

**GEVŞETİLMİŞ LİNYİT ÖRTÜ KATMANI
BASAMAKLARINDA ÇALIŞAN ELEKTRİKLİ
MADEN YERKAZI ARAÇLARINDA
ÖZGÜL KAZI-YÜKLEME ERKESİ**
*SPECIFIC DIGGING & LOADING ENERGY OF
ELECTRIC MINING SHOVELS OPERATING AT
BLASTED LIGNITE MEASURE ROCKS*

M. Özdoğan

İdeal Makine Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara

Ö. Güngör

TAEK, Ankara

ÖZET: Bu bildiride, elektrikli yer kazıcılarının (YK) gevşetilmiş linyit örtü katmanı basamaklarında kazı-yükleme işinde birim hacim ya da ton başına tükettikleri erke, özgül erke, bu kavramın kayacın dolaylı olarak kazılabilirliğini ya da kaya gevşetme işleminin ne derece iyi yapıldığının bir göstergesi olarak kullanılabildiği; kazılabilirlik kavramı ve terminolojisi; özgül erkeyi etkileyen değişirgenler tartışılmıştır. GLİ Tunçbilek açık ocaklarında çalışan 8 m³ ve 15 m³’lük makinelerin dört yıllık (2008-2011) özgül kazı-yükleme erkeleri örnek olarak verilip yazılı kaynaklarda yer alan, anlık sayılabilecek süreleri içeren elektrikli yerkazı makinelerinin, birim kazı-yükleme erkeleriyle karşılaştırılmıştır. Bu değerler, aynı ocaklarda çalışan 15 m³ kovalı bir adet çekme kepçeli yer kazıcılarının (ÇKYK) aynı yıllardaki dört yıllık ortalama birim kazı-boşaltma erkesi; AEL Afşin-Elbistan işletmesinde çalışan döner kepçeli yer kazıcılarının (DKYK) kısa süreli ortalama kazı erkesi düzeyleri ile karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT: In this paper, specific energy consumption of electric mining shovels operating at blasted lignite measure rocks, use of specific energy concept as a measure of diggability and degree of blasting (blasting performance), factors affecting specific energy are discussed. Specific digging and loading energies of 8 m³ ve 15 m³ electric mining shovels (EMS) operating at GLI open pit mines between years (2008-2011) for four years are given. These long term figures are compared to that of the comparatively short term figures existing in mining literature for electrical earthmoving equipment. Furthermore, the specific energy consumption of electric mining shovels are compared to that of average loading-dumping specific energy of walking dragline (WD) with a 15 m³ bucket operating at the same mine, in the same years, for four years. Furthermore, specific energy consumption of electric mining shovels are compared to average short term specific energy consumptions of Bucket Wheel Excavators (BWE) from AEL Afşin-Elbistan mine.

1 GİRİŞ

Özgül erke (enerji) ya da özgül kazı erkesi, madencilik kaynaklarında, elektrikli açık ocak yerkazı makineleri (YK) için sıkça kullanılan bir kavram olup kazıcının çalışma döngüsü başına kazılan kayacın birim hacmi (m^3) ya da ağırlığı (ton) için tükettiği erke olarak tanımlanır. Kazıcı aracın çalışırken karşılaştığı kazı çetinliğinin bir göstergesi olarak kullanılır, birimi kWh/m^3 ya da MJ/m^3 , ya da kWh/ton 'dur. Kayacın gevşetilmesine gerek kalmadan doğrudan kazı yapabilen yeraltı kazı araçlarının ve döner kepçeli kazıcıların (DKYK) kayacı kesme zorluğu göstergesi olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özgül kazı erkesi tüketimi kepçe ya da kova iriliğinden arındırılmış bir veri olduğundan değişik kapasiteli makinelerin karşılaştıkları kazı-yükleme çetinliğini, elektrikli yerkazı araçlarının enerji tüketim düzeylerini karşılaştırmada ve öngörmeye yararlı olmaktadır. Bu değişkenden yararlanarak kazılabilirlik dizelemesi önermek de olasıdır (Ceylanoğlu 1991, Hindistan 1997).

Kaynaklarda, kazılabilirlik terimi ile hem kazıcı aracın, hem de kazılan kayacın kazılabilirliği ifade edilmeye çalışılmaktadır. Bu sözcük (terim) hem yerkazı makinesi için hem de kazılan kaya ve kömür katmanı için kullanılmaktadır. Kanımızca daha iyi bir anlatım ve kavram duruluğu için yerkazı aracı için “kazabilirlik” daha da iyisi araç “kazganlığı”, kazağanlığı”, kazılan kaya oluşumu için ise “kazılabilirlik” ya da daha iyisi “kazılganlık” sözcüğünün durumu daha iyi tanımladığı düşünülmektedir.

Doğrudan kazılabilen kayaçlar ve kömür damarlarında, kazı aracı için “kesebilirlik”, kayaç için “kesilgenlik” deyimi olguyu daha iyi tanımladığı için önerilmektedir. Bu tür doğrudan kazabilen yerkazı araçları için ise “Özgül Kesme Erkesi” (MJ/m^3) teriminin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Gevşetilerek kazılan kayaçlar için ise “Özgül Kazma-Yükleme Erkesi” (kWh/m^3) terimi kullanılabilir. Yığın kayaç, kırmataş ve kömür yükleme işleri için ise “Özgül Yükleme Erkesi” terimi önerilir.

Açık maden işletmeciliğinde kullanılan küreğimsi (shovel) kazıcılar (YK) (elektrikli maden yerkazarı), hidrolik yerkazar ve yükleyiciler doğrudan kazı yapmak için değil gevşetilmiş kayanın kazılıp yüklenmesi için üretilmiştir. Ancak, bu yerkazı araçları döner kepçeli kazıcıların çalışabildiği her örtü katmanında, kömür damarında doğrudan kazıp yükleme de yapabilirler. Küreğimsi maden kazıcıları da, döner kepçeli kazıcıların kazdığı her örtü ve kömür katmanını kazabilme yeteneğindedir.

Döner kepçeli kazıcıların yeğlenmesi kesintisiz kazı-yükleme ve kesintisiz taşıma üstünlüğünden yararlanmak içindir. Ancak, bu madencilik yordamının çok iyi bir mühendislik, çok örgütlü bir yönetim, çok iyi bir bakım-onarım ve yedek parça destek dizgesi gerektirdiği bilinir. Çünkü sistem esnek değildir, dizideki en ufak bir aksama, sözgelimi basit bir taşıyıcı bant makarası bozukluğu, tüm kazı etkinliğini durdurabilir.

2 KAZI-YÜKLEME ARACI ÖZGÜL ERKE KAVRAMI

2.1 Özgül Kesme Erkesi Kavramı

Bu kavram gevşetilmeden, sökülmeden (riperleme) kazı yapılabilen kaya katmanları için kullanılır. Delik makineleri, döner kepçeli kazıcılar, tamburlu yüzey kesicileri, galeri açma makineleri, yer altı kömür kesicileri gibi doğrudan kazı yapabilen araçlar ve katmanlar için kullanılır. Bu kavramdan yola çıkılarak kayaç ya da kömür katmanının kazılabilirliği belirlenmeye çalışılır. Bu konuda madencilik bilgi kaynaklarında yayınlanmış onlarca bildiri ve makale vardır. Özgül kesme erkesi birim hacimdeki kömür ya da kayacı keserek kazmak için tüketilen enerji miktarıdır. İlkesi ise kazılması daha çetin olan kayaç ya da kömür için daha çok erke tüketilmesi gerektiği gerçeğidir. Kömür madenciliğinde, kömürler ve doğrudan kazılabilen linyit örtü katmanları bu diziye girer. Döner kepçeli kazıcıların örtü ve linyit katmanlarında çalışmaları, yeraltında ise kömür kesicileri, tambur kesicili yüzey kömür kazıcılarının ve kaya sökücü araçların çalışmaları bu tanıma girer.

Yukarıda açıklandığı gibi elektrikli yerkazı makinelerinin özgül kazı erkesi tüketimleri ve bu değerlerdeki değişimlerden, makinenin kazıda karşılaştığı kazı çetinliği anlaşılabilir. Ancak, aşağıda belirtilen etkenlerin de makinelerin özgül erke tüketimlerini değiştirebildiği bilinmelidir.

Yerkazı makinelerinin özgül kazı erkesi tüketimlerini, basamak yüksekliği ve geometrisi, basamaktaki kayacın kazılabilirliği, gevşetilme durumu ve birim ağırlığı, kazı (kesme) derinliği, makinenin teknik özellikleri, motor güçleri, teknolojisi, makinenin yaşı ve bakımlı olup olmadığı, operatörün becerisi, dönüş açısı, kepçe dolma çarpanı, çekme kepçeli kazıcılarda (dragline) (ÇKYK) ise bunlara ek olarak, dilim eni, kazı derinliği ve uygulanan kazı yöntemi gibi özellikler etkilemektedir (Ceylanoğlu 1991, Hindistan 1997, Özdoğan 2013).

2.2 Özgül Kazı-Yükleme Erkesi Kavramı

Gevşetilerek kazı yapılan örtü katmanlarında ise kazı-yükleme söz konusudur. Elektrikli yerkazı araçlarında basamaktaki kazı-yükleme çetinliği, gerçek kazı gücünü sağlayan kaldırış (hoist) motorunun enerji tüketimi (kepçe doluş enerjisi) temsil etmektedir. Kepçe itiş (crowd) motoru ise kepçe saplanışını sağlayarak belirli bir kesme derinliğinde tutulmasını sağlayan ikincil bir motordur (Hindistan 1997).

Çekme kepçede ise aynada kazı zorluğunu çektiriş (drag) motoru enerji tüketimi, özellikle çalışma döngüsünün kepçe doluş evresinde, temsil etmektedir (Özdoğan 2013). Bu nedenle, kepçe doluş evresindeki (kazı evresi) enerji tüketiminin ölçülme olanağı varsa yeğlenmelidir. Çünkü, bu evredeki tüketim düzeyi karşılaşılan kazı çetinliğini daha iyi yansıtmaktadır.

Bu konuda ülkemizde yapılmış bazı çalışmalar şöyledir: Ceylanoğlu (1991), Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu açık işletmelerinde çalışan çeşitli kapasitedeki ($8 \text{ m}^3 - 19 \text{ m}^3$) küreğimsi elektrikli kazıcıların, enerji tüketimleri konusunda bir çalışma yapmıştır. Ölçümler elektrikli kazıcıların dalgalı akım ana motorları üzerinden alınmıştır. Araştırmacı, kazı aynasında makinenin karşılaştığı kazı çetinliğini en iyi

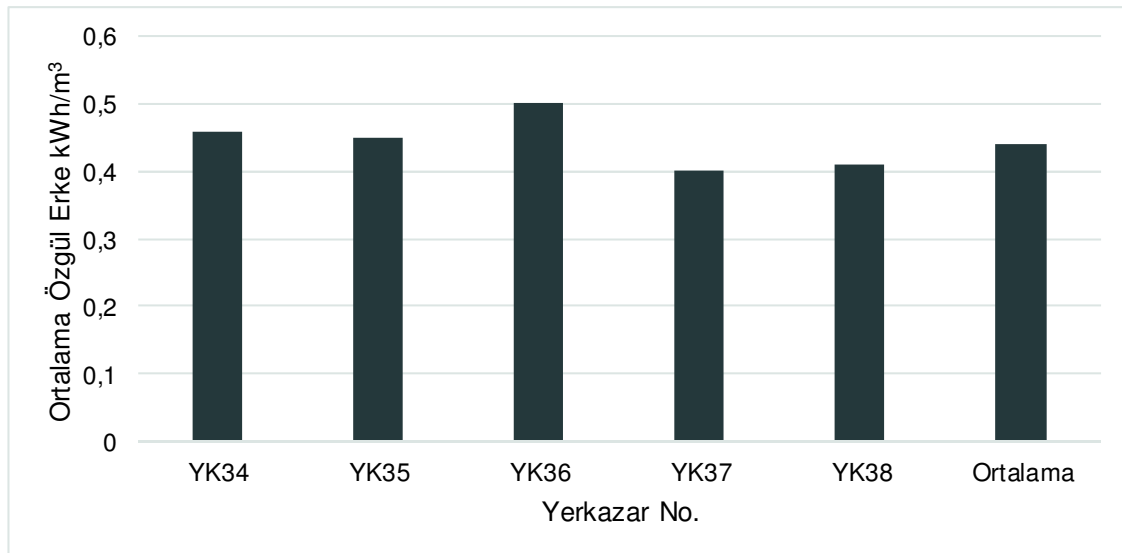
özellik kazı enerjisi etkeninin yansıttığını belirtmiştir. Bu etkenin değerlerine ve kendi gözlemlerine göre, gevşetilmiş marn örtü katmanını kazı basamakları için kazı zorluğu dizelemesi önermiştir. Hindistan (1997) ise TKİ Kurumundaki 15 m³-19 m³ kapasiteli makinelerin doğru akım kaldırış ve itiş motorlarından ölçtüğü özgül erke tüketimlerine göre kazı zorluğu sıralaması yapmıştır.

Delme-patlatmanın ya da gevşetmenin uygulandığı örtü katmanlarında kayacın kazılabilirliği diye bir kavram söz konusu değildir, göreceli patlatılabilirliği (özgül patlayıcı yük miktarı, kg/m³), gevşetilebilirliği, yüklenilebilirliği, aşındırıcılığı, yoğunluğu, kaya parça boyutu gibi kavramları söz konudur. En kazılamaz diye bilinen kayaç bile delme-patlatma ile ve uygun özgül patlayıcı yükü ile gevşetilerek kazılabilir hale gelir.

Çoğu kez, kayaç kazılabilir olsa bile yüksek üretim hızı ve düşük maliyet için örtü katmanının gevşetilmesi yeğlenebilir. Katmanın gevşetildiği durumda kazılabilirlik diye bir kavramın kullanılmaması gerekir, burada artık yer kazı makinesinin kazma-yükleme yeteneğinden söz edilmesi gerekir diye düşünülmektedir. Buna, içinde bir miktar kazı da içerdiği için araç kazma-yükleme özgül erkesi denebilir.

3 ELEKTRİKLİ KÜREĞİMSİ KAZICILARDA KAZI-YÜKLEME ERKESİ

15 m³ ve 8 m³ kapasiteli elektrikli küreğimsi kazıcılara ait uzun dönem gerçek özgül erke tüketim verileri GLİ Tunçbilek açık ocaklarında çalışan makinelerden verilmiştir. Şekil 1 ocakta çalışan 15 m³ kepçeli beş adet makinenin ortalama özgül erke düzeylerini görsel olarak belirtmektedir. Çizelge 1 ise bu beş makinenin yıllara göre özgül kazı-yükleme erkelerini vermektedir.



Şekil 1. YK (15 m³) kazıcılarda ortalama birim kazı-yükleme erkeleri.

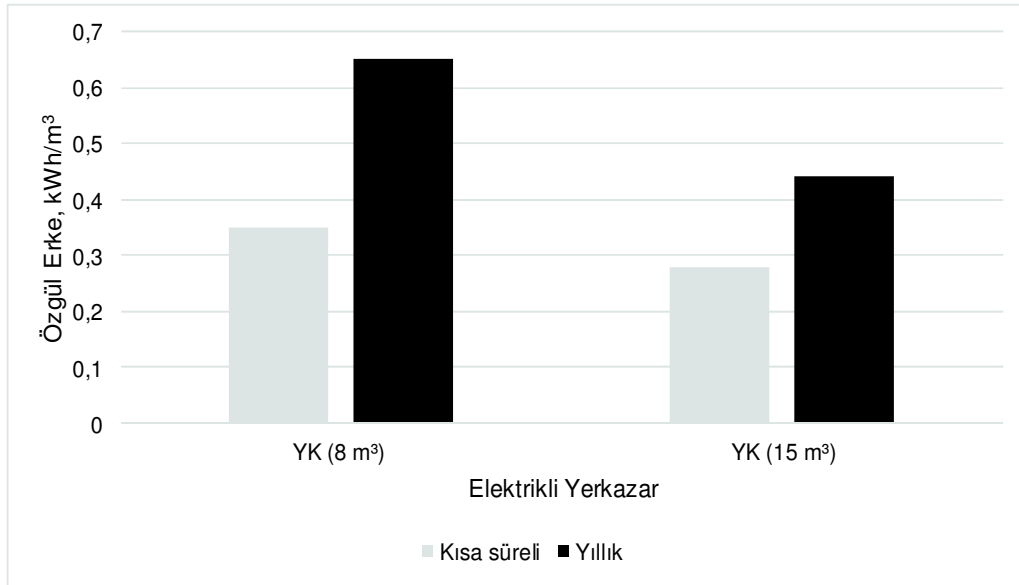
Çizelge 2’de ise 8 m³ kapasiteli yedi adet elektrikli küreğimsi kazıcının yıllık ortalama birim kazı-yükleme erke tüketimleri verilmiştir. Şekil 2’de ise 8 m³ ve 15 m³ makinelerin özgül kazı-yükleme erkeleri görsel olarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. YK (15 m³) kazıcılarda yıllık özgül kazı-yükleme erke verileri.

YK No. Yıl	YK34 (15 m ³) kWh/m ³	YK35 (15 m ³) kWh/m ³	YK36 (15 m ³) kWh/m ³	YK37 (15 m ³) kWh/m ³	YK38 (15 m ³) kWh/m ³	Yıllık Ortalama kWh/m ³
2008	0.29	0.56	0.44	0.45	0.47	0.44±0.09
2009	0.54	0.34	0.34	0.20	0.39	0.36±0.11
2010	0.49	0.53	0.82	0.49	0.38	0.54±0.15
2011	0.53	0.38	0.39	0.46	0.38	0.43±0.06
Ort.	0.46±0.10	0.45±0.09	0.50±0.19	0.40±0.12	0.41±0.04	0.44±0.06

Çizelge 2. YK (8 m³) kazıcılarda gerçekleşen yıllık özgül kazı-yükleme erke verileri.

YK No. Yıl	YK29 (8 m ³) kWh/m ³	YK30 (8 m ³) kWh/m ³	YK31 (8 m ³) kWh/m ³	YK32 (8 m ³) kWh/m ³	YK33 (8 m ³) kWh/m ³	YK39 (8 m ³) kWh/m ³	YK40 (8 m ³) kWh/m ³	Yıllık Ortalama kWh/m ³
2008	-----	----	0.49	----	0.34	0.82	0.62	0.57±0.20
2009	0.63	0.88	0.59	----	----	0.79	-----	0.72±0.14
2010	----	0.66	0.88	----	----	0.63	-----	0.72±0.14
2011	0.69	0.37	0.59	0.72	0.72	-----	-----	0.62±0.15
Ort.	0.66±0.04	0.64±0.26	0.64±0.17	0.72±0.00	0.53±0.27	0.74±0.10	0.62±0.00	0.65±0.07



Şekil 2. Elektrikli kazıcılarda kısa ve uzun süreli birim kazı-yükleme erkesi değerleri.

4 ÖZGÜL KAZI-YÜKLEME ERKESİ DEĞİŞTİRGENLERİ

Aşağıda belirtilen etkenler elektrikli küreğimsi kazıcının kazı-yükleme erkesi tüketimi ve üretkenliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Çoğu kez, kayaç doğrudan kazılabilir olsa bile yüksek üretim hızı ve düşük maliyet için örtü katmanının

gevşetilmesi yeğlenebilir. Burada, birim örtü kayacı miktarını gevşetmek için harcanan para delme, patlayıcı madde, patlatma işçiliği giderleri ile yerkazı aracının doğrudan kayacı kazıp yükleme hızı, giderleri ve aracın yakıt, enerji, yedek ve sarf malzemeleri ve aracın bileşenlerinin yıpranma giderleri karşılaştırılmalıdır. Ancak, çoğu kez büyük hacimlerin kazılıp yüklenmesi ve taşınması söz konusu ise patlatma hem üretim hızının artırılması hem de kazı araçlarının yıpranmaması bakımından en uygun çözümü oluşturmakta olup yeğlenmektedir. Dünyadaki uygulamalardan bunu görmekteyiz. İşin ölçeğine bağlı olarak, küçük ölçekli işlerde makinenin kazı gücünden yararlanmak yeterli olabilir, ancak büyük ölçekli işlerde delme-patlatma üretim hızını, miktarını arttırarak makinenin zorlanmadan daha az enerji tüketerek çalışmasını sağlar.

4.1 Kepçe Kamyon Uyumunun Erke Tüketimine ve Üretkenliğe Etkisi

Kepçe kaya taşıtı uyumu çok önemli olup mutlaka bu uyum sağlanmalıdır, ya kepçe ya da kamyon değiştirilerek uyumlu hale getirilmelidir, Şekil 3 Kural, kaya taşıtının en çok üç ya da dört kepçede doldurulmasıdır. Şekil 3’de görülen uygulamada 8 m³ kepçeli bir elektrikli kazıcı 40 tonluk karayolu türü taşıta yüklemektedir. Bu uygulama kaya taşıtı eksikliği yüzünden yapılmış bir deneme uygulamadır. Olağan uygulamada bu kazıcı 40 m³ tekne hacimli 80 ton’luk kaya taşıtlarını yüklemekte olup bunları beş kepçede doldurmaktadır. Bu deneme uygulama beklendiği gibi başarısız olmuştur. Operatör her ne kadar bu taşıtı iki kepçede doldurabiliyorsa da, kepçeyi dengeleyebilmek, tekne dışına dökmek için çaba harcarken döngü süresi uzamakta ve kepçe daha uzun süre havada tutulmak durumunda kaldığı için de yerkazı makinesinin tükettiği özgül birim erkesi artmaktadır.



Şekil 3. Karayolu taşıtını yükleyen 8 m³ kepçeli bir elektrikli kazıcı (Özdoğan 2006).

4.2 Delme-Patlatma Kepçe Uyumunun Erke Tüketimi ve Üretkenliğine Etkisi

Erke tüketimi süreye bağlı bir değişken olduğu için kazı-yükleme süresini arttırıcı her türlü eylemden kaçınılmalı, bu işlemin en az oyalanma ile yapılmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır. Bunlardan en önemlisi, kepçe büyüklüğü ve biçimi ile kaya parçalanışı, iriliği ve dağılımının uyumlu olmasıdır. Bir başka deyişle, yerkazı aracı büyüklüğüne uyumlu delik düzeni, patlatma düzeni ve özgül yük kullanılmalıdır ki yerkazı aracı kazıp yükler ve boşaltırken oyalanmasın. Bu tür oyalanmalar, erke tüketimi artışı yanında, iş döngüsü süresinin uzaması demek olup yapılan iş miktarında düşüşe neden olur.

4.3 Kepçedeki Yararlı Yükü İzlemenin Erke Tüketimi ve Üretkenliğine Etkisi

Kepçe yükü ölçü aygıtları yalnızca kepçe yükünü ölçmekle kalmayıp, web tabanlı raporlama yapabilirler, duraklama sürelerini saptayabilirler; bunlar üretken zamanlar, duraklamalar, gecikme sürelerini kaydederler ve yararlı yük veri tabanına rapor ederler.

Yararlı yük ölçü aygıtları ile patlatmanın ne derece etkili olduğu da izlenebilir. Yararlı yük ölçücüler, kepçe dolma erkesini, kepçe dolma süresini, kepçe içindeki yükü ölçerler. Patlatma düzen ve uygulamaları bu sayede değerlendirilebilir (Paterson ve Schroeder 2003). Bunun da ötesinde, kaya taşıtının da yararlı yükü, kaç kepçede ve kaç saniyede dolduğu, yerkazı aracının yürüyüş süreleri, doldurma süresince bum kaykılması (silkelenmesi) olup olmadığı izlenebilir.

Yararlı yük izleme düzenekleri yardımıyla, gerek kepçenin ve gerekse teknenin varılması yüke yakın dolması sağlanır; böylece kepçe hedef yüke yakın olduğundan boşa enerji harcanmamış olur. Kepçe, hedef yüke yakın dolmalıdır. Sapma %5'den çok olmamalıdır.

Yukarıda belirtilen raporlar, anında görüntü, gerek yerkazı aracı kullanıcısının ve gerekse ocak yönetiminin eksikleri görüp anında düzeltilmesini sağlar. Böylece, gereksiz enerji tüketiminin önüne geçilmiş olur.

4.4 Yerkazı Aracı Teknik Özelliklerinin Erke Tüketimi ve Üretkenliğine Etkisi

Burada kayacın kazılabilirliğinden ziyade yerkazı aracının kazanlılığı (kazı-yükleme yeteneği) önemlidir; beygir gücü kepçe kapasitesi oranı, HP/m^3 , çalışma ağırlığı kepçe kapasitesi oranı, ton/m^3 , kazı gücü, kaldırma ve yükleme gücü, kepçesinin doluş özellikleri, aracın MUF ve K katsayısı, düzeltilmiş MUF katsayısı gibi teknik özellikleri, aracın erke tüketimini ve üretkenliğini etkilediği bilinmektedir.

Makinenin özgül kazı enerjisi tüketimi, kWh/m^3 , yerkazı makinesinin yukarıda belirtilen teknik özelliklerince etkilenmektedir. Ancak, özgül kazı erke tüketimini düşürmenin gerçek yolu daha verimli, daha üretken çalışarak birim sürede daha çok örtü katmanı kazmaktan geçmektedir.

Bunun için de düzenli ve etkin bakım-onarım programları, etkin ikmal, özgün yedek ve bileşen kullanımı ile makinenin arıza yüzdesini azaltarak beklenmeyen duraksamaları en aza indirmektedir. Ayrıca, ocak içi enerji dağıtım sisteminde aktif

reaktif enerjinin dengelenmiş olması da özgül erke tüketimi önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Talay 2012).

4.5 Başka Etkenlerin Kazı-Yükleme Erkesi Tüketimi ve Üretkenliğine Etkisi

Birim erke tüketiminin azaltılması, belirtilen süre içinde yapılan işe bağlıdır. Bu süre içinde ne kadar çok iş yapılırsa, birim hacim başına düşen erke tüketimi o kadar düşer. Bir bakıma verimliliğin, üretkenliğin de bir ölçütüdür. Bu nedenle üretkenliği etkileyen değişkenler yerkazıcının elektrik tüketimini de etkiler. Bunlar şöyle özetlenebilir:

- Yerkazıcıya döküm yeri uzaklığına göre yeterli sayıda kaya taşıtı ayırmak.
- Operatörün eğitimi, becerisi ve deneyimi.
- Kepçe biçimi, tasarımı ve katsayısı, kepçe dişlerinin yenilik ve keskinliği.
- Basamak geometrisi; basamak yüksekliği, en uygun dönüş açısı, iki yanlı yükleme.
- En uygun kazı derinliği ve kepçe kaldırış kuvvetini ayarlayan düzenek (Optidig), bum silkinmesini önleyen düzenek (anti-boom jacking) ve üretim izleme düzenekleri (production monitors) gibi teknolojik ve izleyici aygıtların etkisi.
- Bakım-onarım programlarının etkinliği, bakım-onarım ekiplerinin eğitilmiş olmasının etkisi.
- Nitelikli ve özgün yedek parça, bileşen ve tüketim gereçleri kullanılmasının etkisi.

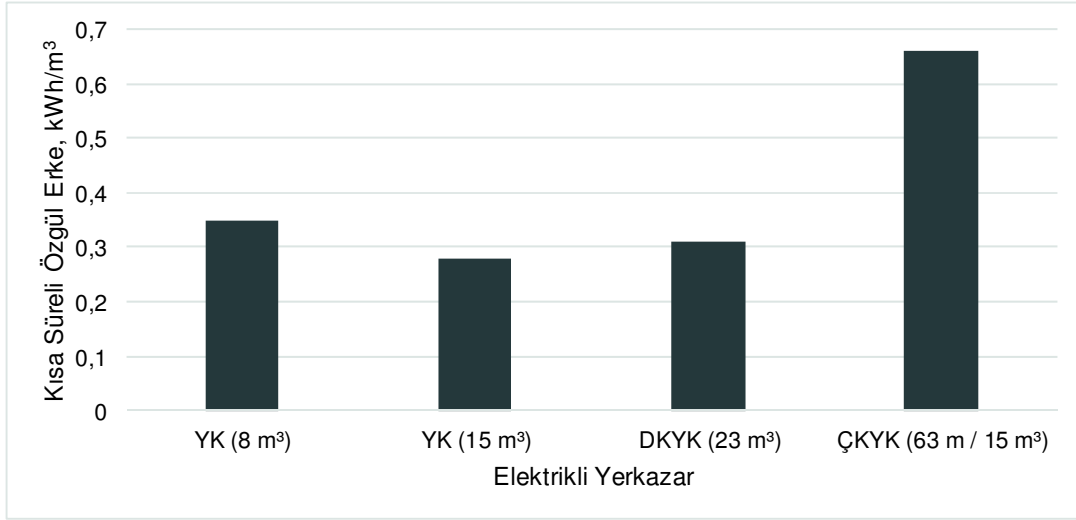
5 ELEKTRİKLİ YERKAZI MAKİNESİ TÜRLERİNDE ERKE TÜKETİM DÜZEYLERİ

Linyit içeren Neojen yaşlı tortul kaya katmanlarında çalışan elektrikli küreğimsi yerkazarların özgül erke tüketim değerleri ile aynı ya da yakın kapasiteli çekme kepçeli yerkazar ve döner kepçeli yerkazar özgül erke değerleri karşılaştırması Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Yerkazıcılarda kazı-yükleme, kazı-boşaltma ve kesme özgül enerji düzeyleri.

Özgül Erke Tüketimi Yerkazar Türü ve Kapasitesi	Ortalama Döngü Süresi, s	Ortalama Kazı Evresi Erke Tüketimi kWh/m ³	Yıllık Erke Tüketimi kWh/m ³ (dört yıllık)
YK (8 m ³)	25±0.6 *	0.25±0.01*	0.65±0.07
YK (15 m ³)	30±1.7*	0.16±0.03*	0.44±0.06
ÇKYK1 (63 m/15 m ³)	68±4**	0.66±0.04**	0.90±0.05
DKYK (23 m ³) Tüm Örtü Katmanı (Bitkisel Toprak-a dahil)	239±57*** (0.45±0.09 m)	0.31±0.19***	???????

* Ceylanoğlu 1991, ** Özdoğan 2010, *** Koncagül 1997



Şekil 4. Elektrikli kazıcı türlerinde kısa dönem birim kazı-yükleme erkesi düzeyleri.

6 SONUÇLAR

Beş adet 15 m³ yükleme yetili elektrikli kazıcının dört yıllık ortalama birim erke tüketimi 0.44±0.06 kWh/m³ olmuştur. Bu makinelere, kapasitelerinin büyüklüğü kamyon sağlamada öncelik verilmektedir. 8 m³ kapasiteli kazıcılara göre özgül elektrik tüketimlerinin düşüklüğü daha düzenli ve programlı çalışmalarından yeterli sayıda kaya taşıtı ile çalışıp beklememelerinden kaynaklanmaktadır. Bu kazıcı araçlar DC Statik tahrikli olup tasarımı gereği de daha düşük enerji tüketmektedir.

Aynı işletmede kaya kamyonu bulundukça değişimli olarak çalışan yedi adet 8 m³ küreğimsi kazıcının dört yıllık ortalama özgül erke tüketimi ise 0.65±0.08 kWh/m³ olmuştur. Özgül elektrik tüketim değerlerinin yüksek çıkması kamyon bulundukça programsız ve düzensiz bir biçimde çalışmalarından ve tasarımları gereği Fuko akımlı kepçe kaldırış (hoist) kavramasından (Magnetorque) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca, yıllık birim elektrik tüketim değerlerinin çok kısa bir süreyi kapsayan değerlerden yüksek çıkması beklenir. Uzun dönemli tüketimler, boşta çalışmaları, kaya taşıtı beklemelerini, yetersiz kaya taşıtı sayılarını, buldozer çalışma sürelerini, vardiya değişimi boşluklarını, motor ısıtıcılarını, bakım onarımdaki elektrik tüketimini, aynı trafodan beslenen elektrikli tulumaları, aydınlatma dizgelerini vb. içerir.

Gevşetilmiş örtü katmanının kazılıp yüklenmesinde örtü kayasının kazılabilirliğinin önemi yoktur, özgül patlayıcı yükün önemi vardır. Burada birim erke tüketimini etkileyen kepçe içindeki yükün miktarı ve ağırlığıdır. Bunu da, kayacın yoğunluğu, kepçe içine dolarken sıkışması, kepçenin dolma katsayısı gibi değişkenler etkiler. Bu değişkenler, kayacın kazılabilirlik özelliklerinden çok kaya parçalanışı, parça büyüklüğü, parça dağılımına bağlıdır. Kepçenin basamakta kolay ve içinde boşluk kalmadan dolması istenir. Kepçe basamakta kolay dolmalı, ama doluş yüzdesi de yüksek olmalıdır. Bu durum, enerji tüketiminin en uygun olduğu durumdur.

Gevşetilmiş örtü katmanının kazılıp yüklenmesinde özgün örtü kayasının kazılabilirliğinin önemi kalmaz, ancak dokunulmamış kayanın özelliklerine ait verilerin delme-patlatma tasarımında, özgül patlayıcı yükün belirlenmesinde, kazı-yükleme aracı ve kepçe seçiminde yararı olabilir. Burada, birim erke tüketimi etkileyicisi kepçe içindeki yükün miktarı ve ağırlığıdır. Bu da kayacın yoğunluğu, kepçe içine dolarken sıkışması, kepçenin dolma katsayısı gibi değişkenlerce etkilenir. Bu da kayacın kazılabilirlik özelliklerinden daha çok kaya parçalanışı, parça büyüklüğü, parça dağılışı gibi etkenlere bağlıdır. Kepçenin basamakta kolay ve içinde boşluk kalmadan dolması istenir. Kepçe basamakta kolay dolmalı, ama dolma yüzdesi de yüksek olmalıdır. Bu durum, enerji tüketiminin en uygun olduğu durumdur. Kepçe, varılasi (hedef) yüke yakın dolmalıdır. Sapma %5'den çok olmamalıdır. Bu da gerek kazı-yükleme aracında gerekse kaya taşıtında bulunan yük ölçer ile izlenebilir.

Makinenin özgül kazı-yükleme enerjisi tüketimi, kWh/m³, yerkazı makinesinin teknik özelliklerince de etkilenmektedir. Ancak, özgül kazı erke tüketimi miktarını düşürmenin en iyi yöntemi verimli ve üretken çalışarak birim sürede daha çok örtü ya da cevher kazmaktır. Bunu sağlamanın, yükleme birimi ve kullanıcısının başarısını anlamının en iyi yolu, kepçe dolma çarpanının yararlı yükün ölçülerek izlenmesidir. Ayrıca, ocak içi enerji dağıtım sisteminde aktif reaktif enerjinin dengelenmiş olması da özgül erke tüketimi üstünde önemli bir etkiye sahiptir. Eşdeğer makineler arasından özgül kazı enerjisi daha düşük olanlar yeğlenmelidir, çünkü enerji tüketimi birincil giderlerden biridir.

Çalışmaya konu olan bu küreğimsi kazıcılar 1980'li yılların, çekme kepçeli kazıcı ise 1970'li yılların yapımı olup o yılların teknolojisini yansıtmakta olup görece yaşlıdır. Bugünkü teknolojik gelişmelerin ışığında üretilen yeni kuşak makinelerin başarımının daha yüksek, birim erke tüketiminin daha düşük olması beklenir. Yazıda belirtilen veriler yalnızca gösterge niteliğindedir. Yeni projelerde enerji tüketimlerini hesaplarken, yerkazı aracı üreticilerince verilen veriler göz önüne alınmalıdır.

7 KAYNAKLAR

- Ceylanoğlu, A. 1991. *Performance Monitoring of Electrical Power Shovels for Diggability Assessment in Surface Coal Mines*, Ph.D. Thesis, METU, Ankara, 228 p.
- Hindistan, M. A. 1997. *Development of a Computer Based Monitoring System and Its Usage for Power Shovel's Monitoring*, Ph.D. Thesis, METU, Ankara, 139 p.
- Özdoğan, M. 2002. Elektrikli Yerkazı Makinalarının Kazı Gücü Etkileyicileri ve Karşılaştırma Ölçütleri, *Madencilik*, 41, 4, s. 3-10.
- Özdoğan, M. 2003. Elektrikli Yerkazı Makinalarında Özgül Enerji Tüketimi ve Kazı Zorluğu Dizelemesi, *Madencilik*, 42, 2.
- Özdoğan, M. 2006. *Yayınlanmamış Fotoğraf*.
- Özdoğan, M., Taksuk, M. 2010. Yürüyen Çekmekepçede Kazı Erkesinin ve Üretkenliğin Kazı Derinliği ile Değişimi-Olgü Çalışması, *Madencilik*, 49, 4, s. 27-36.
- Özdoğan, M. 2013. Drag Energy Consumption Percentage (DECP) Concept As a Tool for Comparison of Digging Difficulty (DD) at Dragline Stripping Panels, *V. Balkan Mining Congress Proceedings*, pp. 51-57, Ohrid, Macedonia.
- Paterson, L. B., Özdoğan, M. 2001. Performance of the Bigger, Faster and Smarter New Generation Electric Mining Shovels, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi*, s. 237-242, Ankara.
- Paterson, D., Schroeder, C. 2003. *Accuweigh Production Monitoring Systems*, DCS, Texas, USA.
- Talay, T. 2002. *Kişisel Görüşme*.

YERALTI MADEN İŞLETMELERİNDE ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ YÖNTEMİ İLE UYGUN VANTİLATÖR SEÇİMİ

SELECTION OF APPROPRIATE FAN USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AT UNDERGROUND MINING

N. Kurşunoğlu, M. Önder

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET: Yeraltı maden işletmeleri için havalandırma hayati öneme sahiptir. Havalandırmayı gerçekleştirecek olan vantilatörler, seçimlerinde birçok faktörün dikkate alınması gereken en önemli donanımlardır. Bu çalışmada, örnek bir maden ocağı için uygun vantilatör seçiminde etkili olabilecek kriterler belirlenmiş ve ele alınan maden ocağının şartlarına uygun olarak belirlenen alternatif firmalar çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Vantilatör seçiminde göz önüne alınan kriterler değerlendirilmiş ve bu kriterlere uygun hiyerarşik bir model oluşturulmuştur. Bu model üzerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak, alternatif üretici firmalar arasından en uygun vantilatör seçimi gerçekleştirilmiştir.

ABSTRACT: Ventilation is a vital process for underground mining. Fans which will perform ventilation are the most important equipment that many factors needed to be considered in the selection of them. In this study, the criteria that can be effective for the selection of an appropriate fan for an underground mine were determined and alternative firms which are determined in accordance with the requirements of considered mine were assessed. The criteria taken into account in the selection of fans were assessed and a hierarchy based model was composed according to these criteria. Selection of the most appropriate fan among alternative manufacturing firms was achieved using the method of Analytic Hierarchy Process (AHP) in this model.

1 GİRİŞ

Yeraltında bulunan doğal kaynakları yeryüzüne çıkarmanın ilk koşulu, yeraltındaki çalışma yerlerinde güvenli ve rahat çalışma koşullarının oluşturulmasıdır. Bu da ancak yeterli miktardaki temiz havayı yeraltına göndermekle sağlanmaktadır. Bu işleme “madenlerde havalandırma” adı verilmektedir.

Madenlerde yapılan hazırlık ve üretim çalışmaları sırasında yeraltına gönderilen temiz hava; cevher, kömür damarı ve çevre kayalar içerisinde bulunan zararlı gazlar ile birlikte cevher ve kömürün oksidasyonu sonucu ocak havasına karışan gazlar ve oluşan tozlar nedeniyle kirlenmektedir. Ayrıca yeraltı çalışanlarının solunumu, patlayıcı maddelerin kullanımı ve kullanılan makinelerin çalışması sonucunda ocak havasındaki oksijen miktarı azalmaktadır. Bunun yanında derin ocaklardaki yüksek sıcaklık ve nem de çalışma koşullarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Ocak havası içinde bulunması mümkün olan zehirli (CO , H_2S , SO_2 vb.), patlayıcı (CH_4 , H_2 , CO , vb.), boğucu (CO_2 , N_2 , CH_4 , vb.) gazlar; patlayıcı (kömür tozu) ve sağlığa zararlı olan ocak tozları yeraltında tehlikeli çalışma ortamı oluştururlar. Bu olumsuzlukları gidermek ve gerekli oksijeni sağlamak amacıyla yeterli miktarda temiz havanın yeraltına gönderilmesi ve bu işlem yerine getirilirken düzenli hava ölçümlerinin yapılarak ocak havasının sürekli olarak kontrol altında tutulması gerekmektedir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı 2011).

Yukarıda belirtilen açıklamalar doğrultusunda ocak havalandırması için gerekli vantilatörlerin özellikleri ve seçimi yeraltı maden ocakları için önem taşımaktadır. Dolayısıyla, yeraltı ocaklarına vantilatör seçimi ihtiyacı doğmaktadır. Bu yüzden doğru vantilatör seçmek yeraltı maden ocağı işletmecileri için kritik öneme sahiptir. Vantilatör seçimi zaman alıcı ve zor bir süreç olup, uygun ve verimli bir vantilatör seçimi için bu süreçte karar verici tarafından ocağın tüm şartlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Vantilatör seçimi işleminde karar vericiyi zor durumda bırakan durumlardan biri de pek çok alternatif arasından en uygun olanı belirlemektir. Günümüzün rekabet ortamında ocak vantilatörü üretimini gerçekleştiren birçok firma mevcuttur. Bu firmalar arasından en uygun olanı seçmek; karar vericinin, vantilatör alımını yapacağı firmaların birbirine göre zayıf ve kuvvetli yönlerini göz önünde bulundurması gereken bir süreçtir. Bu süreçte; vantilatör seçimi probleminin yönelik kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Çok sayıda kriter ve alternatifin çözümüne yönelik geliştirilen çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri halen pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır.

ÇKKV problemleri, Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) olarak iki büyük kategoriye ayrılmaktadır (Hwang ve Yoon 1981). ÇÖKV'nin bir karar durumu ile ilgili olarak birden fazla kriteri değerlendirerek en uygun çözüme ulaşmaya çalışan yöntemleri barındırmasından hareketle, çalışma kapsamında ele alınacak olan vantilatör seçimi probleminin çözüm süreci çok ölçütlü karar analizine uygun şekilde modelleneyecektir. Bu amaçla, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan ve Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process - AHP) yöntemi tercih edilmiştir.

1.1 Vantilatörler

Ocaklarda vantilatör vasıtasıyla sağlanan havalandırmaya “Mekanik Havalandırma” denir. Vantilatörler giriş ve çıkışları arasında basınç farkı meydana getirerek havanın hareket etmesini sağlarlar. Bu basınç farkı depresyon veya kompresyon ile sağlanır. İlk durumda vantilatör emici, ikinci durumda ise üfleyici olarak çalışır. Ocak vantilatörleri genellikle yer üstüne yerleştirilirler. Yerüstünde vantilatörler emici veya üfleyici, yeraltında ise hem emici hem de üfleyici olarak çalışabilir. Vantilatörler kullanım amacı ve yerleştirme yerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar (Yalçın ve Gürgen 1999):

- Ana Vantilatörler: Genellikle yer üstüne yerleştirilirler ve ocağın tamamının veya büyük kısmının havalandırılmasında kullanılırlar.
- Kol Vantilatörleri: Ocak içinde belirli yollara yerleştirilirler ve o koldan geçen hava miktarının artmasını ve basınç kayıplarının azaltılmasını sağlarlar.
- Toplayıcı Kol Vantilatörleri: Havanın kısa devre yapmasını önlemek amacıyla ocak içinde kullanılan vantilatörlerdir.
- Tali Havalandırma Vantilatörleri: Ocak içinde yardımcı havalandırma işlerinde kullanılan vantilatörlerdir.

2 ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP)

AHP, seçeneklerin açıkça bilindiği ancak karar vermede etkisi olan koşulların (kısıtların) matematiksel olarak ifade edilemediği karar verme problemlerinde uygulanır. Bu tür problemlere sonlu seçenekli kapalı kısıtlı problemler denir. Burada amaç, belirlenen ölçütlere göre istenen hedefe en uygun seçeneği belirlemektir. Bir başka deyişle belirlenen ölçütleri en fazla sağlayan seçenek belirlenmeye çalışılır. AHP, karar vericinin kişisel yargı ve değerlendirmelerine bağlı olarak seçenekleri en önemliden en önemsiz doğru sıralar. Hatta seçeneklerin önem derecesini de belirleyerek seçeneklerin birbirine ne kadar yakın veya uzak olduğunu, bir seçeneğin belirlenen hedefi ne kadar sağladığını da gösterir. Bu nedenlerle çok kullanışlı ve geniş uygulama alanına sahip bir tekniktir. Öte yandan AHP’nin seçenekler arasında güvenilir bir öncelik sıralaması verebilmesi onun güçlü yanını oluşturmaktadır (Sipahioğlu 2008).

2.1 AHP Yönteminin Uygulama Adımları

Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: AHP sürecinin ilk aşamasında tepeden başlayarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Bu amaçla birinci seviyede amaç, orta seviyede kriterler, alt kriterler ve en düşük seviyede ise alternatifler bulunur (Saaty 2008).

İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması: Amaç, kriterler ve alt kriterler belirlendikten sonra kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerinin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, Çizelge 1’de gösterilen ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Özvektörün (Görelî Önem Vektörünün) Belirlenmesi: Oluşturulan karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla sütun toplamaları alınır ve

her değer kendi sütun toplamına bölünür. Böylece normalize edilmiş matris elde edilir. Ağırlıkların elde edilmesi için ise satır ortalaması alınır.

Çizelge 1. İkili karşılaştırma matrisi.

	Öge 1	Öge 2		Öge n
Öge 1	W_1/W_1	W_1/W_2		W_1/W_n
Öge 2	W_2/W_1	W_2/W_2		W_2/W_n
.	.	.		.
.	.	.		.
Öge n	W_n/W_1	W_n/W_2		W_n/W_n

Özvektörün Tutarlılığının Hesaplanması: Ağırlıklar elde edildikten sonra karşılaştırma matrisinin tutarlılığına bakılması gerekir. Eğer karşılaştırma matrisi tutarlı değilse, elde edilen ağırlıklar kullanılamaz. Tutarlılık oranının (CR) hesaplanabilmesi için öncelikle A matrisinin en büyük özvektörünü ($\lambda_{\max}$) hesaplamak gerekmektedir. Tutarlılık oranının bulunmasından bir önceki adım tutarlılık göstergesinin (CI) hesaplanmasıdır. CI değeri hesaplandıktan sonra, elde edilmesi gereken başka bir değer de Rassallık Endeksi (RI)'dir. Bu değer farklı matris boyutları için çizelge haline getirilmiştir (Saaty 1990). Farklı matris boyutları için RI değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Rassallık Endeksi verileri.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Son olarak CI'nın RI'ya oranıyla tutarlılık oranı (CR) elde edilir. AHP uygulamalarında CR'nin 0.1'den daha az olması, yapılan uygulamanın tutarlı olduğunu gösterir. Eğer bu değer aşılsa yapılan yargılar tekrar gözden geçirilmelidir (Saaty 2000).

3 UYGULAMA

Çalışma kapsamında seçilen maden ocağı, Muğla ili, Milas ilçesi, Alatepe köy yakınlarında bulunmaktadır. Yeraltı hazırlık galerileri devam etmekte olup hava gidiş galerisi B5 kesitinde 700 m, hava dönüş galerisi ise yine B5 kesitinde, 650 metredir. Galeriler aynı kotta, birbirine paralel, kuzeybatı istikametinde sürülmekte olup aralarında 30 m topuk bulunmaktadır. Her iki galeri de aynı kotta olduğundan dolayı herhangi bir doğal havalandırma basıncı oluşturulamamaktadır. Havalandırma cebri olarak yapılmaktadır. Ana ihraç galerisi 650. metrede 1 m kömür kesmiş olup, pano hazırlıklarına bu kömür damarı içerisinde başlanacaktır. Maden ocağının her iki hazırlık galerisine, iki adet aynı tip vantilatör ile kömür aynasına kadar temiz hava üfletilmesi planlanmaktadır. Pano ve ayakları tamamlanıp, ayak içerisinden hava dönüşü sağlandığında, vantilatörlerden biri, aspiratör olarak hava dönüş yolu üzerine kurulacak ve pis hava bu noktadan emdirilecektir. İhtiyaç halinde diğer vantilatör üfleyici vantilatör olarak, ocak içerisinde ihtiyaç duyulan bölgeye temiz hava iletimini sağlayacaktır. İşletmede kullanılan mevcut vantilatöre ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Vantilatör basıncı: 2350- 490 pA
Vantilatör gücü: 11 kW
Vantilatör hava debisi: 225 m³/dak
Vantilatör çapı: 596 mm
Pervane çapı: 560 mm

Bu koşullar altında, maden ocağı işletme müdürüne, vantilatör seçiminde dikkate alınması gereken parametrelerden olan güvenlik, maksimum enerji ekonomisi, üretim koşullarında esneklik, gürültü düzeyi, titreşim, teslimat, kalite güvence ve teknik destek kriterlerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla anket yapılmıştır. Elde edilen anket sonuçları ve vantilatör üretici katalogları incelenmiş, ocak koşullarına uygun olan ve yukarıda özellikleri verilen vantilatöre yakın teknik özelliklerde olan 3 adet farklı tip vantilatör belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle çalışma kapsamında, ele alınan yeraltı maden ocağı için ihtiyaç duyulan en uygun vantilatör seçimi AHP yöntemi kullanılarak yapılacaktır. Belirlenen alternatif firmaların ürettiği 3 farklı aksiyel vantilatöre ait özellikler Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Değerlendirilen vantilatör firmaları ve özellikleri.

	FANTEK (FİRMA 1)	KORFMANN (FİRMA 2)	AEROVENT (FİRMA 3)
Basıncı (Pa)	2,350-490	2,340-450	2,200-500
Hava Debisi (m³/s)	3.5	4.1	6
Güç (kW)	11	15	18.5
Ses Seviyesi (dB)	90	85	80

Vantilatör seçiminde kullanılacak kriterler ve alternatifler hiyerarşik olarak Şekil 1’de görülmektedir.

