Bursa Çevreyolu Km: 5+520 – 5+570 Heyelanı

Landslide at Km: 5+520 – 5+570 of Bursa Ringroad

S. Miraç KARADEMİR[1] **Özgür KURUOĞLU[2]** **M. Kemal AKMAN[3]**

ÖZ

"Bursa Çevre Yolu, Yalova Ayrımı – Turanköy Köprülü Kavşağı (Km: 2+000 – 27+148) İnşaatı" işi güzergahında kazı çalışmaları tamamlanmış olan Km: 5+350 – 5+640 yarmasının sol şevlerinin Km: 5+520 – 5+570 aralığında bir kütle hareketi meydana gelmiştir. Bu makale kapsamında öncelikli olarak heyelanın mekanizması açıklanmış, daha sonra heyelan önleme projesi kapsamında geliştirilen iki değişik stabilizasyon yöntemi (topuk dolgusu ve kazıklı dayanma yapısı) ile ilgili stabilite analizi detayları tartışılmıştır.

ABSTRACT

A landslide has occured on the already completed cut slopes of the Bursa ringroad at Km: 5+520 – 5+570. Landslide mechanism is introduced and stability analyses of two alternative stabilization methods (replacement fill and piled retaining wall) are introduced in scope of this article.

1. GİRİŞ

"Bursa Çevre Yolu, Yalova Ayrımı – Turanköy Köprülü Kavşağı (Km: 2+000 – 27+148) İnşaatı" işi güzergahında kazı çalışmaları tamamlanmış olan Km: 5+350 – 5+640 yarmasının sol şevlerinin Km: 5+520 – 5+570 aralığında bir kütle hareketi meydana gelmiştir (Şekil – 1 ve Şekil – 2). Mevcut projesi gereği 5 / 2 (h/V) oranında açılmış olan yarma sol şevi yüksekliği sorunun oluştuğu Km: 5+520 – 5+570 aralığında h_{max} = 16.00 metredir. İlk olarak 2003 yılında sığ ve yersel kütle hareketi şeklinde oluşan hareketlenme, Temmuz 2006 tarihinde boyu yaklaşık 110.0 metreyi, kalınlığı ise 11.0 metreyi bulan bir kütle hareketi halini almıştır. Bu makale kapsamında, heyelan

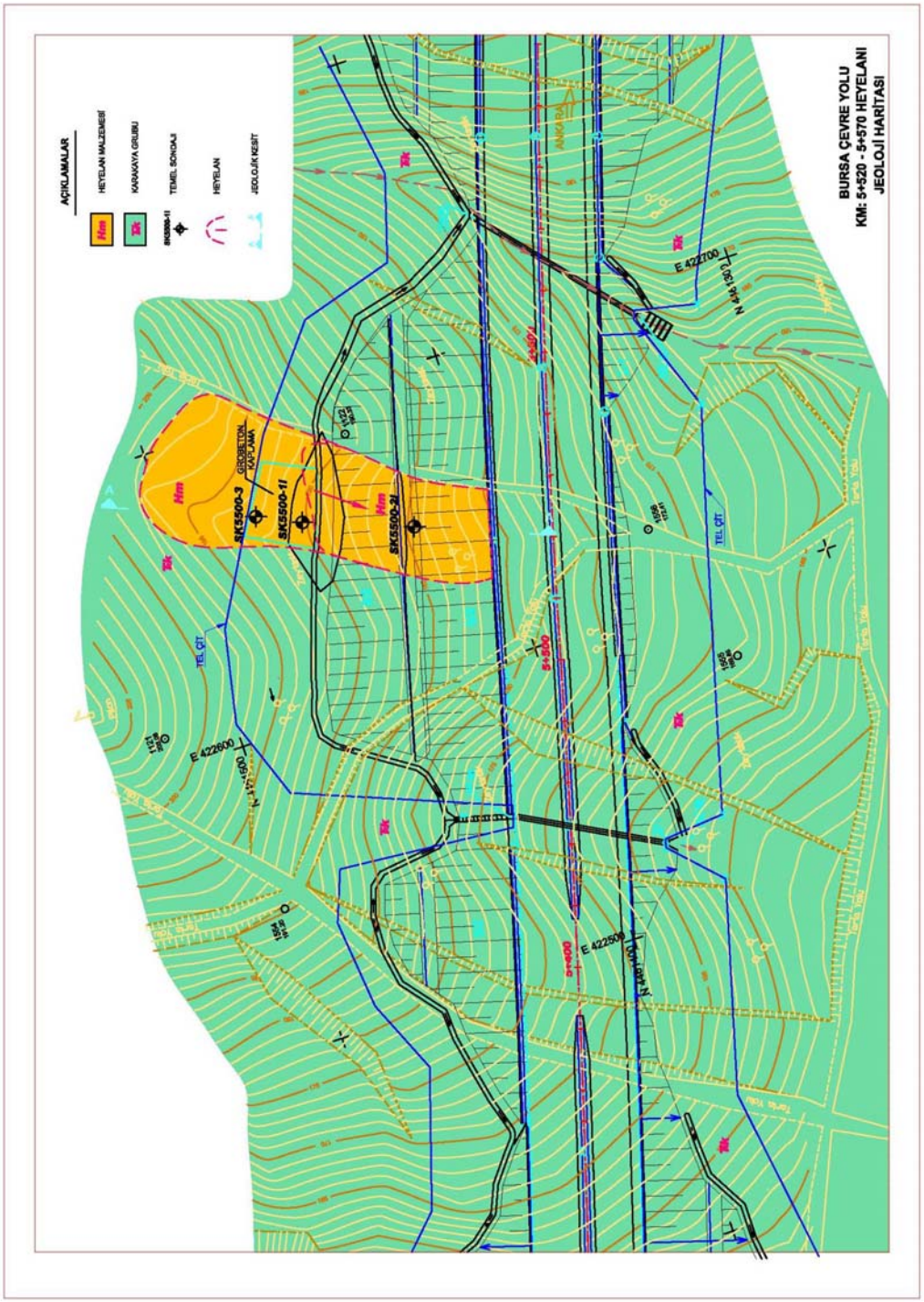
[1] İnş. Müh., Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara
[2] Dr. İnş. Yük. Müh., Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara
[3] Jeo. Yük. Müh., Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara

mekanizması açıklanacak ve heyelanın önlenmesi için geliştirilen önlem çalışmaları ile ilgili bilgi verilecektir.

