



MODELLING OF COAL STOCKYARDS BY THE USE OF FINITE ELEMENT METHODS

A.H. ÖZDENİZ* & C. ŞENSÖĞÜT**

* Selcuk Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Konya hozdeniz@selcuk.edu.tr

** Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Kütahya,
sensogut@dumlupinar.edu.tr

ABSTRACT

Spontaneous combustion is unavoidable when coal stockpiles find suitable environmental conditions. In order to model the phenomenon of spontaneous combustion in these stocks of coal, an industrial sized stockpile with a shape of triangular prism (5x10x3 m) was formed in a coal stockyard of Western Lignite Corporation (WLC). The parameters thought to be effective on the pile such as; time, humidity and temperature of air, atmospheric pressure, velocity and direction of wind were measured in a continuous manner. These values were then transferred into a computer media in order to compare the results of the application for the Finite Elements Method (FEM).

Keywords: Spontaneous combustion of coal, Finite Elements Method

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE KÖMÜR STOKLARININ MODELLENMESİ

ÖZET

Uygun çevre koşulların varlığında kömür stoklarının kendiliğinden yanması kaçınılmaz olmaktadır. Bu tür stoklardaki kendiliğinden yanma olayını modellemek üzere, Garp Linyitleri İşletmesine (GLİ) ait bir stok sahasında boyutlar 5x10x3 m olan endüstriyel boyutlu bir stok hazırlanmıştır. Bu stok üzerinde etkili olacağı düşünülen parametrelerden zaman, hava sıcaklığı, atmosfer basıncı, havanın nemi, rüzgâr hızı ve yönü değerleri ölçülmüştür. Daha sonra yapılan ölçüm sonuçları bilgisayar ortamına aktarılarak, Sonlu Elemanlar Yönteminin (SEY) uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

1. Giriş

Kömürün atmosfer ile teması sırasında havadan oksijen absorbe etmesiyle başlayan ve oksitlenme ile devam eden, ortamda ısı birikimi ile açık alevli yangına kadar dönüşebilen olaya kendiliğinden yanma adı verilir. Kendiliğinden yanma olayı, birçok reaksiyon sonucu üretilen ısı, çeşitli faktörlere bağlı olarak çevreye olan kayıp ısıdan fazla olması durumunda, kömür bünyesinde meydana gelen sıcaklık artışının bir sonucudur. Bu ısı

ortamın sıcaklığını artırarak, oksitlenmeyi daha da hızlandırmaktadır. Kömürlerin kendiliğinden yanmaya olan yatkınlıklarının biliniyor olması, olayın oluşumunun önceden tespiti ve buna göre gerekli önlemlerin alınabilmesi açısından pratik olarak büyük önem taşımaktadır [1-5]

Şimdiye kadar GLİ kömürleri üzerinde yapılan çalışmaların hemen hepsi laboratuvar ölçeğindedir. Laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalar ile kömürlerin kendiliğinden yanma olayının bir bütün olarak incelenmesi hem son derece güçtür hem de elde edilen sonuçların pratiğe uyarlanması oldukça zordur. Bu nedenle, kendiliğinden yanma olayı üzerinde etkin olan parametrelerin büyük çoğunluğunu veya tümünü kapsayan, özellikle kömürün kendiliğinden yanması esnasındaki genel davranışının belirlenmesi amacıyla yönelik, büyük ölçekli (endüstriyel çaplı) çalışmaların önemi büyüktür [6]. Ancak bu tür çalışmaların çok uzun süre gerektirmesi ve pahalı bir yöntem olması nedeniyle yapılan çalışmaların sayısı oldukça kısıtlıdır.

