



Gerilme Dağılımı Dikkate Alınarak En Uygun Uzun Ayak Çalışma Yüksekliğinin Belirlenmesi

Determination of The Most Suitable Working Height of Longwall Considering Stresses Distribution

Mustafa Emre Yetkin ^{1*} 

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: mustafa.yetkin@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 30.10.2018

DOI:10.21205/deufmd.2019216121

Kabul Tarihi / Accepted: 21.11.2018

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/ How to cite: YETKİN, M.E. (2019). Gerilme Dağılımı Dikkate Alınarak En Uygun Uzun Ayak Çalışma Yüksekliğinin Belirlenmesi. DEUFMD, 21(61), 213-223.

Öz

Kömürün ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri dikkate alındığında uzun ayak madenciliğinde farklı çalışma yükseklikleri ortaya çıkmaktadır. Dünya genelinde artan kömür talebinin karşılanabilmesi için uzun ayaklar 7,3 metreye varan çalışma yüksekliklerine ulaşmıştır. Çalışma yüksekliğinin artması sonucunda, ayak içinin kontrolü zorlaşmakta ve ayrıca ayak kurulum maliyetleride artmaktadır. Bu aşamada, en uygun çalışma yüksekliğinin seçimi önemli hale gelmektedir.

Bu çalışmada, farklı çalışma yüksekliğine sahip 5 adet uzun ayak sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellenmiş ve kömür damarında, ayak üzerinde ve göçükte meydana gelen gerilmeler dikkate alınarak en uygun çalışma yüksekliği belirlenmiştir. Elde edilen gerilme değerlerine göre uzun ayağın en verimli çalışma durumunu 3 metre çalışma yüksekliğinde sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Uzun Ayak, Çalışma Yüksekliği, Gerilme Dağılımı

Abstract

When considering coal and surrounding rocks geomechanical properties, different working heights occur in longwall mining. In order to meet the increasing demand to coal, longwalls having large working heights up to 7.3 meter are being operated worldwide. As the working heights increase, the control of face is getting difficult and also longwall installation cost is increasing. In this stage, selection of the most suitable working height becomes important.

In this study, 5 longwall models operated with different working heights are modelled using finite element software and the most suitable working height is determined considering stresses occurred in coal seam, top of face and in gob. According to obtained stress values, it is seen that longwall provides the most suitable working condition in 3 meter working height.

Keywords: Longwall, Working Height, Stress Distribution

1. Giriş

Gün geçtikçe artan insan nüfusu, sanayileşme ve dolayısıyla enerjiye olan ihtiyaç kömürü daha da önemli bir hammadde haline getirmiştir. Günümüzde, dünyada ve ülkemizde üretilen kömürün bir bölümü yeraltı madenciliğiyle üretilmektedir. Yeraltı kömür madenciliğinde meydana gelen gelişmeler artan kömür talebiyle birlikte hız kazanmış, işletmeler bu talebi karşılamak amacıyla daha fazla kömür üretimini amaçlar hale gelmiştir. Bu amaç doğrultusunda yeraltı mekanize sistemlerin gelişimiyle birlikte daha fazla kömür üretimine olanak sağlayacak olan makina ve ekipmanlar dizayn edilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır.

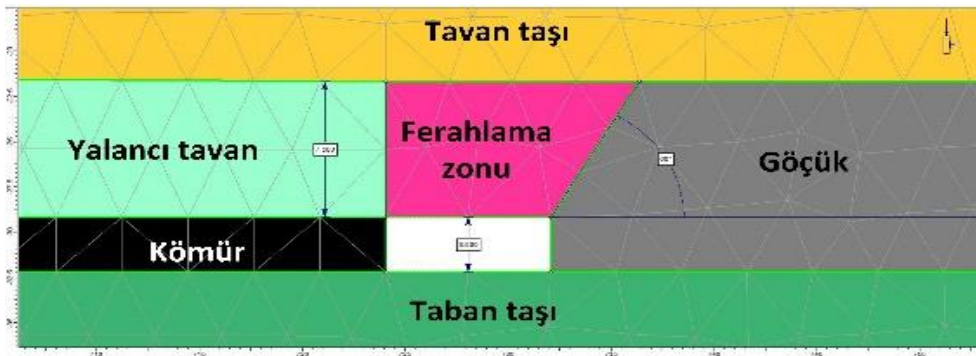
Ayak içinden daha fazla kömür üretimi için akla ilk gelen seçenek çalışma yüksekliğinin artırılmasıdır. Ancak, teorik olarak öne sürülen bu fikir çoğu zaman düzensiz tavan yüklemeleri, ayak içinin güvenliğinin sağlanması, tavan kontrolünün sağlanması ve ek maliyetler gibi nedenlerden dolayı pratikte uygulanması zor hale gelmektedir. Bu nedenle yapılacak olan ön çalışmalar sonucunda bir saha modelinin oluşturulması ve çalışma yüksekliğinin modellerden elde edilen saha verileri dikkate alınarak belirlenmesi zaman ve ekonomik kayıpların önceden önüne geçilmesine olanak sağlamış olur.

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar farklı ayak yüksekliklerinde meydana gelen tavan gerilmelerini dikkate alarak tahkimat - tavan tabası etkileşimlerini incelemişlerdir [1-6]. Fazla ayak yüksekliklerinde tavan kontrolü ve ayrıca farklı ayak yüksekliklerinde meydana gelen göçme mekaniği üzerinde çalışmalar yapılmıştır [7-10].

Bu çalışmada uzun ayaklarda farklı çalışma yüksekliklerinde (damar kalınlıklarında) ayak içinde ve ayak etrafında meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Bu amaçla 3 metre, 4 metre, 5 metre, 6 metre ve 7 metre çalışma yüksekliğine sahip toplam 5 adet uzun ayak Phase2D [11] programı kullanılarak modellenmiştir. Modelleme çalışmaları sırasında kömürün ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda modellerden elde edilen ayak içinde ve ayak etrafında meydana gelen gerilme dağılımları dikkate alınarak en uygun çalışma yüksekliği tespit edilmiştir.