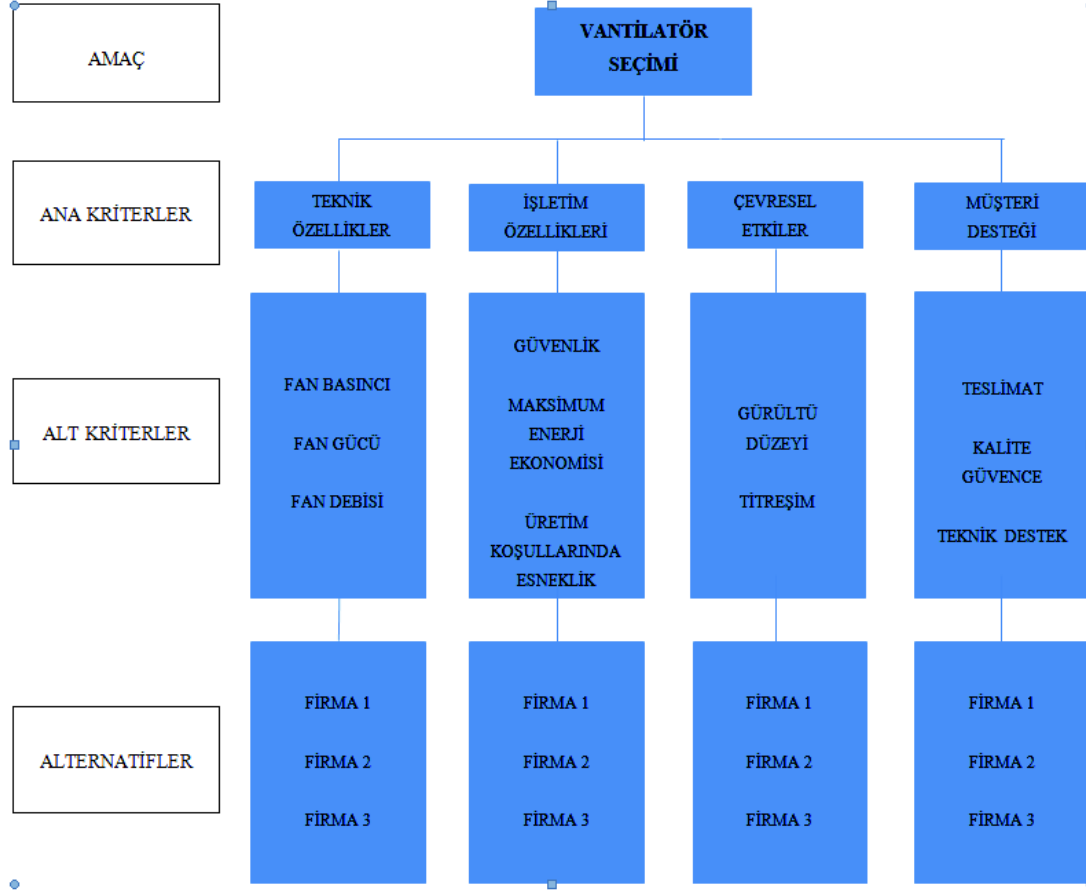
Uygulama aşamasında; oluşturulan hiyerarşik yapı çerçevesinde belirlenen kriter, alt kriter ve alternatiflerin değerlendirmesi yapılmıştır. Bütün değerlendirmeler işletme müdürü tarafından yapılmış olan anket sonuçları çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi amacıyla ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri Expert Choice 2000 yazılımına aktarılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Expert Choice 2000 yazılımının genel bir görünümü Şekil 2’de verilmiştir. AHP uygulaması sonucunda elde edilen tüm sonuçlara ilişkin özet veriler Çizelge 4’de verilmiştir.

3.1 AHP Sonuçlarının Değerlendirilmesi

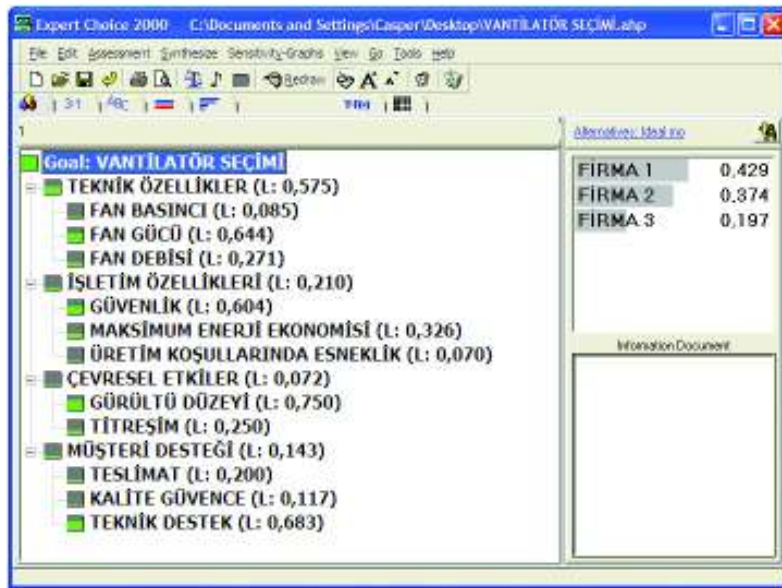
Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi problemin çözümünü oldukça kolaylaştırmakta ve karar vericilerin doğru kararlar vermelerine olanak sağlamaktadır. Yöntemin özünü oluşturan ikili karşılaştırmalar sayesinde alternatifler arasından en uygun olan seçilir.

Çalışmada, vantilatör seçiminde ana kriterler teknik özellikler, işletim özellikleri, çevresel etkiler, müşteri desteği olarak belirlenmiş ve ikili olarak karşılaştırılmıştır. Buna göre en önemli ana kriter teknik özelliklerdir (0.575). Diğer ana kriterlerin önem

sıralaması ise işletim özellikleri (0.210), müşteri desteği (0.143), çevresel etkiler (0.072) şeklindedir.



Şekil 1. Vantilatör seçimi probleminin hiyerarşik yapısı.



Şekil 2. AHP çözüm sonuçlarının genel görüntüsü.

Çizelge 4. AHP uygulama sonuçları.

ANA KRİTERLERİN GÖRELİ ÖNCELİKLERİ		ANA KRİTERLER BAZINDA ALTERNATİFLERİN GÖRELİ ÖNCELİKLERİ			ALT KRİTERLERİN GÖRELİ ÖNCELİKLERİ		ALT KRİTERLER BAZINDA ALTERNATİFLERİN GÖRELİ ÖNCELİKLERİ		
		FİRMA 1	FİRMA 2	FİRMA 3			FİRMA 1	FİRMA 2	FİRMA 3
Teknik Özellikler	0.575	0.416	0.457	0.127	Vantilatör Basıncı	0.085	0.727	0.200	0.073
					Vantilatör Gücü	0.644	0.287	0.635	0.078
					Vantilatör Debisi	0.271	0.637	0.105	0.258
İşletim Özellikleri	0.210	0.453	0.251	0.296	Güvenlik	0.604	0.793	0.076	0.131
					Mak. Enerji Ekonomisi	0.326	0.097	0.388	0.515
					Üretim Koşullarında Esneklik	0.070	0.094	0.740	0.167
Çevresel Etkiler	0.072	0.195	0.277	0.528	Gürültü Düzeyi	0.750	0.075	0.333	0.592
					Titreşim	0.250	0.498	0.135	0.367
Müşteri Desteği	0.143	0.573	0.276	0.151	Teslimat	0.200	0.415	0.500	0.086
					Kalite Güvence	0.117	0.566	0.373	0.061
					Teknik Destek	0.683	0.634	0.174	0.192

Çalışmada ana kriterlerin alt kriterleri de karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre teknik özellikler alt kriterlerinin karşılaştırılmasında alt kriterler; Vantilatör gücü (0.644), Vantilatör debisi (0.271), Vantilatör basıncı (0.085) olarak sıralanmıştır.

İşletim özellikleri alt kriterlerinin karşılaştırılmasında alt kriterler; güvenlik (0.604), maksimum enerji ekonomisi (0.326) ve üretim koşullarında esneklik (0.070) olarak sıralanmıştır.

Çevresel etkiler alt kriterlerinin karşılaştırılmasında alt kriterler; gürültü düzeyi (0.750), titreşim (0.250) olarak sıralanmıştır.

Müşteri desteği alt kriterlerinin karşılaştırılmasında alt kriterler; teknik destek (0.683), teslimat (0.200), kalite güvence (0.117) olarak sıralanmıştır.

Çalışma sonucunda; yeraltı maden ocağı için seçilecek en uygun vantilatörün, %42.9 değeri ile FANTEK (FİRMA 1) firmasının üretmiş olduğu vantilatör olduğuna karar verilmiştir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışma ile elde edilen bulgular doğrultusunda; vantilatör seçiminin hiyerarşik yapısı ortaya konmuş, amaç, ana kriterler, alt kriterler ve üretici firmaların göreceli öncelikleri toplu bir bakış açısıyla sunulmuştur. Burada vurgulanması gereken bir husus kriterlerin önem sırasının farklı karar vericilere göre değişebileceğidir. Çünkü her karar verici kendi maden ocağının şartları ve politikaları doğrultusunda değerlendirme yapacaktır. AHP, bu çalışmada vantilatör seçimine başarıyla uygulanmıştır. Bu yöntemin başarısı, kriterlerin ve ağırlıkların doğru belirlenmesi, karşılaştırma matrislerinin tutarlı olması şartına bağlıdır. AHP'den faydalanarak zor problemlerin çözümleri elde edilebilir ve elde edilen sonuçların bir maden ocağı işletmecisi tarafından doğru kararlar verilerek ocak için en uygun vantilatörün seçimine katkı sağlaması beklenebilir.

5 KAYNAKLAR

- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2011. *İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi*, 43, 26.
- Hwang, C. L., Yoon, K. P. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Berlin, Springer-Verlag.
- Saaty, T. L. 1990. *The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- Saaty, T. 2000. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, RWS, Pittsburgh.
- Saaty, T. L. 2008. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Services Sciences*, 1, pp. 83-98.
- Sipahioğlu, A. 2008. *Analitik Hiyerarşi Süreci Ders Notları*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- Yalçın, E., Gürgen, S. 1999. *Vantilatör Seçimi*, Madenlerde Havalandırma, s. 185-206.

**AĞIR ORTAM TAMBURU PERFORMANS
DEĞİŞİMİNİN ZAMANA BAĞLI OLARAK
MODSIM© SİMULASYON
PROGRAMI İLE İNCELENMESİ**
*INVESTIGATION BY MODSIM© SIMULATION
PROGRAM AS DEPENDING ON TIME OF THE
PERFORMANCE CHANGE
OF THE HEAVY MEDIA DRUM*

Y. Umucu

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

V. Deniz

Hitit Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum

M. Y. Altıniğne

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET: Manisa -Soma bölgesinde bulunan Soma Uyar şirketinin mevcut ağır-ortam tamburunun performans değerleri; beslenen, temiz kömür ve şist ürünlerinden, alınan numuneler yüzdürme batırma testlerine tabi tutularak saatlik değişime göre ayırma yoğunluklarına göre temiz kömür miktarı ve temiz kömür % kül değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra, Soma Uyar şirketinin ağır ortam tamburundan (AOT) gerçek zamanlı olarak elde edilen temiz kömür miktarı ve temiz kömür % kül değerleri ile MODSIM© gibi bir benzetim programında yer alan ağır ortam tamburu ile yapılan benzetimden elde edilen temiz kömür miktarı ve temiz kömür % kül değerleri ile karşılaştırmaları yapılarak benzetim başarısı yorumlanmıştır.

ABSTRACT: In this study, time-dependent performance of heavy-medium drum were determined with sink-float testing of clean coal and schist samples taken from drum feeding at Soma Uyar Coal Co. located at Manisa-Soma region. Later, from heavy media drum (HMD) Soma Uyar company, obtained clean coal amount and clean coal ash % values in real time with a simulation program as MODSIM© has situated in the heavy media drum was made simulation which was the clean coal amount and clean coal ash % were compared and simulation success was interpreted.

1 GİRİŞ

Ülkemizde kömürlerin büyük bir bölümünün orta ve zor yıkanabilir özelliğe sahip olmaları, ağır ortam yöntemi ile yıkama gerekliliğini doğurmuştur. Son yıllarda, ülkemiz kömür ocaklarının özelleştirme sürecine girmesinden, birçok özel girişimciyi devletin çoğu ocağını işletir duruma getirmiştir. Özel sektör, önceleri tüvenan kömürü çıkarıp doğrudan satışa sunmuş, fakat kaliteli kömüre olan talebin ve rekabetin artması sonucu birçok firma yıkama tesisi kurmak zorunda kalmıştır (Deniz ve Umucu 2004).

Kömür de uygulanan yıkanabilirlik özelliğinin tespiti amacıyla yapılan yüzdürme-batırma testleri, kurulması planlanan bir kömür yıkama tesisinin tasarımı için önemli bir yer teşkil edip ilk adım olarak görülmektedir. Yapılan testler, kömürün farklı yoğunluk fraksiyonlarında dağılımı hakkında bilgi vermesi yanında, söz konusu kömürün yıkama işlemine tabii tutulması sonucunda elde edilebilecek ürünlerin miktarı ve kül oranları hakkında teorik bir bilgi vermektedir. Verilerin teorik olmasından dolayı, çoğu zaman uygulamada farklılıkların çıktığı görülmektedir. Oysa tesiste kullanılan cihazların ayırma performanslarının bilinmesi durumunda, yıkanması düşünülen kömürden elde edilecek temiz kömür ve şist miktarlarının önceden gerçeğe yakın değerler ile tahmini mümkün olabilmektedir. Ayrıca, kurulu bulunan cihazın ayırma sınır yoğunlukları değiştirilerek elde edilecek temiz kömür miktarları ve kül oranlarının tahmin edilebilmesi de mümkündür. Kömür yıkama cihazının ayırma performansı, ekipmanın yapısına ve çalışma şartlarına, ayırma ortamına, besleme miktarına, beslenen kömürün külüne, kömür boyutuna ve dağılımına bağlıdır (Leonard 1979, Burt 1984, Osborne 1988, Kemal 1987, Kemal vd. 1988, Umucu vd. 2012, Deniz vd. 2004).

Kömürü yıkayan ekipmanın performansı için ilk defa 1937 yılında Tromp tarafından bir hesaplama ve eğri çizimi önerilmiştir. Bu eğri, “Tromp” veya “Dağılım Eğrisi” olarak isimlendirilmiştir. Dağılım eğrisinin şekli, tüvenan kömürün özelliklerinden ziyade, kullanılan yıkama cihazının ayırma hassasiyetine bağlıdır. Bu eğriden yararlanılarak, farklı yıkama cihazları arasında mukayese yapılabildiği gibi, aynı yıkama cihazında uygulanan farklı yıkama koşulları da kıyaslanabilir. Bir dağılım eğrisinin özelliğini yansıtan ve yıkama sonuçlarının değerlendirilmesine yarayan, çeşitli kriterler mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanlar, hata faktörü ve hassasiyet faktörüdür. Dağılım eğrisinde, %25 ve %75 dağılım faktörlerine karşılık gelen yoğunluk farkının yarısı hata faktörü (Ep) olarak tanımlanmaktadır. Hata faktörü ne kadar düşük olursa, ayırma hassasiyeti o kadar yüksek demektir. Yoğunluk farkı ile çalışan yıkama cihazlarında, genellikle düşük yoğunlukta yapılan ayırmalar yüksek yoğunlukta yapılan ayırmalara nazaran daha hassas olmaktadır. Bu nedenle dağılım eğrisinin özelliği, yani cihazın ayırma hassasiyeti, ayırma yoğunluğuna göre değişmektedir. Ayırma yoğunluğundan ötürü hassasiyet farklılığını gidermek için hassasiyet faktörü (Is) kullanılmaktadır (Ateşok 1986).

MODSIM©, içerisinde tanımlanmış cevher ve kömür hazırlama aşamalarının her bir kademesi için yine her bir tesis kademesi için modellerin tahmin ve hesap yapmasına izin veren yapıya sahip bir cevher hazırlama paket programıdır. Bundan dolayı modeller, herhangi bir uygulamada ihtiyaç duyulduğunda ayarlamaların yapılabilmesi ve herhangi bir tesiste işlemin, tesisin uygun tasarlanması ve geliştirilebilmesinin benzetiminde kullanılabilir. MODSIM©’in bu karakteristik özelliği, cevher hazırlama

işleminde herhangi bir kademesinde sürdürülen araştırmaların sonuçlarının birleştirilmesini, tahmin edilmesinde ve geliştirilmesi için kullanıcılara izin verir ve olanak sağlamaktadır (King 2001).

Bu çalışmada, Manisa -Soma bölgesinde bulunan Soma Uyar şirketinin mevcut ağır-ortam siklonunun performansı; beslenen temiz kömür ve şist ürünlerinden, alınan numuneler yüzdürme batırma testlerine tabi tutularak tespit edilmiştir. Daha sonra, saatlik olarak ölçülen ağır ortam tamburu (AOT) performans değerlerinden örneklerin alındığı saatler için bulunan cihaz ayırma yoğunluklarında elde edilen temiz kömür miktarı ve temiz kömür %kül değerleri tespit edilmiştir. Elimizdeki gerçek zamanlı verilerin MODSIM© simülasyon programı kullanılarak ağır ortam cihazında zenginleştirilmesi sonucu elde edilebilecek temiz kömür ve temiz kömür % kül miktarlarının farklı zenginleştirme (ayırma) yoğunlukları için cihaz performansına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiği ortaya konmuştur. Ayrıca gerçek zamanlı elde edilen verilerle simülasyon sonuçlarının uygunluğu tartışılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Soma-Uyar firmasının ocaklarından çıkarılan ve yıkama ünitesine gönderilen -120 mm'lik malzemenin elek analizi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tesise beslenen malzemenin elek analizi.

Elek boyutu (mm)	Miktar (%)	Kül (%)	Dağılım (%)	ΣE.A (%)	ΣE.A.Kül (%)	ΣE.A.Dağılım (%)
-120+50	19.21	42.23	25.01	100.00	32.44	100.00
-50+18	19.46	36.24	21.74	80.79	30.11	74.99
-18+15	11.42	34.05	11.99	61.33	28.17	53.25
-15+10	12.09	29.74	11.08	49.91	26.82	41.26
-10+6	13.16	27.09	10.99	37.82	25.81	30.18
-6+2.8	7.22	25.28	5.63	24.66	25.25	19.19
-2.8+0.850	7.99	24.24	5.97	17.44	25.23	13.56
-0.850+0.425	4.54	23.02	3.22	9.45	26.07	7.59
-0.425	4.91	28.89	4.37	4.91	28.89	4.37
Toplam	100.00	32.44	100.00			

Çizelge 1 incelendiğinde, boyut incelidikçe kül oranındaki azalış, kömür ve marn ilişkisinde kömürün daha kırılman olduğunu göstermektedir. Bu durum, Soma kömürünün kolay kırılma karakterine işaret etmektedir. En alt boyuttaki kül oranındaki artış ise kömür oluşumunda azda olsa kilin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kil en alt boyuta inmekte ve bu boyut grubundaki kömürün kül oranını artırmaktadır.

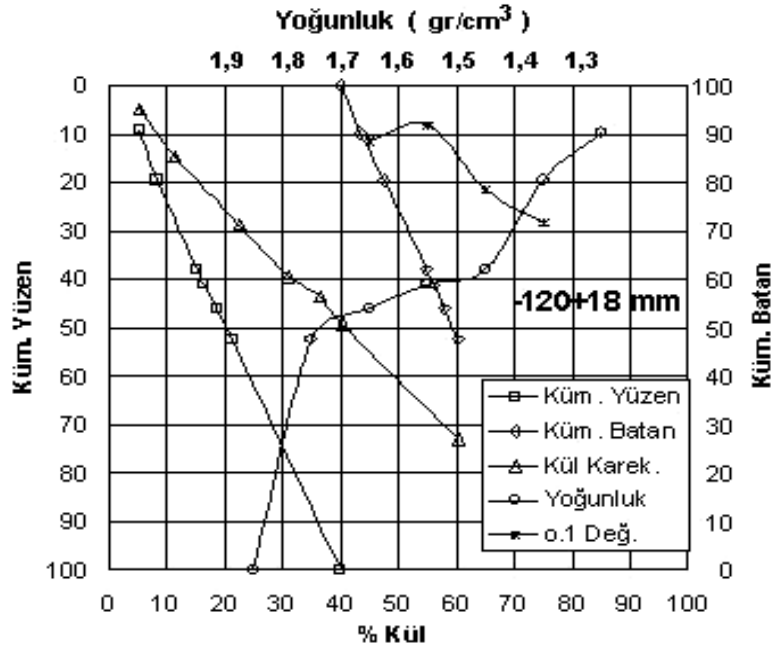
2.1 Yüzdürme-Batırma Testi

Yüzdürme-batırma testine tabi tutulacak numuneler, hem besleme hem de temiz kömür ve şist ürün numunelerinin çatlakları içerisine $ZnCl_2$ girmemesi için öncelikle

su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra boyut gruplarına ayrılmış olan örnekler yüzdürme-batırma testine tabi tutulmuştur. Numuneler, $ZnCl_2$ ile 50 lt'lik kovalar içerisinde hazırlanmış olan 1.30, 1.40, 1.50, 1.60, 1.70 ve 1.80 g/cm^3 'luk yoğunluklarda yüzdürme – batırma testlerine tabi tutulmuştur.

Yüzdürme-batırma testleri sonrası, ürünler temiz su ile yıkandıktan sonra, oda sıcaklığında kurutulmuş ve her bir yoğunluk aralığındaki ürünlerin ağırlıkları tartılıp kül analizleri yapılmıştır.

İlk olarak ağır-ortam tamburuna beslenen kömür (-120+18) için yüzdürme-batırma testi yapılmıştır. Test verilerinden oluşturulan yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 1'de verilmiştir.



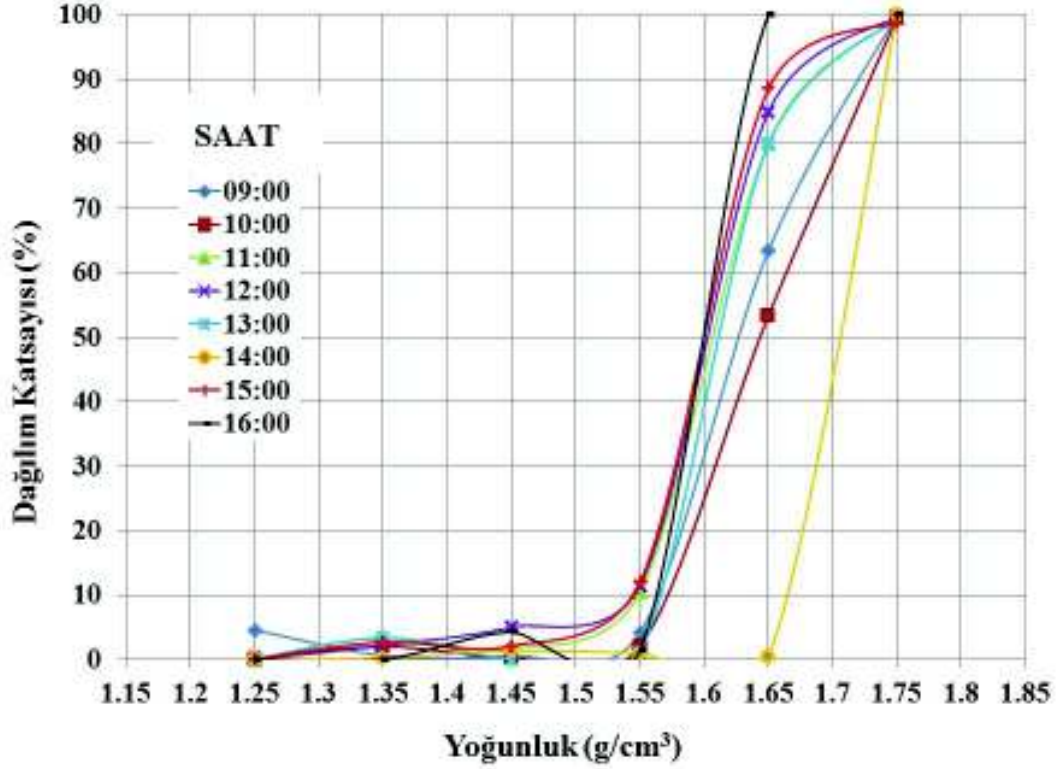
Şekil 1. -120+18 mm tane boyutu grubu için elde edilen yüzdürme-batırma eğrileri.

Yüzdürme – batırma eğrileri incelendiğinde; ara ürün oranları, kül karakteristik değerleri veya eğrisi, ± 0.1 yoğunluk değerleri veya eğrisi bu kömürün zor yıkanma özelliğine sahip olduğunu ancak yüksek ayırma yoğunluklarında yıkanma özelliğinin iyileştiğini göstermektedir. Buradan, kömüre uygulanacak yöntemin ağır-ortam ile zenginleştirme olduğu açıkça görülmektedir.

2.2 Ağır Ortam Siklonunun (AOS) Zamana Bağlı Performans Ölçümü

Bu aşamadaki çalışmalar; ağır-ortam siklonunda zenginleştirme işlemi sonrasında elde edilecek temiz kömür ve şist miktarını tahmin etmek için Manisa -Soma bölgesinde bulunan Uyar şirketinin mevcut ağır-ortam siklonundan zamana bağlı olarak çalışma performansı için belirli bir saat için beslenen, temiz kömür ve şistten ürünler alınmıştır. Bu ürünlerin yüzdürme-batırma sonuçları sonrası, Tromp eğrileri ise Şekil 2'de verilmiştir.

Elde edilen performans eğrilerine göre, ağır ortam tamburuna beslenen -120+18 mm boyut grubunun tambur için geniş bir boyut aralığı olduğu ve bu nedenle ayırma başarısının düştüğü testlerde tespit edilmiştir.



Şekil 2. Farklı zamanlar için ağır-ortam tamburu performansına yönelik Tromp eğrisi.

3 MODSIM© İLE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

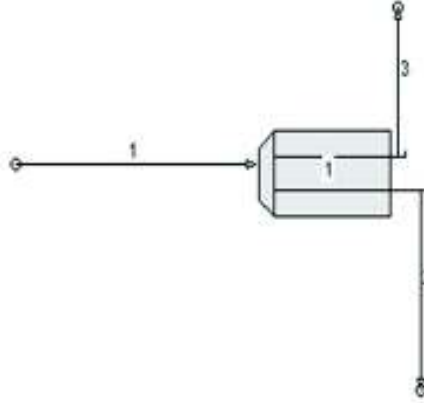
Tromp eğrisinin şekli, beslenen malzeme özelliklerinden daha çok, kullanılan yıkama aygıtlarının ayırma hassasiyetine bağlıdır. Bu eğriden yararlanarak farklı yıkama aygıtları arasında mukayese yapılabildiği gibi, aynı yıkama aygıtında uygulanan farklı yıkama koşulları da mukayese edilebilmektedir (Leonard 1979, Ateşok 1986, Kemal 1987).

Temiz kömür kazanma verimi, teorik temiz kömür (lave) miktarı ile tüvenan da bulunan aynı küldeki malzeme miktarının mukayesesini sağlar (Ateşok 1986).

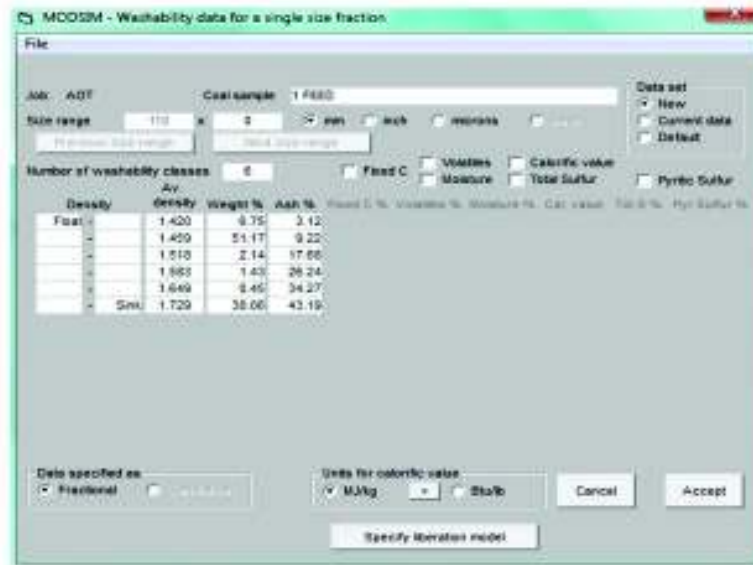
Benzetim çalışmaları MINTECH firmasına ait MODSIM© benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MODSIM, herhangi bir cevher ve kömür hazırlama tesisi için kütle balansını tüm ayrıntılarıyla inceleyen ve benzetim gerçekleştirebilen bir paket programdır. Burada kütle balansı ifadesi, malzemenin tenörsel veya kül olarak değişimini, bileşimini, tane boyut dağılımını, katı ve sıvı akışının toplamını kapsamaktadır. Simülatör içerisine eklenmiş her bir işlem için modellerin hesap yapmasına izin veren tasarıma sahip programdır. Bundan dolayı modeller, herhangi bir uygulamaya adapte edilip, tesisin uygun modifiyesi ve geliştirilebilmesinin benzetiminde kullanılabilir. MODSIM© bu karakteristik özelliği ile cevher ve kömür

hazırlama işlemlerinin herhangi bir kademesinde, yürütülen araştırma sonuçlarının birleştirilmesine ve geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Şekil 3’de ağır ortam tamburunda benzetim yapılması için MODSIM©’de kurulan akım şeması verilmiştir. Ayrıca Şekil 4’de ağır ortam tamburunda benzetim yapılması için MODSIM©’de tüvenan kömüre ait yüzdürme-batırma testi verilerinin tanımlanması verilmiştir. Şekil 5’de ise MODSIM©’de model seçimi ve ayırma yoğunluklarının tanımlanması verilmiştir.

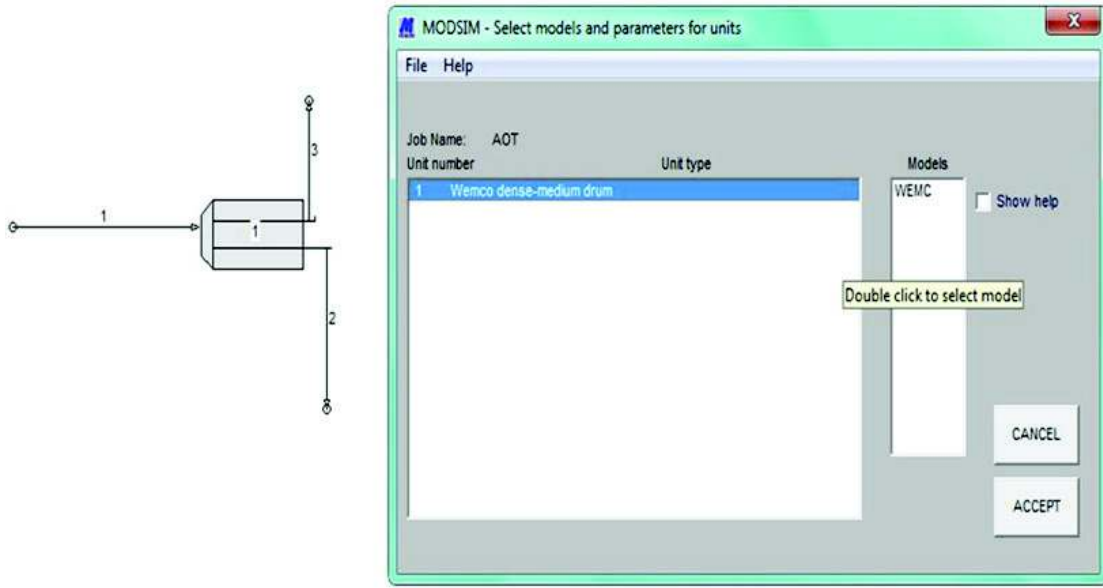


Şekil 3. MODSIM© benzetim programında ağır ortam tamburu akış düzeni.

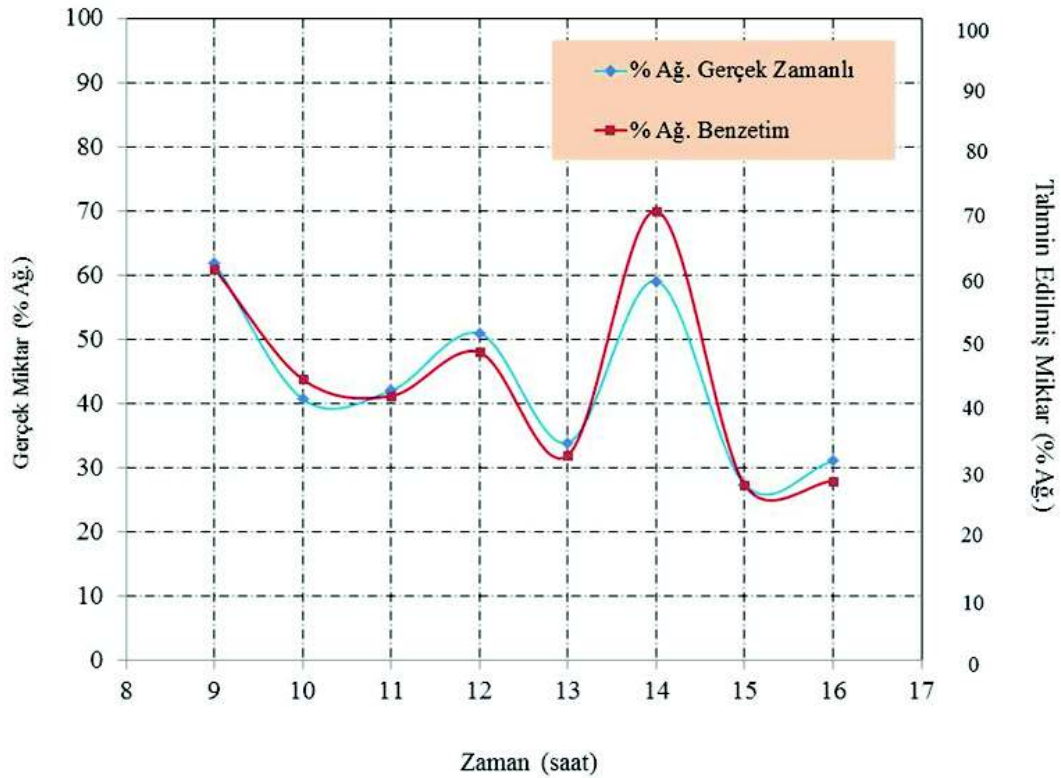


Şekil 4. Tüvenan kömüre ait yüzdürme – batırma testi değerlerinin MODSIM©’de tanımlanması.

Soma Uyar şirketindeki mevcut ağır ortam tamburunun, farklı zamanlar için ayırma yoğunluğunun değişiminin sonucu elde edilen ürünler ile benzetim sonucunda elde edilen miktar ve kül oranlarını değişimleri karşılaştırılarak araştırılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda, ekipman için ayırma yoğunluklarında elde edilebilecek temiz kömür miktarları ve kül oranlarının değişimleri Şekil 6’da verilmiştir.

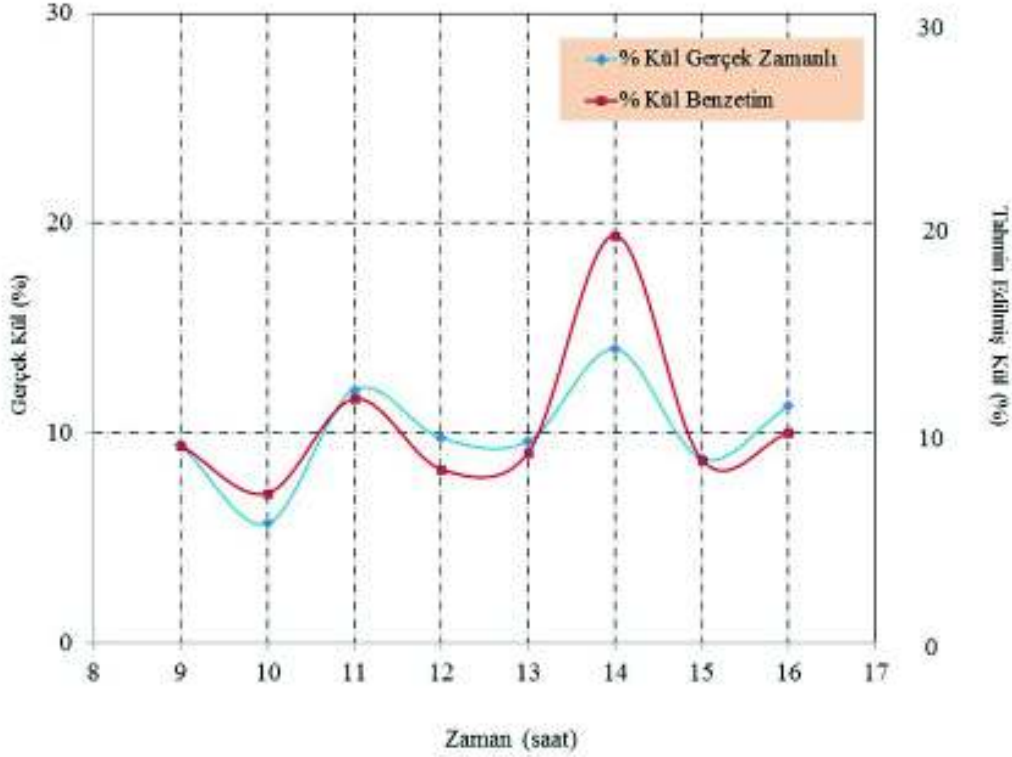


Şekil 5. MODSIM©’de ağır ortam tamburu için model seçimi ve ağır ortam tamburu için ayırma yoğunluğu girişinin tanımlanması.



Şekil 6. Gerçek zamanlı olarak ve MODSIM© benzetimi sonucunda elde edilen temiz kömürün % ağırlık değerlerinin değişimi.

Yine bu değerlendirme sonucunda, ağır ortam tamburunda farklı ayırma yoğunluklarında elde edilebilecek temiz kömür kül oranlarının değişimi de Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Gerçek zamanlı ve MODSIM© benzetimi sonucunda elde edilen temiz kömürün % kül değerlerinin değişimi.

Şekil 7’de görüleceği üzere ağır ortam siklonunda zenginleştirme yapılması durumunda temiz kömür miktarlarının hem gerçek zamanlı hem de MODSIM© ile yapılan tahminlerinin birbirlerine benzer eğilimler gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak benzetim ve hesaplama yöntemlerinin düşük yoğunluklarda birbirleri ile benzer eğilim gösterdiği, yüksek ayırma yoğunluklarında ise farklı sonuçlar elde edildiği Şekil 7’de görülmektedir. Bu durumun en büyük sebebi MODSIM©’de yapılan benzetim işleminde kullanılan yüzdürme batırma deneyinde iri tane boyutlarında sıvının malzeme ile etkileşiminin çok fazla olmamasıdır. Tesiste zenginleştirilen malzeme ağır sıvı veya suyun etkisi ile dağılma göstererek bir miktarda olsa serbestleşme gerçekleşmektedir. Bu yüzden dolayı yüksek yoğunluklarda çok güvenilir bir sonuç elde edilememektedir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Soma-Uyar firmasının üretimini yaptığı kömürlerin, yıkanabilirliğinin orta ve zor özellikle olduğu ve ince boyuta inildikçe serbestleşmenin artmasına bağlı olarak daha iyi bir ayırma elde edileceği görülmektedir.

İlk kurulmuş olan ağır ortam tamburuna beslenen -120+18 mm boyut grubunun tambur için geniş bir boyut aralığı olduğu ve bu nedenle ayırma başarısına miktar yönünden olumsuz etkileyeceği anlaşılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda gerçek zamanlı elde edilen temiz kömür miktarı ve külün benzetim programı kullanılarak elde edilen değerlerin benzer eğilimde olduğu görülmektedir. Ancak yüksek ayırma yoğunluklarında eğilimin negatif yönde olduğu

tespit edilmiştir. Bu farklılığın temel sebebi tesis ölçeğinde gerçekleşen fiziksel olayların MODSIM©’de benzetim sırasında hesaplamaya dahil edilememesidir.

Bunun yanı sıra benzetim programlarının bir başka faydası da otomasyon sistemlerine adaptasyonunun kolay ve güvenilir olmasıdır.

Ülkemizde birçok kömür hazırlama tesisi üzerinde hiçbir çalışma yapılmadan kurulmaktadır. Bunun sonucunda da aşırı enerji tüketimine bağlı olarak ürünün maliyeti artmakta olup, ürettiğimiz ürünler rekabet gücünü azaltmaktadır. Bu konuda yapılacak ufak bir çalışmada hem ekonomiye hem de enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma sonunda, benzetim çalışmalarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için kontrolünün daha iyi sağlandığı veya otomasyonun olduğu bir tesis seçilmelidir. Cihaz performansının iyi olduğu bir anda benzetim çalışmaları iyi, bozuk olduğu durumda ise benzetim çalışmaları kötü sonuçlar verecektir.

5 KAYNAKLAR

- Arslan, V., Tanrıverdi, M., Şen, S., Er, B. 2009. Türkiyede Kömür Hazırlama Tesisleri, Performans Ölçümünün Önemi ve Bir Örnek Uygulama, *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi*, s. 433-442, Antalya.
- Ateşok, G. 1986. *Kömür Hazırlama*, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, s. 158-167.
- King, R. P. 2001. *Modeling and Simulation of Mineral Processing System*, Department of Metallurgical Engineering University of Utah, USA.
- Burt, R. O. 1984. *Gravity Concentration Technology*, Elsevier, pp. 33-51, Amsterdam, Netherlands.
- Kemal, M. 1987. *Kömür Teknolojisi*, DEÜ. Müh.-Mim. Fak. Yayını, s. 91-133, İzmir.
- Kemal, M., Semerkant, O., Arslan, V. 1988. Zonguldak’ta Üretilmekte Olan Temiz Kömür için Optimal Kül Oranının Saptanması, *Türkiye 6. Kömür Kongresi*, s. 143-158, Zonguldak.
- Leonard, J. W. 1979. *Coal Preparation*, AIME, 4th edition, NewYork.
- Osborne, D. G. 1988. *Coal Preparation Technology*, Graham & Trotman, 1, 5, pp. 179-188, London.
- Deniz, V., Umucu, Y. 2004. Soma Buruyar Şirketinin Ağır-Ortam Tamburunun ve Siklonunda Kömür Yıkama Performans Çalışması, *Türkiye 14. Kömür Kongresi*, s. 161-170, Zonguldak.
- Kemal, M., Semerkant, O., Arslan, V. 1988. Zonguldak’ta Üretilmekte Olan Temiz Kömür İçin Optimal Kül Oranının Saptanması, *Türkiye 6. Kömür Kongresi*, s. 143-158, Zonguldak.
- Umucu, Y., Deniz, V., Göksu, M. E., Dinç, T 2012. Ağır Ortam Siklonu Performans Değişiminin Zamana Bağlı Olarak Simülasyon ile İncelenmesi, *Türkiye 18. Kömür Kongresi*, s. 135-142, Zonguldak.

IMPLEMENTATION OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY IN MINE SAFETY TRAINING AND MINING ENGINEERING EDUCATION IN AUSTRALIA

SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİSİNİN AVUSTURALYA'DA MADEN İŞ GÜVENLİĞİ VE MADEN MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİNE UYGULANMASI

S. Saydam, R. Mitra, B. Hebblewhite

School of Mining Engineering, The University of New South Wales, UNSW Sydney, Australia

ABSTRACT: The University of New South Wales (UNSW) has been a world leader in the development of virtual reality technologies over the last ten to fifteen years. These developments include developing the world's first 360° surround, Virtual Reality (VR), stereo projection theatre system known as AVIE (Advanced Visualisation and Interactive Environment), which was developed by iCinema, a collaborative venture between UNSW's Faculty of Engineering and College of Fine Arts. The School of Mining Engineering at the UNSW has developed and deployed immersive, interactive simulations to the Australian mining industry. In addition, the School has been successfully using VR technology to enhance mining engineering education for both undergraduate and postgraduate programs. This paper presents an overview of the VR modules developed for both mine safety and mining engineering student learning illustrating the effectiveness and value of such training and education approach.

ÖZET: Avusturalya'daki New South Wales Üniversitesi (UNSW Australia), "Sanal Gerçeklik – Virtual Reality" konusundaki teknolojik araştırmalarda son on ile on beş yılda dünya lideri konumunda yer almaktadır. Özellikle dünyanın ilk 360° stereo projeksiyonlu amfisi (AVIE – Advanced Visualisation and Interactive Environment) UNSW'nin iCinema, Mühendislik ve Güzel Sanatlar Fakülteleri tarafından geliştirilmiştir. Maden Mühendisliği Bölümü, Avusturalya madencilik eğitiminde kullanılmak üzere üç boyutlu ve interaktif simülasyonlar geliştirmiş ve ayrıca Bölüm Sanal Gerçeklik teknolojisini lisans ve yüksek lisans programlarında kullanılmak üzere başarıyla maden mühendisliği eğitimine uygulamıştır. Bu bildiri, UNSW'nin Maden Mühendisliği Bölümü'nde Sanal Gerçeklik teknolojisiyle geliştirilen iş güvenliği ve maden mühendisliği eğitimi modülleri hakkında genel bilgi sunmaktadır.

1 INTRODUCTION

Training of mining industry personnel is crucial for mining industry. It is very important for the Australian mining industry to increase skill levels and also most importantly to ensure the highest possible level of mineworker awareness concerning safe (and also unsafe) mining practices. Australian mining companies are directing large budgets for safety training to ensure that all personnel who work or visit their mines are aware of the mine environment; fully understand the safe work practices employed; and also most importantly to develop an active safety-focused culture. For this reason the training must be effective to achieve a much safer mine workplace.

Virtual Reality (VR) as a simulation technique is a proven technology that has been successfully used for safety training in Australia. Using VR technology in safety training has created an opportunity to use this technology to enhance student learning as well. UNSW's School of Mining Engineering has developed multiple VR modules to be used in the mining engineering program for both undergraduates and postgraduate courses.

2 WHAT IS VIRTUAL REALITY ?

Virtual Reality (VR) is three-dimensional (3D) computer generated representations of real or imaginary worlds with which a user can have real-time interaction and experience some feeling of being present in those worlds (Squelch 2001) and he further evaluated the effectiveness of using VR technology in training in South African mining industry. Nutakor et al. (2007) reported that simulators using the VR technology are being used to train for hazardous environments in a manner that minimizes the exposure of a trainee to real risk.

The University of Queensland (Australia) was also active in developing virtual reality applications for the minerals industry as well as in mining engineering education in the areas of data visualisation, education and training, environmental monitoring application, accident reconstructions, simulation application, hazard awareness applications and mining methods (Kizil 2003, Kizil et al. 2004, Kizil 2007).

Mallet and Orr (2008) initiated some work on underground coal mine map reading training developed at the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) in USA. Lucas et al. (2008) piloted a research to prevent injuries and fatalities related to conveyor system by the use of virtual environments and McMahan et al. (2008) studied on training workers in pre-shift inspections of haul trucks to avoid preventable defects from causing worker injuries and expensive equipment damage.

Stothard et al. (2008) developed a taxonomy providing insight into where technology can and may be implemented in the future, as virtual environments are a dynamic and evolving technology. According to them, this taxonomy may assist in the decision making process when scoping or selecting technology for a particular purpose.

Since 2007, the School of Mining Engineering at UNSW has been developing multiple modules to be used for safety and teaching. This paper summarises most of these virtual reality modules developed at the School.

3 VIRTUAL REALITY AT UNSW

The School of Mining Engineering at UNSW has developed and successfully deployed simulations using virtual reality technology. In 1999, with funding from UNSW and Coal Services Pty Ltd., a project started to develop initial modules for safety training and additional funding was secured from the industry in 2002 through Australian Coal Association Research Program (ACARP) to develop additional modules. First, a flat screen 'proof of concept' system was deployed at Newcastle Mines Rescue Station (NMRS) in Argenton, NSW, Australia. The simulation capability of the system was explained by Stodhard (2004) which is a hybrid system designed to provide simulation technology to operators, both large and small.

Further, the School has been involved in UNSW's award-winning iCinema Advanced Visualisation and Interaction Environment (AVIE) project – a 3D 360 degree virtual reality facility and iDOME (propriety hardware/software platform developed by the iCinema Centre). The school has constructed an AVIE (Figure 1a) and an iDOME (a 2D version of the AVIE) (Figure 1b), funded partly by a Federal Capital Development grant in 2007, for developing mine safety-training simulations (Hebblewhite et al. 2013).



Figure 1. (a) AVIE and (b) iDOME at the School of Mining Engineering, UNSW.

3.1 Mine Safety Modules

The School developed 8 initial modules aimed at training coal mine workers for the New South Wales Mines Rescue Stations. These included: hazard awareness, rib and roof stability, self escape, truck inspection, isolation procedures, spontaneous combustion, deputies inspection, and outburst management. The following sections provide a brief overview of a selection of some of these modules.

3.1.1 Hazard awareness module

The hazard awareness module was developed to create a general awareness of an underground mine along with spotting hazards as the trainees walk through this environment. This module contains a 3D representation of a room and pillar (also known as bord and pillar) coal mine development in which 24 hazards are present (Figure 2).

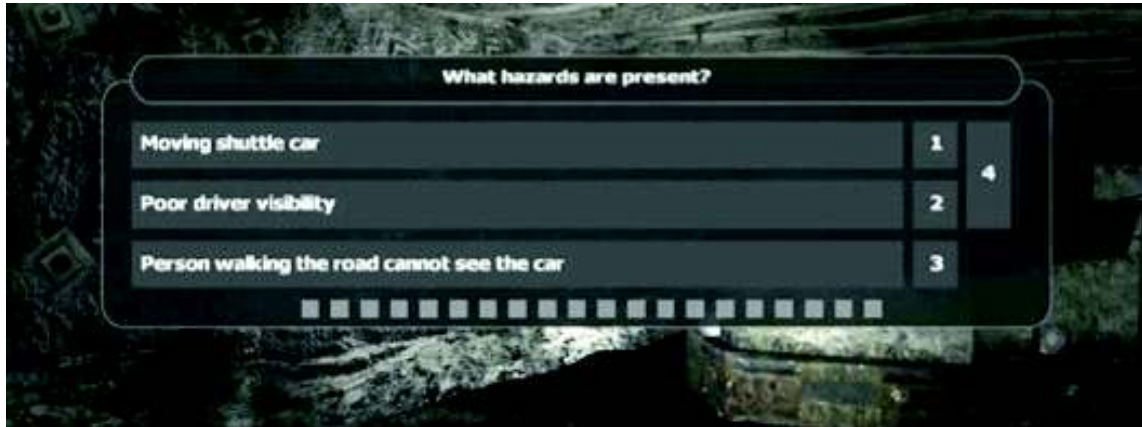


Figure 2. A screenshot from the Hazard Awareness module (Mitra and Saydam 2011, Hebblewhite et al. 2013).

3.1.2 Isolation module

The module was developed to demonstrate procedures that people have to undertake in order to rectify a problem. This module contains a 3D representation of a room and pillar coal mine development. The module is split up into 6 sub-modules, each of which allows trainees to follow a mining procedure involving some form of hazard, and examine the issues involved in correct isolation and restoration of energy. In this module, the trainees can answer questions and interact with mining equipment. Figure 3 shows some screenshots of this module (Mitra and Saydam 2011, Hebblewhite et al. 2013).