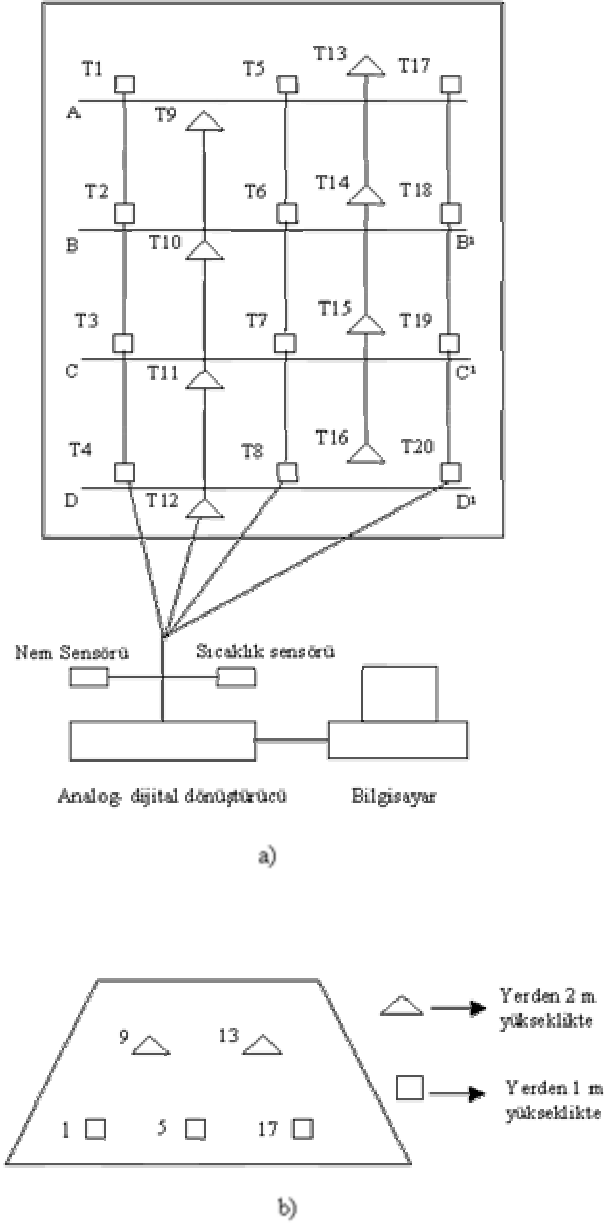
Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen nedenlerden dolayı, stok sahalarındaki kömürün doğal hava şartlarında bekleme sonucu oluşan davranışları incelenmiştir.

2. Deneysel Sistem ve Deneysel Yapısı

Deneysel yapıldığı kömür yığını, GLİ kömür stok sahasında oluşturulmuştur. Üretilen kömürler, Tunçbilek kömür hazırlama tesislerinde zenginleştirilmeye tabii tutulmaktadır. Deneysel yapıldığı kömürler 18 mm ile 50 mm arasındaki zenginleştirilmiş kömürlerdir. Üçgen prizma şeklinde oluşturulan 18/50 kömür yığınının uzunluğu 10 m, eni 5 m, yüksekliği 3 m olup yaklaşık 120 tonluk bir kütleye sahiptir.

Yığının içerisine daha önce belirlenmiş noktalara, ısı farklarını hassas şekilde algılayabilecek şekilde 20 adet ısı sensörleri (Pt100) yerleştirilmiştir. Pt100'lerin yerleşimi Şekil 1'de verilmektedir.

Kendiliğinden yanmanın tespitine yönelik yapılan yığından, 20 farklı noktada ölçümler alınmıştır. Yığından alınan veriler her 5 dakikada bilgisayar ile otomatik olarak yenilenecek, kayıt yapılmış ve veri tabanında depolanmıştır. Her 5 dakikada bir istasyon noktalarından alınan verilerin toplamı 20.637 adettir. 22 istasyon noktası olduğu için 454.014 adet veri bilgisayar yardımıyla alınmıştır. 22 adet istasyon noktasının 20 adeti yığın içindeki sıcaklığı ölçerken, 1 adeti havanın nemini ve diğeri de hava sıcaklığını ölçmekte kullanılmıştır. Bilgisayar ile otomatik olarak bu değerler alınırken ayrıca, manuel olarak her saat başı 3 istasyon noktasından okumalar yapılmıştır. Bu okumalar toplamı 5.157 adettir, okunan ilgili değerler atmosfer basıncı, rüzgar hızı ve rüzgar yönüdür. Genel toplamda ise 459.171 adet veri alınmıştır [7].



Şekil 1. Yığındaki ısı sensörlerinin (Pt100) şematik gösterimi, a) Plan, b) AA' kesit.