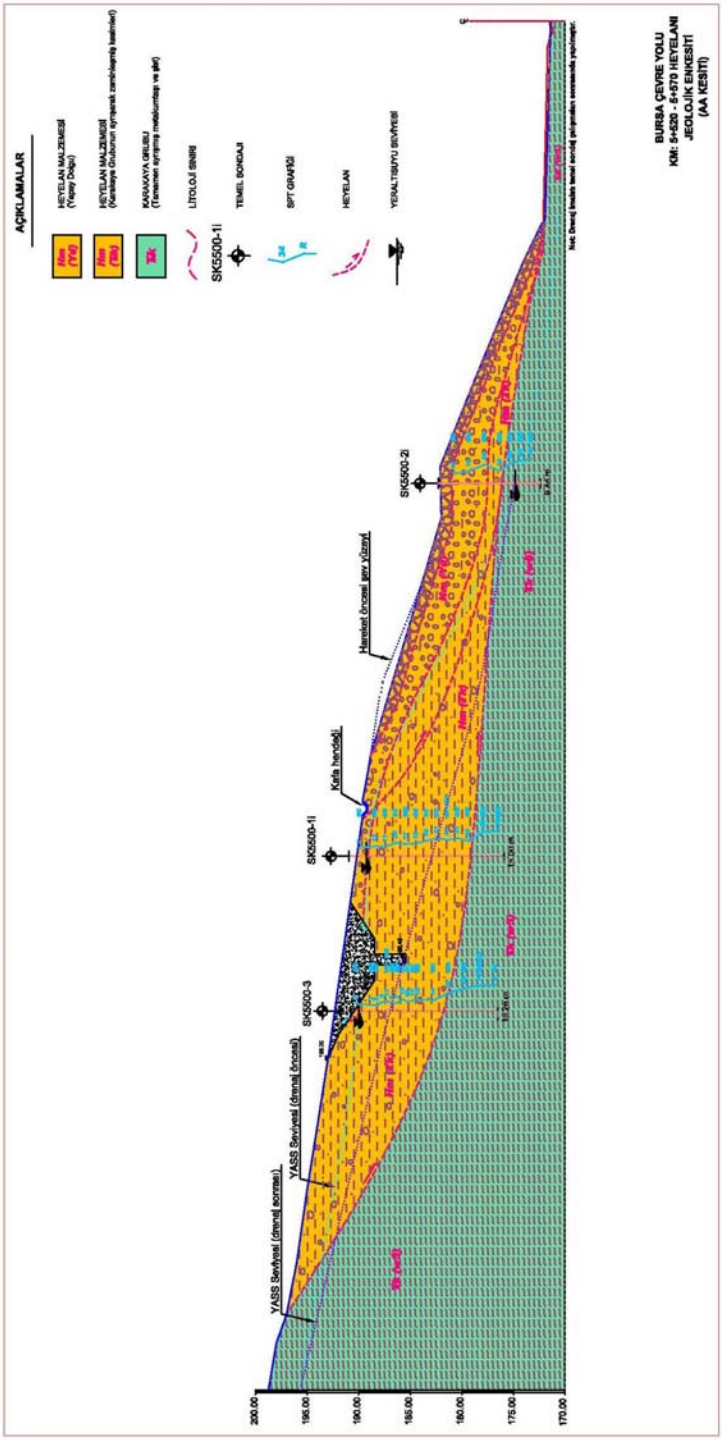
2. HEYELAN MEKANİZMASI VE ZEMİN KOŞULLARI

Bölgede oluşan heyelanlı kesimin jeolojik açıdan detaylandırılması ve heyelan mekanizmasının belirlenmesi amacıyla üç lokasyonda toplam 39.71 metre temel sondajı yapılmıştır. Kayma düzleminin derinliğinin, hareketin yönünün ve hızının net olarak belirlenmesi amacıyla iki kuyuya toplam 24.0 metre inklonometre borusu yerleştirilmiş ve kuyulardaki hareket periyodik olarak ölçülmüştür. Tipik inklonometre ölçüm grafikleri Şekil – 3' te verilmiş olup, grafiklerden görüleceği üzere kayma yüzeyi derinliği inklonometre yardımı ile çok hassas bir şekilde tespit edilebilmektedir. Araştırma çalışmaları sonucunda belirlenen heyelan geometrisi Şekil – 1 ve Şekil – 2' de gösterilmektedir. Şekillerden görüleceği üzere, kütle hareketinin oluştuğu Km:5+350 - 5+640 yarması sol şevi tümü ile metakumtaşı – şist türü kayaçlardan kurulu Karakaya grubu içerisinde açılmıştır. Birim bu kesimde, etkin sıkışma tektonizması ve kayaç gruplarının mekanik özelliklerine bağlı olarak parçalı ve ayrışarak zeminleşmiş bir yapı sergilemektedir.

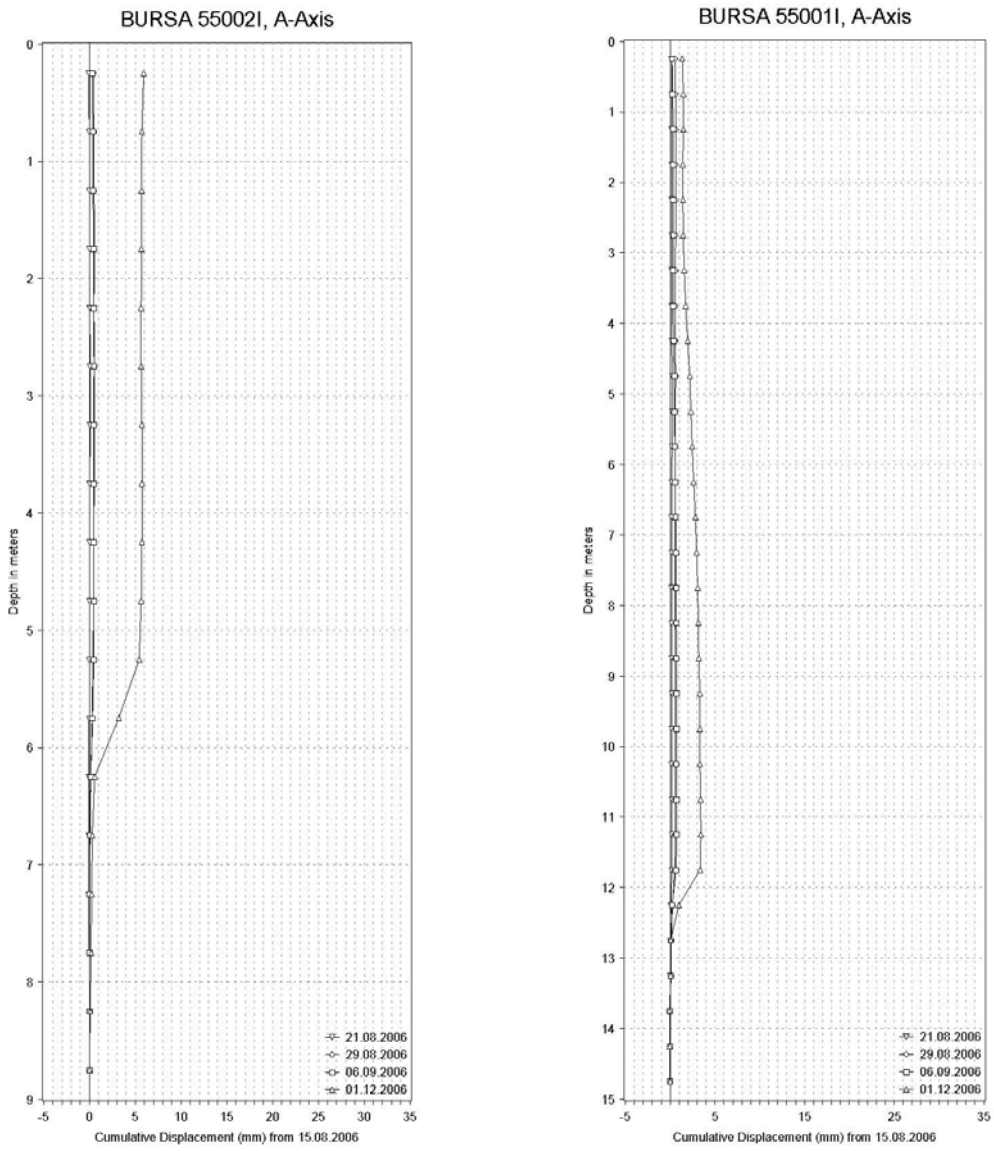
Heyelan, kayanın tümüyle ayrışarak zeminleşmiş kesimleri içinde ve metakumtaşı – şist seviyelerinin kontak bölgesinde oluşmuştur. Yapılan araştırma çalışmaları sonucunda heyelanı tetikleyen en önemli faktörün etkin yüzey ve yeraltı suyu hareketi olduğu sonucuna varılmıştır. Birim içerisinde yer alan metakumtaşı düzeyleri boyunca etkin olan yeraltı suyu hareketi, geçirimsiz nitelikli şist seviyeleri üzerinde hidrostatik basınç oluşturmakta ve kontak zonu boyunca genel dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Buna ek olarak, heyelan kütlesi gerisinde yer alan vadi yapısı boyunca oluşan yüzey suyu akışının da olumsuz bir faktör olarak bu sürece dahil olduğu düşünülmektedir.