2. Model Çalışması

Çalışmada oluşturulan uzun ayak modellerinde dikkate alınan kömür ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri ülkemizde bulunan kömür ve çevresel kayaçların jeomekanik özellikleridir. Ayrıca modelleme çalışmalarında ülkemizde Çayırhan ve Tunçbilek bölgelerinde bulunan ve hali hazırda tam mekanize sistemle çalışmakta olan uzun ayakların çalışma derinlikleri ve boyutları göz önünde bulundurulmuştur. Dolayısıyla yapılan bu çalışmanın ülkemizde bulunan, çalışan ve çalışmaya alınacak olan tam mekanize yeraltı kömür madenleri için uygulama alanı bulması amaçlanmaktadır. Bu amaçla 750 metre pano boyunda, 3, 4, 5, 6, ve 7 metre çalışma yüksekliğine sahip, yerin 190 metre altında bulunan kömürün tek seferde kazanıldığı 5 adet uzun ayak modeli Phase2D [11] programı kullanılarak modellenmiştir. Modellenen uzun ayakların görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Modellenen uzun ayağın görüntüsü

Uzun ayak modellerinde Şekil 1’de görüldüğü gibi ayak; yalancı tavan, kömür, tavan taşı, taban taşı, ferahlama zonu ve göçük olmak üzere 6 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelere ait kaya kütleleri hesaplanarak program üzerinde ilgili bölgelere girilmiştir. Oluşturulan modellerde yalancı tavan yükseklikleri aşağıda verilen eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır [12].

$$h = \frac{m}{k-1} \quad (1)$$

Burada; h: Yalancı tavan yüksekliği (m), m: Damar kalınlığı (m) ve k: Tavan taşının kabarma faktörüdür.

Tavan taşı marn olarak dikkate alındığında kabarma faktörü 1,4 olarak alınmıştır. Farklı çalışma yüksekliklerinde hesaplanan yalancı tavan yükseklikleri sırasıyla 3 m damar kalınlığı

için 7,5 metre, 4 metre damar kalınlığı için 10 metre, 5 metre damar kalınlığı için 12,5 metre, 6 metre damar kalınlığı için 15 metre ve 7 metre damar kalınlığı için 17,5 metre olarak hesaplanmış ve modellerde bu şekilde ayarlanmıştır.

2.1 Kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi

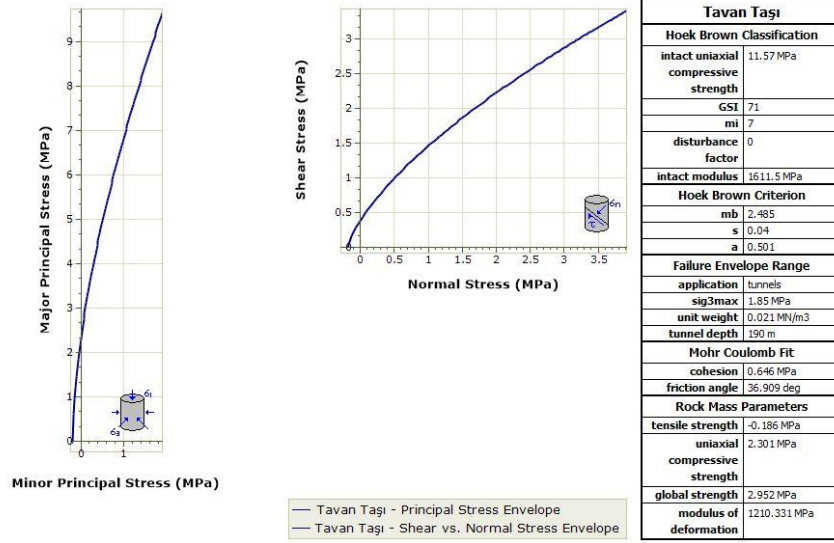
Çalışmada, Türkiye’de Çayırhan ve Tunçbilek bölgelerinde hali hazırda üretime devam eden tam mekanize uzun ayaklardaki kömür ve kömürü çevreleyen kayalara ait jeomekanik parametreler, çalışma derinlikleri, çalışma yükseklikleri ve çalışma eğimleri dikkate alınarak uzunayak modellemesi yapılmıştır. Tunçbilek ve Çayırhan bölgelerindeki kömür ve çevresel kayalara ait jeomekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kömür ve kömürü çevreleyen kayaların jeomekanik özellikleri [13-16]

Deneyler	Kömür		Tavan taşı		Taban taşı	
	Çayırhan	Tunçbilek	Çayırhan	Tunçbilek	Çayırhan	Tunçbilek
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	12,27	15,90	8,73	14,40	75,00	26,50
Çekme dayanımı (MPa)	1,24	-	0,89	2,30	6,19	3,50
İçsel sürtünme açısı (°), (φ)	15-25	15-25	34,18	32,00	-	40,00
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	1,36	1,40	2,12	2,10	2,16	2,40
Kohezyon (c) MPa	-	-	5,31	3,18	-	2,90
Elastisite modülü (MPa)	690,00	1733,00	1743,00	1480,00	1602,00	2085,00

