Yerbilimleri, 2018, 39 (2), 103-116
Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni
Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Termik Santral Katı Atık Depolama Sahası Kapasitesinin Arttırılması Olanaklarının Araştırılması: Yatağan Termik Santrali Örneği

Investigation of capacity increasing facility of solid waste landfill of thermal power plant: a case study of Yatağan Thermal Power Plant

DOĞAN KARAKUŞ[1], MEHMET VOLKAN ÖZDOĞAN*[1], GÖKHAN TURAN[1], GÜRCAN KONAK[1], AHMET HAKAN ONUR[1]
[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Geliş *(received)* : 8 Ocak (January) 2018
Kabul *(accepted)* : 28 Temmuz (July) 2018

ÖZ
Günümüzde enerji üretimi ülkelerin en önemli çabalarının başında gelmektedir. Kömürlü termik santraller de ülkemizde ana enerji kaynaklarından biridir. Ancak fosil yakıtlardan biri olan kömürün yanması sırasında bazı katı atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu katı atıkların depolanması için ise büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında Yatağan Termik santralinde mevcut kotu +470 m'ye ulaşan katı atık depo alanının bundan sonraki çalışma planı ve bu plana göre oluşacak yığının şev duraylılığı irdelenmiştir.

Keywords: *Kül atığı, atık depolama, şev duraylılığı.*

ABSTRACT
Energy production is one of the most important efforts of countries in recent days. Coal fired thermal power plants are the main source of energy in our country. But coal that is used as fossil fuel causes some solid wastes during the combustion and huge areas are needed for storage of these solid wastes. In this study solid waste storage of Yatagan termal power plant is examined to determine the future design of storage area which is over 470 m elevation and the slope stability studies have been carried out for the new designed plan.

Anahtar Kelimeler: *Ash waste, waste storage, slope stability.*

* M. V. Özdoğan
e-posta: mehmet.ozdogan@deu.edu.tr

GİRİŞ

Ülkemizde elektrik enerjisinde kurulu gücün yaklaşık %22'si kömürlü termik santrallerden elde edilmektedir. Son yıllarda, giderek artan enerji ihtiyacını karşılamak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için yerli kömürle çalışan termik santrallerin yapımına hız verilmiştir. Buna bağlı olarak termik santrallerden kömürün yanması sonrası atık olarak çıkan termik santral külünün bertaraf edilmesi de ciddi bir sorun teşkil etmektedir.

Kömürlü termik santrallerde yakıt olarak kullanılan toz kömürün yakılması sırasında değişik karakterde kül ve cüruf ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan çok ince kül parçacıkları elektrofiltre ve siklonlarda tutulmaktadır. Bu tutulan ince küle "uçucu kül", baca gazıyla taşınmayan ve yanma sonunda tabanda biriken daha iri parçalı malzemeye ise "taban külü" adı verilmektedir (Yılmaz 1992; Ergül vd.1994; Kızgut vd., 2001).

Termik santrallerinde kullanılan taş kömürlerinin %10-15'i ve linyit kömürlerinin ise % 20 - 40 'ı küldür. Kömürlü termik santrallerde 1 kWh'lik enerji üretildiğinde ortalama 110 g kül atık madde olarak ortaya çıkmaktadır. Dolaysıyla 1 000 MW 'lik bir santralden bir yılda yaklaşık 650 000 ton kül elde edilmektedir. Bu mertebedeki bir kül üretiminin depolanabilmesi için yılda 60 000 m^2, santralın servis ömrü olarak kabul edilebilecek 30 yıllık bir süre içinde ise 1 800 000 m^2 civarında bir araziye ihtiyaç doğmaktadır. Bu sanayi atıklarının uzaklaştırılması ve depolanması çevre kirliliğinin yanı sıra işletme, enerji üretim kaybı vb konularda da mali ve teknik problemler meydana getirmektedir (Tokyay vd., 1990; Aslan vd., 2009). Her ne kadar termik santral külleri, çimento, beton, tuğla üretimi, altyapı çalışmalarında dolgu malzemesi olarak ya da atık su arıtımı, seramik ve hafif agrega üretimi gibi alanlarda kullanım olanağı bulsa da, bu alanlarda tüketilen termik santral küllerinin açığa çıkan atık küle oranı oldukça düşüktür ve bu küllerin büyük bir kısmı atık sahalarında depolanmaktadır. Dolayısıyla depolanan atık yığınları gün geçtikçe yükselmekte ve belirli bir zaman sonunda depo alanlarında duraylılık sorunları ortaya çıkabilmektedir.

Bu çalışmada Yatağan Termik Santrali enerji üretimi sırasında oluşan katı atıkların depolandığı ve santralin 1.2 km güneybatısında bulunan +470 m kotuna ulaşmış olan kül döküm sahasının, +470 m kotunun üst seviyelerine katı atık dökümü yapılarak yükseltilmesi ve depo hacminin arttırılması olanakları araştırılmıştır. Bu çerçevede güvenli şev açılarının analizi, ekonomik ve teknik kısıtlar çerçevesinde en yüksek döküm kotunun belirlenmesi, kül döküm sahası içerisinde su biriken alanın kullanımı ve kül döküm sahası sınırları içerisinde tüm alanının depolama kapasitesinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Çalışma Alanı ve Çalışmanın Amacı

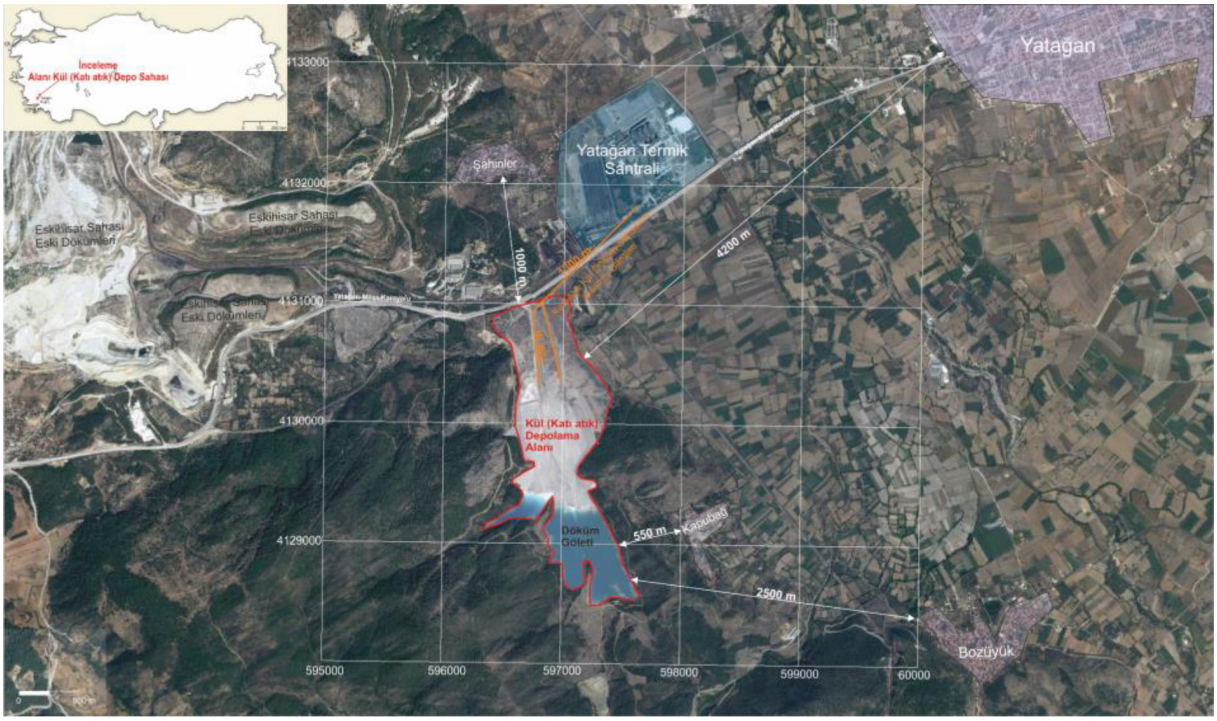
630 MW kurulu gücündeki Yatağan Termik Santrali, Muğla iline bağlı Yatağan ilçesinin 3 km güneybatısında 1 163 000 m^2'lik alan üzerine konumlanmıştır. Yıllık 4 500 000 000 kWh/yıl elektrik üretimi olan santral, alt ısıl değeri 1750-2100 kcal/kg olan günlük 18 000 ton linyit kömürü ihtiyacı Eskihisar, Tınaz ve Bağyaka açık ocaklarından karşılanmaktadır.

