



ÇORUM BELEDİYESİ
Yapı Kontrol Müdürlüğü



EĞİTİM SEMİNERLERİ

Dayanma Yapıları ve Tasarımı

Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

*KTÜ Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik Anabilim Dalı*

osivrikaya@ktu.edu.tr

13 Temmuz 2023, Çorum

İÇERİK

I- Giriş: Dayanma Yapıları

II- Dayanma Duvarlarının Kullanıldığı Yerler

III- Dayanma Yapı Türleri

Rijit Dayanma Yapıları

Esnek Dayanma Yapıları

Yarı-Esnek Dayanma Yapıları

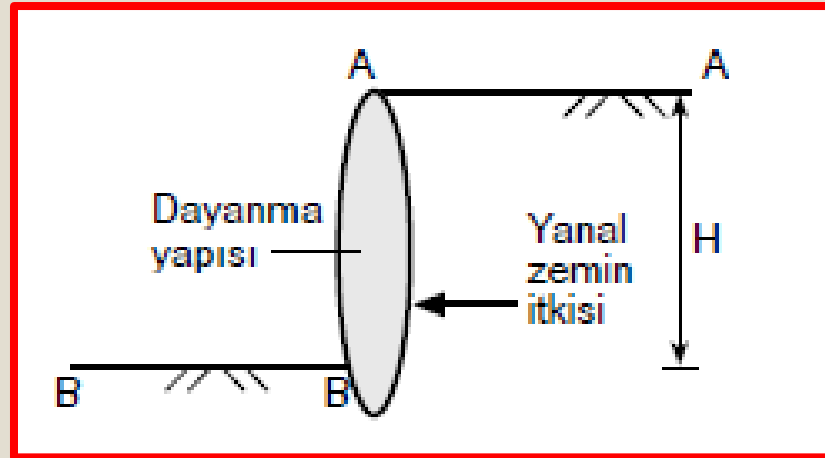
IV- Rijit Dayanma Duvarlarının Projelendirilmesi

V- Kazı Destek Yapıları Hakkında Yönetmelik (22.12.2022)

VI- Örnek Uygulama: Rijit Dayanma Duvarlarının Projelendirilmesi

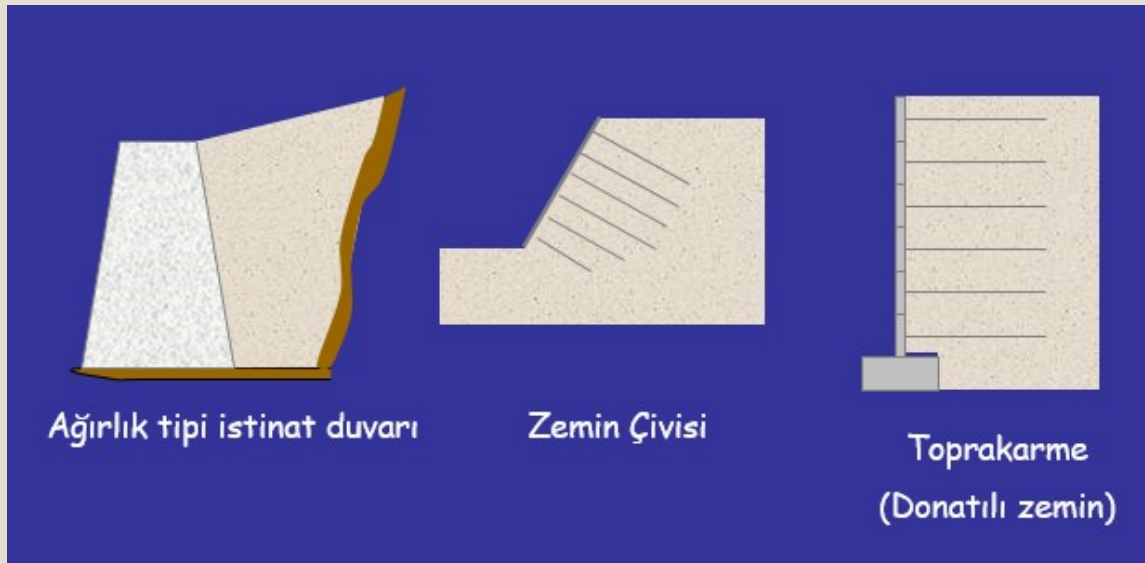
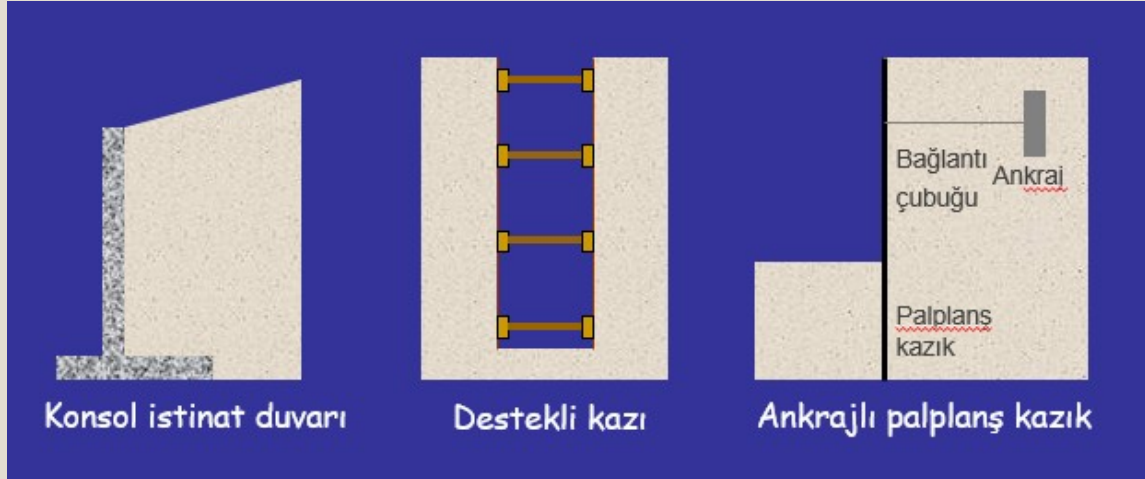
I- GİRİŞ: DAYANMA YAPILARI

- Dayanma yapıları, iki farklı düzeydeki zeminden oluşan yanal zemin etkisini, istenen bir güvenlikle karşılayan ve zeminin doğal şev açısını almasını önleyerek dengeyi koruyan yapı elemanlarıdır.

