

KATI ATIK DEPOLAMA SAHALARINDA ŞEV STABİLİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

FACTORS AFFECTING SLOPE STABILITY IN LANDFILLS

Selçuk TOPRAK¹, Oğuz DAL²

ÖZET

Evsel katı atık bertaraf yöntemlerinden biri olan düzenli depolama yöntemi atıkların depolanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çevreye verdiği zararlar bilinmekle birlikte gelişmekte olan pek çok ülkede halen vahşi depolama yöntemi ile de devam edilmektedir. Katı atık depolama sahalarında patlayıcı özelliğe sahip ve aynı zamanda hava kirlenmesinde etkili CH₄ gazı oluşumu problemlerden biridir. İkinci problem de, katı atıklardaki su ile veya atık ve yağmur suyunun katkısıyla da meydana gelen, gerekli önlemler alınmadığı takdirde çevredeki yeraltı sularını ve zemini kirleten sızıntı suyudur. Diğer önemli bir problem de, depolama alanlarında olumsuz ekonomik ve sosyal sonuçlara neden olabilecek şev stabilitesi sorunlarıdır. Evsel katı atık depolama alanlarının şev stabilitesinde yerel zemin koşulları, evsel katı atıkların özellikleri ve sahanın geometrisi rol oynamaktadır. Katı atığın kayma mukavemeti parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı), birim hacim ağırlık özellikleri ile deponun yüksekliği ve şev açısı etkili olan bazı parametrelerdir. Bu çalışmada, katı atık depolama sahalarının stabilitesini etkileyen parametreler irdelenmekte, gerçekleştirilen şev stabilitesi analizleri ile bu parametrelerin etkileri gösterilmektedir. Çıkan sonuçlar katı atık sahalarının rehabilitasyon çalışmaları için önemlidir ve SMARTenvi isimli uluslararası bir proje kapsamında geliştirilen akıllı karar destek sistemlerinde değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık depolama sahası, kayma mukavemeti, rehabilitasyon, limit denge analizleri, şev stabilitesi

ABSTRACT

The landfill method, which is one of the domestic solid waste disposal methods, is widely used in the storage of waste. Although the damage it causes to the environment is known, it is still used in many developing countries with open dumping method. One problem is the formation of CH₄ gas, which has explosive properties and is also effective in air

¹ Prof. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, stoprak@gtu.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Araş. Gör., Gebze Teknik Üniversitesi, odal@gtu.edu.tr

pollution in landfills. The second problem is the leachate, which occurs with the water in the solid wastes or with the contribution of the waste and rainwater and pollutes the groundwater and the ground in the vicinity if the necessary precautions are not taken. Another important problem is slope stability problems that can bring about negative economic and social consequences in landfills. Local soil conditions, characteristics of domestic solid wastes, and geometry of the landfill play a role in the slope stability of domestic landfills. For example, the shear strength parameters of soil and solid waste (cohesion and internal friction angle), unit weight properties, and landfill height and slope are some of the influential parameters. In this study, the parameters affecting the stability of landfills are examined, and their effects are shown with the slope stability analyses carried out. The results are important for the rehabilitation of landfills and will be used in smart decision support systems developed within the scope of the SMARTEnvi international project.

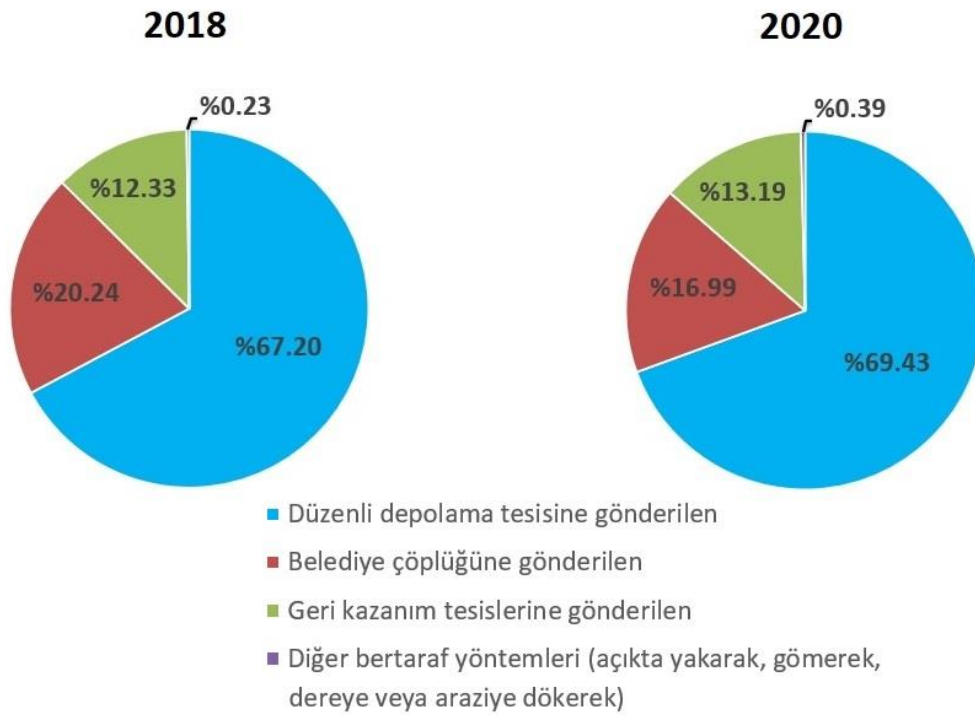
Keywords: *Landfill, shear strength, rehabilitation, limit equilibrium analyses, slope stability*