Yatağan termik santralinde ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında kapasiteye bağlı olarak 4000 ton/gün uçucu kül, 1000 ton/gün taban külü (cüruf) oluşmaktadır. Ayrıca kükürt tutma işlemi sırasında %45 katı oranında 2500 ton/gün jips (alçıtaşı) ve su arıtma tesisinde oluşan 120 ton/gün arıtma çamuru katı atık olarak ortaya çıkmaktadır. Termik santral katı atıkları santralin güneybatısında bulunan kül döküm alanın 2 km uzunluğunda olan bant konveyör ile taşınmakta ve burada oluşturulan depolama sahasına boşaltılmaktadır. Şekil 1.'de Yatağan Termik Santrali, kül döküm sahası ve çevre yerleşim birimlerinin konumları uydu görüntüsünde verilmektedir. Şekildeki kırmızı renkle sınırlandırılan alan "Kül (katı atık) depolama sahası" olarak tanımlanmıştır (Karakuş vd., 2017).

2013 yılında TÜBİTAK MAM ÇE grubu tarafından gerçekleştirilen bir projeyle depolama alanının 465 m ile 470 m kotları arası projelendirilmiştir. Atık alanı mevcut durumda 470 m kotu olan sınırına kuzey kısımlarda ulaşmış olup devam eden süreçte 470 m kotu üzerine atık dökümü yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında mevcut katı atık dökümlerinin üzerine yapılacak olan katı atık yığınının 470 m kotundan sonraki maksimum kapasitesi hesaplanmıştır. Bu tasarım yapılırken katı atık depolama yığını şevlerinin duraylılığı, görsel etki ve arazinin yeniden doğaya kazandırılması konuları ön planda tutulmuştur.

Kül depolama sahasının mevcut durumu

Katı atık depolama sahası olarak belirlenen alanın uzun ekseni kuzey-güney doğrultulu 2400 m uzunluğunda, kısa ekseni ise doğu-batı doğrultulu ortalama



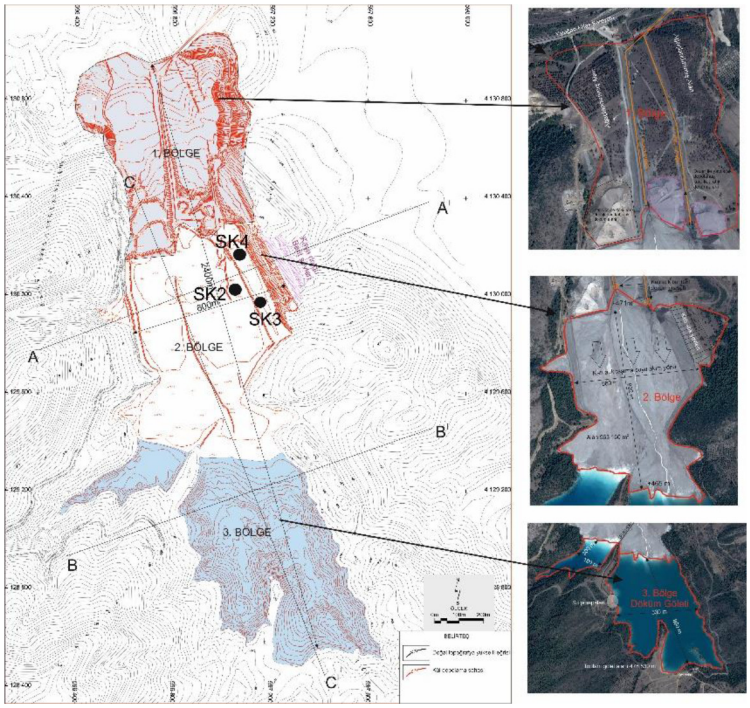
Şekil 1. Yatağan Termik Santrali katı atık depolama sahası konumu.
Figure 1. Location of Yatağan Thermal Power Plant solid waste storage area.

600 m genişliğindedir. Döküm alanı kot farkları açısından değerlendirildiğinde sahanın çevresindeki üç tepenin yamaçları ve yamaçlar arasındaki vadi yatakları belirleyici olmaktadır. Bu tepeler döküm alanın batısında +630 m kotunda Alazeytin Tepe ve kuzeybatısında +730 m Bakacak Tepe ve doğusunda +505 m kotundaki Peynirli Tepedir. Bu tepelerin yamaçları ve yamaçlar arasında kül depolama sahası olarak seçilmiş alan içerisinde vadilerle oluşmuş en düşük doğal arazi kotu döküm alanının doğusunda bulunan +370 m kotudur.

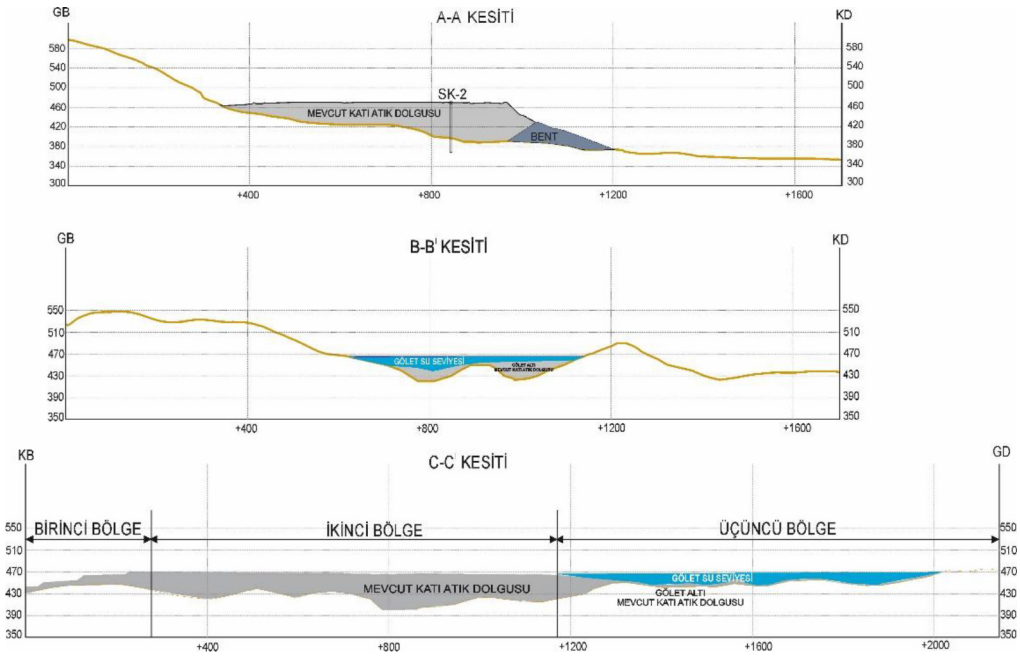
Katı atık depolama sahası üç bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge sahanın Yatağan-Milas Karayoluna yakın olan, belirli kısmında termik santral katı atıkları üzerine serilen doğal toprakla bitkilendirilmiş, belirli bir kısmı ise kuru katı atık depolama alanı olarak ayrılmış bölgedir. İkinci bölge olarak tanımlanan alan santralden bant nakliyesi ile getirilen katı atıkların hidrolik nakliyat (suyla taşıma) ile taşınarak depolandığı ve güney istikametinde döküm sahası sınırları içerisinde genişlemekte olan bölgedir. Kül depolama sahasının üçüncü bölgesi, ikinci bölgedeki taşıma suyunun akışıyla oluşmuş gölet alanı olup depolama izinli alan içerisinde yer almaktadır. Taşıma suyu ile ikinci bölge yüzeyinde katı atığın tamamı çökmemektedir ve taşıma suyu ile birlikte belirli miktarda katı atık gölet alanına ulaşarak gölet alanı tabanına çökmektedir. Bu nedenle üçüncü bölge olarak tanımlanan döküm göleti tabanında da belirli bir kalınlıkta taşıma suyu ile gelerek depolanmış katı atık bulunmaktadır (Şekil 2). Katı atık depolama sahasını karakterize edecek şekilde alınan kesit hatları Şekil 2'de gösterilmiş olup, bu kesit hatlarına ait kesit görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir.

