

IŞIK ÜNİVERSİTESİ – ŞİLE KAMPÜSÜ

İstanbul, Türkiye

ŞEV YÜZEYİ STABİLİZASYONU PÜSKÜRTME BETON (SHOTCRETE) ÖN TASARIM RAPORU VE MİNİMUM TEKNİK ŞARTNAME

Yedi Şev Kesimi İçin Geoteknik Değerlendirme

ŞEV KESİMİ S1 – S7

Belge türü	Geoteknik ön tasarım / konsept tasarım raporu
Aşama	Ön değerlendirme – saha araştırması öncesi
Toplam şev yüzey alanı	1.442 m ² (yedi şev kesimi)
Tarih	27 Ağustos 2026

Bu belge, saha araştırması (sondaj, arazi ve laboratuvar deneyleri) yapılmadan, yalnızca bildirilen şev geometrileri ve bölgesel literatür bilgileri ile hazırlanmış bir ön tasarım çalışmasıdır.

Raporda verilen sayısal sonuçlar gerçek mühendislik hesaplarıdır; ancak bu hesaplarda kullanılan zemin/kaya dayanım parametrelerinin bir kısmı ölçülmüş veri değil, açıkça işaretlenmiş ön tasarım varsayımlarıdır.

Bu belge, uygulama (imalat) projesi yerine geçmez. Kesin tasarım, Bölüm 22’de listelenen saha ve laboratuvar çalışmaları tamamlandıktan sonra revize edilmelidir.

İçindekiler

İçindekiler.....	2
1. Özet	5
1.1 Temel mühendislik sonucu	5
1.2 Önerilen sistem	5
1.3 Ön tasarımın güvenilirlik düzeyi.....	6
2. Projenin Amacı ve Kapsamı.....	7
2.1 Amaç	7
2.2 Kapsam	7
2.3 Saha Yerleşim Planı ve Şev Kesimi Kodlaması	7
2.4 Şev Kesimlerinin Tanıtımı.....	9
2.5 Kapsam Dışı	17
3. Mevcut Saha Koşulları.....	18
3.1 Konum ve topografya.....	18
3.2 Bölgesel jeoloji (literatür verileri)	18
3.3 Yeraltı suyu ve drenaj koşulları	18
4. Şev Geometrisi	19
4.1 Bildirilen geometri ve mühendislik kontrolü	19
4.2 Hesaplanan geometrik büyüklükler	19
4.3 Geometrinin mühendislik yorumu	19
5. Geoteknik Tasarım Parametreleri	20
5.1 Eksik veriler	20
5.2 Veri kategorileri	20
5.3 Geri analiz: mevcut şevlerin ayakta durmasından çıkarılan bilgi	20
5.4 Seçilen tasarım parametreleri (C kategorisi)	21
6. Tasarım Standartları ve Yönetmelikler	22
7. Kritik Tasarım Yaklaşımı	23
7.1 Değerlendirilen göçme mekanizmaları	23
7.2 Mühendislik kararı.....	23
8. Şev Stabilitesi Değerlendirmesi.....	24
8.1 Yöntem ve doğrulama	24
8.2 Genel stabilite sonuçları	24
8.3 Yüzeysel (örtü) stabilite sonuçları.....	25
8.4 Kaplamaya gelen yüzey basıncı	25
9. Püskürtme Beton (Shotcrete) Tasarımı.....	26

9.1 Yöntem seçimi: ıslak karışım	26
9.2 Beton sınıfı ve karışım tasarımı	26
9.3 Kaplama kalınlığı	27
10. Donatı ve Lif Tasarımı	28
10.1 Seçenek değerlendirmesi.....	28
10.2 Lif tasarımı	28
10.3 Hasır çelik.....	28
11. Drenaj Tasarımı	30
11.1 Drenaj elemanları	30
11.2 Kaplama arkası su basıncı kontrolü.....	30
12. Zemin Çivisi ve Ankraj Değerlendirmesi	31
12.1 Gerekliklik gerekçesi.....	31
12.2 Çivi tasarımı ve kontrolleri	31
12.3 Çivi detayları.....	31
13. Deprem Etkisi	33
13.1 Deprem parametreleri	33
13.2 Psödo-statik yatay deprem katsayısı	33
13.3 Deprem durumunda stabilite	34
14. Hesaplar.....	35
14.1 Geometri hesabı.....	35
14.2 Geri analiz	35
14.3 Genel stabilite	35
14.4 Gerekli destek kuvveti.....	36
14.5 Yüzeysel örtü ve kaplama basıncı.....	36
14.6 Kaplama arkası su basıncı.....	37
14.7 Kaplama eğilme kontrolü.....	37
14.8 Çivi başlığı zımbalama kontrolü	37
14.9 Çivi çekme ve aderans kontrolü.....	38
15. Tasarım Parametrelerinin Etki Analizi.....	39
15.1 Parametrelerin etki sıralaması	39
16. Önerilen Sistem – Şev Kesimi Bazında Özet	40
17. Minimum Püskürtme Beton Teknik Şartnamesi.....	42
17.1 Kapsam	42
17.2 Kullanılacak standartlar	42
17.3 Yüzey hazırlığı.....	42
17.4 Drenaj.....	42

17.5 Zemin çivisi	43
17.6 Püskürtme beton sınıfı ve karışım	43
17.7 Minimum kalınlık	43
17.8 Lif ve hasır donatı	43
17.9 Uygulama yöntemi ve basınçlar.....	43
17.10 Kür.....	44
17.11 Numune alma ve deneyler.....	44
17.12 Kabul kriterleri	44
17.13 İş güvenliği.....	45
17.14 Saha kontrolü ve kayıt.....	45
18. Kalite Kontrol Özeti	46
18.1 Deneme uygulaması (mock-up).....	46
18.2 Karar noktaları.....	46
19. Uygulama Aşamaları	47
20. İzleme ve Bakım	48
20.1 Bakım	48
21. Kullanılan Verilerin Kategorilere Göre Dökümü	49
22. Tasarımın Sınırlamaları ve Gerekli Saha Araştırmaları.....	50
22.1 Sınırlamalar	50
22.2 Önerilen saha ve laboratuvar araştırma programı	50
23. Sonuç ve Öneriler	52
23.1 Ana sonuçlar	52
23.2 Önerilen sistemin ön tasarım açısından uygunluğu	52
23.3 Öncelikli öneriler	52
24. Kaynaklar	54
EK A – Hesap Yöntemi ve Doğrulama.....	55
EK B – Sembol Listesi	55
EK C – Ekler Listesi ve Tamamlanacak Belgeler.....	56

1. Özet

Bu raporda Işık Üniversitesi Şile Kampüsü içerisinde yer alan yedi adet mevcut kazı şevinin (Şev Kesimi S1 – S7) yüzey stabilizasyonu amacıyla püskürtme beton (shotcrete) uygulaması değerlendirilmiştir. Şevlerin toplam yüzey alanı, bildirilen geometrilerden hesaplandığında yaklaşık 1.442 m²'dir. Şev yükseklikleri 3,5 m ile 11,0 m, yatayla yaptıkları açılar ise 48° ile 76° arasında değişmektedir.

1.1 Temel mühendislik sonucu

Yapılan analizler, bu şevlerde asıl sorunun derin (genel) şev kayması değil, yüzeysel sıyrılma ve ayrışma olduğunu göstermektedir. Bunlara ek olarak blok ve ağaç düşmesi bir risk olarak belirlenmiş; ancak mevcut veriler bu mekanizmanın nicel değerlendirilmesine izin vermediğinden nitel olarak ele alınmıştır (Bölüm 7.1). Bu tespit, püskürtme betonun bu saha için doğru bir çözüm olduğunu; ancak tek başına ve ankrajsız/drenajsız uygulanmasının doğru olmadığını ortaya koymaktadır.

Tablo 1.1 – Analiz sonuçlarının özeti

Kontrol edilen mekanizma	Sonuç	Değerlendirme
Genel (derin) şev kayması – statik	GS = 1,76 ... 3,05	Şev Kesimi S5 ve S6 dışında rahat; hedef GS = 1,50 sağlanıyor
Genel kayma – yükselen su (ru = 0,25)	GS = 1,41 ... 2,69	Şev Kesimi S5 ve S6'da hedefin (1,50) altında
Genel kayma – drenajı tıkalı (ru = 0,50)	GS = 1,06 ... 2,33	Şev Kesimi S5 ve S6 göçme sınırında
Genel kayma – deprem (psödo-statik, DD-2)	GS = 1,13 ... 2,10	Tüm şev kesimlerinde hedef GS = 1,10 sağlanıyor; Şev Kesimi S5–S6 sınırda
Yüzeysel sıyrılma (0,50 m ayrılmış örtü)	GS = 0,60 ... 1,17	TÜM şev kesimlerinde yetersiz – yönetici mekanizma

Değerler ön tasarım varsayımı parametrelerle hesaplanmıştır (bkz. Bölüm 5). Yüzeysel sıyrılma sonuçları, kaplamasız durumu ifade eder.

1.2 Önerilen sistem

Mevcut bilgiler kapsamında önerilen sistem, dört bileşenden oluşan bütünlüklü bir yüzey stabilizasyon sistemidir. Bu bileşenlerden herhangi birinin çıkarılması, hesaplanan güvenlik seviyesini geçersiz kılar:

- Lif takviyeli püskürtme beton kaplama – 100 mm (Şev Kesimi S1, S2, S3, S4 ve S7) ve 120 mm (Şev Kesimi S5 ve S6), C30/37, ıslak karışım;
- Hasır çelik donatı – Q221 (100 mm kesitlerde) ve Q295 (120 mm kesitlerde), lif ile birlikte;
- Sistemik zemin çivisi – 1,50 – 2,00 m aralıklı, 3,0 – 6,0 m boyunda, Ø20 – Ø25 B500C;
- Basınç kırıcı drenaj – 2,0 × 2,0 m aralıklı Ø75 mm barbakanlar, şev üstü kuşaklama hendeği ve topuk drenajı.

Püskürtme beton, şev yüzeyini su geçirimsiz hâle getirir. Drenaj yapılmazsa kaplama arkasında su basıncı birikir. Hesaplar (Bölüm 14.6) kaplama arkasında yalnızca 2,0 m'lik bir su yükünün 19,6 kPa basınç ürettiğini ve 2,0 m açıklıklı bir panelde 9,81 kNm/m eğilme momenti oluşturarak 100 mm'lik hasır donatılı kesitin kapasitesini (6,05 kNm/m) aşacağını göstermektedir.

Aynı şekilde, Şev Kesimi S5 ve S6 için hedef güvenlik sayısını sağlamak üzere gereken destek kuvveti, drenajlı durumda (ru = 0,25) 25,8 kN/m iken, drenajın tıkanması hâlinde (ru = 0,50) 247,2 kN/m'ye çıkmaktadır. Drenaj, gerekli donatı miktarını yaklaşık on kat azaltmaktadır. Sonuç olarak, bu projede drenaj, püskürtme betonun tamamlayıcısı değil, ön koşuldur.

1.3 Ön tasarımın güvenilirlik düzeyi

Tasarım parametrelerinin etki analizi (Bölüm 15), sonucun en çok kohezyona (c') ve boşluk suyu basıncına duyarlı olduğunu göstermektedir: c' değerindeki ± 15 kPa'lık bir değişim, Şev Kesimi S5 ve S6'da güvenlik sayısını 1,00 ile 1,78 arasında değiştirmektedir. Bu nedenle rapordaki miktarlar (185 m³ püskürtme beton, 554 adet çivi) yaklaşık maliyet ve planlama amaçlıdır; kesin tasarım için Bölüm 22'deki saha araştırması programı yürütülmelidir.

2. Projenin Amacı ve Kapsamı

2.1 Amaç

Bu çalışmanın amacı, Işık Üniversitesi Şile Kampüsü'nde bulunan yedi adet mevcut kazı şevinin yüzey stabilizasyonu için püskürtme beton esaslı bir sistemin ön tasarımını yapmak ve uygulanabilir bir minimum teknik şartname oluşturmaktır.

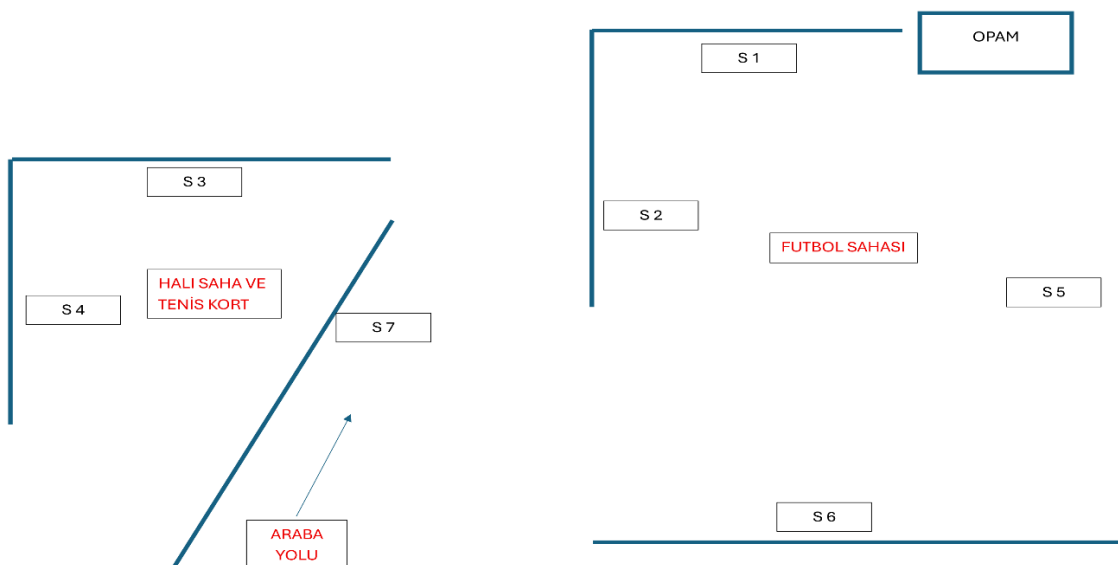
2.2 Kapsam

Rapor kapsamında yürütülen çalışmalar:

- Saha yerleşim şemasının oluşturulması ve yedi şev kesiminin S1–S7 olarak kodlanması;
- Bildirilen şev geometrilerinin mühendislik açısından kontrolü ve yüzey alanlarının hesaplanması;
- Mevcut saha koşullarının şev kesimi bazında değerlendirilmesi ve malzeme tanımının yapılması;
- Olası göçme mekanizmalarının belirlenmesi (derin dairesel kayma, yüzeysel sıyrılma, düzlemsel/kama kayması, blok ve ağaç düşmesi);
- Mevcut şevlerin ayakta durmasından hareketle geri analiz yapılması ve in-situ dayanımın alt sınırının belirlenmesi;
- Limit denge yöntemi (basitleştirilmiş Bishop) ile statik, yüksek su ve psödo-statik deprem koşullarında genel stabilite analizi;
- Sonsuz şev yaklaşımı ile yüzeysel örtü stabilitesinin değerlendirilmesi ve kaplamaya gelen yüzey basıncının belirlenmesi;
- Püskürtme beton sınıfı, kalınlığı, donatı/lif tasarımı ve uygulama parametrelerinin belirlenmesi;
- Drenaj sistemi, zemin çivisi tasarımı ve kalite kontrol kriterlerinin oluşturulması;
- Tasarım parametrelerinin etki analizi ve gerekli ilave saha araştırmalarının tanımlanması.

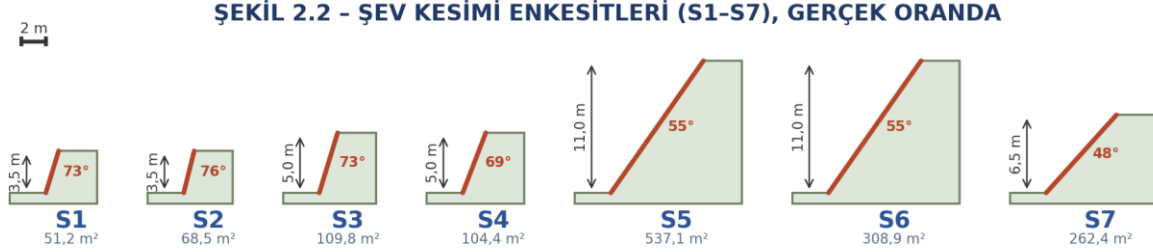
2.3 Saha Yerleşim Planı ve Şev Kesimi Kodlaması

Sahadaki yedi kazı şevi, bu raporun tamamında S1, S2, S3, S4, S5, S6 ve S7 kodları ile anılmaktadır. Bu kodlar raporun bütün metin bölümlerinde, şekillerde, tablolarda ve teknik değerlendirmelerde değişmeden kullanılmıştır.



Şekil 2.1 – Saha yerleşim şeması ve şev kesimi kodlaması (S1–S7). Şematik gösterimdir; ölçekli değildir.

Şekil 2.1’de soldan sağa sıralama, kodlama sırasını gösterir ve sahadaki fiziksel diziliş anlamına gelmez. Kesin yerleşim, hâlihazır topoğrafik ölçüm ile belirlenmelidir (Bölüm 22). Kodlama, Plan dosyasındaki şev sıralaması esas alınarak yapılmıştır: Plan dosyasındaki birinci şev S1, ikinci şev S2 ve devamı şeklindedir. Tablo 2.1 bildirilen geometri değerlerini ve bunlardan hesaplanan yüzey alanlarını; Şekil 2.2 ise bu değerlerden türetilen enkesitleri göstermektedir.



Şekil 2.2 – Şev kesimi enkesitleri (S1–S7), birbirine göre gerçek oranda. Kırmızı çizgi kaplanacak şev yüzünü göstermektedir.

Tablo 2.1 – Şev kesimi kodları ve geometrisi

Kod	H (m)	β (°)	L (m)	Yüzey alanı (m ²)
S1	3,5	73	14,0	51,2
S2	3,5	76	19,0	68,5
S3	5,0	73	21,0	109,8
S4	5,0	69	19,5	104,4
S5	11,0	55	40,0	537,1
S6	11,0	55	23,0	308,9
S7	6,5	48	30,0	262,4
TOPLAM	—	—	166,5	1.442,4

2.4 Şev Kesimlerinin Tanıtımı

Aşağıda her şev kesimi, Şekil 2.1'deki kodu ile birlikte ayrı ayrı tanıtılmıştır. Her tanıtımda; plan kodu, konum, bildirilen geometri, saha koşulları, mevcut yüzey koşulları ve o şev kesiminde planlanan püskürtme beton uygulaması verilmiştir. Mevcut saha koşullarında veya Plan dosyasından doğrudan belirlenemeyen hususlar açıkça belirtilmiştir.