Şekil 1. Heyelan Bölgesi Jeolojik Planı (Ölçeksiz)



Şekil 2. Heyelan Bölgesi Jeolojik Enkesiti (Ölçeksiz)



Şekil 3. Tipik İnklonometre Ölçüm Grafikleri

Sahada gerçekleştirilen araştırma çalışmaları sonucunda, zemin profilini oluşturan birimler için stabilite analizlerinde kullanılacak parametreler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

<u>Heyelan Malzemesi (Hm)</u>

$\gamma = 20\ kN/m^3$

$c' = 0\ kPa$

$\phi' = 30°$

$E = 15000\ kPa$

Tümüyle ayrışmış şist - TRk(W5)

$\gamma = 20\ kN/m^3$

c' = 10 kPa

$\phi' = 26°$

E = 70000 kPa

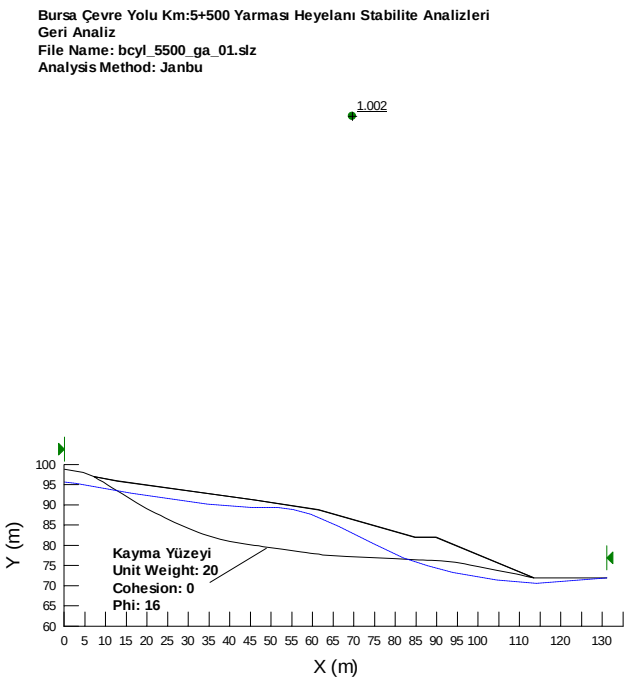
3. STABİLİTE ANALİZLERİ VE ÖNLEM ALTERNATİFLERİ

Stabilite analizleri kapsamında, öncelikli olarak bölgede araştırma çalışmaları sonucu tespit edilen heyelan geometrisi geri analiz yöntemi ile incelenerek kayma yüzeyi boyunca mobilize olmuş operatif zemin parametreleri "Janbu Metodu" ile belirlenmiştir (Şekil – 4). Analizlerde Slope/W bilgisayar programı kullanılmıştır. Geri analiz sonucu belirlenen kayma yüzeyi zemin parametreleri aşağıda özetlenmiştir.

γ = $20kN/m^3$

c' = 0

ϕ_r' = 16.0^o

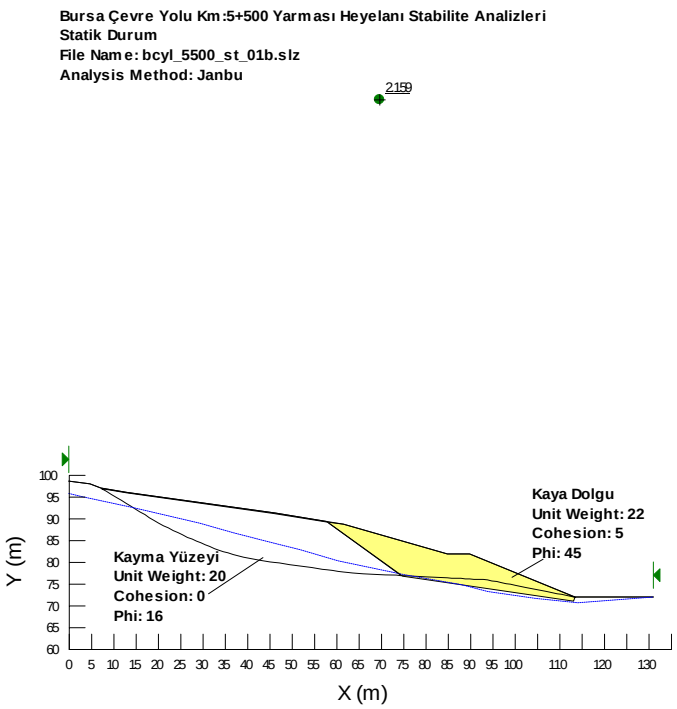


Şekil 4. Heyelan Geri Analizi

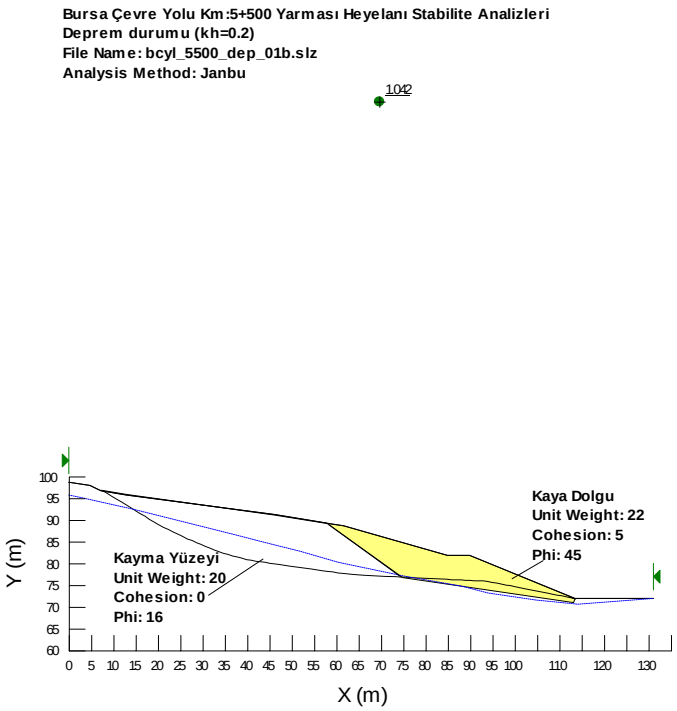
Önlem alternatifleri kapsamında, ilk olarak heyelan malzemesinin topuk bölgesinde taş ocağından sağlanacak nitelikli kaya dolgu malzemesi (kireçtaşı, basalt v.b.) ile yer değiştirme alternatifi incelenmiştir. Topuk dolgusunda kullanılması öngörülen kaya dolgu malzeme için stabilite analizlerinde kullanılan jeoteknik parametreler aşağıdaki gibidir.