Kül Depolama Sahası Katı Atık Örnekleri Ve Taban Malzemesi Üzerinde Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

Katı atık depolama alanı içerisindeki termik santral atık malzemesinin ve tabanında bulunan kil bantları içeren kireçtaşı, şist, fillit birimlerinin jeomekanik özellikleri, mevcut durumundan itibaren kot yükseltilerek yapılacak dökümlerin duraylılığıyla yakından ilgilidir. Bu sebeple kül depolama alanında lokasyonları Şekil 2'de verilen 3 noktadan toplam uzunluğu 276 m olan karotlu sondajlar gerçekleştirilmiştir. Sondajların konumları, depolama sahası topoğrafyanın döküm yapılmadan önceki ilk durumu, geçmiş jeolojik çalışmalarda yapılan sondaj çalışmaları ve alınacak numunelerin sahayı temsil etmesi göz önünde bulundurularak



Şekil 2. Yatağan Termik Santrali katı atık depolama sahası mevcut durum haritası ve sondaj lokasyoları.
Figure 2. Map of Yatağan Thermal Power Plant solid waste storage area and locations of boreholes.



Şekil 3. Katı atık sahasından alınan kesitler.
Figure 3. Cross-sections from solid waste storage area.

belirlenmiştir. Alınan karot numuneleri üzerinde şev duraylılığı analizlerinde girdi parametresi olarak kullanılmak üzere tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı ve kohezyon ve içsel sürtünme açısının belirlenmesine yönelik kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına ait değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Kül depolama sahasında depolanan katı atık malzemesinin dayanım değerleri yüzeyden itibaren tabana doğru artması beklenirken test sonuçları bu artıştan farklı sonuçlar göstermektedir. Dayanım değerlerinin düşey eksendeki değişimini gösteren Şekil 4 incelendiğinde en yüksek dayanımların +433 m ile +455 m kotları arasında olduğu görülmüştür. 2007 yılından itibaren termik santral baca gazı arıtma sistemindeki değişikliğinden dolayı döküm sahasına gelen katı atık malzemesi karışımı içerisinde jips bulunmaktadır. Jipsin bağlayıcı etkisi göz önüne alındığında +433 m üzerindeki kotların alt kotlara göre daha yüksek dayanımlı olması jipsin bağlayıcı etkisini göstermektedir. +455 m kotu ile +470 m arasındaki malzeme dayanımının +455 m kotu altındaki malzemeye göre düşük olmasının gerekçesi ise malzemenin henüz yeterince sıkışmamış olması ve yeterli hidratasyon süresine erişmemiş olması olarak açıklanmaktadır.

ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ

Açık maden işletmelerinde kazı faaliyetlerine bağlı şev duraylılıklarının belirlenmesi çok yönlü bileşenleri olan bir tasarım problemidir. Bu problemin çözümü detaylı teorik yaklaşımlar içermektedir. Açık ocak madenciliğinde gerçekleştirilen kazı çalışmaları sonucunda, orijinal zeminde güvenli kazı yapılabilmesi amacıyla şev duraylılığı analizleri gerçekleştirilmektedir. Aynı prensipler, doğal olmayan döküm malzemesi gibi yapılar için de geçerlidir. Genel bir değerlendirmeyle yerçekimi etkisi altındaki döküm malzemelerinin, döküm geometrisine göre değişen kuvvet yönlerine bağlı gerilme bileşenleri oluşmaktadır. Şev duraylılığının temel mekaniği genel olarak Şekil 5'de verilmektedir.

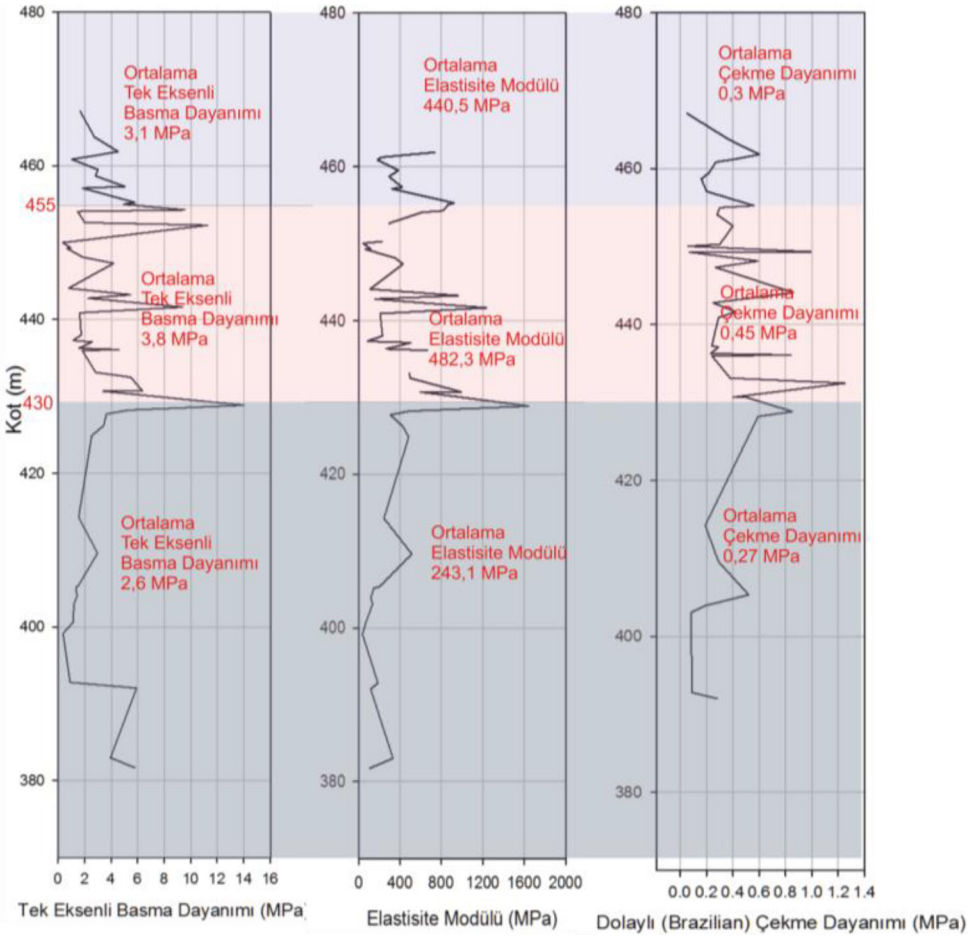
Oluşan şev üzerinde kaymayı kolaylaştıracak yöndeki kuvvet bileşenleri ile kaymayı engelleyecek yöndeki kuvvet bileşenlerin belirlenmesi limit denge şev duraylılığı analizinin temelini oluşturmaktadır. Şekil 4› deki modele göre yatayla β açısı yapan bir eğik düzlemde W ağırlığında bir blok düşünüldüğünde, bloğa etki eden kuvvetler yerçekimi kuvveti ve depremlerden kaynaklanan kuvvetlerdir. Bloğun yüzey üzerinde kaymasını sağlayacak W kuvvetinin düzlem boyunca etki eden bileşeni W.sinβ kaymayı engelleyecek eğik düzleme dik olarak etki eden kuvvet bileşeni ise W.cosβ'dir. Ayrıca modeldeki su durumu ve su basıncı etkisi göz önüne alındığında genel olarak limit denge şev emniyet katsayısı denklem 1'de verildiği gibidir.