1. GİRİŞ

Dünyada nüfusun artmasıyla birlikte üretilen evsel katı atık miktarı da her geçen gün artmaktadır. Bunun sonucunda bu atıkların nasıl bertaraf edileceği konusu daha da önem kazanmıştır. Atık bertaraf yöntemlerine örnek olarak geri dönüşüm, kompostlaştırma, yakma, atıkların katı atık depolama sahalarında depolanması verilebilir. Bu yöntemler arasında dünyada en çok kullanılan yöntem, atıkların depolanması yöntemidir (Worldbank, 2021). Vahşi depolama yöntemi başlangıçta ekonomik olarak gözüксе de uzun vadede pahalı bir yöntemdir (UNEP, 2005). Günümüzde her ne kadar düzenli depolama yöntemi kullanımı yaygınlaşmaya başlasa da gelişmekte olan birçok ülkede halen vahşi depolama yöntemi kullanılmaya devam edilmektedir. Ülkemizde de halen vahşi depolama alanları mevcuttur, ancak bu alanların kullanımı her geçen gün azalmaktadır. Türkiye’de 2018 yılında düzenli depolama tesislerine gönderilen belediye atık miktarı oranı %67,2, vahşi depolama sahalarına gönderilen atık miktarı oranı %20.2, geri kazanım tesislerine gönderilen atık miktarı oranı %12.3 ve yakma, gömme, dereye veya araziye dökme gibi diğer bertaraf yöntemleri uygulanan atık miktarı oranı ise %0.2’dir. 2020 yılında ise düzenli depolama alanlarına gönderilen atık miktarı oranı %69,4 iken vahşi depolama alanlarına gönderilen atık miktarı %17.0’dır. Geri kazanım tesislerine gönderilen atık miktarı oranı %13.2 ve yakma, gömme, dereye veya araziye dökme gibi diğer bertaraf yöntemleri uygulanan atık miktarı ise %0.4’tür (Şekil 1) (TÜİK, 2021).

Vahşi depolama yönteminde birtakım problemler mevcuttur. Bunlardan ilki özellikle CH₄ gaz oluşumudur. Atıktaki biyolojik ayrışmalar sonucunda ortaya çıkan gazlardan metan gazı ve diğer gazlar hava kirliliğine ve çöpün üzerinde çeşitli boyutlarda yangına sebep olmaktadır ve gaz birikmesine karşı önlem alınmadığı takdirde atık sahasında patlamalara neden olabilmektedir (Ertürk ve Görgün, 2011). İkinci problem ise sızıntı suyu problemidir. Sızıntı suyu atığın içindeki sudan veya atık ve yağmur suyunun karışımından meydana gelmektedir. Gerekli önlemler alınmazsa bu su, yeraltı sularını ve zemini kirletir. Vahşi depolama sahalarında diğer önemli bir problem ise çevreyi ekonomik ve sosyal açıdan etkileyebilecek olan şev stabilitesi sorunlarıdır.

Burada sunulan çalışma, vahşi kentsel katı atık depolama sahalarıyla ilişkili risklerle ilgili sorunlara çözüm amaçlı yürütülen SMARTenvi kısa adlı bir Avrupa Birliği projesi kapsamında gerçekleştirilmektedir. SMARTenvi projesi, vahşi katı atık depolama sahalarını iyileştirerek çevre ve su kaynaklarımıza yönelik tehlikeleri azaltmak için yenilikçi dijital araçlar, eğitim yöntemleri ve malzemeler geliştirmeyi, denemeyi ve test etmeyi amaçlamaktadır. Projenin çıktıları olan yeni geliştirilecek akıllı karar sistemleri, yeterlilik araçları, çok dilli e-öğrenme platformu, öğrenme modülleri ve akıllı rehberlik el kitabı, sürdürülebilirlikle ve konuyla ilgili çeşitli sektörlerde çözümlere ve yetkinliklerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Projenin hedef kitlesini ilgili sektörlerdeki mühendisler ve diğer teknik personel, karar vericiler ve araştırmacılar oluşturmaktadır. Proje aynı zamanda hedef kitleleri, değişimin gerçek faktörleri haline getirmek için yenilikçi uygulamaların test edilmesini de sağlayacaktır (SMARTenvi, 2021; Toprak vd., 2021a; Toprak vd., 2021b).



Şekil 1. Türkiye 2018 ve 2020 yılı atık bertaraf ve geri kazanım yöntemleri (TÜİK, 2021)

Tarih boyunca katı atık sahalarında değişik sebeplerle birçok şev problemleri meydana gelmiştir. Örneğin 28 Nisan 1993'te İstanbul, Ümraniye'de bulunan bir katı atık sahasında patlama meydana gelmiş ve ardından meydana gelen şev kayması sonucu 30'dan fazla kişi hayatını kaybetmiş ve çevredeki birçok ev hasar görmüştür (Kocasoy ve Curi, 1995). 10 Temmuz 2000'de Filipinler'de bulunan Payatas Katı Atık Sahası'nda iki tayfandan kaynaklanan aşırı şiddetli yağışlar sonrasında şev stabilite problemi meydana gelmiş ve yüzlerce kişi hayatını kaybetmiştir (Merry vd., 2005). Düzenli depolama sahalarında da şev problemleri meydana gelmiştir. Örneğin 27 Eylül 1997'de Kolombiya'da bulunan Dona Juana Düzenli Depolama Sahası'nda boşluk basıncındaki artış sonucu şev kayması meydana gelmiş ve çevresel zarara yol açmıştır (Caicedo vd., 2002). 29 Aralık 2010'da ise Yunanistan'da bulunan Xerolakka Katı Atık Sahası'nda şev kayması meydana gelmiştir. Bunun sonucunda atık sahasındaki katı atık depolama faaliyetleri geçici olarak durmuş ve

atık sahasına erişim yolu kapanmıştır. Bu olayda kayan atık kütesinin hacminin yaklaşık 12000 m³ olduğu tahmin edilmektedir (Athanasopoulos vd., 2013).

Şev stabilitesi geoteknik mühendisliği içerisinde pek çok uygulaması olan konulardan biridir. Kazılar, dolgular, yol ve baraj inşaatları ile katı atık sahaları örnek olarak verilebilir (Nacaroglu vd., 2021). Atık sahalarında şev stabilitesini etkileyen farklı faktörler bulunmaktadır (Pulat ve Aksoy, 2017). Şekil 2, Kocaeli İZAYDAŞ ve Şile-Kömürcüoda düzenli katı atık depolama sahalarını göstermektedir. Atığın kayma mukavemeti parametreleri (kohezyon, içsel sürtünme açısı) ve birim hacim ağırlığı şev stabilitesini etkileyen önemli parametreler arasındadır. Ancak atığın bu parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi pek kolay değildir. Atığın heterojen olması, ilgili depolama sahasına gelen atıkların türlerinin değişimi, numune alma ve deney koşullarındaki değişkenlikler gibi sebeplerden ötürü atığın bu parametreleri literatürde oldukça değişkenlik göstermektedir. Şev yüksekliği ve eğimi şev stabilitesini etkileyen diğer önemli parametrelerdendir. Örneğin, 2010 yılında şev kayması meydana gelen Xerolakka Katı Atık Sahası'nın yüksekliği 30 m iken sahanın üst kısımlarında şev eğimi 1/1.2'ye kadar yükselmektedir (Athanasopoulos vd., 2013). Türkiye'de kullanılan "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" kapsamında yapılan değişiklik ile, katı atık sahasında şev stabilitesini sağlamak ve sahadaki makine ve araçların rahat hareket edebilmesi için atık hücresi ve lot şev eğimi en fazla 1/3 olarak yapılmalıdır (ÇŞB, 2010). Ancak pek çok ülkede katı atık saha bulma ve düzenleme sıkıntıları arttıkça şev açısını arttırma ve atık sahayı yükseltme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Katı atık sahasının bulunduğu bölgenin sismik açıdan aktif bir bölge olması durumunda, sahaya gelecek olan deprem etkisinin de şev stabilitesi hesaplarında dikkate alınması önem taşımaktadır (Çelebi vd., 2000; Toprak ve Dal, 2021). Mevcut çalışmada SMARTEnvi projesinin fikri çıktılarından biri olan akıllı karar sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılması amacıyla şev stabilitesini etkileyen faktörler göz önüne alınarak parametrik şev stabilize analizleri gerçekleştirilmiştir.