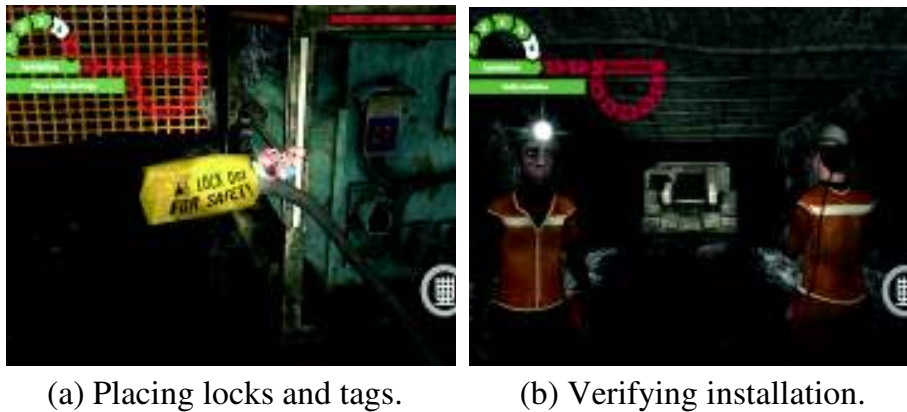


Figure 3. Screenshots from the isolation module.

3.1.3 Outburst module

The Outburst module was developed to make people aware of what a gas outburst is as well as learn the consequences of the event in order to prevent such events in future. The learning methodology in this module is to firstly show trainees what can go wrong if correct procedures are not followed (and thereby quickly gain their full attention in relation to the seriousness of this “high consequence” event). The module presents a virtual reproduction of a catastrophic outburst event, after which students can explore the aftermath. Trainees are then presented with information

about outburst management procedures and ten common outburst indicators. They are then able to navigate through a virtual representation of the face and identify the indicators that are present and should have been detected (Figure 4).



Figure 4. A screenshot from the outburst module (Hebblewhite et al. 2013).

3.1.4 Rib stability module

This module contains a three-dimensional (3D) representation of a 2-heading section of a coal mine in which there are 11 rib and roof related hazards (Figure 5). The trainees are required to navigate through the mine in this virtual environment and select areas deemed to be hazardous. They are then presented with a series of questions, after which the hazards are removed. This helps the trainees identify the hazards and also undertake the steps required to remove the hazards.



Figure 5. A screenshot from the rib stability module.

3.1.5 Self-escape module

The self-escape module contains a 3D representation of a longwall mine and transport roadways. The module begins with a longwall panel. Trainees are provided with an emergency situation (a belt fire) and are required to evacuate with a team of

miners. They are presented with decision points along the way. Figure 6 shows a screenshot from this module.



Figure 6. A screenshot from the self escape module.

3.1.6 Spontaneous combustion module

The objective for this module is to conduct spontaneous combustion inspections in 3D virtual longwall mine (Figure 7). There are 5 scenarios contained within this module. Each requires a methane gas reading at various stoppings around the mine. The reading values are used to infer the position and cause of each spontaneous combustion site in each scenario.



Figure 7. A screenshot from the spontaneous combustion module.

3.2 Learning and Teaching Modules

Using VR technology has a great potential to enhance mining engineering education when used in conjunction with modern teaching techniques such as project and problem based learning. Kerridge et al. (2003) indicated that these education techniques are more attractive to students as they are flexible, attractive and easier to

understand - especially in mining where it can be difficult to demonstrate complex mining methods through the use of 2D diagrams. Hebblewhite et al. (2013) discussed the differences between the conventional training practices and the VR modules and mentioned the conventional training practices provide a very “shallow” learning experience, with very little retained knowledge or understanding. This is particularly the case if the presenter is either not a good communicator, or may not be an appropriate subject-matter expert for the topic of the training.

As mentioned earlier, the School has also pioneered work in ongoing development of educational modules for undergraduate and postgraduate mining engineering students (Hebblewhite et al. 2013) and various simulation modules were developed using the VR technology. All these modules are capable of running in the AVIE at the school and also on a standalone PCs as well as through internet.

3.2.1 Mining in a global environment module

This module acts as a virtual site tour of the Ranger uranium mine in Kakadu National Park, located in the Northern Territory, Australia. It contains 16 photographic 360° panoramas of the mine and the surrounding environment, as well as 12 panoramic videos, 4 aerial photographs, 7 interviews with site personnel and industry experts, and over 180 still photographs. Students are able to combine these resources into virtual “workspaces”, grouping related information together. The data can be viewed by selecting from a series of “hot spots” on an aerial photograph of the mine and its surrounding areas. In a major group assignment using the AVIE, students firstly asked to review the current mine operation and compare it with issues identified in the original mine “Environmental Impact Statement”. They are then given the opportunity to construct an optimal mine layout for a green-fields site in the same location (Figure 8).



Figure 8. Students doing the assignment in the “mining in a global environment” module.

They are presented with both an aerial and a panoramic view of a real mine site and can construct a mine by dragging and dropping 2D/3D representations of major mine features such as buildings, waste dumps, dams and processing plants. At the end, they have to justify the location of their hypothetical mine layout considering the environment in which they are located, as well as various community and indigenous considerations. Kakadu National Park being a world heritage site adds more

complexities to their assignment. The Ranger Mine was chosen for this assignment due to its complexity of issues including environmental, community, cultural, climatic, remoteness, etc. (Laurence and Stothard 2010, Mitra and Saydam 2011).

3.2.2 Block caving module

This module contains the lower portion of a block caving mine containing 60 drawpoints (Figure 9). The purpose of the module is to install ground support around drawpoints on the extraction level. This must also take into account the implications for maximising profitability and output of the mine. This module is currently being used more as a game (Hebblewhite et al. 2013).



Figure 9. Tunnel in the virtual block cave mine.

3.2.3 Laboratory rock testing module

This module contains a virtual representation of a rock testing machine. Students are able to start the rock testing machine, interact with the machine, control panel and PC interface, and run uniaxial, triaxial or Brazilian indirect tensile tests on a series of rock samples. Instructors are able to load the results of previously run rock tests into the simulation. Students can also view a series of videos explaining the rock sample preparation process. Figure 10 shows a screenshot of the module. This module is currently available on the web. The idea of using this module is to enhance the learning of the students by allowing them to access this module at their leisure after attending the lab.

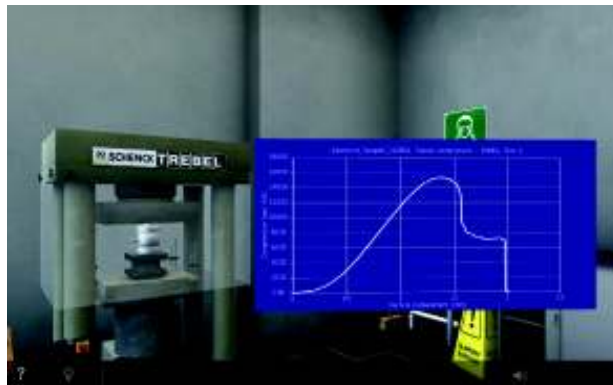


Figure 10. A screenshot of the Laboratory Rock Testing module showing the rock testing machine along with the rocks in the laboratory.

3.2.4 Truck and shovel module

This module contains a library of resources pertaining to truck and shovel operations. The first part acts as a virtual tour of several truck and shovel operations. It contains 23 photographic 360-degree panoramas, 2 aerial photographs, 6 interviews with personnel, 3 full resolution 360 degree panoramic Ladybug videos, 15 assorted videos, and almost 400 still photographs. Students can also navigate, in 3D, a full digital terrain map of an open cut mining operation at the Hunter Valley, NSW, Australia. The second part of the module is a 3D representation of a sample equipment selection software simulation. Students are presented with an open cut mine and the option to run the simulation using 3, 4 or 5 trucks. Students are also presented with an overlay displaying the elapsed time, the idle time for the loader and the amount hauled for each truck. With the help of this section of the module, students can visualise in this virtual environment the importance of choosing the correct number of trucks for each shovel. This module also shows the capability of this system to link with other software packages (Figure 11) (Mitra and Saydam 2013).



Figure 11. Equipment selection simulation observed in the truck and shovel module.

3.2.5 Longwall top coal caving (LTCC) mining method module

This module contains a virtual representation of a top coal caving longwall consisting of 55 face shields, a shearer, and the coal face. Students can also view the aforementioned steps of the caving cycle on a single face shield in isolation. Both modes allow the student to freely navigate around the environment. Finally, students can also access a video library containing PowerPoint screen captures outlining the complete LTCC process at one of the mines in NSW which operates this method of mining. This module is very helpful for teaching purposes as not many operations in Australia have this method of mining. Explaining this mining system through the use of this technology is very helpful as students can go underneath these virtual shields and visualise the process. Figure 12 shows two screenshots of these operations.



Figure 12. a) A screenshot from the Longwall Top Coal Caving module, from the face b) A screenshot from the Longwall Top Coal Caving module, showing a single shield.

3.2.6 Coal geology

The purpose of this module is to teach students the formation of coal through this virtual environment (Figure 13). It starts with a swamp environment and then goes through millions of years to transform into coal. This module is currently under development and will be used to teach 1st year students in the mining engineering program.



Figure 13. A screenshot from Coal Geology module.

3.2.7 ViMINE-virtual mine: mining method selection modules

This is a simple module that is used for selection of mining methods in the first year introductory course. There are fourteen different terrains available in ViMINE to simulate the various possible surface environments which might exist in proximity to a mineral deposit. These include a range from ideal to extreme conditions such as mining in desert / outback, under city, near city, adjacent to ocean, under river, under national park, in mountains, in outback etc. An orebody (a real mine data set) is placed under the selected terrain scenario. The depth, orientation, dip and rock characteristics are selected by the instructor to set a different scenario for each group. A 3D terrain scenario and one example of orebody placement can be seen in Figure

14. Once everything has been set, the students can then start using their mining method knowledge to select possible effective methods which are compatible with the environment and possible community constraints (Saydam et al. 2011).

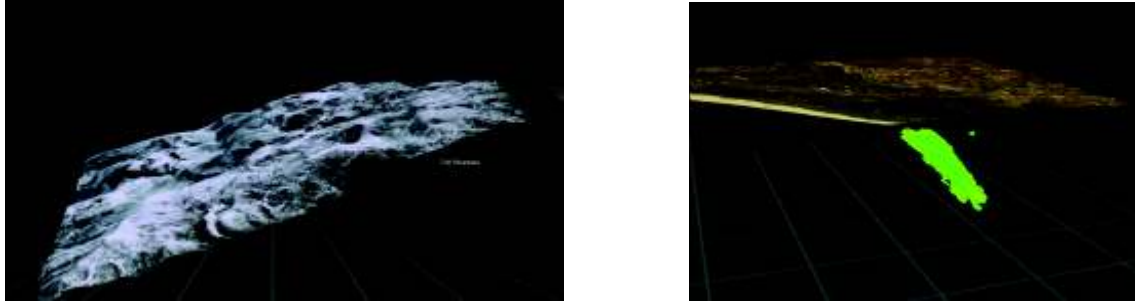


Figure 14. Cold mountains scenario shown in 3D view and the orebody placed on adjacent to an ocean scenario.

A detailed version of this module is being used in a third year course. In this module, students set the terrain and the orebody similar to the earlier version. In addition, students should take into account a more detailed investigation by entering appropriate assumptions using Nicholas Algorithm, which is used to select mining methods (Figure 15a). The method ranks possible methods based on the assumptions (Figure 15b). This module can currently run on the web as well as in 3D in AVIE.



Figure 15. a) More detailed mining method selection version, b) Mining method ranking.

3.2.8 ViMINE-virtual mine: open pit mine design module

The second module focuses on the planning and design aspects for a real metalliferous mine deposit. This module visualises the outcomes of a mine design software package including the development throughout the life of the mine, equipment selection, project evaluation and environmental constraints. Students are able to design the mine and suitably position the infrastructures based on their technical and economic decisions. In addition, they can design the haul roads in and out of the pit and locate the surface infrastructures such as workshop and office

buildings, and processing plants and tailing dams etc. They also have the option of selecting suitable equipments for the designed pit (Figure 16). This module can currently run only in 3D in AVIE.



Figure 16. A screenshot from ViMINE open pit design.

4 CONCLUSIONS

Graduating good quality engineers is very important for the mining industry and this requires world-class education. Simulations, VR and digital gaming technologies have already demonstrated their educational value to other industries, confirming the powerful learning opportunities and advantages. It can be said that using simulations enhance student learning.

The School has developed various Virtual Reality modules to enhance student learning and improve the teaching effectiveness. Till date, 18 modules have been developed for both the mining industry and education have proved highly successful.

The online availability of some of these learning and teaching modules are particularly relevant for the postgraduate distance programs where many of the students/professionals work at remote sites.

5 REFERENCES

- Hebblewhite, B., Mitra, R., Saydam, S. 2013. Innovative Mine Safety Training and Mining Engineering Education Using Virtual Reality, *World Mining Congress: Mapping the Future: Advances in Mining Engineering*, Montreal, Quebec, Canada.
- Kerridge, A. P., Kizil, M. S., Howarth, D. F. 2003. Use of Virtual Reality in Mining Education, *Proceedings Young Leader's 2003*, pp. 15-16 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Kizil, M. S. 2003. Virtual Reality Applications in the Australian Minerals Industry, *Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries*, South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 569 - 574.
- Kizil, M. S. 2004. Applications of Virtual Reality in the Minerals Industry, *INFOMINA, V International Symposium of Information Technology Applied in Mining*, Lima, Peru.
- Kizil, M. S., Kerridge, A. P., Hancock, M. G. 2004. Use of Virtual Reality in Mining Education and Training, *Proceedings of the 2004 CRC Mining Research and Effective Technology Transfer Conference*, pp. 1 – 7, Noosa Head, Queensland, Australia.

- Kizil, M. S. 2007. Virtual Reality – A Toy or a New Way of Training, *International Mining Congress & Exhibition*, pp. 247 – 255, Ankara, Turkey.
- Laurence, D., Stothard, P. 2010. Applications of Simulation Methodologies for a Sustainable Mining Industry, *Advanced Mining for Sustainable Development*, Ha Long Bay, Vietnam, pp. 50 - 59.
- Lucas, J. D., McMahan, R. P., Engle, R., Bowman, D. A., Thabet, W., Schafrik, S., Karmis, M. 2008. Improving Health and Safety through Conveyor System Training in a Virtual Environment, *Proceedings of the First International Future Mining Conference*, pp. 161 – 166, Sydney, Australia.
- Mallet, L., Orr, T. 2008. Working in the Classroom – A Vision of Miner Training in the 21st Century, *Proceedings of the First International Future Mining Conference*, pp. 83 – 89, Sydney, Australia.
- McMahan, R. P., Bowman, D. A., Schafrik, S., Karmis, M. 2008. Virtual Environment Training for Preshift Inspections of Haul Trucks to Improve Mining Safety, *Proceedings of the First International Future Mining Conference*, pp. 167 – 173, Sydney, Australia.
- Mitra, R., Saydam, S. 2011. Using Virtual Reality for Improving Health and Safety of Mine Workers and Improving Engineering Education in Australia, *Proceedings of 34th International Conference of Safety in Mines Research Institute*, pp. 625 – 636, New Delhi, India.
- Mitra, R., Saydam, S. 2013. Using Virtual Reality in Tertiary Education, *International Journal of Technologies in Learning*, 19, 4, pp. 97-112.
- Nutakor, D., Apel, D., Grayson, L., Hilgers, M., Hall, R., Warmbrodt, J. 2007. Virtual Reality Simulator for Training Miners to Install Rock Bolts Using Jackleg Drill, *2007 SME Annual Meeting and Exhibit*, Denver, CO.
- Saydam, S., Mitra, R., Russell, C. 2011. A Four Dimensional Interactive Learning System Approach to Mining Engineering Education, *Proceedings of the Second International Future Mining Conference*, pp. 279-286, Sydney, Australia.
- Squelch, A. P. 2001. Virtual Reality for Mine Safety Training in South Africa, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, July, pp. 209 - 216.

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MADENCİLİK FAALİYETLERİNDE KULLANIM OLANAKLARININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF UTILIZATION OPPORTUNITY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN MINING ACTIVITIES

S. Karakış, Ç. Bayık, U. G. Sefercik
BEÜ Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET: Günümüzde fotogrametri ve uzaktan algılama, gelişen teknolojilerle birlikte pek çok alanda yapılan haritacılık uygulamalarında vazgeçilmez yöntemler haline gelmiştir. Kullanılan görüntüleme sistemleri ve taşıyıcı platformların hızlı gelişimi, yapılacak uygulamalardaki kaliteyi arttırmaya yetmiştir. Bunun yanında, teknolojik olanaklar kadar önemli olan bu olanakları etkin şekilde kullanabilme fikri ortaya çıkmıştır. Madencilik endüstrisinde yapılan haritacılık uygulamalarında karşılaşılan zorluk ve tehlikeler bu teknolojinin sektörde kullanılmasını akıllara getirmiştir. Son yıllarda, İnsansız Hava Araçlarına (İHA) monte edilen video ve fotogrametrik görüntüleme cihazları ile madencilik endüstrisinde haritacılık işlemleri gerçekleştirilmektedir. Gelişen teknolojik yöntemlerin maden haritacılığı, stok hacim hesabı, kaza alan planı, 3B harita, tasman izleme gibi uygulamaları, geleneksel yöntemlere göre daha güvenli hale getirdiği görülmektedir. Bu çalışmada İHA'ların madencilik çalışmalarına benzer arazi içerikli bir uygulamada kullanımını irdeleyerek madencilik uygulamasına katkılarının araştırılması amaçlanmıştır.

ABSTRACT: Nowadays, photogrammetry and remote sensing have become indispensable methods in surveying applications with developing technologies. Rapid development of the current imaging systems and carrier platforms has been sufficient to increase quality of the applications. Besides, the idea of effectively usage of these opportunities is as important as technological opportunities have emanated. Complications and hazards encountered in Mine Surveying applications have led to using this technology in mining industry. In recent years, surveying applications in mining industry can be realized with Unmanned Aerial Vehicles (UAV) mounted with video and photogrammetric recording devices. It is seen that usage of emerging technological methods for such as mine surveying, stockpile volume calculation, accident site planning, 3D mapping, subsidence monitoring etc. is more secure than the traditional methods. In this study, it is aimed to investigate the contribution of UAVs to mining activities in a test site that has similar properties with a real mining area.

1 GİRİŞ

İnsansız Hava Araçları (İHA), uçuş esnasında herhangi bir pilot taşımayan, uzaktan kumanda yardımıyla el ile ya da üzerlerine monte edilen özel kontrol sistemleri ile kumanda edilebilen; uçan yakıtlı ya da elektrik motorlu robotlar olarak tanımlanabilir. Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerin paralelinde, kullanımı giderek artan askeri, ticari ve araştırma uygulama alanları haline gelmiştir:

- Askeri Uygulamalar;
 - Keşif (Chen 2010),
 - Gözetleme (Stacy vd. 2002, Srinivasan vd. 2004, Quigley vd. 2005),
 - Silah platformu (Yamauchi 2004, Pardesi 2005),
 - Yer kontrollü hedef uçağı (Vogel 2011),
 - Tuzak (McEneaney ve Fitzpatrick 2002, Cruz Jr vd. 2004),
 - Radyo iletişim (Grau ve Falivene 2006).
- Ticari Uygulamalar;
 - Maden arama (Wong 2001, Williams ve Harris 2002),
 - İletişim (Pinkney vd. 1996, Weedon vd. 2001),
 - Enerji nakil hattı denetim (Li vd. 2010),
 - Su ürünleri denetimi (Hou vd. 2006, Ranque vd. 2011),
 - Çevresel izleme (Dunbabin ve Marques 2012),
 - Haritacılık (Karakis 2011).
- AraştırmaUygulamaları;
 - Uzay sistemleri araştırma ve geliştirme (Janson vd. 1999),
 - Atmosferik araştırmalar (Gopalakrishnan vd. 2010),
 - Yapay zeka uygulamaları (Ryan vd. 2004).

Tarihsel olarak bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında ilk çalışmalar 19. yüzyılın ilk çeyreğine kadar uzansa da, İHA'lar şu anda hala gelişim süreçlerini tam olarak tamamlayamamış olup, bazı gelişim basamaklarının ise hala başlarındadırlar. İHA'lar için düşünülen ve olması ümit edilen gelecek ise daha akıllı, daha otonom ve daha küçük boyutlara doğru yönelim şeklindedir.

Bu gelişimin ışığında platform üzerine takılan çeşitli algılayıcılar ile elde edilen verinin bilgi içeriği de artmaktadır. Sayısal kameranın dışında; ısı değişimini belirlemeye yarayan termal kameralar ve elde edilen verinin hassasiyetini mm'ye kadar indiren lazer tarayıcılar da (Light Detection and Ranging - LIDAR) platform üzerine yerleştirilebilmektedir. Özellikle LIDAR ile yapılacak uygulamalarda elde edilen nokta bulutu verisi ile fotogrametrik olarak elde edilmiş veriler entegre edilerek tüm detaylar ortaya çıkarılmış olacak ve uygulama alanının gerçeğe yakın modelleri elde edilebilecektir.

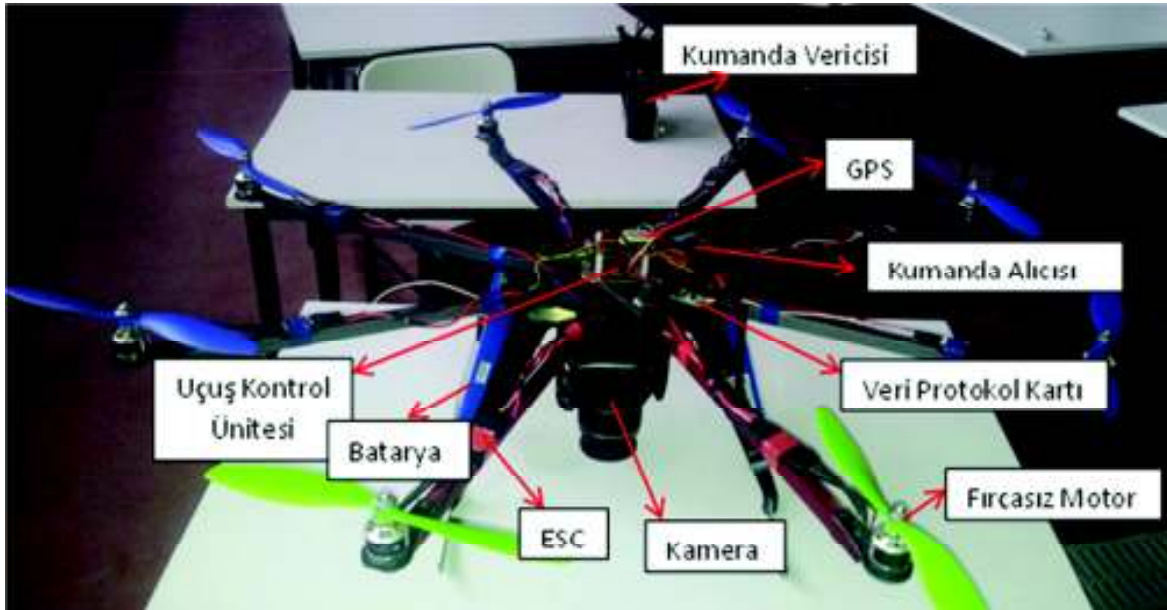
İnsansız hava araçları yapılacak olan uygulamaya göre özel olarak tasarlanırlar. İHA'ların ençok tercih edilen tasarımlarından biri de, Oktokopter (Octo-rotor) olarak bilinen sekiz rotorlu insansız hava aracıdır. Oktokopter, isminden de anlaşılacağı gibi birbirinden bağımsız olarak yerleştirilensekiz adet rotora sahip, çok hızlı manevra yapabilen ve diğer rotor tasarımlara göre daha fazla yük ile uçuş yapabilen insansız hava araçlarına verilmiş genel bir isimdir. Oktokopterlerin rotor sayısı düşürülerek

elde edilmiş farklı çeşitleri de mevcuttur. Altı rotorlu Hekzakopter (Hexa-rotor) ve dört rotorlu Quadkopter (Quad-rotor) bu İHA formlarına örnek olarak verilebilir. Genel olarak bir oktokopter; gövde, fırçasız doğru akım motorları, elektronik hız kontrol elemanları, uçuş kontrol birimi (mikro denetleyici, sensörler) ve batarya olmak üzere 5 ana bileşenden meydana gelmektedir.

Bu çalışmada İnsansız Hava Araçlarının (İHA) madencilik çalışmalarında kullanılacak olan yöntemlerin uygulanabileceği arazi içerikli bir uygulama yapılmıştır. Maden çalışmalarında yapılacak olan işlemlerle benzerlik gösteren uygulamanın sonuçları irdelenerek gelecekte madencilik ile ilgili yapılması düşünülen çalışmalara altyapı oluşturulması amaçlanmıştır.

2 OKTOKOPTER (OCTOCOPTER) SİSTEM TASARIMI

Çalışmada kullanılan Oktokopter diğer İHA'lar ile kıyaslandığında oldukça basit bir donanıma sahiptir. Bu karmaşık olmayan yapı sayesinde Oktokopter'un birçok uygulamada öncelikli olarak tercih edilmesi etken olarak görülebilir. Oktokopter basit bir şekilde hazırlanmış olan gövde üzerine motorların ve diğer gerekli ekipmanların yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Genel olarak bir Oktokopter; fırçasız doğru akım motoru, elektronik hız ve kontrol birimi, mikro denetleyici, sensör birimi ve batarya olmak üzere 5 ana bileşenden meydana gelmektedir. Şekil 1'de tasarlanan sekiz rotorlu insansız hava aracı görülmektedir.



Şekil 1. Sekiz rotorlu insansız hava aracı.

Oktokopter, modülasyon ile veri transferi yapan 8 kanallı bir uzaktan kumanda tarafından yönetilmektedir (Şekil 2). Her bir kanal kullanılan bu aracın hareket çeşitliliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan oktokopterde motor devri (iniş-kalkış), sağa-sola hareket, ileri-geri hareket, yön hareketleri ve uçuş modu seçimleri olmak üzere 5 kanal kullanılmaktadır. Geri kalan kanallar fotoğraf çekimi ve diğer işlemler için kullanılabilir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan kumanda sistemi (Karakış 2011).

Çalışmada Canon EOS450D DSLR fotoğraf makinası kullanılmıştır. Boyutlarıyla Oktokopter'un gövdesine tam olarak yerleştirilebilen fotoğraf makinası 12 MP çözünürlüğe sahiptir. Fotoğraf makinasının teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge1. Canon EOS450D teknik özellikleri.

Maksimum Çerçeve Boyutu (Piksel)	4,272 x 2,848
Sensör Boyutu (mm)	22.2 x 14.8
Piksel Büyüklüğü (µ)	5
Maksimum Perde Hızı (sn)	1/4,000
Ağırlığı (g)	475
Boyutları (mm)	129x98x62
İşlemci	Digic III

Tasarlanan Oktokopter'da kullanılan Fırçasız Doğru Akım Motorları Şekil 3'de görülmektedir. Bu motorlar; verimli, düzgün moment/hız ilişkisine sahip, az bakım gerektiren ve gerektiğinde tehlikeli ortamlarda kullanılabilen; bunun yanında kontrol edilmesi zor ve maliyeti yüksek motorlardır.

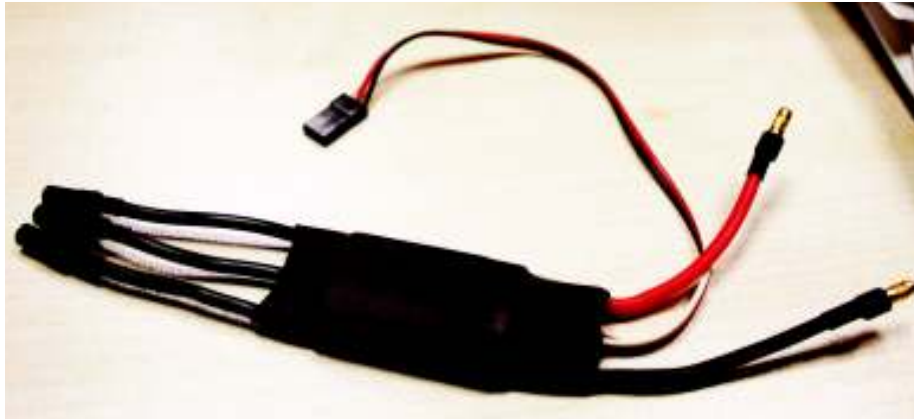
Fırçalı doğru akım motorları anahtarlama işlemi aksine, fırçasız doğru akım motorları anahtarlama işlemi elektronik olarak gerçekleştirilmektedir. Elektronik anahtarlama işlemini gerçekleştirmek için Elektronik Hız Kontrol Devreleri (Electronic Speed Controller-ESC) kullanılmaktadır (Şekil 4).

Oktokopter'un hareket kontrolünde kullanılacak olan mikro denetleyicinin PWM çıkışına sahip olması gereklidir. Oktokopter için gerekli olan PWM çıkışı en az sekiz adettir. Rotor sayısı, kullanılan mikro denetleyicideki PWM çıkışı ile doğru orantılıdır. Bu denetleyicinin en temel görevleri; kontrol birimi ve sensörlerden gelen veriyi almak, alınan veriyi işlemek ve gerekli şekilde çıkışa aktarmaktır. Bunun yanında denetleyicinin diğer görevi; verileri gerçek zamanlı olarak işlemektir. Mikro

denetleyici için geliştirilmiş açık kaynak kodlu “Arduino” mikro denetleyici platformundan yararlanılmıştır. Bu platformda gerekli olan düzeltmeler “C” program dilinden faydalanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. Fırçasız doğru akım motoru.

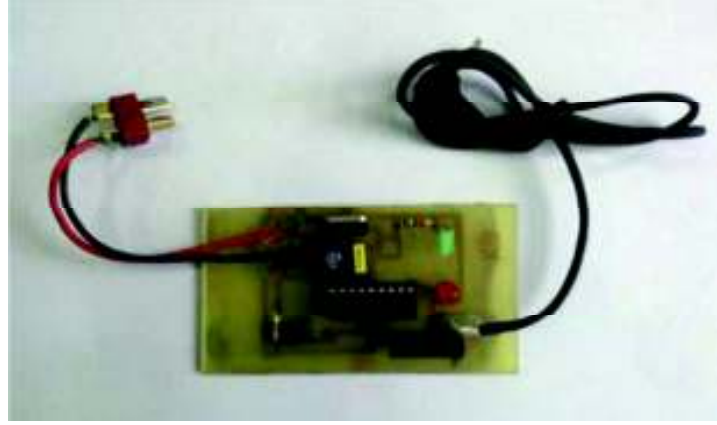


Şekil 4. Elektronik hız kontrolcüsü (ESC).

Oktokopter’un genellikle denge problemi olduğundan; uçuş sırasında sabit bir şekilde kalmasını, uçmasını ve doğru manevralar yapabilmesini sağlayan çeşitli algılayıcılar vardır. Temel olarak kullanılan sensörler; gyro, ivme ve barometrik basınç sensörleridir. Ama tasarlanan Oktokopter’da bu sensörlerin dışında Ataletsel Ölçüm Birimi de (Inertial Measurement Unit-IMU) bulunmaktadır. Ataletsel Ölçme Birimi hava, kara, deniz ve uzay araçlarında sıklıkla kullanılan ataletsel kılavuzluk sisteminin ana unsurudur.

Saniye cinsinden ifade edilen çekim zamanlaması, İHA’yı kumanda eden için olabildiğince zor olduğu gibi, yardımcı uçuş ekibi tarafından bile eşit periyotlarda yapılması zor bir işlem olmaktadır. Bu nedenle sistemde elektronik bir zamanlayıcı kullanılması uygun görülmüştür. Elektronik zamanlayıcı için, kristali içine bütünleştirilmiş bir entegre kullanılmıştır (Şekil 5). Bu sayede dış bir kristale gerek kalmaksızın hassas zaman fonksiyonları entegre içine programlanabilmektedir. Zamanlayıcı için C programlama dili kullanılmıştır. Programda görüntü alımı için döngü kullanılmıştır. Kamera üzerindeki hafıza kartı, kameranın 12 MP çekim modunda en fazla 2,000 görüntü aldığı için, bu değerin üzerinde herhangi bir döngü

sayısı girmek yeterli olmuştur. Sistemin deneme aşamalarında Oktokopter'un havada yaşayabileceği dönüklüklerden dolayı 1 saniye çekim aralıkları tanımlanmıştır.



Şekil 5. Elektronik zamanlayıcı donanımı (Karakış 2011).

Bunların dışında Oktokopter için gerekli olan diğer ana bölüm ise batarya bölümüdür. Tasarımda kullanılan ekipmanın ağırlığının ve ihtiyaç duyulan zamanın fazla olmasından dolayı yüksek enerjiye ihtiyacı duyulmuştur. Bu sebeple 11.1 Volt ve 8,000 mAh yüksek deşarj kapasitesine sahip “Li-Po” batarya kullanılmıştır.

3 UYGULAMA

Çalışmada örnek uygulama olarak Bülent Ecevit Üniversitesi içerisinde yapılmakta olan Mühendislik Fakültesi binası inşaat alanı seçilmiştir. Kampüs sahası bu bölgede özellikle inşaat çalışmaları dolayısıyla topoğrafyası çok değişen bir alandır. İnşaat alanının 3B modeli için İHA yardımıyla Canon 450D DSLR kamerasıyla alınmış ~3 cm YÖA'na (Yer Örnekleme Aralığı) sahip görüntülerden alana uygun bir çift seçilmiştir.

Fotogrametrik olarak değerlendirmelerin yapılması için araziden görüntüler üzerinde seçilebilecek detaylardan 5 tanesi RTK GPS (Real Time Kinematic-Gerçek Zamanlı Kinematik) ile ölçülmüştür. Modelin oluşturulmasında, Yer Kontrol Noktalarının (YKN) tespiti ve ölçümü için gerekli arazi işlemlerinin yapılmasının ardından, iç yöneltme, karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Stereoskopik olarak değerlendirilen çiftten model noktaları kıymetlendirilmiş ve NetCAD yazılımı altında bu noktalardan münhaniler üretilmiştir.

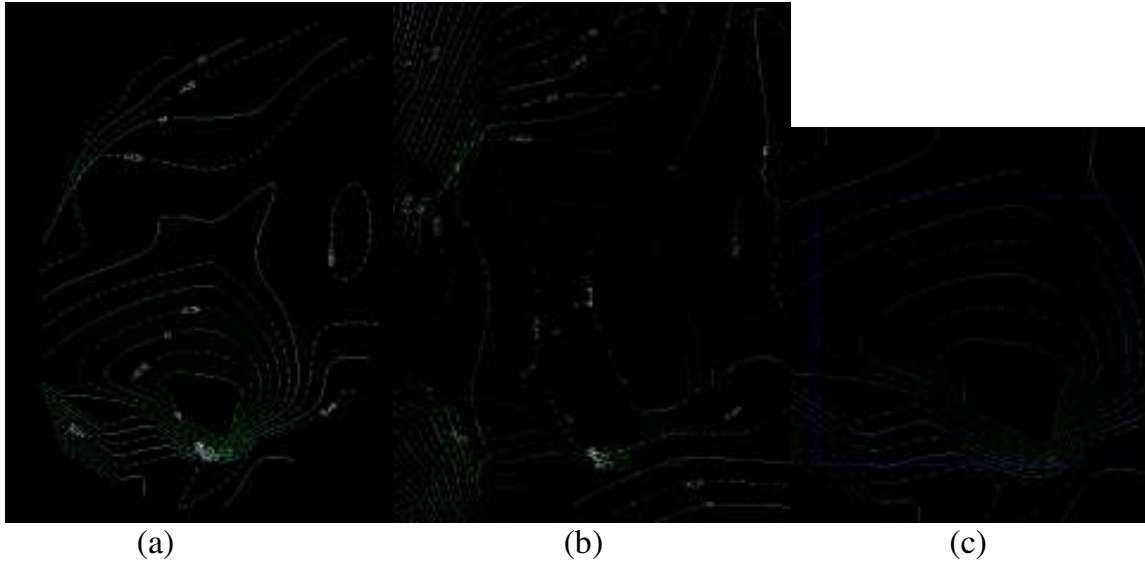
Aynı bölgede daha önce yapılmış olan fotogrametrik veri referans olarak kullanılmış ve üretilen verilerin uygunluğu test edilmiştir. Şekil 6'da Mühendislik Fakültesi için yapılan bina alanının referans veri gösterimi, Şekil 7'de ise a) yeni üretilen model, b) referans ve yeni üretilen verinin karşılaştırması ve c) hacim hesabı için kullanılmış alan olmak üzere model görünüşleri verilmiştir.

Çalışma sırasında alınan görüntüler inşaatın başlama sürecinden sonra gerçekleştiği için kuzey kısımlarında tam anlamıyla kazı alanını yansıtmamaktadır. Ancak kullanım alanına göre değerlendirmelerin uygun periyotlarda alımı ileride yapılacak çalışmalar için böyle bir sorunun oluşmasını ortadan kaldıracaktır. Şekil 7c'de

gösterilen hacim alanı için ortalama siyah kot 63 m olarak seçilmiş ve aşağıda Çizelge 2’deki verilere ulaşılmıştır.



Şekil 6. Kampüs Mühendislik Fakültesi binası inşaat alanı yükseklik değişimi.

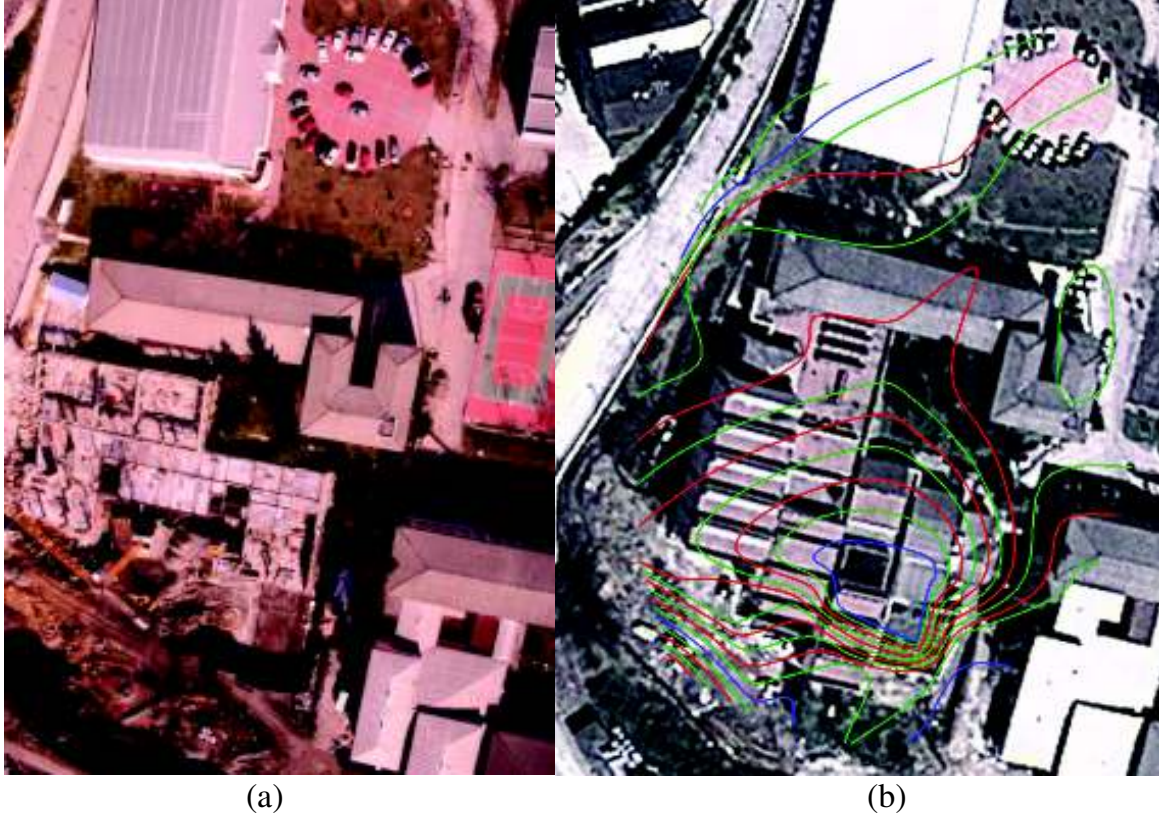


Şekil 7. a) Kazı sonrası inşaat alanı, b) Eski durum ile birlikte gösterimi, c) Hacim hesabı için kullanılan alan.

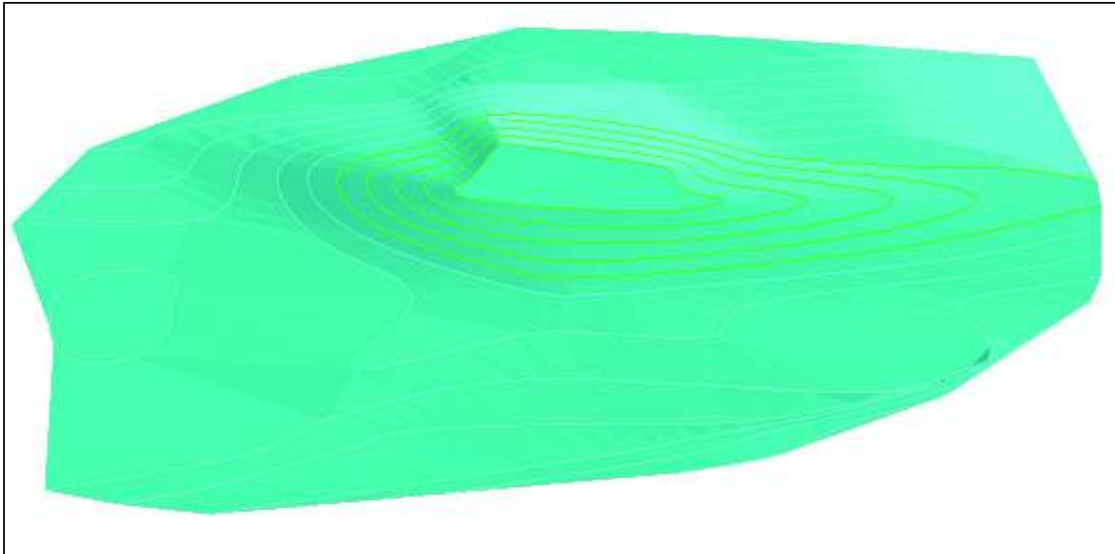
Çizelge 2. Model alanı hacim hesabı değerleri.

Kazı Hacmi (m ³)	5,089.9
Dolgu Hacmi (m ³)	337.8
Toplam Alan (m ²)	3,293.8
Kazı Alanı (m ²)	2,924.5
Dolgu Alanı (m ²)	369.2

Çalışmada siyah kot olarak referans modeli seçmekte mümkündür. Uygun kesitlerle önceki ve sonraki alımlar arasındaki hesap şeklinde de çalışma gerçekleştirilebilir. Elde edilen bu verilerle çizelgede verildiği gibi kazı-dolgu ve toplam hacim hesapları kolaylıkla elde edilebilir. Şekil 8a'da Stereo çiftin sol görüntüsü, Şekil 8b'de ise oluşan modelin Google Earth üzerinde konum olarak gösterimi verilmiştir. Ayrıca Şekil 9'da da alana ait katı model Kuzey-Güney perspektif bakışı şeklinde sunulmuştur.



Şekil 8. a) Kullanılan hava görüntüsü, b) Modelin Google Earth üzerinde görünümü.



Şekil 9. Uygulama alanı katı modeli; Kuzey-Güney perspektif görünümü.

4 İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ (İHA) MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE KULLANIM OLANAKLARI

İHA teknolojisinde son yıllarda kat edilen yol, elde edilen verinin kalitesini ve güvenilirliğini arttırmıştır. Bu gelişmeler ışığında İHA'nın maden endüstrisindeki kullanımını günden güne arttırmıştır. Geleceği yakalamak isteyen sektör çalışanları; rekabet ortamına girebilmek, üretkenliklerini arttırabilmek, karar verme sürelerini kısaltabilmek ve daha güvenli bir iş ortamı sağlayabilmek için bu teknolojiyi kullanmaya başlamışlardır. Bu sistem maden endüstrisi için yapılan fotogrametrik uygulamaların hemen hemen tamamını içerir. Bunlar:

- Stok Hacim Hesabı,
- Açık İşletme Madencilik Ölçümleri (McLeod vd. 2013),
- Kesin Hesap Ölçümleri,
- 3B Modelleme ve Haritalama (Nagai vd. 2008),
- Çevresel Raporlama,
- Altyapı Planları (Eisenbeiss 2004),
- Kaza Alanı Planları (Choi vd. 2009),
- Tehlike Alanı Haritalama (Birk vd. 2011),
- Tasmanın İzlenmesi (Gasperini vd. 2014),
- İlerleme Durum Raporları ve İş Takibi,
- Yollar, Boru Hatları ve Enerji Hatları Ölçümleri

gibi endüstride gerekli olan temel uygulamalardır.

Günümüzün en büyük problemlerinin başında iş yeri ve işçi güvenliği sorunu gelmektedir. Sıkça meydana gelen iş yeri kazalarının en çarpıcı olanlarının, maden endüstrisinde meydana gelen kazalar olduğunu bilmekteyiz. Kazalar sonucu meydana gelen kayıplar ve zararlar akademik çalışmalara da konu olmuştur (Mathews vd. 2002, Patterson ve Shappell 2010, Saleh ve Cummings 2011). Bu endüstride yürütülen faaliyetlerin hata toleransının az olması sebebiyle; yapılan işin hızlı, verimli ve aynı zamanda güvenli olması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında maden endüstrisindeki her türlü haritacılık faaliyetinin İHA ile yapılması bu disiplinin endüstriye katkısını arttıracaktır. Madencilik endüstrisinde gerekli olan ölçüm işlerinin İHA ile yapılmasının avantajları;

- Saha çalışmaları daha hızlı ve daha verimli gerçekleşmesi,
- Ölçüm işini gerçekleştirecek personel için riskin önemli şekilde azalması,
- Ulaşılması zor ve tehlikeli alanların kolayca ölçülebilmesi,
- Rüzgarlı ve bulutlu günlerde dahil olmak üzere kötü hava koşullarından bağımsız faaliyetlerin sürdürülebilmesi,
- Geleneksel yöntemlere göre daha düşük maliyetli olması,
- Ölçüm verilerinin günlük elde edilmesi ve işlenebilmesi,
- Ölçüm sırasında saha içinde bulunan araç ve ekipmanlarla etkileşim olmaması,
- İHA'nın yenilenebilir enerji ile çalışması,
- Normal uçuşlardan daha düşük ve yavaş olduğu için elde edilen verinin bilgi içeriğinin daha yüksek olması,
- Büyük ölçüde zamandan tasarruf edilmesi,
- Yangın riskinin en az olmasıdır.

5 SONUÇ VE GELECEK BEKLENTİLERİ

Yapılan çalışma bir inşaat alanında topoğrafya değişimlerinin belirlenmesi üzerine yapılmıştır. Çalışmanın genişletilmesiyle, açık maden uygulamalarındaki topoğrafya değişimlerine, heyelan ve yeryüzünü ilgilendiren tüm görsel afet sorunlarında uygulanabilir. Çalışma ile hacim hesabı belirli bir siyah kottan yapılabileceği gibi referans bir yüzeye göre de gerçekleştirilebilmektedir. Zamansal olarak hızlı değişimlerin gözlenmesi ve hesabında, projelendirmede ve akla gelebilecek her türlü arazi içerikli çalışmada sorunsuz bir şekilde kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında kullanılan görüntüler ~3 cm YÖA'na sahip görüntülerdir. Yaklaşık olarak yarım piksel; ~1.5 cm konum doğruluğu ile anlık veri üretmenin mümkün olduğu bu uygulama yanısıra daha geniş görüntüler alınarak blok dengeleme ile daha az işlem gerektiren büyük çalışmaların da yapımı söz konusu olabilmektedir. Tüm bu bahsedilenler projelerdeki gereksinimlere bağlı olarak değiştirilebilmektedir.

Çalışmanın iş adımları maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Uçuş planının hazırlanması,
- Görüntü alım konum verilerinin İHA'na aktarılması,
- Uygun şartlarda uçuşun gerçekleştirilmesi,
- Görüntüler üzerinde yer kontrol noktalarının belirlenmesi ve ölçümü,
- Fotogrametrik kıymetlendirme,
- Üretilen modellerin projeye uygun CAD ortamında değerlendirilmesi.

Tüm yapılan çalışmaların ışığında karşılaşılabilecek sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Uçuş gününde her fotogrametrik çalışmada beklendiği gibi açık güneşli ve rüzgarsız bir hava olması net görüntüler alımını sağlayacaktır,
- Kıymetlendirmeyi yapan fotogrametri operatörünün deneyimi model doğruluğunu arttıracaktır,
- Çalışmada kullanılan ekipman yaklaşık olarak 4 kg uçuş ağırlığına sahiptir. Böyle bir ekipmanın olası zayıfatı veya proje alanındaki yüksek detaylar uçuş öncesi düzgün analiz edilmelidir.

Bu çalışmada kullanılan görüntüleme sistemine ek olarak kullanılacak bir lazer tarayıcı ile araziye ait çok daha hassas verilerin üretilmesi mümkün olacaktır.

6 KAYNAKLAR

- Birk, A., Wiggerich, B., Bülow, H., Pfingsthorn, M., Schwertfeger, S. 2011. Safety, Security and Rescue Missions with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV), *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 64, pp. 57-76.
- Chen, J. Y. 2010. UAV-Guided Navigation for Ground Robot Tele-operation in a Military Reconnaissance Environment, *Ergonomics*, 53, pp. 940-950.
- Choi, K., Lee, I., Hong, J., Oh, T., Shin, S. W. 2009. Developing a UAV-based Rapid Mapping System for Emergency Response, Spie Defense, Security, and Sensing, *International Society for Optics and Photonics*, pp. 733209-733209-12.
- Cruz Jr, J. B., Chen, G., Li, D., Wang, X. 2004. Particle Swarm Optimization for Resource Allocation in UAV Cooperative Control, *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, pp. 1-11, USA.