Tablo 1’de verilen kayaç malzemesine ait jeomekanik veriler dikkate alınarak, uzun ayak modelleme çalışmalarında kullanılması amacıyla kaya kütle verilerinin elde edilmesi işlemine geçilmiştir. Bu amaçla RocData [17] yazılımı kullanılmıştır. Çayırhan ve Tunçbilek bölgelerinin kömür, tavan ve taban taşının jeomekanik verilerinin ortalama değerleri dikkate alınmış ve bu değerler RocData programına girilerek kaya kütle verilerine çevrilmiştir. Modelleme çalışmalarında saha kayaç malzemesi olarak değil kaya kütleleri olarak temsil edilmektedir. RocData programında kaya

kütle verilerinin elde edilmesi Şekil 2’de verilmiştir. Ferahlama zonuna ait kaya kütle verileri bu bölgenin kazı işleminin ve ayak ilerlemesinin etkisiyle ayak arkasına doğru kırılarak göçme eğiliminde olması nedeniyle tavan taşına göre daha düşük seçilmiştir. Göçük bölgesine ait kaya kütle parametreleri belirlenirken, Verma and Deb’in 2013 [18] yılında yaptıkları modelleme çalışmalarında göçük bölgesinin modellenmesinde kullandıkları girdi verileri dikkate alınmıştır. Modellenen uzunayakta kullanılan girdi verileri Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tavan taşın kaya kütle parametrelerinin elde edilmesi

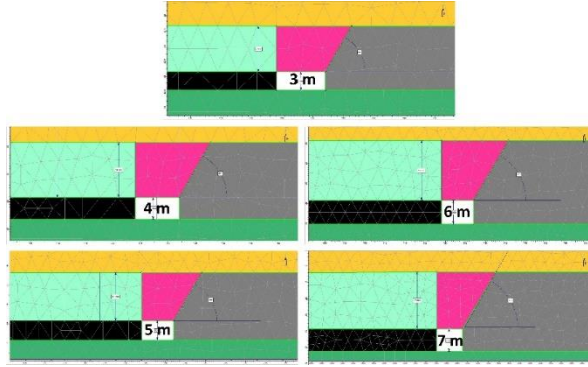
Tablo 2. Modelde kullanılan girdi verileri

Formasyon	Birin hacim ağırlık (MN/m ³)	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı (n)	Çekme dayanımı (MPa)	İçsel sürtünme açısı (°) (φ)	İçsel sürtünme açısı (Kalıcı) (°) (φ)	Kohezyon (c) MPa	Kohezyon (Kalıcı) (c) MPa
Kömür	0,0138	909,91	0,30	0,226	41,32	-	0,631	-
Ferahlama zonu	0,0210	884,41	0,32	0,082	32,65	-	0,450	-
Göçük	0,0210	120,00	0,40	0,000	15,00	12,00	0,100	0,09
Yalancı tavan	0,0210	1210,33	0,30	0,186	36,91	-	0,646	-
Taban taşı	0,0228	1384,58	0,30	0,814	46,20	-	1,883	-
Tavan taşı	0,0210	1210,33	0,30	0,186	36,91	-	0,646	-

2.2 Modelin oluşturulması ve arazi gerilmelerinin tanımlanması

Modelleme çalışmaları sırasında farklı çalışma yüksekliklerinde oluşturulan uzun ayak modelleri Şekil 3' te verilmiştir. Oluşturulan uzun ayak modellerinde arazi gerilmelerinin en doğru şekilde hesaplanabilmesi için programa arazideki yatay gerilme ve düşey gerilme arasındaki oran girilmiştir. Bu oran aşağıda verilen eşitlik 2 ve eşitlik 3 [19] yardımıyla hesaplanmakta ve özellikle yeraltı yapılarının modellenmesinde 1. derece öneme sahip bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Yerinde

gerilme durumu özellikle modelleme çalışmalarında kaya kütlelerinin jeomekanik davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu oranın arazide bulunan hakim kayaç yapısının poisson oranı dikkate alınarak hesaplanması ve modele girilmesi gerekmektedir. Özellikle bu noktadaki bilgi eksikliği geçmişte yapılan modelleme çalışmalarına yansımış ve birçok çalışmada bu oran 1 olarak alınmıştır. Bu oranın 1 olması demek hidrositatik basınç altında yatay ve düşey gerilmenin eşit olması anlamına gelmektedir. Özellikle yeraltı modellemelerinde bu hata kabul edilemez ve oldukça yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir.



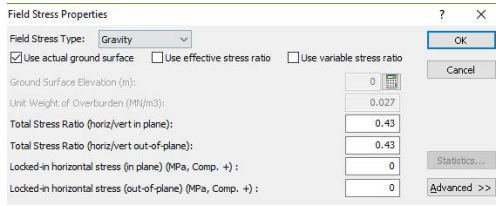
Şekil 3. Farklı çalışma yüksekliklerindeki uzun ayak modelleri

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v \quad (2)$$

$$k = \frac{\sqrt{1 - \nu}}{1 - \nu} \quad (3)$$

Burada σ_v : Düşey arazi gerilmesi (MPa), σ_h : Yatay arazi gerilmesi (MPa), k : Yatay arazi gerilmesinin düşey arazi gerilmesine oranı ve ν : Poisson oranıdır.

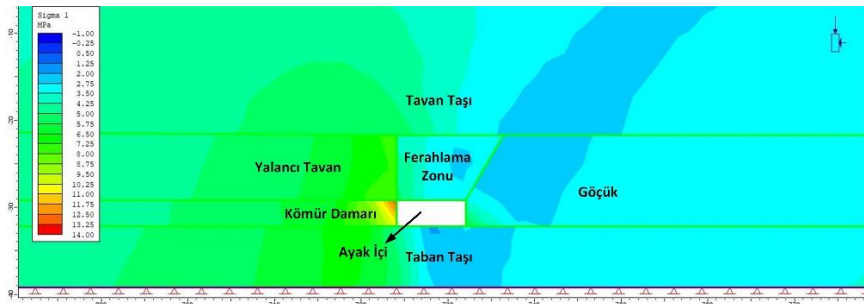
Yukarıdaki eşitlikler yardımıyla arazide yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı 0,43 MPa olarak hesaplanmış ve modellere bu şekilde tanımlanmıştır (Şekil 4).