2.4.1 Şev Kesimi S1

Plan kodu	S1
Konum	Topuk kotunda "Işık Üniversitesi / OPAM" tabelalı tek katlı bir bina bulunmaktadır. Kret kotunda araç ve ekipman park edilebilen düz bir platform yer almaktadır.
Bildirilen geometri	H = 3,5 m; $\beta = 73^\circ$; L = 14,0 m; kaplanacak yüzey alanı 51,2 m ² (yedi kesim içinde en küçüğü)
Saha koşulları	Şev yüzü çıplak ve serbesttir. Topukta agrega/kırmatas stoku bulunmaktadır; bu stok şu anda pasif bir dolgu görevi görmekte ve gerçek topuk kotunu örtmektedir.
Mevcut yüzey koşulları	Yüzey; yeşilimsi gri – soluk sarı-yeşil ince matris içinde bol miktarda köşeli ve yarı yuvarlak çakıl ile blok içeren, matris destekli bir birimden oluşmaktadır. Mevcut yüzey koşullarında tabakalanma, eklem takımı veya sürekli süreksizlik belirlenmemiştir. Üst 0,2–0,4 m'de koyu renkli bitkisel/kök zonu bulunmaktadır. Yüzeyin üst kesiminde turuncu-kahverengi demir oksit boyanması izlenmekte olup geçmiş veya mevsimsel bir sızıntı yolunu işaret etmektedir; aktif sızıntı belirlenmemiştir. Kret kenarında parçalanmış bir beton perde kalıntısı şev üzerine sarmakta, kopmuş parçaları kret kenarında bulunmaktadır; imalat öncesinde kaldırılması gereken acil bir tehlikedir. Kret platformunda araç, römork ve konteyner bulunmakta olup bunların oluşturduğu sürşarj yükü belirlenmemiştir.
Planlanan uygulama	100 mm C30/37 lif takviyeli ıslak karışım püskürtme beton + Q221 hasır; Ø20 B500C zemin çivisi 1,75 × 1,75 m aralıkla, 3,0 m boyunda; Ø75 mm barbakan 2,0 × 2,0 m. Yönetici kontrol: çivi başlığı zımbalaması (GS = 1,49).



Şekil 2.3 – Şev Kesimi S1 genel görünüm.

2.4.2 Şev Kesimi S2

Plan kodu	S2
Konum	S1 ile aynı malzeme grubunda ve yaklaşık dik açı şeklinde yer almaktadır.
Bildirilen geometri	$H = 3,5 \text{ m}$; $\beta = 76^\circ$ (yedi kesim içinde en dik); $L = 19,0 \text{ m}$; kaplanacak yüzey alanı $68,5 \text{ m}^2$
Saha koşulları	Şev yüzü çıplaktır. Topukta agrega stoku bulunmaktadır. Kret hattında ağaç ve çalı yer almaktadır. Şevin üzerinde daha yatık ve bitkili ikinci bir kademe bulunmaktadır; bu kademelerin geometrisi ve S2 kapsamında olup olmadığı mevcut verilerden doğrulanamamıştır.
Mevcut yüzey koşulları	Şev yüzünde belirgin düşey erozyon olukları bulunmakta, yüzeyin dibinde ayrışan ince malzemenin oluşturduğu birikinti (talus) konileri gelişmiştir; bu durum yüzeysel sıyrılmanın aktif olduğunu göstermektedir. Kret hattı boyunca iri çakıl ve blok içeren kaba bir bant izlenmektedir. Yüzeyde kil matris, gömülü çakıllar ve ince kuruma çatlakları belirlenmiştir. Su sızıntısı belirlenmemiştir.
Planlanan uygulama	100 mm C30/37 lif takviyeli püskürtme beton + Q221 hasır; Ø20 B500C çivi $1,75 \times 1,75 \text{ m}$, 3,0 m boy; Ø75 mm barbakan $2,0 \times 2,0 \text{ m}$. En yüksek kaplama tasarım basıncı bu kesimdedir ($p_d = 16,2 \text{ kPa}$).



Şekil 2.4 – Şev Kesimi S2 genel görünüm.

2.4.3 Şev Kesimi S3

Plan kodu	S3
Konum	Topuk tarafında geniş, düz halı saha ve tenis kortu bulunmaktadır. Kret üzerinde yoğun bitki örtüsü ile kaplı bir yamaç devam etmektedir.
Bildirilen geometri	$H = 5,0 \text{ m}$; $\beta = 73^\circ$; $L = 21,0 \text{ m}$; kaplanacak yüzey alanı $109,8 \text{ m}^2$
Saha koşulları	Topuktaki düz sahada yaygın poligonal kuruma (büzülme) çatlakları bulunmaktadır – plastik kil varlığının göstergesidir. Sahada kırmızı-beyaz jalon yerleştirilmiştir. Kret yamacı yoğun çalı ve otla kaplıdır.
Mevcut yüzey koşulları	Şev yüzünde gri-yeşil kil matris içinde $10\text{--}20 \text{ cm}$ 'ye ulaşan çakıl ve bloklar, yaygın kuruma çatlağı ağı, düşey erozyon olukları ve yüzey dibinde ayrışma birikintisi bulunmaktadır. Yüzeyin bir kesiminde ince beyaz damarlanmalar izlenmekte olup bunların kalsit, jips veya başka bir dolgu olup olmadığı mevcut verilerle belirlenememiştir; laboratuvar incelemesi ile tanımlanmalıdır. Topuktaki düz sahada yaygın poligonal kuruma (büzülme) çatlakları bulunmakta olup plastik kil varlığının göstergesidir. Serbest yüz yüksekliğinin bildirilen $5,0 \text{ m}$ 'nin tamamını kapsamadığı ve topukta birikinti bulunmasının olası olduğu değerlendirilmiştir; saha ölçümü ile doğrulanmalıdır.
Planlanan uygulama	100 mm C30/37 lif takviyeli püskürtme beton + Q221 hasır; $\varnothing 25$ B500C çivi $1,75 \times 1,75 \text{ m}$, $4,0 \text{ m}$ boy; $\varnothing 75 \text{ mm}$ barbakan $2,0 \times 2,0 \text{ m}$.



Şekil 2.5 – Şev Kesimi S3 genel görünüm.

2.4.4 Şev Kesimi S4

Plan kodu	S4
Konum	S3 ile benzer bir topuk kotunda, halı saha ve tenis kortuna bakmaktadır.
Bildirilen geometri	$H = 5,0 \text{ m}$; $\beta = 69^\circ$; $L = 19,5 \text{ m}$; kaplanacak yüzey alanı $104,4 \text{ m}^2$
Saha koşulları	Kret boyunca yoğun çalı ve ağaç bulunmaktadır. Sağ uçta kırmızı-beyaz jalon yer almaktadır.
Mevcut yüzey koşulları	Şev yüzeyi ayrışarak ince kum-silt boyutunda malzemeye dönüşmekte ve yüzey dibinde yelpaze biçiminde birikmektedir; bu, zayıf çimentolu malzemelerde tipik olan kademeli sıyrılma (ravelling) davranışıdır. Yüzde düşey oluklanma, kret hattında ise kalın bir bitki/kök zonu bulunmaktadır. Topuktaki düz sahada poligonal kuruma çatlakları izlenmektedir. Serbest yüz yüksekliğinin bildirilen $5,0 \text{ m}$ 'den düşük olduğu ve topuk kotunun birikinti ile örtülü olmasının olası olduğu değerlendirilmiştir; saha ölçümü ile doğrulanmalıdır.
Planlanan uygulama	100 mm C30/37 lif takviyeli püskürtme beton + Q221 hasır; $\varnothing 25 \text{ B500C}$ çivi $1,75 \times 1,75 \text{ m}$, $4,0 \text{ m}$ boy; $\varnothing 75 \text{ mm}$ barbakan $2,0 \times 2,0 \text{ m}$.



Şekil 2.6 – Şev Kesimi S4 genel görünüm.

2.4.5 Şev Kesimi S5

Plan kodu	S5 – yüzey alanı bakımından en büyük kesim
Konum	Kret kotunda geniş ve düz bir platform bulunmaktadır; platformun karşı tarafında OPAM binası yer almaktadır. Şev, bu platformun kenarından aşağıya doğru inmektedir.
Bildirilen geometri	H = 11,0 m; $\beta = 55^\circ$; L = 40,0 m; kaplanacak yüzey alanı 537,1 m ² (toplam alanın %37'si)
Saha koşulları	Kret platformunda boru demetleri ve rulo hâlinde tel/file şev kenarına yakın istiflenmiştir. Bu istifin oluşturduğu sürşarj yükü belirlenmemiştir; imalat öncesinde kaldırılmalı veya yükü belirlenerek hesaba dâhil edilmelidir. Platform yüzeyi soluk renkli, çakıl serpili ve seyrek otludur.
Mevcut yüzey koşulları	Mevcut saha koşullarında şev yüzü olgun odunsu bitki örtüsü (ağaçlar ve sık çalılar) ile tamamen kapalıdır. Bu nedenle bu şev kesiminde yüzey durumu – erozyon olukları, gevşek blok, su sızıntısı, kopma izi – DEĞERLENDİRİLEMİŞTİR. Bildirilen H = 11,0 m ve $\beta = 55^\circ$ değerleri mevcut verilerle doğrulanamamıştır. Buna karşılık kret platformunda ve şev kenarında izlenebilen malzeme, diğer şev kesimleri ile aynı kil matrisli, çakıl içeren birimdir.
Planlanan uygulama	120 mm C30/37 lif takviyeli püskürtme beton + Q295 hasır; Ø25 B500C çivi 1,50 × 1,50 m, 6,0 m boy; Ø75 mm barbakan 2,0 × 2,0 m ve berm oluşu. Genel stabilize için ilave destek gereklidir (25,8 kN/m). Tasarım, çıplak ve erozyona açık bir yüz varsayımı üzerine kurulmuştur; bu varsayım güvenli taraftadır.



Şekil 2.7 – Şev Kesimi S5 genel görünüm.

Şev Kesimi S5 için tasarım varsayımı ve zorunlu doğrulama: Yüzey durumu değerlendirilemediğinden tasarımda yüzeyin çıplak ve erozyona açık olduğu varsayılmış, kaplama tasarım basıncı bu varsayımla

hesaplanmıştır ($p_d = 10,5$ kPa). Yüzey gerçekte kök donatılı ise gerçek talep daha düşük olacağından varsayım güvenli taraftadır. Buna karşılık bu şev kesiminin derin (genel) stabilite sonucu yüzey örtüsünden bağımsızdır; kökler 11 m derinliğe ulaşmaz. $r_u = 0,25$ durumunda $GS = 1,41$ (hedef 1,50) ve deprem durumunda $GS = 1,13$ (hedef 1,10) hesaplanmıştır; drenaj ve zemin çivisi gerekçesi bu nedenle geçerliliğini korumaktadır. Yüzey örtüsü kaldırıldığında yüzeysel güvenlik sayısı geçici olarak düşeceğinden, Şev Kesimi S5 ve S7’de tüm cephe birden sıyrılamaz: en fazla iki çivi sırası (yaklaşık 3,0 m) yüksekliğinde yatay şeritler hâlinde ilerlenmeli, bir şeridin kaplaması tamamlanmadan alt şeride geçilmemelidir. Örtü kaldırıldıktan sonra ve püskürtme betondan önce açığa çıkan yüzey tasarımcı tarafından yerinde görülmeli, gerekiyorsa bu bölüm revize edilmelidir (Bölüm 19 – durdurma noktası).

2.4.6 Şev Kesimi S6

Plan kodu	S6
Konum	Topuk tarafında bir yol, kavisli bir beton istinat duvarı ve bir bina bulunmaktadır. Göçme sonucu bakımından yedi kesim içinde en yüksek risk bu kesimdedir.
Bildirilen geometri	$H = 11,0 \text{ m}$; $\beta = 55^\circ$; $L = 23,0 \text{ m}$; kaplanacak yüzey alanı $308,9 \text{ m}^2$
Saha koşulları	Şev yüzü büyük ölçüde çıplaktır; kret hattında seyrek ot ve çalı bulunmaktadır.
Mevcut yüzey koşulları	Şev yüzü soluk sarımsı gri, bol çakıl ve blok içeren bir matris hâlinindedir. Derin ve birbirine paralel erozyon olukları yüzeyi baştan aşağı yarmıştır. Çakıl ve bloklar oyularak açığa çıkmış, bir kısmı yerinden ayrılarak yüzeyde askıda kalmıştır; ayrışma ve sıyrılmanın aktif olduğunu gösteren en belirgin bulgu budur. Su sızıntısı belirlenmemiştir. Kret üzerinde tansiyon çatlağı belirlenmemiş; ancak bitki örtüsü nedeniyle bunun yokluğu kesin olarak doğrulanamamıştır.
Planlanan uygulama	120 mm C30/37 lif takviyeli püskürtme beton + Q295 hasır; Ø25 B500C çivi $1,50 \times 1,50 \text{ m}$, 6,0 m boy; Ø75 mm barbakan $2,0 \times 2,0 \text{ m}$ ve berm oluğu. Genel stabilite için ilave destek gereklidir ($25,8 \text{ kN/m}$). Topuktaki yol, duvar ve bina nedeniyle imalat sırasında düşen malzemeye karşı koruma zorunludur.



Şekil 2.8 – Şev Kesimi S6 genel görünüm.

2.4.7 Şev Kesimi S7

Plan kodu	S7
Konum	Topuk tarafında parke taşı ile kaplı bir yol ve bordür bulunmaktadır.
Bildirilen geometri	$H = 6,5 \text{ m}$; $\beta = 48^\circ$ (yedi kesim içinde en yatık); $L = 30,0 \text{ m}$; kaplanacak yüzey alanı $262,4 \text{ m}^2$
Saha koşulları	Yüzey yoğun kuru ot, yabani bitki ve yerleşmiş odunsu çalılarla tamamen kaplıdır. Bordürün hemen ötesinden itibaren arazi yükselmekte, gerideki yamaç ağaçlıklı olarak devam etmektedir.
Mevcut yüzey koşulları	Mevcut saha koşullarında yüzey yoğun ot, yabani bitki ve yerleşmiş odunsu çalılarla tamamen kaplı olduğundan serbest şev yüzü DEĞERLENDİRİLEMEMİŞTİR. Malzeme yalnızca örtü arasındaki sınırlı yamalarda izlenebilmekte olup diğer şev kesimleri ile aynı birimdir. Taze erozyon oluşu, oyulma, kopma izi veya birikinti belirlenmemiştir; bu durum Şev Kesimi S2, S3 ve S6 ile belirgin bir karşıtlık oluşturmaktadır. Bildirilen $H = 6,5 \text{ m}$ ve $\beta = 48^\circ$ değerleri mevcut verilerle doğrulanamamıştır.
Planlanan uygulama	100 mm C30/37 lif takviyeli püskürtme beton + Q221 hasır; Ø25 B500C çivi $2,00 \times 2,00 \text{ m}$, 4,5 m boy; Ø75 mm barbakan $2,0 \times 2,0 \text{ m}$. Tasarım, çıplak ve erozyona açık bir yüz varsayımı üzerine kurulmuştur (güvenli taraf). Genel stabilite açısından bu kesimde ilave önlem gerekmemektedir ($GS = 2,24$).



Şekil 2.9 – Şev Kesimi S7 genel görünüm.

Şev Kesimi S7 için kapsam notu: Bu şev kesiminin derin (genel) stabilitesi rahattır (statik $GS = 2,24$; deprem $GS = 1,61$) ve mevcut yüzey koşullarında taze erozyon izi belirlenmemiştir. Bu iki durumun birleşimi, S7'yi kapsam açısından yeniden değerlendirilebilecek tek şev kesimi hâline getirmektedir ($262,4 \text{ m}^2$; $30,2 \text{ m}^3$).

püskürtme beton; 66 çivi). Bu bir öneri değil, İdarenin bilgisine sunulan bir karar seçeneğidir ve karar ancak örtü altındaki yüzey görüldükten sonra verilebilir. Şev Kesimi S5 için aynı seçenek geçerli değildir: orada eksiklik derin mekanizmadadır ve yüzey örtüsü ile çözülmez.

2.5 Kapsam Dışı

Aşağıdaki konular bu ön tasarım raporunun kapsamı dışındadır ve ayrıca ele alınmalıdır: sayısal (sonlu elemanlar/sonlu farklar) modelleme; şev üstündeki mevcut veya planlanan yapıların temel tasarımı; kalıcı ankraj (öngermeli) sistemi tasarımı; peyzaj ve yüzey suyu toplama altyapısının detay projesi; imalat metraj ve keşif özeti; iş programı; hâlihazır topoğrafik ölçüm ve vaziyet planı üretimi.

3. Mevcut Saha Koşulları

3.1 Konum ve topografya

Saha, İstanbul ili Şile ilçesi sınırlarında, Karadeniz kıyısına yakın bir konumda yer almaktadır. Sahada yedi ayrı kazı şevi bulunmakta olup, bunlar kampüs içi kot farklarını karşılamak amacıyla açılmış görünmektedir. Şevlerin mevcut hâllerıyla bir süredir ayakta durduğu bilgisi, Bölüm 5.3'teki geri analizde mühendislik verisi olarak kullanılmıştır.

3.2 Bölgesel jeoloji (literatür verileri)

Şile ve çevresi, İstanbul Zonu'nun Paleozoyik temel birimleri ile bunları örten daha genç istiflerin yer aldığı bir bölgede bulunur. Literatürde bölgenin kuzey kesiminde Alt Eosen yaşlı Şile Formasyonu'nun şeyllerinin yüzeylendiği ve bu şeyller içinde Kretase–Paleosen yaşlı kireçtaşı blokları ile olistolitler barındıran olistostromların geliştiği; bölgeyi yaklaşık KKB–GGD doğrultusunda kesen doğrultu atımlı Sarıyer–Şile Fayı'nın Erken Eosen'deki bindirme hareketleriyle ilişkili olduğu belirtilmektedir.

İstanbul Zonu'nun Paleozoyik istifi, yaşlıdan gence doğru Kurtköy Formasyonu (arkozik kumtaşı–çakıtaşı–çamurtaşı), Aydos Formasyonu (kuvars arenit/ortokuvarsit ve kuvars konglomerası), Gözdağ Formasyonu (şeyl–silttaşı) ve üstteki karbonat/kırıntılı birimlerden oluşur. Kurtköy Formasyonu'nu oluşturan litolojilerin ileri derecede diyajenez sonucu çok sert kaya hâlini aldığı; buna karşılık aynı birimlerin birçok yerde şiddetli ayrışma gösterdiği ve kayacın ilksel özelliklerinin ayırt edilemez hâle geldiği literatürde vurgulanmaktadır.

Bölgesel jeoloji, sahada iki uç davranışın da mümkün olduğunu göstermektedir: (i) taze/az ayrışmış, çok sert ve süreksizlik kontrollü bir kaya kütlesi, veya (ii) ileri derecede ayrışmış, zemin gibi davranan bir kütle. Bu iki uç, tasarımı tamamen farklı yönlerle götürür.

Bu belirsizlik nedeniyle Bölüm 9'daki stabilite analizleri iki ayrı malzeme senaryosu (ZS-1 ve ZS-2) için ayrı ayrı yürütülmüş; tasarım ise güvenli tarafta kalan ZS-1 senaryosuna göre yapılmıştır.

Yukarıdaki jeolojik tanımlamalar bölgesel literatürden alınmıştır; sahaya özgü jeolojik kesit, ayrışma profili ve süreksizlik ölçümü bulunmamaktadır. Bunlar Bölüm 22.2'deki araştırma programı ile elde edilmelidir.

3.3 Yeraltı suyu ve drenaj koşulları

Sahada yeraltı su seviyesi ölçümü bulunmamaktadır. Şile bölgesi, Karadeniz iklim kuşağında yer aldığından yıllık yağış yüksektir ve şev yüzeylerinde mevsimsel sızıntı gelişmesi olağandır. Bu nedenle analizlerde boşluk suyu basıncı oranı (ru) üç ayrı düzeyde (0,00 / 0,25 / 0,50) parametre olarak ele alınmış, tasarımda ru = 0,25 esas alınmış ve ru = 0,50 durumu drenaj tıkanması senaryosu olarak ayrıca kontrol edilmiştir.

4. Şev Geometrisi

4.1 Bildirilen geometri ve mühendislik kontrolü

Şev kesimleri için tarafıma bildirilen üç büyüklük; yükseklik (H), yatay uzunluk (L) ve yatayla yapılan açı (β)'dır. Bu üç değerin iç tutarlılığı kontrol edilmiştir: eğer “yatay uzunluk” şev yüzünün düşey kesitteki yatay izdüşümü olsaydı, $L = H / \tan \beta$ eşitliğinin sağlanması gerekirdi.