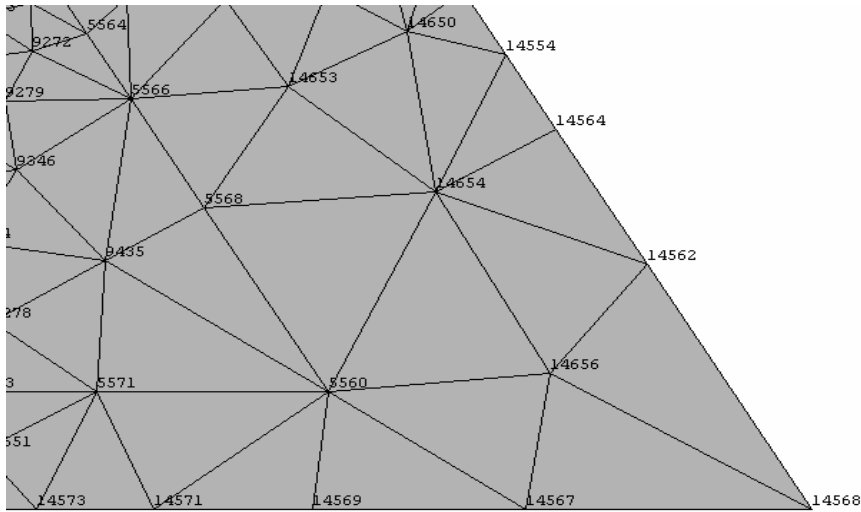
Ölçülen bu ham veriler hareketli ortalama filtre yöntemi ile Excel programında filtelenmiştir. Bu filtrelemenin yapılmasının nedeni, elektrik şebekesindeki gerilim dalgalanmalarının ve istasyon yakınında çalışan büyük makinelerin (greyder, dozer gibi) sistem üzerindeki etkilerini gidermek içindir.

3. Katı Modelleme ve Ağ Üretimi

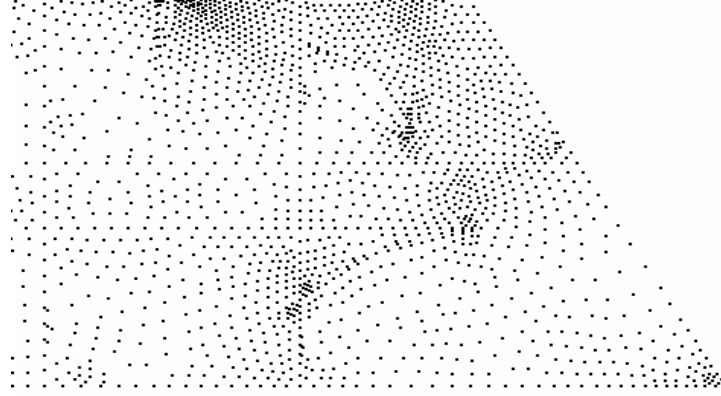
Sistem modellemesi için kullanılan en iyi yöntemlerden birisi de Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)'dir. Sistem modellemesi oluşturulduktan sonra, zaman ve şartlara bağlı olarak sistem davranışı kolaylıkla önceden kestirilebilir. Bu nedenle bu çalışma sırasında SEY kullanılmıştır. Kömür yığınının modellenmesine, ekstenel simetrik tel kafes yapının oluşturulması ile başlanılmıştır. Bu yapı oluşturulurken, ilk önce yığının ham katı modeli elde edilmiştir. Bundan sonra yapılacak işlemler için, bu katı model esas olarak alınmıştır. Elde edilen katı modelin içine hava tanecikleri eklenerek, kömür yığınının gerçek şekline mümkün olduğu kadar yakın bir katı model oluşturulmuştur.

Modeli oluşturulan kömür yığınının boyutları, stok sahasında oluşturulan gerçek yığın boyutları ile (eni 5 m, yüksekliği 3 m) aynı alınmıştır. Gerçek yığın, 18–50 mm boyutunda kömür tanelerinden ve hava boşluklarından oluştuğu için ve iri taneler kenarlarda biraz daha fazlaca toplandığı için aynı durum temel alınarak model içine çok sayıda hava ve kömür taneleri yerleştirilmiştir. Modeldeki bütün kömür tanelerinin şekli, farklı geometrilerde alınmıştır.

Analizi yapılan sistemin ağ oluşumu, serbest ağ yapısı kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan bu modelin eleman sayısı en fazla 26.477 (bu durumu gösteren şekil modelin sağ alt köşesi büyütülerek Şekil 2'de verilmiştir) olup, en fazla düğüm sayısı 53.664 (bu durumu gösteren şekil modelin sağ alt köşesi büyütülerek Şekil 3'de verilmiştir)'tür.