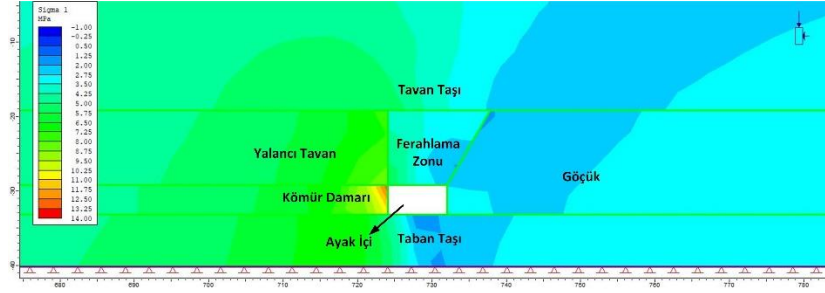
Şekil 4. Toplam gerilme oranının modele girilmesi

3. Gerilme Analizleri ve Elde Edilen Sonuçlar

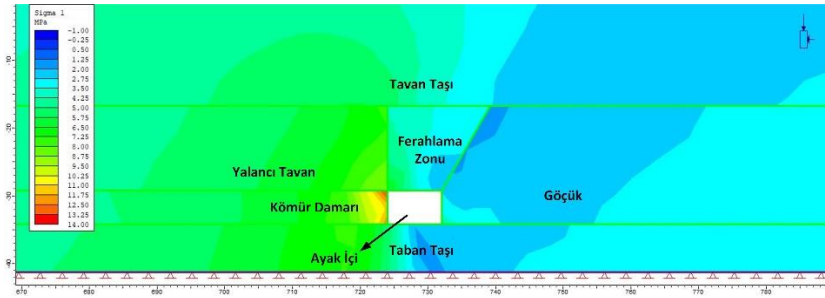
Kaya kütle verilerinin belirlenmesi ve modellerin oluşturulmasının ardından modeller çalıştırılarak ayak etrafında ve ayak içinde meydana gelen gerilmeler hesaplanmıştır. Detaylı yorumlamaya olanak sağlamak amacıyla ayak önünden 50 metrelik bir hat boyunca kömür damarı içine doğru ve 8 metresi ayak içi, 42 metresi göçük bölgesinde olmak üzere 50 metrelik bir hat boyunca toplamda 100 metrelik bir hat üzerinde 1'er metre aralıklarda gerilme değerleri okunmuştur. Farklı ayak yüksekliklerinde ayak etrafında oluşan gerilme durumları Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Ayak önünde, ayak içinde ve göçük bölgesinde meydana gelen gerilmelerin sayısal değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de 0-50. metre arası kömür damarını, 50-58. metre arası ayak içini ve 58-100. Metre arası göçük bölgesini temsil etmektedir.



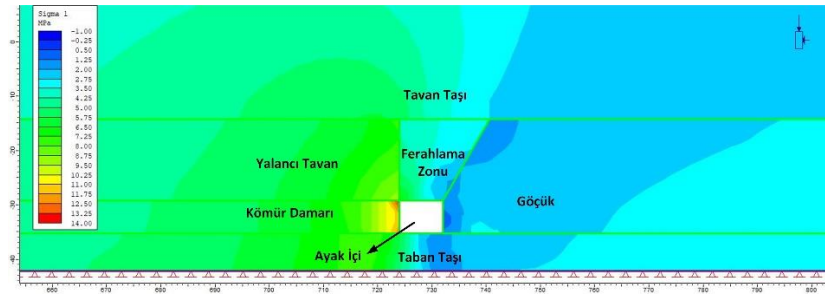
Şekil 5. 3 m çalışma yüksekliğinde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler



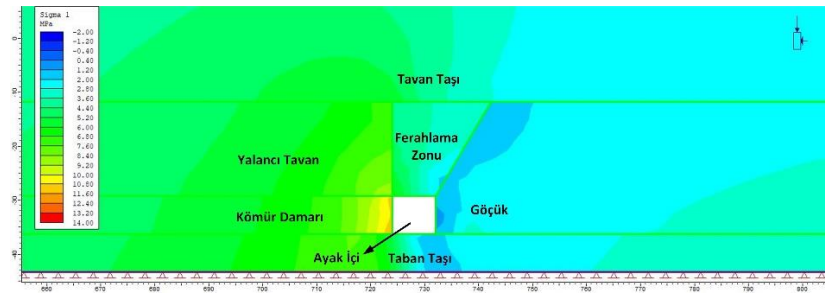
Şekil 6. 4 m çalışma yüksekliğinde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler



Şekil 7. 5 m çalışma yüksekliğinde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler



Şekil 8. 6 m çalışma yüksekliğinde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler



Şekil 9. 7 m çalışma yüksekliğinde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler

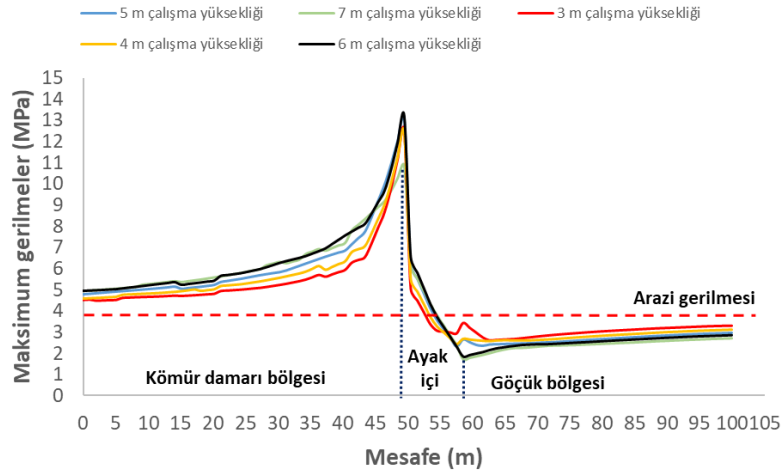
Tablo 3. Mesafeye bağlı farklı çalışma yüksekliklerinde meydana gelen gerilmeler