$$F_S = \frac{cA + (W\,\mathrm{Cos}\beta - U)\,\mathrm{Tan}\,\Phi}{W \sin\beta + V} \quad \text{(Hoek, 1973)} \qquad (1)$$

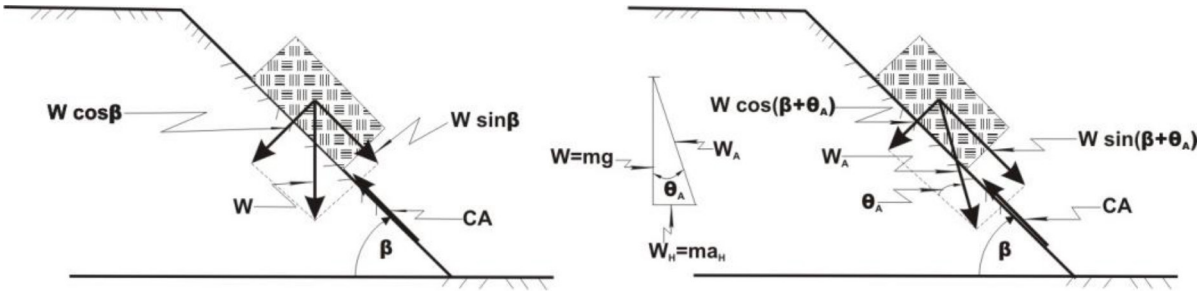
Fonksiyonda kaymayı engelleyici kuvvetlerde tanımlı olan "c" kaya kütlesinin kohezyonu, "Φ" ise içsel sürtünme açısıdır. Modern şev duraylılık analizleri programlarının tamamı bu limit denge analizi yöntemine göre sonuç üretmektedir. Buna göre kaymayı önleyici yöndeki gerilmelerin, kayma yönündeki gerilmelere oranı şev emniyet katsayısı (F_s) olarak

Çizelge 1. Atık depolama sahasının jeomekanik özellikleri.
Table 1. Geomechanical properties of waste storage.

Parametre	Atık Malzeme	Atık Malzeme Tabanı	
		Kireçtaşı	Kil
Birim Hacim Kütle (gr/cm^3)	1.72	2.69	-
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	3.34	40.36	-
Çekme Dayanımı (MPa)	0.38	4.21	-
Elastisite Modulu (MPa)	399	-	-
Kohezyon (kPa)	5.88	-	0.06
İçsel Sürtünme Açısı	43.28	-	34.04



Şekil 4. Katı atık malzemesinin dayanım değerlerinin derinliğe göre değişimi.
Figure 4. Variation of strength value for solid waste material according to depth.



Şekil 5. Şev duraylılığının temel mekaniği (Hoek, 1973, Konak vd., 2004).
Figure 5. Basic mechanism of slope stability (Hoek, 1973, Konak et al., 2004).

tanımlanmaktadır. Bu katsayının "F_s=1" olması şevin denge durumunda olduğunu, "F_s<1" olması şevin kayma durumunda olduğunu, "F_s>1" olması ise şevin duraylı olduğunu ifade eder. Bu denkleme, depremlerden kaynaklanan ek yükler de eklenmelidir. Uzun süreler duraylılığının sağlanması gereken doğal veya doğal olmayan yapılarda deprem şiddeti ivme olarak yukarıdaki fonksiyona dahil edilmelidir. Şekil 5'de sağda verilen grafikte, deprem ivmeleri kullanılarak kayma yüzeyindeki bloğa ek dinamik yük eklenmektedir. Deprem etkisinin oluşturulması için, bölgede yaşanan geçmiş depremler baz alınmaktadır. Bu

amaçla Erdik ve ark. 1999 yılında yaptıkları çalışmada "Global Seismic Hazard Assessment Program Report" sonuçlarını esas alarak Şekil 6'da verilen deprem ivmesi değişimini hazırlamışlardır. Şekil 6'da verilen grafik kullanılarak, kül döküm projesinin uygulandığı Yatağan bölgesi için deprem ivmesi 0.25 g olarak tespit edilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Bu değer, %10 olasılık ile 50 yılda meydana gelebilecek depremin şiddetini temsil etmektedir.

Proje kapsamında ele alınan kül depolama alanı için uzun vadeli güvenli bir şev duraylılığı sağlanması için F_s = 1.3'ün üzerinde emniyet katsayılarının sağlanacağı kül döküm geometrisine göre tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda şev emniyet katsayılarının çok daha yüksek olması beklenmektedir. Ancak, bölgede meydana gelebilecek olası bir deprem sonucunda, kül stok alanının duraylılığını koruması beklenmektedir. Bu nedenle, gerçekleştirilen analizlerde deprem ivmeli ve deprem ivmesiz analiz sonuçları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu projede hesaplama aracı olarak limit denge yöntemini kullanan bir bilgisayar yazılımında Bishop dilimler yöntemi kullanılmıştır. Bishop dilimler yöntemi ile şev emniyet katsayısının hesaplanma prensibi Şekil 7'de verilmektedir

Sahanın Mevcut Durumda Duraylılığı

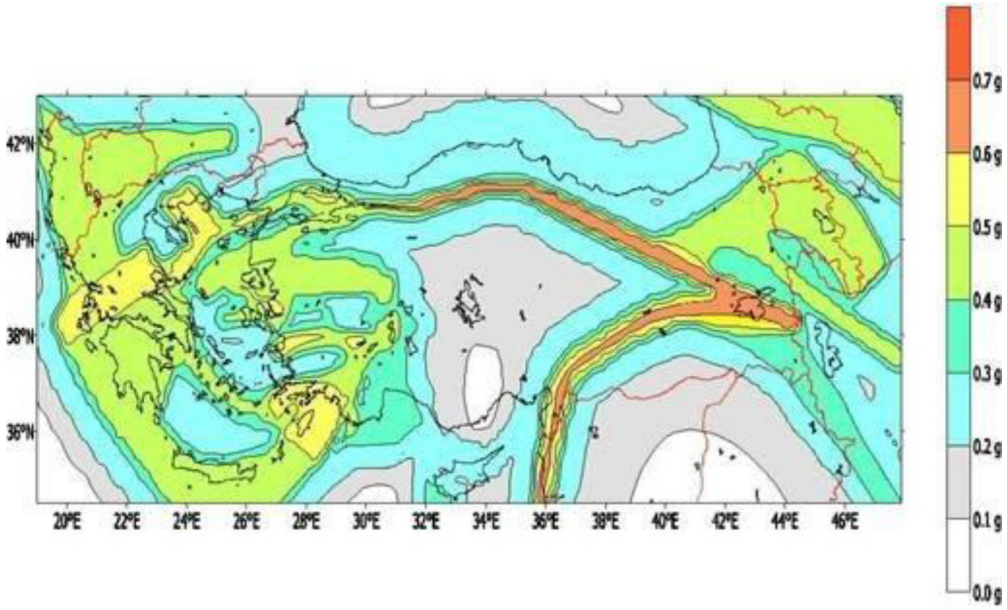
Yatağan Termik Santrali kül atık sahasının kapasite artırımına yönelik yapılacak olan planlamadan önce katı atık sahasının mevcut durumunun duraylılığı deprem ivmeli ve deprem ivmesiz durumlar için analiz edilmiştir.