“Yatay uzunluk”, şev yüzünün düşey kesitteki yatay izdüşümü değil, şevin doğrultusu boyunca uzanımı (cephe genişliği) olarak yorumlanmıştır. Bu yorum, yedi şev kesimin tamamında tutarlı sonuç vermektedir.

Bu yorum yanlış ise, bu rapordaki tüm alan ve metraj değerleri değişir; ancak birim şev başına yapılan stabilite hesapları (kN/m cinsinden) ve kaplama kalınlıkları değişmez, çünkü bunlar düzlem şekil değiştirme koşulunda birim genişlik için yapılmıştır.

Şev açılarının ve yüksekliklerinin arazide basit bir el klinometresi ve şerit metre ile teyit edilmesi önerilir.

4.2 Hesaplanan geometrik büyüklükler

Her şev kesimi için eğik (yüzey) boyu $H / \sin \beta$, yatay izdüşüm $H / \tan \beta$ ve kaplanacak yüzey alanı $L \times (H / \sin \beta)$ bağıntıları ile hesaplanmıştır.

Tablo 4.1 – Şev geometrisi ve kaplama alanları

Şev Kesimi	H (m)	β (°)	L (m)	$H/\tan\beta$ (m)	Eğik boy $H/\sin\beta$ (m)	Yüzey alanı (m ²)
S1	3,5	73	14,0	1,07	3,66	51,2
S2	3,5	76	19,0	0,87	3,61	68,5
S3	5,0	73	21,0	1,53	5,23	109,8
S4	5,0	69	19,5	1,92	5,36	104,4
S5	11,0	55	40,0	7,70	13,43	537,1
S6	11,0	55	23,0	7,70	13,43	308,9
S7	6,5	48	30,0	5,85	8,75	262,4
TOPLAM	—	—	166,5	—	—	1.442,4

Örnek hesap (Şev Kesimi S5): eğik boy $= 11,0 / \sin 55^\circ = 11,0 / 0,8192 = 13,43$ m; alan $= 40,0 \times 13,43 = 537,1$ m².

4.3 Geometrinin mühendislik yorumu

Şev kesimleri, davranışları açısından üç gruba ayrılmaktadır:

- Grup A – Şev Kesimi S1 ve S2 ($H = 3,5$ m; $\beta = 73^\circ - 76^\circ$): Dik ancak alçak kesitler. Derin kayma açısından rahat, ancak blok veya ağaç düşmesi ve yüzeysel kopma açısından en riskli grup. Yüzeyin hemen altındaki her gevşemenin doğrudan aşağıya düşme potansiyeli vardır.
- Grup B – Şev Kesimi S3 ve S4 ($H = 5,0$ m; $\beta = 69^\circ - 73^\circ$): Orta yükseklikte dik kesitler. Hem yüzeysel hem de sığ kama/düzlemsel mekanizmalar olası.
- Grup C – Şev Kesimi S5, S6 ve S7 ($H = 6,5 - 11,0$ m; $\beta = 48^\circ - 55^\circ$): Daha yatık ancak yüksek kesitler. Yedi şev kesimi içinde derin mekanizmaya en yatkın olanlar Şev Kesimi S5 ve S6'dır; ayrıca sahanın toplam yüzey alanının %59'unu (846 m²) bu iki bölüm oluşturmaktadır.

5. Geoteknik Tasarım Parametreleri

5.1 Eksik veriler

Gerçek bir geoteknik tasarım için gerekli olup mevcut olmayan bilgiler aşağıda listelenmiştir. Bu liste, Bölüm 22'deki saha araştırması programının gerekçesini oluşturur.

Tablo 5.1 – Eksik geoteknik veriler

Veri	Durum	Tasarımda neden gerekli
Zemin/kaya sınıfı, jeolojik profil	YOK	Analiz yönteminin (daireysel / kinematik) seçimi
Birim hacim ağırlık γ	YOK	Tüm denge hesaplarının temel girdisi
Kohezyon c' ve içsel sürtünme açısı φ'	YOK	Kayma dayanımı; sonuca en duyarlı parametreler
Drenajsız kayma dayanımı c_u	YOK	Kısa süreli (inşaat) durum kontrolü
UCS (tek eksenli basınç dayanımı)	YOK	Kaya kütlesi dayanımı, Hoek–Brown parametreleri
RQD, GSI, süreksizlik özellikleri	YOK	Kaya şevinde kinematik analiz ve bulon tasarımı
Elastisite modülü E , Poisson oranı ν	YOK	Deformasyon tahmini, sayısal modelleme
Permeabilite k	YOK	Drenaj tasarımı ve sızma debisi
Yeraltı su seviyesi ve mevsimsel değişimi	YOK	u değerinin belirlenmesi
SPT / CPT sonuçları	YOK	Ayrışmış örtü kalınlığı ve sıklığı
Şev üstü sürşarj yükleri, yakın yapı yükleri	YOK	Denge hesabına ilave etki
Sahaya özgü deprem parametreleri (SS , $S1$, PGA)	ALINDI	AFAD TDTH sorgusu yapıldı – Bölüm 13
Yerel zemin sınıfı (V_{s30} ölçümü)	YOK	F_S , F_1 ve F_{PGA} katsayıları; Z_C/Z_D arası seçim
Çevre etki sınıfı doğrulaması (donma-çözülme, deniz etkisi)	YOK	Beton karışım tasarımı ve dayanıklılık
Şev yüzeyi hâlihazır (topoğrafik) ölçümü	YOK	Kesin metraj ve kesit çizimleri

5.2 Veri kategorileri

Bu raporda kullanılan tüm veriler üç kategoriye ayrılmıştır ve her tabloda/hesapta kategorisi belirtilmiştir.

Tablo 5.2 – Veri kategorileri

Kategori	Tanım	Bu rapordaki örnekler
A – Ölçülmüş / mevcut	Doğrudan bildirilen veya belgelerden alınan veri	Şev yükseklikleri, açıları, yatay uzunluklar; saha gözlem kayıtları
B – Literatür / standart	İlgili standart veya güvenilir literatürden alınan değer	Bölgesel jeoloji; malzeme kısmi katsayıları; hedef güvenlik sayıları; beton sınıf gerekleri
C – Ön tasarım varsayımı	Saha verisi olmadığı için kabul edilen değer	c' , φ' , γ , u , q_s , yerel zemin sınıfı, ayrışmış örtü kalınlığı

5.3 Geri analiz: mevcut şevlerin ayakta durmasından çıkarılan bilgi

Mevcut şevler bir süredir ayakta olduğuna göre, in-situ kayma dayanımı en azından güvenlik sayısını 1,00'e getiren değerlerden büyük olmalıdır. Bu, ölçülmüş bir dayanım değildir; ancak parametre seçimlerini kurtaran bir alt sınır sağlar. Her şev kesimi için, verilen bir φ' değerinde $GS = 1,00$ sağlayan c' değeri iteratif olarak bulunmuştur ($\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$, kuru, statik).

Tablo 5.3 – Geri analiz: GS = 1,00 için gereken minimum c' (kPa)

Şev Kesimi	$\varphi' = 25^\circ$	$\varphi' = 30^\circ$	$\varphi' = 35^\circ$	$\varphi' = 40^\circ$
1 (H=3,5 m, 73°)	7,0	5,7	4,5	3,5
2 (H=3,5 m, 76°)	7,4	6,0	4,8	3,8
3 (H=5,0 m, 73°)	10,0	8,2	6,4	5,0
4 (H=5,0 m, 69°)	8,8	7,5	5,8	3,8
5 (H=11,0 m, 55°)	14,4	10,8	7,1	4,4
6 (H=11,0 m, 55°)	14,4	10,8	7,1	4,4
7 (H=6,5 m, 48°)	6,7	4,4	2,5	1,0
SEÇİLEN (en büyük)	14,4	10,8	7,1	5,0

Geri analizin iki önemli sonucu vardır:

- Şevlerin ayakta durması, ancak çok mütevazı bir kohezyon gerektirmektedir ($\varphi' = 30^\circ$ için yaklaşık 11 kPa). Yani mevcut duraylılık, malzemenin yüksek dayanımlı olduğunu kanıtlamaz; zayıf-orta dayanımlı bir malzeme de bu geometrileri derin mekanizma açısından taşıyabilir.
- Buna karşılık aynı malzeme, yüzeysel örtü mekanizmasında (Bölüm 9.3) yetersiz kalmaktadır. Bu iki sonucun birleşimi, sahanın gerçek probleminin derin kayma değil yüzeysel bozunma olduğunu göstermektedir.

5.4 Seçilen tasarım parametreleri (C kategorisi)

Belirsizliği açıkça yönetmek için iki senaryo tanımlanmıştır. Tasarım, güvenli tarafta kalan ZS-1 senaryosuna göre yapılmış; ZS-2 senaryosu ise üst sınırı göstermek ve gereksiz sistem önerilmesini önlemek amacıyla hesaplanmıştır.

Tablo 5.4 – Ön tasarım malzeme senaryoları

Parametre	ZS-1 (tasarım esası)	ZS-2 (üst sınır)	Gerekçe
Tanım	İleri/tamamen ayrılmış kumtaşı-şeyl; zemin gibi davranan kütle	Orta derecede ayrılmış zayıf kaya kütlesi	Bölüm 3.2'deki iki uç davranış
γ (kN/m ³)	21,0	23,0	Ayrılmış kırıntılı kayalar için tipik aralık 19–23
c' (kPa)	35	90	Geri analiz alt sınırının (≈ 11 kPa) üzerinde, ancak taze kaya değerlerinin çok altında
φ' (°)	32	38	Kumtaşı kökenli ayrışma ürünleri için literatür aralığı 28–36
r_u (tasarım)	0,25	0,25	Drenajlı ancak mevsimsel sızıntılı yüzey
Örtü: $\gamma / c' / \varphi'$	19 kN/m ³ / 5 kPa / 27°	—	En üstteki gevşek, kök bölgesi ve ayrışma artığı
Örtü kalınlığı (şeve dik)	0,30 – 1,00 m (tasarım 0,50 m)	—	Kabuk kalınlığı; SPT/sondaj ile doğrulanmalı

Bu değerlerin tamamı C kategorisidir (ön tasarım varsayımı). Bölüm 15'te her biri için tasarım parametrelerinin etki analizi yapılmıştır.

6. Tasarım Standartları ve Yönetmelikler

Tasarımda öncelikle Türkiye’de yürürlükte olan mevzuat ve standartlar esas alınmıştır. Uluslararası kaynaklar yalnızca, ulusal mevzuatta karşılığı bulunmayan konularda (özellikle şev için psödo-statik deprem katsayısının yükseklikle azaltılması ve zemin çivisi kaplama tasarımı) ve gerekçesi belirtilerek kullanılmıştır. Kullanılan standart ve yönetmelikler Tablo 6.1’de incelenmiştir.

Tablo 6.1 – Kullanılan standart ve yönetmelikler

Standart / Yönetmelik	Konu	Bu raporda kullanıldığı yer
TBDY 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği)	Deprem yer hareketi düzeyleri; Bölüm 16 – deprem etkisi altında zemin ve temeller; şev duraylılığı	Bölüm 13, 14.3
Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD)	SS, S1, PGA harita spektral ivme katsayıları	Bölüm 13 – sorgulandı (26.08.2026)
TS EN 1997-1 / Eurocode 7	Geoteknik tasarım; limit durumlar; kısmi katsayı yaklaşımı	Bölüm 12, 14
TS EN 1992-1-1 / Eurocode 2	Betonarme kesit tasarımı; eğilme, zımbalama, pas payı	Bölüm 10, 14.7
TS EN 206 ve TS 13515	Beton – özellik, performans, imalat, uygunluk; çevresel etki sınıfları	Bölüm 9.2
TS EN 14487-1	Püskürtme beton – Tarifler, özellikler ve uygunluk	Bölüm 9, 17
TS EN 14487-2	Püskürtme beton – Uygulama	Bölüm 17.9
TS EN 14488-1...-7	Püskürtme beton deneyleri (numune alma, genç beton dayanımı, eğilme, enerji yutma, kalınlık, lif içeriği)	Bölüm 18
TS EN 14889-1 / -2	Beton ve harç için lifler – çelik lifler / polimer lifler	Bölüm 10
TS 500	Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları	Bölüm 10 (alternatif kontrol)
KGM Geoteknik Tasarım Esasları / KGM Teknik Şartnamesi	Şev stabilitesi hedef güvenlik sayıları; psödo-statik yatay deprem katsayısı; püskürtme beton imalatı	Bölüm 12.1, 13.2
KGM Beton Laboratuvar El Kitabı (2023)	Püskürtme beton deneylerinin uygulanışı	Bölüm 19
TS EN ISO 14688 / 14689	Zeminlerin ve kayaların tanımlanması ve sınıflandırılması (ayırışma dereceleri)	Bölüm 22

7. Kritik Tasarım Yaklaşımı

Püskürtme beton, esas olarak yüzey stabilizasyonu, erozyon kontrolü ve ayrışmanın yavaşlatılması işlevi görür. Kendi başına ince bir kabuktur ve derin kayma mekanizmalarına karşı kayda değer bir direnç üretmez. Bu nedenle tasarımın ilk adımı, hangi mekanizmanın yönetici olduğunu belirlemektir.

7.1 Değerlendirilen göçme mekanizmaları

Tablo 7.1 – Mekanizma taraması

Mekanizma	Analiz yöntemi	Sonuç	Shotcrete etkili mi?
Derin dairesel kayma	Basitleştirilmiş Bishop, limit denge	Statik GS = 1,76–3,05; S5–S6’da suya duyarlı	Hayır – çivi/drenaj gerekir
Yüzeysel sıyrılma / örtü kayması	Sonsuz şev (sonlu kalınlıkta tabaka)	GS = 0,60–1,17 → YETERSİZ	EVET – asıl işlevi budur
Blok ve ağaç düşmesi / kopma	Kinematik + gözlem	Nicel değerlendirilemedi (süreksizlik ölçümü yapılmamıştır)	Kısmen – lifli kaplama + nokta bulonu
Düzlemsel kayma (kaya)	Düzlem yenilme analizi	Nicel değerlendirilemedi (süreksizlik ölçümü yapılmamıştır)	Hayır – zemin çivisi gerekir
Kama kayması (kaya)	Kama analizi	Nicel değerlendirilemedi (süreksizlik ölçümü yapılmamıştır)	Hayır – zemin çivisi gerekir
Devrilme (toppling)	Kinematik analiz	Nicel değerlendirilemedi (süreksizlik ölçümü yapılmamıştır)	Hayır
Erozyon / yüzey bozunması	Nitel + iklim koşulları	Karadeniz iklimi; yüksek yağış → aktif beklenir	EVET
Kaplama arkası su basıncı	Hidrostatik + panel eğilmesi	2 m yükte kesit kapasitesi aşıyor	Ters etki – drenaj zorunlu

7.2 Mühendislik kararı

Elde edilen bilgiler doğrultusunda aşağıda verilen kararlar alınmıştır.

- 1) Püskürtme beton bu sahada gereklidir ve doğru bir seçimdir: yönetici mekanizma yüzeysel sıyrılma ve erozyondur, ki bu tam olarak püskürtme betonun çözdüğü problemdir.
- 2) Püskürtme beton tek başına yeterli değildir: (a) ankrajsız bir kabuk, hesaplanan 4–16 kPa’lık yüzey basıncını yalnızca alt tabakaya yapışma (aderans) ile taşımak zorunda kalır ki bu, ayrışmış/doygun bir yüzeyde güvenilir bir mekanizma değildir; (b) drenajsız bir kabuk arkasında su basıncı biriktirir ve kendi kapasitesini aşar; (c) Şev Kesimi S5 ve S6’da yüksek su koşulunda derin mekanizma hedef güvenlik sayısını sağlamamaktadır.

8. Şev Stabilitesi Değerlendirmesi

8.1 Yöntem ve doğrulama

Genel stabilite analizleri, dairesel kayma yüzeyi varsayımı ile basitleştirilmiş Bishop yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kayma dairesi merkezi ve yarıçapı için iki aşamalı (kaba + ince) ızgara taraması uygulanmış, her daire 40 dilime bölünmüş ve güvenlik sayısı iteratif olarak çözülmüştür. Boşluk suyu basıncı ru katsayısı ile, deprem etkisi ise dilim ağırlık merkezine etkiyen yatay $kh \cdot W$ kuvveti ile modellenmiştir.

Hesaplar bağımsız referans çözümlerle doğrulanmıştır:

Tablo 8.1 – Hesapların doğrulanması

Referans problem	Referans değer	Bu çalışma	Sapma
Taylor kararlılık grafiği, $\varphi = 0$, $\beta = 75^\circ$	$N_s = 0,219$	$N_s = 0,214$	%2,3
Taylor kararlılık grafiği, $\varphi = 0$, $\beta = 60^\circ$	$N_s = 0,191$	$N_s = 0,190$	%0,5
Taylor kararlılık grafiği, $\varphi = 0$, $\beta = 53^\circ$	$N_s = 0,180$	$N_s = 0,180$	%0,1
Taylor kararlılık grafiği, $\varphi = 0$, $\beta = 45^\circ$	$N_s = 0,170$	$N_s = 0,179$	%5,4
ACADS kıyas problemi 1(a): $c'=3$ kPa, $\varphi'=19,6^\circ$, $\gamma=20$ kN/m ³ , $H=10$ m, $1D:2Y$	$GS = 1,00$	$GS = 0,985$	%1,5

$N_s = c / (\gamma \cdot H \cdot GS)$. Doğrulama, çalışma aralığı olan 45° – 76° için sapmanın %5'in altında olduğunu göstermektedir.

8.2 Genel stabilite sonuçları

Dört yükleme durumu incelenmiştir: D1 – statik, drenajlı ($ru = 0$); D2 – statik, $ru = 0,25$ (tasarım su koşulu); D3 – statik, $ru = 0,50$ (drenaj tıkanması); D4 – psödo-statik deprem ($ru = 0,15 + kh$).

Tablo 8.2 – Genel stabilite, ZS-1 senaryosu ($\gamma = 21$ kN/m³, $c' = 35$ kPa, $\varphi' = 32^\circ$)

Şev Kesimi	D1 $ru=0$	D2 $ru=0,25$	D3 $ru=0,50$	D4 deprem	Yöneten durum
S1	3,05	2,69	2,33	2,10	Deprem – GS ✓
S2	2,98	2,62	2,26	2,06	Deprem – GS ✓
S3	2,36	2,01	1,65	1,60	Deprem – GS ✓
S4	2,44	2,09	1,73	1,66	Deprem – GS ✓
S5	1,76	1,41	1,06	1,13	D2/D3 – GS X (hedef 1,50)
S6	1,76	1,41	1,06	1,13	D2/D3 – GS X (hedef 1,50)
S7	2,62	2,24	1,86	1,61	Deprem – GS ✓

Tablo 8.3 – Genel stabilite, ZS-2 senaryosu ($\gamma = 23$ kN/m³, $c' = 90$ kPa, $\varphi' = 38^\circ$)

Şev Kesimi	D1 $ru=0$	D2 $ru=0,25$	D3 $ru=0,50$	D4 deprem
S1	6,30	5,84	5,37	4,36
S2	6,16	5,69	5,23	4,30
S3	4,71	4,25	3,79	3,27
S4	4,87	4,41	3,94	3,34
S5	3,18	2,71	2,25	2,10
S6	3,18	2,71	2,25	2,10
S7	4,98	4,48	3,97	3,12

ZS-2 senaryosunda hiçbir bölümde derin mekanizma sorunu yoktur. Bu, malzemenin gerçekten az ayrılmış kaya çıkması hâlinde genel stabilite için ilave önlem gerekmediğini gösterir; ancak yüzeysel mekanizma (Bölüm 8.3) yine de geçerlidir.