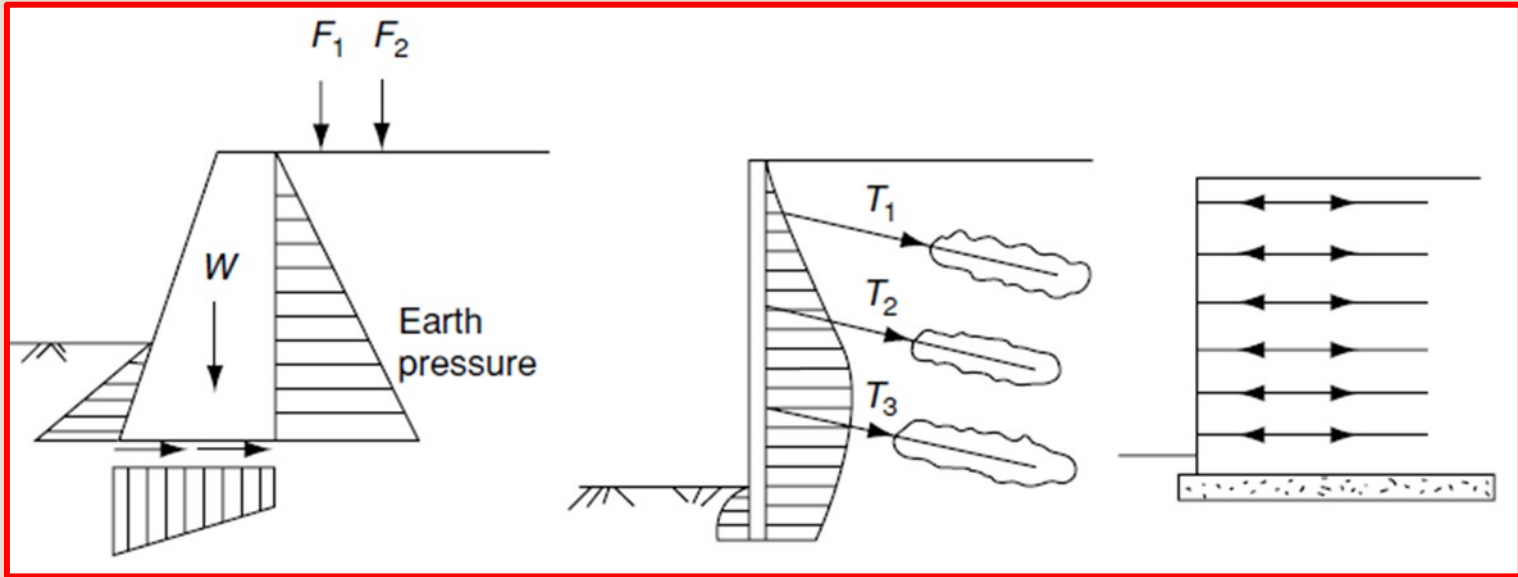


- Dayanma yapısının türü; istenen yükseklik, inşaat alanının özellikleri, elde bulunan yapı malzemeleri, yer altı suyu durumu, dolguda kullanılacak tercihen kohezyonsuz malzemenin türü, yerel şartlara uygunluğu ve kullanma işlevine bağlı olarak belirlenir.

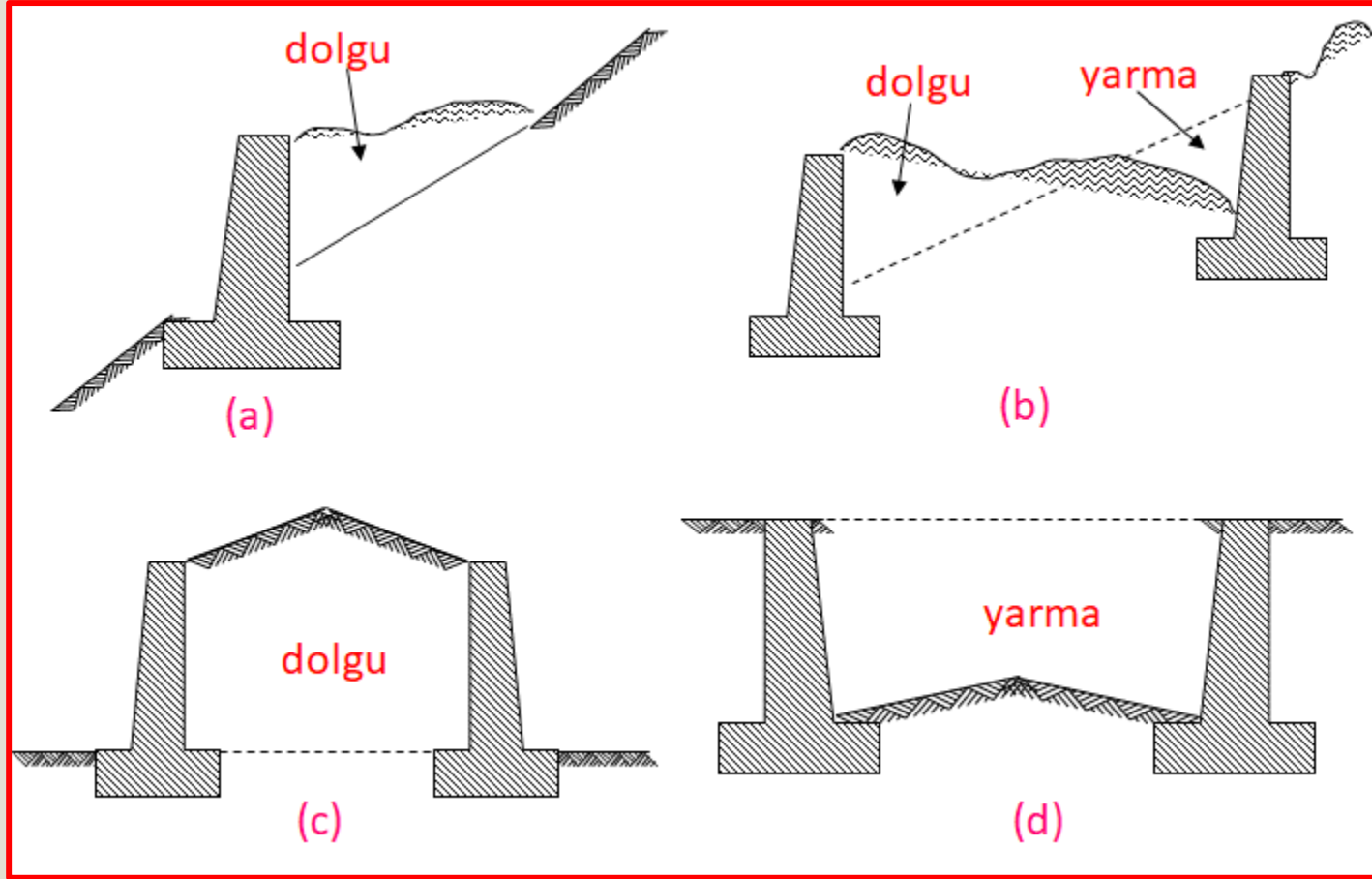
- Geoteknik mühendisliğinde, yanal zemin hareketinin önlenmesi problemi sıkça karşılaşılan bir durumdur.