γ = 22 kN/m^3
c' = 5 kPa
ϕ' = 45°

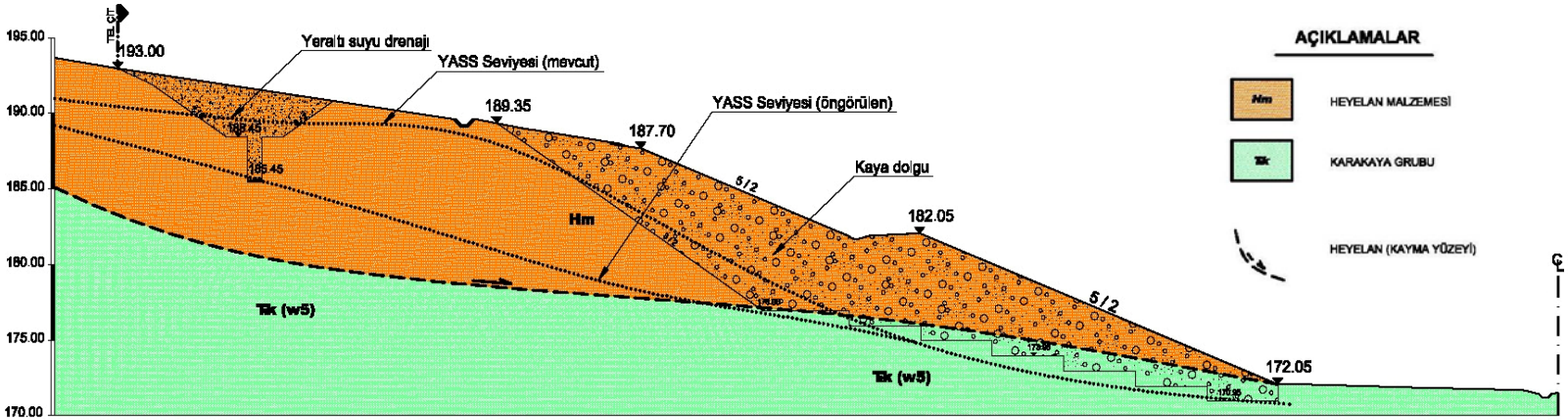
Topukta kaya dolgu ile yer değiştirme yapıldıktan sonra stabilite analizleri tekrarlanmış ve statik durumda güvenlik sayısı, 2.159 elde edilmiştir (Şekil – 5). Deprem durumu için aynı kayma geometrisine ait güvenlik sayısı ise G.S. = 1.042'dir (Şekil – 6). (Bölge "1. Derece Deprem Bölgesi" nde olduğundan stabilite analizlerinde yatay deprem ivmesi katsayısı, kh = 0.2 olarak alınmıştır.) Stabilite analizlerinden görüleceği üzere yer değiştirme sonrasında stabilite açısından herhangi bir problem beklenmemektedir. Önerilen yer değiştirme geometrisinin detayları Şekil – 7' de verilmiştir. Ayrıca, bu alternatifte stabiliteyi arttırıcı ilave bir önlem olarak, kaya dolgu gerisine ve heyelan çeperi boyunca derin yeraltı suyu drenajı yapılması öngörülmüş ve bu sayede heyelan kütlesi üzerindeki yeraltı suyu basıncının azaltılması hedeflenmiştir (Şekil – 7).



Şekil 5. Statik Durum Stabilite Analizi (Topuk bölgesinde yerdeğiştirme alternatifi)



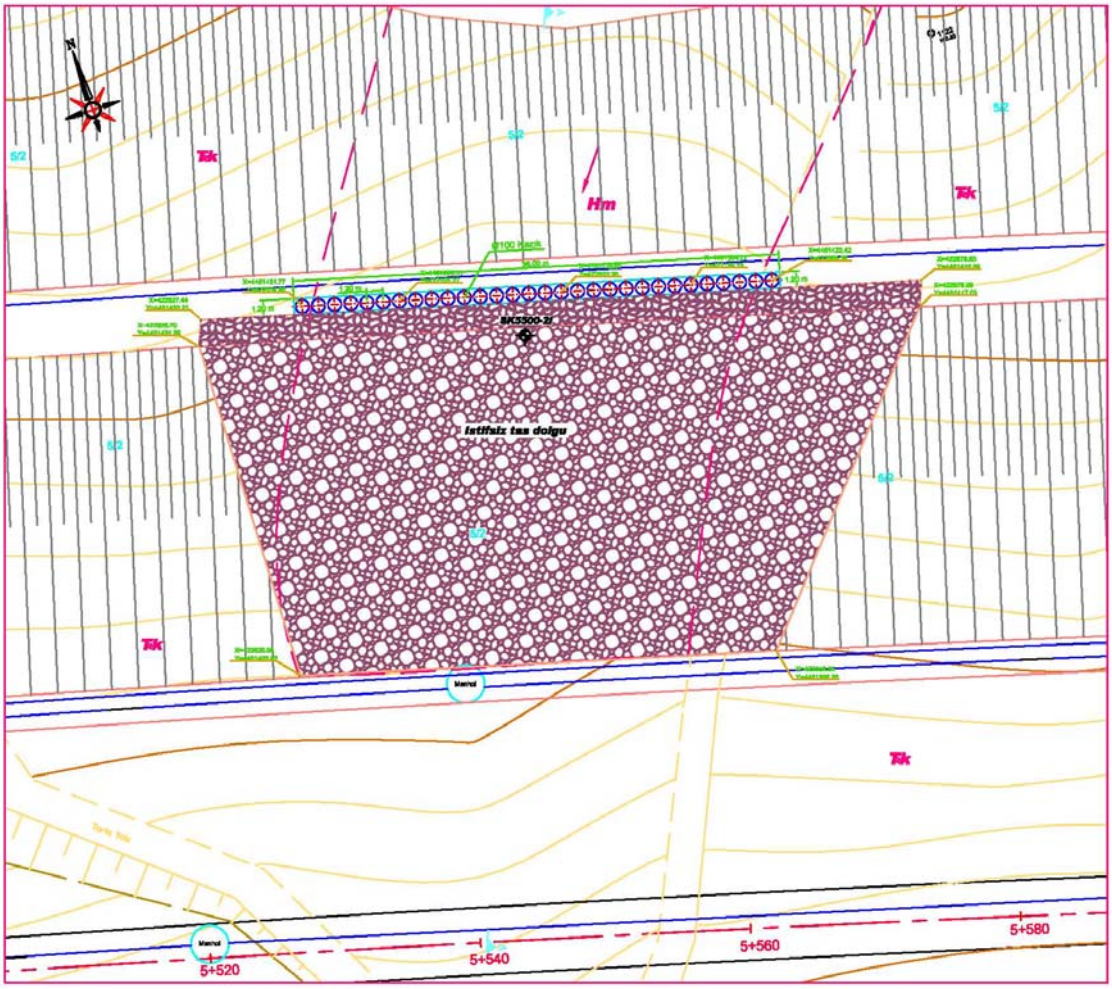
Şekil 6. Deprem Durumu Stabilite Analizi (Topuk bölgesinde yerdeğiştirme alternatifi)