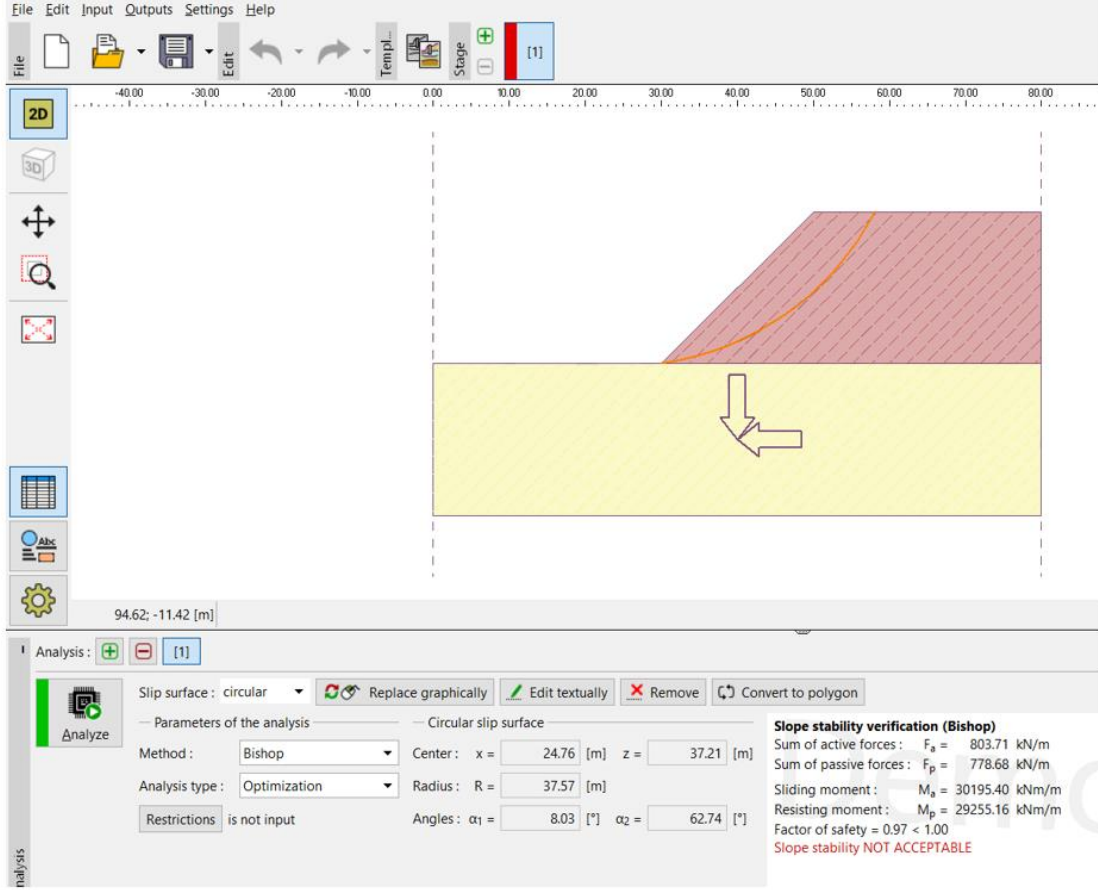


Şekil 2. Kocaeli İZAYDAŞ ve İSTAÇ Şile-Kömürcüoda Düzenli Katı Atık Depolama Sahaları

2. ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ

Şev stabilitesi analizleri statik ve deprem yüklemesi durumları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Deprem etkilerinin modellenmesi amacıyla Mononobe-Okabe yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayıları (k_h ve k_v) olarak iki parametreden yararlanılmaktadır. Statik ve dinamik analizlerde şev stabilitesini etkileyen parametreler olarak şev yüksekliği ve açısı, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığı kullanılmıştır. Şev stabilitesi analizleri GEO5 yazılımı (GEO5, 2022) ile Bishop yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem yaygın olarak tercih edilmekte ve dairesel kayma

yüzeyi analizi yapılabilir (Caicedo vd., 2002; Bouazza ve Wojnarowicz, 2000). Analizlerde şev yüksekliği 10-60 m arasında değişmekte iken şev açısı 1 düşey:1 yatay (1D:1Y) (45°), 1 düşey:2 yatay (1D:2Y) (26.57°) ve 1 düşey:3 yatay 1D:3Y (18.43°) olarak ele alınmıştır. Şekil 3 GEO5 yazılımı kullanılarak yapılan bir şev stabilite analizini göstermektedir.



