,77	21,71	19	49	sisli	8	100,41	20	SW	23000	24,0



Şekil 2. T1 e ait zaman-sıcaklık grafiği (Time-temperature graphic of T1)

ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİ (MULTIPLE LINEAR REGRESSION ANALYSIS)

Araziden elde edilen filtrelenmiş saatlik değerlere, çoklu doğrusal regresyon analizleri uygulanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, yığın içinde bulunan sıcaklık sensörlerine etki eden 9 adet parametre ile arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla regresyon analizleri yapılmıştır. Öncelikle T1 istasyon noktasının bağımlı ve diğer değişkenlerin bağımsız değişkenler olduğu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Bu modelin belirleyicilik katsayısı olarak R2 % 65.3 elde edilmiştir. Daha sonra bu modelin geçerliliğini sınamak için ANOVA testi yapılmıştır. Yapılan anova testinin sonucuna göre regresyon modelinin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 3). Regresyon modelinden elde edilen katsayılara bakıldığında, bulut görünebilirliği değişkeni ile nesne görünebilirliği değişkenleri hariç, tüm değişkenlerin modele önemli ölçüde katkısının olduğu görülmektedir. Bu çoklu doğrusal regresyona ait istatistiksel model (1) de verilmektedir. Ayrıca bu çoklu doğrusal regresyon modeline ait katsayı değerleri Çizelge 4 de gösterilmektedir.

$$T1 = -32.034 + 0.886 * X1 + 0.074 * X2 + 0.364 * X3 + 0.335 * X4 + 0.215 * X5 \\ - 0.092 * X6 + 0.288 * X7 - 0.000005 * X8 + 0.027 * X9$$

X1:Hava sıcaklığı; X2:Nem; X3:Basınç; X4:Gökyüzü; X5:Çiğ noktası; X6:Rüzgâr hızı; X7:Rüzgar yönü; X8:Nesne görünebilirlik; X9:Bulut görünebilirlik.

Çizelge 3. T1 e ait Anova test sonuçları (Anova test results of T1)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	263512,3	9	29279,149	1001,098	0,000 ^a
Residual	140327,2	4798	29,247		
Total	403839,6	4807			

Çizelge 4. Çoklu doğrusal regresyon modelinin katsayı değerleri (Multiple linear regression coefficient values)

Parameter	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
İçerik	-32,034	12,256		-2,614	0,009
Hava sıcaklığı (X1)	0,886	0,044	0,709	20,136	0,000
Nem (X2)	0,074	0,011	0,159	6,864	0,000
Basınç (X3)	0,364	0,119	0,031	3,049	0,002
Gökyüzü (X4)	0,335	0,033	0,096	10,266	0,000
Çiğ noktası (X5)	0,215	0,044	0,166	4,895	0,000
Rüzgar hızı (X6)	-0,092	0,012	-0,069	-7,579	0,000
Rüzgar yönü (X7)	0,288	0,035	0,072	8,138	0,000
Nesne görünebilirlik (X8)	-5,5E-006	0,000	-0,007	-0,646	0,518
Buluk görünebilirlik (X9)	0,027	0,014	0,018	1,892	0,059

SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma Canada/Sudbury de sülfürlü cevher üzerine üretim yapan bir işletmenin cevher stok sahasında oluşturulan bir cevher yığını üzerinde yapılmıştır. Oluşturulmuş bu yığının içerisine toplam 6 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Bu değerler ölçülürken aynı zamanda atmosfer ilgili olan hava sıcaklığı, hava nemi, gökyüzünün durumu, çiğ noktası, atmosfer basıncı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bulut görünebilirliği ve nesne görünebilirliği parametreleri ölçülmüştür. Daha sonra endüstriyel boyutlu bu cevher yığını üzerinde etkili olan atmosfer havası parametreleri yardımıyla, çoklu regresyon analizleri yapılarak (1) nolu eşitlikteki regresyon bağıntısı bulunmuştur. Elde edilen modelin korelasyon katsayısı değerleri % 65,3 olmuştur. Şekil 5 incelendiğinde hava sıcaklığı değerleri ile yığın iç sıcaklık değerlerinin birbirine paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Hava sıcaklık değeri artarken veya azalırken yığın iç sıcaklık değerleri hava şartlarından doğrusal bir şekilde etkilendiği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tübitak tarafından desteklenmiştir. Ayrıca EXrata madencilik şirketine verdikleri destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Brown, R.L., Miller, F.J.L., 1977. Pollution problems associated with Sullivan Mine hot muck. CIM Bulletin 70 (782), 89–92.
- Farnsworth, D.J.M., 1977. Introduction to and background of sulphide fires in pillar mining at the Sullivan Mine. CIM Bulletin 70 (782), 65–71.
- Fierro, V., Miranda, J. L., Romero, C., Andres, J. M., Arriaga, A., and Schmal, D. 2001. Model predictions and experimental results on self-heating prevention of stockpiled coals, Fuel 80:125–134.
- Good, B.H., 1977. The oxidation of sulphide minerals in the Sullivan Mine. CIM Bulletin 70 (782), 83–88.
- Kirshenbaum, N.W., 1968. Transport and Handling of Sulphide Concentrates: Problems and Possible Improvement, second ed. Technomic Publishing Company, Stamford.
- Ozdeniz, A.H., 2003. Investigation of Spontaneous Combustion Event in Coal Stockpiles- Western Lignite Corporation Case, PhD, Selcuk University, Turkey, p185.
- Ozdeniz, A.H., Statistical modeling of spontaneous combustion in industrial-scale coal stockpiles, Energy Sources: Part A, 31:1368-1375, 2009.
- Ozdeniz, A.H., Determination of Spontaneous Combustion in Industrial-Scale Coal stockpiles, Energy Sources: Part A, 32:7, 665-673, 2010.
- Rosenblum, F., Spira, P., 1993. Evaluation of Hazard From Self-Heating of Sulphide Rocks, February 21, 1993: CIM 11th Underground Operators Conference. Saskatoon, vol. V, pp. 1–30.
- Rosenblum, F., Spira, P., 1995. Evaluation of hazard from self-heating of sulphide rock. CIM Bulletin 88 (989), 44–49.
- Somot S., and Finch J.A., 2010, Possible role of hydrogen sulphide gas in self-heating of pyrrhotite-rich materials, Minerals Engineering, vol 23, pp. 104–110.