8.3 Yüzeysel (örtü) stabilite sonuçları

Şev yüzeyine paralel, kalınlığı t olan ayrışmış bir örtü tabakasının sonsuz şev yaklaşımı ile stabilitesi incelenmiştir. Bu analizde t , şev yüzeyine DİK olarak ölçülmüştür:

$$GS = [c + (\gamma \cdot t \cdot \cos \beta - m \cdot \gamma_w \cdot t \cdot \cos \beta) \cdot \tan \varphi] / [\gamma \cdot t \cdot \sin \beta + k_h \cdot \gamma \cdot t \cdot \cos \beta]$$

Burada m , örtü kalınlığının doymuş olan oranıdır ($m = 0$ kuru; $m = 1$ tam doymuş, şeve paralel sızma).

Tablo 8.4 – Yüzeysel örtü stabilitesi ($c = 5$ kPa, $\varphi = 27^\circ$, $\gamma = 19$ kN/m³) – kaplamasız durum

Şev Kesimi	t=0,30 m kuru	t=0,30 m doymuş	t=0,50 m kuru	t=0,50 m m=0,5	t=0,50 m doymuş	t=0,50 m deprem
S1	1,07	0,99	0,71	0,67	0,63	0,61
S2	1,03	0,97	0,67	0,64	0,60	0,59
S3	1,07	0,99	0,71	0,67	0,63	0,61
S4	1,14	1,03	0,76	0,71	0,66	0,64
S5	1,43	1,24	1,00	0,91	0,82	0,76
S6	1,43	1,24	1,00	0,91	0,82	0,76
S7	1,64	1,40	1,17	1,05	0,93	0,83

Elde edilen veriler doğrultusunda, 0,50 m kalınlığında bir ayrışmış örtü, yedi şev kesiminin tamamında duraysızdır ($GS = 0,60 - 1,17$). 0,30 m'lik daha ince bir örtüde bile Şev Kesimi S1, S2 ve S3 sınır durumdadır ($GS \approx 1,0$). Bu, sahada gözlenmesi beklenen davranışın kademeli sıyrılma, oyuklaşma ve topukta malzeme birikmesi olduğunu; ani ve büyük bir kütle hareketinin ise (Şev Kesimi S5 ve S6 hariç) öncelikli risk olmadığını gösterir.

8.4 Kaplamaya gelen yüzey basıncı

Örtüyü hedef güvenlik sayısına getirmek için kaplamanın uygulaması gereken normal basınç p , yukarıdaki denklemin p için çözülmesiyle bulunur. Hedef GS statik durumda 1,50, deprem durumunda 1,10 alınmıştır.

Tablo 8.5 – Kaplama tasarım basıncı p (kPa), $t = 0,50$ m

Şev Kesimi	p ($m=0,5$; $GS=1,50$)	p (doymuş; $GS=1,50$)	p (deprem; $GS=1,10$)	p tasarım (kPa)
S1	14,9	15,6	9,6	15,6
S2	15,6	16,2	9,9	16,2
S3	14,9	15,6	9,5	15,6
S4	13,8	14,6	9,0	14,6
S5	9,1	10,5	6,2	10,5
S6	9,1	10,5	6,2	10,5
S7	6,3	7,9	4,8	7,9

Dik şev kesimleri (S1–S4) daha yüksek yüzey basıncı gerektirir; bu, sistemin daha sık çivi aralığı ile tasarlanmasıdır.

9. Püskürtme Beton (Shotcrete) Tasarımı

9.1 Yöntem seçimi: ıslak karışım

Mevcut arazi için Islak karışım (wet-mix) yöntemi önerilmektedir. Bunun gerekçeleri: (i) su/çimento oranı santralde kontrol edildiği için dayanım ve dayanıklılık daha tutarlıdır — Şile'nin donma-çözülme ve deniz etkisine açık ortamında bu belirleyicidir; (ii) 1.442 m²'lik alan ve 185 m³'lük beton hacmi, ıslak karışımın yüksek saatlik verimini ekonomik kılar; (iii) geri sıçrama (rebound) kuru karışıma göre belirgin biçimde düşüktür (tipik %5–10'a karşılık %15–30), bu da malzeme kaybını ve şev topuğunda temizlik yükünü azaltır; (iv) toz emisyonu düşüktür, kampüs içi bir sahada iş sağlığı açısından önemlidir.

Kuru karışım (dry-mix) yalnızca, erişimin çok kısıtlı olduğu küçük yamalarda ve onarımlarda, yazılı onayla kullanılabilir.

9.2 Beton sınıfı ve karışım tasarımı

Çevresel etki sınıfları TS EN 206 / TS 13515'e göre değerlendirilmiştir. Şev kaplaması dış ortamda, ıslanma-kuruma çevrimine ve donma-çözölmeye maruzdur; saha Karadeniz kıyısına yakın olduğu için deniz kaynaklı tuz aerosolü de göz önüne alınmalıdır.

Önemli bir konu, "püskürtme basıncı" ve "basınç dayanımı" büyüklüklerin farklı olduğunu ve bu konu şartnamede ayrı ayrı yazılmalıdır. Püskürtme (nozül/hava/pompa) basıncı, ekipmanın çalışma basıncıdır; mertebesi 0,2 – 2,0 MPa'dır ve betonun yüzeye yeterli hızda çarparak sıkışmasını sağlar. Doğrudan bir dayanım ölçütü değildir. Basınç dayanımı ise sertleşmiş betonun 28 günlük karakteristik dayanımıdır (bu projede $f_{ck} \geq 30$ MPa) ve TS EN 14488-1'e göre alınan plaka numunelerden çıkarılan karotlarla belirlenir.

Tablo 9.1 – Çevresel etki sınıfları ve beton gerekleri

Etki sınıfı	Gerekçe	Sonuç gereksinim
XC4	Islanma-kuruma çevrimi (yağış / kuruma)	Karbonatlaşma kaynaklı korozyon
XF3	Buz çözücü tuz olmadan yüksek su doygunluğunda donma-çözölme	Hava sürükleyici; $\geq 4\%$ hava
XS1 (kontrol edilmeli)	Deniz kaynaklı tuz aerosolü — sahil mesafesine göre teyit edilmeli	Klorür kaynaklı korozyon
SONUÇ	Yukarıdakilerin zarfı	En az C30/37; su/çimento $\leq 0,45$; çimento ≥ 400 kg/m³

Tablo 9.2 – Püskürtme beton karışım tasarımı gereksinimleri

Parametre	Gereksinim	Standart / gerekçe
Püskürtme beton sınıfı	C30/37 (TS EN 14487-1 dayanım sınıfı)	TS EN 14487-1 / TS EN 206
Karakteristik basınç dayanımı (28 gün, karot)	f_{ck} , silindir ≥ 30 MPa	TS EN 14488-1 numune alma
Genç beton dayanım gelişim sınıfı	J2 (şev yüzeyinde tutunma için)	TS EN 14487-1
Su / çimento oranı	$\leq 0,45$	Dayanıklılık zarfı (XF3/XS1)
Çimento dozajı	400 – 450 kg/m ³	Pompalanabilirlik + dayanıklılık
Çimento türü	CEM I 42,5 R veya CEM II/A-S 42,5 R	Hızlandırıcı uyumu doğrulanmalı
Agrega en büyük tane boyutu	$D_{max} = 8$ mm (kaplama ≤ 120 mm için)	Geri sıçramayı ve hortum tıkanmasını azaltır
Agrega granülometrisi	TS EN 14487-1 püskürtme beton bölgesi; 0,125 mm altı ince malzeme $\geq 4\%$	Pompalanabilirlik

Parametre	Gereksinim	Standart / gerekçe
Hava içeriği (taze, nozül öncesi)	± 1 (nozülde bir miktar kaybolur)	XF3 donma dayanıklılığı
Kıvam	Yayılma sınıfı; çökme 150–200 mm (pompa girişinde)	TS EN 12350
Priz hızlandırıcı	Alkali içermeyen (alkali-free), çimento ağırlığının $\leq 7\%$ 'si	Alkalili hızlandırıcı 28 günlük dayanımı ≥ 30 'a varan oranda düşürür ve iş güvenliği riski oluşturur
Akışkanlaştırıcı / priz geciktirici	Polikarboksilat esaslı; pompa hattı süresine göre	TS EN 934-2
Katkı-çimento uyumu	Uygulama öncesi laboratuvar uyum deneyi zorunlu	KGM Beton Lab. El Kitabı (2023)

9.3 Kaplama kalınlığı

Kalınlık üç ayrı mekanizmanın zarfı olarak belirlenmiştir: (i) donatı pas payı ve dayanıklılık; (ii) çiviler arasındaki panelin eğilme kapasitesi; (iii) çivi başlığında zımbalama.

Tablo 9.3 – Kalınlığı belirleyen mekanizmalar

Mekanizma	Gereksinim	Sonuç
Pas payı + donatı yerleşimi	Tek kat hasır için: 2×30 mm pas payı + hasır çapı + tolerans	≥ 80 mm
Dayanıklılık (XC4/XF3)	TS EN 1992-1-1 $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$; püskürtme betonda tolerans yüksek	≥ 90 mm
Panel eğilme kapasitesi (Bölüm 14.7)	$M_{Ed} = p \cdot S^2 / 10 \leq M_{Rd}$	100 mm yeterli ($S \leq 2,0$ m)
Çivi başlığı zımbalama (Bölüm 14.8)	$T_{Ed} \leq V_{Rd,c}$	100 mm yeterli; S5–S6'da 120 mm
S5 ve S6 (H = 11 m, en büyük alan)	Sistem güvenilirliği ve daha ağır donatı	120 mm

Tablo 9.4 – Şev kesimi bazında püskürtme beton kalınlığı

Şev Kesimi	Minimum kalınlık	Önerilen (tasarım) kalınlık	Yerel kalınlaştırma
S1	80 mm	100 mm	Topukta ve şev üstü kenarında 150 mm'ye kadar
S2	80 mm	100 mm	Topukta ve şev üstü kenarında 150 mm'ye kadar
S3	80 mm	100 mm	Süreksizlik çıkışlarında + 30 mm
S4	80 mm	100 mm	Süreksizlik çıkışlarında + 30 mm
S5	100 mm	120 mm	Berm/kademe kenarlarında 150 mm
S6	100 mm	120 mm	Berm/kademe kenarlarında 150 mm
S7	80 mm	100 mm	Topuk hendeği kenarında 150 mm

Kalınlıklar ortalama değerlerdir. TS EN 14488-6'ya göre yapılacak kalınlık kontrolünde hiçbir noktada tasarım kalınlığının ≥ 80 'inden az olmamalıdır; yüzey düzensizlikleri bu kalınlığa ilave olarak doldurulmalıdır.

10. Donatı ve Lif Tasarımı

10.1 Seçenek değerlendirmesi

Tablo 10.1 – Seçeneklerin değerlendirilmesi

Seçenek	Avantaj	Sınırlama	Bu projede
Yalnız hasır çelik	Bilinen tasarım; net eğilme kapasitesi	Düzensiz yüzeyde hasır arkasında boşluk (gölgelenme) riski; işçilik yavaş	Tek başına yetersiz
Yalnız lif	Boşluk riski yok; hızlı; enerji yutma yüksek	Yüksek yerel yükte (çivi başlığı) eğilme kapasitesi sınırlı	Tek başına yetersiz
Lif + hasır (önerilen)	Lif ilk çatlak sonrası süneklik ve büzülme çatlak kontrolü; hasır çivi başlığı çevresinde eğilme kapasitesi	Maliyet biraz yüksek	ÖNERİLEN
Donatı çubuğu (ilave)	Çivi başlığı çevresinde yerel güçlendirme	Yalnızca yerel	Çivi başlıklarında 2Ø12, 1,5 m boy, çapraz

10.2 Lif tasarımı

Tablo 10.2 – Lif gereksinimleri

Parametre	Çelik lif (öncelikli)	Sentetik makro lif (alternatif)
Standart	TS EN 14889-1	TS EN 14889-2 (Sınıf II, yapısal)
Dozaj	35 – 40 kg/m ³	5 – 7 kg/m ³
Lif boyu	30 – 35 mm	40 – 54 mm
Narinlik (l/d)	55 – 65	—
Çekme dayanımı	≥ 1.000 MPa, kancalı uç	≥ 500 MPa
Enerji yutma kapasitesi (TS EN 14488-5)	≥ 500 J (E500) – 25 mm sehimde	≥ 500 J (E500)
Artık eğilme dayanımı (TS EN 14488-3)	fR1 ≥ 2,5 MPa; fR3 ≥ 2,0 MPa	fR1 ≥ 2,0 MPa
Korozyon notu	Çatlak genişliği ≤ 0,3 mm tutulmalı; yüzeydeki liflerde paslanma lekesi estetik, yapısal değil	Korozyon riski yok; deniz etkisi altında tercih edilebilir

Şile'nin deniz kıyısına yakınlığı ve olası XS1 etkisi göz önüne alındığında, sentetik makro lif kalıcı performans açısından daha güvenli bir seçimdir; çelik lif seçilmesi hâlinde çatlak genişliğinin sınırlandırılması ve pas payının tam sağlanması kritik hâle gelir.

10.3 Hasır çelik

Tablo 10.3 – Hasır donatı ve hesaplanan kapasiteler

Şev Kesimi	Kalınlık	Hasır	As (mm ² /m)	d (mm)	MRd hasır (kNm/m)	MRd lif (kNm/m)	MRd toplam
1–4, 7	100 mm	Q221 (Ø6,5/150)	221	70	6,05	7,50	9,80
5, 6	120 mm	Q295 (Ø7,5/150)	295	90	10,39	10,80	15,79

$MRd,hasır = As \cdot f_{yd} \cdot 0,9d$ ($f_{yd} = 434,8$ MPa). MRd,lif Model Code 2010 basitleştirmesi ile $f_{Rd,1} = f_{R1}/1,5$. Toplam kapasitede lif katkısı, hasır ile birlikte çalışırken %50 oranında dikkate alınmıştır.

Yerleşim kuralları

- Hasır, ilk püskürtme katmanı (≈ 40 mm) uygulandıktan sonra yerleştirilmelidir; doğrudan kazı yüzeyine dayanan hasır arkasında boşluk (gölgeleme) oluşur.

- Hasır ile kazı yüzeyi arasında en az 30 mm, hasır üzerinde en az 30 mm püskürtme beton bulunmalıdır.
- Hasır ek boyu en az 1 göz + 100 mm; ekler şaşırtmalı yapılmalı, aynı kesitte toplanmamalıdır.
- Hasır, çivi başlık plakalarının altında sürekli geçmeli; plaka doğrudan hasıra oturmamalı, aralarında beton bulunmalıdır.
- Şev üstünde hasır, kret gerisine en az 1,0 m uzatılıp ankastre edilmelidir (su girişini ve kenar kırılmasını önlemek için).

11. Drenaj Tasarımı

Bu projede drenaj, püskürtme betonun tamamlayıcı bir detayı değil, sistemin çalışabilmesinin ön koşuludur. Bölüm 14.6'daki hesaplar, drenajsız bir kaplamanın kendi kapasitesini aşabileceğini; Bölüm 14.4'teki hesaplar ise drenaj tıkanması hâlinde Şev Kesimi S5 ve S6 için gereken destek kuvvetinin yaklaşık on kat arttığını göstermektedir.

Tablo 11.1 – Drenajın nicel gerekçesi

Durum	Şev Kesimi S5-S6 için gereken destek kuvveti (GS = 1,50)	Yorum
ru = 0,25 (drenaj çalışıyor)	25,8 kN/m	Hafif zemin çivisi ile karşılanır
ru = 0,50 (drenaj tıkalı)	247,2 kN/m	Ağır ankraj sistemi gerekir — ~10 kat

11.1 Drenaj elemanları

Tablo 11.2 – Drenaj sistemi bileşenleri

Eleman	Tanım	Gereksinim
Barbakan (weep hole)	Kaplamayı delip ayrılmış zonun ötesine ulaşan drenaj deliği	Ø75 mm delikli PVC; L = 1,5 – 2,0 m; %5–10 yukarı eğimli; 2,0 × 2,0 m şaşırtmalı düzen; geotekstil sargılı
Yoğunlaştırılmış barbakan	Aktif sızıntı gözlenen bölgelerde	1,0 × 1,0 m aralığa sıklaştırma; L = 3,0 m'ye kadar
Şerit / geokompozit drenaj	Kaplama arkasında düşey drenaj yolları	Barbakan hattı boyunca 300 mm genişliğinde geokompozit şerit; barbakana bağlanır
Şev üstü kuşaklama hendeği	Yüzey suyunun şev yüzüne ulaşmasını engeller	Kret gerisinden ≥ 2,0 m; beton kaplı trapez kesit; ≥ %1 boyuna eğim
Şev yüzeyi su toplama	Şev Kesimi S5 ve S6'da yüzey suyunun toplanması	Kademe/berm varsa berm üstünde beton oluk
Topuk drenajı	Kaplama arkasından çıkan suyun uzaklaştırılması	Topukta filtreli hendek; Ø100 mm delikli boru; kum-çakıl filtre; kampüs yağmur suyu sistemine bağlantı
Filtre malzemesi	İnce malzeme göçünü önler	Yıkanmış 4–16 mm kırma taş + 150 g/m ² ayırıcı geotekstil

11.2 Kaplama arkası su basıncı kontrolü

Barbakanların tıkanması hâlinde kaplama arkasında biriken su yükünün etkisi Tablo 11.3'te verilmiştir. Panel, çiviler arasında basit mesnetli kabul edilmiştir ($M = u \cdot S^2 / 8$).

Tablo 11.3 – Tıkalı drenaj durumunda kaplamada oluşan eğilme momenti (kNm/m)

Su yükü hw (m)	u = γw·hw (kPa)	S = 1,0 m	S = 1,5 m	S = 2,0 m	Değerlendirme
0,5	4,9	0,61	1,38	2,45	Güvenli
1,0	9,8	1,23	2,76	4,91	Güvenli
1,5	14,7	1,84	4,14	7,36	S = 2,0 m'de sınırda
2,0	19,6	2,45	5,52	9,81	S = 2,0 m'de KAPASİTE AŞILDI
3,0	29,4	3,68	8,28	14,71	S ≥ 1,5 m'de KAPASİTE AŞILDI

Karşılaştırma: t = 100 mm + Q221 kesitin toplam kapasitesi MRd = 9,80 kNm/m; t = 120 mm + Q295 için 15,79 kNm/m. Değerler kısmi katsayısızdır; tasarım kontrolünde 1,35 yük katsayısı uygulandığında hw = 1,5 m dahi 2,0 m açıklıkta sınıra gelmektedir.

12. Zemin Çivisi ve Ankraj Değerlendirmesi

12.1 Gereklilik gerekçesi

Zemin çivisi iki ayrı nedenle gereklidir ve tasarımda ikisinin toplamı esas alınmıştır:

- Kaplama ankraji: Kaplamanın örtüye uyguladığı p basıncının şev içine aktarılması. Ankrajsız bir kaplama bu basıncı yalnızca aderansla taşımak zorunda kalır; ayrılmış ve doygun bir yüzeyde aderans güvenilmezdir ve zamanla azalır.
- Genel stabilite katkısı: Yalnızca Şev Kesimi S5 ve S6'da, $r_u = 0,25$ durumunda hedef $GS = 1,50$ 'yi sağlamak için $25,8 \text{ kN/m}$ yatay kuvvet gereklidir.