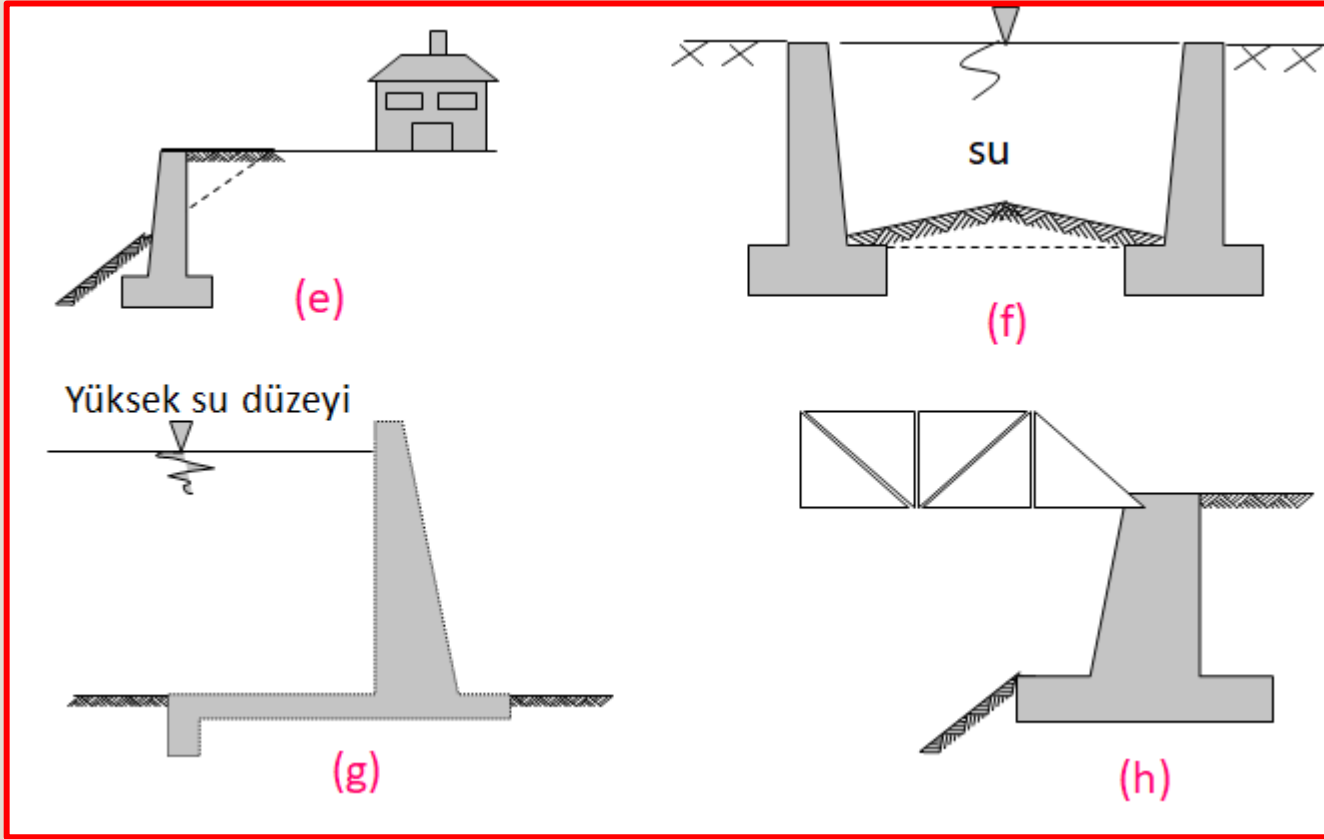
- Yanal zemin hareketinin önlenmesine yönelik yapılan dayanma yapılarına gelecek yanal gerilme ve itkilerin belirlenmesi ve buna göre de dayanma yapılarının boyutlandırılması gerekir.