Laboratuvar çalışmaları kısmından da belirtildiği üzere yaklaşık kalınlığı 90 m olan mevcut kül dökümünün 3 farklı dayanım özelliğine sahip katmandan meydana geldiği belirlenmiştir. Yüzeyden yaklaşık 15 m derinliğe kadar tam sıkışmamış ve hidratasyonu devam eden bölüm üst dolgu, üst dolgu altında yer alan ve +430 m kotuna kadar devam eden ve jips içeren orta dolgu ve bu kotun altında farklı mekanik özelliklere sahip alt dolgu tespit edilmiştir. Şev duraylılık analizleri yapılırken bu katmanlar göz önüne alınarak model oluşturulmuş ve analizler bu modele göre gerçekleştirilmiştir.

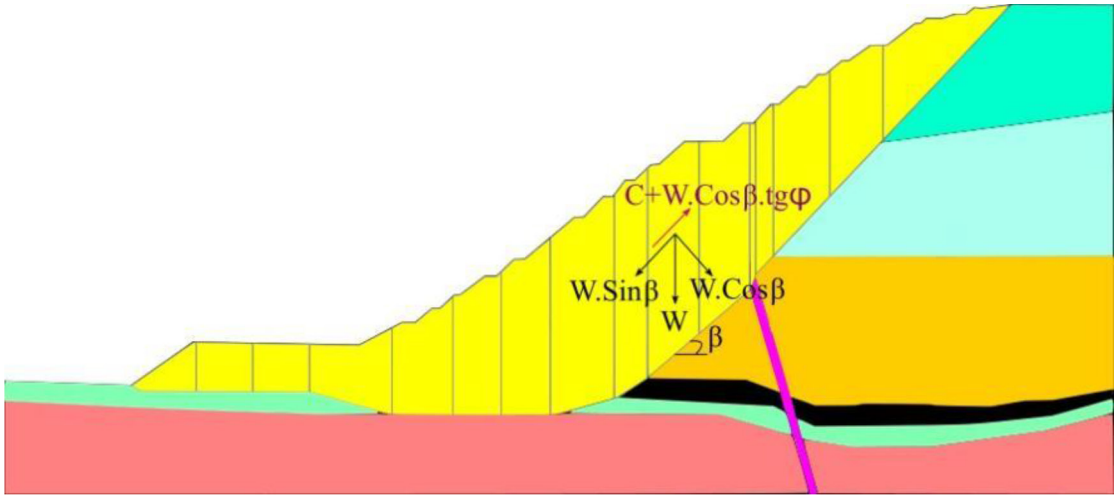
Döküm sahasının mevcut duraylılığını belirlemek amacıyla kül döküm sahasını üzerinden 8 adet kesit alınmış ve bu kesitler üzerinde şev duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).

Şekil 7'de gösterilen ilk 5 kesit mevcut döküm alanının üzerinden alınan kesitlerdir. 6, 7 ve 8. kesitler ise, kapasite artışından sonra doldurulacak alanların üzerinden alınan kesitlerdir. Mevcut döküm alanının duraylılığını incelemek amacıyla alınan kesitler üzerinde limit denge yöntemiyle gerçekleştirilen şev duraylılığı analiz sonuçları Şekil 9'de verilmiştir.

Mevcut durum için gerçekleştirilen şev duraylılığı analiz sonuçları toplu olarak Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Katı atık döküm sahası için kullanılan deprem ivme haritası (Erdik vd., 1999).
Figure 6. Peak ground acceleration map used for solid waste storage area (Erdik et al., 1999).



Şekil 7. Basitleştirilmiş Bishop dilimler yöntemi.
Figure 7. Bishop's simplified method of slices.

Çizelge 2'den de görüldüğü üzere, Kesit 1-1' ve Kesit 5-5'de, deprem ivmeli olarak gerçekleştirilen analiz sonuçları şev duraylılığı ile ilgili sorun teşkil edebilecek seviyededir. Bu nedenle, her iki kesit hattının bunduğu bölümlere topuk vazifesi görmesi için ilave dolgu yapılması önerilmektedir

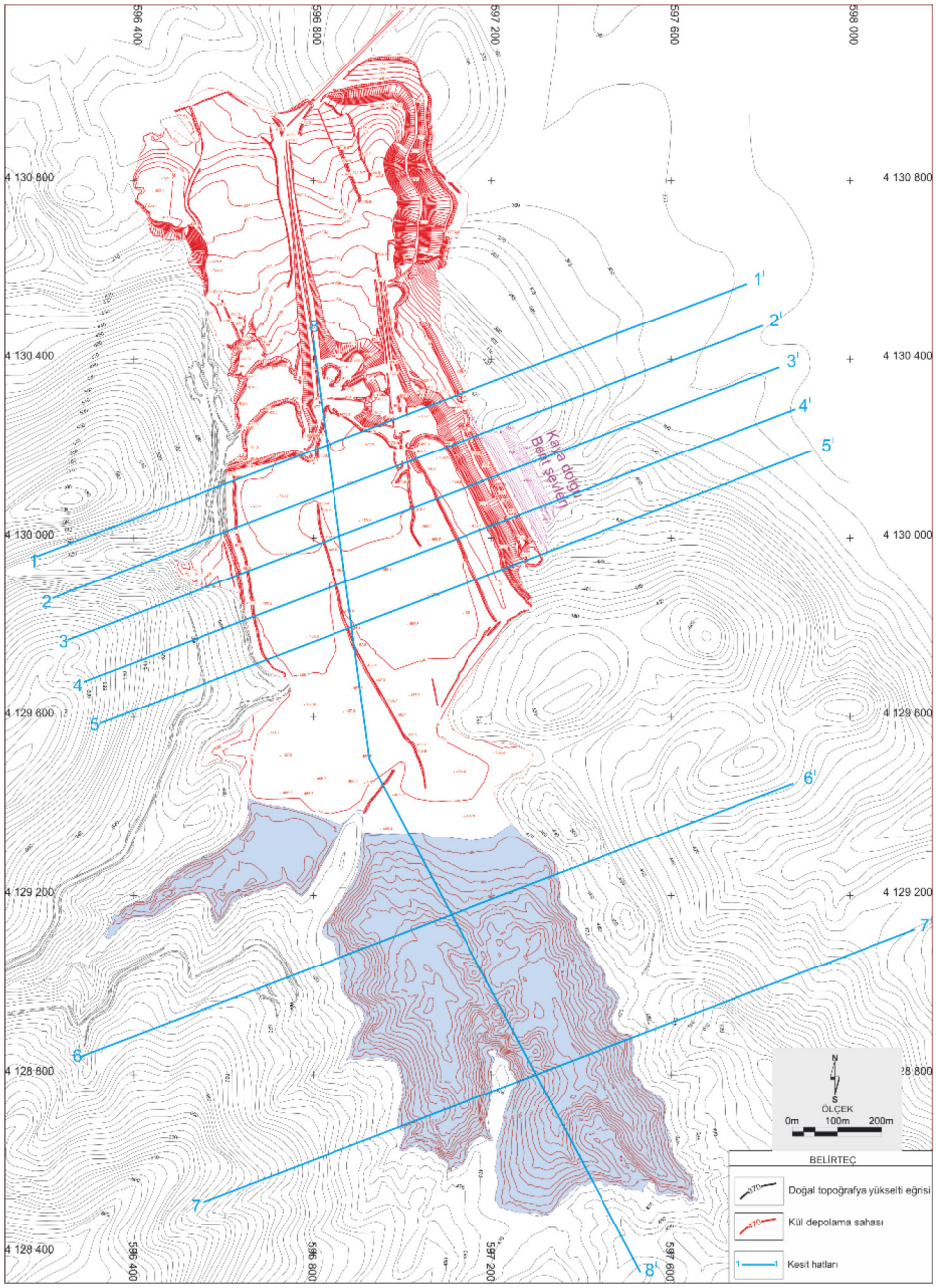
Kül Döküm Sahası Dolgu Planı

+470 m seviyesi üzerinde dökülecek katı atığın planlanması yapılırken döküm sahasının planlama sonrası şev duraylılığı ve sahanın terk edildikten sonra düzenlenerek çevreye uyumlu hale getirilebilmesine olanak sağlayacak bir topografik yapının oluşturulması esas alınmıştır. Ayrıca döküm tamamlandıktan sonra sahanın her yerine ulaşımı sağlayabilecek şekilde basamak düzlükleri ile düşük eğimli basamak şevleri oluşturulması gerekmektedir.