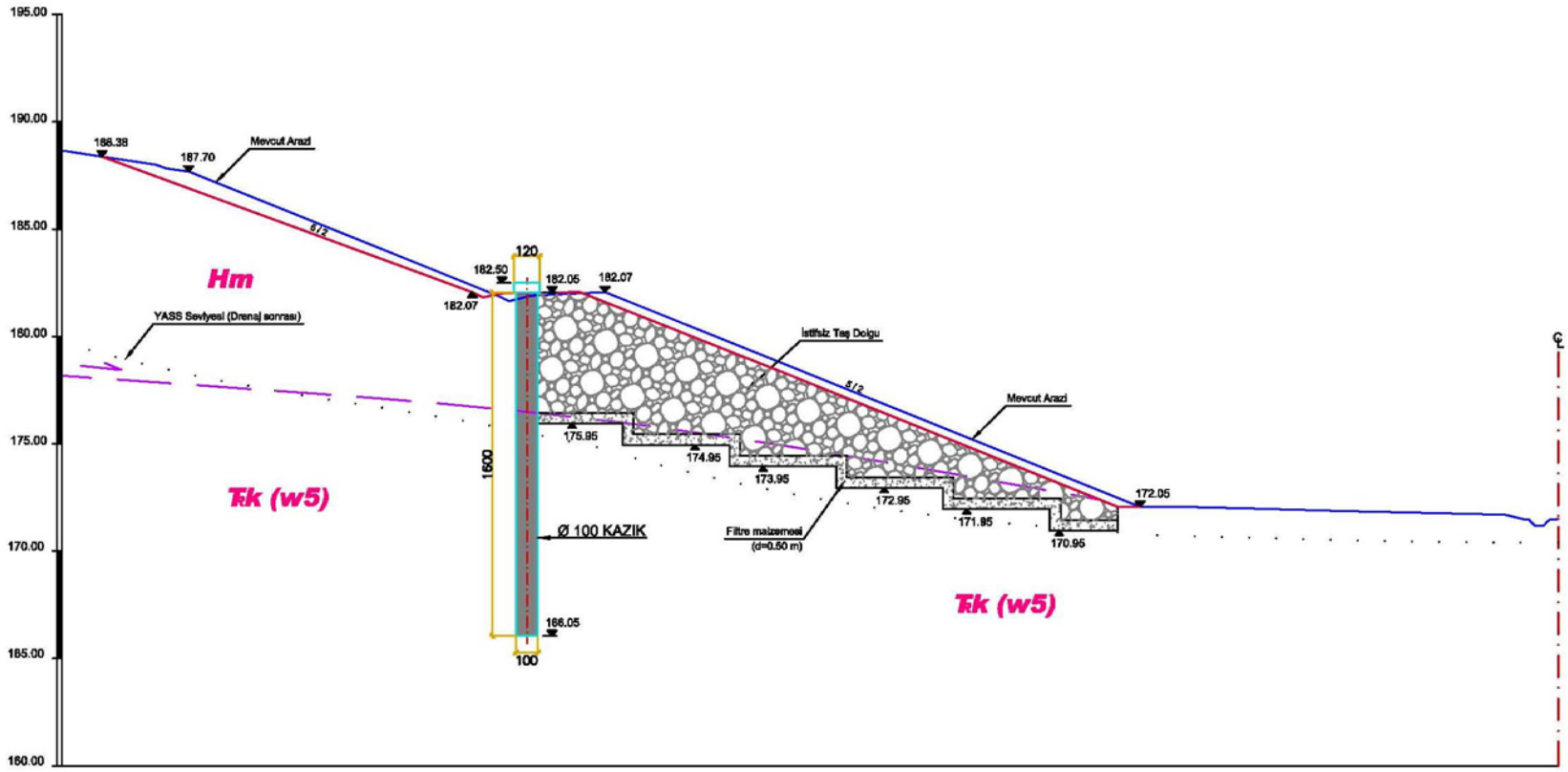
Şekil 7. Heyelan Topuk Bölgesinde Önerilen Yer Değiştirme Geometrisi (Ölçeksiz)

Yukarıda detayları verilen topukta kaya dolgu ile yer değiştirme önerisi idare tarafından prensipte kabul görmekle beraber, aktif heyelan kütlesi içerisinde gerçekleştirilmesi gereken geçici kazıların içerdiği riskler nedeniyle uygulanmamasına karar verilmiştir. Bunun yerine, bu alternatifte ilave önlem olarak önerilen derin yeraltı suyu drenajının imaline ve bu imalat sonrası heyelan hareketinin inklonometre ölçümleri ile takibine karar verilmiştir. Nitekim 2007 yılı başlarında derin yeraltı suyu drenajı tamamlanmış ve heyelan hareketinin inklonometre okumaları ile takibi Nisan 2009 tarihine kadar sürdürülmüştür. Ancak, takip edilen inklonometre kuyularında heyelan hareket hızında önemli bir azalma meydana gelmemesi nedeniyle (SK-5500 – 1İ kuyusunda hareket hızı 1.00 mm/ay'dan 0.80 mm/ay'a, SK-5500 - 2İ kuyusunda ise 1.65 mm/ay'dan 1.40 mm/ay'a düşmüştür.), heyelan hareketinin uzun vadede servis altındaki yolu tehdit etme potansiyeli de dikkate alınarak, heyelan hareketini tamamen durduracak alternatif bir çözüm önerisi talep edilmiştir.

Bunun üzerine, heyelan bölgesinde stabilitenin sağlanması amacıyla, ikinci bir alternatif olarak yol ekseninin yaklaşık 47.50 metre solunda ve kazık platformu olarak kullanılması uygun olan mevcut şevin palye kotunda, tabandaki tümüyle ayrışmış şist birimine (TRk – w5) soketli, 100 cm çapında ve merkezden merkeze 120 cm aralıklı betonarme fore kazıklarla bir dayanma yapısı oluşturulması düşünülmüştür (Şekil – 8 ve Şekil – 9).

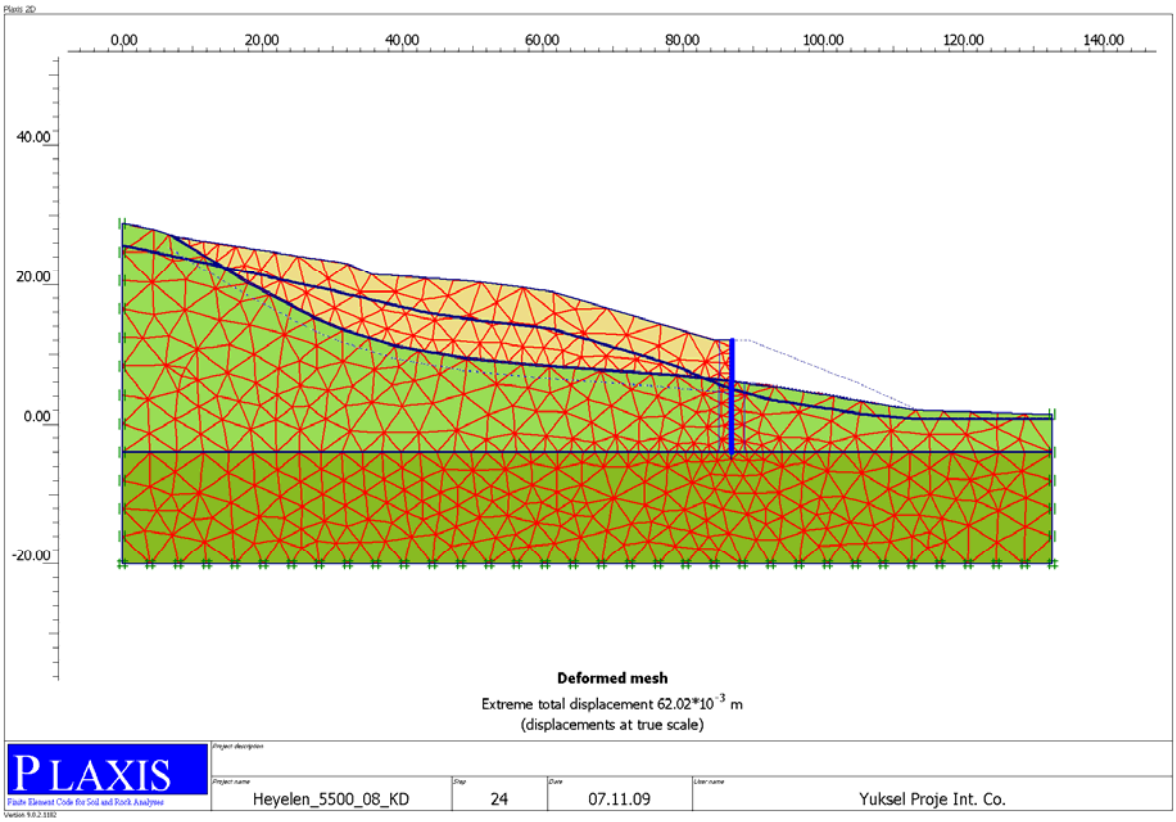


Şekil 8. Kazık Yerleşim ve Yer Değiştirme Geometrisi Planı (Ölçeksiz)