Şekil 2. Modelin eleman sayılarını gösteren kesit [7]



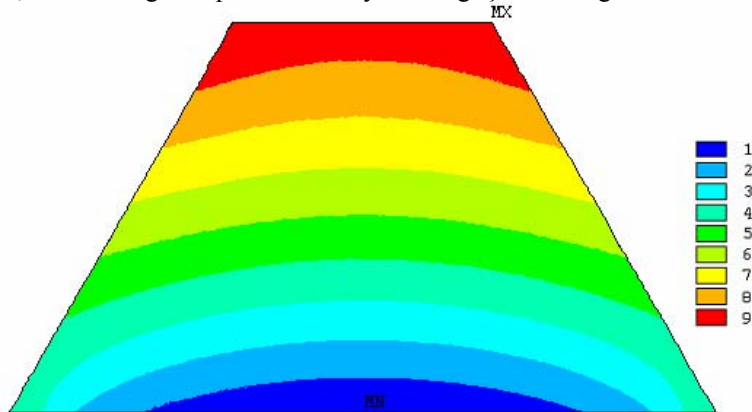
Şekil 3. Modelin düğümlü durumunu gösteren kesit [7]

Modelde oluşturulan hava, çakıllı toprak ve kömür tanelerinin malzeme özellikleri aşağıdaki Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Hava, kömür ve çakıllı toprağın özellikleri [8-9]

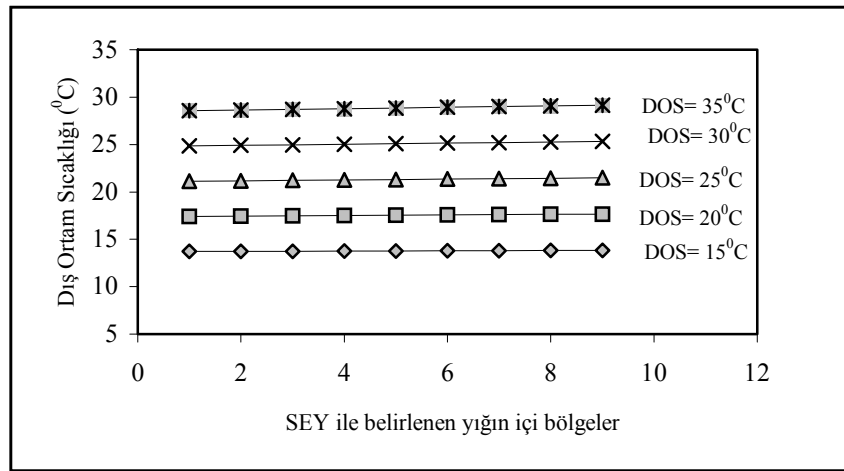
	Hava	Kömür	Çakıllı toprak
ρ =Yoğunluk (kg/m ³)	1,2045	1,60	2,050
Nux=Poisson oranı	0	0,4	0,5
Kxx=Isı iletim katsayısı (W/m ² °C)	0,0257	0,142	1,83
C=Özgül ısı (kJ/kg°C)	0,24	1,50696	1,842

Oluşturulan modelin hava ile temas halinde olan üç yüzeyinin de eşit sıcaklığa maruz kaldığı düşünülerek analiz yapılmıştır. Dış ortam sıcaklıkları (DOS) 15°C’den başlayıp, 35°C’ye kadar, 5’er °C artırılarak çözüm yapılmıştır. Modelde malzeme özellikleri sabit alındığından, sıcaklık dağılımı profillerinin aynı kaldığı Şekil 4 de görülmektedir.