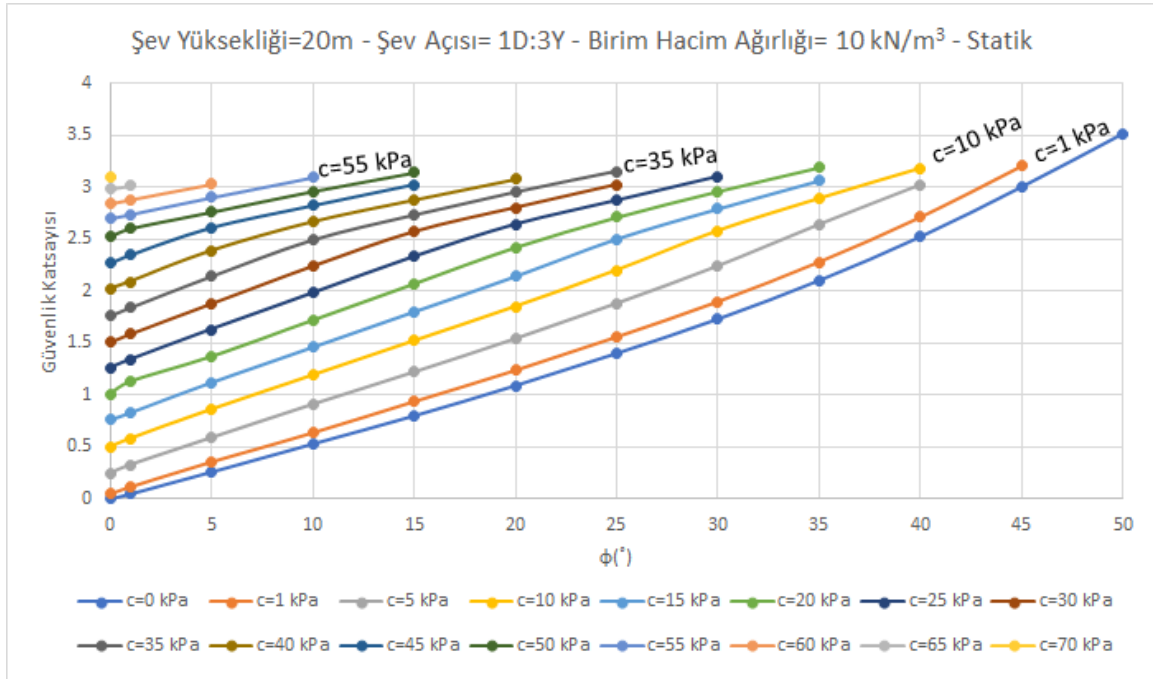
Şekil 3. GEO5 yazılımı kullanılarak yapılan bir şev stabilite analizi örneği

2.1. Şev Açısı, Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısının Güvenlik Katsayısına Etkisi

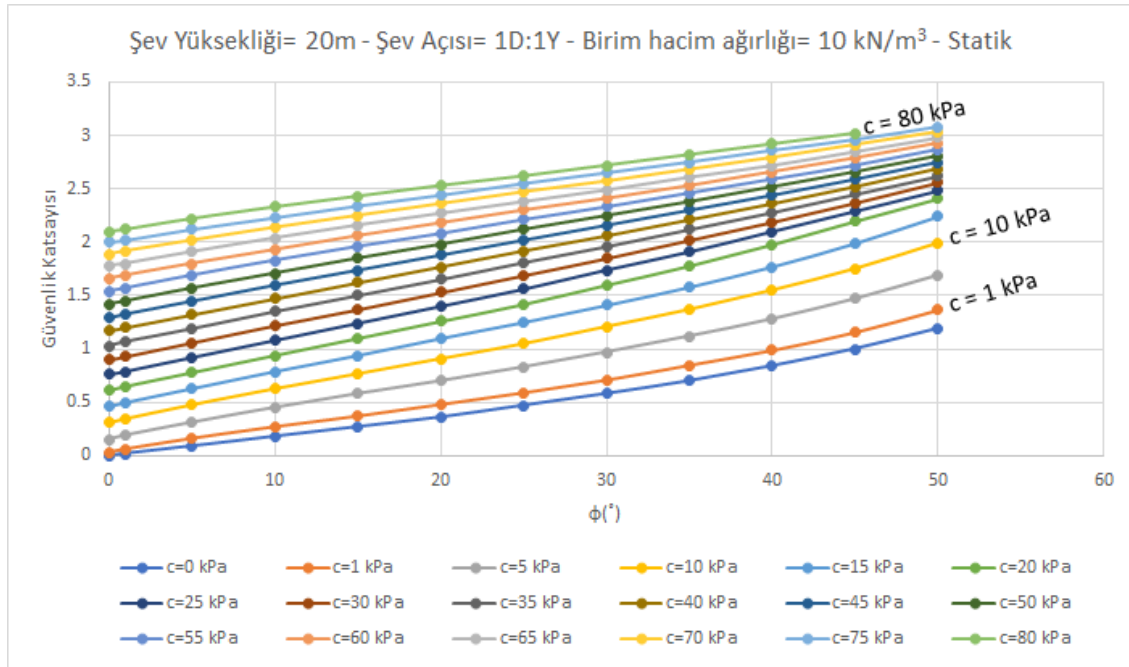
Şekil 4, yapılan pek çok analiz içerisinde örnek olarak, 20 m şev yüksekliği, 1 düşey:3 yatay (1D:3Y) (18.43°) şev açısı ve 10 kN/m^3 atık birim hacim ağırlığı olması durumunda statik koşullarda farklı kohezyon ve içsel sürtünme açılarına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayılarını göstermektedir. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı arttıkça güvenlik katsayısı artmaktadır. İçsel sürtünme açısı yaklaşık 26.5° veya daha yüksek olduğunda kohezyondan bağımsız olarak güvenlik katsayısı değeri daima 1.5'tan büyük olmaktadır. İçsel sürtünme açısından bağımsız olarak ise kohezyonun 30 kPa değerinden fazla olması durumunda güvenlik katsayısı değeri 1.5'tan büyük olmaktadır.

Şekil 5 ise benzer analizlerin sonuçlarını şev açısının 1 düşey:3 yatay (1D:3Y) (18.43°) değerinden 1 düşey:1 yatay (1D:1Y) (45°) değerine yükseltildiği durumda yine 20 m şev yüksekliği ve 10 kN/m^3 atık birim hacim ağırlığı olması durumu için göstermektedir. Sonuçlar statik koşullarda farklı kohezyon ve içsel sürtünme açılarına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayılarını vermektedir. Bu durumda kohezyondan bağımsız olarak güvenlik katsayısı değerinin 1.5'tan büyük olması için içsel sürtünme açısının 50° üzerinde

yüksek bir değere ulaşması gerekmektedir. İçsel sürtünme açısından bağımsız olarak ise kohezyonun yaklaşık 55 kPa değerinden daha fazla olması durumunda güvenlik katsayısı değeri 1.5'tan büyük olmaktadır.