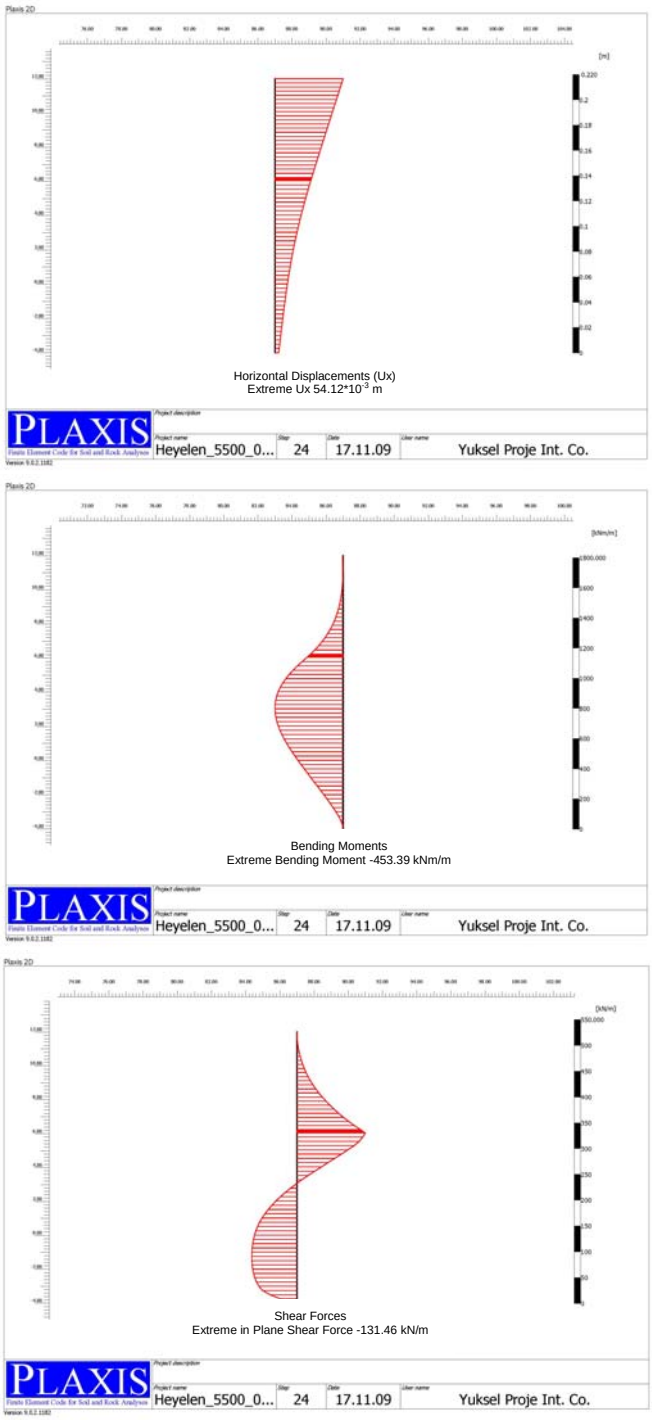


Şekil 9. Kazık Yerleşim ve Yer Değiştirme Geometrisi Kesiti (Ölçeksiz)

Bu alternatifte, statik durum için analizler sonlu elemanlar yöntemi ve PLAXIS programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, sonlu elemanlar modeli Şekil – 10' da gösterilmektedir. Analizlerde Bölüm – 2' de detayları verilen jeolojik model ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Heyelan kayma yüzeyi programdaki özel arayüz elemanları ile modellenmiş ve bu elemanlara kayma yüzeyi için geri analizle daha önce tespit edilen parametreler atanmıştır. Bu şekilde kazık gerisindeki heyelan malzemesinin tabandaki tümüyle ayrışmış şist birimi üzerinden kayıp, heyelan önlem kazıklarına yaslanması gerçekçi bir şekilde modellenmiştir. Statik durum analizlerinde emniyetli tarafta kalınarak, kazık önündeki heyelan malzemesinin kayma yüzeyine kadar tümüyle kazıklardan ayrıldığı ve kazıklara yanal direnç sağlamadığı durum incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizi sonucunda statik durumda kazıklarda oluşan yanal deplasman, moment ve kesme kuvveti diyagramları Şekil – 11' de verilmektedir.

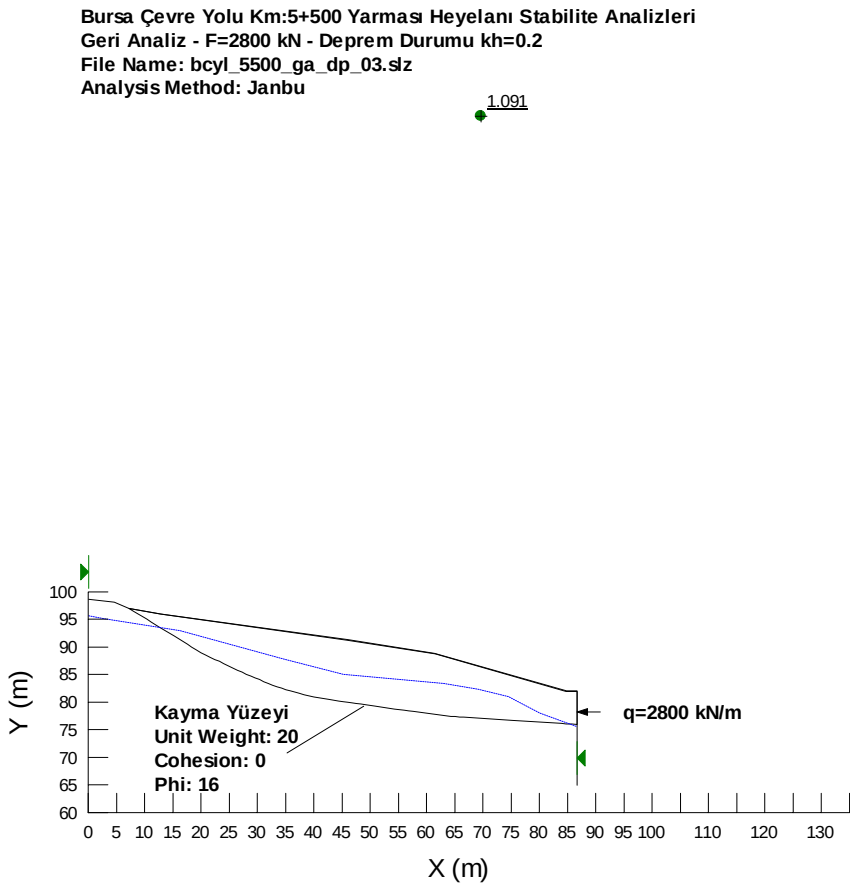


Şekil 10. Kazıklı Dayanma Yapısı Sonlu Elemanlar Modeli (Statik Durum)



Şekil 11. Kazıklarda Oluşan Yanal Deplasman, Moment ve Kesme Kuvveti Diyagramları (Statik Durum)