Hesaplanan destek kuvveti gereksinimi ($25,8 \text{ kN/m}$, yalnızca Şev Kesimi S5 ve S6'da) pasif zemin çivisi kapasitesinin çok altındadır. Öngermeli kalıcı ankraj sistemi; çift korozyon koruması, germe ve kilitleme ekipmanı, kabul deneyleri ve ömür boyu yük izlemesi gerektirir. Bu projede bunların hiçbirini gerektiren bir tasarım durumu bulunmamaktadır. Öngermeli ankraj yalnızca şu durumda yeniden değerlendirilmelidir: saha araştırması, şeve doğru eğimli sürekli bir zayıflık düzlemi veya beklenenden çok daha düşük dayanım ortaya çıkarırsa.

12.2 Çivi tasarımı ve kontrolleri

Tablo 12.1 – Zemin çivisi tasarımı

Şev Kesimi	Aralık $Sh \times Sv$ (m)	Çap	Boy (m)	Ted (kN)	Nyd (kN)	GS çubuk	VRd zımb. (kN)	GS zımb.
S1	$1,75 \times 1,75$	Ø20	3,0	47,7	137	2,86	71,3	1,49
S2	$1,75 \times 1,75$	Ø20	3,0	49,6	137	2,75	71,3	1,44
S3	$1,75 \times 1,75$	Ø25	4,0	47,7	213	4,47	71,3	1,49
S4	$1,75 \times 1,75$	Ø25	4,0	44,9	213	4,76	71,3	1,59
S5	$1,50 \times 1,50$	Ø25	6,0	27,8	213	7,67	104,0	3,74
S6	$1,50 \times 1,50$	Ø25	6,0	27,8	213	7,67	104,0	3,74
S7	$2,00 \times 2,00$	Ø25	4,5	31,6	213	6,76	71,3	2,26

Tablo 12.2 – Gerekli aderans (bond) boyu kontrolü, Ø110 mm delgi

Şev Kesimi	Ted (kN)	Lbond gerekli, $q_s=100 \text{ kPa}$	Lbond gerekli, $q_s=200 \text{ kPa}$	Seçilen boy	Sonuç
S1	47,7	2,07 m	1,04 m	3,0 m	✓
S2	49,6	2,15 m	1,08 m	3,0 m	✓
S3	47,7	2,07 m	1,04 m	4,0 m	✓
S4	44,9	1,95 m	0,97 m	4,0 m	✓
S5	27,8	1,21 m	0,60 m	6,0 m	✓
S6	27,8	1,21 m	0,60 m	6,0 m	✓
S7	31,6	1,37 m	0,69 m	4,5 m	✓

$L_{bond} = T_{ed} \cdot 1,5 / (\pi \cdot D \cdot q_s)$. q_s = birim çevre sürtünme direnci (C kategorisi varsayım; çekme deneyi ile doğrulanmalıdır). Seçilen boylar, aderans gereksiniminin yanı sıra kayma yüzeyinin ötesine yeterli ankraj sağlamak üzere belirlenmiştir.

12.3 Çivi detayları

Tablo 12.3 – Önerilen çivi detayları

Detay	Gereksinim
Çubuk	B500C nervürlü donatı çeliği; tam boy tek parça (ek yapılacaksa manşon)
Delgi çapı	Ø110 mm (çubuk çevresinde $\geq 40 \text{ mm}$ enjeksiyon örtüsü)

Detay	Gereksinim
Eğim	Yatayla 15° aşağı doğru (enjeksiyonun boşluksuz dolması için $\geq 10^\circ$)
Doğrultu	Şev yüzüne dik izdüşümde; süreksizlik takımı belirlenirse takıma dik olacak şekilde revize edilmeli
Enjeksiyon (grout)	Çimento şerbeti, $s/\phi \leq 0,45$; 28 gün basınç dayanımı ≥ 25 MPa; tabandan yukarı (tremie) dolum
Ara mesafelendirici	2,5 m’de bir santralizör; çubuğun delgi ekseninde kalması
Başlık plakası	250 × 250 × 12 mm (Şev Kesimi S5–S6’da 250 × 250 × 15 mm); S275 çelik; sıcak daldırma galvaniz ≥ 85 μm
Somun ve pul	Küresel pul + somun; şev yüzü eğimine uyum için
Korozyon koruması	Kalıcı sistem: çimento örtüsü + galvanizli plaka + başlık üstü ≥ 30 mm püskürtme beton kapaması
Kabul deneyi	Her şev kesiminde en az 2 adet ve toplam çivi sayısının $\geq \%2$ ’si kadar çekme deneyi; tasarım yükünün 1,5 katına kadar

13. Deprem Etkisi

13.1 Deprem parametreleri

Deprem parametreleri, AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (tdth.afad.gov.tr) üzerinden 26.08.2026 tarihinde kampüs koordinatları girilerek sorgulanmıştır.

Vs30 ölçümü bulunmadığından yerel zemin sınıfı kesin olarak bilinmemektedir. Şevlerin ayrıışmış kumtaşı–şeyl içinde açılmış olması ve 73°–76° eğimlerde ayakta durması, ZC sınıfını (ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar; Vs30 = 360–760 m/s) olası kılmaktadır.

Buna karşılık tasarımda, güvenli tarafta kalmak üzere daha yüksek katsayı üreten ZD sınıfı esas alınmış; ZC sonuçları karşılaştırma amacıyla ayrıca verilmiştir. Deprem yönetici tasarım durumu olmadığı için bu muhafazakârlığın sisteme (kalınlık, donatı, çivi) hiçbir maliyeti yoktur.

Zemin sınıfı, Bölüm 22.2'deki jeofizik ölçüm (MASW/sismik kırılma) ile kesinleştirilmelidir. ZE veya ZF çıkması hâlinde bu bölüm yeniden hesaplanmalıdır.

Tablo 13.1 – AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası sorgu sonuçları (A kategorisi – ölçülmüş/resmî veri)

Parametre	Değer	Açıklama
Koordinat	41,169472° K – 29,560890° D	Işık Üniversitesi Şile Kampüsü
Deprem yer hareketi düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10; tekrarlanma periyodu 475 yıl
SS	0,585	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S1	0,174	1,0 s periyot harita spektral ivme katsayısı
PGA	0,246 g	En büyük yer ivmesi (referans kaya, Vs30 = 760 m/s)
PGV	15,307 cm/s	En büyük yer hızı
ZC: FS / F1	1,266 / 1,500	SDS = 0,741 ; SD1 = 0,261
ZD: FS / F1	1,332 / 2,252	SDS = 0,779 ; SD1 = 0,392

SS, S1, PGA ve PGV referans kaya koşulu için tanımlıdır ve yerel zemin sınıfından bağımsızdır; zemin sınıfı yalnızca FS ve F1 katsayılarını, dolayısıyla SDS ve SD1'i değiştirir.

13.2 Psödo-statik yatay deprem katsayısı

TBDY 2018 Bölüm 16 ve KGM Geoteknik Tasarım Esasları uyarınca şev duraylılığı, eşdeğer deprem katsayısı kullanılarak ($k_h \neq 0$, $k_v = 0$) psödo-statik limit denge yöntemi ile değerlendirilmiştir. Düşey deprem katsayısı, şev duraylılığına önemli etkisi olmadığı için sıfır alınmıştır.

Yatay katsayı, potansiyel yenilme kütleindeki maksimum ivme $k_{maks} = F_{PGA} \cdot PGA$ ile hesaplanmakta ve dalga saçılımı nedeniyle şev yüksekliğine bağlı α azaltım katsayısı ile çarpılmaktadır (NCHRP 611 yaklaşımı, KGM tarafından benimsenmiştir):

$$k_h = \alpha \cdot k_{maks} \quad \alpha = 1 + 0,01 \cdot H_{ft} \cdot (0,5 \cdot \beta_s - 1) \quad \beta_s = F_1 \cdot S_1 / k_{maks}$$

Tablo 13.2 – k_{maks} değerinin belirlenmesi

Zemin sınıfı	FPGA	FPGA · PGA	0,4 · SDS (TBDY)	k_{maks} (seçilen)
ZC	1,154	0,284	0,296	0,296
ZD	1,308	0,322	0,312	0,322

FPGA, AASHTO/NCHRP-611 tablosundan PGA = 0,246 g için doğrusal enterpolasyonla bulunmuştur. TBDY 2018 FPGA'ya tablolamadığından, yönetmelikle tutarlı $a_{max} = 0,4 \cdot SDS$ bağıntısı ile çapraz kontrol yapılmış ve her sınıf için büyük olan değer k_{maks} olarak alınmıştır. İki bağımsız yolun %4 içinde örtüşmesi, kabulün tutarlılığını göstermektedir.

Tablo 13.3 – Şev kesimi bazında hesaplanan yatay deprem katsayısı k_h

Zemin sınıfı	k_{maks}	β_s	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
ZC	0,296	0,881	0,277	0,277	0,269	0,269	0,237	0,237	0,261
ZD (tasarım)	0,322	1,218	0,307	0,307	0,301	0,301	0,276	0,276	0,295

Yüksek şevlerde (Şev Kesimi S5 ve S6, $H = 11\text{ m}$) katsayı, dalga saçılımı nedeniyle daha düşük çıkmaktadır; bu, yönetmeliğin öngördüğü fiziksel bir azaltımdır. Karşılaştırma: raporun ilk turunda $PGA = 0,22\text{ g}$ varsayımı ile $k_h = 0,204 - 0,245$ hesaplanmıştı; gerçek veri ile katsayılar %13 – %35 oranında artmıştır.

13.3 Deprem durumunda stabilite

Psödo-statik analiz sonuçları Tablo 8.2 (D4 sütunu) ve Tablo 8.3'te verilmiştir. ZD sınıfı ve ZS-1 malzeme senaryosunda tüm şev kesimlerinde $GS = 1,13 - 2,10$ hesaplanmış olup, KGM'nin eşdeğer statik analizler için öngördüğü hedef güvenlik sayısı olan 1,10 sağlanmaktadır. ZC sınıfı ile aynı değerler 1,17 – 2,17'dir. Deprem, bu şevlerde yönetici tasarım durumu DEĞİLDİR; yönetici durum yüksek su seviyesidir (D2/D3).

Şev Kesimi S5 ve S6 için hesaplanan $GS = 1,13$ (ZD) değeri, hedef 1,10'un yalnızca %3 üzerindedir. Bu şev kesimlerinde kabul edilen $c' = 35\text{ kPa}$ değerinin sondajla doğrulanması, raporun en kritik doğrulama kalemidir.

Tasarım parametrelerinin etki analizi (Bölüm 15.2), $c' = 20\text{ kPa}$ çıkması hâlinde Şev Kesimi S5 ve S6'da deprem güvenlik sayısının 0,82'ye düştüğünü ve hedefi sağlamak için 227,6 kN/m destek kuvveti gerekeceğini göstermektedir. Bu, önerilen çivi sisteminin yaklaşık dokuz katıdır. Bu nedenle Bölüm 19'daki 0 numaralı aşama (saha araştırması) bir durdurma noktasıdır; kayma dayanımı doğrulanmadan Şev Kesimi S5 ve S6'da imalata başlanmamalıdır.

Sıvılaşma: şevler ayrılmış kaya/sert zemin içinde açıldığı ve topuk kotunda doymun gevşek kum tabakası bilgisi bulunmadığı için sıvılaşma değerlendirmesi bu aşamada yapılmamıştır. Sondaj sonuçlarında SPT-N30 < 15 olan doymun, ince taneli olmayan tabaka bulunması hâlinde TBDY 2018 Madde 16.6 uyarınca sıvılaşma analizi yapılmalıdır.

14. Hesaplar

Bu bölümde her hesap için Veriler, Varsayımlar, Formüller, Hesap, Sonuç, Kontrol sırasıyla verilmiştir. Örnek hesaplar Şev Kesimi S2 (en dik) ve Şev Kesimi S5 (en yüksek ve en büyük alanlı) üzerinden gösterilmiştir; diğer şev kesimleri aynı yöntemle hesaplanmış olup sonuçları ilgili tablolarda verilmiştir.

14.1 Geometri hesabı

Hesap 14.1 – Şev Kesimi S5 yüzey alanı

Adım	İçerik
Veriler	$H = 11,0 \text{ m}$; $\beta = 55^\circ$; $L = 40,0 \text{ m}$ (A kategorisi – bildirilen veri)
Varsayımlar	“Yatay uzunluk” = şev cephesinin doğrultu boyunca uzunluğu (Bölüm 5.1)
Formüller	Eğik boy $L_s = H / \sin \beta$; Yatay izdüşüm $= H / \tan \beta$; Alan $= L \times L_s$
Hesap	$L_s = 11,0 / \sin 55^\circ = 11,0 / 0,8192 = 13,43 \text{ m}$ Yatay izdüşüm $= 11,0 / \tan 55^\circ = 11,0 / 1,4281 = 7,70 \text{ m}$ Alan $= 40,0 \times 13,43 = 537,1 \text{ m}^2$
Sonuç	Şev Kesimi S5 kaplama alanı $= 537,1 \text{ m}^2$ (toplam alanın %37’si)
Kontrol	Boyut kontrolü: $[m] \times [m] = [m^2] \checkmark$; $L_s > H$ olmalı $\rightarrow 13,43 > 11,0 \checkmark$

14.2 Geri analiz

Hesap 14.2 – Şev Kesimi S5 için $GS = 1,00$ veren c' ($\varphi' = 30^\circ$)

Adım	İçerik
Veriler	$H = 11,0 \text{ m}$; $\beta = 55^\circ$; $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ (C); $\varphi' = 30^\circ$ (tarama parametresi)
Varsayımlar	Dairesel kayma; drenajlı; $ru = 0$; mevcut şev en az sınır dengede
Formüller	Basitleştirilmiş Bishop: $GS = \frac{\sum[(c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan \varphi') / m\alpha]}{\sum(W \cdot \sin \alpha)}$ $m\alpha = \cos \alpha \cdot (1 + \tan \alpha \cdot \tan \varphi' / GS)$
Hesap	c' değeri, kritik daire taraması ile $GS = 1,00$ olana kadar iteratif değiştirildi. Sonuç: $c' = 10,8 \text{ kPa}$
Sonuç	Mevcut Şev Kesimi S5 şevinin ayakta durabilmesi için $\varphi' = 30^\circ$ iken $c' \geq 10,8 \text{ kPa}$ olmalıdır
Kontrol	Bu bir ALT SINIRDIR. Seçilen tasarım değeri $c' = 35 \text{ kPa}$ bunun 3,2 katıdır; bu nedenle tasarım değeri, geri analizle tutarlı ancak ölçüm olmadan doğrulanmamıştır $\checkmark$

14.3 Genel stabilite

Hesap 14.3 – Şev Kesimi S5, statik, $ru = 0,25$

Adım	İçerik
Veriler	$H = 11,0 \text{ m}$; $\beta = 55^\circ$; $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$; $c' = 35 \text{ kPa}$; $\varphi' = 32^\circ$ (ZS-1, C kategorisi)
Varsayımlar	40 dilim; $ru = 0,25$ ($u = ru \cdot \gamma \cdot h$); kritik daire iki aşamalı ızgara taraması ile
Formüller	Bishop (yukarıdaki gibi); ru boşluk suyu basıncı oranı
Hesap	Kritik daire tarandı; $GS = 1,41$
Sonuç	$GS = 1,41 < \text{hedef } 1,50$
Kontrol	YETERSİZ $\rightarrow$ Bölüm 13’te destek kuvveti hesaplanmıştır. Şev Kesimi S6 aynı geometri, aynı sonuç $\checkmark$

Hesap 14.4 – Şev Kesimi S2, statik, $ru = 0,25$

Adım	İçerik
Veriler	$H = 3,5 \text{ m}$; $\beta = 76^\circ$; $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$; $c' = 35 \text{ kPa}$; $\varphi' = 32^\circ$
Varsayımlar	Aynı
Formüller	Aynı
Hesap	Kritik daire tarandı; $GS = 2,62$
Sonuç	$GS = 2,62 > 1,50$
Kontrol	YETERLİ. Şev Kesimi S2'de derin mekanizma açısından ilave önlem gerekmez ✓

14.4 Gerekli destek kuvveti**Hesap 14.5 – Şev Kesimi S5 için hedef $GS = 1,50$ 'yi sağlayan yatay kuvvet**

Adım	İçerik
Veriler	Şev Kesimi S5 geometrisi ve ZS-1 parametreleri; hedef $GS = 1,50$
Varsayımlar	Yatay P kuvveti, şev yüksekliğinin $0,45H$ kotunda etkiyor (çivi ağırlık merkezi)
Formüller	$GS = \{ \Sigma[(c'b + (W-ub)\tan\varphi')/m\alpha] + P \cdot (\gamma c - \gamma P)/R \} / \Sigma(W \cdot \sin\alpha)$
Hesap	$ru = 0,25$ için: $P = 25,8 \text{ kN/m}$ $ru = 0,50$ için: $P = 247,2 \text{ kN/m}$ Deprem ($ru = 0,15$, $kh = 0,276$) için: $P = 0$ ($GS = 1,13 > 1,10$)
Sonuç	Tasarım destek kuvveti (drenajlı durum) = $25,8 \text{ kN/m}$
Kontrol	$Sh = 1,50 \text{ m}$ ve 9 sıra çivi için sıra başına $\approx 4,3 \text{ kN/çivi}$. Çubuk kapasitesi $213 \text{ kN} \rightarrow$ oran $0,02$. Genel stabilite katkısı, kaplama ankraj yükünün yanında ihmal edilebilir düzeydedir ✓

14.5 Yüzeysel örtü ve kaplama basıncı**Hesap 14.6 – Şev Kesimi S2, $0,50 \text{ m}$ örtü, doymuş**

Adım	İçerik
Veriler	$t = 0,50 \text{ m}$ (şeve dik); $\beta = 76^\circ$; $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$; $c = 5 \text{ kPa}$; $\varphi = 27^\circ$; $m = 1,0$ (C)
Varsayımlar	Sonsuz şev; şeve paralel sızma; kaplamasız durum
Formüller	$GS = [c + (\gamma \cdot t \cdot \cos\beta - m \cdot \gamma_w \cdot t \cdot \cos\beta) \cdot \tan\varphi] / (\gamma \cdot t \cdot \sin\beta)$
Hesap	$N = 19 \times 0,50 \times \cos 76^\circ = 19 \times 0,50 \times 0,2419 = 2,30 \text{ kPa}$ $u = 1,0 \times 9,81 \times 0,50 \times 0,2419 = 1,19 \text{ kPa}$ $T = 19 \times 0,50 \times \sin 76^\circ = 19 \times 0,50 \times 0,9703 = 9,22 \text{ kPa}$ $GS = [5 + (2,30 - 1,19) \times \tan 27^\circ] / 9,22 = (5 + 0,566) / 9,22 = 0,60$
Sonuç	$GS = 0,60 < 1,00 \rightarrow$ örtü kaplamasız duraysız
Kontrol	Kaplama zorunlu ✓

Hesap 14.7 – Şev Kesimi S2 için gereken kaplama basıncı

Adım	İçerik
Veriler	Yukarıdaki veriler; hedef $GS^* = 1,50$
Varsayımlar	Kaplama, şeve dik p basıncı uygular; sürtünme direncine $p \cdot \tan\varphi$ katkısı yapar
Formüller	$p = [GS^* \cdot T - c - (N - u) \cdot \tan\varphi] / \tan\varphi$
Hesap	$p = [1,50 \times 9,22 - 5 - (2,30 - 1,19) \times 0,5095] / 0,5095$ $p = [13,83 - 5 - 0,566] / 0,5095 = 8,264 / 0,5095 = 16,2 \text{ kPa}$
Sonuç	Tasarım kaplama basıncı $p_d = 16,2 \text{ kPa}$ (yedi şev kesiminin en yükseği)