Katı atık depolama sahasının +470 m seviyesi için planlaması yapılırken oluşturulacak şevler nihai şevler olacaktır. Bu sebepten dolayı şev geometrileri, şev emniyet katsayısı(F_s) depremsiz durumlar için en az 1.5, ivme değeri 0.25 g olan bir depremin olması durumunda ise en az 1.3 değerini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ile yukarıda belirlenen kısıtlar göz önüne alınarak, + 470 m kotu üzeri katı atık depolama alanının planlamasına yönelik yapılan çalışmada döküm dilimleri yüksekliği 20 m ve son basamakta 10 m, basamak düzlükleri 15 m, genel şev açısı 25°, basamak şev açıları 30° olarak belirlenmiştir. Şekil 10'da kül döküm sahasında +470 m kotu üzerinde yapılacak dolgu için tasarlanan basamak geometrisi verilmektedir.

Orijinal topoğrafyada +470 m kotu ile tanımlanmış olan kül döküm sahası sınırları içerisindeki alanın tamamının +470 m kotu seviyesine kadar doldurulması, daha sonra ters basamaklar oluşturularak yükselmesi öngörülmüştür. Yukarıda verilen tasarım parametrelerine göre kül depolama sahasında +470 m kotu üzerinde 20 m yüksekliğinde 2 adet basamak ve 10 m yüksekliğinde 1 basamak oluşturularak +520 m kotuna kadar bir döküm planlanmıştır. Kül döküm sahasının kuzey kısmında +470 m kotu üzerinde yapılacak ilk dolgu basamağının üst kotu +490 m seviyesinde tamamlanacaktır. İkinci dolgu basamağı ise +490 m ile +510 m kotları arasında tasarlanmıştır. 10 m olarak tasarlanan son basamak ise +510 m ile +520 m kotları arasında oluşacaktır. Projelendirilen bu basamakların güney kısmındaki kotları %1 eğimle birlikte kuzeydeki kotlardan 17 m daha düşük olarak gerçekleşecektir. Dolayısıyla sahanın kuzey kısmında oluşturulacak dolgunun en üst kotu +520 m seviyesinde oluşacakken, güney kısmında en üst seviye +503 m kotunda tamamlanmış olacaktır. Yapılan tasarıma göre en üst kot olan +520 m kotuna atığı taşıyan bant konveyör %8 eğim ile ulaşabilmektedir. Hazırlanan tasarıma göre sahanın kuzey kısmında bulunan ve en yüksek kot olan +520 m kotuna bant konveyör 8° eğim ile ulaşabilecektir.

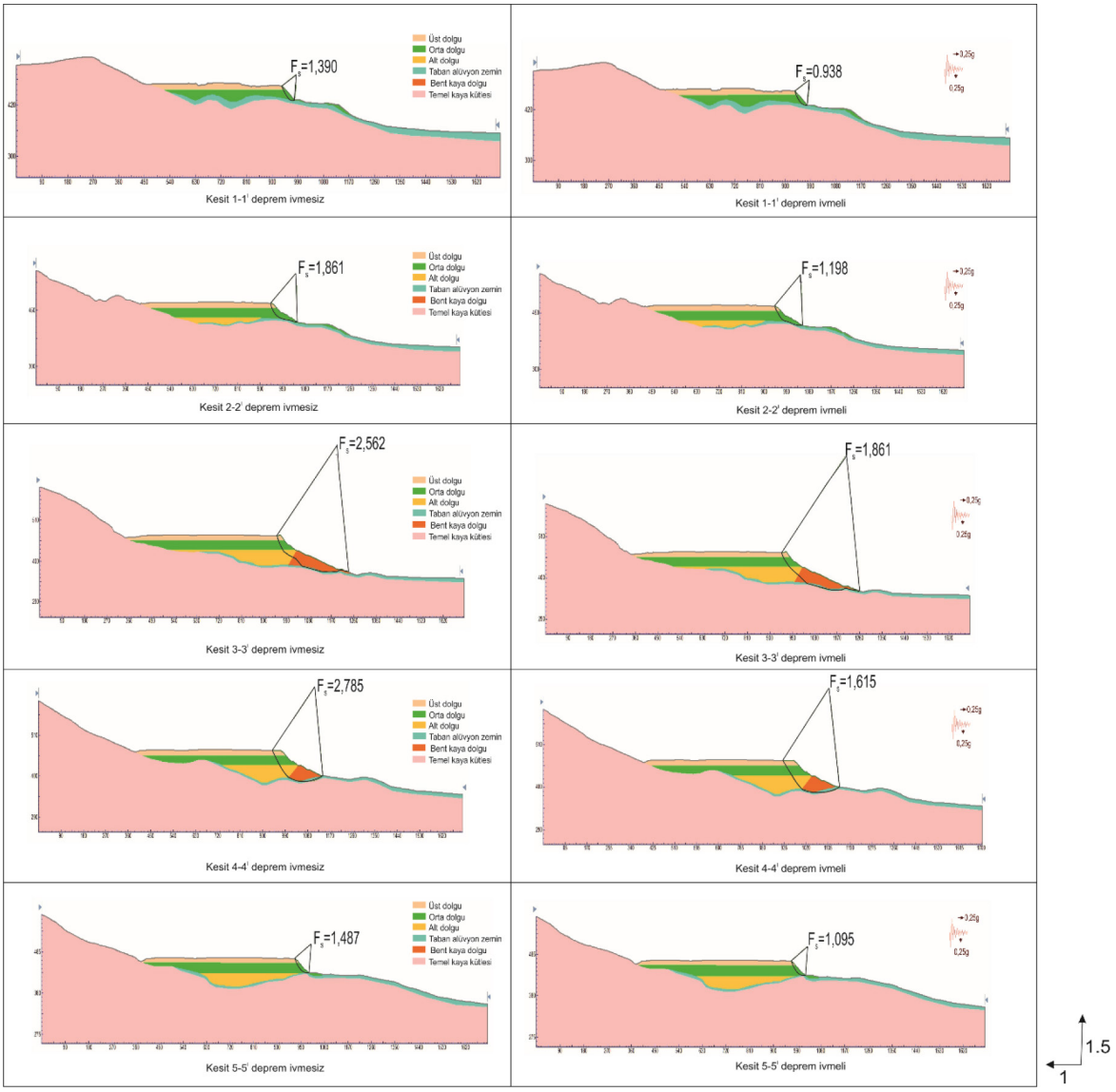


Şekil 8. Şev duraylılık analizleri amacıyla alınan kesit hatlarını gösterir harita.
Figure 8 . Cross-section lines used in slope stability analyses.

Kül döküm sahası için planlanan dolgunun 10m'lik yatay dilimler halinde kapasite miktarları Çizelge 3'de verilmektedir. Kül döküm sahası için +470 m kotu üzerinde tasarımı yapılan dolgunun, plan görüntüleri ise Şekil 11'de verilmiştir.

Planlanan Döküm Sahasının Şev Duraylılığı

+470 m kotu ile 520m kotu arasında planlanan katı atık dolgusunun şev duraylılığı analizleri Şekil 8'de verilen 7 adet kesit üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deprem ivmeli ve deprem ivmesiz olarak gerçekleştirilen bu analizler 1-1' kesit hattında kül dolgusu bulunmadığı için 2-2' kesitinden başlamaktadır. 2-2' ile



Şekil 9. Mevcut durum için gerçekleştirilen şev stabilite analiz sonuçları.
Figure 9. Results of slope stablity analyses for the current situation of solid waste storage area.