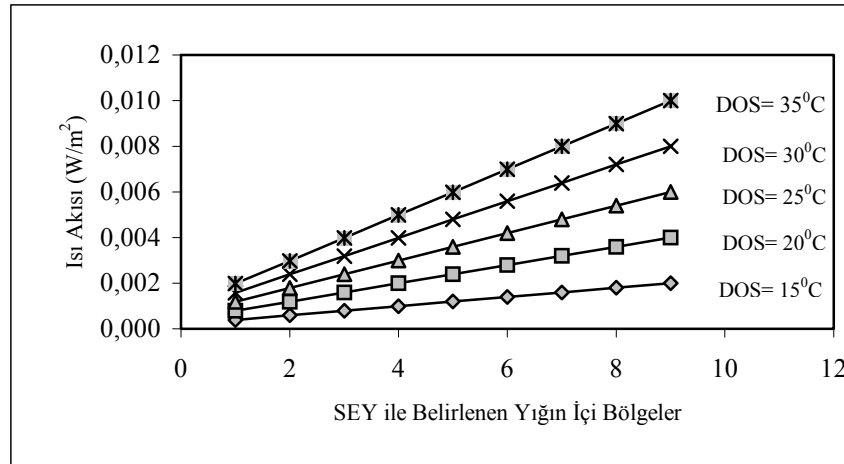


Şekil 4. Dış ortam sıcaklığının sabit olması durumunda modelde oluşan sıcaklık profilleri

Sıcaklık dağılımı, DOS 15°C alındığında en düşük 1. bölgede 13,711°C ve en yüksek olan 9. bölgede 0,015°C'lik artışlarla 13,831°C olarak görülmektedir. DOS 20°C alındığında en düşük 1. bölgede 17,423°C ve en yüksek olan 9. bölgede 0,030°C'lik artışlarla 17,663°C olarak görülmektedir. DOS 25°C alındığında en düşük 1. bölgede 21,134°C ve en yüksek olan 9. bölgede 0,045°C'lik artışlarla 21,494°C olarak görülmektedir. DOS 30°C alındığında en düşük 1. bölgede 24,846°C ve en yüksek olan 9. bölgede 0,060°C'lik artışlarla 25,326°C olarak görülmektedir. DOS 35°C alındığında ise en düşük 1. bölgede 28,557°C ve en yüksek olan 9. bölgede 0,075°C'lik artışlarla 29,157°C olarak görülmektedir. Bu değerleri gösteren grafik Şekil 5'de görülmektedir.



a)



b)

Şekil 5. Sonlu elemanlar metodu ile modelde belirlenen 9 ayrı bölgedeki sıcaklıklara ait,
a) Sıcaklık dağılımı, b) Sıcaklık akışı

Ortam sıcaklıklarının artması veya eksilmesi durumunda yığın içi sıcaklıklar da orantılı olarak artmakta veya azalmaktadır. Gerçek yığın ölçüm verilerinde de kenarlara yakın noktalarda sıcaklıklar yüksek, merkeze doğru yaklaştıkça azalmaktadır. Bu durum modelimize de uygunluk göstermektedir.

4. Ölçümlerin Karşılaştırılması

Sonlu elemanlar metodu ile yardımıyla elde edilen sıcaklık değerleri, yığının zaman içinde ulaştığı son sıcaklık durumunu göstermektedir. Bundan dolayı bu çalışmada geliştirilen matematiksel modelin sınırlarının belirlenmesinde, yığın sıcaklığının ulaştığı son sıcaklık durumları göz önüne alınmıştır.

Bu amaçla kömür yığınının 4 adet kesit çıkarılmıştır. Kesitler arası mesafe 2 m'dir. Kesitler üzerinde veriler, Arazi Ölçümü / Sonlu eleman model formatında hazırlanarak, dış ortam sıcaklığı 15 °C için Çizelge 2'de verilmiştir. DOS 20 °C için Çizelge 3'de, DOS 25 °C için Çizelge 4'de, DOS 30 °C için Çizelge 5'de ve DOS 35 °C için Çizelge 6'da ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 2. DOS 15°C için sıcaklıkların karşılaştırılması

Kesit	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model
		Yükseklik = 1 m			Yükseklik = 2 m	
AA'	1	18,48	17,51	9	20,60	17,60
	5	19,34	17,51	13	18,68	17,60
	17	16,84	17,51			
BB'	2	17,08	17,51	10	22,43	17,60
	6	20,00	17,51	14	21,58	17,60
	18	17,67	17,51			
CC'	3	13,70	17,51	11	23,50	17,60
	7	15,35	17,51	15	21,32	17,60
	19	14,93	17,51			
DD'	4	21,51	17,51	12	24,40	17,60
	8	18,80	17,51	16	20,43	17,60
	20	19,60	17,51			