Mesafe (m)	Çalışma Yüksekliği					Mesafe (m)	Çalışma Yüksekliği				
	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m		3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
Gerilme (MPa)						Gerilme (MPa)					
0	4,5152	4,5906	4,7889	4,9359	4,9452	50	5,0524	5,5230	6,2234	6,5335	6,1328
1	4,5315	4,6058	4,8133	4,9486	4,9665	51	4,4900	4,9229	5,5236	5,7935	5,5336
2	4,4809	4,6213	4,8379	4,9618	4,9878	52	3,9276	4,3227	4,8237	5,0535	4,9344
3	4,4930	4,6393	4,8632	4,9800	5,0099	53	3,3652	3,7226	4,1239	4,3136	4,3351
4	4,5051	4,6573	4,8885	4,9982	5,0320	55	3,0649	3,2841	3,5678	3,7096	3,7994
5	4,5172	4,6753	4,9138	5,0163	5,0541	56	3,0223	3,0044	3,1529	3,2395	3,3262
6	4,6129	4,7707	4,9376	5,0515	5,0808	57	2,9797	2,7247	2,7381	2,7694	2,8530
7	4,6278	4,7859	4,9613	5,0881	5,1078	58	2,9371	2,4451	2,3232	2,2993	2,3797
8	4,6427	4,8011	4,9850	5,1248	5,1349	59	3,4296	2,6921	2,6528	1,8305	1,7233
9	4,6541	4,8161	5,0099	5,1624	5,2421	60	3,2002	2,6594	2,5246	1,9002	1,7932
10	4,6644	4,8310	5,0351	5,2003	5,2740	61	2,9709	2,6266	2,3964	1,9699	1,8630
11	4,6747	4,8459	5,0604	5,2381	5,3059	62	2,7415	2,5995	2,3551	2,0396	1,9328
12	4,6879	4,8653	5,0886	5,2746	5,3403	63	2,6080	2,5823	2,4137	2,1339	2,0079
13	4,7033	4,8882	5,1189	5,3099	5,3764	64	2,6255	2,6120	2,4249	2,2107	2,0947
14	4,7186	4,9110	5,1492	5,3453	5,4126	65	2,6429	2,6235	2,4361	2,2580	2,1663
15	4,7034	4,9408	5,0480	5,2209	5,3696	66	2,6558	2,6225	2,4464	2,3053	2,2277
16	4,7220	4,9814	5,0807	5,2581	5,4096	67	2,6757	2,6214	2,4560	2,3414	2,2602
17	4,7405	5,0219	5,1134	5,2953	5,4495	68	2,7093	2,6203	2,4656	2,3767	2,2642
18	4,7600	4,9587	5,1480	5,3335	5,4910	69	2,7428	2,6155	2,4753	2,3932	2,2807
19	4,7832	4,9940	5,1894	5,3753	5,5385	70	2,7786	2,6329	2,4918	2,4045	2,3094
20	4,8063	5,0293	5,2308	5,4170	5,5861	71	2,8101	2,6489	2,5046	2,4101	2,3364
21	4,9372	5,1856	5,3691	5,6419	5,6338	72	2,8405	2,6648	2,5174	2,4151	2,3625
22	4,9588	5,2125	5,4183	5,6832	5,6874	73	2,8690	2,6843	2,5302	2,4307	2,3694
23	4,9804	5,2394	5,4674	5,7246	5,7410	74	2,8948	2,7071	2,5503	2,4475	2,3782
24	5,0020	5,2663	5,5166	5,7660	5,7946	75	2,9191	2,7306	2,5710	2,4641	2,3869
25	5,0300	5,3101	5,5741	5,8293	5,8547	76	2,9430	2,7521	2,5917	2,4800	2,3949
26	5,0590	5,3565	5,6328	5,8960	5,9158	77	2,9652	2,7729	2,6124	2,4955	2,4080
27	5,0880	5,4029	5,6914	5,9627	5,9768	78	2,9875	2,7934	2,6327	2,5126	2,4223
28	5,1302	5,4580	5,7419	6,0535	6,1618	79	3,0094	2,8137	2,6524	2,5316	2,4359
29	5,1782	5,5169	5,7887	6,1550	6,2402	80	3,0283	2,8340	2,6713	2,5502	2,4494
30	5,2263	5,5758	5,8355	6,2565	6,3185	81	3,0470	2,8537	2,6887	2,5688	2,4631
31	5,2812	5,6401	5,9145	6,3442	6,2578	82	3,0656	2,8721	2,7059	2,5858	2,4767
32	5,3425	5,7095	6,0236	6,4191	6,3427	83	3,0823	2,8888	2,7228	2,6002	2,4904
33	5,4039	5,7788	6,1326	6,4940	6,4277	84	3,0987	2,9052	2,7409	2,6172	2,5040
34	5,4815	5,8693	6,2416	6,5828	6,6931	85	3,1151	2,9227	2,7592	2,6347	2,5178
35	5,5904	6,0003	6,3508	6,6983	6,8096	86	3,1323	2,9403	2,7765	2,6507	2,5331
36	5,6993	6,1314	6,4600	6,8137	6,9260	87	3,1487	2,9569	2,7937	2,6667	2,5484
37	5,6156	5,9546	6,5671	6,9440	6,8513	88	3,1650	2,9734	2,8105	2,6827	2,5636
38	5,7241	6,0881	6,6642	7,1480	6,9746	89	3,1790	2,9900	2,8259	2,6987	2,5789
39	5,8327	6,2217	6,7613	7,3521	7,0979	90	3,1926	3,0055	2,8413	2,7137	2,5933
40	5,9413	6,3553	6,8584	7,5561	7,2212	91	3,2051	3,0191	2,8568	2,7284	2,6073
41	6,2763	6,7870	7,1496	7,7364	7,8053	92	3,2177	3,0327	2,8720	2,7432	2,6212
42	6,4079	6,9262	7,4422	7,9165	8,0707	93	3,2302	3,0460	2,8855	2,7576	2,6350
43	6,5395	7,0654	7,7349	8,0966	8,3362	94	3,2427	3,0589	2,8981	2,7706	2,6470
44	7,1720	7,6538	8,4193	8,5744	8,6178	95	3,2551	3,0716	2,9108	2,7830	2,6590
45	7,9165	8,3426	9,1912	9,1189	8,9030	96	3,2665	3,0832	2,9233	2,7943	2,6710
46	8,6610	9,0314	9,9632	9,6633	9,1882	97	3,2769	3,0946	2,9355	2,8053	2,6828
47	9,8040	10,0580	10,9385	10,6751	9,6734	98	3,2870	3,1054	2,9457	2,8161	2,6935
48	11,1690	11,2731	12,0272	11,9475	10,2701	99	3,2933	3,1156	2,9560	2,8268	2,7038
49	12,5341	12,4881	13,1159	13,2199	10,8668	100	3,2990	3,1258	2,9665	2,8386	2,7142