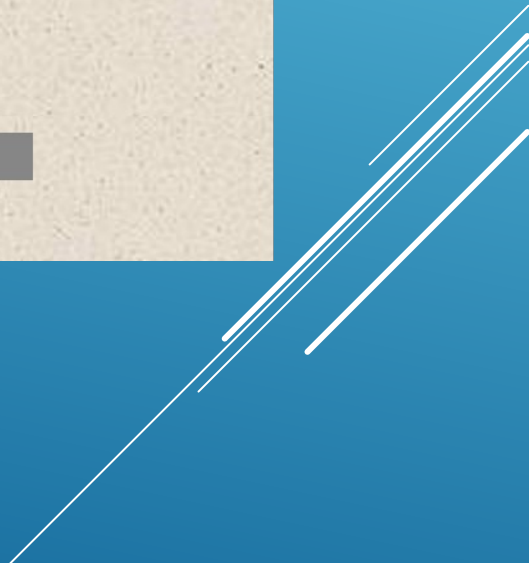
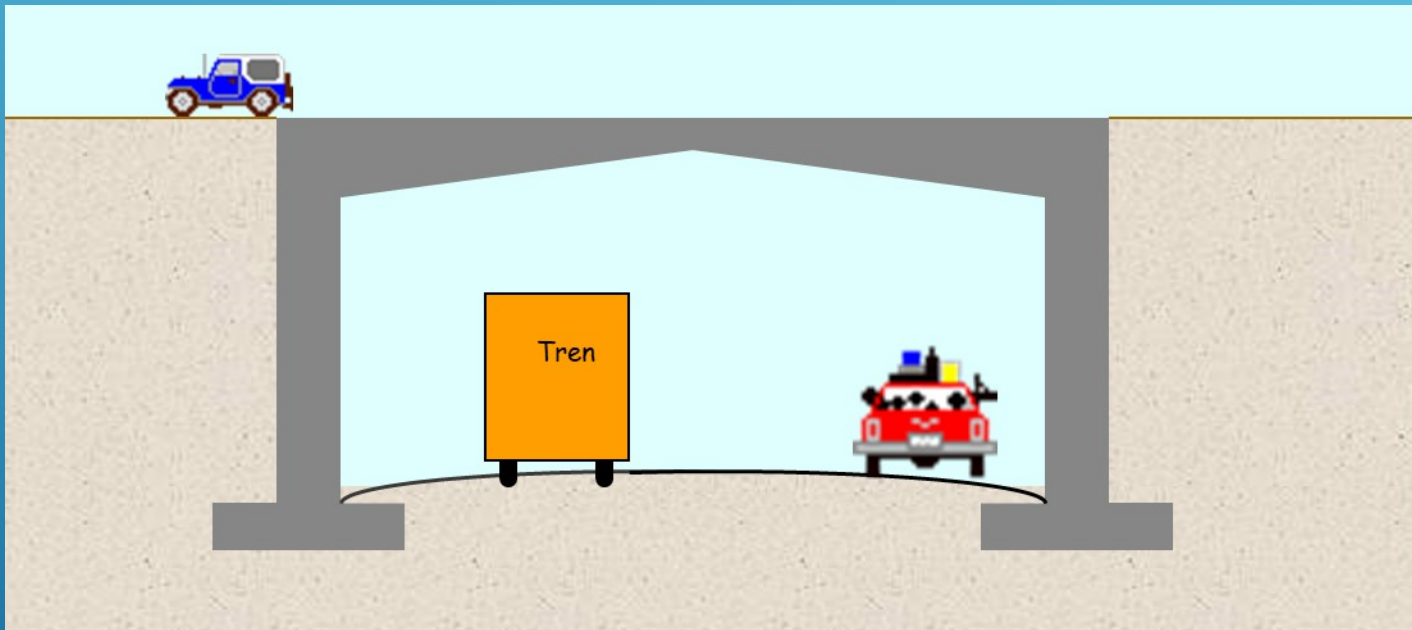
II- DAYANMA DUVARLARININ KULLANILDIĞI YERLER