Şekil 4. 20 m şev yüksekliği, 1D:3Y şev açısı ve 10 kN/m³ atık birim hacim ağırlığı için statik koşullarda farklı kohezyon ve içsel sürtünme açılarına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayıları grafiği

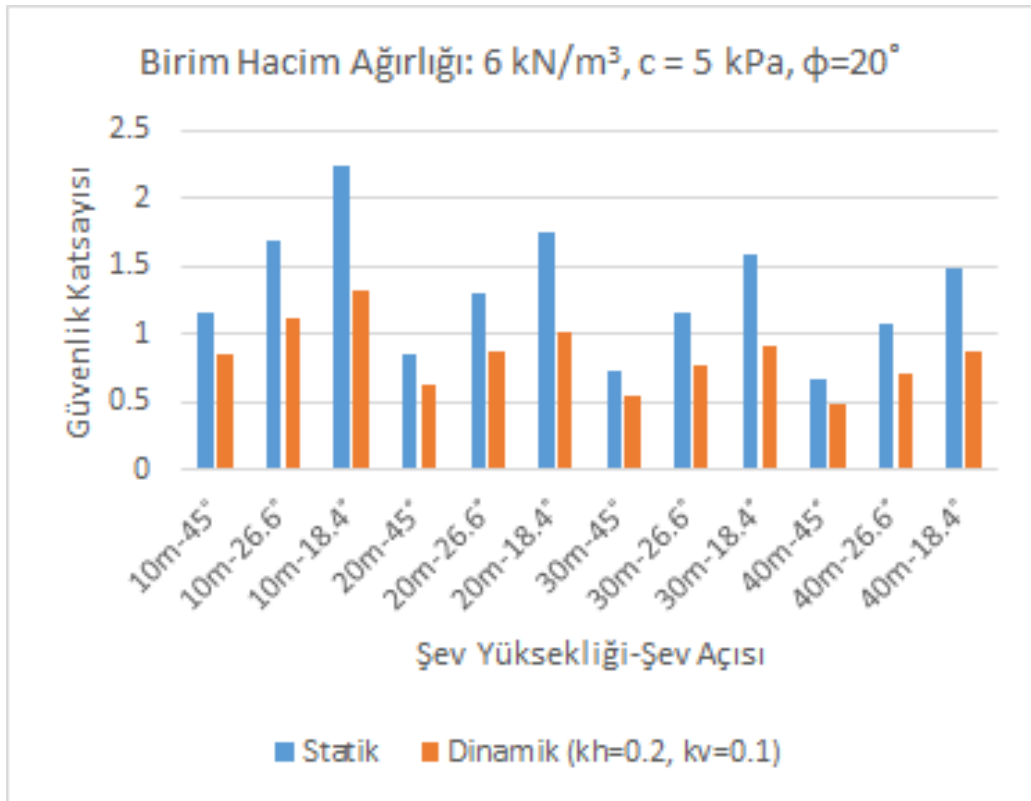


Şekil 5. 20 m şev yüksekliği, 1D:1Y şev açısı ve 10 kN/m³ atık birim hacim ağırlığı için statik koşullarda farklı kohezyon ve içsel sürtünme açılarına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayıları grafiği

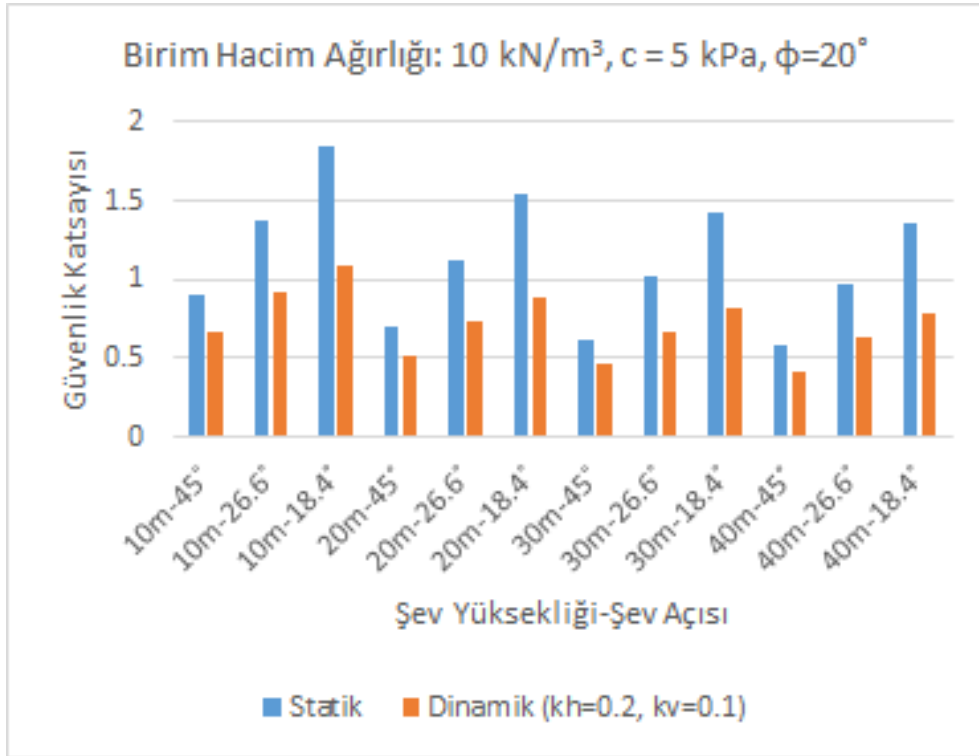
Şekil 4 ve 5 karşılaştırıldığında şev açısı yükselmesinin güvenlik katsayılarının değişimine etkisi görülmektedir. Ayrıca, güvenlik katsayısının 1.5'tan büyük olabilmesi için gerekli kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri de şev açısı yükseldikçe artmaktadır.