7-7' kesitlerinde doğu ve batı yönlerindeki şevler için emniyet katsayıları hesaplanmış, 8-8' kesitinde ise kuzey ve güney yönlerinde bu değerlendirme yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen şev emniyet katsayıları Şekil 12'de toplu olarak verilmiştir. Yapılan şev duraylılığı analizlerine ait en küçük şev emniyet katsayıları Çizelge 4'de toplu halde verilmiştir.

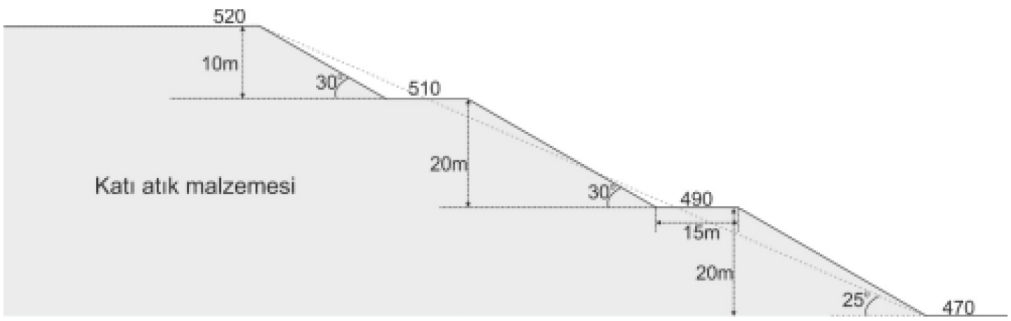
SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Yatağan Termik Santrali mevcut depolama alanına +470 m kotu üzerine dökülecek yeni katı atık malzemesi için uygulama şartları ortaya konmuş ve buna göre +470 m kotu ile +520 m kotu arasında katı atık döküm planı yapılmıştır. Planlama yapılırken oluşturulacak yığının duraylılığı ve çevresel etmenler göz önünde tutulmuştur.

Yapılan planlama sonunda +470 m kotu ile +520 m kotu arasında 39 899 703 m^3 atık malzemenin duraylı bir şekilde depolanabileceği hesaplanmıştır. Bu tasarıma göre deprem ivmeli şev duraylılığı analizlerinde dahi +520m kotuna kadar atık depolanması durumunda en düşük şev emniyet katsayısının 1.205 olduğu ve duraylı bir depolama alanı sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 2. Mevcut durum şev duraylılığı analiz sonuçları.
Table 2. Results of slope stability analyses for the current situation.

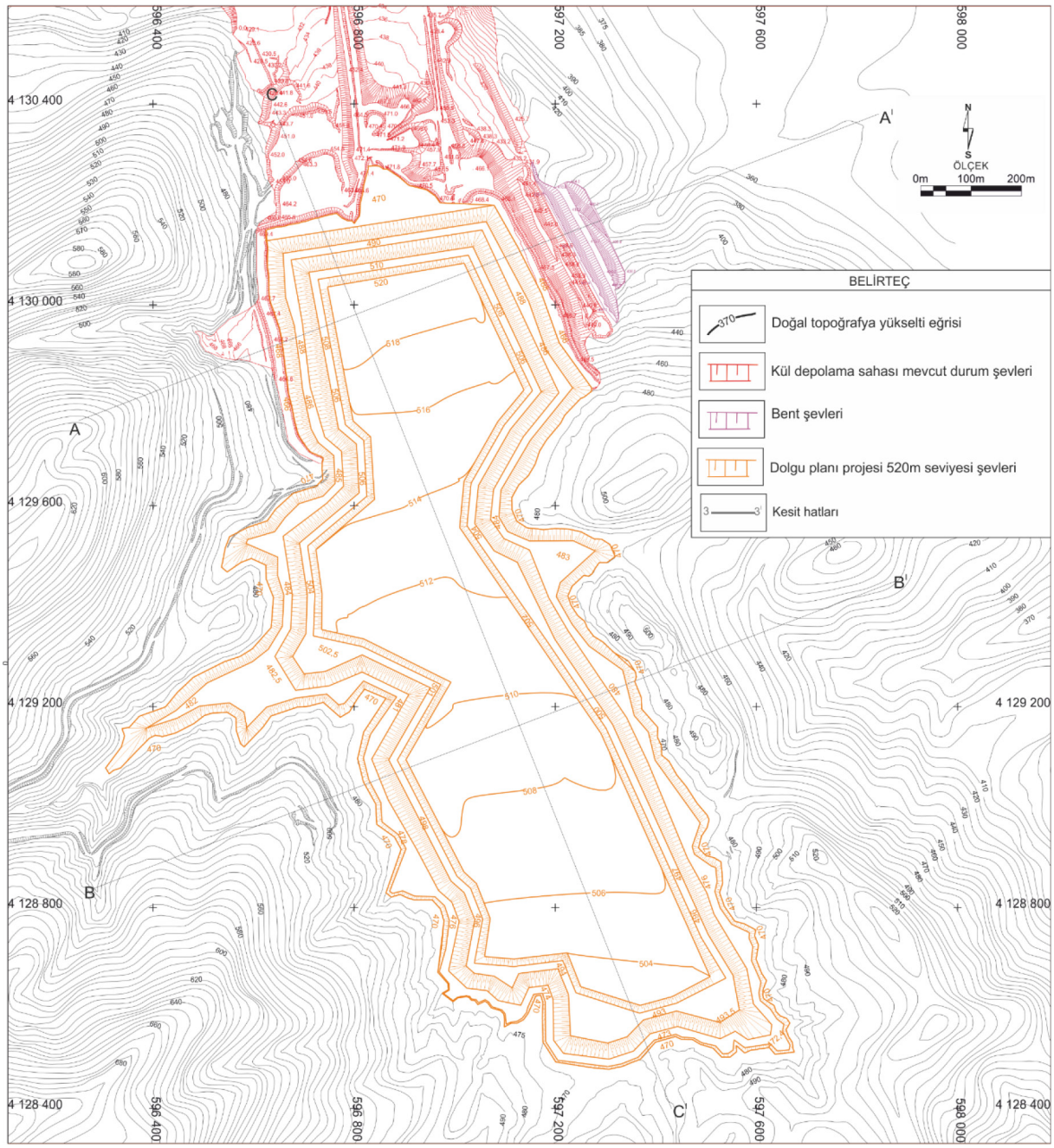
Kesit No	Deprem İvmesiz Min. F_s	Deprem İvmeli Min. F_s
1-1'	1.390	0.938
2-2'	1.861	1.198
3-3'	2.562	1.489
4-4'	2.785	1.615
5-5'	1.487	1.095



Şekil 10. 470m kotu üzeri yapılacak döküm için önerilen basamak geometrisi.
Figure 10. Suggested bench geometry for casting above +470 m elevation.

Çizelge 3. Hazırlanan plana göre atık sahasının depolama kapasitesi.
Table 3. Capacity of waste storage area according to for the new storage plan.