Adım	İçerik
Kontrol	Şev Kesimi S7’de aynı hesap 7,9 kPa vermektedir; dik şevlerin daha yüksek basınç gerektirmesi beklenen sonuçtur ✓

14.6 Kaplama arkası su basıncı

Hesap 14.8 – Tıkali barbakan, $h_w = 2,0$ m, $S = 2,0$ m

Adım	İçerik
Veriler	$h_w = 2,0$ m; $\gamma_w = 9,81$ kN/m ³ ; panel açıklığı $S = 2,0$ m; $t = 100$ mm; Q221
Varsayımlar	Panel basit mesnetli; üniform su basıncı; kısmi katsayı uygulanmamış
Formüller	$u = \gamma_w \cdot h_w$; $M = u \cdot S^2 / 8$; $MR_d = MR_{d,hasır} + 0,5 \cdot MR_{d,lif}$
Hesap	$u = 9,81 \times 2,0 = 19,6$ kPa $M = 19,6 \times 2,0^2 / 8 = 9,81$ kNm/m $MR_{d,hasır} = 221 \times 10^{-6} \times 434,8 \times 10^3 \times 0,9 \times 0,070 = 6,05$ kNm/m $MR_{d,lif} = 0,45 \times (2,5/1,5) \times 10^3 \times 0,10^2 = 7,50$ kNm/m $MR_d = 6,05 + 0,5 \times 7,50 = 9,80$ kNm/m
Sonuç	$MEd = 9,81$ kNm/m $\approx MR_d = 9,80$ kNm/m → kapasite tam sınırdadır, kısmi katsayı ile AŞILIR
Kontrol	Drenaj ZORUNLU. Ayrıca bu, Şev Kesimi S1–S4 ve S7’de çivi aralığının 2,0 m ile sınırlandırılmasının nedenidir ✓

14.7 Kaplama eğilme kontrolü

Hesap 14.9 – Şev Kesimi S2 kaplama paneli

Adım	İçerik
Veriler	$p_d = 16,2$ kPa; $S = 1,75$ m; $t = 100$ mm; Q221 ($A_s = 221$ mm ² /m); $f_{yd} = 434,8$ MPa
Varsayımlar	Panel çiviler arasında sürekli plak; $M = p \cdot S^2 / 10$ (FHWA GEC-7 basitleştirmesi)
Formüller	$MEd = p \cdot S^2 / 10$; $MR_d = A_s \cdot f_{yd} \cdot 0,9d + 0,5 \cdot (0,45 \cdot f_{Rd1} \cdot t^2)$
Hesap	$MEd = 16,2 \times 1,75^2 / 10 = 16,2 \times 3,0625 / 10 = 4,96$ kNm/m $MR_d = 9,80$ kNm/m (Hesap 14.8)
Sonuç	$GS = 9,80 / 4,96 = 1,97$
Kontrol	$MEd < MR_d$ ✓ Yedi şev kesimindeki en düşük eğilme güvenliği budur (Tablo 16.2) ✓

14.8 Çivi başlığı zımbalama kontrolü

Hesap 14.10 – Şev Kesimi S2, çivi başlığı

Adım	İçerik
Veriler	$T_{Ed} = p_d \cdot S_h \cdot S_v = 16,2 \times 1,75 \times 1,75 = 49,6$ kN; $t = 100$ mm; $d = 70$ mm; plaka 250×250 mm; $f_{ck} = 30$ MPa
Varsayımlar	TS EN 1992-1-1 zımbalama; kontrol çevresi plaka kenarından 2d mesafede
Formüller	$k = 1 + \sqrt{(200/d)} \leq 2,0$; $v_{min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}}$; $u_1 = 4a + 2\pi(2d)$; $VR_d = v_{min} \cdot u_1 \cdot d$
Hesap	$k = 1 + \sqrt{(200/70)} = 1 + 1,690 = 2,690 \rightarrow k = 2,0$ $v_{min} = 0,035 \times 2,0^{1,5} \times \sqrt{30} = 0,035 \times 2,828 \times 5,477 = 0,542$ MPa $u_1 = 4 \times 250 + 2\pi \times 140 = 1000 + 879,6 = 1.879,6$ mm $VR_d = 0,542 \times 1.879,6 \times 70 = 71.310$ N = 71,3 kN
Sonuç	$GS = 71,3 / 49,6 = 1,44$
Kontrol	$T_{Ed} < VR_d$ ✓ Bu, Şev Kesimi S1 ve S2’de çivi aralığının 2,0 m’den 1,75 m’ye düşürülmesinin nedenidir (2,0 m’de $GS = 1,10$ ile yetersiz kalıyordu) ✓

14.9 Çivi çekme ve aderans kontrolü

Hesap 14.11 – Şev Kesimi S2 çivisi

Adım	İçerik
Veriler	$T_{Ed} = 49,6 \text{ kN}$; $\varnothing 20 \text{ B500C}$; $D = 110 \text{ mm}$; $q_s = 100 \text{ kPa}$ (C kategorisi – muhafazakâr)
Varsayımlar	Pasif çivi; aderans kısmi katsayısı 1,5
Formüller	$N_{yd} = A_s \cdot f_{yk} / 1,15$; $R_{bond} = \pi \cdot D \cdot L_b \cdot q_s$; $L_{b,ger} = T_{Ed} \cdot 1,5 / (\pi \cdot D \cdot q_s)$
Hesap	$A_s = \pi \cdot 20^2 / 4 = 314 \text{ mm}^2$ $N_{yd} = 314 \times 500 / 1,15 / 1000 = 136,5 \text{ kN} \rightarrow GS = 136,5 / 49,6 = 2,75$ $L_{b,ger} = 49,6 \times 1,5 / (\pi \times 0,110 \times 100) = 74,4 / 34,56 = 2,15 \text{ m}$
Sonuç	Seçilen boy $3,0 \text{ m} > 2,15 \text{ m}$
Kontrol	Aderans ✓ ve çubuk ✓. q_s değeri ÇEKME DENEYİ ile doğrulanmalıdır; $q_s = 100 \text{ kPa}$ 'dan düşük çıkarsa boy artırılmalıdır

15. Tasarım Parametrelerinin Etki Analizi

Ön tasarım varsayımlarının sonuca etkisi, ZS-1 taban durumu ($c' = 35$ kPa, $\varphi' = 32^\circ$, $\gamma = 21$ kN/m³, $ru = 0,25$) etrafında tek parametre değiştirilerek incelenmiştir.

Tablo 15.1 – Tasarım parametrelerinin etki analizi: genel stabilite güvenlik sayıları

Senaryo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
TABAN durumu	2,69	2,62	2,01	2,09	1,41	1,41	2,24
$\varphi' - 5^\circ$ (27°)	2,61	2,54	1,93	2,01	1,31	1,31	2,11
$\varphi' + 5^\circ$ (37°)	2,78	2,70	2,09	2,18	1,51	1,51	2,38
$c' - 15$ kPa (20)	1,71	1,66	1,31	1,37	1,00	1,00	1,55
$c' + 15$ kPa (50)	3,66	3,56	2,69	2,79	1,78	1,78	2,90
$\gamma - 2$ kN/m ³ (19)	2,93	2,85	2,18	2,26	1,50	1,50	2,41
$\gamma + 2$ kN/m ³ (23)	2,49	2,43	1,87	1,95	1,33	1,33	2,10
$ru = 0,00$	3,05	2,98	2,36	2,44	1,76	1,76	2,62
$ru = 0,50$	2,33	2,26	1,65	1,73	1,06	1,06	1,86
Sürşarj $q = 20$ kPa	2,08	2,02	1,69	1,77	1,33	1,33	2,00

15.1 Parametrelerin etki sıralaması

Tablo 15.2 – Şev Kesimi S5 (kritik şev kesimi) için GS değişimi

Parametre	Değişim	GS aralığı	GS değişimi	Sıra
Kohezyon c'	± 15 kPa	1,00 – 1,78	$\pm \%28$	1 – EN KRİTİK
Boşluk suyu basıncı ru	0,00 – 0,50	1,06 – 1,76	$\pm \%25$	2
Sürşarj q	0 → 20 kPa	1,41 → 1,33	$-\ \%6$	3
Birim hacim ağırlık γ	± 2 kN/m ³	1,33 – 1,50	$\pm \%6$	4
Sürtünme açısı φ'	$\pm 5^\circ$	1,31 – 1,51	$\pm \%7$	5

Tablo 15.3 – Deprem ile düşük kohezyonun birlikte gerçekleşmesi ($c' = 20$ kPa, DD-2, $ru = 0,15$)

Zemin sınıfı	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
ZC	1,41	1,38	1,10	1,14	0,85	0,85	1,20
ZD	1,37	1,34	1,07	1,10	0,82	0,82	1,15

Hedef GS = 1,10. Şev Kesimi S5 ve S6 bu birleşik senaryoda hedefi sağlamamaktadır ($GS = 0,82 - 0,85$); Şev Kesimi S3 ve S4 sınırdadır. Bu senaryoda Şev Kesimi S5 ve S6 için gereken destek kuvveti 227,6 kN/m'dir.

Sonuç, ölçülmemiş iki büyüklüğe — kohezyona ve su basıncına — belirgin şekilde duyarlıdır. Bu, tasarımın güvenilirliğini iki yolla yönetmeyi gerektirmiştir:

(1) Su basıncı, tasarımla kontrol edilebilir bir değişkendir. Bu nedenle drenaj sistemi, tasarımın vazgeçilmez bileşeni yapılmış ve barbakanlar izleme programına dâhil edilmiştir.

(2) Kohezyon ise yalnızca ölçülebilir. $c' = 20$ kPa çıkması hâlinde Şev Kesimi S5 ve S6'da statik $GS = 1,00$ 'e, deprem durumunda ise 0,82'ye düşmektedir (Tablo 15.3). Bu durumda gereken destek kuvveti 227,6 kN/m olup önerilen sistemin yaklaşık dokuz katıdır; çivi aralığı 1,25 m'ye sıkılaştırılmalı, boyu 8,0 m'ye çıkarılmalı ve öngermeli ankraj seçeneği yeniden değerlendirilmelidir. Bu senaryo, Bölüm 19'daki uygulama aşamalarında bir “durdurma noktası” olarak tanımlanmıştır.

(3) Şev üstünde 20 kPa mertebesinde bir sürşarj (araç yolu, dolgu, şantiye stoku) Şev Kesimi S1 ve S2'de GS'yi %23 düşürmektedir. Şev üstü kullanımı kısıtlanmalıdır.

16. Önerilen Sistem – Şev Kesimi Bazında Özet

Tablo 16.1 – NİHAİ MÜHENDİSLİK DEĞERLENDİRMESİ (yedi şev kesimi için özet)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
H (m) / β (°)	3,5 / 73	3,5 / 76	5,0 / 73	5,0 / 69	11,0 / 55	11,0 / 55	6,5 / 48
Alan (m ²)	51	69	110	104	537	309	262
Shotcrete kalınlığı	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm	120 mm	120 mm	100 mm
Shotcrete sınıfı	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37
Lif (E500)	Çelik 35–40 kg/m ³ veya sentetik 5–7 kg/m ³	←	←	←	←	←	←
Hasır donatı	Q221	Q221	Q221	Q221	Q295	Q295	Q221
Püskürtme yöntemi	Islak karışım	←	←	←	←	←	←
Nozul hava basıncı	0,3–0,7 MPa	←	←	←	←	←	←
Çivi aralığı	1,75×1,75	1,75×1,75	1,75×1,75	1,75×1,75	1,50×1,50	1,50×1,50	2,00×2,00
Çivi çapı / boy	Ø20 / 3,0 m	Ø20 / 3,0 m	Ø25 / 4,0 m	Ø25 / 4,0 m	Ø25 / 6,0 m	Ø25 / 6,0 m	Ø25 / 4,5 m
Çivi adedi	17	23	36	35	239	138	66
Barbakan	Ø75 / 2×2 m	←	←	←	Ø75 / 2×2 m + berm oluşu	←	←
Genel stabilite ilave önlemi	Gerekmez	Gerekmez	Gerekmez	Gerekmez	Çivi + drenaj	Çivi + drenaj	Gerekmez
Kritik kontrol	Zımbalama	Zımbalama + eğilme	Eğilme	Eğilme	Genel stabilite (su)	Genel stabilite (su)	Yüzeysel örtü

Tablo 16.2 – Hesaplanan güvenlik sayılarının özeti

Kontrol	Hedef GS	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Genel stabilite, statik (ru=0,25) – sistemli	1,50	2,69	2,62	2,01	2,09	1,50	1,50	2,24
Genel stabilite, deprem (DD-2, ZD)	1,10	2,10	2,06	1,60	1,66	1,13	1,13	1,61
Yüzeysel örtü – kaplamalı	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Kaplama eğilme	1,00	2,05	1,97	2,05	2,19	6,71	6,71	3,10
Çivi başlığı zımbalama	1,00	1,49	1,44	1,49	1,59	3,74	3,74	2,26
Çivi çubuk çekme	1,00	2,86	2,75	4,47	4,76	7,67	7,67	6,76
Çivi aderans (q _s =100 kPa)	1,50	1,45	1,40	1,93	2,05	4,96	4,96	3,28

Şev Kesimi S5 ve S6’da statik GS, önerilen çivi sistemi ile hedef değere (1,50) getirilmiştir. Yüzeysel örtü GS’si, kaplama basıncı zaten bu hedefe göre boyutlandırıldığı için tanım gereği 1,50’dir.

Tablo 16.3 – Yaklaşık metraj (planlama amaçlı)

Şev Kesimi	Alan (m ²)	Kalınlık	Püskürtme beton (m ³)	Çivi adedi	Çivi toplam boy (m)
S1	51,2	100 mm	5,9	17	51
S2	68,5	100 mm	7,9	23	69
S3	109,8	100 mm	12,6	36	144
S4	104,4	100 mm	12,0	35	140
S5	537,1	120 mm	74,1	239	1.434

Şev Kesimi	Alan (m ²)	Kalınlık	Püskürtme beton (m ³)	Çivi adedi	Çivi toplam boy (m)
S6	308,9	120 mm	42,6	138	828
S7	262,4	100 mm	30,2	66	297
TOPLAM	1.442,4	—	185,3	554	2.963

Beton hacimleri %15 yüzey düzensizliği/aşırı püskürtme payı içerir; geri sıçrama (rebound) kaybı dâhil değildir (ıslak karışımda ilave %5–10 öngörülmelidir). Metrajlar, Bölüm 4.1'deki geometri yorumuna bağlıdır.

17. Minimum Püskürtme Beton Teknik Şartnamesi

Bu şartname, Işık Üniversitesi Şile Kampüsü şev stabilizasyonu işinde uygulanacak asgari koşulları tanımlar. Yüklenici, bu şartnamede belirtilenden daha yüksek performanslı çözümler önerebilir; ancak daha düşüğü kabul edilmez. Uyuşmazlık hâlinde ilgili TS EN standardı esastır.

17.1 Kapsam

İş; şev yüzeyi hazırlığı ve temizliği, drenaj imalatı, zemin çivisi imalatı, hasır donatı ve lif takviyeli püskürtme beton uygulaması, kalite kontrol deneyleri ve uygulama sonrası izlemeyi kapsar. Toplam kaplama alanı yaklaşık 1.442 m²'dir (yedi şev kesimi).

17.2 Kullanılacak standartlar

TBDY 2018; TS EN 1997-1; TS EN 1992-1-1; TS EN 206 ve TS 13515; TS EN 14487-1 ve -2; TS EN 14488-1...-7; TS EN 14889-1 ve -2; TS EN 934-2; TS 500; TS EN ISO 14688 ve 14689; KGM Geoteknik Tasarım Esasları ve KGM Teknik Şartnamesi; KGM Beton Laboratuvar El Kitabı (2023). Standartların ihale dokümanında yıl bilgisi ile birlikte yazılması zorunludur.

17.3 Yüzey hazırlığı

- Şev yüzeyi yukarıdan aşağıya doğru, kademeli olarak ve emniyet halatlı ekiple temizlenecektir (scaling).
- Gevşek bloklar, askıda kalmış kütleler, çıkıntılar ve ayrışma artıkları tamamen alınacaktır. Bir bloğun alınması komşu bloğu tehlikeye atacaksa, önce nokta bulonu uygulanacaktır.
- Bitki örtüsü, kökler ve organik madde kaldırılacak; kök boşlukları püskürtme betondan önce doldurulacaktır.
- Yüzeydeki 30 cm'den derin çukurluk ve oyuklar, kaplamadan önce lifli püskürtme beton ile doldurularak düzeltilecektir; kaplama kalınlığının bu boşlukları doldurmak için kullanılması kabul edilmez.
- Püskürtmeden hemen önce yüzey basınçlı hava + su ile temizlenecek; yüzey nemli ancak üzerinde serbest su bulunmayan (SSD) durumda olacaktır.
- Temizlenmiş yüzey, İdare/kontrol mühendisi tarafından tutanakla kabul edilmeden püskürtmeye başlanmayacaktır. Temizlik ile püskürtme arasında 24 saatten fazla süre geçerse temizlik tekrarlanacaktır.

17.4 Drenaj

- Barbakanlar püskürtme betondan önce yerleştirilecek ve püskürtme sırasında tıkanmaları önlenecektir (uçları geçici olarak tapalanacaktır).
- Ø75 mm delikli PVC boru, L = 1,5–2,0 m, yatayla %5–10 yukarı eğimli, 2,0 × 2,0 m şaşırtmalı düzen; boru geotekstil ile sarılacaktır.
- Aktif sızıntı gözlenen bölgelerde aralık 1,0 × 1,0 m'ye sıklaştırılacak, boy 3,0 m'ye kadar artırılacaktır.
- Barbakan hattı boyunca kaplama arkasına 300 mm genişliğinde geokompozit drenaj şeridi yerleştirilecek ve barbakana bağlanacaktır.
- Şev üstü kuşaklama hendeği, kaplamadan önce tamamlanacak ve yüzey suyu şev yüzünden uzaklaştırılacaktır (kret gerisinden en az 2,0 m, beton kaplı, ≥ %1 eğimli).

- Topukta filtreli hendek ve Ø100 mm delikli toplama borusu imal edilecek, kampüs yağmur suyu sistemine bağlanacaktır.

17.5 Zemin çivisi

Aralık, çap ve boylar Tablo 12.1'e göre'dir. Delgi Ø110 mm, yatayla 15° aşağı eğimli. B500C nervürlü çubuk, 2,5 m'de bir santralizör. Enjeksiyon: çimento şerbeti, $s/\phi \leq 0,45$, 28 günlük basınç dayanımı ≥ 25 MPa, tremie ile tabandan doldurma. Başlık plakası 250×250×12 mm (Şev Kesimi S5 ve S6'da 15 mm), S275, sıcak daldırma galvanizli (≥ 85 µm), küresel pul ve somun ile. Başlık, üzeri en az 30 mm püskürtme beton ile kapatılacaktır.

Çekme deneyi: her şev kesiminde en az 2 adet ve toplam çivi sayısının en az %2'si kadar, tasarım yükünün 1,5 katına kadar. Deneyler imalatın ilk %10'u tamamlanmadan yapılacak; qs değeri varsayılandan (100 kPa) düşük çıkarsa boylar İdare onayı ile artırılabilecektir.