2.2. Şev Yüksekliği ve Açısı, Birim Hacim Ağırlığı ile Yatay ve Düşey Eşdeğer Deprem Katsayısının Güvenlik Katsayısına Etkisi

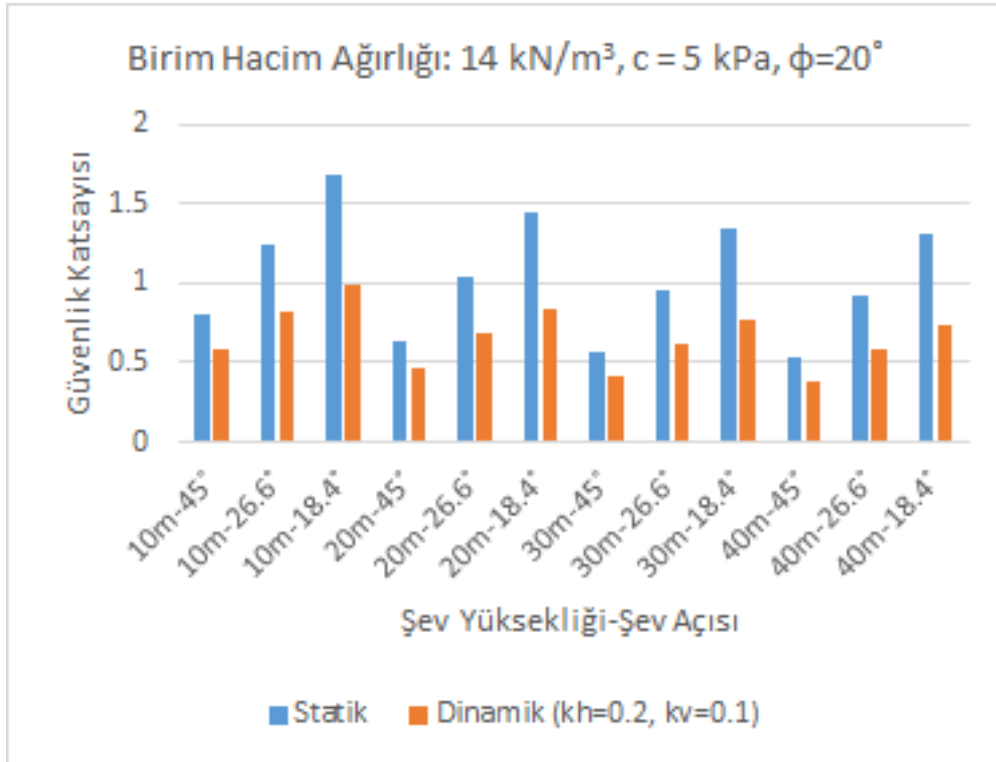
Şekiller 6, 7 ve 8, sahadaki katı atığın kayma mukavemeti parametrelerinden kohezyon değerinin 5 kPa ve içsel sürtünme açısının 20° olduğu tipik bir durum için, saha yüksekliğinin 10 m, 20 m, 30 m ve 40 m, şev açısının 1D:1Y (45°), 1D:2Y (26.57°) ve 1D:3Y (18.43°), atığın birim hacim ağırlığının da 6, 10 ve 14 kN/m³ olarak değiştirildiği durumlar için güvenlik katsayısı değerlerini göstermektedir. Sonuçlar hem statik hem de dinamik ($k_h=0.2$, $k_v=0.1$) koşullar için elde edilmiştir.



Şekil 6. Farklı şev yüksekliği ve şev açıları ve 6 kN/m³ atık birim hacim ağırlığı, 5 kPa kohezyon, 20° içsel sürtünme açısı için statik ve dinamik koşullarda elde edilen güvenlik katsayıları grafiği



Şekil 7. Farklı şev yüksekliği ve şev açıları ve 10 kN/m^3 atık birim hacim ağırlığı, 5 kPa kohezyon, 20° içsel sürtünme açısı için statik ve dinamik koşullarda elde edilen güvenlik katsayıları grafiği

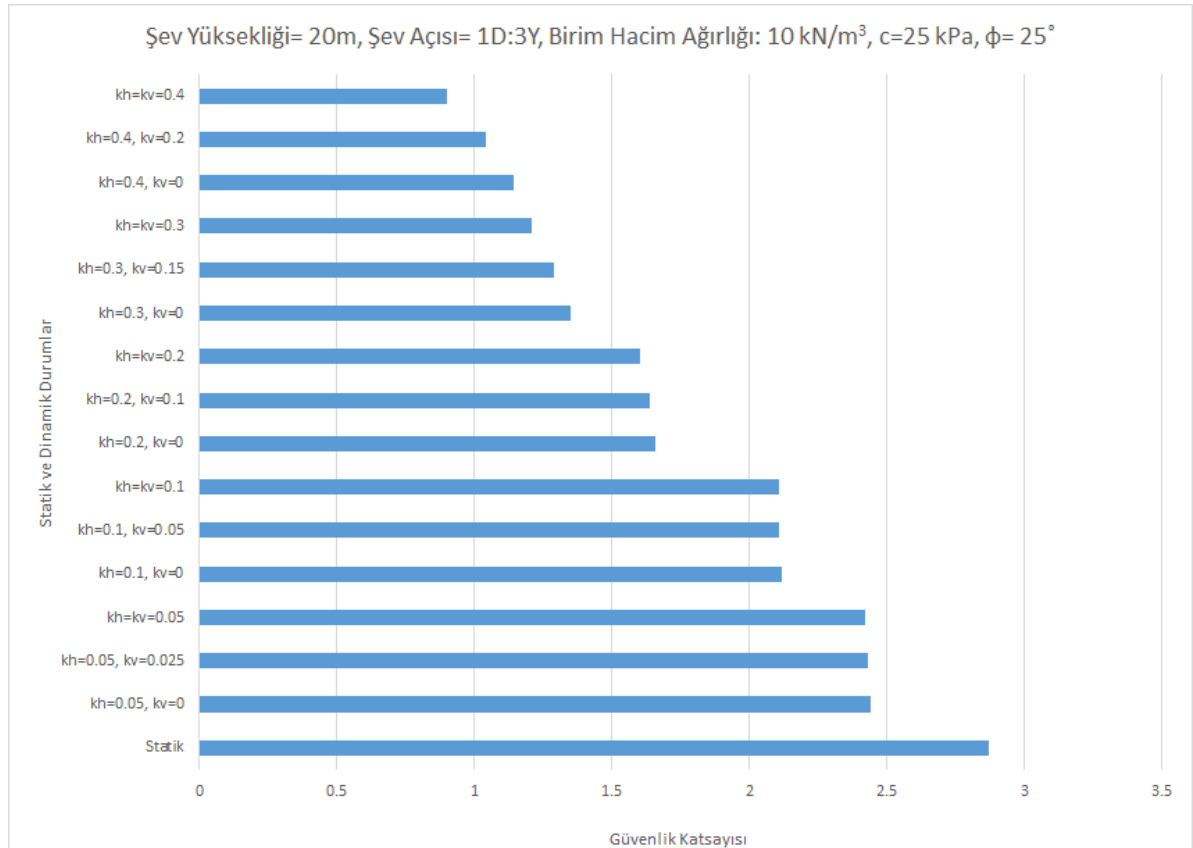


Şekil 8. Farklı şev yüksekliği ve şev açıları ve 14 kN/m^3 atık birim hacim ağırlığı, 5 kPa kohezyon, 20° içsel sürtünme açısı için statik ve dinamik koşullarda elde edilen güvenlik katsayıları grafiği