Çizelge 3. DOS 20 °C için sıcaklıkların karşılaştırılması

Kesit	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model
		Yükseklik = 1 m			Yükseklik = 2 m	
AA'	1	20,13	17,51	9	21,78	17,60
	5	19,45	17,51	13	20,49	17,60
	17	18,17	17,51			
BB'	2	18,73	17,51	10	24,32	17,60
	6	23,42	17,51	14	23,35	17,60
	18	20,34	17,51			
CC'	3	15,46	17,51	11	25,20	17,60
	7	18,00	17,51	15	23,13	17,60
	19	17,05	17,51			
DD'	4	23,34	17,51	12	25,13	17,60
	8	20,23	17,51	16	21,87	17,60
	20	21,83	17,51			

Çizelge 4. DOS 25 °C için sıcaklıkların karşılaştırılması

Kesit	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model
		Yükseklik = 1 m			Yükseklik = 2 m	
AA'	1	21,48	21,31	9	23,13	21,40
	5	21,05	21,31	13	21,73	21,40
	17	19,44	21,31			
BB'	2	20,08	21,31	10	24,93	21,40
	6	23,09	21,31	14	24,62	21,40
	18	20,99	21,31			
CC'	3	16,77	21,31	11	26,19	21,40
	7	18,76	21,31	15	24,13	21,40
	19	18,10	21,31			
DD'	4	24,75	21,31	12	26,40	21,40
	8	21,23	21,31	16	23,08	21,40
	20	22,30	21,31			

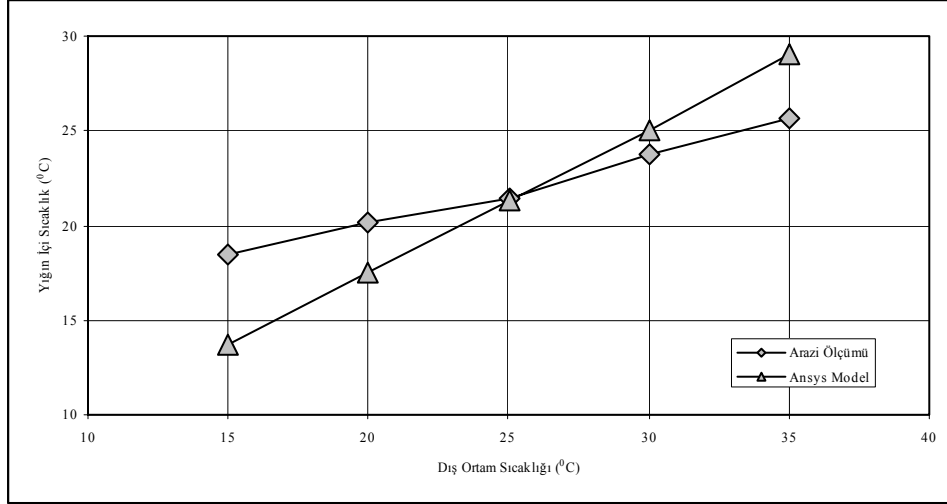
Çizelge 5. DOS 30 °C için sıcaklıkların karşılaştırılması

Kesit	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model
		Yükseklik = 1 m			Yükseklik = 2 m	
AA'	1	23,71	25,02	9	23,77	25,20
	5	19,72	25,02	13	23,53	25,20
	17	21,14	25,02			
BB'	2	22,52	25,02	10	22,12	25,20
	6	23,60	25,02	14	26,30	25,20
	18	22,25	25,02			
CC'	3	18,08	25,02	11	28,42	25,20
	7	19,49	25,02	15	26,00	25,20
	19	19,55	25,02			
DD'	4	26,09	25,02	12	28,02	25,20
	8	20,32	25,02	16	23,98	25,20
	20	23,45	25,02			

Çizelge 6. DOS 35 °C için sıcaklıkların karşılaştırılması

Kesit	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model	İstasyon No	Arazi Ölçümü	Model
		Yükseklik = 1 m			Yükseklik = 2 m	
AA'	1	25,68	29,00	9	24,18	28,78
	5	23,22	29,00	13	25,05	28,78
	17	23,27	29,00			
BB'	2	24,28	29,00	10	25,65	28,78
	6	24,52	29,00	14	27,62	28,78
	18	24,08	29,00			
CC'	3	19,27	29,00	11	28,24	28,78
	7	20,62	29,00	15	27,54	28,78
	19	21,38	29,00			
DD'	4	27,43	29,00	12	28,35	28,78
	8	22,92	29,00	16	26,23	28,78
	20	25,28	29,00			

Yukarıda elde edilen Çizelge 2, 3, 4, 5 ve 6'dan, T1'e ait DOS 15, 20, 25, 30 ve 35 °C için grafiksel analizler yapılmıştır. Bu analizlere ait tipik bir örnek aşağıda Şekil 6 'da verilmektedir.