17.6 Püskürtme beton sınıfı ve karışım

C30/37; genç beton dayanım gelişim sınıfı J2; $s/\phi \leq 0,45$; çimento 400–450 kg/m³ (CEM I 42,5 R veya CEM II/A-S 42,5 R); D_{max} = 8 mm; hava içeriği %5 ± 1 (nozül öncesi); alkali içermeyen priz hızlandırıcı, çimento ağırlığının en çok %7'si. Alkalili (alkali içeren) hızlandırıcı kullanılmayacaktır. Katkı-çimento uyum deneyi uygulama öncesi yapılacaktır.

17.7 Minimum kalınlık

Şev Kesimi S1, S2, S3, S4 ve S7'de tasarım kalınlığı 100 mm (mutlak minimum 80 mm); Şev Kesimi S5 ve S6'da 120 mm (mutlak minimum 100 mm). TS EN 14488-6'ya göre yapılan ölçümlerde hiçbir noktada tasarım kalınlığının %80'inden az olmayacaktır. Ortalama kalınlık, tasarım kalınlığının altına düşmeyecektir.

17.8 Lif ve hasır donatı

Lif: çelik 35–40 kg/m³ (TS EN 14889-1, kancalı uç, ≥ 1.000 MPa) veya sentetik makro lif 5–7 kg/m³ (TS EN 14889-2 Sınıf II). Enerji yutma kapasitesi TS EN 14488-5'e göre ≥ 500 J (E500). Hasır: Şev Kesimi S1–S4 ve S7'de Q221, Şev Kesimi S5 ve S6'da Q295. Hasır, ilk katman (≈ 40 mm) uygulandıktan sonra yerleştirilecek; arkasında en az 30 mm, üzerinde en az 30 mm beton bulunacaktır. Ek boyu en az bir göz + 100 mm, ekler şaşırtmalı. Hasır kret gerisine en az 1,0 m uzatılacaktır.

17.9 Uygulama yöntemi ve basınçlar

Tablo 17.1 – Uygulama parametreleri (ıslak karışım)

Parametre	Gereksinim	Not
Yöntem	Islak karışım (wet-mix), yoğun akış	Kuru karışım yalnızca yerel onarımda, yazılı onayla
Nozül hava basıncı	0,3 – 0,7 MPa (3 – 7 bar)	Nozülde ölçülür; hat boyu arttıkça artırılır
Hava debisi	7 – 15 m ³ /dak	Nozül çapına bağlı
Pompa (hat) basıncı	1,0 – 2,0 MPa	Hat uzunluğu ve kot farkına göre
Nozül-yüzey mesafesi	1,0 – 1,5 m	< 0,7 m: yüzey bozulur; > 2,0 m: sıkışma ve aderans azalır
Nozül açısı	Yüzeye dik ± 10°	Eğik püskürtme geri sıçramayı ve boşluğu artırır
Katman kalınlığı (düşey yüzey)	≤ 60 mm hızlandırıcısız; ≤ 100 mm hızlandırıcı	Akma/sarkma görülürse azaltılır

Parametre	Gereksinim	Not
Katlar arası bekleme	Yüzeysel priz sonrası, tipik 30 dak – 4 saat	12 saati aşarsa yüzey basınçlı su ile temizlenir
Uygulama sırası	Aşağıdan yukarıya, yatay şeritler hâlinde	Geri sıçrayan malzemenin gömülmesini önler
Geri sıçrama (rebound)	Yüzeyden ve topuktan sürekli temizlenecek	Geri sıçrayan malzeme YENİDEN KULLANILMAZ
Hava sıcaklığı	+5 °C ... +30 °C	+5 °C altında ve don beklentisinde uygulama yapılmaz
Rüzgâr / yağış	Şiddetli yağış ve rüzgârdan uygulama durdurulur	Yıkanma ve toz kaybı riski

17.10 Kür

Kür, püskürtme tamamlandıktan hemen sonra başlayacak ve en az 7 gün sürecektir. Yöntem: sürekli nemli tutma (su serpme/sisleme) veya TS EN 14487-2'ye uygun kür malzemesi. Kür malzemesi kullanılması hâlinde, sonraki katman ile aderansı engellememesi için katmanlar arasında uygulanmayacaktır. Doğrudan güneş ve rüzgâra maruz yüzeyler örtülecektir. Don riski varsa yüzey yalıtım örtüsü ile korunacaktır.

17.11 Numune alma ve deneyler

Tablo 18.1 – Kalite kontrol deney programı

Deney	Standart	Sıklık	Kabul kriteri
Plaka numunesi alma	TS EN 14488-1	Her 200 m ² veya her vardiya (hangisi önce)	Sahada, gerçek ekipman ve ekip ile
Basınç dayanımı (karot)	TS EN 12504-1 / 14488-1	Her plakadan 3 karot, 28 gün	f _{ck} , karot ≥ 30 MPa; tek değer ≥ 26 MPa
Genç beton dayanımı	TS EN 14488-2	İlk 3 vardiya ve karışım değişiminde	J2 eğrisine uygunluk
Eğilme / artık dayanım	TS EN 14488-3	Her 1.000 m ² ve karışım değişiminde	f _{R1} ≥ 2,5 MPa; f _{R3} ≥ 2,0 MPa
Enerji yutma kapasitesi	TS EN 14488-5	Her bölüm başına en az 1 set	≥ 500 J (25 mm sehimde)
Kalınlık	TS EN 14488-6	Her 50 m ² 'de 1 nokta (delme veya çivi ölçümü)	Hiçbir nokta < %80; ortalama ≥ tasarım
Lif içeriği	TS EN 14488-7	Her 500 m ²	Tasarım dozajının ± %15'i
Aderans (pull-off)	TS EN 1542 / 14488-4	Her şev kesiminde en az 3 nokta	≥ 0,5 MPa (kaya); ≥ 0,3 MPa (ayrışmış zemin)
Hava içeriği ve kıvam (taze)	TS EN 12350-7 / -5	Her transmiksör	Hava %5 ± 1; çökme 150–200 mm
Çivi çekme deneyi	TS EN 1537 / ISO 22477-5 esasları	Bölüm başına ≥ 2 ve toplamın ≥ %2'si	1,5 × tasarım yükünde sünme sınırında kalma
Enjeksiyon dayanımı	TS EN 445/446/447	Her gün 1 set (3 küp)	≥ 25 MPa (28 gün)
Barbakan işlevselliği	—	İmalat sonrası %100 görsel	Tıkanmamış; su akışı serbest

17.12 Kabul kriterleri

- Kalınlık: TS EN 14488-6 ölçümlerinde ortalama ≥ tasarım kalınlığı ve hiçbir tekil değer < %80 tasarım kalınlığı.
- Dayanım: 28 günlük karot dayanımı f_{ck} ≥ 30 MPa; tekil değer ≥ 26 MPa.
- Aderans: pull-off ≥ 0,5 MPa (sağlam kaya yüzeyi) veya ≥ 0,3 MPa (ayrışmış yüzey); üç noktanın ortalaması esas alınır, tek değer ortalamasının %75'inden az olamaz.

- Yüzey: düzgün, boşluksuz; çekiçle tıklatma (sounding) ile boş ses veren alan yoktur. Boş alanlar kesilip yeniden yapılacaktır.
- Çatlak: yüzeyde 0,3 mm'den geniş çatlak bulunmayacaktır; bulunması hâlinde nedeni araştırılacak ve onarım programı İdare onayına sunulacaktır.
- Çivi: çekme deneylerinin tamamı kabul kriterini sağlayacaktır; sağlanmayan durumda o bölümdeki çivi sayısı ikiye katlanacak veya boy artırılabilecektir.
- Drenaj: barbakanların %100'ü açık ve işlevsel olacaktır.

17.13 İş güvenliği

- Yüksekte çalışma: tam vücut emniyet kemeri, çift kancalı lanyard, bağımsız can halatı; ankraj noktaları sertifikalı.
- Şev üstünde ve topuğunda düşen cisim koruma alanı tanımlanacak; topuk hattı şeritlenecek ve gözcü bulundurulacaktır.
- Püskürtme sırasında nozölcü ve yardımcısı için tam yüz siperi, toz maskesi (FFP3), koruyucu giysi ve eldiven zorunludur.
- Alkali içermeyen hızlandırıcı kullanımı iş güvenliği açısından da zorunludur; buna rağmen cilt ve göz teması önlenecektir.
- Hava hortumları çift emniyet mandalı (whip check) ile bağlanacak; hat basıncı boşaltılmadan bağlantı açılmayacaktır.
- Kampüs içi çalışma: öğrenci ve personel geçiş güzergâhları kapatılacak veya yönlendirilecek; çalışma saatleri İdare ile mutabık kalınacaktır.
- Delgi sırasında tozsuzlaştırma (ıslak delgi veya toz toplama) uygulanacaktır.

17.14 Saha kontrolü ve kayıt

Yüklenici; her vardiya için püskürtme kaydı (tarih, saat, bölüm, alan, karışım irsaliyesi, hızlandırıcı dozajı, hava sıcaklığı, nozölcü adı, uygulanan kalınlık, geri sıçrama miktarı) tutacaktır. Her çivi için delgi kaydı (kot, derinlik, eğim, enjeksiyon miktarı, kayıp) tutulacaktır. Kayıtlar haftalık olarak İdareye sunulacaktır. Nozölcüler, TS EN 14487-2 kapsamında belgeli veya İdare huzurunda yapılacak deneme uygulaması ile onaylanmış olacaktır.

18. Kalite Kontrol Özeti

Kalite kontrol üç düzeyde yürütülür: (i) uygulama öncesi uygunluk (malzeme belgeleri, karışım tasarımı, uyum deneyleri, deneme uygulaması); (ii) uygulama sırasında süreç kontrolü (yüzey kabulü, kalınlık, taze beton deneyleri, kayıt); (iii) uygulama sonrası performans doğrulaması (karot dayanımı, aderans, enerji yutma, çekme deneyleri).

18.1 Deneme uygulaması (mock-up)

İmalata başlamadan önce, en az 3 m² alanda ve gerçek şev eğiminde bir deneme uygulaması yapılacaktır. Deneme uygulaması ile şunlar doğrulanacaktır: karışımın pompalanabilirliği, hızlandırıcı dozajının uygunluğu, katman kalınlığı kapasitesi, geri sıçrama oranı, nozülü becerisi ve hasır arkasının tam dolması. Deneme uygulamasından karot alınacak ve kesitte boşluk/gölgelenme kontrol edilecektir. İdare onayı alınmadan asıl imalata geçilmeyecektir.

18.2 Karar noktaları

Tablo 18.2 – Uygulama sırasında tasarımı değiştirebilecek bulgular

Bulgu	Eşik	Yapılacak işlem
Çivi çekme deneyi kapasitesi düşük	$q_s < 100 \text{ kPa}$	Çivi boyu artırılır veya aralık sıklaştırılır (Bölüm 15.1)
Kazı yüzeyinde beklenenden zayıf malzeme	$c' < 20 \text{ kPa}$ göstergesi	Şev Kesimi S5–S6'da aralık 1,25 m'ye düşürülür veya boy 8,0 m'ye çıkarılır
Yaygın ve sürekli su çıkışı	Sızıntı bantları	Barbakan aralığı 1,0 m'ye sıklaştırılır; boy 3,0 m'ye çıkarılır
Şeve doğru eğimli sürekli süresizlik	Eğim $> \varphi$ ve şev yüzünden daylight	Düzlemsel kayma analizi yapılır; bulon doğrultusu ve boyu revize edilir
Aderans deneyi düşük	$< 0,3 \text{ MPa}$	Yüzey hazırlığı yöntemi değiştirilir; çivi aralığı sıklaştırılır
Kaplama üzerinde çatlak gelişimi	$> 0,3 \text{ mm}$	İmalat durdurulur; neden araştırılır (drenaj, hareket, büzülme)

19. Uygulama Aşamaları

Uygulama sırası, her aşamanın kendinden sonrakini güvenli hâle getirmesi ilkesine göre kurgulanmıştır. Özellikle drenajın kaplamadan önce tamamlanması ve çivilerin kaplama ile birlikte kademeli ilerlemesi kritiktir.

Tablo 19.1 – Uygulama aşamaları

Aşama	İş	Ön koşul / kontrol
0	Saha araştırması (Bölüm 22) ve tasarımın revizyonu	DURDURMA NOKTASI: Şev Kesimi S5–S6’da c’ doğrulanmadan imalata başlanmaz
1	Şantiye kurulumu, erişim, iskele/halat sistemi, güvenlik alanları	İSG planı onaylı
2	Şev üstü kuşaklama hendeği ve yüzey suyu yönlendirmesi	Kaplamadan önce tamamlanmalı
3	Yukarıdan aşağıya yüzey temizliği (scaling), gevşek blok ve ağaç alımı	Şev kesimi bazında tutanaklı kabul
4	Nokta bulonu (gerekli görülen yerlerde)	Temizlik sırasında belirlenen kritik bloklar ve ağaçlar
5	Deneme uygulaması (mock-up) ve onayı	Bölüm 18.1
6	Barbakan delgisi ve borulaması, geokompozit şerit	Kaplamadan ÖNCE; uçlar tapalı
7	İlk püskürtme katmanı (≈ 40 mm) – yüzey stabilizasyonu	Yüzey SSD durumda
8	Çivi delgisi, çubuk yerleştirme ve enjeksiyon	İlk katman prizini almış olmalı
9	Çekme deneyleri (ilk %10 imalat içinde)	Sonuç olumsuzsa Bölüm 18.2 uygulanır
10	Hasır donatı yerleştirme ve bağlama	Arkada ≥ 30 mm boşluk, plaka altından sürekli geçiş
11	İkinci ve üçüncü püskürtme katmanları – tasarım kalınlığına ulaşma	Katman kalınlığı ve bekleme süresi kontrolü
12	Başlık plakası, somun sıkma ve başlık üstü kapama betonu	Küresel pul ile yüzeye tam oturma
13	Kür (≥ 7 gün)	Sürekli nemli tutma
14	Topuk drenajı, hendek ve yağmur suyu bağlantısı	Kaplamadan çıkan su tahliye edilebilmeli
15	Barbakan tapalarının alınması ve işlevsellik kontrolü	%100 kontrol
16	Nihai kabul deneyleri ve kayıtların teslimi	Bölüm 17.11 – 17.12
17	İzleme sisteminin kurulumu ve sıfır okuması	Bölüm 20

Şev kesimi önceliği: alan ve risk açısından Şev Kesimi S5 ve S6 (846 m², toplam alanın %59’u) öncelikli, ardından Şev Kesimi S7, sonra Şev Kesimi S3 ve S4, en son Şev Kesimi S1 ve S2 önerilir. Ancak topukta yaya/araç trafiği bulunan şev kesimleri varsa, blok ve ağaç düşme riski nedeniyle bunlar öne alınmalıdır.

20. İzleme ve Bakım

İzleme, tasarımın ölçülmemiş parametrelere dayandığı bir projede yalnızca iyi uygulama değil, güvenliğin bir parçasıdır. Gözlemsel yöntem (observational method, TS EN 1997-1 Madde 2.7) kapsamında, izleme sonuçlarının tasarımı revize edebileceği kabul edilmiştir.

Tablo 20.1 – İzleme programı

Yöntem	Amaç	Sıklık	Eşik / eylem
Görsel çatlak muayenesi	Kaplamada çatlak, boşalma, renk değişimi	İlk yıl 3 ayda bir; sonra 6 ayda bir ve her şiddetli yağış sonrası	> 0,3 mm çatlak → inceleme; > 1,0 mm → mühendis değerlendirmesi
Çatlak ölçer (crack gauge)	Tespit edilen çatlakların hareketini izleme	Aylık	3 ayda > 0,5 mm açılma → acil değerlendirme
Topoğrafik (survey) ölçüm	Şev yüzeyindeki yer değiştirme	Kaplama sonrası sıfır okuma; 6 ayda bir	> 10 mm kümülatif hareket → inceleme; > 25 mm → acil
Ölçüm hedefleri (prizma/nokta)	Şev Kesimi S5 ve S6'da kret, orta ve topuk hattında en az 3'er nokta	Survey ile birlikte	Yukarıdaki eşikler
İnclinometre	Derin hareketin varlığının belirlenmesi	Yalnızca Şev Kesimi S5 ve S6'da, 1 adet (sondaj kuyusuna); ilk yıl 3 ayda bir	> 5 mm/yıl derinlik profilinde hareket → acil
Piezometre	Boşluk suyu basıncının tasarım varsayımına ($ru = 0,25$) uygunluğu	Şev Kesimi S5 ve S6'da 1'er adet; ilk yıl aylık	$ru > 0,35$ → drenaj yetersiz, müdahale
Barbakan kontrolü	Tıkanma, akış debisi, akan suyun bulanıklığı	6 ayda bir ve şiddetli yağış sonrası	Tıkalı barbakan → temizlik; bulanık akış → ince malzeme göçü, filtre kontrolü
Çivi yük kontrolü	Yük hücresi ile seçilmiş çivilerde	Şev Kesimi S5 ve S6'da 2'şer adet; ilk yıl 3 ayda bir	Tasarım yükünün %120'si → değerlendirme
Kuşaklama hendeği	Tıkanma, kırılma, taşma	Yılda 2 kez (yağış dönemi öncesi/sonrası)	Temizlik ve onarım
Deprem sonrası muayene	Yerel ivme > 0,05 g olan her depremden sonra	Olay bazlı	Tam görsel muayene + survey

20.1 Bakım

- Barbakanlar yılda en az bir kez basınçlı su ile temizlenmelidir.
- Şev üstünde bitkilendirme yapılacaksa kökleri derine inmeyen türler seçilmeli; ağaç dikilmemelidir.
- Şev üstüne dolgu, malzeme stoku veya araç park edilmesi yasaklanmalıdır (Bölüm 15, $q = 20$ kPa senaryosu).
- Kaplamada oluşan yerel hasarlar, aynı sınıf püskürtme beton ile ve yüzey hazırlığı yapılarak onarılmalıdır.
- İzleme kayıtları kampüs teknik arşivinde saklanmalı ve her yıl bir geoteknik mühendisi tarafından değerlendirilmelidir.

21. Kullanılan Verilerin Kategorilere Göre Dökümü

Raporun tümünde kullanılan veriler, karışıklığa yer bırakmamak üzere aşağıda tek tabloda toplanmıştır.