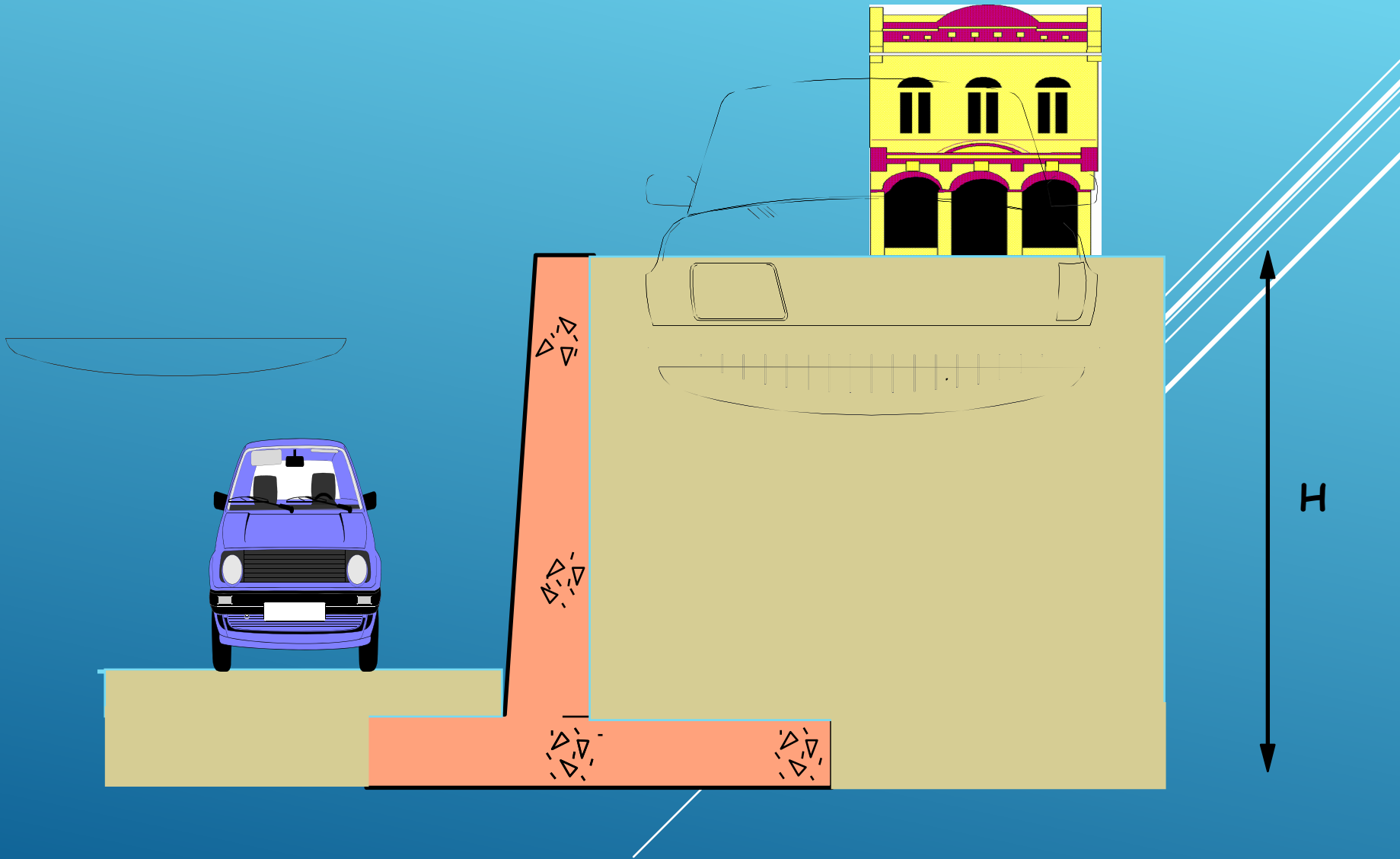


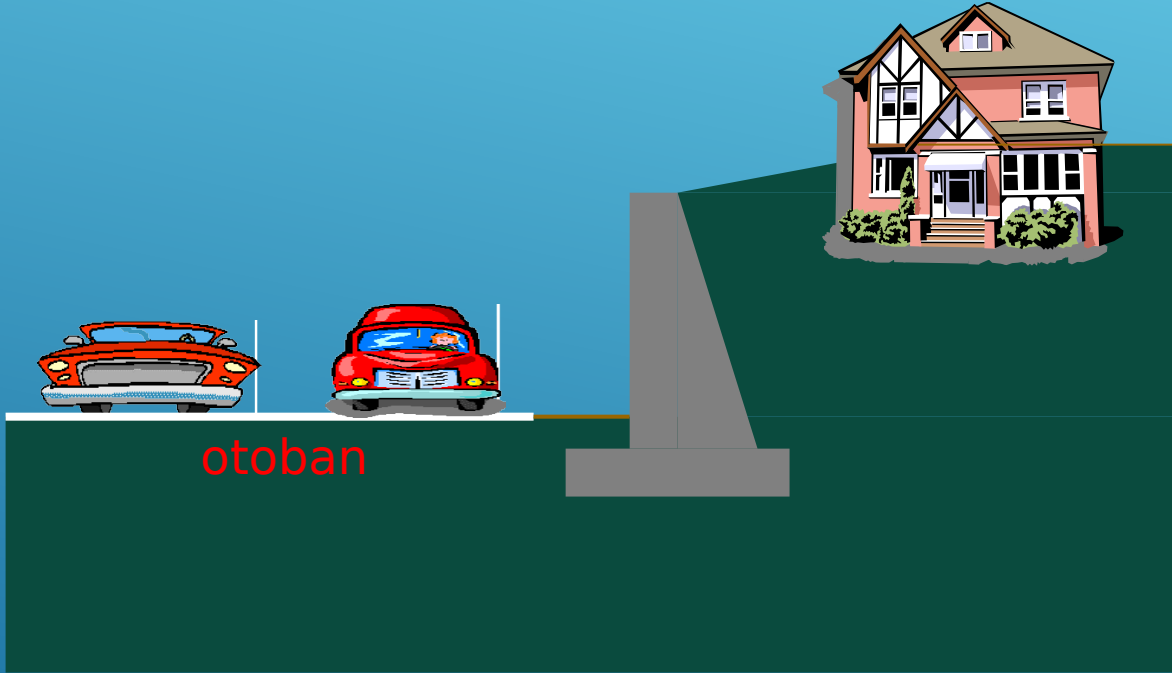
Dayanma duvarlarının kullanım amaçlarına örnekler: (a) ve (b) yamaç yolları, (c) büyük dolgu gerektiren yollar, (d) büyük yarma gerektiren yollar



Dayanma duvarlarının kullanım amaçlarına örnekler: (e) zemin tutma, (f) kanallar, (g) taşkın duvarları, (h) köprü kenar ayakları







otoban



Çok katlı yapı

Perde Duvar



III- DAYANMA YAPI TÜRLERİ

Dayanma yapıları, dayanma yapısının rijitliğine göre üçe ayrılır:

□ Rijit Dayanma Yapıları

☞ Dayanma (istinat) duvarları

☞ Kazıklı perdeler

□ Yarı Esnek Dayanma Yapıları

☞ Kafes tipi dayanma duvarları

☞ Sandık (Gabion) tipi dayanma duvarları

□ Esnek Dayanma Yapıları

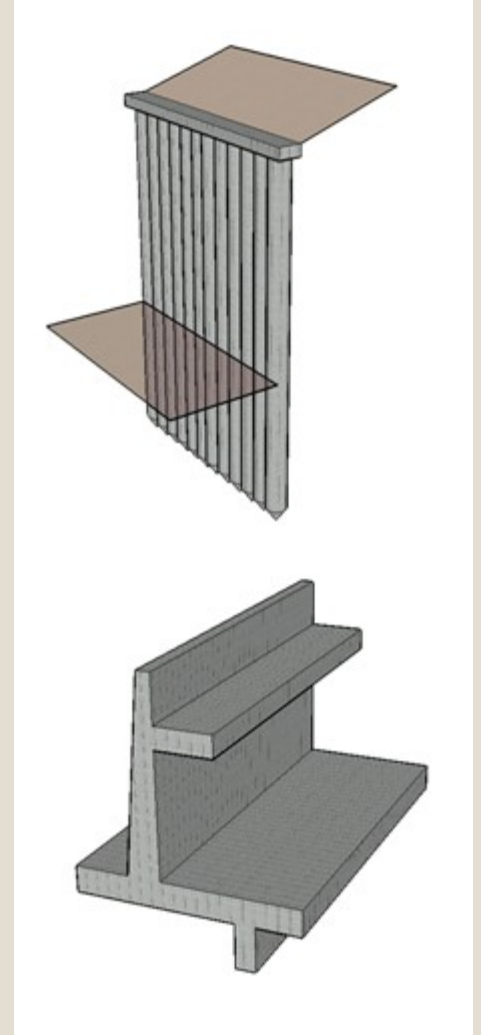
☞ Palpaş perdeleri

☞ Diyafram duvar

☞ Donatılı zemin dayanma duvarları

❖ Esnek Dayanma Yapıları zemin itkileri altında, alt uçlarından dönmeyen, denge hesaplarında kendi ağırlıkları hesaba dahil edilmeyen yapı elemanlarıdır. Esnek dayanma yapılarının, eğilme rijitlikleri az olup, görel olarak daha büyük deformasyon yaparlar. Düzlem olan yüzler, deformasyondan sonra eğrisel olurlar. Esnek dayanma yapılarına örnek olarak; zemine ankastre ankrajlı ve ankrajsız palplanş perdeleri, kazı kaplama elemanları (iksalar), bazı köprülerin kenar ayakları, ankrajlı ve ankrajsız kazık perde duvarlar gibi yapıları sayabiliriz.