Şekil 6. T1'e ait DOS-Yıgım içi sıcaklık grafiği.

5. Sonuçlar

Şimdiye kadar Tunçbilek kömürleri üzerinde laboratuvar ölçekli bir çok çalışma yapılmasına rağmen bu stoklardaki kendiliğinden yanma olayları üzerine çok ciddi çalışmalar yapılmamıştır. Yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalar da gram mertebelerinde yapılmakta ve sınırlı sayıdaki parametrelerin olay üzerindeki etkisi yalnızca deney şartlarında geçerli olmak üzere incelenebilmektedir. Laboratuvar ölçekli bu çalışmalar ile kendiliğinden yanma olayını bir bütün olarak incelenmesi mümkün gözükmediği gibi, elde edilen sonuçlarında pratiğe uyarlanması oldukça zor görünmektedir. Bu nedenle, yapılan bu deneysel çalışmaya ait sonuçların da pratiğe uyarlanabilmesi çok önemlidir.

Çizelge 4'den görüldüğü üzere T1 istasyon noktasına ait Arazi ölçüm ve Sonlu eleman model değerleri DOS 25 °C için büyük oranda uygunluk göstermektedir. Diğer istasyon noktaları olan T2, T4, T5, T6, T8, T9, T10, T13, T14, T15, T16, T17, T18 ve T20'de de 25 °C için aynı başarı sergilenmektedir. Ancak bu durum T11 ve T12 istasyon noktalarında 35 °C için, T3, T7 ve T19 istasyon noktalarında ise 15 °C için uygunluk göstermektedir. Yukarıda bahsedilen analizler neticesinde geliştirilen matematiksel modelin DOS 25-30 °C arasında iken lineer sonuçlar türettiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Fierro, V., Miranda, J.L., Romero, C., Andres J.M., Arriaga, A., Schmal, D., and Visser, G.H., 1999a, Prevention of Spontaneous Combustion in Coal Stockpiles. Experimental Results in Coal Storage Yard, Fuel, vol. 59, pp 23-24.
- [2] Fierro, V., Miranda, J.L., Romero, C., Andres J.M., Pierrot, A., Gomez-Landesa, E., Arriaga, A., and Schmal, D., 1999b, Use of Infrared Thermography for the Evaluation of Heat Losess During Coal Storaje, Fuel, Vol. 60, pp 213-229.
- [3] 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, vol. 80, pp 125-134
- [4] Ünver B., ve Özözen, A., 1998, Kömür stoklarında meydana gelen kendiliğinden yanma süreci ile ilgili modeller ve alınması gereken tedbirler, Madencilik Dergisi, vol. 37 no. 3, Eylül, s 29-40.
- [5] Sensogut, C. and Ozdeniz, A.H., 2005, Statistical Modelling of Stockpile Behaviour under Different Atmospheric Conditions – Western Lignite Corporation Case (WLC), FUEL, Vol. 84, pp1858-1863
- [6] Akgün, F., 1994, Kömürlerin kendiliğinden yanmasının teorik ve deneysel incelenmesi, İTÜ, Fen Bilimleri, Doktora Tezi, İstanbul, s 1-142.
- [7] Özdeniz, A.E., 2003, Kömür Stoklarındaki Kendiliğinden Yanma Olayının İncelenmesi- Garp Linyitleri İşletmesi (GLI) Örneği, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s 185, Konya.
- [8] Shartley and Williams, 1965, Elements of Physics, Fourth Ed. Prentices, USDA, Agric. Hand book, No:42, Madison, WI, p 42.
- [9] Kakaç, S., 1998, Örneklerle Isı Transferi, Tıp Teknik Yayıncılık, 12. Baskı, 621.4022.Karsner, G.G., and Pelmutter, D.D., 1981, Reaction Regimed in Coal Oxidation AICHE Journal, vol. 27, pp 920-927.