- Dunbabin, M., Marques, L. 2012. Robots for Environmental Monitoring: Significant Advancements and Applications, *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 19, pp. 24-39.
- Eisenbeiss, H. 2004. A Mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV): System Overview and Image Acquisition, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36 p.
- Gasperini, D., Allemand, P., Delacourt, C., Grandjean, P. 2014. Potential and Limitation of UAV for Monitoring Subsidence in Municipal Landfills, *International Journal of Environmental Technology and Management*, 17, pp. 1-13.
- Gopalakrishnan, S., Liu, Q., Marchok, T., Sheinin, D., Surgi, N., Tuleya, R., Yablonsky, R., Zhang, X. 2010. Hurricane Weather Research and Forecasting (HWRF) Model Scientific Documentation, L. Bernardet Ed, 75 p.
- Grau, L. W., Falivene, J. 2006. Mountain Combat: Hard to Move, Hard to Shoot, even Harder to Communicate, *The Journal of Slavic Military Studies*, 19, pp. 619-625.
- Hou, M., Kobierski, R. D., Herdman, C. 2006. Design and Evaluation of Intelligent Adaptive Operator Interfaces for the Control of Multiple UAVs, R. Taylor & H. Ruck (Chairs), Human factors of uninhabited military vehicles as force multipliers, *Presented at NATO RTO Human Factors and Medicine Panel (HFM) 135 Symposium*, Biarritz, France.
- Janson, S., Helvajian, H., Breuer, K. 1999. MEMS, Microengineering and Aerospace Systems, *AIAA paper*, 3802.
- Karakış, S. 2011. *Küçük Alanlarda Model Uçaklarla Haritalama Amaçlı Veri Üretim Olanaklarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
- Li, Z., Liu, Y., Walker, R., Hayward, R., Zhang, J. 2010. Towards Automatic Power Line Detection for a UAV Surveillance System Using Pulse Coupled Neural Filter and An Improved Hough Transform, *Machine Vision and Applications*, 21, pp. 677-686.
- Mathews, K., Mitchell, S., Tucknell, K. 2002. Mining Exploration Related Aviation Accidents and Incidents, Unpublished Report, *Newmont Mining Corporation*, Adelaide, Australia.
- McEneaney, W. M., Fitzpatrick, B. 2002. Control for UAV Operations under Imperfect Information, *Proceedings First AIAA UAV Symposium*, VA. Citeseer, Portsmouth, England.
- McLeod, T., Samson, C., Labrie, M., Shehata, K., Mah, J., Lai, P., Wang, L., Elder, J. 2013. Using Video Acquired from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to Measure Fracture Orientation in an Open-Pit Mine, *GEOMATICA*, 67, pp. 173-180.
- Nagai, M., Chen, T., Ahmed, A., Shibasaki, R. 2008. UAV Borne Mapping By Multi Sensor Integration, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 37, pp. 1215-1221.
- Pardesi, M. S. 2005. Unmanned Aerial Vehicles/Unmanned Combat Aerial Vehicles, *Air & Space Power Journal*, pp. 45-54.
- Patterson, J. M., Shappell, S. A. 2010. Operator Error and System Deficiencies: Analysis of 508 Mining Incidents and Accidents from Queensland, Australia Using HFACS. *Accident Analysis & Prevention*, 42, pp. 1379-1385.
- Pinkney, M. F., Hampel, D., DiPierro, S. 1996. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Communications Relay, Military Communications Conference, *MILCOM'96, Conference Proceedings, IEEE*, pp. 47-51.
- Quigley, M., Goodrich, M. A., Griffiths, S., Eldredge, A., Beard, R. W. 2005. Target Acquisition, Localization, and Surveillance Using a Fixed-wing Mini-UAV and Gimbaled Camera, *Robotics and Automation, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on IEEE*, pp. 2600-2605.
- Ranque, P., Freeman, D., Kernstine, K., Lim, D., Garcia, E., Mavris, D. 2011. Stochastic Agent-based Analysis of UAV Mission Effectiveness, *11th AIAA ATIO Conference*.
- Ryan, A., Zennaro, M., Howell, A., Sengupta, R., Hedrick, J. K. 2004. An Overview of Emerging Results in Cooperative UAV Control, *Decision and Control, 43rd IEEE Conference on IEEE*, pp. 602-607.
- Saleh, J. H., Cummings, A. M. 2011. Safety in the Mining Industry and the Unfinished Legacy of Mining Accidents: Safety Levers and Defense-in-depth for Addressing Mining Hazards, *Safety Science*, 49, pp. 764-777.

- Srinivasan, S., Latchman, H., Shea, J., Wong, T., McNair, J. 2004. Airborne Traffic Surveillance Systems: Video Surveillance Of Highway Traffic, *Proceedings of the ACM 2nd International Workshop on Video Surveillance & Sensor Networks*. ACM, pp. 131-135.
- Stacy, N., Craig, D., Staromlynska, J., Smith, R. 2002. The Global Hawk UAV Australian Deployment: Imaging Radar Sensor Modifications and Employment for Maritime Surveillance, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE International IEEE*, pp. 699-701.
- Vogel, R. J. 2011. Drone Warfare and The Law of Armed Conflict, *Denver Journal of International Law & Policy*, 39.
- Weedon, W. H., Payne, W. J., Rebeiz, G. M. 2001. MEMS-switched Reconfigurable Antennas, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 654-657.
- Williams, W., Harris, M. 2002. The Challenges of Flight-Testing Unmanned Air Vehicles, *Systems Engineering Society of Australia*.
- Wong, K. 2001. Survey of Regional Developments: Civil Applications, *UAV Australia Conference*, pp. 8-9, Melbourne, Australia.
- Yamauchi, B. M. 2004. PackBot: A Versatile Platform for Military Robotics, Defense and Security, *International Society for Optics and Photonics*, pp. 228-237.

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ
SİSTEMLERİ KULLANILARAK TERKEDİLMİŞ
OVACIK KÖMÜR MADENİNİN KAPATMA VE
DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMA PLANLAMASI**
*MINE CLOSURE AND RECLAMATION PLANNING FOR
ABANDONED OVACIK COAL MINE USING REMOTE
SENSING AND GEOGRAPHICAL
INFORMATION SYSTEMS*

K. Büyüktanır, M. Tokoğlu, O. Vardar, T. Sarıçam, Y.A. Taştekin,
H. Ş. Düzgün
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET: Ovacık Kömür Madeni Türkiye'nin Çankırı ilinde bulunan terk edilmiş bir kömür madenidir. Maden uygun bir şekilde kapatılıp doğaya yeniden kazandırılmadığından, başta asit kaya drenajı ve erozyon olmak üzere birçok çevre sorunu oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında maden sahasının bilgi teknolojisi araçlarından olan uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak maden kapatma ve doğaya yeniden kazandırma planı sunulmuştur. Planın yapılmasında, madencilik öncesi ve sonrası durumun yorumlanması için yüksek çözünürlüklü bir uydu görüntüsü olan WorldView-1 görüntüsü ile 1987 ve 2000 yıllarına ait düşük çözünürlüklü Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak sahanın topoğrafik verilerinden yararlanarak coğrafi bilgi sistemlerinde sahanın sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. 1987 ve 2000 yıllarına ait uydu görüntüleri analiz edilerek arazi kullanımı ve örtüsü sınıflaması yapılmış, arazi örtüsü ve kullanımındaki değişimler belirlenmiştir. Elde edilen bütün bu veriler ile detaylı bir doğaya yeniden kazandırma ve maden kapatma planı oluşturulmuş ve planın maliyetleri hesaplanmıştır.

ABSTRACT: Ovacık Coal Mine is an abandoned coal mine which is located in Çankırı province of Turkey. Since the mine has not been closed and reclaimed properly, there exists many environmental problems, basically acid mine drainage and erosion. Within the scope of this study, mine closure and reclamation plan for the mine site is prepared with the use of information technology tools namely remote sensing and geographical information systems. During the development of the plan, WorldView-1 image, which is a high resolution satellite image and Landsat satellite imageries, which are low resolution satellite images for 1987 and 2000 were used to interpret the land use/land cover conditions for pre- and post-mining phases. In addition, topographical data for the area is used to obtain the digital elevation model (DEM) in geographical information systems. Furthermore, change map for the region is also prepared by comparing land use / land cover maps of years 1987 and 2000. From all these data, a detailed reclamation and closure plan is prepared as well as calculating the cost of it.

1 GİRİŞ

Cevherin tükenmesi ve/veya madencilik açısından ekonomik olmaması madenlerin kapatılmasındaki başlıca nedenler arasında yer alır. Ancak bu iki temel nedenin yanında başka ekonomik faktörler, teknik problemler, alt pazarların kapanması gibi nedenlerle de madencilik faaliyetlerinin sonlanması gerekmekte ve ocakların terk edilmesi durumu ortaya çıkabilmektedir. Yeterli kapatma ve doğaya kazandırma çalışmalarından mahrum kalan bu alanlar çevre ve insan sağlığı açısından birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Çevre üzerinde olan etkiler arasında hava, su ve toprak kirliliği bilinen belli başlı birkaç başlık olmakla birlikte daha özeldir ise asit kaya drenajı ve toprak erozyonu sıkça karşılaşılan ve üzerinde durulması gereken durumlara sadece birkaç örnek teşkil etmektedir. Özellikle asiditenin artışı su-geçirgen zenginleştirme atıkları, atık kaya yığınları ve/veya açık ocaklardaki ağır metallerin çözünümünü kolaylaştırarak toprak ve su ekosistemlerinin etkilenmesiyle sonuçlanır (Bell ve Donnelly 2006). Benzer etkiler terk edilmiş madenlerde de sıkça rastlanır ve genellikle yıllarca devam eden toprak ve su kirliliğine neden olur (Bell vd. 2001).

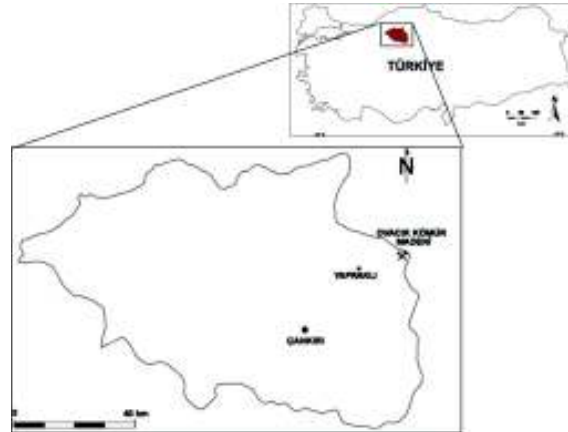
Bütün bu olumsuz etkileri tamamen ortadan kaldırmak veya en aza indirmek açısından sistematik maden kapatma ve doğaya kazandırma çalışmaları büyük önem teşkil etmektedir. Artan çevre bilinci ve sürdürülebilir gelişimin gerekliliklerinden olan bu çalışmalar ile bahsedildiği gibi doğaya verilen tahribatın azaltılmasına ek olarak madencilik faaliyetlerinin de kamuoyunda kötü izlenimler bırakması önlenmelidir. Maden kapatma ve doğaya yeniden kazandırma madenciliğin her aşamasına dahil edilmesi gereken ve madencilikle entegre şekilde uygulanması zorunlu bir aktivitedir (Düzgün 2009). Aksi durumda kapatma ve doğaya yeniden kazandırmanın maliyetleri ekonomik, çevresel ve sosyal çok yüksek olmaktadır (Düzgün 2009). Bu çalışmanın da kapsamında olduğu gibi terkedilmiş maden sahalarının doğaya yeniden kazandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada terk edilmiş bir maden ocağının kapatma planlaması sunulmuş ve planın uygulanması durumunda yaklaşık maliyeti hesaplanmıştır.

2 ÇALIŞMA ALANI

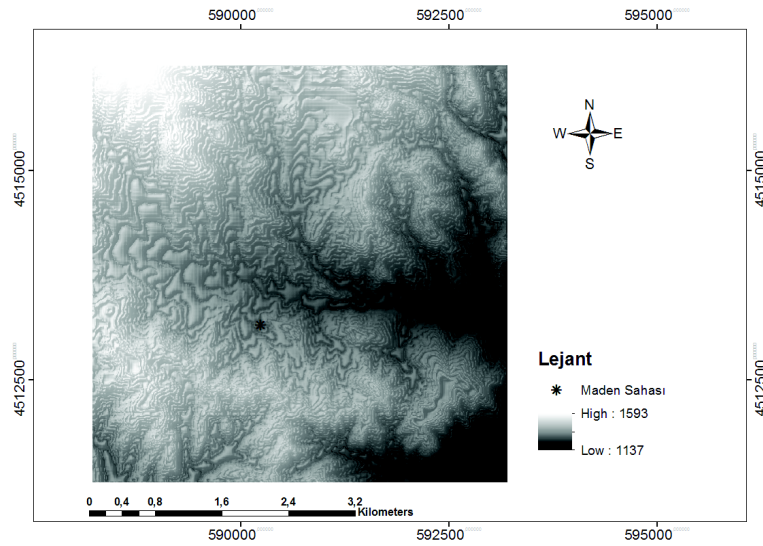
Ankara'nın 140 km kuzeydoğusunda bulunan Çankırı ilinde yer alan terk edilmiş kömür madeni sahası, Yapraklı ilçesi Ovacık köyünün ise 1.5 km güneyindedir. Yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiş olan arazide yüzeyleyen çoğunluğu Senozoik yaşlı tortul kayalara ek olarak bazı ofiyolitik birimler de gözlenmektedir.

Özel bir maden işletmesi tarafından 1987 ve 2000 yılları arasında gerek yeraltı gerekse açık ocak işletmeciliği ile üretim yapılmış olan madenden 1999 yılına kadar yaklaşık 224,000 ton kömür elde edilmiştir. 2005 yılında şirket tarafından üretimin durdurulması ve buna müteakiben 2008 yılında madencilik izinlerinin iptali sonucu saha Çankırı Valiliği'nin yetkisine bırakılmıştır (Yenilmez vd. 2011).

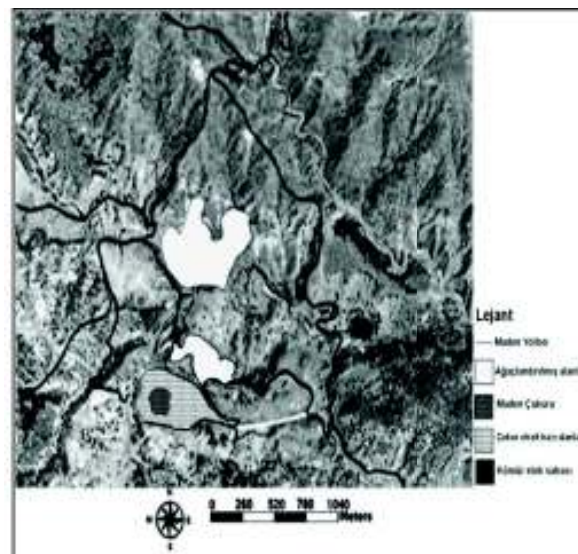
Topografik analizlerde kullanılmak üzere Şekil 2'de verilen sahanın sayısal yükseklik modeli (SYM) hazırlanmış ve SYM daha sonra bakı, eğim, havza ve akım yönü haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Şekil 3'de ise maden sahasının kullanım alanları görülmektedir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası.



Şekil 2. Sayısal yükseklik modeli.



Şekil 3. Ovacık kömür madeni planı.

3 UZAKTAN ALGILAMA İLE ARAZİ KULLANIMI VE ÖRTÜSÜNDEKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

Maden kapatma planlamasının en önemli aşaması alanın madencilik öncesi durumuna ait verilerin elde edilmesidir. Genellikle bu verilerin maden işletmesi tarafından madencilik faaliyetleri öncesinde toplanması esastır. Ancak söz konusu alanda bu tür bir veri toplama çalışmasının bulgularına ulaşamadığından, sahaya ait madencilik öncesi ve sonrasındaki uydu görüntülerinin kıymetlendirilmesi ile maden kapatma planlamasının temelini oluşturacak bilgiler elde edilebilir. Bu amaçla 1987 (madencilik öncesi) ve 2000 (madencilik sonrası) yıllarına ait olan düşük çözünürlüklü Landsat uydu görüntüleri ve yüksek çözünürlüklü WorldView-1 görüntüsü TNTMips, ENVI ve ArcGIS gibi coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama araçları kullanılarak kıymetlendirilmiştir.

İlk olarak, 1987 ve 2000 yıllarına ait olan düşük çözünürlüklü TIFF formatlı Landsat uydu görüntüleri ve yüksek çözünürlüklü WorldView-1 görüntüsü TNTMips programına aktarılmıştır. Maden sahasını da içine alan ortak bir vektör ile görüntüler kırılmış ve elde edilen yeni görüntüler yer koordinat sistemine bağlanmıştır. Bu işlem tamamlandıktan sonra, ENVI ye aktarılan Landsat görüntüleri çeşitli bant kombinasyonları kullanılarak analiz edilmiştir. Bunlar gerçek renkleri veren 3-2-1 (Kırmızı, Yeşil, Mavi, RGB), yalancı renkleri veren ve bu kombinasyonda kırmızı rengin bitki örtüsü alanları ortaya çıkardığı 4-3-2 (Yakın kızılötesi-1, Kırmızı ve Yeşil) ve 5-4-3 (Yakın kızılötesi-2, Yakın kızıl ötesi-1, Kırmızı), kombinasyonlarıdır.

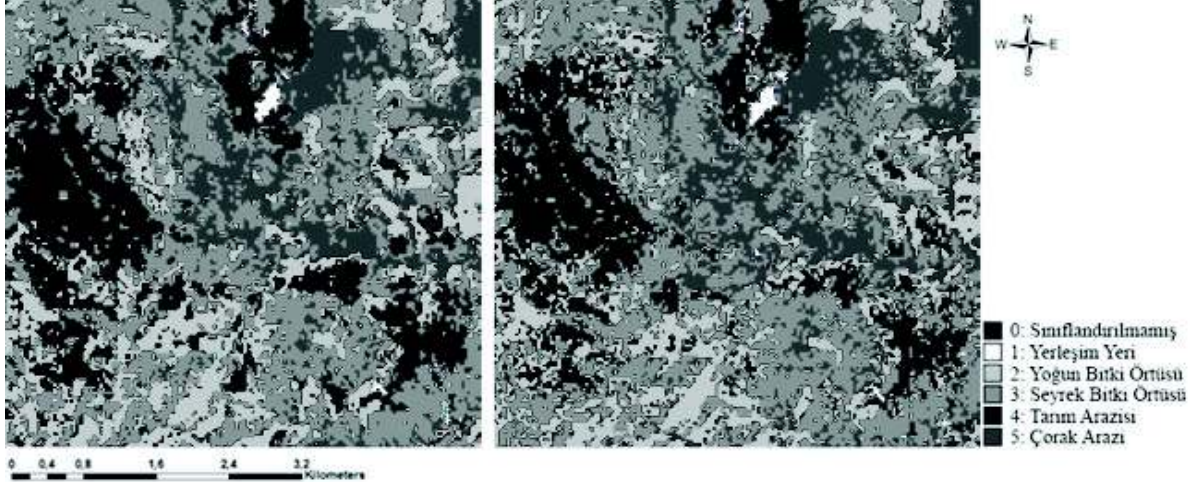
Bunlara ek olarak yeşil alanların belirlenmesine yardımcı olan Normalize Fark Bitki İndisi (normalized difference vegetation index, NDVI) ve Worldview-1 uydu görüntüsü de analizlerde kullanılmıştır. Analizler sonucunda maden sahasına ait arazi kullanımı ve örtüsü (AÖK) sınıflaması yapılmıştır. AÖK'nın 1987 (madencilik öncesi) ve 2000 (madencilik sonrası) yılları arasındaki değişim haritaları elde edilmiş, meydana gelen değişimler alansal ve yüzdesel olarak hesaplanmıştır.

Landsat uydu görüntülerinin sınıflandırma işlemi eğitimli sınıflandırma yöntemi ile yapılmıştır ve eğitim veri kümesinin oluşturulmasında yüksek çözünürlüklü Worldview-1 uydu görüntüsü rehber olarak kullanılmıştır. Farklı bant kombinasyonları da söz konusu eğitim kümesinin oluşturulmasında yardımcı veri kümesi olarak kullanılmıştır.

Gerçek renk (3-2-1) kombinasyonu bitki oluşumlarının gözlemlenmesinde önemli bir araç olsa da Landsat uydu görüntüsünün düşük çözünürlüğü (30 m) nedeni ile eğitim veri kümesinin oluşturulması ve arazi kullanımlarının ayırt edilmesinde tam anlamıyla yeterli olmamıştır. Ancak yine de bir ilk fikir vermesi açısından yararlı olmuştur. Bitki örtüsü içeren alanların incelenmesinde oldukça sık kullanılan yalancı renk (4-3-2) ise bitkilerin seyrek veya yoğun olduğu noktaların belirlenmesinde önemli rol oynamıştır. Bunlara ek olarak, 5-4-3 bant kombinasyonundan ise seyrek bitki bulunan alanlar ile boş alanların analiz edilmesi için faydalanılmıştır.

Arazi yerleşim yeri, yoğun bitki örtüsü, seyrek bitki örtüsü, tarım arazisi ve çorak (boş) arazi olarak beş farklı sınıf altında incelenmiştir. Her sınıf için eğitim veri kümesi oluşturulduktan sonra, “en büyük olabilirlik” yöntemi kullanılarak 1987 ve 2000 yılları için arazi örtüsü haritası oluşturulmuştur (Şekil 4). Elde edilen bu

haritalar daha sonra arazinin belirlenen süreçte ne kadar değişime uğradığını yorumlamak için kullanılmıştır.



Şekil 4. 1987 ve 2000 yılları için arazi örtüsü haritaları.

Oluşturulan değişim haritalarından, maden çalışmalarının bölgedeki etkisini en iyi gösteren harita 1987 yılında seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanların değişimini gösteren harita olmuştur. Sınıflandırma sonucunda elde edilen değişim matrisine göre (Çizelge 1), 1987 yılında yoğun bitki örtüsüne sahip alanların %21.078'i seyrek bitki örtüsüne ve seyrek bitki örtüsüne sahip olan alanların %12.073'ü 2000 yılında çorak alana dönüşmüştür. Madencilik faaliyetlerinin bölgedeki bitki örtüsü üzerindeki olumsuz etkisi bu sonuçlara bakılarak anlaşılabilir.

Çizelge 1. Değişim Matrisi.

		1987				
		Yerleşim Yeri (%)	Yoğun Bitki Örtüsü (%)	Seyrek Bitki Örtüsü (%)	Tarım Arazisi (%)	Çorak Alan (%)
2000	Sınıflandırılmamış	0.000	0.015	0.048	0.107	0.024
	Yerleşim Yeri	49.091	0.015	0.064	0.133	0.309
	Yoğun Bitki Örtüsü	6.667	64.651	9.647	14.015	4.154
	Seyrek Bitki Örtüsü	37.576	21.868	70.826	14.969	17.446
	Tarım Arazisi	3.636	9.064	6.941	70.742	0.119
	Çorak Alan	3.030	4.386	12.073	0.307	77.949

4 MADEN KAPATMA PLANI

Kapatma planı hazırlanırken öncelikle madenin çevre etkileri ve bu etkilerin en aza indirilmesi için gerekli olacak çözümler dikkate alınmıştır ve sahaya ait altı yıllık bir kapatma planı hazırlanmıştır. Maden sahası hem açık ocak hem de yeraltı madenciliği olarak işletildiğinden bitki örtüsünün değişiminin yanında madencilik sonrası arazide gerçekleşen en önemli değişiklik topoğrafik değişimlerdir. Topografyanın değişimi iki ana başlıkta incelenmiştir. Bunlar erozyon ve açık ocak çukurunun duraylılığıdır. Topografyadaki değişimlere bakılarak şiddetli erozyon olan bölgeler tespit edilmiştir.

Çalışma alanındaki hakim rüzgarlar kuzeybatıdan güney doğuya doğru esmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı Çankırı İl Çevre Durum Raporu 2006) ve bu da erozyonla doğrudan ilgilidir. Ayrıca erozyon riski en çok ormandan boş araziye dönen bölgelerde vardır. Erozyonu önlemek için var olan yöntemler dikkate alındığında en uygununun arazide öncelikle otsu bitkilerle, sonra da ağaçlandırma ile bitki örtüsünün oluşturulması olduğu anlaşılmıştır.

Açık ocak çukurunun duraylılığı için öncelikle eğim haritası dikkate alınmıştır. Bölgenin maden çalışması öncesindeki eğimi 0 ve 40 derece arasında değişmektedir (Emil 2010). Açık ocak çukurunun ortalama eğimi 60 derece olarak bulunmuştur ve Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'ne göre bu açının 30 derecenin altına düşürülmesi gerekmektedir. Bunun için maden kapatma planında patlatma ve daha küçük basamaklar oluşturma yöntemleri kullanılmasına karar verilmiştir.

TNTMips programı kullanılarak açık ocak çukurunun yarıçapı yaklaşık 48 metre olarak ölçülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda patlatma sonrası yarıçapın 71 metre olması durumunda, eğimin 30 dereceye inebileceği bulunmuştur. Patlatma sonrasında da yüksekliği 2 metre genişliği 3.8 metre olan 10 adet basamak oluşturulmak sureti ile açık ocak çukurunun eğiminin azaltılması planlanmıştır. Bu işlem için yapılması gereken toplam dekapajın miktarı 74,868 m³ olarak hesaplanmıştır. Eğim azaltma işlemleri sırasında ortaya çıkacak pasa malzemesinin ocak çukurluğunda depolanması en düşük maliyetli çözüm olduğundan, bu yöntem benimsenmiştir.

Maden sahasının uygun şekilde kapatılmamasından kaynaklanan diğer bir önemli çevresel etki ise asit kaya drenajıdır (AKD). Özellikle kömür ve yan kayaçlarla kontağı olan yeraltı suyunun galeri girişlerinden yüzey suyuna karışması ve kömürün ve yan kayaçların içindeki sülfatların yüzeye taşınması ile AKD oluşmaktadır. AKD arıtma yöntemleri iki genel başlık altında toplanabilir. Bunlar: aktif arıtma ve pasif arıtmadır. Pasif sistemler aktif sistemlere göre işletme maliyeti ve işletme kolaylığı bakımından daha avantajlıdır (Karadeniz 2005). Bu nedenle AKD sorununun çözümü için pasif sistemler içinde sınıflandırabilecek anaerobik (havasız) suni bataklıklar yapılmasının daha maliyet etkin bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Bataklıklar içinde sazlık, hasırotu, su kamışı ve suda yaşayan diğer bitki çeşitlerinin bulunduğu düşük tabanlı su alanlarıdır. Bataklık içinde yaşayan canlılar ile bir habitat oluşturarak çeşitli kuşların ve suda yaşayan memeli türlerinin yaşam alanı haline gelirler (Saskatchewan 2012).

Asit kaya drenajının azaltılması için inşa edilen bataklıklarda metal hidroksitlerin ve organik bileşiklerin oluşumu ile iyon yükü değişimleri gözlenir. Ayrıca karbonatların kullanılması sonucu nötrleşme, alt tabaka malzemesine tutunma, algler üzerine metal adsorpsiyonu ve değişimi ile demir hidroksitler ve sülfatın mikrobiyolojik olarak indirgenmesi söz konusudur (Karadeniz 2005). Anaerobik bataklıkların verimi AKD'nın pH değerine, çözünmüş demir ve oksijen miktarına, içindeki mikroorganizma seviyesine ve çözeltinin bataklıkta geçirdiği süreye göre değişim gösterebilir. Demir konsantrasyonunun yüksek ve drenaj çözeltisinin alkali olduğu durumlarda daha fazla verim elde edilir.

Dolayısı ile çalışma sahası için anaerobik bataklığın hazırlanmasının maliyet etkin bir yöntem olması açısından uygun olacağı değerlendirilmiştir. Arıtılacak AKD çözeltilisinin miktarına ve suyun akış hızına göre, derinliği 30 ila 90 cm geçmeyecek şekilde bir alanın kazılarak, kazı alanına gübre, taş, çürümüş mantar ve kireçtaşı atılması planlanmıştır.

Bataklık yosunu ve benzeri organik bileşiklerin katılımıyla, drenaj suyu tabakasının altında bir organik katman oluşturulması ve AKD çözeltilisinin organik tabakadan geçirilerek arıtılması sonraki işlem adımlarıdır. Sudaki çözünmüş oksijen biyolojik ihtiyaçlar nedeniyle tüketilerek ortam anaerobik hale getirilmiş ve AKD sorunu çözümlenmiş olacaktır (Karadeniz 2005). Anaerobik bataklıkların en önemli dezavantajı alt tabakada çökmüş halde bulunan materyalin periyodik olarak alınmasıdır ki söz konusu sahada maliyet unsuru olarak dikkate alınmıştır (Costello 2003).

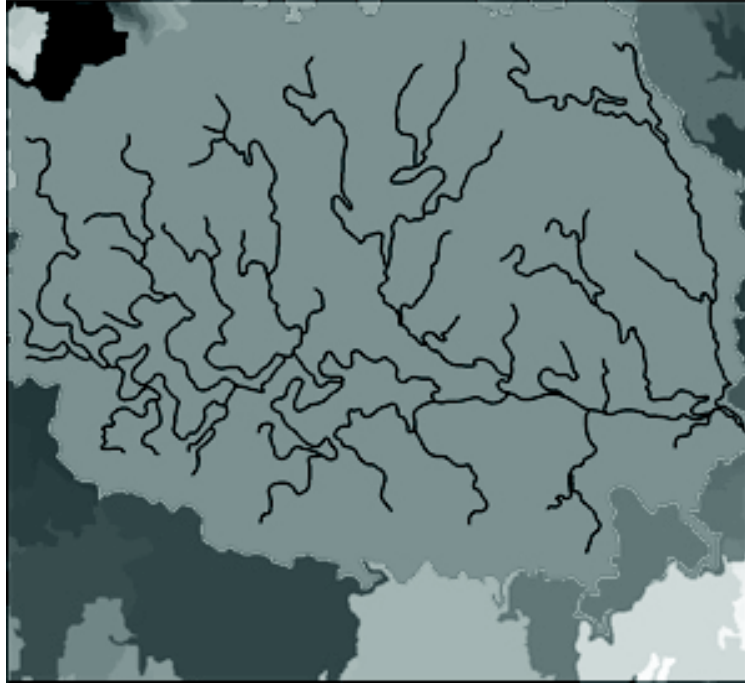
AKD'nin önlenmesi için oluşturulacak bataklık alanının yer seçimi için temel girdi yüzey suyu toplanma haritasıdır. Yüzey suyu toplanma haritası Şekil 5'de verilmiştir. Maden sahasındaki su kolları Kızılırmak nehrine dökülmektedir. Su akım hızı hücre değeriyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 6'da ise drenaj ağı kolları ve maden sahasının bulunduğu havza gösterilmiştir. AKD sorununun çözümü için suyun pH değeri yükseltilerek içindeki metallerin çöktürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle kullanılan yaygın kimyasallar şunlardır;

- Kireçtaşı
- Sönmüş kireç
- Soda külü



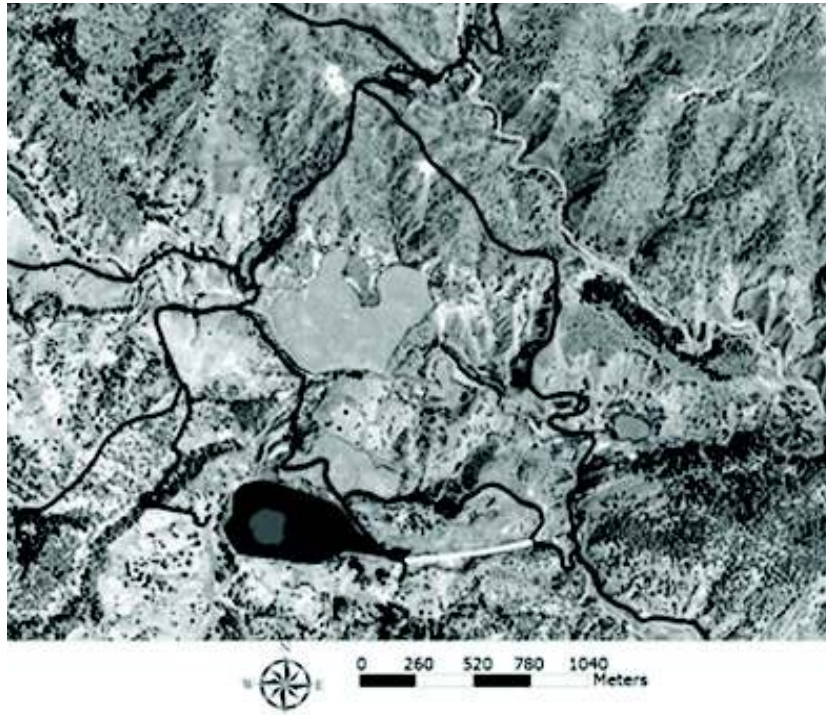
Şekil 5. Su akümülayyonu.

Maden sahasındaki toprağın asitliğinin yüksek olduğu düşünüldüğünde (Yenilmez vd. 2011), toprağın kireçle iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Kireç toprağın pH değerini arttırarak, toprağın daha çok besleyici madde bulundurmasına olanak sağlar. Bu da bitkilerin yetişebilmesi için önemli etkenlerden biridir. Toprağa eklenecek kireç miktarı, toprağın tamponlanma kapasitesine göre değişim gösterir. Toprakta bulunan metal miktarları toprak kirlilik parametreleri sınır değerleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın verileri çerçevesinde düzenlenmelidir. Bu amaçla Yenilmez vd. (2011) ve Soydan'ın (2013) çalışmaları temel olarak kullanılabilir.



Şekil 6. Drenaj ağı.

Maden sahasında bulunan yollar çevre ile uyumlu olarak rehabilite edilmeli ve yerel halka tehdit oluşturabilecek engeller ortadan kaldırılmalıdır. Şekil 7’de beyaz renk ile gösterilen alan çevresinde kavak ağaçları dikilmiş, kısmen kapanmış maden yolu gösterilmiştir. Maden kapatma planı doğrultusunda kuruyan kavak ağaçları sökülerek yerine meşe ağaçları dikilmesi öngörülmüştür. Ayrıca yolun çevresinde bulunan muhtemel tarım alanları da bu kapsamda rehabilite edilecektir.



Şekil 7. Maden sahasındaki yollar.

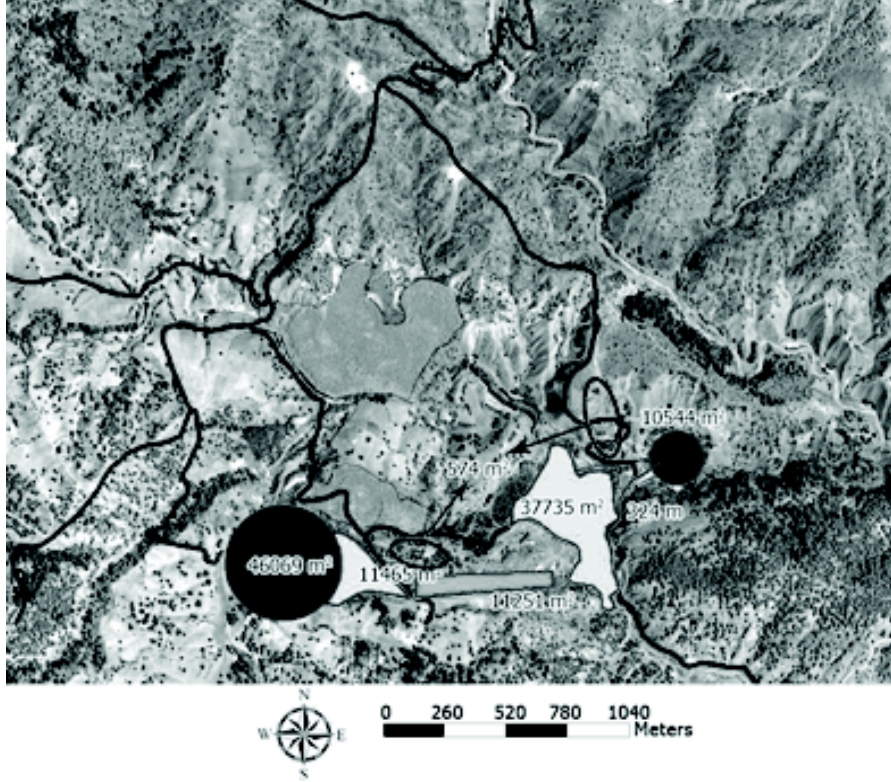
Maden sahasında belirlenen açıklıklar hem yerel halk için hem de hayvanlar için büyük tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca bazı eski maden girişleri yerel halk tarafından kömür çıkarılmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle maden sahasındaki açıklıkların kapatılarak uyarı levhaları ile gerekli uyarıların yapılması önerilmiştir. Bölgede bulunan binaların birçoğu, idari bina hariç, oldukça yıpranmış halde olduğundan kapatma planı doğrultusunda yıkılmalarına karar verilmiştir. İdari bina da maden kapatma ve doğaya yenden kazandırma çalışmaları sırasında kullanılacak sonra da yıkılacaktır.

5 KAPATMA VE DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMA ZAMAN ÇİZELGESİ

Bir kapatma planının uygulanmasında zaman çizelgesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışma için planlanan zaman çizelgesi altı yıllık bir periyodu içermektedir. Birinci yıl yapılacak işler temel olarak kömür stok sahasının boşaltılması, yol etrafı arazilerin eğimlendirilmesi, asit kaya drenajı iyileştirme çalışmalarının başlaması, anaerobik bataklıkların oluşturulması, açık ocak çukurundaki suyun boşaltılması ve çeşitli laboratuvar analizlerinin yapılmasıdır. İkinci yıl yapılacak işler ise açık ocak çukurunun duraylılığının sağlanması, anaerobik bataklıkların oluşumunun tamamlanması, drenaj sisteminin kurulması ve tehlikeli açıklıkların kapatılmasıdır. Üçüncü yılda yapılacak işler; gerekli dolguların yapılması, bitkilendirme için bitkisel toprağın getirilmeye başlanması, serilmesi, bu bölgelere otsu bitkilerin dikilmesi ve drenaj sisteminin kontrol edilmesidir. Üçüncü yılda dökülen toprak hacmi 11,251 m³ olarak hesaplanmıştır.

Dördüncü yılda yapılacak işler; açık ocak çukuruna ve stok sahasına bitkisel toprağın getirilmeye başlanması, serilmesi, bu bölgelere otsu bitkilerin dikilmesi, üçüncü yılda otsu bitkiler dikilen yerlere Meşe fidanlarının dikilmesidir. Dördüncü yılda dökülen toprak hacmi 56,613 m³'dür. Beşinci yılda yapılacak işler; kalan bitkisel toprağın getirilmesi, serilmesi, bu bölgelere otsu bitkilerin dikilmesi, dördüncü yılda otsu bitkiler dikilen yerlere Meşe fidanlarının dikilmesi ve fiğ tohumlarının ekilmesi, drenaj sisteminin kontrol edilmesidir. Beşinci yılda dökülen toprak hacmi 49,200 m³'dür. Son olarak altıncı yılda yapılacak işler; beşinci yılda otsu bitkiler dikilen yerlere Meşe fidanlarının dikilmesi ve fiğ tohumlarının ekilmesi, binaların yıkılması ve izleme faaliyetlerinin başlamasıdır.

Doğaya yeniden kazandırılması gereken toplam alan 115,962 m²'dir ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu çalışmalar sırasında iki önemli konu bulunmaktadır. Birincisi gerekli bitkisel toprak miktarı ve nerden temin edileceği, ikincisi hangi bitkilerin yetiştirileceğidir. Birinci konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar sonucunda gerekli toprak miktarı yaklaşık olarak 28,536.09 ton (17,835.06 m³) olarak hesaplanmıştır. Toprağın tamamının bitkisel toprak üretim tesislerinden alınmasına karar verilmiştir. Bu tarz büyük miktarda üretim yapan Ankara ve İstanbul'da tesisler bulunmaktadır. Toprağın bu tesislerden alınıp taşınması da maliyet hesaplarına eklenmiştir. İkinci konuyla ilgili olarak da bölgede ormanların çokluğu ve yöre halkının tarımla ve hayvancılıkla ilgilenmesi sonucunda iki farklı seçeneğe karar verilmiştir. İlk seçenek meşe fidanı dikilmesidir. Meşe ağacı pH'ı 4.5-6.0 arasında olan toprakta yetişebilmektedir, bölgenin doğal bitki örtüsünden biri meşe ormanlarıdır ve erozyonu önlemek için ideal bir bitkidir (Oğuz TEMA).



Şekil 8. Kapatma ve doğaya yeniden kazandırma faaliyet alanları.

Diğer seçenek ise tarım arazilerine yöre halkının hayvancılıkta kullanabilmesi için fiğ dikilmesidir. Fiğ tohumu yetiştirilmesi için 5 cm'lik bitkisel toprak kalınlığı yetmektedir ve toprağın pH'ı yaklaşık 8 olmalıdır (Sencar 1996). Fiğ dikilecek araziler seçilirken hem köye yakın olmaları hem de asit kaya drenajı iyileştirmesi ile toprak pH'ı yükseltilecek yerlerin uygunluğu dikkate alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yaklaşık olarak 3,773 adet meşe fidanı dikimi ve 484 kg fiğ tohumu ekimi yapılması gerektiği hesaplanmıştır.

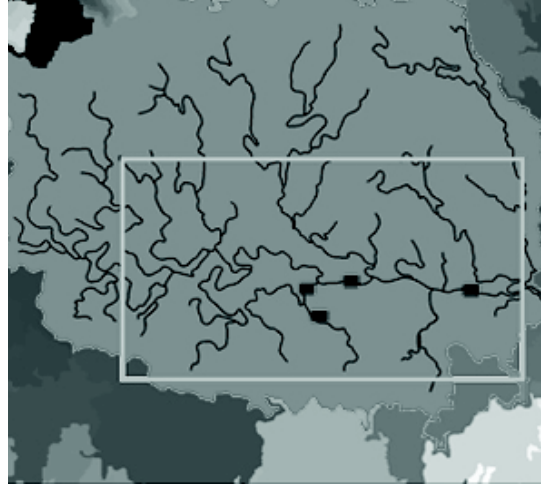
6 MADEN KAPATMA FAALİYETLERİNİN İZLEME VE TAKİBİ

İzleme operasyonu maden kapatma planının uygulanmasının en önemli bölümlerinden biri olarak nitelendirilebilir. Çünkü kapatma işleminin çevreye olan etkisinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi yapılan işlemin doğruluğunu anlama konusunda oldukça önemlidir. Maden kapatma faaliyetlerinin izlenmesi için kullanılabilecek indikatörler şu şekilde sıralanabilir;

- Jeoteknik duraylılık,
- Toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri (pH değeri, iletkenliği, metal bileşen miktarı),
- Yeraltı ve yerüstü su kalitesi kontrolü,
- Bitkilendirme çalışmalarının kontrolü,
- Habitatın kontrolü.

Söz konusu alana kirlilik düzeyi göz önüne alınarak izleme için 10 yıllık bir süre öngörülmüştür. Su kalitesi kontrolü bataklıkların faaliyete geçirilmesi ile birlikte başlayacak ve 10 yıl boyunca izlenecektir. Şekil 9'da su kalitesinin ölçüleceği izleme

istasyonları gösterilmektedir. İstasyonlar AKD'nın olduğu alanlara ve suların akış yönlerine göre belirlenmiştir. Yaklaşık 5.7 milyon metre karelik alanın izlenmesi gerekmektedir.



Şekil 9. İzleme noktaları.

7 MALİYET ANALİZİ

Açık Ocak çukurunun duraylılığı için patlatma yapılarak şev açılarının azaltılması, bitkisel toprağın taşınması, tehlikeli açıklıkların kapatılması ve binaların yıkımını içeren maden kapatma faaliyetlerinin toplam maliyeti 1,052,260 TL olarak hesaplanmıştır. Asit kaya drenajının önlenmesi, bitkisel toprağın sağlanması ve bitkilendirme işlemlerini içeren kapatma faaliyetlerinin toplamı ise yaklaşık 9,038,445 TL olarak bulunmuştur. Toplam kapatma maliyeti ise yaklaşık 10,090,705 TL'dir.

8 SONUÇ

Terk edilmiş madenlerin oluşturduğu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özenli bir şekilde hazırlanmış bir maden kapatma ve doğaya yeniden kazandırma planı bu amacın yerine getirilmesinde son derece etkilidir.

Terk edilmiş Ovacık Kömür Maden'in kapatma ve doğaya yeniden kazandırma planı da yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla hazırlanmış, maden öncesi ve sonrasında maden sahası ve çevresinde meydana gelen değişimler analiz edilmiş ve bu analizler doğrultusunda maliyet hesaplarıyla birlikte detaylı bir kapatma planı geliştirilmiştir.

Maliyet hesapları açık ocak çukurunun rehabilitasyonu, asit kaya drenajı probleminin çözümü ve ağaçlandırma gibi teknik çalışmaları ve bu çalışmalar için gerekli iş gücünü kapsamaktadır. Proje maliyeti alanın uzun süredir tam olarak rehabilite edilememesi nedeniyle 10 Milyon TL tutarında çıkmaktadır. Kapatma maliyetinin, madencilik faaliyetlerinin en başında dikkate alınıp bu doğrultuda yapılacak çalışmalarla azaltılması mümkündür. Kapatma faaliyeti sırasında kullanılan teknolojik araçlar, terk edilmiş kömür ocaklarının çevreye verdikleri zararların kontrolü ve bu zararların boyutları konusunda oldukça faydalı olmuştur. Bu da maden

kapatma faaliyetlerine başlamadan önce coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama gibi bilgi teknolojileri araçlarının kullanılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

9 KAYNAKLAR

- Bell, F. G., Bullock, S. E. T., Halbich, T. F. J., Lindsay, P. 2001. Environmental Impacts Associated with an Abandoned Mine in the Witbank Coalfield, *International Journal of Coal Geology* 45, pp. 195–216, South Africa.
- Bell, F. G., Donnelly, L. J. 2006. *Mining and Its Impact on the Environment*, First ed. Taylor & Francis Group, Oxon, England.
- Common vetch price. (n.d.). Erişim tarihi: 28 Ocak 2014, <http://ozaltinbakliyat.com/tr/index.html>.
- Düzgün, H. S. B. 2009. Maden Kapatma Planlaması ve Doğaya Yeniden Kazandırmanın Temel İlkeleri, 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Ankara.
- Emil, M. K. 2010. *Land Degradation Assesment For an Abandoned Coal Mine with Geospatial Information Technologies*. Erişim tarihi: 27 Ocak 2014, <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12612627/index.pdf>
- Erosion Control*. (n.d.). Erişim tarihi: 28 Ocak 2014, http://ntl.bts.gov/lib/24000/24600/24650/Chapters/O_Ch13_Erosion_Control.pdf
- Istanbul Ağaç ve Peyzaj A.Ş. Bitkisel Toprak Üretim Tesisleri*. (n.d.). Erişim tarihi: 2 Şubat 2014, <http://www.istanbulagac.com.tr/tr/hizmet.asp?islem=incele&LID=74>
- TC Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 2008. Malzemelerin Cinsleri ve Yoğunlukları Tablosu, Birim Fiyat Tarifi, Ankara.
- Ministry of Environment, 2012. *Mineral Exploration*. Erişim tarihi: 28 Ocak 2014, <http://www.environment.gov.sk.ca/mineralexploration>.
- Sencar, Ö. 1996. *Production of Agriculture Plant*, Gaziosmanpaşa University, Agriculture Faculty. pp. 177, 181, 224.
- Steven, W. 2005. *Wetland Use in AMD Remediation*. Erişim tarihi: 28 Ocak 2014, <http://home.eng.iastate.edu/~tge/ce421-521/Steven%20White.pdf>
- Transportation Price. (n.d.). Erişim tarihi: 2 Ocak 2014, <http://www.migem.gov.tr/links/duyurular/genel/krom.pdf>
- Yenilmez, F., Kuter, N., Emil, M. K., Aksoy, A. 2011. Evaluation of Pollution Levels at an Abandoned Coal Mine Site in Turkey with the Aid of GIS. *International Journal of Coal Geology*, 86, pp. 12-19.

KÖMÜR AÇIK İŞLETME GÖLETLERİNDE SU YÖNETİMİ VE REHABİLİTASYONU

WATER MANAGEMENT AND REHABILITATION OF THE OPENCAST COAL MINE LAKES

M. S. Delibalta

Niğde Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde

N. Uzal

Abdullah Gül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kayseri

A. Lermi

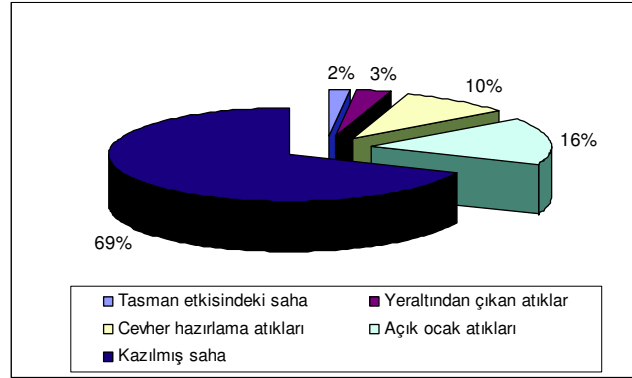
Niğde Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Niğde

ÖZET: Maden yataklarının aranması, üretimi ve zenginleştirilmesi süreçlerinde uygulanan işlemler; hava, toprak, su kaynaklarını, dolayısıyla çevreyi ve çevrede yaşayan canlıları etkilemektedir. Genel olarak kömür açık işletme madenciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeraltı madenciliği ve cevher hazırlama çalışmalarına oranla çok daha fazladır. Kömür açık işletme sonrası oluşan üretim çukurlarının dekapaj malzemesiyle doldurulmaması halinde, yüzey suları ve yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile küçük veya büyük göletler oluşmaktadır. Düşük pH değeri (asidik karakteristik) ve yüksek metal konsantrasyonu (Fe, Mn, Al, Cu, Pb, Zn vs.) içeren bu göletlerde, baskın halde bulunabilen sülfürlü mineraller ve atık malzemeler, en önemli çevresel sorunlardan birini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, TKİ-GELİ, YLİ ve GLİ sahasındaki üç farklı gölette su kirlilik izlemeleri yapılarak; ağır metal içerikleri, ortalama pH değerleri 6.22-7.79, bulanıklık (NTU) 0.63-6.71, sülfat içeriği 840-1,720 mg SO₄/L, KOİ 27.2-61.5 mg O₂/L ve elektriksel iletkenlik değerleri 1.72-2.71 mS/cm olarak tespit edilmiştir. Saha örneklerine ilişkin analizler üç aylık periyotlarla takip edilmiştir. Belirlenen sonuçlar ilgili yasal yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmiştir.