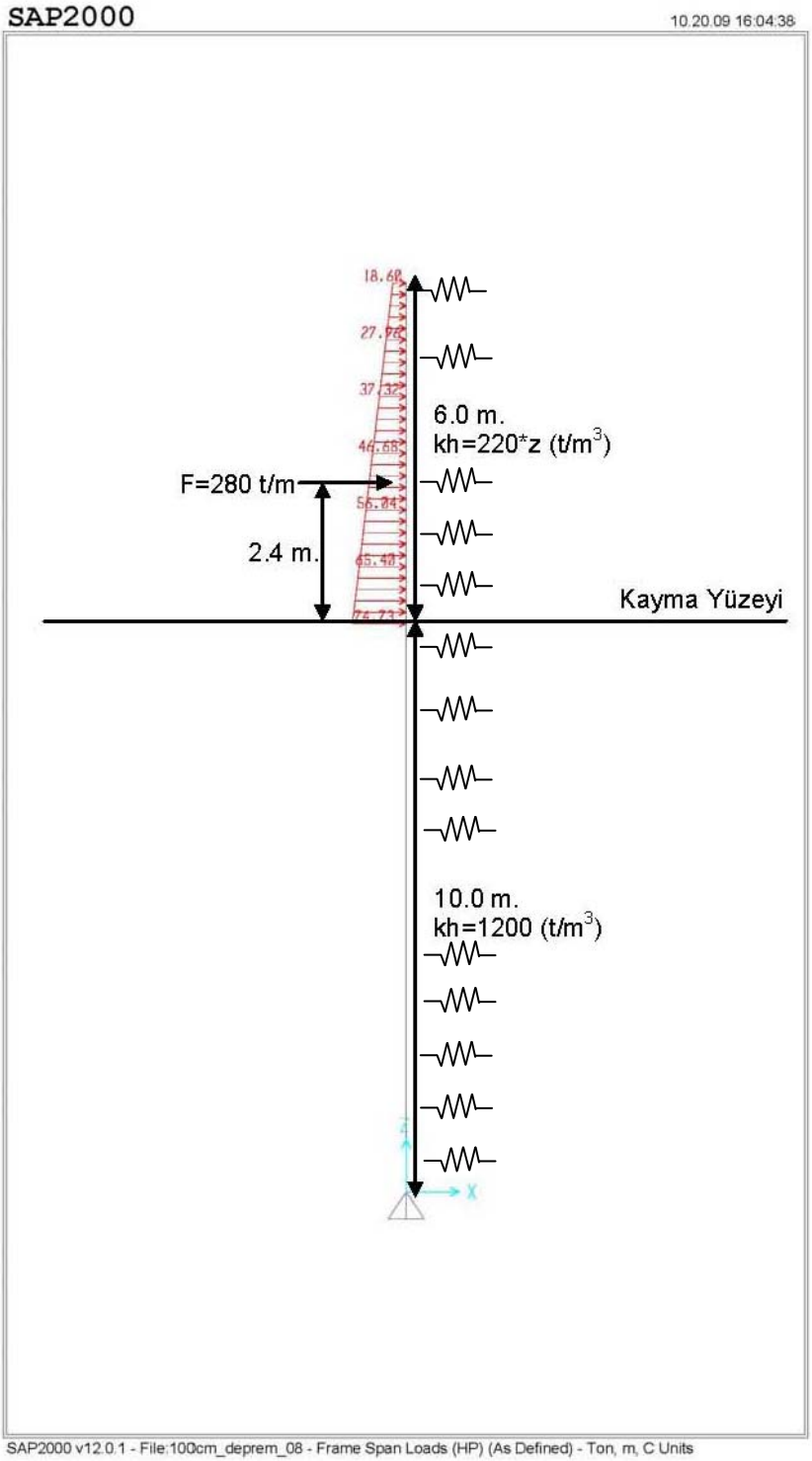
Deprem durumunda ise kazıklara etki edecek yanal yükün hesaplanmasında Slope/W programı ve Janbu "Dilimler arası yatay kuvvet" metodu kullanılmıştır. Buna göre, Slope/W programında heyelan geometrisi öngörülen kazıklı dayanma yapısının ekseninin bulunduğu noktadan kesilmiş ve deprem durumunda kazık gerisindeki kütlenin kayma güvenlik sayısını G.S. = 1.0 değerinin üzerine çıkaracak yatay yükün değeri araştırılmıştır. (İnceleme alanı birinci derece deprem bölgesinde olduğundan, eşdeğer – statik deprem analizlerinde yanal ivme katsayısı değeri olarak, kh=0.2, değeri alınmıştır.) Şekil – 12' de sunulan analiz detaylarından görüleceği üzere, bu yöntemle deprem durumunda öngörülen kazıklı dayanma yapısına etkiyen bileşke yatay kuvvet q=2800 kN/m olarak hesaplanmıştır.



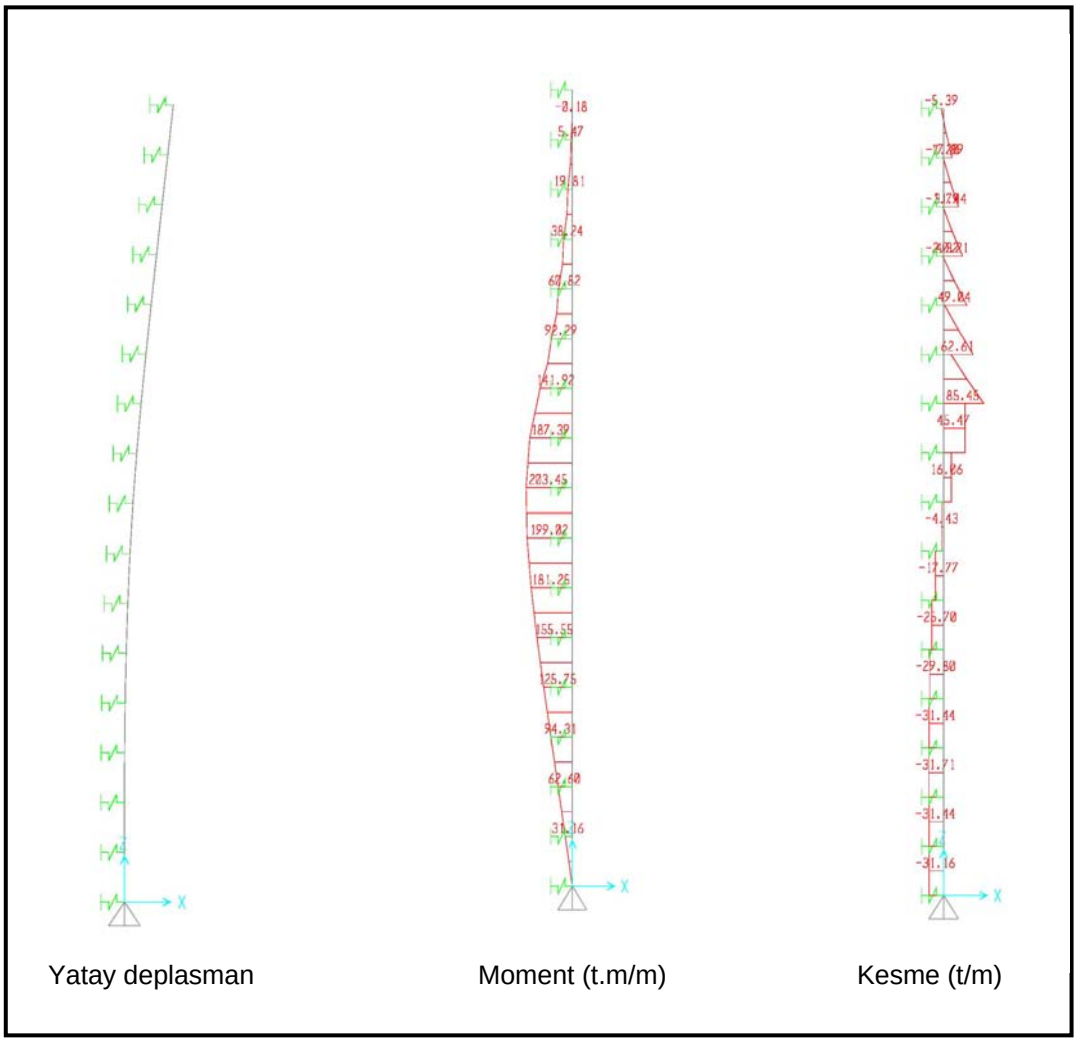
Şekil 12. Kazıklı Dayanma Yapısı Bileşke Yatay Kuvvet Hesabı (Deprem Durumu)