Seviye Kotları (m)	Dolgu miktarı (m^3)	Birikimli (m^3)
440 - 450	743 271	743 271
450 - 460	2 406 468	3 149 741
460 - 470	5 319 759	8 469 500
470 - 480	8 737 442	17 206 942
480 - 490	7 486 656	24 693598
490 - 500	6 282 387	30 975 985
500 - 510	5 194 215	36 170 200
510 - 520	3 729 503	39 899 703
Toplam	**39 899 703**	

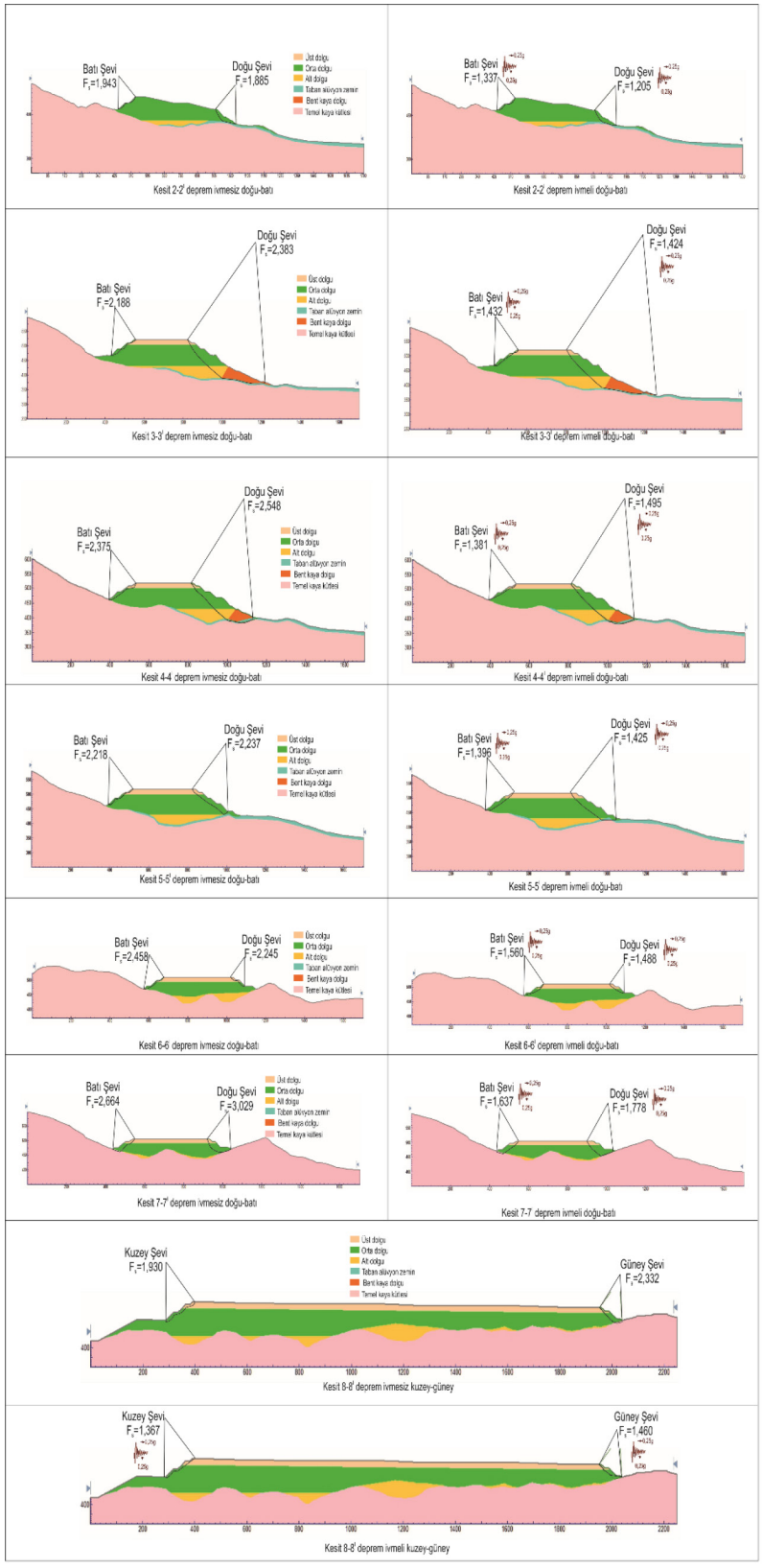


Şekil 11. Katı atı döküm sahası +470 m kotu üzeri için önerilen döküm planı.
Figure 11. Casting plan of solid waste storage for the elevation above +470 m.

Günlük 6250 ton katı atığın ortaya çıktığı Yatağan Termik Santralinde yapılan çalışma sonunda 30 yıllık üretim atığını karşılayacak depolama alanı yaratılmıştır. Bölgedeki kömür rezervinin yaklaşık 30 yıl kaldığı düşünüldüğünde termik santralin başka bir depolama alanına ihtiyaç duymadan bölge kömürlerinin atıklarını bu alanda depolayabilmesi sağlanmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü ile Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş.'nin birlikte yürüttüğü "Yatağan Termik Santrali Kül Döküm Sahası Kapasitesinin Arttırılması Olanaklarının Araştırılması" projesinden üretilmiştir. Yazarlar



Şekil 12. Önerilen katı atık döküm planına göre elde edilen şev emniyet katsayıları.
Figure 10. Factor of safety for the suggested plan of solid waste storage.

Çizelge 4. Planlanan atık sahası projesine göre şev emniyet katsayıları.
Table 4. Factor of safety values for intended waste storage.

Kesit No	Doğu şevi Deprem ivmesiz	Doğu şevi Deprem ivmeli	Batı şevi Deprem ivmesiz	Batı şevi Deprem ivmeli
2-2'	1.885	1.205	1.943	1.337
3-3'	2.383	1.424	2.188	1.432
4-4'	2.548	1.495	2.375	1.381
5-5'	2.237	1.425	2.218	1.396
6-6'	2.245	1.488	2.458	1.560
7-7'	3.029	1.778	2.664	1.637
	Güney şevi Deprem ivmesiz	Güney şevi Deprem ivmeli	Kuzey şevi Deprem ivmesiz	Kuzey şevi Deprem ivmeli
8-8'	2.332	1.460	1.930	1.367

çalışmada her türlü kolaylığı sağlayan Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş. çalışanlarına teşekkür eder. Ayrıca yazarlar makalenin değerlendirilmesi sırasında hakemlerin koydukları katkıdan dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Aslan, A., Özer, N., Süner, Ü., 2009. Soma Termik Santralı uçucu külü içeren çimentolarda radyoaktivite düzeyinin araştırılması. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı,213-220, Muğla.

Erdik, M., Biro, Y.A., Onur T., Sesetyan ve Birgoren G., 1999. Assessment Of Earthquake Hazard In Turkey And Neighboring Regions. Global Seismic Hazard Assessment Program Report.

Ergül, Ş. Günav, V.. Sevinç, V., Özkan, O., 1994. Bentonit katkılı termik santral atık uçucu küllerinin sinterleşme karekterizasyonu. II. Uluslararasi Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı. Cilt I : s 319-326, Türk Seramik Derneği, Eskişehir.

Hoek, E., Bray, J., 1973. Rock Slope Engineering, Inst. Mining and Metall, Londra.

Konak, G., Onur, A. H., Karakuş, D., Köse, H., Koca, Y. ve Yenice, H. 2004. Slope Stability Analysis And Slide Monitoring By Inclinometer Readings: Part 2. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section A. 113 (3) 171-181

Kızgut, S., Çuhadaroğlu, D. & Çolak, K. 2001. Çatalağzı Termik Santralı Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması. Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı. Ankara

Tokyay, M., Erdoğan, T., Yeğinobalı, A., 1990. Termik Santral Küllerinin Çimento ve Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılma İmkanlarının Etüd ve Envanteri Prosesi Ara Raporu, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği, Ankara.

TÜBİTAK MAM ÇE, 2013. Yatağan Termik Santrali Kül Dağı İyileştirme Planının Hazırlanması. Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş., Kocaeli.

Karakuş, D., Onur, A.H., Konak, G., Ozdogan, M.V., Turan, G. 2017. Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş. Yatağan Termik Santrali Kül Döküm Sahası Kapasitesinin Arttırılması Olanaklarının Araştırılması. Proje Raporu. İzmir

Yılmaz, Ş., 1992. Seyitömer Termik Santrali Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.