ABSTRACT: The processes during the search, production and enrichment of mining operations naturally affects the air, soil, water resources in turn the natural environment and living organisms. In general, the environmental impact of coal opencast mining operations is much more significant than that of underground mining and mineral processing. After stripping of the material filling the holes in coal opencast production, with the rise of surface water and ground water level is composed of large or small ponds. Low pH (acidic characteristic) and high metal concentrations (Fe, Mn, Al, Cu, Pb, Zn etc.) of these ponds, containing sulfide minerals and the waste materials, for the sustainability of natural resources is one of the biggest environmental problems. In this study, heavy metal contents, the average pH values 6.22-7.79, turbidity (NTU) 0.63-6.71, sulphate content 840-1,720 mg SO₄/L, COD 2.27-61.5 mgO₂/L and electrical conductivity 1.72 -2.71 mS/cm have been measured during the monitoring study of three different lignite opencast mine post-production lakes of the TKİ-GELİ, YLI and GLI. Analyses were performed in three-month periods. The results were evaluated within the framework of relevant laws and regulations.

1 GİRİŞ

Madencilik, sanayileşmenin en önemli faaliyetlerinden biridir. Madencilğin amacı, ulusal kalkınma ve ekonomik gelişme için gerekli olan hammaddeleri endüstriye sağlamaktır. Ancak; madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında kaçınılmaz olarak pek çok arazi bozulmaları, gaz emisyonları, atıklar, toz ve gürültü meydana gelmektedir (Pietsch 1991, Ünver ve Kara 1994). Günümüz sanayileşme ve hızlı nüfus artışına bağlı olarak hammaddelere olan talep sürekli artmakta, bunun neticesinde söz konusu tahribatlar da yaygınlaşmaktadır. Genel olarak açık işletme madenciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeraltı işletmeleri ve cevher hazırlama çalışmalarına oranla çok daha fazladır. Amerika Birleşik Devletlerinde yapılan araştırmaları yansıtan Şekil 1'e göre, en büyük tahribata açık işletme faaliyetlerinin neden olduğu görülmektedir (Kuzu vd. 1998). Bu durum; madencilik sektöründeki diğer ileri ülkelerde (Kanada, Almanya vb.) olduğu gibi, ülkemizde de aynı paraleldedir. Öyle ki; arazi rehabilitasyonu ve çevresel etki değerlendirmesi ile ilgili yasal düzenlemelerin büyük bir kısmı açık işletme madenciliği ile ilgilidir.



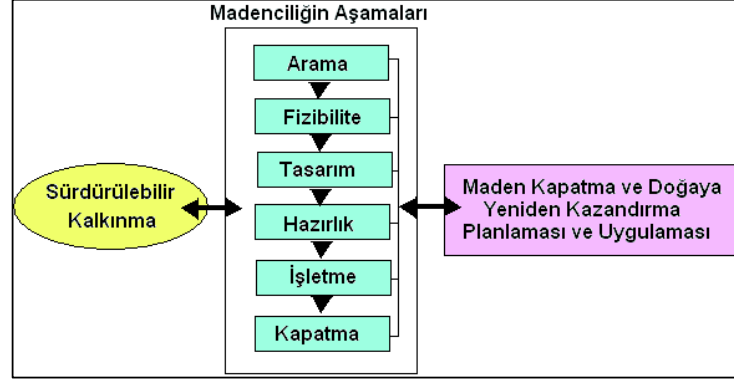
Şekil 1. Madencilik çevre etkileri ve faaliyet türleri ile ilişkisi.

Kömür açık işletmeleri sonrası oluşan üretim çukurlarının dekapaj malzemesiyle doldurulmaması halinde, yüzey suları ve yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile küçük veya büyük göletler oluşmaktadır (Şekil 2). Düşük pH değeri ve yüksek metal konsantrasyonu içeren bu göletlerde baskın halde bulunabilen sülfürlü mineraller ve atık malzemeler, doğal kaynakların sürdürülebilirliği için en önemli çevresel sorunlardan birini oluşturmaktadır.



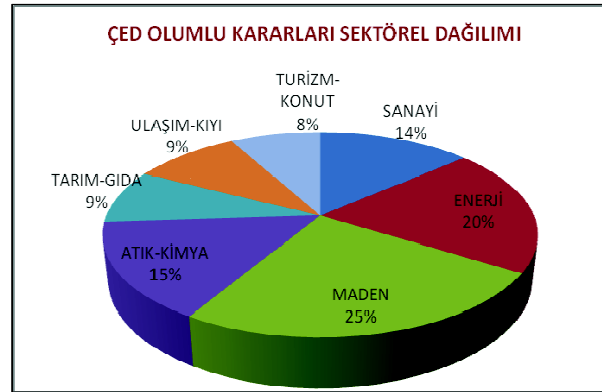
Şekil 2. TKİ-YLİ Milas açık işletme göletinden bir görünüş.

Madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında çevreye verilen zararları en aza indirmek için, bütünsel bir maden işletme ve kapatma planlaması uygulamak gerekmektedir (Şekil 3). Söz konusu arazi rehabilitasyon çalışmaları, mutlaka üretim süreci ile eş zamanlı planlanmalı ve uygulanmalıdır. Ancak bu durumda, madencilik faaliyetleri sürdürülebilir ve doğal çevre ile uyumlu hale getirilebilir.



Şekil 3. Entegre bir maden kapatma planlaması ve uygulaması (Düzgün 2009).

Ayrıca; iyi bir maden kapatma ve doğaya yeniden kazandırma planlaması, ancak ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerin dikkate alındığı sürdürülebilir bir yaklaşımla gerçekleştirilebilir. Bunun için gelişmiş ülkelerde Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), Sosyal Etki Değerlendirmesi (SED) ve maddi taahhüt gibi tüm yasal düzenlemeler uygulanırken, gelişmekte olan ülkelerde daha çok ÇED ve doğaya yeniden kazandırma faaliyetleri uygulanmaktadır. Ülkemizde ilk ÇED yönetmeliği'nin yayınlandığı 1993 yılından itibaren, 2011 yılı sonuna kadar verilen ÇED olumlu kararları sektörel dağılımı Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Türkiye'de ÇED olumlu kararları sektörel dağılımı (ÇŞB 2011).

ÇED başvurularının madencilik sektörü içerisindeki dağılımına bakıldığında ise, ilk sırayı %49 pay ile endüstriyel hammaddeler, ikinci sırayı %31 pay ile kum ve taş ocakları almaktadır (Güllü 2009, Delibalta 2011). Bu veriler de bize, ekosistem ve doğal kaynakların korunması için sürdürülebilir bir madencilik-çevre uyumunun gerekliliğini göstermektedir.



Şekil 7. Ilgın linyitleri işletmesi coğrafi konumu (İLİ 2013).

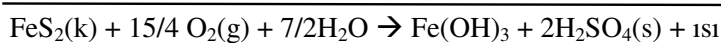
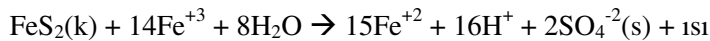
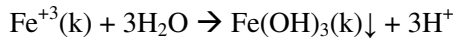
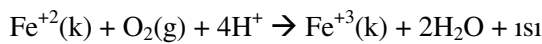
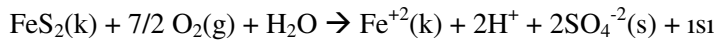
3 BULGULAR

Madencilik faaliyetlerinden etkilenen suların genel fiziksel, jeokimyasal özellikleri işletilen madenin türüne bağlı olarak kısmen değişmektedir. Kömür, baz metal, değerli metal veya bir endüstriyel hammadde olmasına göre, suların niteliklerinde büyük farklılıklar görülebilmektedir. Yüksek veya düşük pH, metal ve anyon içeriği yüksek olabilmektedir (Şekil 8). Ayrıca; sularda çözünmüş katı, askıda katı konsantrasyonları artabilmekte ve organik kimyasallar bulunabilmektedir.

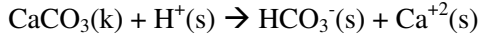


Şekil 8. Kömür açık işletmelerinde yeraltı suyu etkileşimi (Zschiedrich 2012).

Asidik maden göletlerinin oluşmasındaki en önemli faktör, kayaç içerisinde bulunan demir sülfitlerin (pirit, pirotin ve markazit vs.) su ve hava ile teması sonucu okside olmasıdır. Aşağıdaki reaksiyonlara göre oksidasyona uğrayan pirit sonucunda ortaya çıkan sülfürik asit nedeniyle ortamın pH seviyesi düşmektedir.



Asidik göllerin tipik özelliklerinden olan koyu kahverengi/kırmızı rengi veren ise, reaksiyon sonucu çöken demir oksit-hidroksitlerdir. Yukarıdaki reaksiyonların oluşması için oksijen ve suyun varlığı ön şarttır. Fe^{+3} 'ün kuvvetli bir oksitleyici olması bu reaksiyonlarda büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca, mikroorganizmaların varlığı da reaksiyonları hızlandırmaktadır. Bazı sülfatlar asit üretimine yardımcı olurken, kimi karbonat mineralleri (kalsit ve dolomit gibi) nötrleştirici rol oynamakta, bazı silikatlar da tampon etkisi yapmaktadır.



Asidik ortam oluşumu ve nötrleşmesi burada verilen kimyasal süreçten çok daha karmaşık bir olgudur. Çünkü reaksiyonları jeomorfolojik olarak hızlandıran, yavaşlatan ve engelleyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Maden yatağının jeokimyasal yapısı, işletmeyle teması olan suların asit karakter kazanıp kazanmaması bakımından önemlidir. Dolayısıyla, sahanın asit maden drenajı (AMD) üretip üretmeyeceğinin saptanabilmesi için, öncelikle yakın çevresiyle birlikte maden sahasının jeolojisine, mineralojisine, üretim-zenginleştirme yöntemine, hidrolojisine, topografyasına ve iklimine ait veri tabanının oluşturulması gerekmektedir (Gündüz ve Baba 2009, Karadeniz 2012).

Çalışmanın birinci kısmını oluşturan su karakterizasyon çalışmalarındaki temel amaç, Muğla-Milas ve Yatağan kömür açık işletmelerinde bulunan göletlerin mevcut su kirlilik durumunun belirlenmesidir. Bu amaçla bölgede beş farklı göletten su örnekleri alınmış olup, bu örneklerin analizlerine ait ölçüm değerleri Çizelge 1-2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Açık işletme göletleri su analiz sonuçları (1. ölçüm, Eylül 2011).

Numune Adı	Ölçülen Parametreler				
	pH	İletkenlik (mS/cm)	Bulanıklık (NTU)	Sülfat (mgSO ₄ /L)	KOI (mgO ₂ /L)
Milas 1. Gölet	6.46	2.69	1.04	1,720	61.5
Milas 2. Gölet	6.22	1.75	0.63	840	27.2
Yatağan 1. Gölet	7.59	2.34	1.1	1,200	39.2
Yatağan 2. Gölet	7.16	1.11	79	440	-
Tınaz Göleti	7.10	2.46	11.7	-	-

Asit maden göletlerindeki su kirlilik değerlendirme çalışmalarında en önemli parametrelerden olan sülfat değerlerine bakıldığında, en yüksek değerler 1,720 mg/L olarak Milas 1. Gölet ve 1,200 mg/L olarak Yatağan 1. Göletten alınan örneklerde tespit edilmiştir. Bu değerleri 840 mg/L olarak Milas 2. Göletten alınan örnekler takip etmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Açık işletme göletleri su analiz sonuçları (2. ölçüm, Aralık 2011).

Numune Adı	Ölçülen Parametreler				
	pH	İletkenlik (mS/cm)	Bulanıklık (NTU)	Sülfat (mgSO ₄ /L)	KOI (mgO ₂ /L)
Milas 1. Gölet	7.14	2.71	4.11	1,130	58.9
Milas 2. Gölet	7.41	1.72	6.71	840	29.7
Yatağan 1. Gölet	7.79	2.29	5.99	1,020	41.3
Yatağan 2. Gölet	7.64	1.97	35.3	900	39.9
Tınaz Göleti	7.65	1.57	8.78	850	26.7

Ayrıca; alınan gölet su örneklerinin üç aylık periyotlara göre (Eylül, Aralık 2011), metal konsantrasyonlarındaki değişimlere ait ölçüm sonuçları Çizelge 3-4'de özetlenmiştir.

Çizelge 3. Açık işletme gölet suyu metal konsantrasyon analiz sonuçları (1. ölçüm).

Numune Adı	Ölçülen Parametreler						
	Al	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
Milas 1.Gölet	4.1	497.9	6.1	0.04	8.0	121.9	6.08
Milas 2.Gölet	0.9	329.8	4.3	0.01	1.3	48.1	1.88
Yatağan 1.Gölet	35.3	371.6	18.8	0.03	27.2	375.6	2.72
Yatağan 2.Gölet	32.1	128.7	5.9	0.02	12.3	198.1	1.87

* Ca (ppm) hariç tüm değerler ppb birimidir.

Çizelge 4. Açık işletme gölet suyu metal konsantrasyon analiz sonuçları (2. ölçüm).

Numune Adı	Ölçülen Parametreler						
	Al	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
Milas 1.Gölet	104.3	420.6	31.4	728.8	7.2	5.36	104.30
Milas 2.Gölet	6.6	393.6	13.7	646.4	94.2	7.56	6.66
Yatağan 1.Gölet	0.2	193.5	0.63	579.7	10.1	6.95	0.19
Yatağan 2.Gölet	8.1	198.4	<DL	584.5	5.5	8.06	8.06

* Ca (ppm) hariç tüm değerler ppb birimidir.

Çizelge 3-4'de verilen gölet suyu metal konsantrasyon analiz sonuçları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablosuna göre (OSİB 2012) yapılan değerlendirmelerde tehlike arz edecek düzeyde olmadığı tespit edilmiş, bu suların yine aynı yönetmeliğin Tablo 1: Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri parametreleri bakımından IV. Sınıf su olarak değerlendirilmiştir.

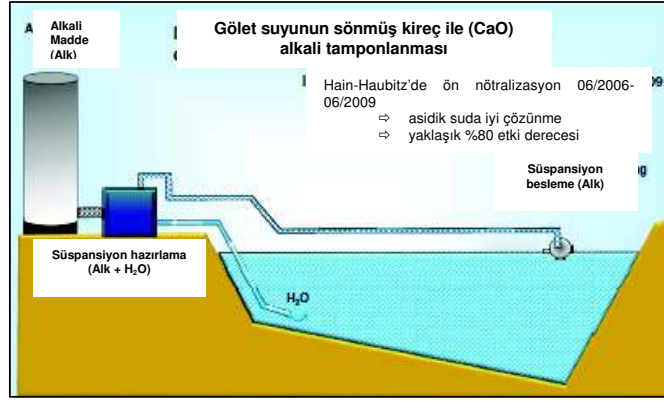
TKİ-GLİ Müessesesine bağlı Ilgın Linyitleri İşletmesi bölgesindeki Çavuşcu gölü'nde yapılan analizlere göre ise; suda Al ve Cd hiçbir mevsimde tespit edilememiştir. Su kirliliği kontrol yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri bakımından Cu bütün aylarda, Ni 2010 yılının Ekim, Kasım, Aralık aylarında, Co 2010 yılının Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Aralık aylarında II. Sınıf kalitede su olarak yer almaktadır.

Diğer metaller ise I. Sınıf kalitede yer almaktadır. İncelenen alg grupları açısından bakıldığında göl bazı sezonlarda (yaz ayları) ötrofik yapı göstermekte, ancak littoral bölgedeki bitki formasyonunun azlığı yönünden bu karakteri yansıtmamaktadır. Morfometrik olarak ötrof karakterde olan göl, bir bütün olarak ele alındığında mezotrof olarak kabul edilebilir. Fiziko-kimyasal açıdan da bu durum desteklenmektedir (Akköz 2013). Göl çevresinde evsel deşarj tespit edilmemiştir. Göl'ün bugünkü durumu korunduğunda, ekolojik ve ekonomik işlevini devam ettirerek bulunduğu çevreye katkı sağlayacaktır.

4 AMD VE SU REHABİLİTASYON YÖNTEMLERİ

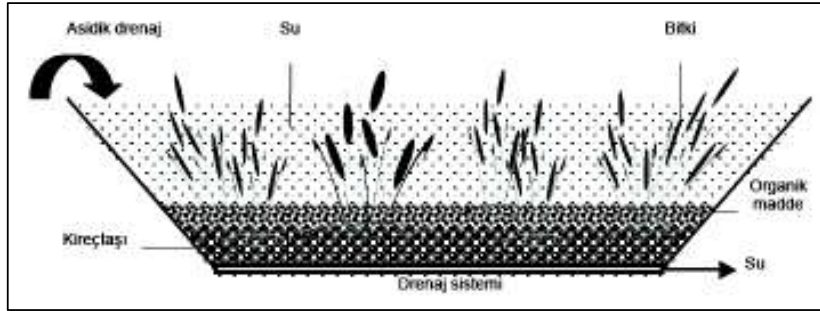
Madencilik faaliyetlerinden etkilenen suların niteliklerinin saptanması, doğal kaynakların sürdürülebilirliği ve tekrar kullanımı için hayati önem taşımaktadır. Özellikle çevre mevzuatlarıyla getirilen sınırlamalara uyulmasında, seçilecek arıtma yöntemleri için güvenilirlik ve etkin maliyet, ancak bu şekilde sağlanabilmektedir.

Asidik maden drenajı ve göllerinin arıtılmasında iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan aktif arıtma sistemleri olarak adlandırılan birinci yöntemde, suyun asiditesinin nötralize edilmesi ve çözünmüş metallerin giderimi için suya kimyasal eklenmesi yapılmaktadır. Bu kimyasallar arasında en yaygın olarak kullanılanları, kireç, kostik, dolomit, soda külü ve termik santral külleridir (Şekil 9).



Şekil 9. Gölet suyu aktif arıtma sistemlerinden bir görünüş (Zschiedrich 2012).

Pasif arıtma sistemleri olarak adlandırılan diğer yöntemde ise, asidik suyun doğal olarak sulak alanlar vb. sistemler içerisinde iyileştirilmesi hedeflenmektedir (Çiftçi ve Akçıl 2006). Benzer olarak anoksik kireç drenleri olarak adlandırılan bu kireçtaşının açılan hendeklere doldurulması ve asidik suların bu hendeklerden geçirilmesi prensibine dayanan teknikler de mevcuttur (Şekil 10).



Şekil 10. Gölet suyu pasif arıtma sistemlerinden bir görünüş (Karadeniz 2010).

Araştırma sahaları TKİ-GELİ, YLİ ve GLİ açık işletme göletlerinde herhangi bir asidik durumla karşılaşmadığı için, aktif veya pasif arıtma işlemlerine gerek görülmemektedir. Söz konusu gölet suyu analiz parametreleri mevzuat bakımından II. ve IV. Sınıf su özellikleri göstermektedir.

Ancak; gölet suyu kullanım koşullarına ve ağır metal konsantrasyonlarına bağlı olarak, farklı su iyileştirme prosesleri planlanabilir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliği ve çevre koruma 21. yüzyılın küresel ölçekte en önemli meselelerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevre konularının merkezinde ise enerji temini, su kullanımı ve iklim politikaları yatmaktadır. Özellikle kentleşme ve

hızlı nüfus artışına paralel olarak, insanoğlunun su ihtiyacındaki talep artışı ile birlikte doğal kaynakların önemi de her geçen gün artmaktadır.

Maden yataklarının aranması, üretimi ve zenginleştirilmesi süreçlerinde uygulanan işlemler; hava, toprak, su kaynaklarını, dolayısıyla çevreyi ve çevrede yaşayan canlıları etkilemektedir. Genel olarak, açık işletme madenciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeraltı işletmesi ve cevher hazırlama çalışmalarına oranla çok daha fazladır. Madencilik faaliyetleri sonrası bozulan çevrenin doğaya yeniden kazandırılması ve kullanımı için, çeşitli arazi rehabilitasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle arazi kullanım planı (ziraat, bayındırlık, rekreasyon, yaban hayatı vs. gibi) yapılacak rehabilitasyonun kapsam ve önemini belirlemektedir. Söz konusu çalışmalar, maden üretim süreci ile eş zamanlı planlanmalı ve sürdürülmelidir.

Yapılan bilimsel araştırma projesi kapsamında, TKİ Kurumu GELİ Müessesesi Yatağan/Muğla, YLİ Milas/Muğla ve GLİ Ilgın/Konya sahasındaki 3 farklı göletten alınan örneklerin su kirlilik analizleri yapılarak, belirlenen sonuçlar ilgili yasal yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Yapılan laboratuvar çalışmalarında gölet suyunun ağır metal içerikleri, ortalama pH değerleri 6.22-7.79, bulanıklık (NTU) 0.63-6.71, sülfat içeriği 840-1,720 mg SO₄/L, KOİ 27.2-61.5 mg O₂/L ve elektriksel iletkenlik değerleri 1.72-2.71 mS/cm olarak tespit edilmiştir. İncelenen açık işletme göletlerinde herhangi bir asidik durumla karşılaşmadığı için, aktif veya pasif su arıtma işlemlerine gerek görülmemiştir. Ancak, kömür yapısındaki %1.20~2.00 toplam kükürt içeriği, pirit'in oksidasyonu sonucu oluşan kısmen yüksek Fe²⁺ konsantrasyonu ve su kirliliği kontrolü yönetmeliği tablosuna göre, söz konusu gölet suyu kalite parametreleri II. ve IV. sınıf su özellikleri göstermektedir. Dolayısıyla; gölet suyu kullanım amaçlarına ve ağır metal konsantrasyonlarına bağlı olarak, aktif veya pasif su rehabilitasyon yöntemleri planlanabilir.

Madencilik faaliyetleri sonrası kısmen bozulan hidrojeolojik yapı ve doğal çevrenin yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesinde temel amaç, bu bölgelerin güzel bir peyzaj görünümü kazanması yanında, eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya daha da geliştirilmesi olmalıdır. Çok yönlü disiplinlerarası çalışmayı gerektiren bu faaliyetler, ancak mevcut yasal, ekonomik ve zamansal olanaklar ölçüsünde gerçekleştirilebilir.

6 TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Niğde Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince FEB 2013/14 No'lu Proje kapsamında mali yönden desteklenmiştir. Ayrıca, TKİ Kurumu Ar-Ge Daire Başkanlığı tarafından saha çalışmaları izni verilmiştir. Yazarlar, verilen destekten dolayı her iki kuruma da teşekkürlerini sunar.

7 KAYNAKLAR

- Akköz, Ç. 2013. Çavuşcu Gölü'nün (Ilgın/Konya) Bazı Ağır Metal Parametrelerinin Araştırılması, *II. Ulusal Ilgın Sempozyumu*, Ilgın Belediyesi, Ilgın/Konya, 40 s.
- Çiftçi, H., Akçıl, A. 2006. Asit Maden Drenajının (AMD) Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler, *Madencilik*, 45, 1, s. 35-45.
- ÇŞB, 2011. *ÇED İstatistikleri*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, www.csb.gov.tr, Ankara, 8 s.

- Delibalta, M. S. 2011. Farklı Ülkelerde Açık İşletme Sonrası Sahaların Ekonomik ve Ekolojik Yeniden Dönüşümü, 4. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, s. 31-38, İzmir.
- Delibalta, M. S., Uzal, N. 2012. Kömür Açık İşletme Gözetlerinde Su ve Çevresel Etkilerin Analizi, Pamukkale Üniversitesi, *Uluslararası V. Jeokimya Sempozyumu*, Denizli, 1 s.
- Düzgün, H. Ş. 2009. Maden Kapatma Planlaması ve Doğaya Yeniden Kazandırmanın Temel İlkeleri, 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Ankara, s. 1-16.
- GELİ, 2012. TKİ-Güney Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü, Açık İşletmeler, <http://www.geli.gov.tr>, Yatağan/Muğla.
- Güllü, G. 2009. Türkiye’de Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinin Kritiği: Madencilik Sektörü, 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, s. 21-26, Ankara.
- Gündüz, O., Baba, A. 2009. Asidik Maden Gölleri ve Çevresel Etkileri, 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, s. 95-106, Ankara.
- İLİ, (2013). *Ilgın Linyitleri İşletmesi-İLİ, Ilgın/Konya*, <http://www.ili.gov.tr> (Erişim tarihi: 14.09.2013).
- Karadeniz, M. 2010. Sülfürlü Madenlerin Çevre Sorunu: Asit Maden Drenajı, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 10, s. 36-43.
- Karadeniz, M. 2012. Madencilikte Su Yönetimi, *Madencilikte Çevre Yönetimi Semineri*, s. 307-338, Afyonkarahisar.
- Kuzu, C., Ökten, G., Nasuf, E. 1998. Kömür Ocaklarının Çevre Düzenlemesi, *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, s. 585-601, İstanbul.
- OSİB. 2012. *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, www.ormansu.gov.tr, Ankara, 33 s.
- Pietsch, W. 1991. Landschaftsgestaltung im Bezirk Cottbus, Dargestellt am Beispiel des Senftenberger Sees, *Umweltgestaltung in der Bergbaulandschaft*, Akademie Verlag GmbH, pp. 29-38, Berlin.
- Ünver, Ö., Kara, D. 1994. Türkiye’de Kömür Madenciliği ve Çevre, *Madencilik*, 33, 2, s. 3-9.
- Zschiedrich, K. 2012. Wasserwirtschaftliche sanierung in der bergbaufolgelandschaft mitteldeutschland, *LMBV 5. Fachkonferenz*, Germany, 29 p.

KOZLU TAŞKESEN SONDAJLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE DAMLAR FAYI İLE KÖMÜR OLGUNLUĞU ARASINDAKİ İLİŞKİ

THE RELATIONSHIP AMONG DAMLAR FAULT WITH COALIFICATION RANKS AND EVALUATION OF DRILLING AT THE KOZLU TAŞKESEN

M. Pehlevan, O. Pulat

MTA, Batı Karadeniz Bölge Müdürlüğü, Zonguldak

S. Toprak

MTA, Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi, Ankara

ÖZET: Bu çalışmada Zonguldak Kozlu Taşkömür Müessesesi Taşkesen bölümünde yapılan TY-1, TY-2 ve TY-3 kömür sondajları incelenmiştir. Taşkesen sahası, halen taşkömürü üretiminin yapıldığı İncirharmanı bölümünün doğu devamıdır ve K-G ile D-B yönlerindeki faylarla sınırlanmıştır. Damlar Fayı, KD-GB gidişli normal bir fay olup yeraltı işletme bilgilerine göre 30 derece eğimlidir, TY-1 ve TY-3 sondajlarında kesilmiştir. Taşkesen TY-1, TY-2 ve TY-3 sondajlarına ait 17 kömür örneğinin kaba, petrografik ve vitrinit yansıtma analizleri yapılmıştır. Bu sonuçlara göre Taşkesen yöresi kömürlerinin vitrinit yansıtma değerleri genelde derinliğe bağlı olarak artmaktadır. Ayrıca Damlar fayı veya fay zonuna yakın derinlikteki kömür yansıtma değerlerinde belirgin bir artma görülmektedir. Bu özellik, fay etkisindeki kömür katmanlarının devamlılığının tespitinde önemli bir kriterdir.

ABSTRACT: In this study of Zonguldak Kozlu Hardcoal Organization in the part of Taşkesen TY-1, TY-2 and TY-3 coal drilling were examined. Taskesen field, which is stil made of coal production by İncirharmanı section is a continuation of theeastand it is bordered by faults in thedirection of the N-S with E-W. The Damlar fault is a normal fault with NE-SW directions and inclined 30 degrees to the underground business information,was cut in TY-1 and TY-3 drillings. The proximate, petrographic and vitrinite reflectance analyses have been carriedout of 17 coal samples belong to Taskesen TY-1, TY-2 and TY-3 drillings. According to the seresults vitrinite reflectance values of Taskesen coal region in general is increasing with depth. Also Damlar fault or close to faultzone is seen in the significant increase in coal reflectance values. This feature coal layer sunderthe influence of faults is an important criterion in determining the continuity.

1 GİRİŞ

Zonguldak Taşkömür havzasının batı kısmında Kozlu üretim bölgesi bulunur. Üretim bölgesi, Türkiye Taşkömürü Kurumu Kozlu Müessesesi sınırları içindedir. Batıda Karadeniz, doğuda Midi Fayı ile sınırlıdır. Çalışma alanını oluşturan Taşkesen panosu, Midi fayı ile sınırlanan Kozlu üretim bölgesinin doğu kısmını oluşturmaktadır. Bölgesel tektonizmanın etkin olduğu Taşkesen panosunda Kozlu formasyonunun (Westfaliyen A) deniz seviyesinin üzerindeki kısımlarında eski kömür imalatlarının olduğu bilinmekle beraber deniz seviyesinin altındaki kömür damarları ve birimin tabanındaki Alacaağzı Formasyonu (Namuriyen) ile ilişkisi hakkında geçmişte yeterli bilgi mevcut değildi.

Taşkesen panosunda 2008 yılında prodüktif Karbonifer (Westfaliyen-A) kalınlığının tespiti, Damlar fayı ve kömür damarlarının denetlenmesi için TY-1, TY-2 ve TY-3 karotlu sondajları yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında kömür sondajlarının bir değerlendirmesi yapılarak, sondajlarda kesilen kömürlerin özellikleri ile Damlar fayı arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

1.1 Kozlu Taşkesen Bölgesinin Jeolojisi

Kozlu Taşkesen bölgesindeki birimleri Paleozoyik yaşlı kömürlü ve Mesozoyik yaşlı örtü birimler olmak üzere iki grupta değerlendirmek mümkündür (Yergök 1987).

1.1.1 Kömürlü birimler

1.1.1.1 Yılanlı formasyonu

Kireçtaşı, dolomitik kireçtaşından oluşur. Yörenin yüzeylenen en alt birimidir. Gri, bej renkli, masif, bol kırık ve çatlaklıdır. Taban ilişkisi Paleozoyik ve öncesi kristalen masifle olduğu tahmin edilmektedir. Tavan ilişkisi ise Alacaağzı formasyonu (Namuriyen) ile uyumludur. Yaşı Alt Karbonifer (Vizeen) dir (Yergök 1987).

1.1.1.2 Alacaağzı formasyonu

Alacaağzı çökelleri genelde ince taneliden orta taneliye kadar değişen tane boyutları sunan kumtaşı ile silttaşı, kiltası yeryer ince taneli ve merceksi kömür damarı ardışıklarından meydana gelen karasal bir istiftir. Formasyon konglomera içermemesiyle karakteristiktir. Fosil kapsamına göre yaşı Namuriyendir (Yergök 1987).

1.1.1.3 Kozlu formasyonu

Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kömür damarlarından meydana gelir. Konglomeralar iyi yuvarlak, kötü boylanmalı, kuvarsit, kireçtaşı, mağmatik kayaç çakıllarından oluşmuş (polijenik), çimentosu ise kumtaşıdır. Silttaşları, kiltaları genellikle organik madde içerikli olduklarından gri, siyah ve şisti görünümde olup ince tabakalı laminalıdır. Kömür damarları genellikle kiltası, silttaşı birimleri arasında gelişmişlerdir. Formasyonun yaşı Westfaliyen-A olarak saptanmıştır (Yergök 1987).

1.1.1.4 Karadon formasyonu

Karadon Formasyonu ağırlıklı olarak konglomera, değişik boyuttaki ince taneli-ortataneli-iritaneli kumtaşları, silttaşı, kiltası ve kömür damarlarından meydana gelir. Konglomeralar polijenik kökenli olup kireçtaşı, kuvarsit, granit çakıllarından oluşur. Palinolojik yöntemlerle yapılan yaş tayinine göre Karadon Formasyonu'nun yaşı Westfaliyen-BC olarak saptanmıştır (Yergök 1987).

1.1.2 Örtü birimleri

1.1.2.1 Velibey formasyonu

Genel olarak kumtaşlarından oluşan birim, iri taneli kumtaşı, ince taneli kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşur. Velibey Formasyonu iyi boylanmış, gözenekli orta kalın katmanlı karbonat çimentolu bazen silis çimentoludur. Litostratigrafik olarak Apsiyen-Albiyen yaş aralığında olduğu kabul edilmiştir (Yergök 1987).

1.1.2.2 Sapça formasyonu

Sapça formasyonu kumtaşı, glokonili kumtaşı, marn, silttaşı, kiltası, kumlu kireçtaşı seviyelerinin ardalanmasından oluşur. Kumtaşları kuvars, glokoni, metamorfik kayaç kırıntılarından meydana gelir. Fosil kapsamına göre formasyonun yaşı Albiyen olarak kabul edilmiştir (Yergök, 1987).

1.2 Yapısal Jeoloji

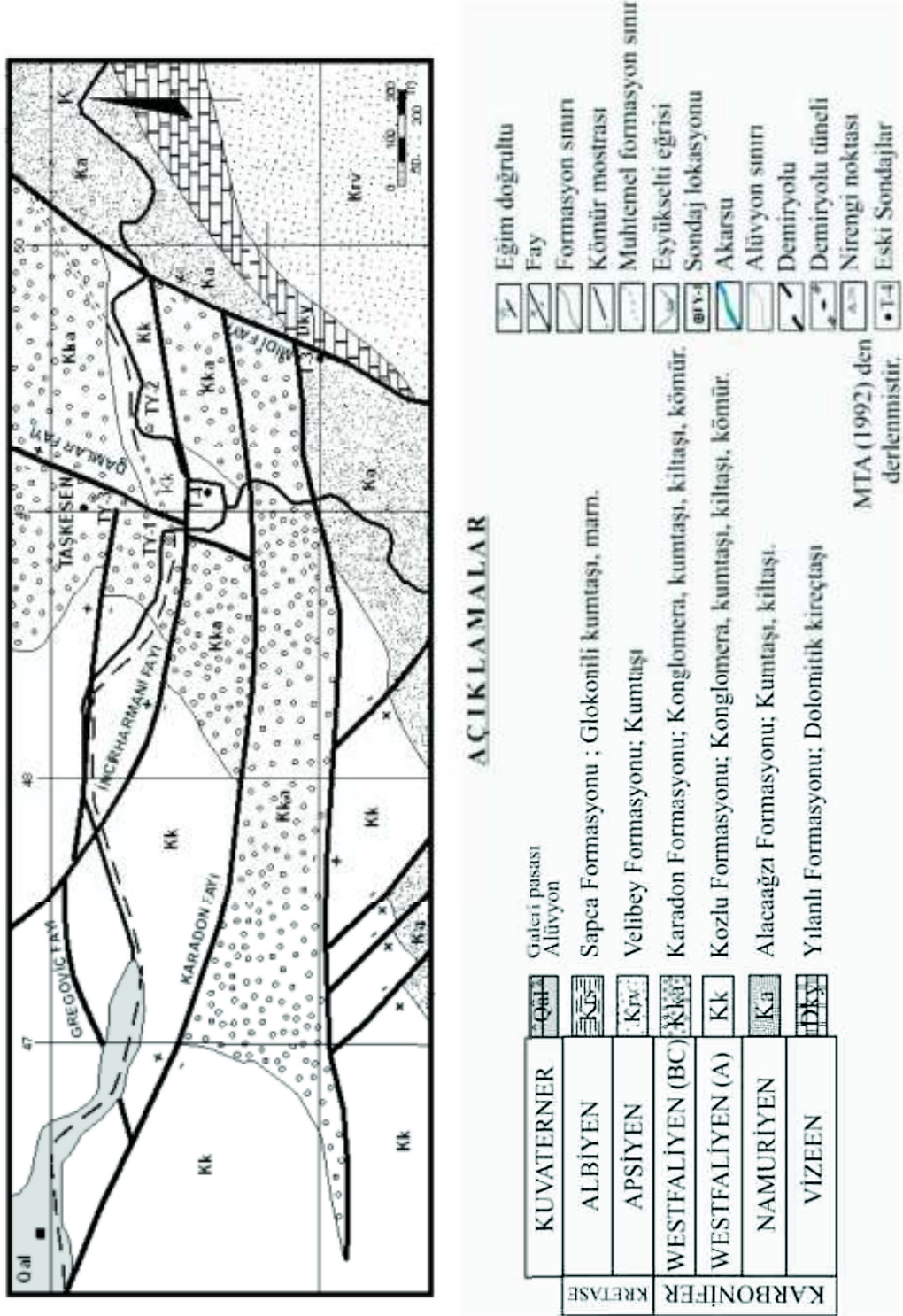
Paleozoyik birimlerinin eğimleri 20-80 derece arasında değişiklikler gösterir. Mesozoyik birimlerinin eğimleri ise 30-45 derece arasındadır. Gerek Paleozoyik birimleri, gerekse Mesozoyik birimlerinin eğim yönleri kuzey-güney yönündedir.

Havza genelinde meydana gelen faylanmalar eğim atımlı normal veya düşey konumlu; gravite fayı özelliğindedir. Faylar çeşitli doğrultularda olmakla beraber, genellikle doğu-batı doğrultulu ve bunları kesen kuzey-güney doğrultulu sekonder faylardan meydana gelir.

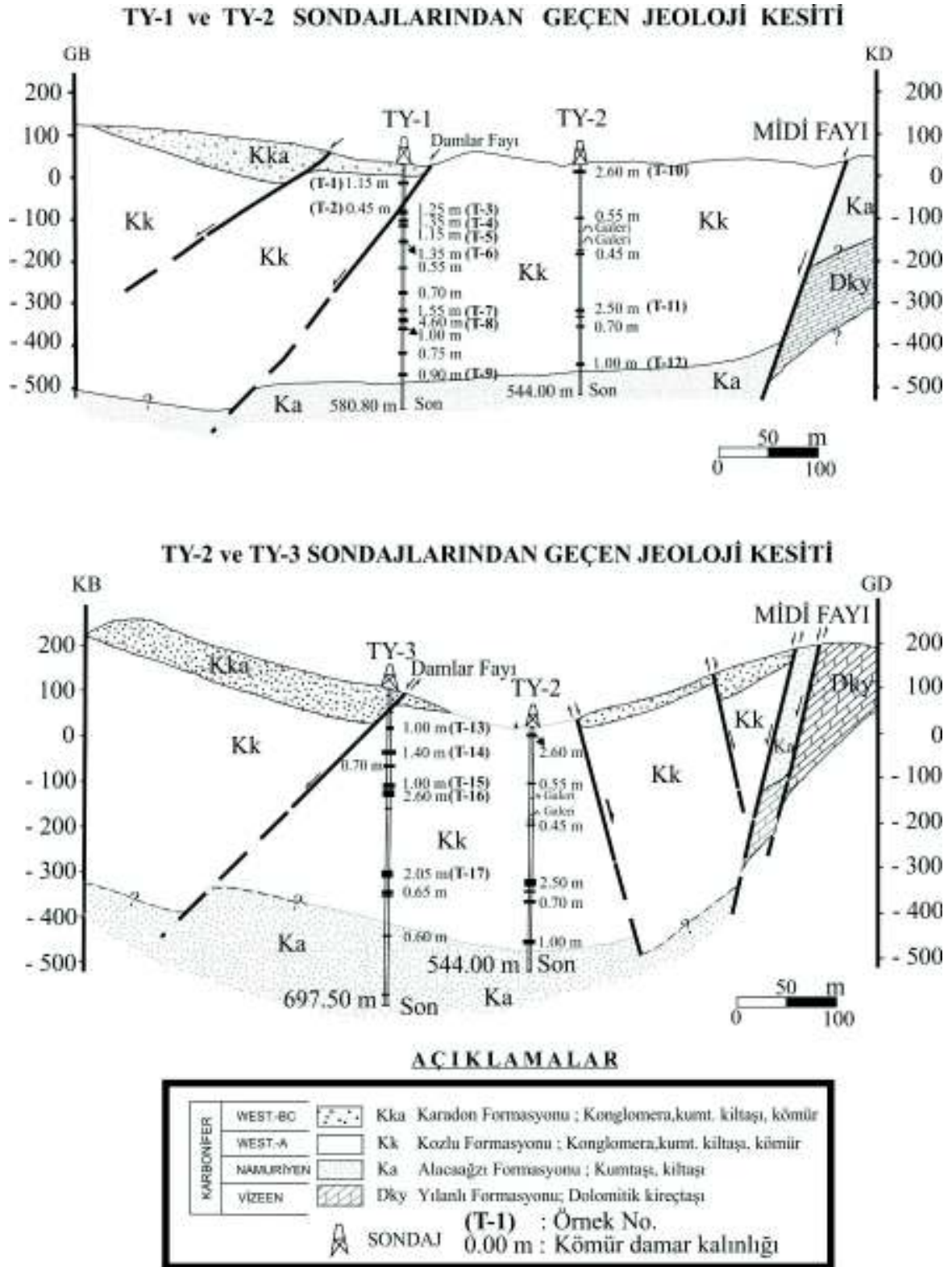
1.3 Önceki Çalışmalar

Kozlu Bölgesinde 1850 yılından günümüze kadar Türk ve yabancı jeologlar tarafından pek çok jeoloji amaçlı çalışmalar yapılmakla birlikte, kömürlerin yapısal, jenez ve sınıflandırılmasıyla ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Yapılan çalışmalardan bazıları ise Okay (1944), Arslan (1977), Artüz (1974), Toprak (1984), Erdem (1985), Buzkan (1990) tarafından yapılmıştır. Bunun yanı sıra Kozlu havzasının doğu sınırı olan Taşkesen bölgesinde geçmişte yapılan arama sondajı 3 adet olup sınırlı sayıdadır (Özler 1992). Kozlu yöresinin jeoloji haritası Şekil 1'de verilmiştir. Yörede yapılan 3 adet Taşkesen kömür arama sondajlarına ait jeoloji kesitleri ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kozlu yöresinin jeolojî haritası.



Şekil 2. Taşkesen kömür sondajlarına ait jeoloji kesitleri (TY-1 ve TY-2) ve (TY-2 ve TY-3) (Pehlevan 2008).

2 KOZLU TAŞKESEN KÖMÜR SONDAJLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma konusu TY-1, TY-2 ve TY-3 sondajları, Türkiye Taşkömür Havzasının Zonguldak ili Kozlu Taşkesen panosu üzerinde yapılmıştır.

TY-1 kömür sondajı, KD-GB gidişli Damlar fayının düşen bloğu ve yaklaşık D-B gidişli İncirharmanı fayının yükselen bloğu arasında yapılmış, Karadon ve Kozlu formasyonlarını keserek Namuriyen yaşlı Alacaağzı formasyonunda bitirilmiştir. TY-2 sondajı İncirharmanı fayının kuzeyinde, Kozlu formasyonunun yükselen bloğu üzerinde yapılmış, Namuriyen yaşlı Alacaağzı formasyonunda sonlanmıştır. TY-3 sondajı ise Damlar fayının düşen bloğu üzerinde açılmıştır.

Her üç kömür sondajında değişik kalınlıklarda kömür damarı kesilmiş, TY-1 kömür sondajında 109. metre ve TY-3 kömür sondajında da 45. metrelerde Damlar fayı geçilmiştir. Ayrıca TY-2 sondajında 155 m ve 193 m derinliklerde iki adet eski kömür işletme galerisi tespit edilmiştir. Sondajlarda kesilen kömür damarlarının konumları lokasyonlar boyunca alınan jeoloji kesitlerinde görülmektedir (Şekil 2).

Elde edilen sondaj verilerine göre Taşkesen panosunda Kozlu formasyonu kalınlığı yaklaşık 500 m civarında olup, Kozlu yöresindeki Karboniferin kuzey yönündeki yükselimini desteklemektedir.

3 TAŞKESEN KÖMÜRLERİNİN ÖZELLİKLERİ

3.1 Taşkesen Kömürlerinin Örneklenmesi

Kozlu Taşkesen panosu sondajlarına ait kömür damarı karotlarından toplam 17 adet örnek alınmıştır. Örnekler her üç kuyuya ait kömür karotlarını temsil edecek şekilde seçilmiştir. Bu örneklerin kaba analizleri yapılmış, maseral ve mikro litotipleri belirlenmiştir. Vitrit yansıma değerleri ölçülerek kömürleşme dereceleri saptanmıştır.

3.2 Kaba Analiz Sonuçları

Taşkesen sondajlarına ait örneklerin kaba analiz sonuçları Çizelge 1-3'de verilmiştir. TY-1 kuyusuna ait örneklerde orijinal kömürde nem değerleri %3.21 ile %7.78, kül değerleri %6.45 ile %52.15, uçucu madde değerleri %17.14 ile %30.19, sabit karbon değerleri de %25.06 ile %62.31, alt kalori değerleri 3,126 Kcal/kg ile 7,467 Kcal/kg, üst kalori değerleri de 3,275 Kcal/kg ile 7,721 Kcal/kg arasındadır.

TY-2 kuyusu örneklerinde orijinal kömürde nem değerleri %6.33 ile %13.90, kül değerleri %12.55 ile %18.84, uçucu madde değerleri %22.71 ile %24.91, sabit karbon değerleri %45.39 ile %56.92, alt kalori değerleri 5,545 kcal/kg ile 6,494 Kcal/kg, üst kalori değerleri de 5,800 Kcal/kg ile 6,730 Kcal/kg arasında değişmektedir.

TY-3 kuyusu örneklerinde orijinal kömürde nem değerleri %2.69 ile %10.30, kül değerleri %11.03 ile %36.70, uçucu madde değerleri %25.37 ile %31.14, sabit karbon değerleri %35.24 ile %55.71, alt kalori değerleri 4,475 kcal/kg ile 6,887 Kcal/kg, üst kalori değerleri de 4,665 Kcal/kg ile 7,154 Kcal/kg arasında değişmektedir.

Çizelge 1. TY-1 Sondajı kömür örneklerinin kaba analiz sonuçları.

Örnek No	Örnek Türü	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Toplam Kükürt (%)	Alt Kalori Kcal/Kg	Üst Kalori Kcal/Kg
T-1	Orijinal	6.96	22.8	26.93	43.35	0.54	5,462	5,699
	Kuru	-	24.5	28.94	46.60	0.58	5,914	6,125
T-2	Orijinal	8.38	13.10	27.16	51.36	0.70	6,298	6,562
	Kuru	-	14.30	29.65	56.05	0.77	6,928	7,192
T-3	Orijinal	4.09	6.45	30.19	59.27	0.67	7,263	7,533
	Kuru	-	6.73	31.48	61.79	0.70	7,598	7,854
T-4	Orijinal	5.65	52.15	17.14	25.06	0.69	3,126	3,275
	Kuru	-	55.28	18.16	26.56	0.74	3,349	3,471
T-5	Orijinal	7.78	27.4	23.41	41.57	0.49	5,156	5,378
	Kuru	-	29.54	25.39	45.07	0.53	5,640	5,831
T-6	Orijinal	6.44	21.50	24.81	47.25	0.49	5,756	5,986
	Kuru	-	22.99	26.52	50.49	0.52	6,192	6,398
T-7	Orijinal	3.63	30.31	23.21	42.85	0.58	5,303	5,502
	Kuru	-	31.45	24.08	44.47	0.61	5,525	5,709
T-8	Orijinal	3.21	16.35	26.52	53.92	0.28	6,545	6,779
	Kuru	-	16.89	27.40	55.71	0.29	6,781	7,004
T-9	Orijinal	3.37	9.08	25.24	62.31	0.96	7,467	7,721
	Kuru	-	9.39	26.12	64.49	1.00	7,747	7,991

Çizelge 2. TY-2 sondajı kömür örneklerinin kaba analiz sonuçları.

Örnek No	Örnek Türü	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Toplam Kükürt (%)	Alt Kalori Kcal/Kg	Üst Kalori Kcal/Kg
T-10	Orijinal	11.01	18.84	24.76	45.39	0.56	5,545	5,800
	Kuru	-	21.17	27.82	51.01	0.62	6,303	6,517
T-11	Orijinal	13.90	12.55	24.91	48.64	0.34	5,850	6,130
	Kuru	-	14.57	28.93	56.50	0.39	6,889	7,119
T-12	Orijinal	6.33	14.04	22.71	56.92	0.64	6,494	6,730
	Kuru	-	14.99	24.25	60.76	0.69	6,972	7,185

Çizelge 3. TY-3 sondajı kömür örneklerinin kaba analiz sonuçları.

Örnek No	Örnek Türü	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Toplam Kükürt (%)	Alt Kalori Kcal/Kg	Üst Kalori Kcal/Kg
T-13	Orijinal	2.69	36.70	25.37	35.24	0.90	4,475	4,665
	Kuru	-	37.71	26.07	36.22	0.93	4,614	4,794
T-14	Orijinal	5.59	15.15	31.14	48.12	1.21	6,324	6,586
	Kuru	-	16.05	32.98	50.97	1.28	6,734	6,976
T-15	Orijinal	3.54	16.00	30.14	50.32	1.33	6,508	6,761
	Kuru	-	16.59	31.24	52.17	1.38	6,768	7,009
T-16	Orijinal	10.30	11.53	27.33	50.84	0.50	6,238	6,524
	Kuru	-	12.85	30.47	56.68	0.55	7,021	7,272
T-17	Orijinal	3.53	11.03	29.73	55.71	0.53	6,887	7,154
	Kuru	-	11.44	30.81	57.75	0.55	7,160	7,416

3.2 Kömür Örneklerinin Detay Petrografik Bileşenleri ve Vitrit Yansıtma Değerleri

Taşkesen bölgesine ait kömür örneklerinin petrografik tanımlamaları ve vitrit yansıma ölçümleri MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesinde gerçekleştirilmiştir. İnceleme ve ölçümler Leica 4000M özel kömür mikroskobunda 50 büyütmeli yağlı objektif ve 10 büyütmeli oküler kullanılarak yapılmıştır.

Yapılan inceleme ve ölçümler sonucu Taşkesen kömürlerine ait 17 örneğin detay kömür petrografik (maseral ve mineral) bileşenleri ve vitrit yansıtma değerleri tespit edilmiştir. Kömür örneklerinin detay kömür petrografik bileşenlerinin % dağılımları Çizelge 4’de verilmiştir. Taşkesen kömür örneklerinin maksimum, ortalama ve minimum vitrit yansıtma değerleri ise Çizelge 5’de gösterilmiştir.

Örneklerin en büyük maseral bileşenleri vitrit olup, ikinci yüksek oran içeren bileşeni ise inertinit grubu maseralleridir. Bu da koklaştırılan kömürlerde istenen özelliklere uygun bileşimler göstermektedir. İnertinit maseralleri aynı zamanda kömürün gaz oluşturma potansiyelinde önemli bir bileşendir.

Kok üretimi için bu kömürlerde az olmasının beklenildiği bileşen ise liptinit içeriğidir. Liptinit maseralleri kok üretiminde pek istenen bir bileşen değildir (Ünalan 2010).

Kozlu-İncirharmanı kömürlerinde rastgele ortalama vitrit yansıtma değerleri, % Ro 0.72-1.01 arasında değişmektedir (Buzkan 1990). Derinlikle vitrit yansıması değerleri, yani kömürleşme derecesi arasında logaritmik bir ilişki vardır (Stach vd. 1982). Taşkesen kömürlerinin vitrit yansıması değerleri ile derinlik arasında da benzer bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 3-4).