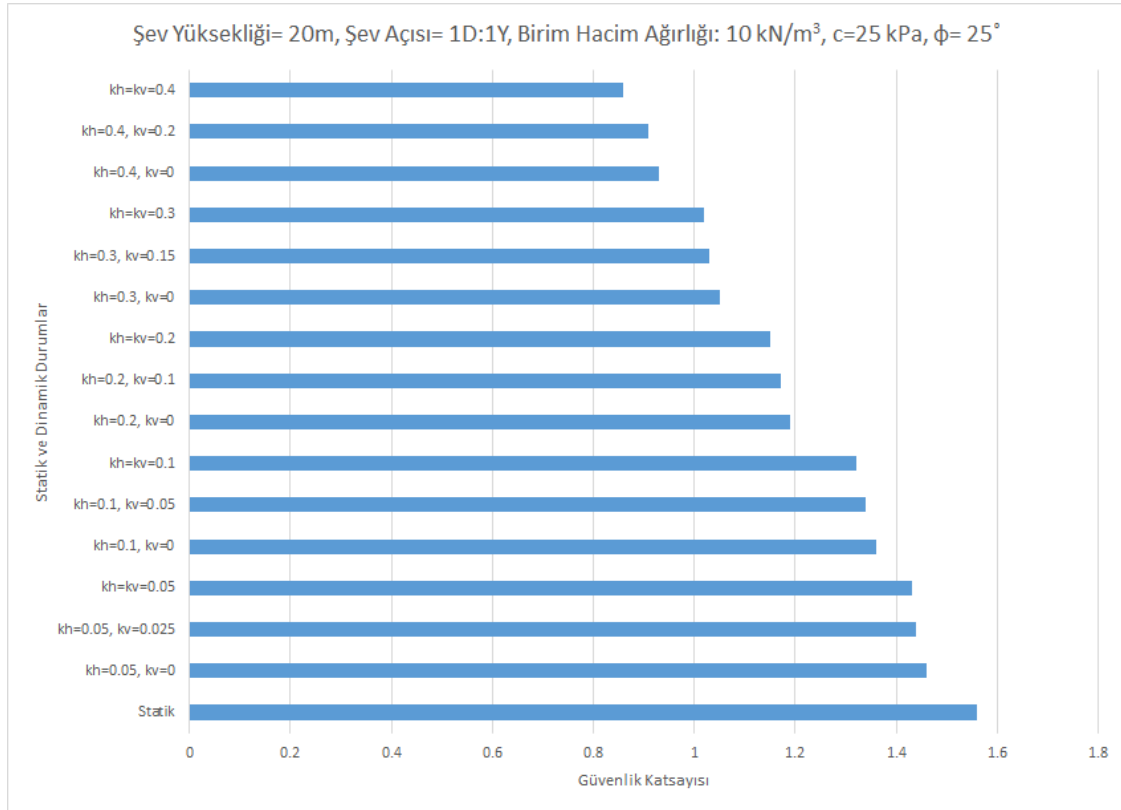
Şekiller incelendiğinde şev yüksekliğinden bağımsız olarak, şev açısının artmasıyla statik ve dinamik durum için elde edilen güvenlik katsayısının düştüğü görülmektedir. Ayrıca şev açısı sabit kaldığı durumda şev yüksekliğinin artmasıyla da aynı şekilde güvenlik katsayısı düşmektedir. Ek olarak, birim hacim ağırlığının yükselmesi sonucunda da güvenlik katsayısı azalmaktadır.

Statik ve dinamik durum incelendiğinde statik açıdan güvenli olan bir şevin bazı dinamik yüklemeler altında güvenli olmayabileceği durumlar olmaktadır. Örneğin, Şekil 8’de görülen 10m şev yüksekliği ve 18.4 derecelik şev açısına sahip bir sahada statik durumda 1.5 üzeri güvenlik katsayısı elde edilmişken, deprem yüklemesi altında 1’den düşük bir güvenlik katsayısı elde edilmiştir. Fakat Şekil 6’da aynı şev yüksekliği ve şev açısına bakıldığında statik ve dinamik durum değerleri sırasıyla 2.23 ve 1.31 olarak elde edilmiş olup iki durumda da güvenli konumdadır. Bu durum atığın birim hacim ağırlığının önemini net bir biçimde ortaya koymaktadır.

20 m şev yüksekliği, 1D:3Y (18.43°) ve 1D:1Y (45°) şev açıları ve 10 kN/m³ atık birim hacim ağırlığı için statik durum ve farklı yatay (k_h) ve düşey (k_v) eşdeğer deprem katsayısı değerleri ile ifade edilen dinamik durum için elde edilen güvenlik katsayılarının grafiği Şekiller 9 ve 10’da görülmektedir.



Şekil 9. 20 m şev yüksekliği, 1D:3Y şev açısı ve 10 kN/m³ atık birim hacim ağırlığı için statik ve dinamik koşullarda elde edilen güvenlik katsayıları grafiği



Şekil 10. 20 m şev yüksekliği, 1D:1Y şev açısı ve 10 kN/m³ atık birim hacim ağırlığı için statik ve dinamik koşullarda elde edilen güvenlik katsayıları grafiği

Şekiller 9 ve 10'a göre yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayıları arttıkça güvenlik katsayısının düştüğü görülmektedir. Yatay deprem katsayısının güvenlik katsayısına etkisi, düşey deprem katsayısına göre çok daha fazla olmaktadır. Ayrıca, sonuçlar incelendiğinde dinamik durumdaki güvenlik katsayısı değerinin, statik durumdaki güvenlik katsayısının yarısı, hatta yarısından daha düşük olabileceği görülmektedir. Bu bakımdan, fay hattına yakın bölgelerde bulunan katı atık sahalarında şev stabilite analizleri ve hesaplarında deprem etkisinin dikkate alınması büyük önem arz etmektedir. İlaveten, sonuçlar göstermektedir ki şev açısının artmasıyla statik ve dinamik güvenlik katsayıları düşmektedir. Şekiller 9 ve 10'da görüldüğü gibi statik durumda şev açısının 1D:3Y (18.43°) 'den 1D:1Y (45°)'ye yükselmesiyle güvenlik katsayısı 2.87'den 1.56'ya düşerken, dinamik bazı durumlarda da güvenlik katsayısında neredeyse yarı yarıya düşüş (%41) gözlenmiştir.