Tablo 21.1 – Veri dökümü

Kategori	Veri	Kaynak / gerekçe
A – Ölçülmüş/mevcut	Şev yükseklikleri $H = 3,5 / 5,0 / 6,5 / 11,0$ m	Bildirilen saha bilgileri
A	Şev açıları $\beta = 48^\circ / 55^\circ / 69^\circ / 73^\circ / 76^\circ$	Bildirilen saha bilgileri
A	Yatay uzunluklar $L = 14 / 19 / 21 / 19,5 / 40 / 23 / 30$ m	Bildirilen saha bilgileri (yorum için bkz. Bölüm 4.1)
A	Şev kesimi bazında saha gözlem kayıtları (yüzey durumu, kret ve topuk koşulları)	Saha ziyareti kayıtları
B – Literatür/standart	Bölgesel jeoloji: Şile Formasyonu, Sarıyer-Şile Fayı, İstanbul Paleozoyiği	Jeoloji literatürü (Bölüm 3.2)
B	Hedef güvenlik sayıları: statik 1,50; psödo-statik 1,10	KGM Geoteknik Tasarım Esasları; TBDY 2018
B	kh formülasyonu (kmaks, α azaltımı)	NCHRP 611 / KGM Geoteknik Tasarım Esasları
B	Beton çevresel etki sınıfı gerekleri (XC4/XF3/XS1)	TS EN 206 / TS 13515
B	Zımbalama ve eğilme formülleri, $f_{yd} = 434,8$ MPa	TS EN 1992-1-1
B	Lif performans sınıfları (E500, fR1, fR3)	TS EN 14487-1, TS EN 14488-3 ve -5
C – Ön tasarım varsayımı	$\gamma = 21$ kN/m ³ (ZS-1) / 23 kN/m ³ (ZS-2)	Ayrılmış kırıntılı kayaç literatür aralığı 19–23
C	$c' = 35$ kPa (ZS-1) / 90 kPa (ZS-2)	Geri analiz alt sınırı (≈ 11 kPa) üzerinde seçilmiş; ÖLÇÜLMEMİŞ
C	$\varphi' = 32^\circ$ (ZS-1) / 38° (ZS-2)	Literatür aralığı 28–38; ÖLÇÜLMEMİŞ
C	Örtü: $\gamma = 19$ kN/m ³ , $c = 5$ kPa, $\varphi = 27^\circ$, $t = 0,50$ m	Gevşek ayrışma artığı; ÖLÇÜLMEMİŞ
C	$r_u = 0,25$ (tasarım) / 0,00 / 0,50 (kontrol)	Yeraltı suyu ölçümü YOK
A	$SS = 0,585$; $S1 = 0,174$; $PGA = 0,246$ g; $PGV = 15,307$ cm/s	AFAD TDTH sorgusu, 26.08.2026, DD-2
C	Yerel zemin sınıfı ZD (tasarım) / ZC (karşılaştırma)	Vs30 ölçümü YOK; ZD muhafazakâr olarak seçildi
C	$q_s = 100$ kPa (çivi çevre sürtünmesi)	Muhafazakâr; ÇEKME DENEYİ ile doğrulanmalı
C	Sürşarj $q = 20$ kPa (yalnızca etki analizi senaryosunda)	Şev üstü kullanımı bilinmiyor

22. Tasarımın Sınırlamaları ve Gerekli Saha Araştırmaları

22.1 Sınırlamalar

- Bu çalışma bir ÖN TASARIM / KONSEPT TASARIM çalışmasıdır; uygulama (imalat) projesi yerine geçmez.
- Hiçbir zemin veya kaya dayanım parametresi ölçülmemiştir. Bölüm 5.4'teki tasarım parametreleri varsayımdır.
- Saha gözlemleri nitel niteliktedir; ölçüme dayalı ayrışma sınıflaması, süreksizlik ölçümü, yeraltı suyu gözlemi ve numune alma yapılmamıştır. Zemin/kaya ayrımı ve ayrışma derecesi sayısal olarak belirlenmemiştir.
- Süreksizlik verisi olmadığı için düzlemsel kayma, kama kayması, devrilme ve blok ve ağaç düşmesi analizleri yapılamamıştır. Kaya kütleli davranışı hâkim çıkarsa genel stabilite için ilave önlem gerekmebilir; ancak yüzeysel mekanizma geçerliliğini korur (Bölüm 8.3).
- Deprem parametreleri AFAD haritasından sorgulanmıştır; ancak yerel zemin sınıfı Vs30 ölçümü ile doğrulanmamış, güvenli tarafta kalmak üzere ZD kabul edilmiştir.
- Yeraltı su seviyesi ve permeabilite bilinmemektedir; drenaj tasarımı hidrolik hesaba değil, iyi uygulama ve basınç kırma ilkesine dayanmaktadır.
- Şev üstündeki mevcut/planlanan yapı ve yükler bilinmemektedir; sürşarj yalnızca etki analizi senaryosu olarak ele alınmıştır.
- Şev geometrisi topoğrafik ölçüme değil, bildirilen üç sayıya dayanmaktadır (Bölüm 4.1'deki yorum dâhil).
- Sayısal (sonlu elemanlar) analiz, deformasyon tahmini ve sınıflama değerlendirmesi yapılmamıştır.
- Metrajlar planlama amaçlıdır; keşif ve ihale için topoğrafik ölçüme dayalı yeniden hesaplanmalıdır.

22.2 Önerilen saha ve laboratuvar araştırma programı

Tablo 22.1 – Gerekli araştırmalar

Çalışma	Kapsam / adet	Elde edilecek parametre
Jeolojik-jeoteknik haritalama	Yedi şev kesiminin tamamı; ISRM'e göre ayrışma sınıflaması	Zemin/kaya ayrımı, ayrışma profili, litoloji
Süreksizlik ölçümü (scanline)	Her şev kesiminde en az 2 hat, ≥ 20 m toplam	Eğim, eğim yönü, aralık, devamlılık, açıklık, dolgu, JRC
Sondaj	Şev Kesimi S5 ve S6'da 2'er adet (kret ve topuk), diğerlerinde 1'er adet; derinlik $\geq 1,5H$	Jeolojik profil, RQD, ayrılmış örtü kalınlığı, YASS
SPT	Sondajlarda 1,5 m aralıklarla	Örtü sıklığı; zemin sınıfı
Sismik ölçüm (MASW / sismik kırılma)	Her şev kesiminde 1 hat; ayrıca Vs30 için	TBDY 2018 yerel zemin sınıfı; dinamik parametreler
Kaya mekaniği deneyleri	UCS (≥ 5 set), nokta yükleme (≥ 20), Brazilian (≥ 3), üç eksenli (≥ 2 set)	σ_c , m_i , E , ν ; GSI ile kaya kütleli dayanımı
Zemin laboratuvarı	Elek/hidrometre, Atterberg, doğal su içeriği, birim ağırlık (≥ 6 set), kesme kutusu / üç eksenli (≥ 3 set)	γ , c' , ϕ' , sınıflandırma
Permeabilite	Sondajda Lugeon veya Lefranc (≥ 3)	k ; drenaj debisi

Çalışma	Kapsam / adet	Elde edilecek parametre
Yeraltı suyu gözlemi	Piyezometre (≥ 2), en az bir yağışlı dönem boyunca	YASS mevsimsel değişimi; ru doğrulaması
Jeofizik (MASW / sismik kırılma)	Her şev kesiminde 1 serim	Vs30 → TB DY yerel zemin sınıfının kesinleştirilmesi
Topoğrafik ölçüm	Yedi şevin hâlihazır alımı (dron fotogrametrisi önerilir)	Kesin geometri, kesitler, metraj
Çivi çekme deneyi (imalat öncesi)	Her şev kesiminde ≥ 2 deneme çivisi	qs birim çevre sürtünme direnci

23. Sonuç ve Öneriler

Işık Üniversitesi Şile Kampüsü’ndeki yedi şev kesimi için yapılan ön tasarım çalışmasının sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

23.1 Ana sonuçlar

- Göçme mekanizması, derin şev kayması değil, yüzeysel sıyrılma ve ayrışmadır. Yedi şev kesimin tamamında, 0,50 m kalınlığında bir ayrışmış örtü kaplamasız durumda duraysızdır ($GS = 0,60 - 1,17$).
- Bu nedenle püskürtme beton, bu saha için doğru bir mühendislik çözümüdür; ancak tek başına, ankrajsız ve drenajsız uygulanması hatalı olur.
- Genel stabilite, Şev Kesimi S1, S2, S3, S4 ve S7’de statik ve deprem durumlarında hedef güvenlik sayılarını sağlamaktadır; bu şev kesimlerinde derin mekanizma için ilave önlem gerekmez.
- Şev Kesimi S5 ve S6 ($H = 11$ m, $\beta = 55^\circ$), yüksek su koşulunda hedefin altında kalmaktadır ($GS = 1,41 < 1,50$). Bu bölümlerde 25,8 kN/m mertebesinde bir destek kuvveti gereklidir ve önerilen zemin çivisi sistemi bunu fazlasıyla sağlamaktadır.
- Deprem, bu şevlerde yönetici tasarım durumu değildir; yönetici durum yüksek boşluk suyu basıncıdır.
- Drenaj, sistemin ön koşuludur. Drenajın tıkanması hâlinde gereken destek kuvveti yaklaşık on kat artmakta ($25,8 \rightarrow 247,2$ kN/m) ve kaplama kendi eğilme kapasitesini aşmaktadır.
- Öngermeli ankraj, kafes giriş ve betonarme istinat duvarı gibi ağır sistemler değerlendirilmiş; hesaplar gerektirmediği için önerilmemiştir.

23.2 Önerilen sistemin ön tasarım açısından uygunluğu

Mevcut bilgiler ışığında, Bölüm 16’da tanımlanan sistem (lif + hasır donatılı 100–120 mm C30/37 ıslak karışım püskürtme beton + 1,5–2,0 m aralıklı Ø20–25 zemin çivisi + Ø75 mm barbakanlı drenaj) ön tasarım açısından uygundur ve hesaplanan tüm limit durumları hedef güvenlik sayıları ile sağlamaktadır.

Bu uygunluk, Bölüm 5.4’teki varsayılan dayanım parametrelerinin geçerli olması koşuluna bağlıdır. Tasarım parametrelerinin etki analizi, kohezyonun 20 kPa’ya düşmesi hâlinde Şev Kesimi S5 ve S6’da güvenlik sayısının 1,00’e ineceğini göstermektedir; bu senaryo için hazırlıklı olunmalı ve Bölüm 18.2’deki karar noktaları uygulanmalıdır. Bu nedenle: sistem, saha araştırması tamamlanmadan ihale edilebilir ancak imal edilmemelidir. Bölüm 22.2’deki araştırma programı, imalat öncesinde tamamlanmalı ve tasarım revize edilmelidir.

23.3 Öncelikli öneriler

- Saha araştırması: Bölüm 22.2’deki program yürütülmelidir. Bu programın maliyeti, imalat maliyetinin küçük bir oranıdır ve tasarım riskinin büyük bölümünü ortadan kaldırır.
- Acil güvenlik: Topuğunda yaya veya araç trafiği bulunan şev kesimlerinde, kalıcı çözüm uygulanana kadar geçici blok ve ağaç düşme önlemi (güvenlik şeridi, hendek veya geçici ağ) alınmalıdır.
- Yüzey suyu: Şev üstü kuşaklama hendeği, kalıcı sistemden bağımsız olarak ve mümkün olan en kısa sürede yapılmalıdır; tek başına dahi mevcut bozunma hızını belirgin biçimde azaltacaktır.
- Şev üstü kullanımının kısıtlanması: Şev kretine 3,0 m mesafede araç, dolgu ve malzeme stoku yasaklanmalıdır.

- Vs30 ölçümü: Yerel zemin sınıfı jeofizik ölçümle kesinleştirilmeli ve Bölüm 13'teki ZD kabulü doğrulanmalıdır.

Son olarak, imalat öncesinde veya sırasında proje bilgilerinin değişmesi durumu söz konusu olduğunda veya zeminin ilgili geoteknik etüt raporlarından farklılık göstermesi durumunda, bu rapor kapsamında yapılan hesaplama ve değerlendirmeler doğrultusunda, jeolojik-jeoteknik parametreler tekrar gözden geçirilmelidir.

Bilgilerinize saygı ile sunulur.



Dr. Öğr. Üyesi Ehsan Etminan

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Uzmanı

İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi

İnşaat Mühendisleri Odası Sicil Numarası: 157649

24. Kaynaklar

- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018). Resmî Gazete, 18 Mart 2018, Sayı 30364 (Mükerrer). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- AFAD (2018, güncelleme 2025). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. <https://tdth.afad.gov.tr>
- TS EN 1997-1. Eurocode 7 – Geoteknik tasarım – Bölüm 1: Genel kurallar. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1992-1-1. Eurocode 2 – Betonarme yapıların tasarımı – Bölüm 1-1: Genel kurallar ve binalar için kurallar. TSE, Ankara.
- TS EN 206. Beton – Özellik, performans, imalat ve uygunluk. TSE, Ankara.
- TS 13515. TS EN 206'nın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standard. TSE, Ankara.
- TS EN 14487-1. Püskürtme beton – Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk. TSE, Ankara. (Avrupa karşılığı EN 14487-1:2022; TSE uyarlama durumu doğrulanmalıdır.)
- TS EN 14487-2. Püskürtme beton – Bölüm 2: Uygulama. TSE, Ankara.
- TS EN 14488-1...-7. Püskürtme beton – Deneyler (numune alma; genç püskürtme betonun basınç dayanımı; eğilme dayanımı; alt tabaka üzerindeki beton kalınlığı; enerji yutma kapasitesi; lif içeriği). TSE, Ankara.
- TS EN 14889-1 / TS EN 14889-2. Beton ve harç için lifler – Çelik lifler / Polimer lifler. TSE, Ankara.
- TS 500. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. TSE, Ankara.
- TS EN ISO 14688-1/-2; TS EN ISO 14689. Zeminlerin ve kayaların tanımlanması ve sınıflandırılması. TSE, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. Geoteknik Tasarım Esasları. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2023). Beton Laboratuvar El Kitabı. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anderson, D.G., Martin, G.R., Lam, I.P. & Wang, J.N. (2008). Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes and Embankments. NCHRP Report 611, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Lazarte, C.A., Robinson, H., Gómez, J.E., Baxter, A., Cadden, A. & Berg, R. (2015). Soil Nail Walls Reference Manual. FHWA Geotechnical Engineering Circular No. 7, FHWA-NHI-14-007, Washington D.C.
- Bishop, A.W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*, 5(1), 7–17.
- Taylor, D.W. (1937). Stability of earth slopes. *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, 24, 197–246.
- Hoek, E. & Bray, J.W. (1981). *Rock Slope Engineering*, 3rd ed. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. & Corkum, B. (2002). Hoek–Brown failure criterion – 2002 edition. *Proc. NARMS-TAC*, Toronto, 267–273.
- Donald, I.B. & Giam, S.K. (1989). Soil slope stability programs review. ACADS Publication No. U255, Association for Computer Aided Design, Melbourne.
- fib (2013). *Model Code for Concrete Structures 2010*. Ernst & Sohn, Berlin.
- Baykal, F. & Kaya, O. (1963). İstanbul Siluriyen hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*.
- Önal, M. (1982). İstanbul Ordovisiyen ve Siluriyen istifinin çökeltme ortamları. *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi / MTA. İstanbul ili jeoloji haritaları ve açıklamaları (İstanbul Paleozoyiği; Kurtköy, Aydos, Gözdağ formasyonları; Şile Formasyonu; Sarıyer–Şile Fayı).

EK A – Hesap Yöntemi ve Doğrulama

Genel stabilite hesapları, basitleştirilmiş Bishop yöntemini uygulayan ve bu çalışma için yazılan bir sayısal çözücü ile yapılmıştır. Çözücünün özellikleri:

- Geometri: kret (0, H) – topuk (b, 0), $b = H/\tan\beta$; kret gerisinde ve topuk önünde yatay platform.
- Kayma yüzeyi: dairesel; merkez koordinatları ve yarıçap için iki aşamalı (kaba 22^3 + ince 13^3) ızgara taraması.
- Dilimleme: 40 dilim; dilim tabanı eğimi analitik olarak; kritik dairenin giriş noktası kret gerisinde, çıkış noktası topukta veya ötesinde olacak şekilde kinematik filtre.
- Boşluk suyu basıncı: $u = r_u \cdot \gamma \cdot h$.
- Deprem: dilim ağırlık merkezine etkiyen yatay $k_h \cdot W$ kuvveti; devirici moment $k_h \cdot W \cdot (y_c - y_{cg})/R$.
- Destekleme: yatay P kuvveti $0,45H$ kotunda; direnç momentine $P \cdot (y_c - y_P)/R$ katkısı.
- Güvenlik sayısı: $m\alpha = \cos\alpha(1 + \tan\alpha \cdot \tan\phi'/GS)$ ile iteratif çözüm, yakınsama toleransı 10^{-5} .

Doğrulama sonuçları Tablo 9.1’de verilmiştir. Çalışma aralığı olan $\beta = 45^\circ - 76^\circ$ için Taylor grafiklerine göre sapma %5’in altındadır; ACADS 1(a) kıyas probleminde sapma %1,5’tir.

EK B – Sembol Listesi

Sembol	Tanım	Birim
H	Şev yüksekliği	m
β	Şev açısı (yatayla)	°
L	Şev cephe uzunluğu (doğrultu boyunca)	m
b	Şev yüzünün yatay izdüşümü, $H/\tan\beta$	m
γ	Birim hacim ağırlık	kN/m ³
γ_w	Suyun birim hacim ağırlığı (9,81)	kN/m ³
c'	Efektif kohezyon	kPa
ϕ'	Efektif içsel sürtünme açısı	°
r_u	Boşluk suyu basıncı oranı, $u/(\gamma \cdot h)$	—
GS	Güvenlik sayısı	—
k_h / k_v	Yatay / düşey eşdeğer deprem katsayısı	—
k_{maks}	Yenilme kütleindeki maksimum deprem katsayısı, $FPGA \cdot PGA$	—
α	Şev yüksekliği azaltım katsayısı	—
PGA	En büyük yer ivmesi	g
SS, S1	Harita spektral ivme katsayıları	—
t	Püskürtme beton kalınlığı veya örtü kalınlığı (şeve dik)	mm / m
p	Kaplamanın uyguladığı normal basınç	kPa
Sh, Sv	Çivi yatay / düşey aralığı	m
TEd	Çivi başlığındaki tasarım çekme kuvveti	kN
Nyd	Çubuk tasarım çekme kapasitesi	kN
VRd	Zımbalama kesme dayanımı	kN
qs	Birim çevre sürtünme (aderans) direnci	kPa
MEd / MRd	Tasarım eğilme momenti / moment dayanımı	kNm/m
fck	Karakteristik silindirik basınç dayanımı	MPa

Sembol	Tanım	Birim
fR1, fR3	Artık eğilme çekme dayanımları	MPa
As	Birim genişlikteki donatı alanı	mm ² /m

EK C – Ekler Listesi ve Tamamlanacak Belgeler

Aşağıdaki ekler, bu ön tasarım aşamasında henüz üretilmemiş olup, saha araştırması sonrasında hazırlanacak kesin tasarım raporunun ayrılmaz parçası olacaktır.

Ek	İçerik	Durum
Ek-1	Hesap çıktıları (kritik daire koordinatları, dilim tabloları)	Bu raporda özet olarak Bölüm 15’te
Ek-2	Şev geometrileri – hâlihazır topoğrafik ölçüm ve enine kesitler	BEKLİYOR – topoğrafik ölçüm gerekli
Ek-3	İşaretlenmiş saha gözlem paftaları (çatlak, gevşek bölge, su çıkışı)	BEKLİYOR – ayrıntılı saha incelemesi gerekli
Ek-4	Tasarım çizimleri: plan, enine kesit, çivi yerleşim paftası, detaylar	BEKLİYOR – kesin tasarım aşaması
Ek-5	Teknik detaylar: çivi başlığı, barbakan, kret ve topuk detayı	BEKLİYOR – kesin tasarım aşaması
Ek-6	Hesap tabloları: şev kesimi bazında tam limit denge çıktıları	Bu raporda Bölüm 8, 14, 15
Ek-7	Sondaj logları, laboratuvar deney raporları	BEKLİYOR – saha araştırması gerekli
Ek-8	AFAD deprem tehlike raporu (ZC ve ZD, DD-2, 26.08.2026)	TAMAMLANDI – rapora eklenecek
Ek-9	Metraj ve keşif özeti	BEKLİYOR – topoğrafik ölçüm sonrası

Bu rapor, Bölüm 22’de açıkça belirtilen sınırlamalar çerçevesinde geçerlidir. Raporda verilen sayısal sonuçlar, Bölüm 5.4’teki ön tasarım varsayımları altında hesaplanmıştır ve saha araştırmaları ile doğrulanması önerilmektedir.