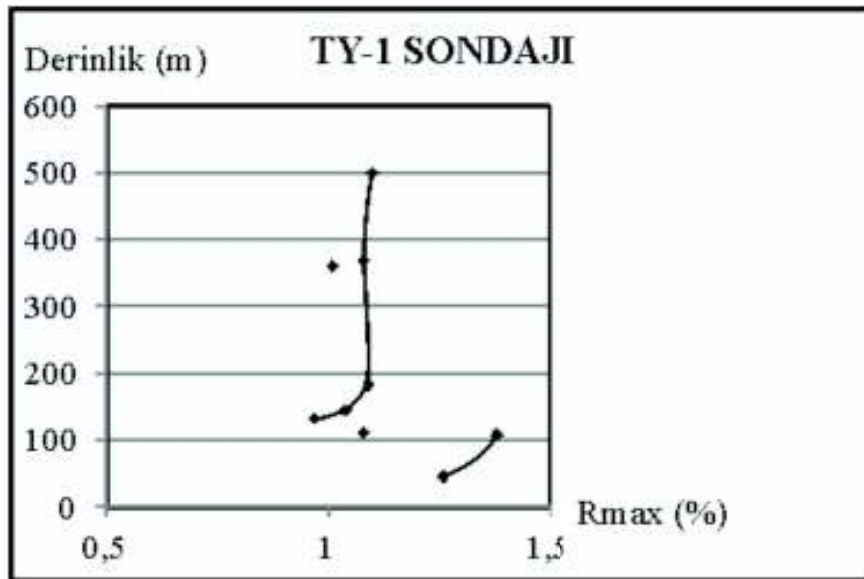
Çizelge 4. Taşkesen kömür örneklerinin detay kömür petrografik (maseral ve mineraller) bileşenleri (%).

Örnek No	VİTRİNİT				LİPTİNİT					İNERTİNİT							Prt	Kilvd
	Gel	Tv	Vdt	Top Vitr	Sp	Rz	Al	Kt	Top Lip	Füz	Sf	Mk	Fg	Sk	Idt	Top İner		
T1	59	0	3	62	10	4	2	0	16	8	3	5	3	1	0	20	0	2
T2	61	0	3	64	11	1	1	1	13	12	1	5	2	0	2	22	0	1
T3	70	0	2	72	9	1	0	2	12	9	1	3	1	0	0	14	1	1
T4	73	0	5	78	6	2	0	1	9	0	0	3	0	0	0	3	1	9
T5	63	0	2	65	10	2	0	0	12	12	3	4	0	0	3	22	0	1
T6	54	2	2	58	10	2	1	0	13	11	4	5	0	0	4	24	1	4
T7	67	0	1	68	7	1	0	0	8	12	2	5	2	1	0	22	0	2
T8	67	0	2	69	6	1	0	0	7	11	3	5	1	0	2	22	0	2
T9	61	3	1	65	9	2	0	0	11	12	3	5	0	1	0	21	1	2
T10	47	2	1	50	13	1	0	0	14	12	4	5	1	1	2	25	1	10
T11	63	0	0	63	7	1	0	0	8	14	3	4	0	1	2	24	0	5
T12	47	0	2	49	8	0	0	0	8	15	7	4	0	1	0	27	2	14
T13	45	0	4	49	8	1	1	1	11	12	6	3	0	2	3	26	1	13
T14	91	0	0	91	5	0	0	1	6	0	0	1	0	0	1	2	0	1
T15	60	0	2	62	13	1	1	0	15	9	5	3	0	1	2	20	0	3
T16	69	0	2	71	6	1	0	1	8	11	3	2	1	2	0	19	0	2
T17	54	0	3	57	8	1	1	1	11	13	5	5	1	2	3	29	0	3

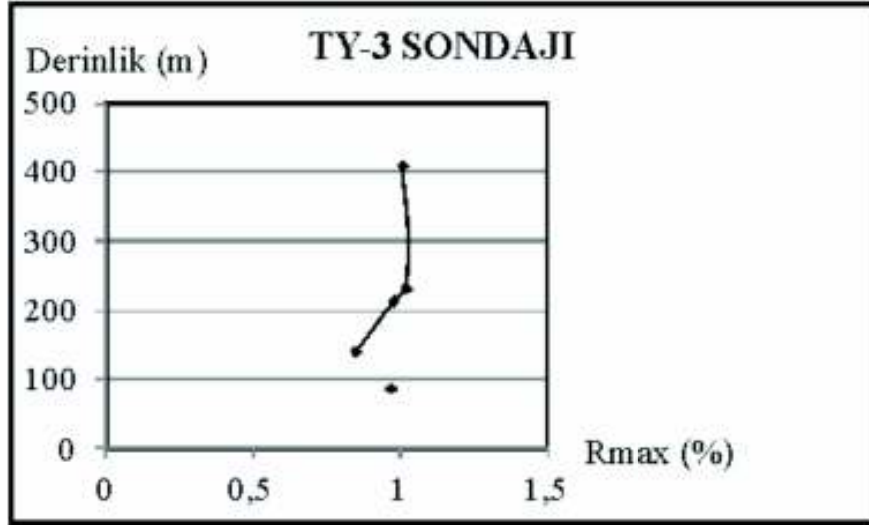
*Gel-Gelinit; Tv-Telovitrinit; Vdt-Vidrodetrinit; Top-Toplam; Vitr-Vitrinit; Sp-Sporinit; Rz-Rezinit; Al-Alginit; Kt-Kütinit; Lip-Liptinit; Füz-Füzinit; Sf-Semi Füzinit; Mk-Makrinit; Fg-Funginit; Sk-Sekretinit; Idt-Inertodetrinit; Iner-Inertinit; Prt-Pirit; Kilvd-Kil ve diğer Silikatlar

Çizelge 5. Taşkesen kömürlerinin vitrinit yansıtma değerleri.

Sondaj No	Örnek No	Rmax (%)	Rmean (%)	Rmin (%)	Kömürleşme Derecesi
TY1	T1	1.26	1.18	1.11	Bitümlü Kömür
	T2	1.38	1.27	1.16	Bitümlü Kömür
	T3	1.08	1.03	0.97	Bitümlü Kömür
	T4	0.97	0.93	0.88	Bitümlü Kömür
	T5	1.04	1.01	0.97	Bitümlü Kömür
	T6	1.09	1.00	0.94	Bitümlü Kömür
	T7	1.01	0.96	0.93	Bitümlü Kömür
	T8	1.08	0.99	0.95	Bitümlü Kömür
	T9	1.10	1.07	1.03	Bitümlü Kömür
TY2	T10	1.00	0.98	0.97	Bitümlü Kömür
	T11	1.10	1.06	0.97	Bitümlü Kömür
	T12	1.06	0.99	0.89	Bitümlü Kömür
TY3	T13	0.97	0.84	0.76	Bitümlü Kömür
	T14	0.85	0.82	0.78	Bitümlü Kömür
	T15	0.98	0.93	0.88	Bitümlü Kömür
	T16	1.02	1.00	0.93	Bitümlü Kömür
	T17	1.01	0.95	0.90	Bitümlü Kömür



Şekil 3. TY-1 Sondajı örneklerinde kömürleşme derecesi ile derinlik ilişkisi.



Şekil 4. TY-3 Sondajı örneklerinde kömürleşme derecesi ile derinlik ilişkisi.

Taşkesen kömür örneklerinde yapılan petrografik analizleri sonucunda faylara yakın örneklerin (T1, T2 gibi) Rmax, Ro ve Rmin yansıtma değerleri nispeten yüksek bulunmuş, bunun da tektonik hareketlerin ısısal etkinliğinden kaynaklandığı ve yansıma değerlerinin bu yüzden artmış olduğu düşünülmektedir. TY-1 sondajına ait örneklerin maksimum vitrinit yansıtma değerleri ile derinlik arasındaki ilişki Şekil 3’de, TY-3 sondajına ait örneklerin maksimum vitrinit yansıtma değerleri ile derinlik arasındaki ilişki de Şekil 4’de gösterilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde TY-1 sondajı örneklerinin vitrinit yansıtma değerleri ile derinlik arasındaki ilişki bir noktada kesiklidir. Bu nokta, Damlar fayının sondajda kesildiği derinliğe karşılık gelmektedir. TY-3 sondajı örneklerinin vitrinit yansıtma değerleri ile derinlik arasındaki ilişki de yine bir noktada kesikli olup yaklaşık olarak aynı fayın sondajda kesildiği derinliğe karşılık gelmektedir.

4 SONUÇLAR

Bölgesel tektonizmanın etkin olduğu Kozlu üretim bölgesinde Kozlu formasyonunun (Westfaliyen A) kalınlığının belirlenmesi için Taşkesen panosunda yapılan TY-1, TY-2 ve TY-3 kömür sondajlarının üçünde de Alacaağzı formasyonu (Namuriyen) kesilmiş, Kozlu formasyonunun yaklaşık 500 metre kalınlıkta olduğu belirlenmiştir. Bu durum, Kozlu yöresinde Karboniferin kuzey yönündeki yükselimini desteklemektedir.

Taşkesen sondajlarında belirlenen kömür damarlarının kaba analiz sonuçları (%) kül, (%) sabit karbon ve kalorifik değerleri artan derinlikle uyumludur. TY-1 sondajında Damlar fayının yakınındaki T-3 nolu örneğin orjinaldeki kül değeri %6,45 ve Üst kalori değeri 7,533 Kcal/kg olup dikkati çekmektedir. Fay düzleminin alt kısmındaki bir derinlikten alınan bu kömürün vitrinit yansıtma değerinde ani bir yükselme görülmemesine rağmen yoğun tektonik etki ile yerinde koklaşmaya başladığı düşünülmektedir. Kömür örneklerinin maseral bileşeni dağılımında vitrinit baskın olup, inertinit ikinci gelen maseral bileşenidir. Liptinit maseralı nispeten düşük oranlarda bulunmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar vitrinit yansıtma değerlerinin kömürleşme derecesine bağlı olarak düzenli değiştiğini göstermektedir. Taşkesen kömürlerinin vitrinit yansıtma değerleri genel hatları ile, Kozlu bölgesi kömürlerinin daha önce belirlenmiş değer aralıkları içindedir. TY-1 sondajına ait bazı örneklerin vitrinit yansıtma değerlerindeki ani yükselmeler (T-1, T-2) Damlar fayı gibi tektonik hareketlerin ısısal etkisi olarak düşünülmektedir. Nitekim bu sondajın kestiği tavan damarlarına ait örneklerin (T-1, T-2, T-3, T-4) kalorifik değerleri, taban damar örneklerinin(T-8, T-9) kalorifik değerlerine göre nispeten düşük olmasına rağmen vitrinit yansıtma değerleri oldukça yüksektir.

Damlar fayının üst bölümünün kesildiği TY-3 sondajında ise fay düzleminin altında kesilen üst damarlara ait kömür örneklerinin (T-13, T-14) vitrinit yansıtma değerlerinde belirgin bir yükselme bulunmamakta olup, derinliğe bağlı olarak artış görülmektedir (T-16, T-17). Bunun yanı sıra, TY-1 ve TY-3 sondajlarına ait örneklerin vitrinit yansıtma değerleri ile derinlik ilişkisi arasında görülen kesiklikler Damlar fayının bu sondajlarda kesildiği derinliklere karşılık gelmektedir. Bu tür veriler, kömür damarlarının yoğun tektonik etkilere maruz kaldığı bölgelerde damar devamlılıklarının tespitinde önemli bir etkindir.

5 KAYNAKLAR

- Artüz, S. 1974. Zonguldak Kozlu Bölümündeki (Westfaliyen-A) Hacıpetro Kömür Damarının Petrografik İncelemesi, *İÜ Fen Fakültesi Monografileri*, 24, 31 s.
- Buzkan, İ., Özpeker, I. 1990. Kozlu İncirharmanı Kömürlerinin Vitrinit Yansıtmaları, Derinlik ve Kimyasal Bileşenler Arasındaki İlişkiler, *Türkiye 7. Kömür Kongresi*, s. 347-362.
- Erdem, Ü., Pelin, S. 1986. Kozlu Bölgesinde Zaman-Sıcaklık-Derinlik İlişkileri, 40. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara.
- Okay, I. A. C. 1944. Zonguldak Kozlu Serisine Ait Çaydamar Kömürü Üzerinde Mikroskopla Yapılan Kantitatif Petrografik Etüd, *MTA Mecmuası*, No:1/31 Ankara.
- Özler, İ., Yaver, Y., Kır, N., Canca, N., Tongal, O., Bakan, Z. 1992. Zonguldak Değirmenağzı ile Göbü Arasının Jeolojisi ve Kömür Varlığı, *MTA Derleme*, No 9599, Ankara, (yayımlanmamış).
- Pehlevan, M., Kır, N., Saka, A. 2008. Zonguldak Kozlu TY-1, TY-2 ve TY-2 Sondajlarının Jeoloji Raporu, *MTA Derleme*, No :11083, Ankara, (yayımlanmamış).
- Stach, E., Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, S., Chandra, I., Teichmüller 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*, 3rd edition, Gebrüder Borntraeger, Berlin and Stuttgart, 535 p.
- Toprak, S. 1984. *Petrographic Characterizations of Coals in the Kozlu and Kılıç Formations (Westphalian A) Zonguldak Turkey*, Thesis of Msc, University of Pittsburgh, 78 p.
- Ünalın, G. 2010. *Kömür Jeolojisi*, MTA Eğitim Serisi-41, Ankara, 556 s.
- Yergök, A. F., Akman, Ü., plikçi, E., Karabalık, N., Keskin, ., Mengi, H., Umut, M., Arma an, F., Erdo an, K., Kaymakçı, M., Çetinkaya, A. 1987. Batı Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi 1, *MTA, Derleme No:8273*, Ankara (yayımlanmamı).

KAYAÇLARIN SEDİMANTOLOJİK YAPILARININ KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

THE USAGE OF SEDIMENTARY ROCKS STRUCTURES IN COAL MINING

A. Baltaş

TTK, Etüt Plan Proje Tesis Dairesi Başkanlığı, Zonguldak.

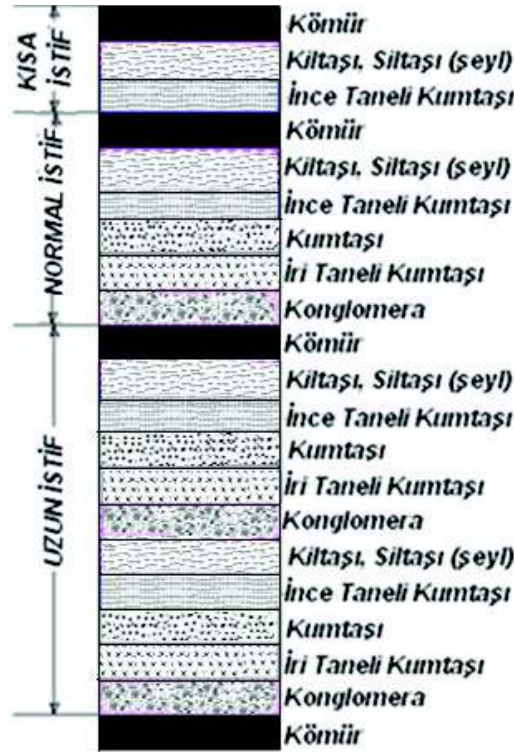
ÖZET: Sedimanter kayaçların çökelme süreçlerinin ve jeolojik geçmişlerinin ayrıntılı olarak incelenmesiyle elde edilecek bilgiler, bu kayaçlarda yapılacak kazı çalışmaları ve açılacak galerilerin duraylılığı açısından oldukça önemlidir. Yeraltı kömür ocaklarında yaşanan problemlerin önemli bir kısmı da kayaçların jeolojik özelliklerinin yeterince bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, Zonguldak Taşkömürü Havzasında kömür damarlarının içinde bulunduğu sedimanter kayaçların çökelim süreçleri kısaca özetlenmiş ve bu süreçlerde yaşananlardan yola çıkılarak galeri duraylılığının artırılması, uzunayakların tavan tahkimatının projelendirilmesi, potansiyel degaj zonlarının konumlarının belirlenmesi, galeri arınlarında ve başyukarı çalışmalarında kaybolan damarların yeni konumlarının sedimantolojik veriler yardımıyla belirlenmesi konularında edinilen deneyimler paylaşılmıştır.

ABSTRACT: The information that is gathered from depositional processes and the geological history of sedimentary rocks is important for the success of the excavation work and the sensitivity of the engineering structures to be built. A major portion of the problems that are observed in underground coal mines are because of not having enough information about the geological features of rocks. In this work, the sedimentological processes of coal seams, which are in Zonguldak Coal Basin; were briefly summarized. The experiences were shared about making the susceptibility of the gallery higher, projecting the ceiling fortifications of longwalls, determining the potential inrush zones, identifying the lost veins in gallery purifications and in raise borings in the light of sedimentological knowledge with the help of this summarized data.

1 GİRİŞ

Kömür damarları, genel olarak, tekrarlanan bir dizi sedimantasyon süreçleri sonucunda çökelir (Baltaş ve Öney 2012). Bu süreçlerde kömürü oluşturan organik malzemenin yan kayaçlarla birlikte belirli bir düzen içinde birikmesi ve gömülmesiyle ‘dönem’ adı verilen istifler oluşur. Ancak dönemi oluşturan sedimantasyon süreçleri her istif için aynı şekilde gerçekleşmez. Ayrıca, sedimantasyonla çökelen katmanların bir kısmı daha sonra erozyon nedeniyle aşınabilir. Tektonik etkilerden bağımsız olarak gerçekleşen bu olaylar; kömür damarlarının çökeliş çökelmeyeceğini, çökelen damarın kalınlığını, damarların birbirlerine yakın veya uzak konumda çökeceğini, yani aralarındaki mesafeyi belirler.

Ocaklarda tabakalara dik doğrultuda sürülen galerilerde kesilen kömür damarlarının arasındaki litolojik birimler incelendiğinde, ilerleme yönüne bağlı olarak kayaçların tane boyunun dereceli olarak incelmesi veya kalınlaştığı görülür. Buna göre, alttaki damardan üstteki damara doğru gidildiğinde iri taneli kayaçların tabanda biriktiği, tavana doğru giderek kayaçların tane boyunun incelmesi ve tane boyu en ince olan kayaçların ise en üstte konumlandığı görülür. Zonguldak Havzasında bütün litolojilerin bir kez çökerek oluşturduğu istif, tabanda konglomeralar ile başlar. Daha sonra yukarıya doğru, kaba, orta ve ince taneli kumtaşları ile devam eder (Şekil 1). Bunların üzerine silttaşları ve kilttaşları gelir. En üstte ise kömür damarı konumlanır (normal istif).



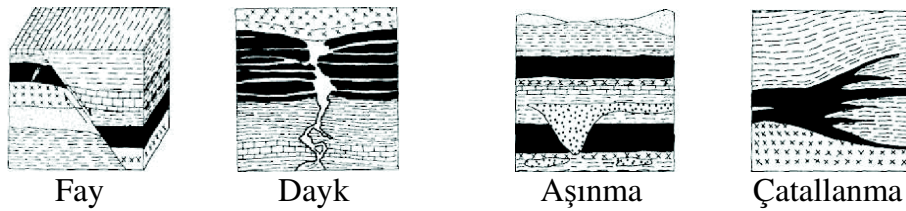
Şekil 1. Zonguldak Taşkömürü Havzasında görülen istif çeşitleri.

Bazen, sedimantasyon sürecinde akarsuyun taşıma enerjisinin azalmasına bağlı olarak kilttaşları ve silttaşları çökelirken, aniden akarsu enerjisinin artması nedeniyle süreç kesintiye uğrar ve iri taneli litolojik birimler çökerek yeni bir sedimantasyon süreci başlar. Böyle durumlarda istifte ince taneli litolojik birimler (kilttaş, silttaş) üzerine iri taneli litolojik birimler (kumtaş, konglomera) çöker. Konglomera veya kumtaş tabakası ile başlayan yeni istifin kömür damarı ile son bulması için yeni bir 'dönem'in geçmesi gerekir. Bu durumda sadece sedimantolojik nedenlerle iki kömür damarı arasındaki uzaklık normalden daha fazla olur (Uzun istif). Eğer alta çökelmiş olan kömür damarının üzerine yeni bir dönemin başlangıcında sedimantasyon ortamında nispeten debisi ve taşıma gücü zayıf olan bir akarsu egemen olursa, kilttaşları veya silttaşları çöker. Akarsuyun enerjisinin giderek daha da azalması durumunda ortam kömür damarının çökmesine uygun hale gelir ve bu istifte çökelen kömür damarları nispeten birbirine daha yakın olarak konumlanır (Kısa İstif).

Sedimantasyonun hızlı bir şekilde gerçekleşmesi durumunda, damarların yanal yönde yayılmalarında ani değişimler (incelme, kalınlaşma, çökme vb.) görülür. Kömür damarlarının çökmesinin daha yavaş olarak gerçekleşmesi durumunda ise, yanal yönde devamlılık daha uzak mesafelere doğru kesintisiz olarak devam eder.

2 SEDİMENTASYON ORTAMINDA GÖRÜLEN SÜREKSİZLİKLER

Sedimantasyon ortamında kömür oluşturan organik malzemelerin çökmesinden önce bitki gelişimi, bozuşması, sel baskını vb. gelişen süreçler, bataklığın gelişmiş olduğu topografyanın şeklini belirler (Hoerne vd. 1978). Tektonik etkiler dışında kömür damarında görülen kalınlık değişimleri, sedimantasyon alanındaki topografiyle ilgilidir. Kömür damarının çökmesini tamamladığı ancak gömülmenin başlamadığı sırada, ortamda egemen olan akarsular enerjilerine bağlı olarak bir taraftan yeni çökelleri taşıırken, diğer taraftan da aşındırma yaparak alttaki kömür damarlarını tamamen veya kısmen aşındırır, inceltir veya parçalara ayırır (Şekil 2).



Şekil 2. Sedimantasyon ortamında görülen süreksizlikler.

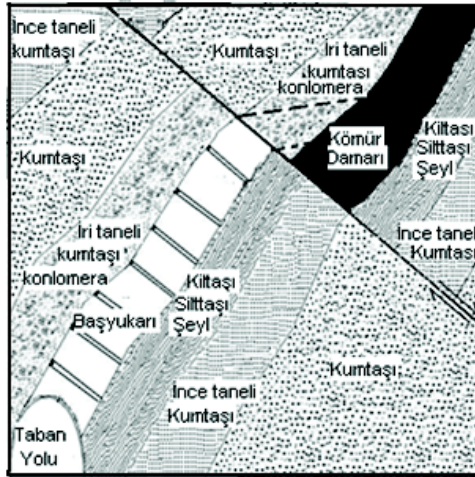
Benzer şekilde; gömülmeden sonra depolanma ortamında fay, kırık, rüzgar erozyonu, akarsu aşındırması vb. gibi olayların meydana gelmesi, altta bulunan kömür damarının kalınlığını ve devamlılığını etkiler. Yani kömür damarları, sadece tektonik nedenlerle değil, aşınmaya bağlı olarak da kesintiye uğrar. Akarsuyun, kömür damarını aşındırarak aynı seviyeye taşıdığı malzemeleri biriktirdiği alanlarda kesintiye uğrayan üretim, bu duruma örnek gösterilebilir. Bu gibi durumlarda kazı arınında yön değişikliği yapmadan ilerlendiğinde, erozyon alanı geçildikten sonra tekrar kömür damarına ulaşılır.

3 SEDİMANTOLOJİK YAPILARIN MADENCİLİK ÇALIŞMALARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, sedımantolojik yapıların madencilik çalışmaları açısından değerlendirilmesiyle ilgili bazı örnekler sunulmuştur.

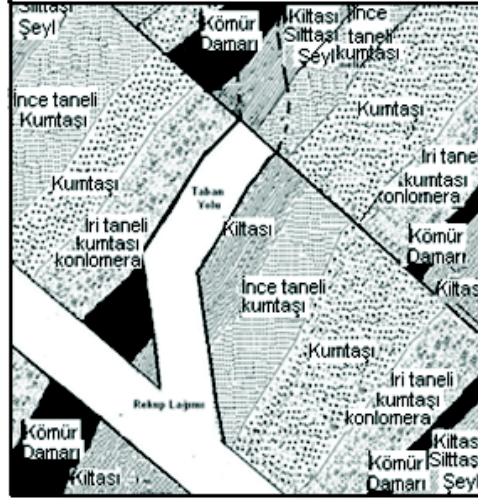
3.1 Yan Kayaçlarının Sedimentolojik Yapıları Değerlendirilerek, Galeri ve Başyukarı Arınlarında Kaybolan Damarların Yeni Konumlarının Belirlenmesi

Üretim yapılmakta olan kömür damarının alt ve üstünde bulunan diğer damarlarla arasındaki kayaç yapılarının bilinmesi durumunda (normal, kısa veya uzun istif); aynı istif içerisinde atım oluşturan küçük faylar nedeniyle tabanyolu ve başyukarı arınlarında kaybolan kömür damarlarının yeni konumları belirlenebilir (Şekil 3-4). Benzer şekilde; rekup galerileri boyunca kesilen kayaçların istif içerisindeki konumu değerlendirilerek, arının en yakın kömür damarlarına göre konumu ortaya konabilir.



Şekil 3. Başyukarı arınında kaybolan damarının yeni konumunun sedimantolojik özellikler yardımıyla belirlenmesi.

Tabakalanmaya dik doğrultuda yapılan bir sondajın başladığı andan itibaren kestiği kayaçlardan elde edilen karotlar kesintisiz olarak incelendiğinde; litolojik özellikler değerlendirilerek kayaç istifinin yapısı, dolayısıyla ileride kesilecek en yakın kömür damarının konumu belirlenebilir. Hatta bu şekilde sondaj tarafından o noktada aşınma nedeniyle gerçek kalınlığından daha ince kesilerek değerlendirmeye alınmayan kömür damarlarının varlığı bile ortaya konabilir. Burada istifi oluşturan katmanların doğrultusu ile yapılan sondajın yönü, istif içerisinde doğru bir konumlandırma açısından oldukça önemlidir.



Şekil 4. Tabanyolu arınında kaybolan damarının yeni konumunun sedimantolojik özellikler yardımıyla belirlenmesi.

3.2 Tavan Kayaçlarının Sedimantolojik Yapılarının Uzunayak Üretimi Yöntemi Açısından Değerlendirilmesi

Yeraltı madenciliğinde uzunayak üretim yöntemi açısından, kömür damarlarının tavan yapılarının üretim sırasında bozulmadan kalması oldukça önemlidir. Ancak, tavan taşının sağlam olduğu veya zayıf tavan yapılarının kuvvetli tahkimat elemanlarıyla desteklendiği kömür panolarında üretim sağlıklı olarak gerçekleştirilebilir. Bir kömür panosunda tavan taşının sağlamlığı; kayacın litolojisine, taneleri bağlayan malzemenin çimentolanma derecesine, kayacın deformasyona neden olan kuvvetlerin büyüklüğüne, tektonik yapıya, alterasyon vb. gibi olaylara bağlıdır.

Konglomeralar ve sert kumtaşları, iyi çimentolandıklarında daha sağlam tavan koşulları sunarlar (Şekil 5). Yapılan çalışmalara göre en iyi tavan koşulları, yaklaşık 3 metre kalınlıkta ve yaklaşık 600 metre uzunlukta devam eden sert kumtaşı tabakalarında görülür (Hoerne vd. 1978). Tavan taşının çok sert olduğu uzunayak üretim panolarında, ayak tahkimatının kaydırılması nedeniyle arkada kalan tavan taşı kendiliğinden düşmez. Bu durumda; tavan taşı kontrollü olarak düşürülemezse, üretime bağlı olarak ayak arınının ilerlemesi nedeniyle arkadaki açık alanlar daha da büyür. Böylece, tavan taşının sertliğine bağlı olarak geniş bir alanda, tahkimatın taşıyamayacağı ağırlıkta, kontrol edilemeyen göçükler meydana gelir.

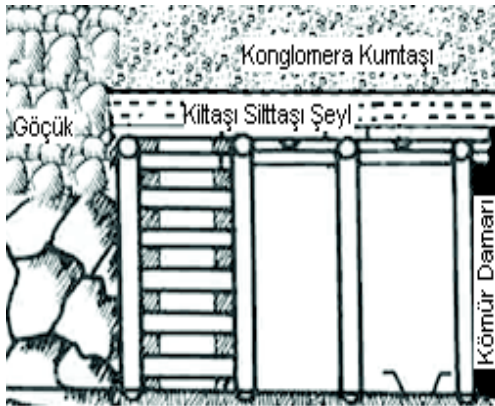
Sert bir kayaç olarak kabul edilen konglomeraların tavan taşı olarak bulunduğu uzunayaklarda, konglomera çakılları iyi bir çimentoyla birbirlerine bağlı değillerse veya tavandan sızan suların etkisiyle konglomera çakıllarını birbirine bağlayan çimento özelliğini kaybediyorsa, sağlam tavan koşulları oluşmaz. Böyle durumlarda ayak içinde yapılacak tahkimat önem kazanır (Brady ve Brown 1985).



Şekil 5. Uzunayakta sağlam tavan taşı.

Kumtaşı gibi sıkışma özelliği az olan kayaçların, şeyller ve silttaşları gibi daha yüksek sıkışma özelliğine sahip kayaçlarla arakatmanlı olarak bulundukları alanlarda, basınç nedeniyle litolojik birimler birbirlerinden farklı miktarlarda deplasman yapar (Molinda 2003). Bu tip tavan yapıları alttaki kömürün üretilmesi sırasında yeterince desteklenmemişse, tabaka sınırları boyunca birbirlerinden kolayca ayrılır. Kömür damarının üzerine kıltaşı, silttaşı gibi zayıf dayanımlı kayaçların, bu kayaçların da üzerine konglomera ve kumtaşı gibi nispeten daha sert yapıdaki kayaçların konumlandığı panolarda; kömürün kazısı yeterince hızlı yapılmazsa, kıltaşı, silttaşı tabakaları konglomera ve kumtaşlarından bağımsız hareket ederek ayak tahkimatının üzerine biner. Tavan taşını bu şekilde zayıf dayanımlı kayaçların oluşturduğu ayaklarda önemli tavan sorunları oluşturur (Şekil 6).

Eklemli ve iyi çimentolanmış kumtaşları daha sağlam tavan yapısı sunarlar. Ancak, kumtaşlarının eklemli ve kırıklı olması durumunda, üretimle birlikte tavanda birbirinden bağımsız hareket eden bloklar oluşur. Söz konusu bloklar askıda tutuldukları sürece sadece ayak tahkimatı tarafından taşınır. Genellikle tahkimatın yetersiz kaldığı böyle durumlarda sık sık tavan göçükleri meydana gelir (Şekil 7).

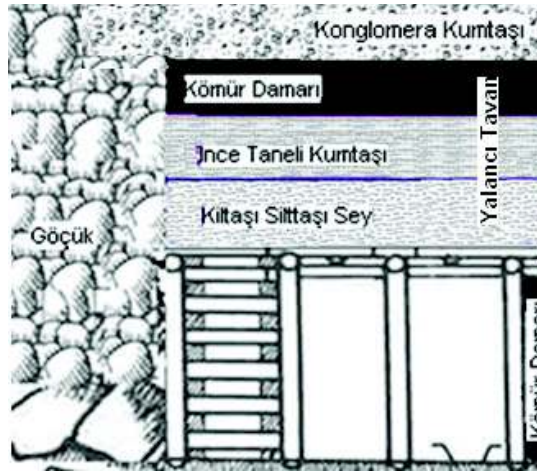


Şekil 6. Zayıf tavan kayaçlarının sağlam kayaçlardan ayrılarak tahkimata binmesi.



Şekil 7. Uzunayak tahkimatının yetersiz kalması.

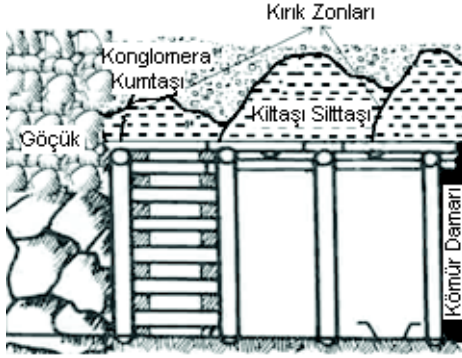
Ana damarın yaklaşık 5-10 m üzerinde ince bir damarının konumlandığı uzunayaklarda; sedimanter dizilime göre iki damar arasında kıltaşı, silttaşı, ince taneli kumtaşı gibi düşük dirençli kayaçlar bulunur. Alttaki kömürün üretilmesiyle askıda kalan ve tahkimatla tutturulmaya çalışılan söz konusu tavan kayaçları üzerlerinde bulunan ince kömür damarı ile birlikte daha üstte bulunan sert kayaçlardan ayrılarak bütün ağırlıklarıyla tahkimata biner (Şekil 8). Madenciler tarafından “yalancı tavan” olarak isimlendirilen bu şekildeki kömür panolarında üretim oldukça riskli koşullarda yapılır. Zayıf kayaçlardan oluşan kömür panolarında üretim, tavandan kaynaklanacak göçük tehlikesi altında yapılır. Bu tip panoların bulunduğu ortamlarda jeolojik süreç içinde ayrıca tektonik ve sedimantolojik olaylar yoğun olarak yaşanır, tavan sorunları artarak daha da belirgin hale gelir.



Şekil 8. Uzunayağın tavanında ince kömür damarının bulunması (yalancı tavan).

Kömür damarının üzerindeki tavan kayacının akarsu kanalları tarafından aşındırılarak inceltilmesi nedeniyle de tehlike oluşturan tavan yapıları meydana gelir. Üretimle birlikte tahkimatın üzerine oturan tavan kayacı, incelendiği hatlar boyunca kırılarak bağımsız hareket eden bloklara ayrılır. Blokların sayısının fazla olması, tahkimatın yetersiz kalmasına ve tavan göçüklerinin meydana gelmesine neden olur (Şekil 9).

Belirli bir kalınlığın üstünde olan kumtaşı ve şeyl tabakalarının arakatmanlı olarak oluşturdukları tavan yapıları, iyi sayılacak tavan koşulları sunarlar. Bu durumda yapılacak standart tahkimat, ayakta meydana gelecek göçükleri önlemek için yeterli olabilir. Ancak; kıltaşı ve silttaşı, konglomera ve kumtaşlarına göre daha zayıf dayanımları olan kayaçlardır. Bu nedenle, damarının tavan taşıma kıltaşı ve silttaşlarının oluşturduğu ayakların farklı bölümlerinde üretimle birlikte birbirinden farklı kırılma yüzeyleri meydana gelir. Bu tip kayaçların tavan taşıma, oluşturduğu ayaklarda alınacak hiçbir önlem, tavan göçüklerini tamamen engellemek için yeterli olamaz (Şekil 10). Tavan taşıma kıltaşı ve silttaşlarının oluşturduğu ayaklarda, üretim sıkı denetim altında ve kontrollü olarak yapılmalıdır.



Şekil 9. İncelen tavan kayacında kırılma.



Şekil 10. Uzunayakta göçük.

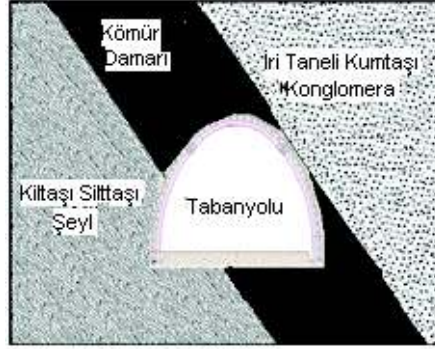
Düz tabakalı kumtaşları, ara katmanlı kumtaşları ve şeyllerin oluşturduğu tavan yapılarının sağlamlığı ise, söz konusu tabakaların kalınlığına bağlıdır. Eğer tabakalar yeterince kalın değilse, üretimle birlikte tabakalanma yüzeyleri boyunca ayrılmalar olur. Böyle koşullarda, standart ayak tahkimatına ek olarak yeni tahkimat önlemleri de alınmalıdır.

3.3 Sedimentolojik Özellikler ve Galeri Duraylılığı Arasındaki İlişkiler

Kömür madenlerinde tabakalanmaya dik doğrultuda sürülen galeriler, farklı litolojik ve dayanım özelliklerine sahip katmanları art arda keserek ilerlerler. Söz konusu galerilerin sert katmanlar içindeki kısımları klasik tahkimat elemanlarıyla (demirbağ, kama, fırça) tutulabilirken; düşük dirençli katmanlar içindeki bölümleri en kısa doğrultuda geçildiklerinden en alt düzeyde deformasyon sorunu yaratırlar. Galerilerin daha uzun süre deformasyona uğramadan ayakta kalabilmeleri, zayıf katmanların içinde sürülen kısımlarının daha özenli tahkimat yapılarak geçilmesiyle mümkün olur.

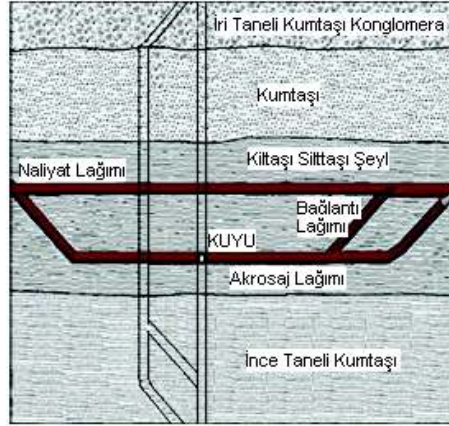
Tabakalanmaya paralel doğrultuda sürülen galeriler ise, içinde sürüldükleri kayaçların sertliklerine bağlı olarak deformasyon sorunu yaratırlar. Damarları izleyerek tabakalanma doğrultusunda sürülen tabanyolları, kömür damarıyla birlikte damarın tabanında bulunan kilitaşı, silttaşı, ince taneli kumtaşı gibi düşük dirençli kayaçları da izler. Eğer damarın tavan taşını taban taşına benzer şekilde düşük dirençli kayaçlar oluşturuyorsa bu özellikteki taban yolları klasik tahkimat elemanlarıyla deformasyon sorunu oluşturmada uzun süre ayakta tutulamaz (Şekil 11). Havzada üretim panolarının kısa planlanmasının bir nedeni de tabanyollarında yaşanan deformasyon sorunlarıdır.

Tabaka kalınlığı, kayaçların tane boyu, tektonik yapı, ortamdaki nem vb. gibi faktörler de galeri deformasyonları üzerinde etkilidir. Desandre, motor garajı, su havuzu vb. gibi amaçlarla kullanılacak yardımcı galeriler ile, kuyu ve tumbaların diğer galerilerle bağlantılarını sağlayan bağlantı galerilerinin de, rekup galerilerine benzer şekilde tabakalanmaya dik doğrultuda planlanması ve sürülmesi gerekir. Ancak bu şekilde ilave tahkimat yapılmadan galeriler uzun süre ayakta kalabilir.



Şekil 11. Eğimli damarda dürülen tabanyolu.

Damarları keserek sürülen rekup galerilerinin arasındaki bağlantıyı sağlayan ve havalandırma, nakliyat vb. gibi amaçlar için kullanılan galeriler; zorunlu olarak tabakalanmaya paralel doğrultuda sürülürler. Söz konusu galerilerin uzun süre deformasyona uğramadan ayakta kalabilmeleri, daha planlama aşamasından itibaren sondajlardan da yararlanılarak yüksek dirençli kayalar içinde konumlandırılmaları ile mümkündür (Şekil 12).



Şekil 12. Tabakalanmaya paralel ve dik konumda planlanmış galerilerin konumları.

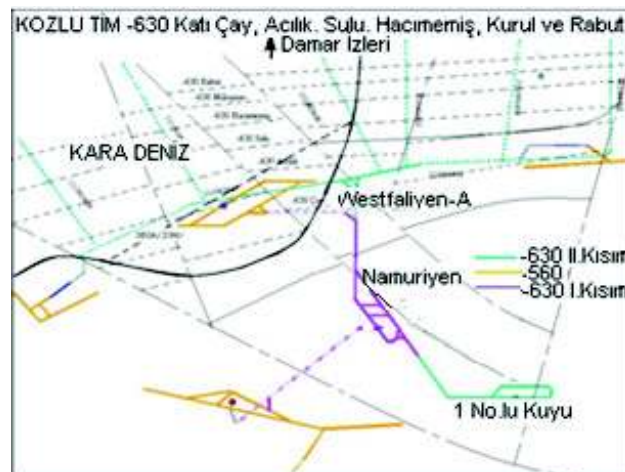
Yakından incelenen Karadon TİM Kilimli İşletmesi -540 Katı Hazırlık Projesi kapsamında tabakalanma doğrultusunda sürülen Nakliyat Lağımının özellikle batı kısmında tahkimat sorunları meydana gelmiştir. Nakliyat Lağımının batı tarafı 0.80 m'yi geçmeyen Alacağzı Serisi (Namuriyen) içinde sürülmüştür. Bu seri kıltaşı, silttaşı, ince taneli kumtaşı tabakaları ve ince kömür bantlarından oluşmaktadır (Özler vd. 1992, Çam vd. 2013). Kesit alanı 14 m² olan galerinin özellikle batı kısmında oluşan deformasyonlar sonucu, kesit daralmaları meydana gelmiştir. Lağımın bu kısmında, klasik tahkimat elemanları kullanılarak değişik tarihlerde üç kez tamir tarama ve yol inme çalışması yapılmasına rağmen, tekrar deformasyonlar oluşmuş ve kesit alanı 8-10 m²'ye inmiştir. Buradan hareketle; demirbağ, kama ve fırçadan oluşan klasik tahkimat elemanlarının Alacağzı Serisinde sürülen galeriler için yetersiz kaldığını söylenebilir.

-540 Nakliyat Lağımının Gelik 75.Yıl Cumhuriyet Kuyusu ile bağlantısını sağlayan bölümü de Namuriyen yaşlı kayalarda sürülmesine rağmen, doğrultusu tabakalanma doğrultusuna dike yakın konumda olduğundan, yer yer tavan akmalarının görüldüğü yerler dışında şu ana kadar önemli bir tahkimat sorunu oluşturmamıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Karadon TİM Kilimli İşletmesi -540 kat hazırlık planı ve doğu-batı galerisiyle Gelik Kuyusunu bağlayan ve Namuriyen yaşlı kayalarında tabakalanmaya dik doğrultuda sürülen galeri.

Kozlu TİM 1 No.lu Kuyu -560 ve -630 insetleri tabakalanma doğrultusunda sürülen galerilerden oluşmaktadır (Şekil 14). -560 kotunda sürülen insetler Westfaliyen A yaşlı Kozlu Serisi içinde sürülmesine rağmen, -630 katında sürülen insetler ile üretim yapılan galeriler arasında bağlantıyı sağlayacak galeri, tabaka eğimleri nedeniyle Namuriyen yaşlı Alacaagzı Serisi içinde konumlanmıştır. Söz konusu galeri ile Kuyu insetlerini geçerek ilerleyen fay da zemini daha sorunlu hale getirmiş ve bu nedenle galeride deformasyonlar meydana gelmiştir. Söz konusu galerilerde yapılan tarama ve enjeksiyon çalışmalarına rağmen deformasyonlar önlenememiştir.

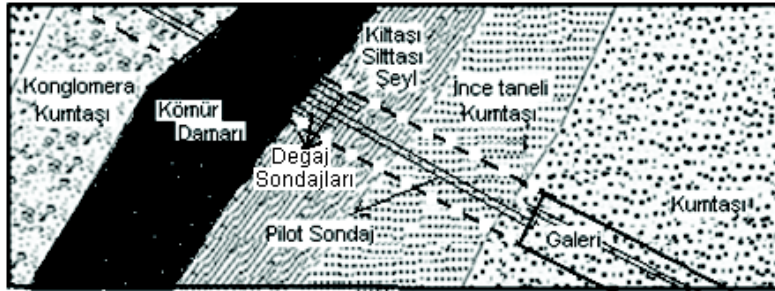


Şekil 14. Kozlu TİM -630 kat planı.

Benzer şekilde Armutçuk TİM İşletmesi üretim sahasındaki galerilerin büyük bir bölümü Namuriyen yaşlı kayalar içinde ve tabakalanmaya paralel doğrultuda sürülmüştür. Bu durum Müessesedeki ocaklarda nakliyat ve havalandırma problemlerinin yaşanmasına neden olmaktadır. Söz konusu galerilerde klasik demir bağ, kama ve fırçadan oluşan tahkimat elemanlarıyla yapılan tamir ve tarama işleri deformasyonların oluşmasını engelleyememektedir.

3.4 Degaj Tehlikelerinin Önlenmesi İçin Sedimentolojik Özelliklerin Kullanılması

Jeolojik açıdan potansiyel gaz depolanmalarını (degaj zonlarını) belirlemek için de sedimentolojik özelliklerden yararlanılır. Metan gazının kaynağı olan kömür damarlarının birbirine yakın olarak konumlanması, damarlarının tabanında gazların geçişine engel olan kil tabakalarının bulunması, bazı damarlarının hem tabandan hem de tavandan geçirimsiz kil tabakalarıyla sınırlandırılması, kömür damarlarının tavanında porozitesi ve permeablitesi yüksek kumtaşı ve konglomera tabakalarının bulunması nedeniyle potansiyel degaj zonları oluşur. Kömür damarlarının ve çevresindeki litolojik birimlerin sedimentolojik yapısının araştırılmasıyla gaz degajlarının kontrolü ve önlenmesi açısından oldukça önemli veriler elde edilir. Sedimentolojik yapıyı öğrenmek için yapılacak pilot sondajları ve elde edilen bilgiler doğrultusunda bilinçli bir şekilde yapılacak degaj sondajları, potansiyel degaj zonlarının belirlenmesi ve oluşturacağı tehlikelerin önlenmesinde en etkili yöntemdir (Şekil 15).



Şekil 15. Galerilerde yapılan pilot ve degaj sondajları.

4 BAĞINTI (KORELASYON)

Zonguldak havzasındaki kömür madenciliğinin daha da gelişmemesinin ve daha planlı yapılamamasının en önemli nedeni, bölgenin jeolojik yönden oldukça karmaşık olmasıdır. Damar sayısının çok olması, damarların her zaman aynı kalınlıkta devam etmemesi, havzanın yoğun tektonizma geçirmiş olması, damarlar arasında yanal yönde ve katlar arasında sağlıklı bağıntı (korelasyon) kurulamaması, üretim yapılan panolarının geometrilerinin sürekli değişim göstermesi vb nedenler jeolojik karmaşıklığın sebebi olarak sayılabilir.

Söz konusu karmaşıklığı biraz daha anlaşılabilir hale getirmek için aynı kotta ve farklı kotlarda sürülen galerilerde kesilen damarlar arasında doğru bir şekilde bağıntı kurulmalıdır. Bu amaçla tektonik verilerin yanı sıra, sedimentolojik özelliklerden de yararlanılır. Galerilerde kesilen damarlar arasındaki doğru bir şekilde bağıntı kurabilmek

için; damarlar arasında bulunan litolojik birimlerin korelasyonlarının da doğru bir şekilde yapılması gerekir.

5 SONUÇ

Kömür damarlarının çökdikleri ortamlarının ayrıntılı olarak incelenmesi ile elde edilen bilgiler, maden işletmeciliğinin daha verimli bir şekilde yapılmasına olanak sağlar. Bu sayede; kayaçların sedimantolojik özelliklerinden yararlanılarak damarlar arasında daha doğru bir korelasyon kurulabilir. Galeriler, başyukarılar, taban yolları ve sondajlar daha bilinçli olarak yönlendirilebilir. Üretim yapılacak uzunayaklardaki tavan sorunları öngörülerek daha bilinçli tahkimat önlemleri alınabilir. Galeri duraylılığını artıracak şekilde ocak planlaması yapılabilir ve potansiyel degaj alanları öngörülebilir. Başarılı bir madencilik için her aşamada sedimantolojik veriler, tektonik yapı ile birlikte değerlendirilmelidir.

6 KAYNAKLAR

- Baltaş, A., Öney, Ö. 2012. Yeraltı Kömür Ocaklarında Jeolojik Özelliklerle Gaz Degajlarının İlişkisi, *Türkiye 18. Kömür Kongresi*, s. 299-312, Zonguldak.
- Brady, B. H. G., Brown, E. T. 1985. *Rock Mechanics for Underground Mining*, George Allen and Unwin, London, 527 p.
- Molinda, G. M. 2003. *Geologic Hazards and Roof Stability in Coal Mines*, U.S. Department of Health and Human Services, Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh.
- Hoerne, J. C., Perm, J. C., Caruccio, F. C., Bagant, B. F. 1978. *Apalaşlardaki Kömür Aramaları ve Maden İşletme Planlaması Çalışmalarında Yararlanılan Çökel Modeller*.
- Özler, İ., Canca, N., Yaver, Y., Tongal, O., Kır, N., Bakan, Z. 1992. *Zonguldak Değirmenağzı ile Göbü Arasındaki Alanın Jeolojisi ve Kömür Varlığı*, MTA Raporu.
- Çam, İ., Akbulut, İ., Odacı, B., Yüceel, S., Yurtseven, N., Koç, E., Ertürk, İ., Toprak, S., Zaman, U. 2013. *TTK Armutçuk TİM Jeoteknik Etüt Çalışması*, MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Jeoteknik Araştırmalar Koordinatörlüğü, Ankara.

SOMA BÖLGESİNE AİT BAZI LİNYİTLERİN GRAVİTE BAZLI KURU ZENGİNLEŞTİRİLMESİ: PİLOT ÖLÇEKTE ALLAIR JİĞİ UYGULAMASI

GRAVITY BASED DRY PROCESSING OF SOME LIGNITES FROM SOMA REGION: PILOT SCALE ALLAIR JIG APPLICATION

F. Boylu, F. Karakaş, O. Güven, I. E. Karaağaçlıoğlu, M. S. Çelik
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maslak, İstanbul

H. Özdemir
Allmineral Aufbereitungstechnik GmbH & Co. KG, Duisburg, Germany

K. Çinku
İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

T. Çetinel
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

N. Yalçın
Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara

F. Işık
Türkiye Kömür İşletmeleri, Soma Müessese Müdürlüğü, Soma, Manisa

ÖZET: Bu çalışmada Soma bölgesi İmbat, ve Eynez (açık ocak) ocaklarında üretilmekte olan kömürler üzerinde, pilot ölçekli Allair Jigi kullanılarak kuru zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İmbat (beslenen kül içeriği: %46.54) ve Eynez (beslenen kül içeriği: %40.94) kömürleri üzerinde gerçekleştirilen iki kademeli kuru zenginleştirme işlemi sonucunda yaklaşık %20 kül içerikli, 5,424-5,700 Kcal/kg alt ısı değerli lave ve %63-65 kül içerikli, kuru bazda alt ısı değeri yaklaşık 300-400 Kcal/kg atılabilir özellikte şist ürünleri elde edilmiştir. Kömürün nem içeriğinin taneler arasında yapışmaya sebep olduğu için kuru zenginleştirme verimini etkilediği, ancak nem içeriğinin fraksiyonel olarak dikkate alınması gerektiği ve -150+10 mm boyutundaki nem içeriğinin ayırmayı olumsuz olarak etkileyecek değerde olmadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda kuru zenginleştirme işleminin özellikle iri boyutlar için oldukça verimli olacağı görülmüştür.