❖ Rijit Dayanma Yapıları, zemin itkisi ile alt uçlarında bir miktar dönme yapabileceği varsayımı ile hesaplanan, yanal basınç kuvvetlerini kendi ağırlıkları ile dengelemeye çalışan yapı elemanlarıdır. Rijit dayanma yapılarının eğilme rijitlikleri büyük olup, çok az deformasyona uğrarlar. Düzlem olan yüzler, deformasyondan sonra da düzlem kalırlar. Rijit istinat yapılarına örnek olarak; taş kargir, donatısız veya kısmen donatılı masif beton, betonarme konsol, betonarme nervürlü, prefabrike elemanlı ve kazıklı perdeler sayılabilir. Yanal itkiler altında, taban da kayma ve/veya devrilme, arkasındaki zemin ile birlikte toptan göçme gibi yapısal davranışlar gösterebilirler.



Esnek Dayanma Yapıları, esnek ve yarı esnek olarak iki kısımda incelenebilir

□ Yarı Esnek Dayanma Yapıları

☞ Kafes tipi dayanma duvarları

☞ Sandık (Gabion) tipi dayanma duvarları

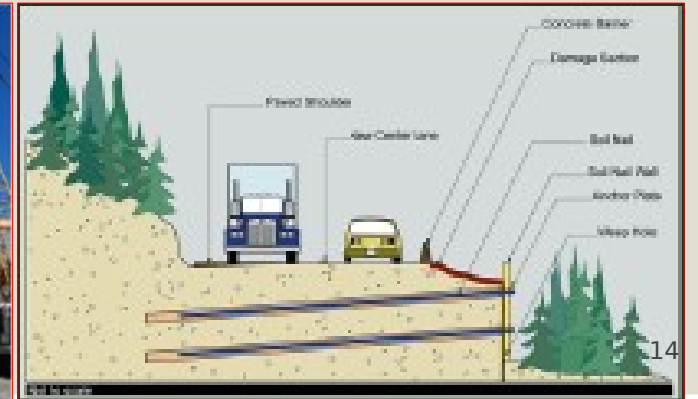
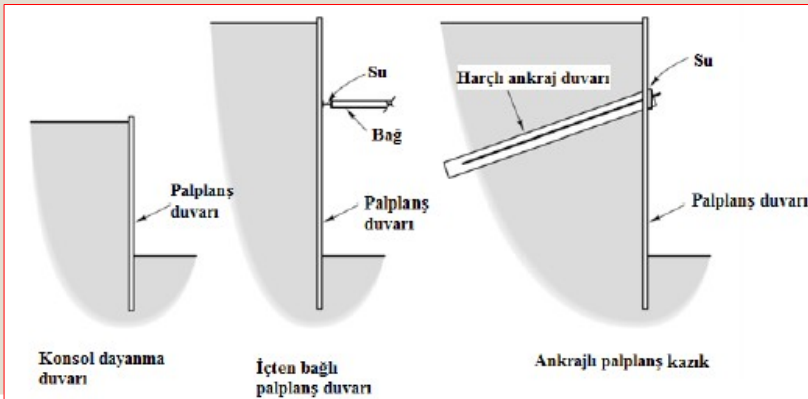


□ Esnek Dayanma Yapıları

☞ Palplanş perdeleri

☞ Diyafram duvar

☞ Donatılı zemin dayanma duvarları

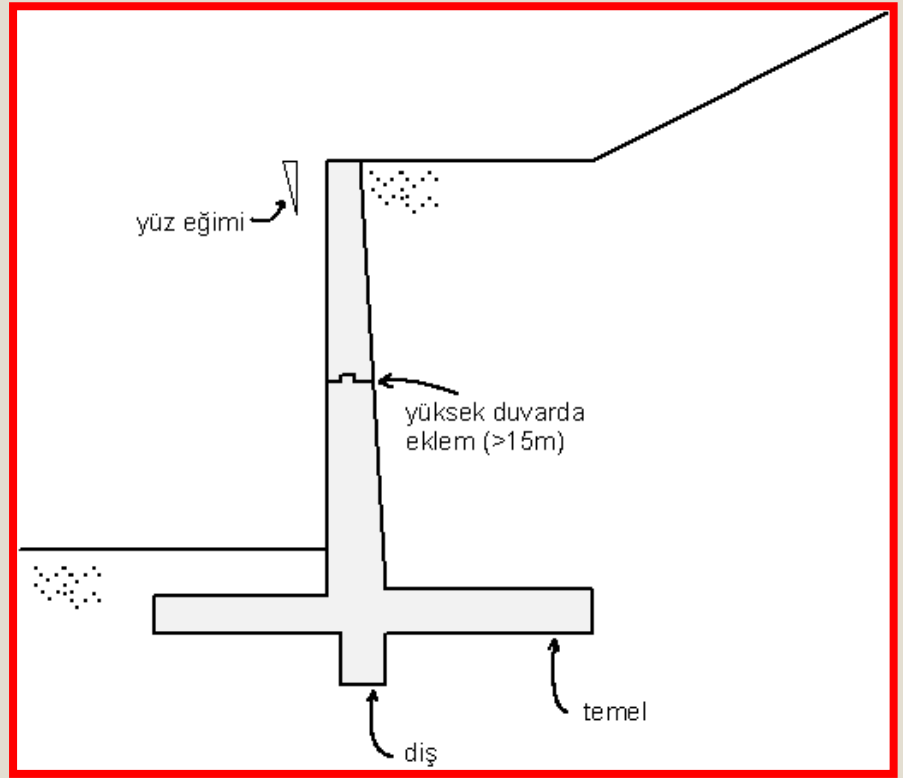
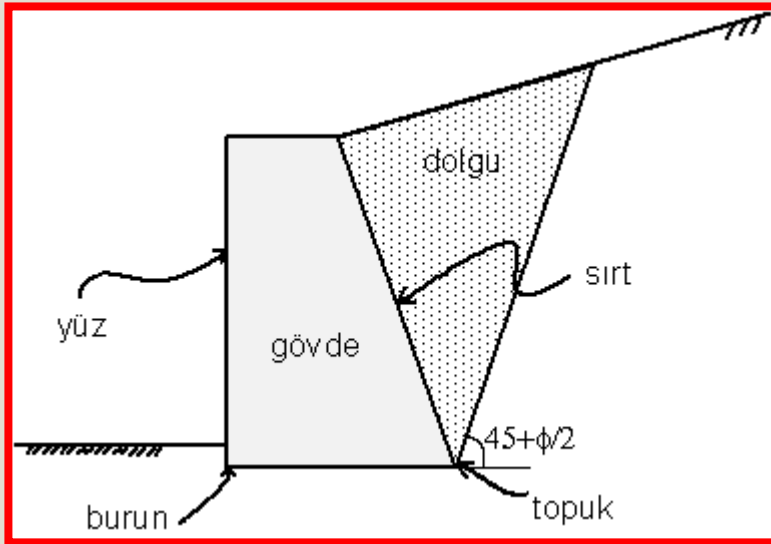