Yukarıda deprem durumu için hesaplanan bileşke yatay kuvvet, literatürde önerildiği üzere, bileşke kuvvet heyelan tabanından 0.4 H (H = dayanma yapısı eksenindeki heyelan kalınlığı) mesafe kadar yukarıda etki edecek şekilde trapez yük dağılımına çevrilmiş ve kazık sistemine bu yük dağılımı etki ettirilmiştir. Deprem durumu analizlerinde SAP 2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır. Kazık elemanları programdaki çubuk elemanlarıyla, kazık önündeki zemin ise yaylarla modellenmiştir. Analiz edilen kesitte dayanma yapısı yüksekliği 6.00 metre olup, kazık soket boyu 10.00 metre olarak seçilmiştir. Analizlerde kazık önündeki zemini modelleyen yaylardaki kuvvetin pasif direnci aşmamasına dikkat edilmiştir. Analizler sonucunda kazık önünde bulunan zayıf heyelan malzemesinin deprem durumunda yeterli pasif direnci sağlayamaması ve buna bağlı olarak limitlerin üzerinde çıkan donatı yüzdesi sebebiyle kazık önünün heyelan yüzeyine kadar kazılarak yerine istifsiz taş dolgu yapılarak pasif direncin arttırılması ve sistemin stabilitesinin bu şekilde sağlanması öngörülmüştür (Şekil – 9). Bu durum için, SAP 2000 yapısal analiz modeline ait detaylar Şekil – 13' te, analiz sonucu kazıklı dayanma yapısında hesaplanan yanal deplasman, moment ve kesme kuvveti diyagramları ise Şekil – 14' te sunulmuştur.

Statik ve deprem durumu için öngörülen kazıklı dayanma yapısında oluşan kesit tesirleri bu şekilde hesaplandıktan sonra, kazıklı dayanma yapısı bu tesirleri karşılayacak şekilde donatılandırılmıştır. Proje, bu şekliyle idare onayını takiben kısa sürede uygulamaya geçecektir.



Şekil 13. Kazıklı Dayanma Yapısı Yapısal Analiz Modeli (Deprem Durumu)



Şekil 14. Kazıklarda Oluşan Yatay Deplasman, Moment ve Kesme Kuvveti Diyagramları (Deprem Durumu)

4. ÖZET

"Bursa Çevre Yolu, Yalova Ayrımı – Turanköy Köprülü Kavşağı (Km: 2+000 – 27+148) İnşaatı" işi güzergahında kazı çalışmaları tamamlanmış olan Km: 5+350 – 5+640 yarmasının sol şevlerinin Km: 5+520 – 5+570 aralığında bir kütle hareketi meydana gelmiştir(Şekil – 1 ve Şekil – 2). İlk olarak 2003 yılında sığ ve yersel kütle hareketi şeklinde oluşan hareketlenme Temmuz 2006 tarihinde boyu yaklaşık 110.0 metreyi, kalınlığı ise 11.0 metreyi bulan bir kütle hareketi halini almıştır.

Kütle hareketinin oluştuğu yarma şevi tümü ile metakumtaşı – şist türü kayaçlardan kurulu ve bu bölgede tümüyle ayrışarak zeminleşmiş Karakaya grubu içerisinde açılmıştır. Yapılan araştırma çalışmaları sonucunda, heyelanı tetikleyen en önemli faktörün etkin yüzey ve yeraltı suyu hareketi olduğunu sonucuna varılmıştır. Tabandaki geçirimsiz nitelikli şist seviyeleri üzerinde yer alan geçirimli metakumtaşı düzeyleri boyunca etkin olan yeraltı suyu hareketi tabandaki şist seviyeleri üzerinde hidrostatik basınç oluşturmakta ve metakumtaşı – şist kontağı boyunca bir kayma düzlemi oluşumunu tetiklemektedir (Şekil – 2).

Heyelan önleme alternatifleri kapsamında, ilk olarak heyelan malzemesinin topuk bölgesinde taş ocağından sağlanacak nitelikli kaya dolgu malzemesi ile yer değiştirme alternatifi incelenmiştir (Şekil – 7). Ayrıca, bu alternatifte stabiliteyi arttırıcı ilave bir önlem olarak, kaya dolgu gerisine ve heyelan çeperi boyunca derin yeraltı suyu drenajı yapılması planlanmıştır.

Ancak, önerilen bu ilk alternatif, aktif heyelan kütlesi içinde gerçekleştirilmesi gereken geçici kazıların içerdiği riskler nedeniyle kabul görmemiştir. Bunun yerine, idare tarafından, bu alternatife ilave önlem olarak önerilen derin yeraltı suyu drenajı imaline ve bu imalat sonrası heyelan hareketinin inklonometre ölçümleri ile takibine karar verilmiştir. Nitekim 2007 yılı başlarında derin yeraltı suyu drenajı tamamlanmış ve heyelan kütlesinin inklonometre okumaları ile takibi Nisan 2009 tarihine kadar sürdürülmüştür. Ancak, takip edilen inklonometre kuyularında heyelan hareket hızında önemli oranda bir azalma meydana gelmemesi nedeniyle, heyelan hareketinin uzun

vadede servis altındaki yolu tehdit etme potansiyeli de dikkate alınarak, heyelan kütlesini tamamen durduracak alternatif bir çözüm önerisi talep edilmiştir.

Bunun üzerine, heyelan bölgesinde stabilitenin sağlanması amacıyla, ikinci bir alternatif olarak yol ekseninin yaklaşık 47.50 metre solunda ve kazık platformu olarak kullanılması uygun olan mevcut şevin palye kotunda, tabandaki tümüyle ayrışmış şist birimine (TRk – w5) soketli, 100 cm çapında ve merkezden merkeze 120 cm aralıklı betonarme fore kazıklarla bir dayanma yapısı oluşturulması düşünülmüştür (Şekil – 8 ve Şekil – 9). Kazıklı dayanma yapısı ile ilgili statik durum hesapları sonlu elemanlar yöntemi ve PLAXIS programı ile, deprem durumu hesapları ise "Janbu – Dilimler arası kuvvet" metodu ve Slope/W programı ile gerçekleştirilmiştir. Deprem durumunda, kazık önünde bulunan zayıf heyelan malzemesinin yeterli pasif direnci sağlayamaması ve buna bağlı olarak limitlerin üzerinde çıkan donatı yüzdesi nedeniyle, kazıklı dayanma yapısının önünün heyelan kayma yüzeyine kadar kazılarak yerine istifsiz taş dolgu yapılarak, pasif direncinin arttırılması ve sistemin stabilitesinin bu şekilde sağlanması öngörülmüştür. Statik ve deprem durumu için, öngörülen kazıklı dayanma yapısında oluşan kesit tesirleri bu metodlarla belirlendikten sonra, kazıklı dayanma yapısı bu tesirleri karşılayacak şekilde donatılandırılmıştır. Proje, bu şekliyle idare onayını takiben kısa sürede uygulamaya geçecektir.