ABSTRACT: Dry beneficiation studies were carried out with coals from İmbat and Eynez (open pit mine) quarries in Soma region using pilot scale Allair Jig. As a result of the two stage dry beneficiation process for İmbat (ash content: 46.54%) and Eynez (ash content: 40.94%); a clean coal concentrates with approximately 20% ash content and lower calorific values of 5,424-5,700 Kcal/kg and a disposable shale with 63-65% ash content (lower calorific value on a dry basis of about 300-400 kcal / kg) were obtained. It is found that since moisture of coals caused adhesion among particles it adversely affects beneficiation efficiency; however, moisture content should be considered as in fractional size. It is also found that moisture content in fraction of -150+13 mm is not adversely affects the beneficiation. In this context, it is shown that dry beneficiation process is quite efficient especially for coarse sizes.

1 GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan ekonomik ve endüstriyel gelişmeler, birçok ülke için enerji temini konusunda kaçınılmaz bir sorun yaratmaktadır. Önümüzdeki 20 yıl için enerji tüketimi projeksiyonu göz önüne alındığında; yenilenebilir ve nükleer enerji kaynakları çıkarıldığında, fosil yakıtlar, ya da bir başka deyişle, özellikle kömürün daha uzun süre temel enerji kaynağı olmayı sürdüreceği anlaşılmaktadır. Günümüzde, ocaktan çıkan kömürlerin büyük bir çoğunluğu, başlıcası ağır ortam ayırıcıları olmak üzere, jigler, spiraller ve bazı durumlarda ise flotasyon gibi ayırma ortamının su olduğu yaş yöntemlerle işlenmektedir. Ancak giderek artan kuraklıklar neticesinde, yüksek su tüketimi gerektiren bu yöntemler yerine, alternatif yöntemler araştırılmaktadır.

Bu kapsamda, ilk olarak 1930-1990 arasında su yerine havanın ortam olarak kullanıldığı kuru zenginleştirme yöntemleri uygulanmaya başlanmış ancak dönem koşullarında geliştirilen cihazlarla yapılan ayırımlardan elde edilen düşük ayırma verimi nedeniyle zamanla popülerliğini yitirmiştir. Ancak, yukarıda da belirtildiği üzere, son yıllarda ortaya çıkan küresel ısınma ve su sıkıntısı neticesinde kömürlerin kuru olarak zenginleştirilmesi için yeni tasarım ve yaklaşımlar geliştirilmiştir (Hacıfazlıoğlu 2012). Bu cihazlarda, kömürle yan taş arasındaki; özellikle yoğunluk, renk, elektrostatik vb. bazı fiziksel özellik farklılıklarından faydalanılarak ayırma yapılmaktadır. Klasik yaş yöntemlere göre, kuru zenginleştirme yöntemlerinden örneğin elle ayıklama, havalı jigler (Sampaio vd. 2007), FGX teknolojileri (Zhang vd. 2011), Akaflow aerodinamik ayırıcılar (Boylu vd. 2012), tribo elektrostatik ayırıcılar (Dwari ve Rao 2007), havalı akışkan yatak (Chen ve Wei 2003), ve diğer elektrostatik ayırma işlemleri, gerek ekonomik gerekse çevresel açıdan birçok avantaj sağlamaktadır.

Ancak, özellikle gravite bazlı havalı ayırıcıların (kuru zenginleştirme) en büyük dezavantajlarını düşük kapasite ve ayırma etkinlikleri, zenginleştirilecek olan malzemenin nemine olan hassasiyet (nem < %9 olmalı) ve düşük çalışma boyutları (<50 mm) oluşturmaktadır. Buna ilave olarak, gravite bazlı kuru zenginleştirme yöntemlerinin sadece temiz şist atımına yönelik bir uygulama olarak nitelendirilmesi de (ayırma yoğunluğu > 1.85 g/cm³-deshaling process) yöntemin dezavantajlarından biri olarak gözükmektedir.

Sözkonusu gravite bazlı yöntemlerden biri olan havalı jig uygulaması olarak, bazı Türk linyitleri üzerinde laboratuvar bazlı Allair jigi ile yaptığımız çalışmalar sonucunda; uygun özellikteki bazı Türk linyitlerinin kuru zenginleştirme yöntemleri ile etkin olarak zenginleştirilebileceği, temiz bir lave ve atılabilir özellikte şist üretimleri için uygun olduğu, iri boyut gruplarında nemin büyük bir problem yaratmadığı konusunda tecrübeler kazandırmıştır. Bu sonuçların Endüstriyel ölçekte ne şekilde tekrarlanabileceği konusunda fikir sahibi olmak üzere, 15-20 ton/saat kapasiteli Allair jigi kullanılarak laboratuvar sonuçlarının doğruluğu araştırılmış ve bu bildiride rapor haline getirilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme ve Yöntem

Deneyisel çalışmalarda, TKİ Ege Linyitleri Müessesesi Soma bölgesine ait İmbat ve Eynez açık ocak kömürleri kullanılmıştır. İmbat ve Eynez açık ocak kömürlerine ait boyut dağılımları ve kömür özellikleri Çizelge 1-2’de, elek analiz sonuçları ve fraksiyonel nem değerlendirme ise Şekil 1-2’de verilmektedir.

Çizelge 1-2 ve Şekil 1-2’den izleneceği üzere -150 mm boyutlu tüvenan kömürlerin büyük bir kısmının Allair jiginde kullanıma uygun olan -50 mm boyutunda olduğu, kırma öncesinde -50 mm boyut grubunun İmbat ve Eynez kömürleri için %80 ve %85 olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte özellikle yeraltı kömürlerinde fraksiyonel nem dağılımlarının önemli farklılıklar yarattığı ve iri boyutlarda kömür neminin azaldığı gözlemlenmiştir. Öyleki -150 mm boyutlu tüvenan İmbat kömürünün toplam nemi %11.5-14.5 seviyelerinde iken iri fraksiyonlarda toplam nemin %7 civarında olduğu belirlenmiştir. Ancak, normal iklim koşullarına maruz kalan Eynez açık ocak kömürü ise biraz daha farklı bir nem davranışı göstermiştir.

Çizelge 1.Soma-İmbat açık ocak tüvenan kömürünün boyut dağılımı ve özellikleri.

Boyut (mm)	Miktar (%)	Nem (%)	Kül (%)	Isıl Değer* (Kcal/kg)
+50	23.6	6.8	57.91	853
-50+30	10.5	11.0	49.95	2,097
-30+19	10.0	11.9	43.68	2,647
-19+13	10.0	12.9	37.78	3,184
-13+4	24.7	14.4	40.66	3,389
-4	21.3	17.1	42.48	3,395
TOPLAM	100.0	12.4	46.11	2,561

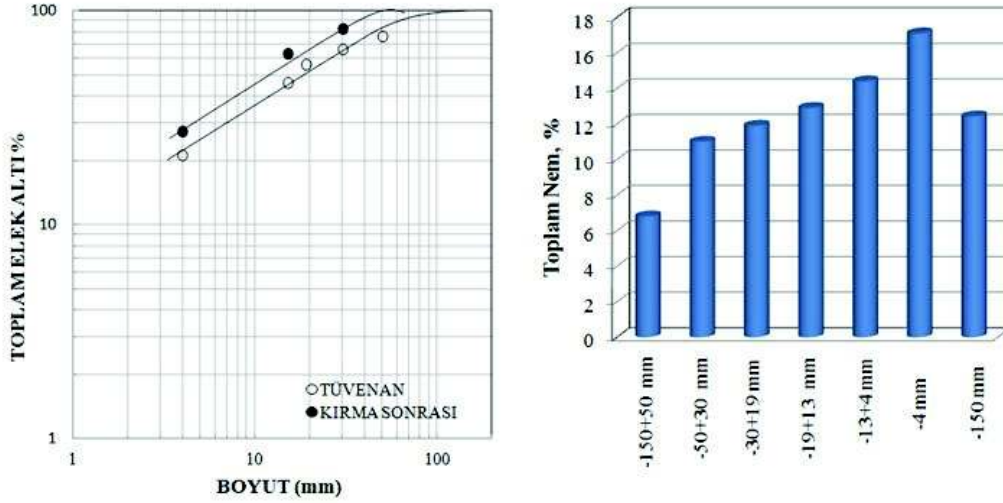
*Kuru bazda alt ısı değer

Çizelge 2. Soma-Eynez açık ocak tüvenan kömürün boyut dağılımı ve özellikleri.

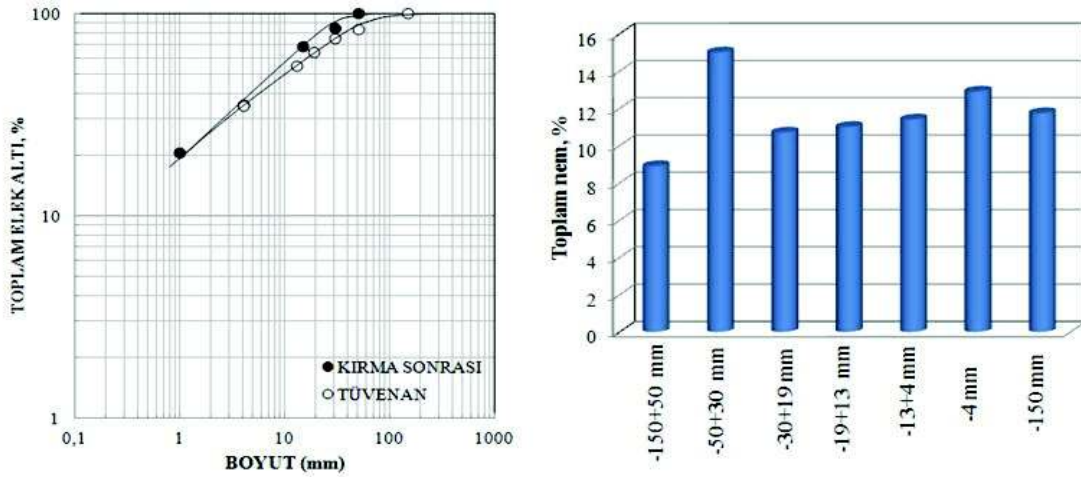
Boyut (mm)	Miktar, (%)	Nem, (%)	Kül, (%)	Isıl Değer* (Kcal/kg)
+50	15.7	8.9	33.78	3,443
-50+30	9.0	14.8	42.74	2,991
-30+19	10.4	10.7	25.63	4,420
-19+13	9.8	11.0	30.59	4,092
-13+4	19.8	11.4	29.34	3,971
-4	35.2	12.9	32.41	4,017
TOPLAM	100.0	11.7	32.07	3,874

*Kuru bazda alt ısı değer

-50+10 mm boyut grubunda, Soma ve Eynez Kömürleri üzerinde yapılan yıkanabilirlik karakteristiği testleri (Yüzdürme-batırma testleri) Şekil 3’de verilmiştir.



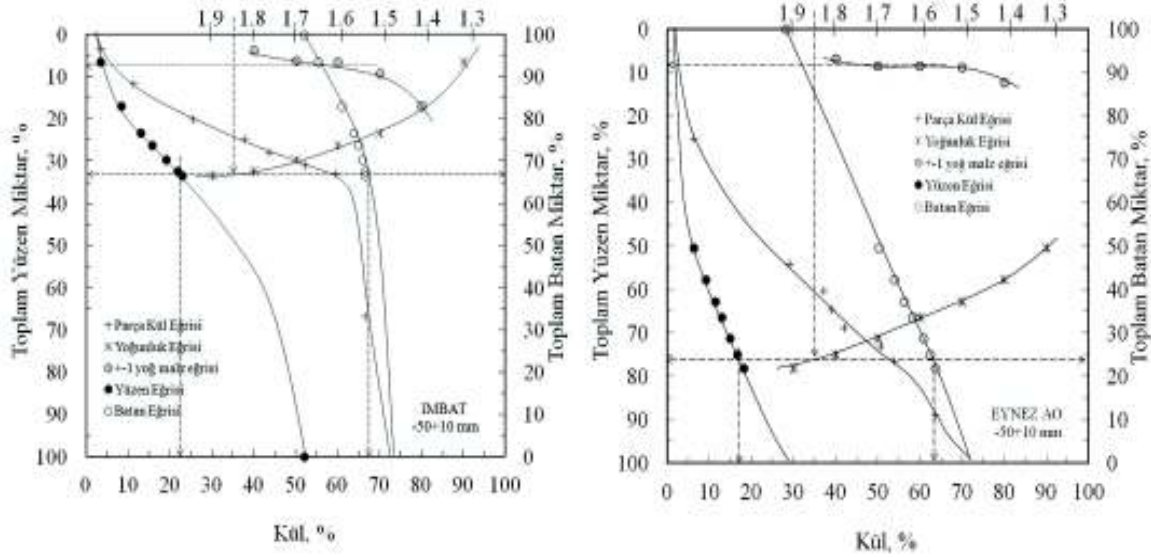
Şekil 1. Soma-İmbat Kömürünün tüvenan (-150+50 mm) ve kırma sonrası (-50 mm) elek analiz sonuçları ve tüvenan kömürde boyut gruplarına bağlı olarak toplam nem dağılımı.



Şekil 2. Tüvenan Soma-Eynez açık ocak kömürünün tüvenan (-150+50 mm) ve kırma sonrası (-50 mm) elek analiz sonuçları ve tüvenan kömürde boyut gruplarına bağlı olarak toplam nem dağılımı.

Kuru kömür zenginleştirme işlemlerinde ayırma yoğunluğunun 1.85 g/cm^3 olduğu ifade edildiğinden, yıkanabilirlik eğrileri bu ayırma yoğunluğuna göre değerlendirilmiş ve 1.85 ayırma yoğunluğunda ayırma yapıldığında, İmbat ve Eynez kömürleri için sırasıyla, teorik olarak yaklaşık %22 ve %17-18 küllü bir lave ve %66-67 ve %62-63 küllü bir şist alımının mümkün olduğu saptanmıştır. Ayrıca kuru zenginleştirme işlemlerinde yüksek ayırma yoğunlukları söz konusu olduğundan yüksek ayırma yoğunluklarındaki yakın yoğunluk malzeme oranlarının %7-8 civarında olduğu ve bu kömürlerin (ilgili boyutlar için) kolay yıkanabilir karakterde olduğu tespit edilmiştir. Bundan önce yapılan yıkanabilirlik testleri de değerlendirildiğinde genel olarak her iki kömürün de kolay-çok kolay yıkanabilir karakterde olduğu söylenebilir (TKİ arşivi). Yıkanabilirlik testleri sonucunda gerek yüksek ayırma yoğunluklarında %20 ve daha düşük küllü laveler alınabilmesi

gerekse düşük yakın yoğunluk aralığındaki mazleme miktarı dolayısıyla her iki kömürün de kuru zenginleştirmeye uygun olduğu öngörülmüştür.



Şekil 3. Soma İmbat ve Eynez kömürlerinin yıkanabilirlikleri (-50+10 mm).

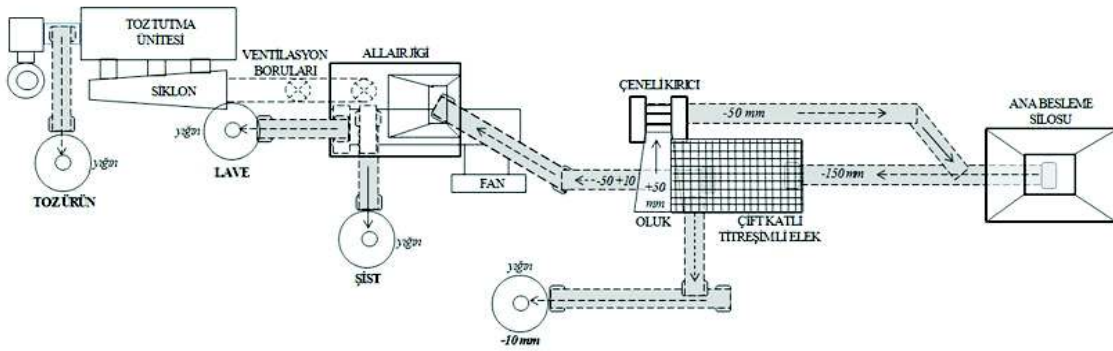
Kuru zenginleştirme çalışmaları, Allair firmasından bedelsiz olarak kiralanılan 15-20 ton/saat kapasiteli Allair Jigi (Şekil 4), kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soma-Dereköy torbalama tesisinde kurulan Allair jigi ile kuru zenginleştirme çalışmaları en az 5 gün süre ile ve her gün için en az 60 ton kömür numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pilot ölçekli tesis görünümü Şekil 4’de, numune alma noktaları ve kodları Şekil 5’de verilmiştir.



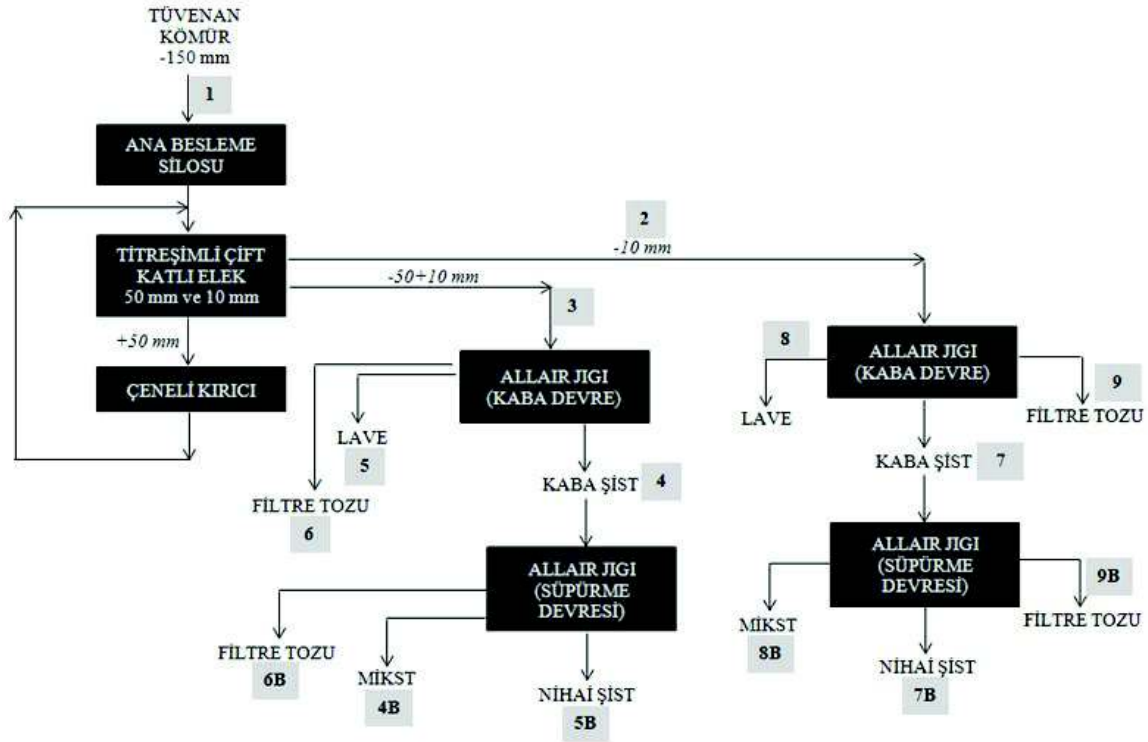
Şekil 4. ELİ Soma’da kurulan 15-20 ton/saat kapasiteli Allair Jigi.

Kuru zenginleştirme çalışmaları, iri boyutlu (-50+10 mm) ve ince boyutlu (-10 mm) iki ayrı devrede; temiz lave alımına yönelik kaba ayırma ve temiz şist atımına yönelik nihai ayırma amaçlı olmak üzere iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Bu bildiride sadece iri devre ayırma sonuçları paylaşılmıştır. Kuru zenginleştirme çalışmalarında, beslenen kömür külündeki küçük değişimlere bağlı olarak ürün kalite istikrarı, ayırma sonuçlarının tekrarlanabilirliği incelenmiştir. Allair jigi optimum çalışma şartları ise ürün kalitelerindeki gözlemler ile belirlenmiştir.

Testler sonucunda elde edilen ürün kaliteleri; kül içeriği, kuru bazda alt ısı değer, kükürt içeriği analizleri ile değerlendirilmiştir. Kömür analizleri TKİ Soma Müessese Müdürlüğü merkez laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Kuru zenginleştirme pilot tesisi akım şeması ve numune alım noktaları.



Şekil 6. Kuru zenginleştirme ünitesi akım şeması ve numune alım yerleri-kodları.

2.2 Kuru Zenginleştirme Testleri

Kuru zenginleştirme çalışmaları ilk olarak Soma-İmbat kömürü ile gerçekleştirilmiştir. İmbat kömürü ile 5 günlük kuru zenginleştirme çalışmaları sonrasında elde edilen kaba ve nihai ayırma devreleri ürün özellikleri Çizelge 3-4’de verilmektedir. Çizelge 3’den izleneceği üzere, temiz lave alımına yönelik gerçekleştirilen kaba ayırma devresi ile elde edilen ve 5 kodu ile belirtilen numunede, %19 - %21.5 küllü ve 5,250 – 5,650 Kcal/kg alt ısı değerli (kuru baz) temiz bir lave alınmasının mümkün olduğu gözlenmiştir. Kül ve kalorifik değer sapmaları ise, $\pm\%1.5$ ve ± 200 Kcal/kg olarak saptanmıştır.

Çizelge 3. Soma İmbat kömürü -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme kaba devre ayırma sonuçları.

Ürünler	Ürün Öz.	Test-1	Test-2	Test-3	Test-4	Test-5	Test-6
1 (Beslenen)	Topl. Nem, %	11.77	10.89	13.31	12.47	12.06	11.47
	Kuru Kül, %	48.51	52.04	45.34	41.18	44.11	53.22
	Or. AID, Kcal/kg	2,273	1,617	2,429	2,699	1,403	1,776
	Kuru AID, Kcal/kg	2,654	1,886	2,891	3,166	1,676	2,082
	Kuru Topl. S, %	0.69	0.39	0.76	0.64	0.67	0.61
2 (-10 mm)	Topl. Nem, %	13.26	15.23	14.18	13.79	15.27	14.34
	Kuru Kül, %	46.22	46.77	41.45	42.24	46.37	46.81
	Or. AID, Kcal/kg	2,408	2,344	2,861	2,891	2,376	2,361
	Kuru AID, Kcal/kg	2,865	2,870	3,430	3,447	2,910	2,853
	Kuru Topl. S, %	0.70	0.60	0.92	0.83	0.85	0.80
3 (-50+10 mm)	Topl. Nem, %	9.34	12.56	10.92	11.81	10.83	10.49
	Kuru Kül, %	48.02	43.08	48.21	42.51	51.98	52.18
	Or. AID, Kcal/kg	2,220	2,659	2,239	2,617	1,738	1,870.5
	Kuru AID, Kcal/kg	2,508	3,124	2,584	3,046	2,020	2,158.5
	Kuru Topl. S, %	0.68	0.59	0.72	0.67	0.76	0.675
4 (Kaba Şist)	Topl. Nem, %	6.86	9.07	8.42	9.35	11.01	10.26
	Kuru Kül, %	54.74	56.62	56.33	53.2	55.48	56.79
	Or. AID, Kcal/kg	1,323	1,301	1,384	1,818	1,343	1,382
	Kuru AID, Kcal/kg	1,464	1,489	1,565	2,065	1,582	1,607
	Kuru Topl. S, %	0.44	0.35	0.48	0.48	0.62	0.63
5 (Lave)	Topl. Nem, %	13.76	14.63	14.18	13.78	14.79	13.55
	Kuru Kül, %	19.12	20.92	19.74	17.69	21.15	21.48
	Or. AID, Kcal/kg	4,694	4,479	4,580	4,789	4,457	4,460
	Kuru AID, Kcal/kg	5,535	5,346	5,433	5,648	5,332	5,250
	Kuru Topl. S, %	1.09	1.07	1.20	1.36	1.14	1.15

AID: Alt ısı değer

Temiz şist atımına yönelik olarak gerçekleştirilen nihai ayırma devresi sonuçları incelendiğinde, %62.8 - 63.5 küllü ve 300 - 400 Kcal/kg alt ısı değerli (kuru bazda) bir şist atımının mümkün olduğu görülmektedir. Nihai ayırma devresinde, mikst kalitesinde (4b kodlu) ve %55-56 kül içerikli ve ortalama 1,200 Kcal/kg alt ısı değerli ek bir ürün almak da mümkün olmuştur. Kaba ve nihai ayırma devrelerinde alınan ürünlerin kaliteleri ve ürün özelliklerinde gözlemlenen istikrar, testlerin başarıyla gerçekleştirildiğini ve sonuçların tekrarlanabilir özellikte olduğunu göstermiştir. Benzer davranışta, ürün kalitesindeki istikrara, saatlik değişimlerde de rastlanmıştır. Soma-İmbat kömürü ile gerçekleştirilen kuru zenginleştirme çalışmaları sonuçları malzeme balansı; kaba ve nihai ayırma devreleri için Çizelge 5-6’da verilmiştir. Kaba ve nihai ayırma devrelerinin birleştirildiği üç ürünli malzeme balansı ise Çizelge 7’de sunulmuştur.

Çizelge 4. Soma İmbat kömürü -50+10 mm boyut grubunda yapılan kuru zenginleştirme nihai devre ayırma sonuçları.

Ürünler	Ürün Öz.	Test-1	Test-2	Test-3
3b (Beslenen)	Topl. Nem, %	5.43	5.33	-
	Kuru Kül, %	58.67	56.82	-
	Or. AID, Kcal/kg	1,013	1,043	-
	Kuru AID, Kcal/kg	1,105	1,135	-
	Kuru Topl. S, %	0.38	0.4	-
4b (Nihai Şist)	Topl. Nem, %	3.72	3.29	3.92
	Kuru Kül, %	63.66	63.15	62.8
	Or. AID, Kcal/kg	308	385	386
	Kuru AID, Kcal/kg	343	417	425
	Kuru Topl. S, %	0.24	0.23	0.48
5b (Mikst)	Topl. Nem, %	6.26	4.84	5.24
	Kuru Kül, %	55.34	55.63	55.11
	Or. AID, Kcal/kg	1,316	1,185	1,158
	Kuru AID, Kcal/kg	1,443	1,275	1,255
	Kuru Topl. S, %	0.34	0.39	0.49

Çizelge 5. Soma-İmbat kömürü kaba devre malzeme balansı (-50+10 mm).

Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Alt Isıl Değer* (Kcal/kg)	Toplam Kükürt (%*)
lave	20.1	19.74	5,424	1.17
Kaba şist	46.0	55.53	1,629	0.5
-10 mm	33.9	49.14	3,063	0.78
Toplam	100	46.21	2,880	0.73

*Kuru baza göre (Kalorifik değer alt ısı değeridir)

Çizelge 6. Soma-İmbat kömürü nihai devre malzeme balansı (-50+10 mm).

Ürünler	Miktar (%)	Miktar* (%)	Kül (%)	Alt Isıl Değer** (Kcal/kg)	Toplam Kükürt (%**)
Mikst	54.9	25.2	52.03	1,857	0.46
Nihai şist	32.7	15.0	63.31	393	0.27
-10 mm	12.4	5.7	57.26	2,988	0.82
Toplam	100	46.0	56.37	1,519	0.44

* Tüvenana göre

** Kuru baza göre (Kalorifik değer alt ısı değeridir)

Çizelge 5’den izleneceği üzere; -50+10 mm boyut grubunda Soma-ımbat kömürü ile gerçekleştirilen Allair jigi kuru ayırma uygulaması ile -50 mm boyut grubundaki kömürün yaklaşık %20’si, %19.74 kül içeriği ve 5,424 Kcal/kg alt ısı değer ile kazanılmaktadır. Bu devrede beslenen miktarın yaklaşık %34’ünü oluşturan, -10 mm boyutlu malzeme kuru zenginleştirme işlemine girmeden ayrılmış ve bu fraksiyonun kül içeriğinin %49.14 ve kalorifik değerinin 3,063 Kcal/kg olduğu tesbit edilmiştir. -50+10 mm boyut grubunda gerçekleştirilen Allair jigi uygulaması sonucu elde edilen lavede, kükürt içeriğinin bir miktar yükseldiği ve %1.17 civarında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5-6 birlikte değerlendirildiğinde, Nihai zenginleştirme sonucu Kaba sist ürünü %12.4 oranında ilave bir -10 mm fraksiyonunun oluştuğu gözlemlenmiştir. kaba sist ürünü içerisinde ilave bir -10 mm fraksiyonunun çıkması iki nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir:

- İlk devrede (kaba ayırma devresi) tüvenan kömürün randımanlı olarak 10 mm'den elenememesi (ki buna prosesin ihtiyacı yoktur) ve elenemeyen kısmın ikinci döngüde elek altına geçmesi
- Kuru jigleme esnasında ufalanma (bunun analizi için çalışmalar devam etmektedir)

Soma-İmbat kömürleri ile iki kademede gerçekleştirilen kuru ayırma testi sonuçlarının birlikte değerlendirildiği Çizelge 7 incelendiğinde; -50 mm boyut grubundaki kömürün yaklaşık %20'sinin, %19.74 kül içeriği ve 5,424 Kcal/kg alt ısı değer ile lave olarak, %25.2'sinin, %52.03 kül içeriği ve 1,857 Kcal/kg alt ısı değer ile mikst olarak ve %15'inin %63.31 kül içeriği ve 393 Kcal/kg alt ısı değer ile şist olarak ayrıldığı görülmektedir.

Benzer çalışmalar Soma Eynez açık ocak kömürleri ile de gerçekleştirilmiş ve elde edilen kuru zenginleştirme sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir. Soma-Eynez açık ocak kömürünün, iki kademede gerçekleştirilen ayırma sonuçlarının birlikte değerlendirildiği Çizelge 8 incelendiğinde; -50 mm boyut grubundaki kömürün yaklaşık %19'u, %19.02 kül içeriği ve 5700 Kcal/kg alt ısı değer ile lave olarak, %11.1'inin %50.43 kül içeriği ve 2612 Kcal/kg alt ısı değer ile mikst olarak ve %4'ünün %65.13 kül içeriği ve 418 Kcal/kg alt ısı değer ile şist olarak ayrıldığı görülmektedir.

Çizelge 7. Soma-İmbat kömürü (-50+10 mm) üç ürünli kuru zenginleştirme devresi malzeme balansı (Birleştirilmiş Kaba ve Nihai devre) (-50+10 mm).

Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Alt Isıl Değer* (Kcal/kg)	Toplam Kükürt (%*)
Lave	20.1	19.74	5,424	1.17
Mikst	25.2	52.03	1,857	0.46
Nihai şist	15.0	63.31	3,93	0.27
-10 mm	39.6	50.31	3,052	0.79
Toplam	100	46.54	2,829	0.70

*Kuru baza göre (Kalorifik değer alt ısı değeridir)

Çizelge 8. -50+10 mm boyutlu Eynez açık ocak kömürü üzerinde optimum şartlarda gerçekleştirilen (birleştirilmiş) nihai devre kuru zenginleştirme sonuçları.

Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Alt Isıl Değer* (Kcal/kg)	Toplam Kükürt (%*)
Lave	19.3	19.02	5,700	1.04
Mikst	11.1	50.43	2,612	0.60
Nihai şist	4.0	65.13	418	0.19
-10 mm	65.6	35.07	4,267	0.93
Toplam	100.0	40.94	3610	0.80

*Kuru baza göre (-50+10 mm beslenen kül içeriği %34.51)

3 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Soma bölgesi; İmbat (beslenen kül içeriği: %46.54) ve Eynez açık ocak (beslenen kül içeriği: %40.94) kömürleri ile gerçekleştirilen iki kademeli gravite bazlı kuru zenginleştirilme işlemi sonucunda yaklaşık %20 kül içerikli, 5,424-5,700 Kcal/kg alt ısı değerli lave alınabileceği ve %63-65 içerikli (kuru bazda alt ısı değer yaklaşık 300-400 Kcal/kg) atılabilir özellikte şist elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Gravite bazlı kuru kömür zenginleştirme işlemlerinin daha çok 1.85 g/cm³ ve daha büyük ayırma yoğunluklarında gerçekleştirildiği ve daha çok temiz şist atımına yönelik bir işlem olduğu ifade edilmektedir. Ancak, yüksek ayırma yoğunluklarında ayırma işlemleri, her zaman yüksek küllü bir lave ile sonuçlanmamaktadır.

Kullanılan kömür örneklerinin yakın yoğunluk aralığındaki malzeme oranları oldukça düşüktür ve söz konusu kömürler kolay yıkanabilir özelliktedir. Yıkanabilirlik eğrileri 1.85 g/cm³ ayırma yoğunluklarında bile %20 ve daha az küllü bir lave almanın mümkün olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, gravite bazlı kuru kömür zenginleştirme öncesinde, yıkanabilirlik testleri ile kuru zenginleştirmeye girecek kömürlerin yüksek ayırma yoğunluklarında, hangi özellikte ürünler vereceğinin tesbiti yapılmalı ve kuru zenginleştirme işleminin etkinliği bu sonuçlara göre değerlendirilerek söz konusu kömürlerin kuru zenginleştirme uygulaması yapılmalıdır. Yıkanabilirlik eğrilerinden deneysel çalışmalarda kullanılan kömürlerin kuru zenginleştirmeye uygun olduğu öngörülmüş ve tahmin edildiği üzere olumlu sonuçlar alınmıştır.

Kuru zenginleştirme işlemlerinde en önemli parametrelerden biri olan nem de genelde yanlış değerlendirilmektedir. Kuru zenginleştirme işlemlerinde nemin, tanelerin birbirlerine yapışmasına olanak vermeyecek şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Tanelerin yüzey neminin yüksek olması, jigde ayırma sırasında, tanelerin birbirlerine yapışması ve kömürün tabakalandırma işlemine cevap vermemesi şeklinde gelişmektedir. Bununla birlikte, kömürün fraksiyonel nem oranlarının da bilinmesi ve değerlendirilmesi önemlidir. Bu çalışmada kullanılan -150 mm boyutlu İmbat kömürünün toplam nemi %11.5-14 arasındadır. Ancak, fraksiyonel olarak incelendiğinde İmbat kömürü nemlerinin, -150+50 mm için %6.8, -150+30 mm için %8.1, -150+19 mm için %9.0 ve -150+13 mm için %9.7 olduğu tespit edilmiştir. Bu bize, özellikle iri boyutlarda uygulanacak kuru ayırma işlemlerinde, kömürün neminin oldukça düşük olmasına bağlı olarak, sistemde ek bir kurutma işlemine gerek duyulmayacağını göstermiştir. Kuru zenginleştirme işleminin taşkömürlerine uygulanması halinde, taşkömürlerinin düşük olan yüzey neminden dolayı herhangi bir problem olmayacağı rahatlıkla söylenebilir.

Kuru zenginleştirme uygulamasında maksimum tane boyutu -50 mm olarak verilmektedir. Bu durum parça kömür miktarının azalacağı yönünde bir algı yaratmaktadır. Ancak, özellikle yeraltı kömür madenciliğinde uygulanan mekanize kazı yöntemleri sonucu kömür doğal olarak ufalanmakta ve uygulama boyutu olan -150 mm boyut grubu içerisinde -50 mm fraksiyonun %80-90 seviyelerinde olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla kuru zenginleştirmeye girecek olan kömürün -50 mm'ye ufalanmasında çok fazla bir kayıp söz konusu olmayacaktır. Öyle ki, İmbat ve Eynez kömürü; tüvenan (-150 mm) kömür dağılımı içerisinde -50 mm oranı %80-90 seviyelerindedir. İmbat Kömürü +50 mm boyut grubunun kalorifik değeri 850-900

Kcal/kg (alt ısı değeri) civarındadır. +50 mm'nin kırılmadan zenginleştirildiğini düşünürsek yaklaşık %25 oranında bir lave alımı söz konusu olur ki, tüvenan malzemeyi -50 mm altına geçirmekle %5 oranında +50 mm boyutlu kömür kaybımız olur. Bu değerin de çok önemli olduğu söylenemez. Çünkü Türkiye'de tüketilen yıllık yaklaşık 100 milyon ton kömürün sadece %25'i ısınma amaçlı kullanılmaktadır (TKİ, 2012).

Buna karşın zaman zaman fındık kömürün çok fazla talep edildiği ve TKİ'nin bu ürünü sağlamakta zorlandığı söylenebilir. Öyle ki Ekim-Aralık 2013 tarihleri arasında bu durumla karşılaşmıştır. Söylenmek istenen, her zaman iri boyutta (parça kömür) kömür ihtiyacı söz konusu olmayabilir. Zaman zaman fındık kömür talebi de artmakta ve fiyatları da iri kömür fiyatlarına yaklaşmaktadır.

Ülkemizde genellikle klasik kömür yıkama tesisleri mevcuttur. Tüm kömür yıkama tesislerinde de benzer ekipmanlar ve akım şeması ile ağır ortam uygulaması yapılmaktadır. Genel anlayış olarak kömür yıkama tesisleri işletmecileri, mevcut yapıyı bozmak istememekte ve yeni teknolojileri kabullenmekte zorlanmaktadır. Uyguladığımız havalı jig kuru zenginleştirilmesi ile ilgili bugüne kadar bize yansıyan tesis sahiplerinin endişeleri; kömür nemi, uygulama boyutu, söz konusu uygulamanın sadece temiz şist atımı ile ilgili olması ve düşük ayırma etkinliği üzerine olmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara bakarak, uygun kömürlerde havalı jig ile kuru ayırma uygulamasında bu gibi sorunların söz konusu olmayacağı rahatlıkla söylenebilir.

Yapılan çalışma sonuçları ile kuru zenginleştirme uygulaması önerimiz, ayırma etkinliği açısından olmayıp tamamen su kullanımı önlemek için, ürün kalitesinden ve ayırma etkinliğinden bir miktar ödün vermek adınadır. Yaş yöntemlerin (örneğin ağır ortam) getirdiği su kullanımı (İmbat firması ton başına 200 litrelik bir taze su ihtiyacı ile karşı karşıyadır ve bu su 4-5 km'lik mesafelerden pompalar ve borular vasıtasıyla çekilmektedir), manyetit kayıpları (iri devrede 2,000 g/ton, ince devrede 3,500 g/ton) ve şlam susuzlandırması (günde yaklaşık 300 kg flokülant kullanılmaktadır) problemlerinin ortadan kaldırılması kuru zenginleştirme ile mümkün olacaktır.

Allair jigi ile yapılan pilot çalışmalarda detaylı fizibilite analizi yapılmış, ancak doğal olarak bu bildiride yer almamıştır. Ancak yapılan fizibilite çalışmaları -50+10 mm boyutlu kömürün yıkanmasında yıkama maliyetinin 2.5 TL/ton olduğunu göstermektedir.

Ancak, havalı jig kuru zenginleştirme işleminin her kömüre etkin olarak uygulanamayacağını, özellikle de yıkanabilirliği zor olan kömürlerde, sadece temiz şist atımı için uygulanabilir olabileceğini belirtmek gerekir.

4 TEŞEKKÜR

Söz konusu çalışmaların gerçekleştirilmesinde; Allair jiginin temini, Allair jiginin yerleşeceği alanın temini, testlerin yürütülmesi ve analizlerinin gerçekleştirilmesi aşamalarında verdikleri desteklerden dolayı, Proje ekibi; Allmineral firmasına, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne, TKİ Soma Müessese Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

5 KAYNAKLAR

- Boylu, F., Tasdemiroglu, E. V., Karaağaçlıoğlu, İ. E., Çetinel, T., Çinku, K. 2012. Dry Processing of Leonardite by Air Based Gravity Separators, *XIII. International Mineral Processing Symposium*, pp. 171-178, Bodrum, Turkey.
- Chen, Q., Wei, L. 2003. Coal Dry Beneficiation in China the State of the Art, *China Particuology*, 1, 2, pp. 52-56.
- Dwari, R. K., Rao, H. K. 2007. Dry Benficiation of Coal- A Review, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 28, 3, pp. 177-234.
- Hacıfazlıoğlu, H. 2012. Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemlerinin Tanıtılması ve Bazı Türk Kömürlerinin Temizlenmesi için FGX Cihazının Denenmesi, *Madencilik*, 51, 2-3, s. 29-42.
- Sampaio, C. H., Aliaga, W., Pacheco, E. T., Petter, E., Wotruba, H. 2007. Coal Beneficiation of Candiota Mine by Dry Jigging, *Fuel Processing Technology*, 89, pp. 198-202.
- Zhang, B. J., Akbari, H., Yang, F., Hirschi, J., Mohanty, M. K. 2011. Performance Optimization of the FGX Dry Separator for Cleaning High-Sulfur Coal, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 31, 3-4, pp. 161-186.

ZONGULDAK İNCE KÖMÜRLERİNİN SPİRAL AYIRICI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

THE ENRICHMENT OF ZONGULDAK FINE COAL BY SPIRAL SEPARATOR

Ö. Öney

Uşak Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Uşak

M. Tanrıverdi, T. Çiçek

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET: Taşkömürü Türkiye'de sadece Zonguldak kömür havzasında bulunmaktadır. Havzada ince kömürler çoğunlukla susuzlandırılmakta ve 0-10 mm boyutlu ara ürün ile karıştırılarak santral yakıtı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizin koklaşabilir kömür rezervlerinin sınırlı olması ve artan koklaşabilir kömür ihtiyacı göz önüne alındığında ince kömürlerin zenginleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda ince kömürlerin zenginleştirilmesinde flotasyon metodu yerine spiral gibi yoğunluğa dayalı ayırıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada -1+0.15 mm boyutundaki Zonguldak ince kömürlerinin spiral ayırıcı ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır. %25, %30 ve %35 pülp katı oranlarında yapılan deney sonuçları sunulmaktadır. En iyi sonuçlar %25 pülp katı oranında elde edilmiş olup %28.72 küllü kömürlerden %13.28 küllü temiz kömür %92.07 yanabilir verimle elde edilmiştir.

ABSTRACT: Hard coal is only found and produced in Zonguldak Coal Basin in Turkey. Mostly, fine coals have been dewatered and used as a power plant fuel after mixing 0-10 mm middlings. It is necessary to enrich the fine coals taking into consideration both limits of hard coal reserves and increasing coking coal demand of the country. In recent years, gravity based separators especially spirals have been widely used for fine coal beneficiation in many coal plants. Gravity separators such as spirals are preferred widely in the enrichment of fine coals rather than froth flotation. The enrichment of Zonguldak fine coal (-1+0.15 mm) by spiral separator was investigated in this study. The results of the spiral tests applied at solid ratios of 25%, 30% and 35% by weight were given. The best results were obtained at spiral feed solid content of 25%. Clean coal was obtained with 13.28 % ash and 92.07% combustible recovery from a feed having 28.72% ash.

1 GİRİŞ

Bilindiği üzere ülkemizde en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak havzasında bulunmaktadır. Havzada bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında, -1,200 m derinliğe kadar tespit edilmiş toplam jeolojik rezerv 1.316 milyar ton olup (Çizelge 1) bunun %40'ı (yaklaşık 523 milyon ton) görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. Havza rezervinin yaklaşık 2/3'ü koklaşabilir özelliktedir.

Çizelge 1. Zonguldak Havzası taşkömürü rezervleri (bin ton) (TTK 2013).

Rezerv Türü	Koklaşabilir Rezervler				Yarı Koklaşır Rezerv	Koklaşmaz Rezerv	Havza Toplamı
	Karadon	Üzülmaz	Kozlu	Toplam	Armutçuk	Amasra	
Görünür	136,262	136,876	69,302	341,887	9,700	170,792	522,932
Muhtemel	159,162	94,342	40,539	294,043	15,860	115,052	424,955
Mümkün	117,034	74,020	47,975	239,029	7,883	121,535	368,447
TOPLAM	412,458	304,685	157,816	874,959	33,443	407,379	1,316,334

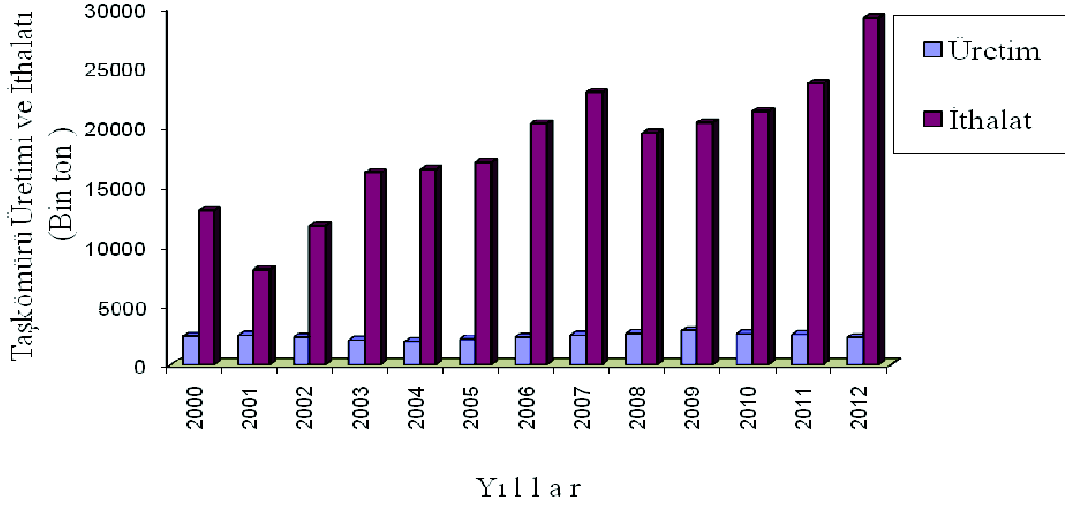
Havzada madencilik faaliyetleri Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve rödöfans yolu ile özel sektör tarafından yapılmaktadır. TTK tarafından yıllık üretilen tüvenan taşkömürü miktarı yaklaşık 2.5- 3.0 milyon ton olup -1 mm boyutlu kömür miktarı toplam tüvenan kömürün yaklaşık %20-25'ini oluşturmaktadır. Bu da -1 mm boyutundaki kömürlerin değerlendirilmesinin ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir.

2 ZONGULDAK HAVZASI KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ÖNEMİ

Mevcut durumda -1 mm boyutundaki kömürler herhangi bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan susuzlandırıldıktan sonra 0-10 mm boyutlu ara ürün ile karıştırılmakta ve %47±2 külde ve %12-16 nem de santral yakıtı elde edilerek Çatalağzı Termik Santraline (ÇATES) verilmektedir. Santral yakıtı olarak kullanılan kömürler, kül oranları bakımından yüksek ve ısı değeri açısından ise havza taşkömürlerine göre oldukça düşüktürler. Kurumca üretilen satılabilir kömürlerin %60-65'ini santral yakıtı oluşturmaktadır. Bu durum havza satılabilir kömürlerini büyük oranda santrale bağımlı hale getirmiştir. Demir-çelik fabrikalarına satılan 0-10 mm boyutlu metalurjik taşkömürü kuru bazda %10 külde ve orijinal bazda %8-9 nemde olup toplam satılabilir kömür içerisindeki payı ise %20-25 civarındadır.

Taşkömürü başta demir-çelik olmak üzere sanayinin vazgeçilmez enerji kaynağı ve girdisidir. Yurt içi üretim miktarının azalmasına karşılık taşkömürü ihtiyacı yıldan yıla artmakta, yurt içi üretimle karşılanamayan kısım ise ithal kömürle karşılanmakta, buna bağlı olarak dışa bağımlılık giderek artmaktadır. Şekil 1'de ülkemizin 2000-2012 yılları arasında taşkömürü ithalat ve üretim miktarları verilmektedir.

Türkiye koklaşabilir taşkömürü ihtiyacı yıllık 5.0-5.5 milyon ton olup bunun ancak %8-10'u yerli kaynaklardan karşılanmaktadır (Taşkömürü Sektör Raporu 2013).



Şekil 1. 2000-2012 Türkiye taşkömürü ithalat ve üretim miktarları (TTK 2013).

Ülkemiz demir-çelik sektörü son yıllarda büyük bir hızla gelişmektedir. Türkiye, 2000 yılında dünyanın en büyük 17. ve Avrupa'nın ise 5. çelik üreticisi konumunda iken, 2012 yılında dünyanın en büyük 8. Avrupa'nın ise 2. çelik üreticisi olmuştur. Sektör, 2012 yılında 17.4 milyar dolarlık ihracat ve 24.2 milyar dolarlık ithalat gerçekleştirmiştir. Sektörün en önemli sorunlarından biri ağırlıklı olarak ithal girdiyle çalışması olup 4.6 milyon ton koklaşabilir taş kömürü (991 milyon dolar) ithal etmiştir (BSTB 2013).

İhracata dayalı bir üretim gerçekleştirmekte olan demir çelik sektörü, önümüzdeki yıllarda da gerek iç piyasanın dinamizmine ve gerekse uluslararası piyasalardaki talep durumuna ve rekabet gücüne bağlı olarak, üretimini ve ihracatını arttırmaya devam etmeyi hedeflemekte olup koklaşabilir taşkömürü ihtiyacının hızla artacağı tahmin edilmektedir. Bu durumda ülkemiz taşkömürü temini açısından tamamen dışa bağımlı hale gelecektir. Bu nedenle demir çelik sektörü koklaşabilir taşkömürü ihtiyacının bir kısmının yerli kaynaklardan sağlanması büyük önem arz etmektedir.

3 İNCE KÖMÜRLERİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Genel olarak kömür hazırlama tesisleri eleme, yıkama ve susuzlandırma ünitelerinin ardışık olarak uygulanmasından oluşur. Bu işlem basamakları tane boyutuna bağlı olarak iri (+12 mm), orta (12-1 mm), ince (1-0.15 mm) ve çok ince (-0.15 mm) kömür olmak üzere 4 ayrı ayırma prosesinden oluşur. İri fraksiyon için ağır ortam banyosu ve jigler, orta fraksiyon için ağır ortam siklonları kullanılır (Zhang 2008).

İnce kömürlerin zenginleştirilmesi çalışmaları yaklaşık 50 yıldır devam etmekte olup, bugüne kadar çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Başlangıçta zenginleştirilmesi zor olarak görünen ve artık olarak değerlendirilen ince kömürlerin değerlendirilmesinde flotasyon ve agglomerasyon gibi yüzey farklılığına dayalı prosesler geleneksel olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Ancak yüksek işletme maliyeti, kömür selektivitesi, reaktif kullanımı ile çevresel kirlenme vb. faktörler farklı tipte ayırıcıların araştırılmasını gerekli kılmıştır.