3.1. RİJİT DAYANMA YAPILARI (Duvarları)

□ Dayanma duvarları, kendi ağırlıkları veya kendi ağırlığı ve temel üzerindeki dolgu ağırlığı ile yanal zemin itkisini dengede tutarlar. Dayanma duvarları alt sınıflara ayrılabilir:

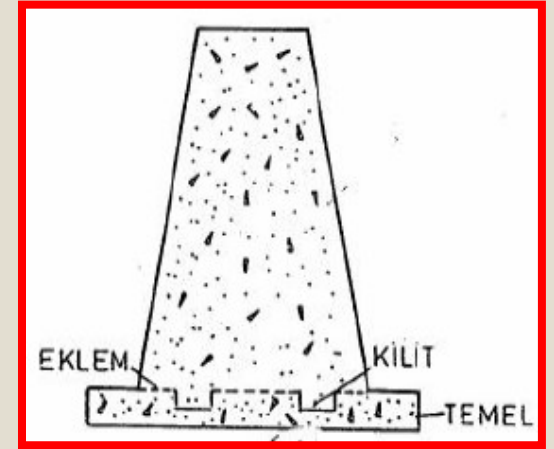
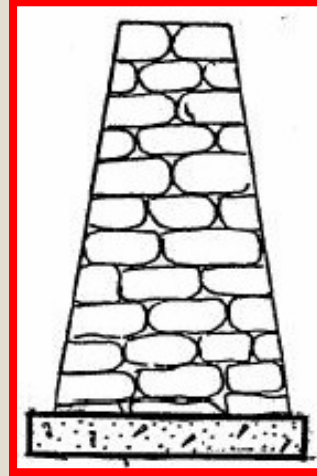
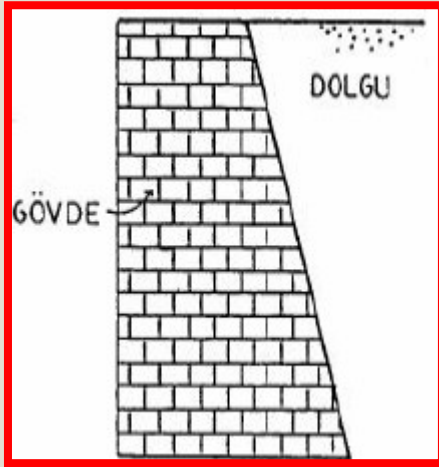
- Ağırlık tipi dayanma duvarları (4m)
- Yarı ağırlık dayanma duvarları (5m)
- Konsol duvarlar (7m)
- Eşikli konsol duvar
- Payandalı duvar (12m)
- Ters payandalı duvar

Dayanma yapısının türü; istenen yükseklik, inşaat alanının özellikleri, elde bulunan yapı malzemeleri, yer altı suyu durumu, dolguda kullanılacak tercihen kohezyonsuz malzemenin türü, yerel şartlara uygunluğu ve kullanma işlevine bağlı olarak belirlenir.



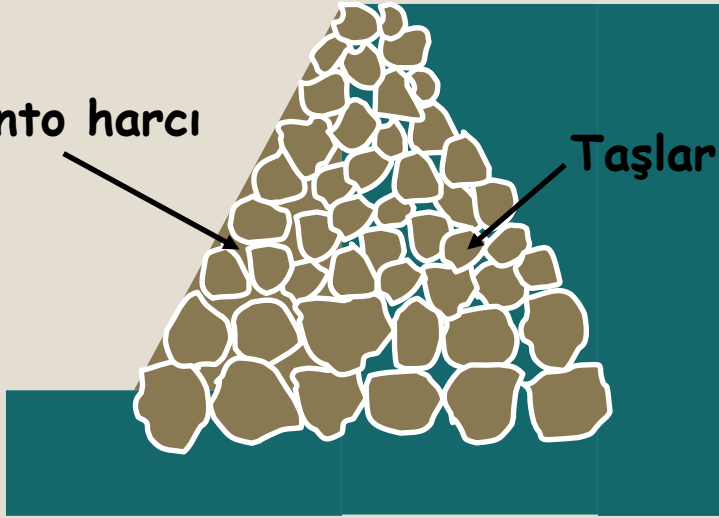
A- Ağırlık Dayanma Duvarları

- Bu duvar türü harçlı ve harçsız taş örgü, tuğla, briket veya betondan yapılır. Bu tip dayanma duvarları arkalarında bulunan dolguya kendi ağırlıkları ile karşı koyarak destek verirler. Bu tip istinat duvarlar 2m'ye kadar betonarme istinat duvarlardan daha ekonomiktir.



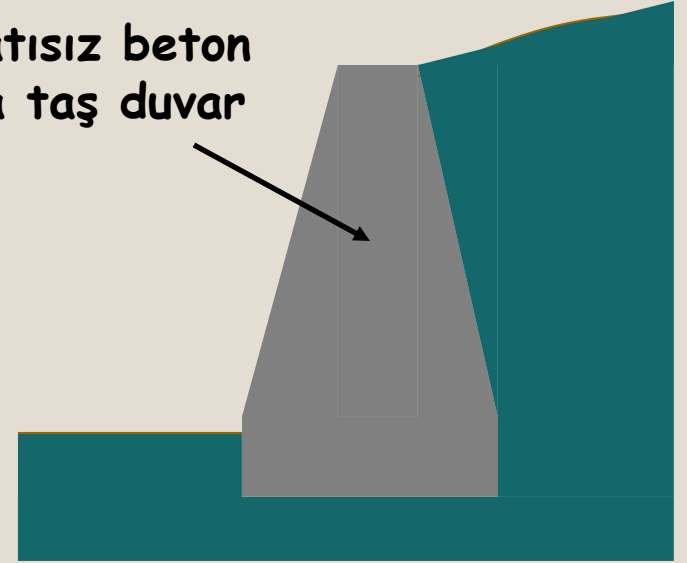
- Ağırlık tipi duvarların olumsuz yanlarından biri dolguda beliren yeraltı suyunun gereğince kurutulamamasıdır. Bu sebeple boşluk suyu basınçlarının ihmal edilebilir düzeyde tutulması için drenaj önlemleri alınmalıdır.