3. SONUÇLAR

Dünyada nüfusun artmasıyla birlikte üretilen evsel katı atık miktarı da her geçen gün artmaktadır. Atıkların azaltılması çalışmaları her ne kadar hızlansa bile halen dünyada en çok kullanılan bertaraf yöntemi, atıkların depolanması yöntemidir. Gelişmiş ülkelerde uzun zamandır düzenli depolamaya geçilmiştir, fakat gelişmekte olan birçok ülkede halen vahşi depolama yöntemi kullanılmaya devam edilmektedir. Mevcut çalışmada katı atık depolama sahalarının şev stabilitesine etki eden faktörler karşılaştırmalarla sunulmuş, faktörlerin önem dereceleri gösterilmiştir. Ayrıca statik durumda şev stabilitesi açısından güvenli olarak görünen katı atık sahalarında, deprem etkisiyle birlikte güvensiz durum oluşabilmektedir. Gerçekleştirilen analizlerin sonuçları, katı atık sahalarının rehabilitasyonu ve mevcut olanların güvenli bir şekilde daha uzun süreli kullanılması açısından önemlidir.

İlaveten, sonuçların SMARTEnvi uluslararası projesinin fikri çıktılarından biri olan akıllı karar sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılarak katı atık sahalarının planlanmasına ve katı atık yönetimine katkı koyması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Buradaki çalışmalar Avrupa Komisyonu Erasmus+ programı tarafından desteklenen 2020-1-TR01-KA226-VET-098150 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ancak burada yer alan görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz.

KAYNAKLAR

- Athanasopoulos, G., Vlachakis, V., Zekkos, D. ve Spiliotopoulos, G. (2013), "The December 29th 2010 Xerolakka municipal solid waste landfill failure", In Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris, 309-312.
- Bouazza, A., Wojnarowicz, M. (2000), "Stability assessment of an old domestic waste slope in Warsaw (Poland)", In: Proceedings of Slope Stability 2000, sessions of Geo-Denver 2000, 48-57.
- Caicedo, B., Giraldo, E., Yamin, L. ve Soler, N. (2002), "The landslide of Dona Juana landfill in Bogota. A case study", In Proceedings of the Fourth International Congress on Environmental Geotechnics, Rio de Janeiro, Brazil, 171-175.
- Çelebi, M., Toprak, S., Holzer, T. (2000), "Strong-motion, site-effects, and hazard issues in rebuilding Turkey: In light of the 17 August, 1999, earthquake and its aftershocks", International Journal for Housing Science and Its Applications, Vol 24, 21-38.
- ÇŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) (2010), Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 26/03/2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete. <http://www.resmigazete.gov.tr>, (Erişim tarihi: 19 Temmuz, 2022).
- Ertürk, M.C., Görgün, E. (2011), "Türkiye'deki Düzensiz Çöp Döküm Sahalarının Islahında Güncel Bir Örnek: Mersin Çavuşlu Çöp Depolama Sahasının Rehabilitasyonu", Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 3, 200-208.
- GEO5 (2022), "GEO5 - User Guide", Fine spol s r.o. , <https://www.finesoftware.eu/user-guides/> .
- Kocasoy, G., Curi, K. (1995), "The Ümraniye-Hekimbaşı open dump accident", Waste Management and Research, Vol 13, No 4, 305–314.
- Merry S.M., Kavazanjian Jr, E. ve Fritz, W.U. (2005), "Reconnaissance of the July 10, 2000, Payatas Landfill Failure", Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, Vol 19, No 2, 100–107.
- Nacaroğlu, E., Toprak, S., İmançlı, G., Şenay, O., Yağcıoğlu, B. (2021), "An Ecological Method For Increasing Slope Stability: Planting", 6th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, 1175-1184.
- Pulat, H.F., Aksoy, Y.Y. (2017), "Türkiye Kentsel Katı Atık Kompozisyonunun Kayma Mukavemeti Özellikleri ve Şev Duraylılığının İncelenmesi", Teknik Dergi, Vol 28, Issue 1, 7703-7724.
- SMARTEnvi (2021). <https://smart-envi.gtu.edu.tr/>
- Toprak, S., Agdag, O.N., Cetin, B., De Angelis, E., Pikon, K., Kujumdzieva, A., Petrova, V., Panaitescu, C., Degirmenci, R., Frulla, D., Dal, O., Balcik, C., Yilmaz Cincin, R.G., De Angelis, K., Dinu, F., Nedeva, T., Kaplan, Y., Agdag, F., Bogacka, M. (2021a), "A Project

on Reducing Risks Associated With MSW Open Dumps”, 6th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, 1316-1325.

Toprak, S., Cetin, B., Agdag, O.N., De Angelis, E., Górski, M., Kujumdzieva, A., Petrova, V., Panaitescu, C., Degirmenci, R., Frulla, D., Yilmaz Cincin, R.G., Balcik, C., Picon, K., Dinu, F., Nedeva, T., Kaplan, Y., Dal, O., De Angelis, K., Agdag, F. (2021b), “A Joint Effort to Reduce Hazards to the Environment and Water Resources by Rehabilitating Open Dumps”, 14th International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Toprak, S., Dal, O. (2021). “An Online Geographical Information System for Earthquake Damage Observations of Industrial and Port Facilities”, 6th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, 1262-1271.

TÜİK (2021), “ Atık İstatistikleri, 2020”, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>, Erişim Tarihi: 05.07.2022

UNEP (2005), “Closing an open dumpsite and shifting from open dumping to controlled dumping and to sanitary landfilling, training module”, United Nations Environment Programme.

Worldbank (2021), https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
c	Kohezyon	1D:1Y	1 Düşey:1 Yatay
ϕ	İçsel sürtünme açısı	1D:2Y	1 Düşey:2 Yatay
k_h	Yatay eşdeğer deprem katsayısı	1D:3Y	1 Düşey:3 Yatay
k_v	Düşey eşdeğer deprem katsayısı	m	metre