Farklı çalışma yüksekliklerinde meydana gelen gerilmelerin grafiksel gösterimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil üzerinde arazide meydana gelen birincil gerilme aşağıda verilen eşitlik 4 [19] yardımıyla hesaplanmış ve grafik üzerinde gösterilmiştir.

$$\sigma_v = \gamma.H \quad (4)$$

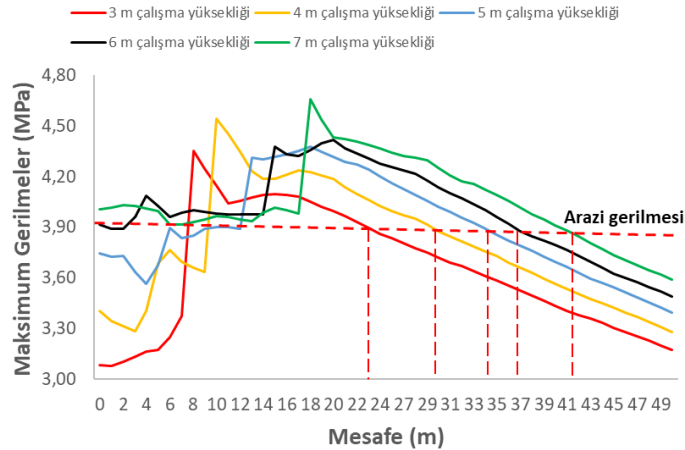
Burada σ_v : Düşey arazi gerilmesi (MPa), γ : Tavan taşının birim hacim ağırlığı (gr/cm^3) ve H: Tavan taşının kalınlığı (m) olarak tanımlanmaktadır. Tablo 2'de verilen değerlere bakıldığında tavan taşının birim hacim ağırlığı $2,1 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ve tavan taşının kalınlığı 190 metre olarak dikkate alındığında arazide meydana gelecek olan birincil gerilme $3,91 \text{MPa}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 10. Farklı çalışma yüksekliklerinde meydana gelen gerilmelerin grafiksel gösterimi

Farklı çalışma yüksekliklerinde ayak üzerinden tavan bölgesine doğru çıkıldıkça mesafeye bağlı olarak değişen gerilme dağılımı Şekil 11'de verilmiştir.

Bu amaçla ayak üstünden tavan bölgesine doğru 50 metrelik bir hat boyunca 1'er metre aralıklarda ölçüm alınmıştır.

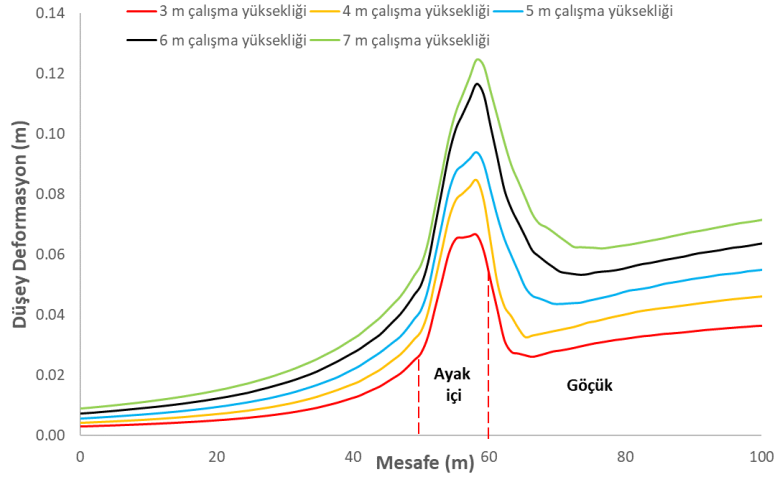


Şekil 11. Ayak üstünden tavana bölgesine doğru gerilmelerdeki değişimlerin grafiksel gösterimi

Uzun ayak modellerinde farklı çalışma yüksekliklerine göre ayak etrafında meydana

gelen düşey deformasyonların grafiksel gösterimi Şekil 12'de verilmiştir. Bu amaçla,

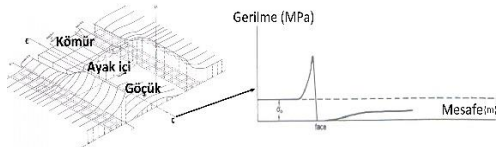
gerilme ölçümlerinde olduğu gibi ayak önünden ve ayak arkasından göçüğe doğru toplam 100 metrelik bir hat boyunca 1'er metre aralıklarla ölçüm alınmıştır.