İnce kömür zenginleştirmesinde kömür tanelerinin yoğunluğu düşük iken, artığın yoğunluğu daha yüksektir. Bu nedenle ince kömürlerin gang minerallerinden ayrılması işleminde son yıllarda flotasyon metodu yerine yaygın olarak yoğunluk farkına dayalı yıkama metotları kullanılmaktadır. Bu metotlardan birisi de spiraldir.

Spiral ayırıcılar taneleri boyut, yoğunluk ve şekline göre ayıran basit aygıtlardır (Şekil 2). Genel olarak tanelerin hareketi tane özelliklerine (boyut, yoğunluk ve şekil), işletme şartlarına (ortam yoğunluğu ve akış hızı) ve spiral dizaynına (oluk şekli, oluk sayısı ve eğimi) bağlıdır (Glass vd. 1999, Weldon 1997). Besleme spiralın uç noktasından %15-45 katı oranında yapılır. Hata faktörü (E_p) 0.10 ile 0.15 arasındadır (Honaker vd. 2003, Kohmuench 2000). Çalıştırma şartlarına bağlı olarak spiral ayırma yoğunluğu 1.7 ile 2.0 arasında değişmektedir (Kohmuench 2000).



Şekil 2. Spiral ayırıcı şematik kesit görünüşü (Zhang 2008).

Spiral; flotasyon için oldukça iri, ağır ortam ayırımı için oldukça ince kömürlerin zenginleştirilmesinde uygun bir ayırma metodudur. Spiraller 3 mm'den 0.075 mm tane boyutuna kadar malzemeyi yıkayabilmektedir (Holand-But 1994, Mathews vd. 1999). Ancak spiral için en uygun tane aralığının -1.0+0.15 mm boyutunda olduğu belirtilmektedir (Kohmuench 2000).

Ateşok vd. (1993) tarafından farklı özelliklerdeki linyit ve taşkömüründen alınan numuneler üzerinde reichert spirali ile deneyler yapılmıştır. Değişik tane boyutunda yapılan deneylerde tane boyutu küçüldükçe ayırma yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Taşkömürü ile yapılan çalışmalarda ayırma yoğunluğunun 1.60 gr/cm³ ile 2.1 gr/cm³ arasında değiştiği ve E_p değerinin 0.045 olduğu tespit edilmiştir.

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Numune özellikleri

Deneylerde Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Karadon Taşkömürü Müessesesi Müdürlüğü (Karadon TİM) Lavvarı filtrasyon ünitesine besleme kısmından alınan -1 mm tane iriliğine sahip numuneler kullanılmıştır. Deşlamaj amacıyla laboratuvar

şartlarında 150 mikronda elenerek şlamı atılan malzemenin miktarı ve kül miktarları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Karadon Taşkömürü Lavvar filtrasyon ünitesi 150 mikronda elenerek ayrılmış malzeme miktarları.

Tane İriliği (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)
-1.0 + 0.15	73.71	28.72
- 0.15	26.29	43.95
Toplam	100	32.72

-1.0+0.15 mm boyutundaki malzeme miktarı %73.71 ve kül oranı %28.72’dir. Bu fraksiyondaki kömürün elde edilebilirliğinin tespiti için yapılan yüzdürme-batırma testlerinin sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. -1.0+0.15 mm besleme malı yüzdürme-batırma test sonuçları.

Yoğunluk aralığı	Ortalama yoğunluk	Ağırlık	Kül	Kümülatif Ağırlık	Kümülatif Kül
(g/cm³)	(g/cm³)	(%)	(%)	(%)	(%)
1.30 Yüzen	1.25	31.84	3.12	31.84	3.12
1.30 - 1.40	1.35	21.30	14.47	53.14	7.67
1.40 - 1.50	1.45	8.09	17.74	61.23	9.00
1.50 - 1.60	1.55	3.67	21.87	64.90	9.73
1.60 - 1.70	1.65	5.46	32.61	70.35	11.50
1.70 - 1.80	1.75	2.06	35.78	72.42	12.19
1.8 Batan-	2.25	27.58	72.12	100.00	28.72

Çizelgeden de görüleceği üzere, 1.3 g/cm³ yoğunlukta yüzen miktar besleme malının %31.84’ü olup kül %3.12’dir. 1.8 g/cm³ yoğunlukta %72.42 oranında %12.19 küllü kömür elde edilebileceği açıkça görülmektedir. Dolayısıyla -1.0 + 0.15 mm boyut aralığında kömürün spiral ile kazanılabilme olanaklarının araştırılmasına karar verilmiştir.

4.2 Spiral Testleri

Deneylerde kullanılan Denver marka kömür spirali polyüretan ile kaplıdır (Şekil 3). 3.5 m yüksekliğe sahip olan spiral 7 hatveli olup hatve çapı 600 mm’dir. Spiral testlerinde 60 lt suya pülün katı oranı %25, %30 ve %35 olacak şekilde -1.0+0.15 mm boyutunda kömür karıştırılarak bir pompa ile spirale 5 m³/saat debi ile beslenmiştir. Belirli aralıklarla anlık numuneler alınarak temiz kömür, ara ürün ve artık olmak üzere üç ürün elde edilmiştir. Elde edilen ürünlerin analizleri ve miktarları Çizelge 4’de verilmiştir.

En düşük küllü kömür (%13.28) %25 katı oranında elde edilmiştir. Bu katı oranında besleme malının %75.67’si temiz kömür olarak elde edilmiş olup, yanıcı madde verimi %92.07’dir.

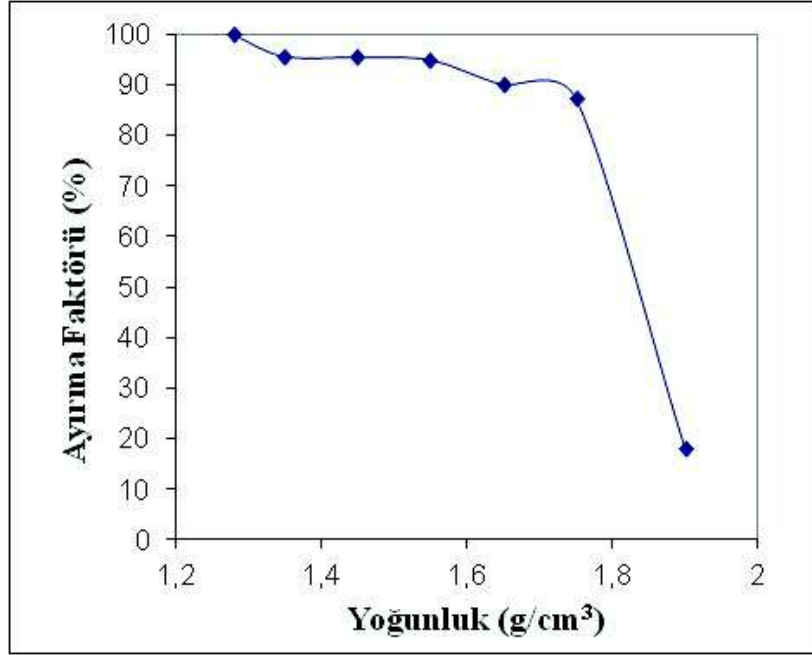


Şekil 3. Kömür spirali.

Çizelge 4. Değişik katı oranlarında spiral ile zenginleştirme sonuçları.

	Katı Oranı (%)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanıcı Madde Verimi (%)
25	Temiz Kömür	75.67	13.28	92.07
	Ara Ürün	7.09	68.45	3.14
	Artık	17.24	80.19	4.79
	Toplam	100.00	28.73	100.00
30	Temiz Kömür	78.39	15.92	92.82
	Ara Ürün	6.66	69.13	2.90
	Artık	14.95	79.67	4.28
	Toplam	100.00	28.99	100.00
35	Temiz Kömür	81.12	17.48	93.66
	Ara Ürün	6.34	69.78	2.68
	Artık	12.54	79.14	3.66
	Toplam	100.00	28.53	100.00

Elde edilen ara ürün miktarları %7.09 ve kül oranı %68.45'dir. Ara ürün miktarının az olması ve kül oranının yüksek olması nedeniyle bu ürün atığa ilave edilmiştir. %25 katı oranında elde edilen Temiz kömür ve artığın yüzdürme batırma testleri yapılarak ayırma performansı belirlenmiştir. Elde edilen Tromp dağılım eğrisi Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Dağılım faktörü eğrisi.

Spiral ile %25 pülp katı oranında yapılan deneylerde ayırma yoğunluğu (SG 50) 1.82 g/cm³, hata faktörü (Ep) 0.06 olarak bulunmuştur.

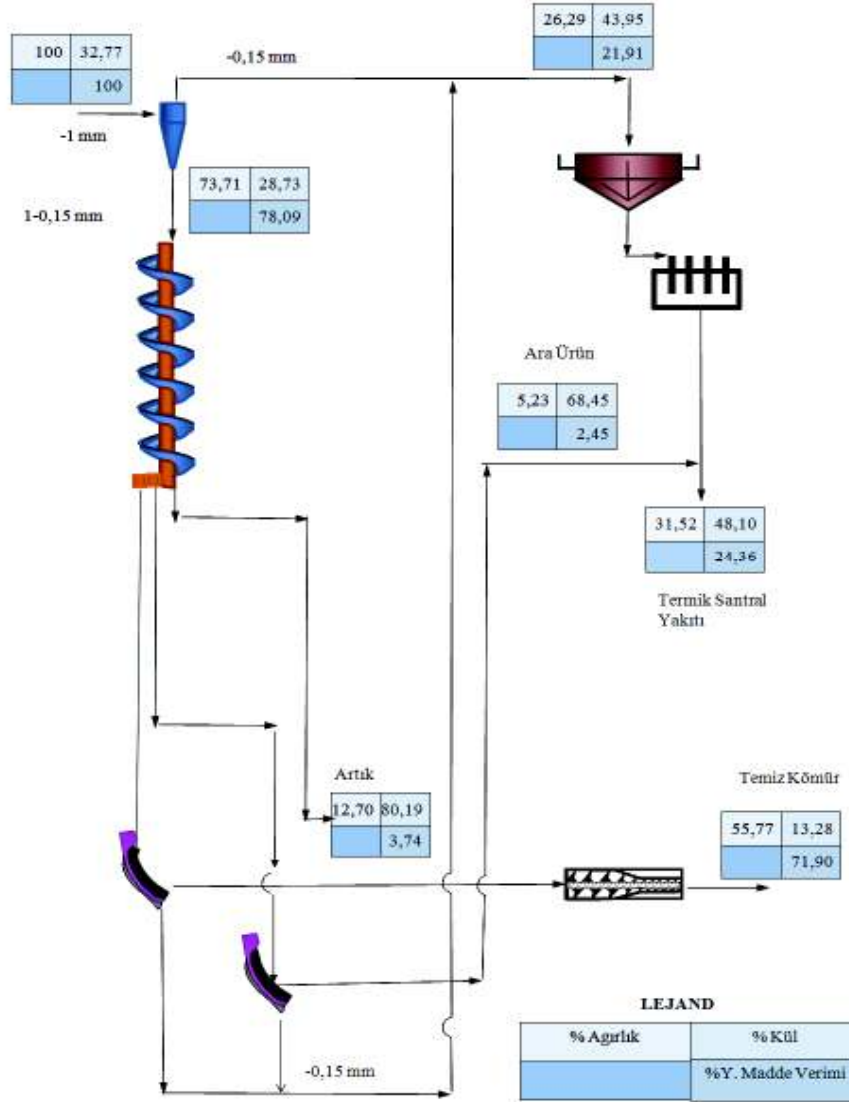
Karadon -1.0+0.15 mm boyutlu ince kömürler üzerinde yapılan deneyler sonucunda oluşturulan akım şeması Şekil 5’de verilmiştir. Her ne kadar laboratuvar şartlarında deşlamaj yapılarak -1.0+0.15 mm fraksiyonu 150 mikron eleklerde eleme ile elde edilmiş olsa da uygulamada siklonların etkin olarak kullanıldığı tartışılmazdır. Bu nedenle akım şemasında siklon önerilmiştir. Buna göre -1 mm ince kömürler siklonlarda sınıflandırılarak -1.0+0.15 mm ve -0.15 mm olmak üzere iki fraksiyona ayrılmaktadır. -1.0+0,15 mm ince kömürler spiralde zenginleştirilerek ağırlıkça %55.77 oranında ve %13.28 külde temiz kömür, %5.23 oranında %68.45 küllü ara ürün elde edilmektedir. Artık miktarı ise %12.70 olup kül oranı %80.19’dur.

-0.15 mm boyutlu kömürler filtrasyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra -1.0+0.15 mm boyutlu ara ürün ile homojen şekilde karıştırılarak %31.52 oranında ve %48.01 külde termik santral yakıtı elde edilmektedir. Buna göre elde edilen ürünler Çizelge 5’de verilmiştir.

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesince 2013 yılında 756,595 ton tüvenan taşkömürü üretilmiştir. -1 mm boyutundaki tüvenan kömür miktarı toplam üretimin %21.88’ini oluşturmaktadır. Bu üretim seviyesinde yıllık olarak -1.0+0.15 mm boyutunda 92,323 ton temiz kömür elde edilebilecektir.

5 SONUÇLAR

Mevcut durumda herhangi bir zenginleştirme işlemine tabii tutulmadan susuzlandırılarak yüksek küllü santral yakıtı olarak kullanılan Zonguldak ince kömürlerinin spiral ayırıcı ile zenginleştirilmesinde uygun sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. Karadon -1 mm kömürü spiral ile zenginleştirme prosesi akım şeması.

Çizelge 5. -1 mm Karadon kömürü satılabilir ürün miktarları ve kül oranları.

Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)
Termik santral yakıtı (-1+0.15 mm ara ürün+ Filtrasyon ürünü)	31.52	48.01
Temiz kömür	55.77	13.28
Toplam satılabilir kömür	87.29	26.03

-1.0+0.15 mm boyutlu ve %28.72 küllü kömürlerinin spiral ile değişik katı oranlarında yapılan deneylerde en düşük küllü temiz kömür (%13.28) %25 pülp katı oranında elde edilmiştir. -1 mm boyutlu kömürlerden %55.77 oranında temiz kömür %13.28 külde elde edilebilecektir. -0.15 mm boyutlu çok ince kömürler filtrasyon devresinde susuzlandırıldıktan sonra spiral devresinden elde edilen -1.0+0.15 mm

boyutlu ara ürün ile karıştırılarak %31.52 oranında ve %48.01 külde santral yakıtı olarak kullanılabilir.

Elde edilen temiz kömür ürünlerinin ağır ortam siklonlarından elde edilen 0-10 mm boyutlu metalurjik kömür ile karıştırılması sonucu, demir-çelik sektörünün taleplerine uygun ürünler de elde edilebilecektir.

6 KAYNAKLAR

- Ateşok, G., Önal, G., Yıldırım, İ., Altaş, A. 1993. Reichert Spiralinin Kullanımı ve Türk Kömürlerine Uygulanabilirliği, *Türkiye 8. Madencilik Kongresi*, s. 619-628.
- Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2013. *Demir-Çelik Sektörü Raporu*.
- Glass H. J., Minekus, N. J., Daljmin, W. L. 1999. *Mechanics of Coal Spirals Minerals Engineering*, 12, pp. 271-280.
- Holand-Bat, A. B. 1994. The Effect of Feed Rate on the Performance of Coal Spiral, *Coal Preparation*, 14, 3-4, pp. 199-202.
- Honaker, R. Q., Forrest, W. R. 2003. Advances in Gravity Concentration, *Society for Mining Metallurgy and Explanation, Inc (SME)*.
- Kohmuench, J. N. 2000. *Improving Efficiencies in Water-Based Separators Using Mathematical Analysis Tools*, Doctor of Philosophy, Faculty of Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- MacHunter, D. M., Richards, R. G., Palmer, M. K. 2003. Improved Gravity Separation Systems Utilizing Spiral Separators Incorporating New Design Parameters and Features, *Heavy Minerals 2003*, South Africa Institute of Mining and Metallurgy, pp. 131-138.
- Mathews, B. W., Fletcher, C. A. J., Partridge, T. C. 1999. Particle Flow Modelling on Spiral Concentrators, *Second International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries*, pp. 211-216.
- Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, 2013. *Taşkömürü Sektör Raporu*.
- Weldon, B. 1997. Fine Coal Benefication: Spiral Separation in the Australian Industry, *The Australian Coal Review*, 15, pp. 173-181.
- Zhang, B. 2008. *Performance Optimization of a Compound Spiral for Fine and Ultrafine Coal Cleaning*, Master Thesis, Southern Illinois University.

İNCE BOYUTLU SOMA KÖMÜRÜNÜN YÜZEY AKTİF MADDELER İLE SUSUZLANDIRILMASI

DEWATERING OF FINE SIZE SOMA COAL USING SURFACE ACTIVE REAGENTS

F. Burat, A. A. Sirkeci, G. Önal

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET: Tipik bir kömür hazırlama tesisinde beslenen kömürün yaklaşık %20'si oranında ve tamamı 0.5 mm altında olan malzeme üretilir. Genellikle bu boyutun altındaki malzeme yüksek işlem maliyetleri yüzünden kullanılmaz. Katı-su karışımlarının özelliklerinin ve yapılarının değiştirilmesi susuzlandırma işlemlerinin verimini etkilemektedir. Bu özelliklerin değiştirilmesi, katı tanecik yüzeyleri ile su arasındaki bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, mekanik susuzlandırma işlemlerinde suyun daha kolay ayrılmasını sağlamaktadır. Yüzey aktif maddelerin susuzlandırma sistemleri ile birlikte kullanılmasıyla katı ve su arasındaki moleküller arası kuvvetler azalmakta ve böylece susuzlandırma metotlarının kapasitesi ve verimi artmaktadır. Bu araştırma kapsamında, ince boyutlu kömür içeren pülplerdeki kömürün yüksek frekanslı titreşimli elek kullanılarak yüzey aktif maddeler ile susuzlandırılması amaçlanmıştır. Deneyler sonucunda, yaklaşık %82.5 nem oranından %44.77 nem oranına; elek eğiminin 4°, frekans değerinin 50 Hz, besleme hızının 20 lt/dakika, elek açıklığının 0.1 mm, PEGM miktarının 200 g/t ve pH değerinin 7.25 olduğu durumlarda ulaşılmıştır.

ABSTRACT: A typical coal preparation plant produces about 20 percent of the mined coal as minus 0.5 mm. Generally, this fine fraction is discarded due to its high cost of processing. Changes in the properties and structures of solid-water mixtures affect the efficiency of dewatering processes. By modifying these properties, bond forces between solid particle surfaces and water is decreased and water is easily removed by mechanical dewatering techniques. Chemical reagents used along with conventional systems enhance the mechanical dewatering processes by diminishing the intermolecular forces between solid surfaces of the particles and water, thus increasing the capacity of the dewatering method and the yields. Within the frame of this study, the effect of surface active reagent on dewatering of coal slurry using high frequency vibration screen was investigated. Moreover, it was aimed to enrich coal after removing fine size waste materials that are clay and schist by vibration screening. Finally, 82.5% moisture ratio of the feed was reduced to 39.48% with screen incline of 4°, frequency of 50 Hz, feed rate of 20 lt/min, screen opening size of 0.1 mm, 200 g/t of PEGM, and pH value of 7.25.

1 GİRİŞ

Fosil enerji kaynaklarından olan kömür, Dünya üzerinde yaygın olarak bulunması, üretilmesi ve görünür kömür rezervlerinin diğer fosil yakıtlara göre ömürlerinin fazla oluşu, fiyat istikrarı, taşıma kolaylığı, depolama imkanlarının rahatlığı, kullanımının kolaylığı yönünden emniyetli ve güvenilir olması, kullanıcıya arzının ucuzluğu ve sürekliliği, gibi özellikleri ile vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Kömür, bu konumu ile, geçmişte olduğu gibi gelecekte de sürdürülebilir kalkınma ve enerjide güvenilirlik açısından önemli bir role sahip olmaya devam edecektir (Ateşok 2004). Kazı mekanizasyonundaki yeni teknikler, küçük boyutlarda serbestleşme ve ardından flotasyon, flokülasyon, gravite ayırması ve manyetik ayırma gibi cevher hazırlama teknikleri, küçük boyutlarda üretimi zorunlu hale getirmiştir. Küçük boyutlu malzeme üretiminin giderek artması, küçük boyutlu minerallerin oluşturduğu süspansiyonlardaki suyun uzaklaştırılmasını ekonomik ve teknolojik bakımdan zorunluluk haline getirmiş ve bu çoğu zaman çok zor ve pahalı bir iş olmuştur (Asmatülü 2002, Brookes ve Miles 1987).

Tüvenan kömürlerin nemi kömürleşme derecesi azaldıkça artmaktadır. Türk linyitlerinin ancak %14 kadarının nem içeriği %20'nin altında olup, geri kalan %86'sı yüksek oranda nem içermektedir ve ortalama nem içerikleri %41.8'dir (Kural, 1998). Nem, kömürün ısı değerini külden daha fazla etkilemektedir. Kömürün kül oranı azaltılsa bile, kurutulmadıkları takdirde, alt ısı değerlerini istenen seviyelere yükseltmek mümkün değildir. Fazla miktarlarda su kullanılan kömür hazırlama uygulamalarının sonunda suyun uzaklaştırılması hem ürün hem de atık açısından önemlidir. Elde edilen temiz kömürün suyundan ayrılması nakliye, stoklama, satış şartları ve izleyen işlemleri etkilerken, atığın susuzlaştırılması çevresel problemler açısından gereklidir (Ateşok 1986).

Katı-su karışımlarının özelliklerinin ve yapılarının değiştirilmesi susuzlandırma işlemlerinin verimini etkilemektedir. Bu özelliklerin değiştirilmesi, katı tanecik yüzeyleri ile su arasındaki bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, mekanik susuzlandırma işlemlerinde suyun daha kolay ayrılmasını sağlamaktadır. Mekanik susuzlandırma işlemlerinde verimi arttırmak amacıyla değişik fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bilindiği üzere elektrokinetik potansiyel, katı-su karışımlarının susuzlandırılmasında, en önemli parametrelerden biridir (Rong ve Hitchins 1995, Parekh 2009, Bien vd. 1997, Dentel vd. 1993). Yüksek moleküler ağırlıklı flokülantların büyük miktarlarda kullanılması susuzlandırma işlemlerinde ters bir etki yaratabilmektedir. Bu nedenden dolayı flokülant miktarının kullanılacağı sistemler için dikkatli olarak saptanması gerekmektedir (Mishra 1988, Sabah vd. 2004).

Bunun yanında, flokülasyonun susuzlandırma üzerindeki rolü geniş ölçüde araştırılmış, fakat yüzey aktif maddelerin çok başarılı uygulamalarına rağmen, hareket mekanizması hakkında çok az bilgi elde edilmiştir. Yüzey aktif maddeler, genel olarak hidrofilik ve hidrofobik gruplardan oluşturulmuş amfifilik moleküllerinden meydana gelirler. Bu oluşum, filtre kekinin kapilerindeki suyun uzaklaştırılmasına imkan sağlayarak, kekin nihai nem içeriğini düşürür (Hogg 2000, Tao vd. 2003).

Deneyisel çalışmalarda 0.5 mm boyutunun altında ince boyutlu kömür içeren katı-sıvı karışımının mekanik titreşim yüksek frekanslı titreşimli elek mekanizması ile susuzlandırılması amaçlanmıştır. İncelenen literatür çalışmalarında, kömür içeren süspansiyonlardaki tanelerin gözeneklilik çapının, susuzlandırmada çok önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sebeple kömürün gözeneklerinde hapsolmuş yüzey neminin özellikle dik titreşim kullanılarak serbest bırakılması hedeflenmiştir. Yapılan deneyler sonucundaki nem değişimi incelenerek en uygun susuzlandırma koşulları ortaya konmuş, süspansiyon içerisindeki kömür tanelerinin yüzey gerilimlerini düşürecek reaktiflerin kullanılmasıyla ortaya çıkan değişiklikler irdelenmiştir. Kömürde yapılacak yaklaşık %1 oranında nem düşüşünün bile, %4.5 oranında kül azalmasına eş değer miktarda ısı verim artışına sebep olacağı bilindiğine göre, yapılan deneyler sonucunda inilebilecek en düşük nem oranına ulaşılarak, elde edilecek temiz kömürün pazarlanabilmesi veya daha sonraki aşamalarda değerlendirilmesine olanak sağlanacaktır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ince boyutlu kömür numunesi ile iri parçalı temiz kömür numunesi, Manisa-Soma'da bulunan kömür lavvarından temin edilmiştir. Susuzlandırma çalışmalarında ince boyutlu malzeme kullanılmış, iri parçalı temiz kömür numunesinden ise yüzey özelliklerinin tespitinde yararlanılmıştır. İnce boyutlu numuneye ait elek analizinin sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge1. Numunenin elek analizi sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Miktar, %	Σ Elek Üstü, %	Σ Elek Altı, %
+ 0.500	9.6	9.6	100.0
- 0.500 + 0.300	16.3	25.9	90.4
- 0.300 + 0.200	13.2	39.1	74.1
- 0.200 + 0.150	15.7	54.8	60.9
- 0.150 + 0.100	20.8	75.6	45.2
- 0.100 + 0.074	5.8	81.4	24.4
- 0.074 + 0.053	7.5	88.9	18.6
- 0.053 + 0.038	1.4	90.3	11.1
-0.038	9.7	100.0	9.7
TOPLAM	100.0		

Deneylerde kullanılan 0.5 mm'nin altındaki kömür numunesinin nem içeriğinin hesaplanması amacıyla temsili numuneler alınmış, toplam nem içeriği %82.5, bünye nemi ise %18.9 olarak bulunmuştur. Kömür numunelerinin kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kömür numunelerinin kimyasal analizleri (kuru esasa göre).

Eleman	İnce	İri
Kül, %	41.07	5.70
Kükürt, %	0.67	1.15
Sabit Karbon, %	22.14	44.9
Uçucu Madde, %	36.79	49.40
Üst Isıl Değer, (kcal/kg)	3,285	6,218

İnce boyutlu kömür numunesinin çeşitli elek fraksiyonlarındaki kül içerikleri ve yanabilir verimleri Çizelge 3’de verilmektedir.

Çizelge 3. Boyut aralıklarında kül içerikleri ve dağılımları.

Boyut Aralığı, mm	Miktar %	Kül, %		Yanabilir Verim
		İçerik	Dağılım	
+ 0.500	9.6	16.39	3.9	13.5
- 0.500 + 0.300	16.3	17.10	6.8	22.8
- 0.300 + 0.200	13.2	23.16	7.5	17.1
- 0.200 + 0.150	15.7	32.67	12.6	17.8
- 0.150 + 0.100	20.8	56.99	29.1	15.1
- 0.100 + 0.074	5.8	60.79	8.7	3.8
- 0.074 + 0.053	7.5	69.63	12.8	3.8
- 0.053 + 0.038	1.4	75.43	2.6	0.6
- 0.038	9.7	67.38	16.0	5.3
TOPLAM	100.0	40.74	100.0	100.0

İnce boyutlu kömür içeren pülplerdeki kömürün susuzlandırmasını araştırmak amacıyla ilk olarak yüksek frekanslı titreşimli elek kullanılarak eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı gibi titreşimli eleğe ait parametreler tespit edilmiştir. Bulunan en uygun koşullar sabit tutularak, yatay titreşime ek olarak dik ve açılı titreşim verilmiş ve nem değişimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Daha sonra, yüzey aktif maddelerin susuzlandırma üzerindeki etkisi araştırılmış, en düşük nem oranının elde edildiği reaktif miktarı ve pH değerleri saptanmıştır. İri boyutlu kömür numunesi kullanılarak yapılan temas açısı ölçümleri ile reaktif etkisinin susuzlandırmadaki rolü incelenmiştir.

Susuzlandırma deneyleri, İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümüne ait Pilot Tesis Laboratuvarı’nda bulunan, 0° ile 9° arasındaki eğim değerleri arasında ayarlanabilen, 0-50 Hz frekans değerleri arasında çalışabilen, 40 cm eninde ve 80 cm uzunluğunda elek yüzeyine sahip, 2 adet yüksek frekanslı motoru bulunan, titreşimli elek ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Yüksek frekanslı titreşimli susuzlandırma eleği.

Reaktif ile yapılan susuzlandırma deneylerinde Cytec firmasına ait anyonik tip Aerodri 100-E ve Aerodri 104, katyonik tip Tetradesil Trimetil Amonyum Bromür ($C_{14}H_{29}(CH_3)_3NBr$), noniyonik tip Polietilen Glikol Monooleat ($C_{18}H_{33}O_2(C_2H_4O)_nH$) ve Hidrosis firmasından temin edilen yüksek molekül ağırlıklı Fusifloc 5922 anyonik tip flokülant kullanılmıştır. Gonyometre cihazı kullanarak tutsak hava kabarcık (captive bubble) yöntemi ile parlatılmış temiz kömür numunelerinin temas açıları ölçülmüştür. Değişik konsantrasyonlarda yüzey aktif madde içeren çözeltilerin yüzey gerilimleri Du-Nouy tensiyometresi kullanılarak halka koparma yöntemi ile ölçülmüştür.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Susuzlandırma Deneyleri

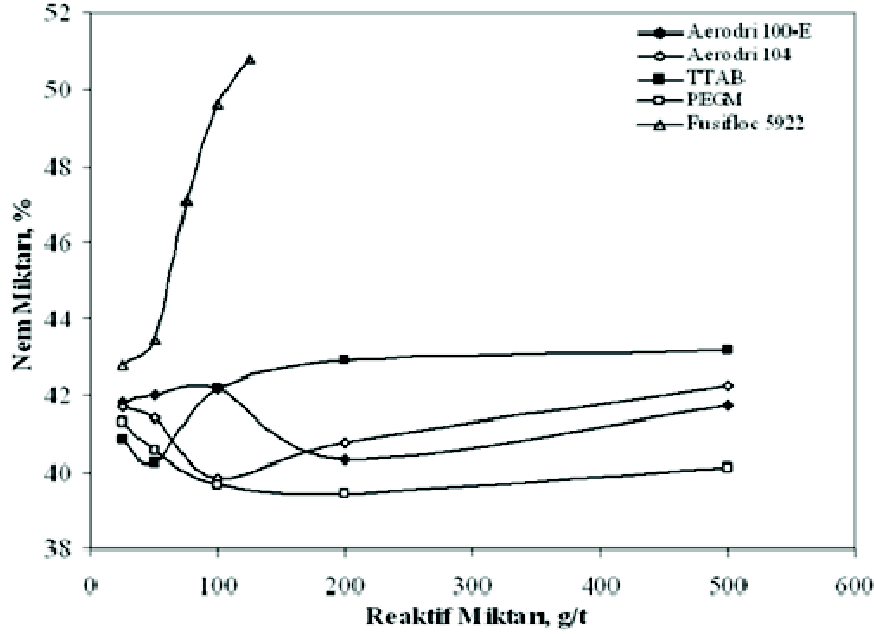
İlk aşamadaki susuzlandırma deneyleri, yüksek frekanslı titreşimli eleğin eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı gibi parametrelerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında sadece yatay titreşim veren yüksek frekanslı motor kullanılmıştır. Bu deneyler sonucunda, yaklaşık %82.5 nem oranından %44.77 nem oranına; elek eğiminin 4° , frekans değerinin 50 Hz, besleme hızının 20 l/dk ve elek açıklığının 0.100 mm olduğu durumlarda ulaşılmıştır. Yatay titreşim motoru ile birlikte kullanılan açısız titreşim motorunun susuzlandırma üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneylerde titreşim motorunun elek yüzeyi ile yaptığı açı, 30, 60, 90, 120 ve 150° olarak seçilmiştir. Bu deneyler sonucunda 90° 'de %41.0 nem değerine ulaşılmıştır. Sadece yatay titreşim sağlayan motorun kullanıldığı deney sonuçları ile kıyaslandığında yaklaşık %4 oranında nem düşüşünün elde edildiği görülmektedir. Bu sistemde, yukarı-aşağı uygulanan dik titreşimin elek yüzeyinde bulunan kömür taneleri üzerinde zıplama etkisi doğurarak, bu tanelerin elek yüzeyine ve birbirlerine çarpmasına, böylece daha etkin bir şekilde susuzlandırılmasına olanak verdiği anlaşılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında elde edilen sonuçlar ve yapılan gözlemler; uygulanan dik titreşim mekanizmasının susuzlandırmada oldukça etkin olduğunu göstermiştir.

Değişik nem içeriklerine sahip malzemeyle yapılan beslemenin susuzlandırma üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla daha önceki deneylerde bulunan koşullarda deneyler yapılmıştır. %62.5 ve %82.5 nem içerikleri arasında beslenen malzemenin susuzlandırma deneyleri sonrasında elde edilen sonuçları incelendiğinde nem oranlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmüş, beslenen malzemenin nem oranının susuzlandırma üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Reaktif ilavesi olmadan daha önce bulunan en iyi koşullarda 3.5, 5.5, 7.25, 9.5 ve 11.5 pH değerlerinde susuzlandırma deneyleri yapılmıştır. Farklı pH değerlerinde yapılan susuzlandırma deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en düşük nem miktarı olan %41.00'e, literatüre uyumlu olarak, pülp'ün doğal pH'ında (7.25) ulaşıldığı görülmüştür.

3.2 Reaktif İlavesi ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Titreşimli elek ile yapılan susuzlandırma işlemlerinden önce pülp'e değişik miktarlarda ilave edilen ve malzemenin yüzey özelliklerini değiştirerek susuzlandırma işlemlerinin performansını arttıracak düşüncülenen reaktiflerin etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerde, ilk olarak en uygun reaktif miktarı tespit edilmiş daha

sonra her bir reaktif için karıştırma süreleri bulunmuştur. Karıştırma süresinin tespitinden sonra değişik pH değerlerinde deneyler yapılarak en uygun susuzlandırma koşulları bulunmuştur. Şekil 2’de doğal pH değerinde (7.25) reaktif ilavesi ile yapılan deneylerde elde edilen nem oranlarının değişimi gösterilmiştir.

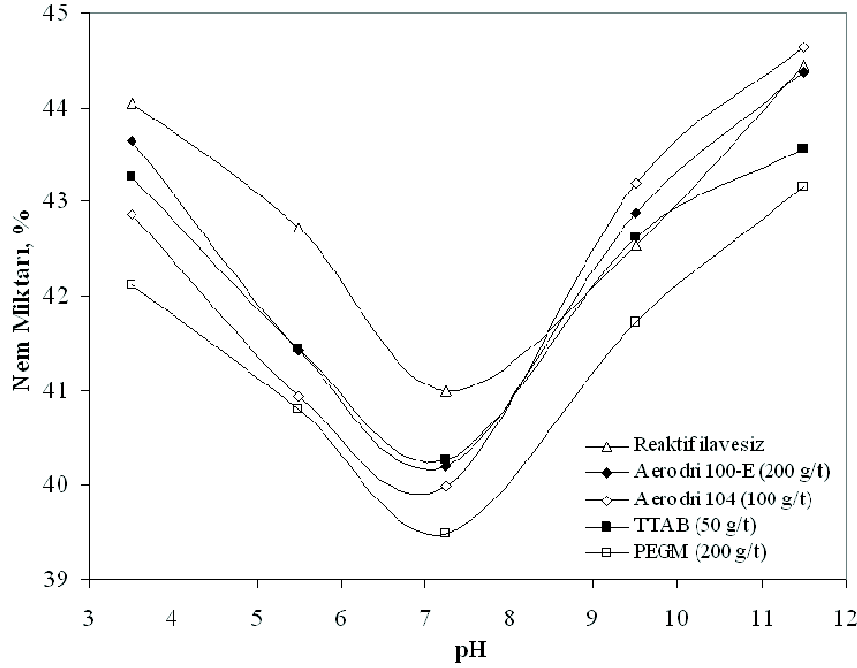


Şekil 2. Reaktif miktarına göre nem değişimi.

Şekil 2’de görüldüğü üzere en iyi sonuca PEGM’in 200 g/t seçilmesi durumunda ulaşılmış, nem oranı %41.0’dan %39.48’e düşürülmüştür. Aerodri 100-E, Aerodri 104, TTAB ve Fusifloc 5922 ile yapılan susuzlandırma deneylerinde en düşük nem oranları reaktif miktarının sırasıyla 200, 100, 50 ve 25 g/t olarak kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir. Flokülant ilavesinin susuzlandırmayı olumsuz yönde etkilediği saptandığından sonraki deneylerde bu reaktif kullanılmamış, diğer reaktifler ise, en uygun reaktif miktarları sabit tutularak kullanılmıştır.

Reaktif miktarının tespiti için yapılan susuzlandırma deneylerinin sonucunda her bir reaktif için en uygun miktar bulunmuş, bu değerler sabit tutularak farklı karıştırma sürelerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en uygun karıştırma süresi bütün reaktifler için 10 dakika olarak tespit edilmiş ve bulunan en iyi koşullar sabit tutularak farklı pH değerlerinde, reaktif ilavesi ve reaktif ilavesi olmadan susuzlandırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’de farklı pH değerlerinde (3.5, 5.5, 7.25, 9.5 ve 11.5) yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem oranlarının değişimi gösterilmiştir.

Şekil 3’de görüldüğü üzere bu deneylerdeki en düşük nem değeri olan %39.48’e pülp’ün doğal pH değeri olan 7.25’de PEGM kullanarak ulaşılmıştır. Reaktif ilavesi olmadan yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar ile reaktif kullanarak yapılan susuzlandırma deneylerinde bulunan sonuçlar arasında belirgin bir fark gözlenmektedir. Doğal pH değerinden düşük ve yüksek pH değerlerinde elde edilen ürünlerin nem içerikleri çok yüksek olmaktadır.



Şekil 3. Pülp'ün pH değerine göre nem değişimi.

3.3 Temas Açısı ve Yüzey Gerilimi Ölçümleri

Kömür yıkama tesisinden alınan iri boyutlu temiz kömür numuneleri temas açısı ölçümleri için yüzeyleri kesilerek zımpara yardımıyla düzleştirilmiş ve parlatılmıştır. Daha sonra numuneler sıvı ortam içerisine daldırılarak, üzerlerine yapıştırılan hava kabarcığının katı yüzeyi ile yaptığı açı gonyometre yardımıyla tespit edilmiştir. Farklı pH değerlerindeki yapılan temas açısı ölçümlerinin sonuçları Çizelge 4'de gösterilmektedir.

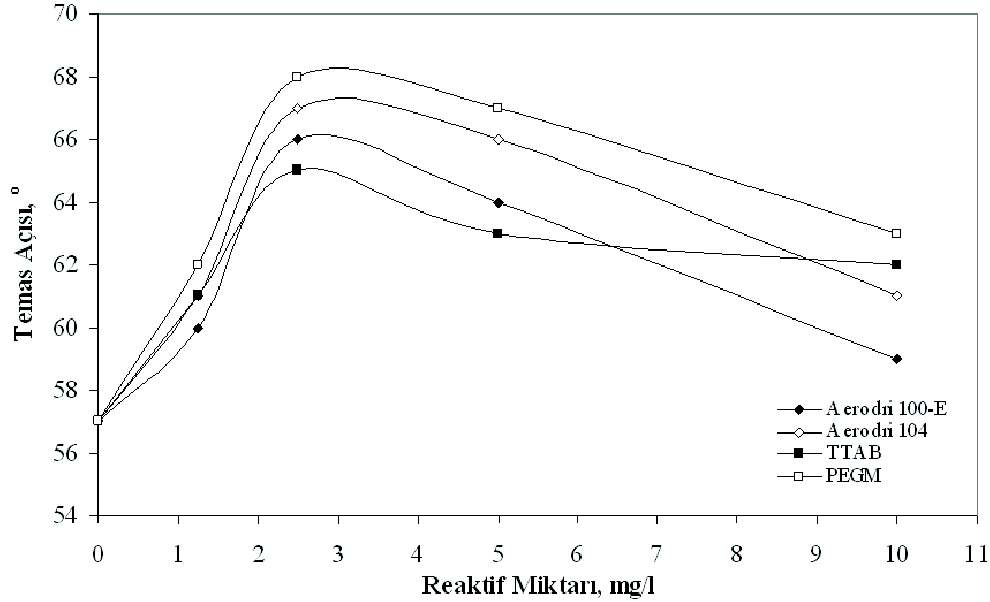
Çizelge 4. Farklı pH değerlerinde yapılan temas açısı ölçümleri.

pH	Temas Açısı, °
3	49
5	51
7	57
9	54
11	52

Malzemenin doğal pH'ı olan 7 civarında temas açısı değeri en yüksek olarak bulunmuştur. Daha asidik ve bazik koşullarda temas açısı değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Reaktif ilavesinin temas açısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla doğal pH'ta (7) farklı reaktif miktarlarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde elde edilen temas açısı değerlerinin değişimi Şekil 4'de verilmektedir.

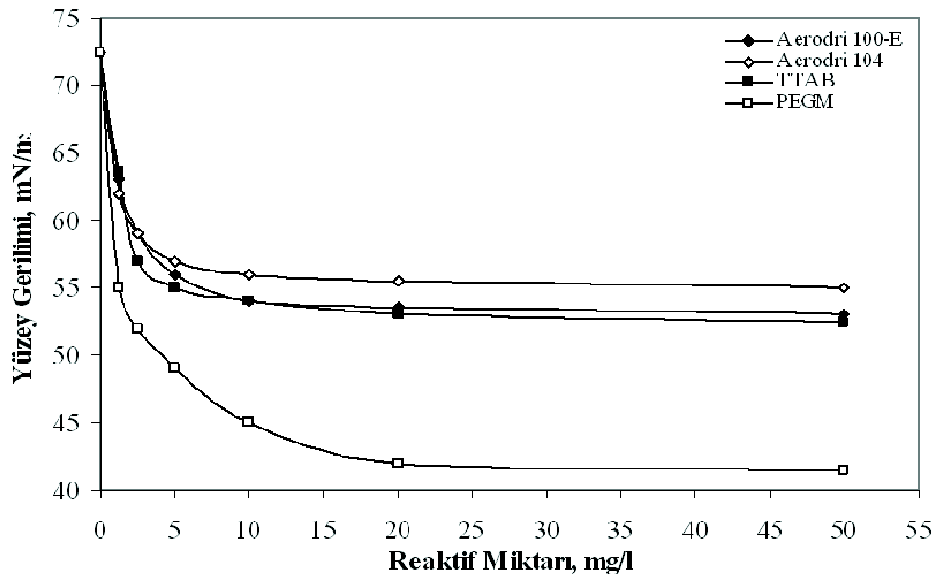
Şekil 4'deki sonuçlar incelendiğinde, 2.5 mg/l reaktif miktarında yapılan ölçümlerde temas açısı değerlerinin ortalama olarak 10° arttığı görülmektedir. Bu artışın nedeni kullanılan yüzey aktif maddelerin kömür yüzeyinde adsorplanması ve böylece hidrofobikliğinin artmasıdır. 2.5 mg/l'den yüksek reaktif miktarlarında ise, temas açısı

değerlerinde azalma görülmektedir. Bu düşüşün sebebi ise, yüzeyleri tamamen kaplanan kömürün daha fazla yüzey aktif maddenin adsorplanmasına olanak vermemesi, çözelti içerisindeki reaktif miktarının artması sonucunda yüzeyde ikinci bir tabakanın oluşmasıdır.



Şekil 4. Farklı reaktif miktarlarında ölçülen temas açıları değişimi.

Yüzey geriliminin çeşitli yüzey aktif maddelerin ilavesi ile azaltılmasının susuzlandırma işlemlerinin verimini arttırdığı ve elde edilen ürünün nem içeriğini düşürdüğü bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Singh 1999, Asmatülü 2002). Bu amaçla; Aerodri 100-E, Aerodri 104, TTAB ve PEGM kullanarak değişik reaktif konsantrasyonlarında yüzey gerilimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda elde edilen değerler Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 5. Farklı reaktif miktarlarında ölçülen yüzey gerilimi değerlerinin değişimi.

Şekil 5’de görüldüğü üzere, reaktif miktarının artmasıyla sıvının yüzey gerilimi düşmekte ve her bir reaktif için belli konsantrasyonda sabitlenmektedir. En fazla düşüş PEGM’in kullanıldığı durumda gerçekleşmiştir. Reaktif ilavesi ile yapılan susuzlandırma deneylerinde en düşük nem değerinin PEGM kullanılarak elde edildiği bilindiğine göre, sıvının yüzey geriliminin yüzey aktif maddeler kullanarak düşürülmesinin, susuzlandırma işlemlerinin başarısını olumlu olarak etkilediği ortaya çıkmaktadır.

En iyi şartlarda yapılan susuzlandırma deneyleri sonucunda elde edilen elek üstü ve elek altı malzemelerin kül, kükürt ve üst ısı değer analizleri yapılmıştır. Bu analizlere ait veriler Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. En uygun şartlarda yapılan susuzlandırma deneyleri sonucunda elde edilen ürünlerin kimyasal analiz değerleri (kuru esasa göre).

Eleman	İçerik	
	Elek Üstü	Elek Altı
Kül, %	29.41	65.56
Kükürt, %	0.885	0.098
Üst Isıl Değer, kcal/kg	4,097	1,067

Yapılan deneyler sonucunda beslenen malzemenin (katı olarak) %73.2’si elek üzerinden, geri kalan %26.8’i ise elek altından alınmıştır. Çizelge 5’de görüldüğü üzere, titreşimli elek ile yapılan susuzlandırma işlemi sonucunda elek üzerinden düşük kül içeriğine ve yüksek ısı değerine sahip ürün, elek altından ise yüksek kül ve düşük ısı değerine sahip malzeme alınmıştır. Bu sonuçlar susuzlandırmaya sokulan malzemenin aynı zamanda zenginleştirildiğini de ortaya koymuştur. Beslenen malzemenin kül içeriğinin %41.07 ve üst ısı değerinin 3,285 kcal/kg olduğu bilindiğine göre yapılan susuzlandırma işlemi sonucunda kül içeriğinde yaklaşık %11.66 düşüş, üst ısı değerinde ise, yaklaşık olarak 815 kcal/kg artış sağlanmıştır. Elek üstü ve elek altı ürünlerinin yanabilir verimleri ise; sırasıyla, %84.8 ve %15.6 olarak hesaplanmıştır. Kükürt içerikleri bakımından durum farklıdır. Elek üstünden alınan ürünün kükürt içeriği beslenen malzemenin kükürt içeriğine yakındır. Fakat elek altına geçen malzemenin kükürt içeriği ise, yaklaşık %0.1 olarak bulunmuştur. Düşük kükürt içerikli ince boyutlu kil ve şistlerin çoğunlukla organik kükürt içerdiği düşünülen kömürden eleme ile yapılan susuzlandırma işlemleri sırasında ayrıldığını göstermektedir.

4 SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yüksek titreşim frekanslı susuzlandırma eleği kullanarak %82.5 nem oranından %44.77 nem oranına; elek eğiminin 4°, frekans değerinin 3,000 titreşim/dakika, besleme hızının 20 l/dk ve elek açıklığının 0.100 mm olduğu durumlarda ulaşılmıştır.
- Açısal titreşim motorunun ilavesi ile nem değeri %41.0’e düşürülmüştür

- Aerodri 100-E, Aerodri 104, Tetradecyl Trimethyl Ammonium Bromid, Polyethylene Glycol Monooleate ve Fusifloc 5922 gibi yüzey aktif maddelerinin ilavesi ile susuzlandırma deneyleri gerçekleştirilmiş, en düşük nem değerine PEGM kullanılarak yapılan deneylerde ulaşılmıştır. Değişik reaktif konsantrasyonlarında yapılan yüzey gerilimi ölçümlerinde ise en fazla düşüş PEGM kullanıldığı durumda elde edilmiştir.
- Reaktif miktarının artmasıyla temas açısı değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi kullanılan yüzey aktif maddelerin kömür yüzeylerinde adsorplanması ve kömür yüzeylerinin hidrofobikliğini arttırmasıdır.
- İnce boyutlu artık karakterindeki kil ve şistlerin, eleme ile yapılan susuzlandırma işlemleri sırasında kömürden ayrıldığı ve susuzlandırılan malzemenin aynı zamanda zenginleştirildiği görülmektedir.
- Laboratuvar bünyesinde bulunan 0.28 m² elek yüzey alanına sahip titreşimli elek ile çok kademeli olarak yapılan susuzlandırma deneylerinin sonucunda, yüzey alanı susuzlandırma deneylerinde kullanılan titreşimli elek alanının yaklaşık 9 katı olan endüstriyel elek kullanarak yapılacak susuzlandırma ile %30 nem miktarının altına indirilebileceği görülmektedir.

5 KAYNAKLAR

- Asmatülü, R. 2002. İnce Boyutlu Tanelerdeki Suyun Buchner Vakum Filtresi Kullanarak Uzaklaştırılması, *Madencilik*, s. 35-44.
- Ateşok, G. 1986. Kömürlerde Rutubet Miktarının Azaltılması, *Kömür Hazırlama*, s. 297-315.
- Ateşok, G. 2004. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları*, İstanbul.
- Brookes, G. F., Miles, N. J. 1987. Coal Preparation-Some Thoughts for the Future, *Mining Magazine*, pp. 52-57.
- Bien, J. B., Kempa, E. S., Bien, J. D. 1997. Influence of Ultrasonic Field on Structure and Parameters of Sewage Sludge for Dewatering Process, *Water Science Technology*, 36, pp. 287-291.
- Dentel, S. K., Allen, H. E., Srinivasarao, C., Divincenzo, J. 1993. Effects of Surfactants on Sludge Dewatering and Pollutant Fate, *Third Year Completion Report*, pp. 1-12.
- Hogg, R. 2000. Flocculation and Dewatering, *International Journal of Mineral Processing*, 58, pp. 223-236.
- Mishra, S. K. 1988. Principles of Dewatering, *Industrial Practice of Fine Coal Processing*, 19, pp. 213-222.
- Parekh, B. K. 2009. Dewatering of Fine Coal and Refuse Slurries-Problems and Possibilities, *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, pp. 621-626.
- Rong, R. X., Hitchins, J. 1995. Preliminary Study of Correlations between Fine Coal Characteristics and Properties and Their Dewatering Behaviour, *Minerals Engineering*, 8, pp. 293-309.
- Sabah, E., Yüzer, H., Çelik, M. S. 2004. Characterization and Dewatering of Fine Coal Tailings by Dual-Flocculant Systems, *International Journal of Mineral Processing*, 74, 303-315.
- Singh, B. P. 1999. Technical Note: Ultrasonically Assisted Rapid Solid-Liquid Separation of Fine Clean Coal Particles, *Mineral Engineering*, 12, pp. 437-443.
- Tao, D., Parekh, B. K., Liu, J. T., Chen, S. 2003. An Investigation on Dewatering Kinetics of Ultrafine Coal, *International Journal of Mineral Processing*, 1628, pp. 1-15.