Şekil 12. Farklı çalışma yüksekliklerinde meydana gelen düşey deformasyonların grafiksel gösterimi

4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Şekil 13'de verilen Peng ve Chiang 1984 [12] tarafından yapılan çalışmalar sonucunda tanımlanan uzun ayak etrafında oluşan gerilmeler ile Şekil 10'da verilen ve çalışma sonucunda elde edilen gerilmelerin dağılımlarının uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Uzun ayak etrafında oluşan gerilmeler [12]

Elde edilen sonuçlara göre Tablo 3'de verilen gerilme değerlerine ve Şekil 10'da verilen gerilme dağılımlarına bakıldığında 3 m çalışma yüksekliğinde ayak içinde hemen ayna önünde meydana gelen maksimum gerilme değeri 12,53 MPa, 4 metre çalışma yüksekliğinde 12,49 MPa, 5 metre çalışma yüksekliğinde 13,12 MPa, 6 metre çalışma yüksekliğinde 13,22 MPa ve 7 metre çalışma yüksekliğinde 10,87 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ayak içinde kazının da etkisiyle hızla düşmekte ve göçük bölgesi içinde kademeli olarak artarak arazi gerilmeleri seviyesine çıkmaktadır. Ayna önünde meydana gelen gerilmelere bakıldığında en düşük gerilmenin 7 metre çalışma yüksekliğinde 10,87

MPa olarak hesaplandığı görülmektedir. Ayak içi güvenliğinin sağlanması, etkili bir şekilde üretimin gerçekleştirilmesi açısından ayak önü gerilmelerinin düşük olması büyük önem arz etmektedir.

Farklı çalışma yüksekliklerinde ayak içinin hemen üstünde bulunan ferahlama zonu bölgesinde meydana gelen ortalama gerilme değerleri 3 metre çalışma yüksekliğinde 3,60 MPa, 4 metre çalışma yüksekliğinde 3,74 MPa, 5 metre çalışma yüksekliğinde 4,06 MPa, 6 metre çalışma yüksekliğinde 4,21 MPa ve 7 metre çalışma yüksekliğinde ise 4,42 MPa olarak hesaplanmıştır. Ayak içinde tahkimatların görevlerini en iyi şekilde yapabilmesi ve tavanın etkili bir şekilde kontrolü için tavan basıncının en düşük olduğu 3 metre çalışma yüksekliğinin daha uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 3'de verilen ve kömür damarı içinde 50 metrelik bir hat boyunca meydana gelen ortalama gerilme değerleri 3 metre çalışma yüksekliğinde 5,61 MPa, 4 metre çalışma yüksekliğinde 5,88 MPa, 5 metre çalışma yüksekliğinde 6,22 MPa, 6 metre çalışma yüksekliğinde 6,45 MPa ve 7 metre çalışma yüksekliğinde 6,38 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere bakıldığında damar içinde en düşük gerilmelerin 3 metre çalışma yüksekliğinde meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 3'de verilen değerlere ve Şekil 10'de verilen grafiklere bakıldığında ölçüm yapılan 42

metrelik göçük hattı boyunca meydana gelen ortalama gerilme değerleri 3 metre çalışma yüksekliğinde 3,02 MPa, 4 metre çalışma yüksekliğinde 2,83 MPa, 5 metre çalışma yüksekliğinde 2,67 MPa, 6 metre çalışma yüksekliğinde 2,50 MPa ve 7 metre çalışma yüksekliğinde 2,40 MPa olarak hesaplanmıştır. Uzun ayaklarda tavan kırılma mekaniğine bakıldığında tavan tabakalarının kırılarak ayak arkasına doğru göçme eğilimleri vardır. Göçük bölgesinin tavan yüklerine olabildiğince maruz kalması içinde bulunan boşlukların kapanmasını sağlayacak ve olası hava kaçaklarından doğabilecek olan yangın tehlikesinde en aza inmiş olacaktır. Bu durumlar dikkate alındığında göçük bölgesinin en iyi şekilde sıkışmasını sağlayacak olan göçük içindeki gerilmelerin en fazla olduğu 3 metre çalışma yüksekliği en uygun çalışma yüksekliği olarak görülmektedir.

Şekil 11'de verilen ve ayak üzerinden tavan taşına doğru çıkıldıkça 50 metrelik mesafede yapılan ölçümler sonucunda 3 metre çalışma yüksekliğinde tavana meydana gelen gerilmelerin 23. metrede, 4 metre çalışma yüksekliğinde 30. metrede, 5 metre çalışma yüksekliğinde 34. metrede, 6 metre çalışma yüksekliğinde 37. metrede ve 7 metre çalışma yüksekliğinde 42. metrede arazi gerilme değerlerine ulaştığı görülmektedir.

Şekil 12'de verilen ve farklı çalışma yüksekliklerinde ayak içinde meydana gelen ortalama düşey deformasyon değerleri 3 metre çalışma yüksekliğinde 0,053 metre, 4 metre çalışma yüksekliğinde 0,065 metre, 5 metre çalışma yüksekliğinde 0,074 metre, 6 metre çalışma yüksekliğinde 0,087 metre ve 7 metre çalışma yüksekliğinde 0,094 metre olarak hesaplanmıştır. Tahkimatların etkili şekilde çalışması ve ayak düzeninin sağlanması açısından en uygun çalışma yüksekliğinin tavan alçalmasının en az olduğu 3 metre çalışma yüksekliği olduğu görülmektedir.

5. Sonuç

Uzun ayak madenciliği özellikle ayak kurulum aşamasında ilk yatırımı oldukça yüksek bir madencilik yöntemidir. Bu aşamada çalışma şartlarına göre makina-ekipman yönünden en iyi seçimi yapmak beraberinde oldukça fazla ekonomik kazanç getirmekte ve zaman kaybını önüne geçmek açısından çok önemlidir.

Uzun ayak çalışma şartlarının önceden belirlenmesinde en etkili yöntem çalışma

sahasının jeomekanik parametreleri dikkate alınarak yapılacak olan modelleme çalışmaları sonucunda sahayı en iyi şekilde temsil eden bir modelin oluşturulmasıdır. Bu sayede karşılaşılabilecek olası durumların önceden analiz ve tahmin edilme imkanını yakalanmış olur. Yapılan çalışmada kömür damarının tek seferde kazanıldığı farklı çalışma yüksekliklerine sahip uzun ayak modelleri ülkemizde bulunan kömürlerin ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri dikkate alınarak modellenmiştir. Modelleme çalışmaları sonucunda ayak etrafında meydana gelen gerilmeler ve deformasyonlar dikkate alındığında en uygun çalışma yüksekliğinin 3 metre olduğu tespit edilmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda, her maden sahasının jeomekanik özelliklerinin farklı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, damar kalınlığının 3 metreden fazla olduğu durumlarda kömür damarının ve çevresel kayaçların jeomekanik özellikleride dikkate alınarak yapılacak olan modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen gerilme dağılımları dikkate alınarak çalışılacak olan saha için en uygun çalışma yüksekliği belirlenebilir ve bu çalışma yüksekliğine bağlı uygun makina ekipman seçimi yapılabilir.

Kaynakça

- [1] Yetkin, M.E., Şimşir, F. 2018. Yürüyen Tahkimat Ünitelerinde Tavan Tabakası ile Tavan Sarması Temaslarında Yük Analizi. Bilimsel Madencilik Dergisi.57(2), 117-124. DOI:10.30797/madencilik.433923
- [2] Singh, G.S.P., Singh, U.K., 2008. Numerical Modelling Study of Strata and Support Behaviour in Thick Seam Longwall Workings, Min. Technol: Trans. Inst. Min. Metall., Section A, 117, (4), 191-201. DOI: 10.1179/174328609X417251
- [3] Yuan, Y., Tu S.H., Zhang, X.G., Li, B. 2013. System dynamics model of the support surrounding rock system in fully mechanized mining with large mining height face and its application," International Journal of Mining Science and Technology, Vol. 23, No. 6, pp 879-884. DOI: 10.1016/j.ijmst.2013.11.001
- [4] Hebblewhite, B.K. 2013. International practice in high performance underground thick coal seam extraction and related ground control challenges. In: Proceedings of the 32nd international conference on ground control in mining. Morgantown (WV): West Virginia University. p. 38-44.
- [5] Jiachen, W., Shengli, Y., Dezhong, K. 2016. Failure mechanism and control technology of longwall coalface in large-cutting-height mining method. International Journal of Mining Science and Technology. Volume 26, Issue 1, Pages 111-118. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.11.018
- [6] Wang, J., Jiang, J., Li, G., Hu, H. 2016. Exploration and Numerical Analysis of Failure Characteristic of Coal Pillar Under Great Mining Height Longwall Influence.

- Geotech Geol Eng. 34:689–702. DOI: 10.1007/s10706-016-9979-8
- [7] Yong, Y., Shihao, T., Qi, W., Xiaotao, M., Hongsheng, T., Lulu, S. 2011. Mechanics of rib spalling of high coal walls under fully-mechanized mining. *Mining Science and Technology (China)* 21(1), p:129-133. DOI:10.1016/j.mstc.2010.12.014
- [8] Unver, B., Yasitli, N. 2006. Modelling of strata movement with a special reference to caving mechanism in thick seam coal mining. *Int. J. Coal Geol.* 66, 227–252. DOI: 10.1016/j.coal.2005.05.008
- [9] Wang, J.H., Yu, B., Kang, H.P., Wang, G.F., Mao, D.B., Liang, Y.T., Jiang, P.F. 2015. Key technologies and equipment for a fully mechanized top-coal caving operation with a large mining height at ultra-thick coal seams. *Int. J. Coal Sci. Technol.* 2, 97–161. DOI: 10.1007/s40789-015-0071-4
- [10] Zhang, H.W., FU, X., Shen, Y.Z. 2016. Study on Rib Spalling Mechanism and Spalling Depth in Large Mining Height Fully Mechanized Face, in Naj Aziz and Bob Kininmonth (eds.), *Proceedings of the 16th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 10-12 February, 204-212.*
- [11] Phase2 8, Version 8.020-2014, Rocscience Inc, Toronto, Ontario, Canada.
- [12] Peng, S.S. Chiang, H.S. 1984. *Longwall mining.* New York: Wiley.
- [13] Bilim, N. 2007. *Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.*
- [14] Destanoğlu, N., Taşkın, F.B., Taştepe, M., Öğretmen, S. 2000. "Ömerler Mekanizasyon Uygulaması", TKİ, Ankara.
- [15] Özfirat, M.K. 2007. *Ömerler Yer altı Kömür Ocağında Tam Mekanize Üretimde Oluşan Kayıpların Belirlenmesi ve Azaltılması Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.*
- [16] Varlıbaş, Y. 2014 *Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi e sahasında kullanılan kollu galeri açma makinesi kazı veriminin jeolojik birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi. Kütahya.*
- [17] RocData, 5.0. *Rock, Soil and Discontinuity Strength Analysis, Version 5.0. 2014.*
- [18] Verma, A.K., Deb, D. 2013. Numerical analysis of an interaction between hydraulic powered support and surrounding rock strata, *American Society of Civil Engineers.*
- [19] Sheorey, P.R. 1997. *Empirical rock failure criteria, Rotterdam, Netherlands: A. A. Balkema.*