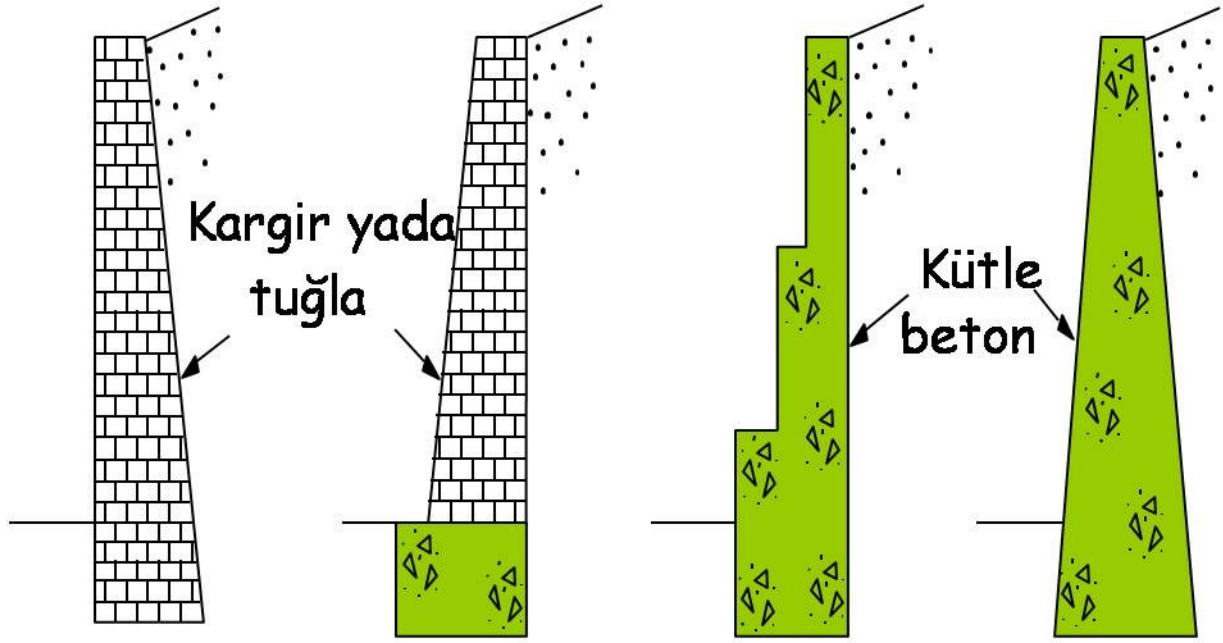
Çimento harcı



Taşlar

Donatısız beton
yada taş duvar





Düşey yüz

Düşey sırt

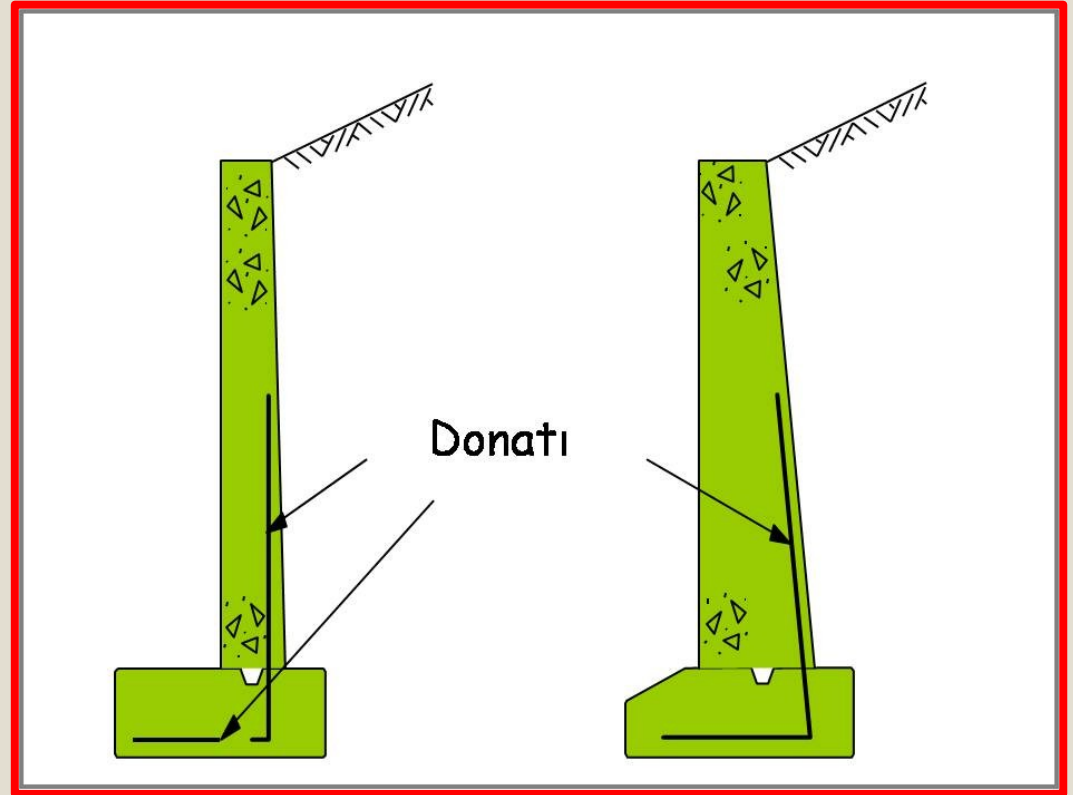
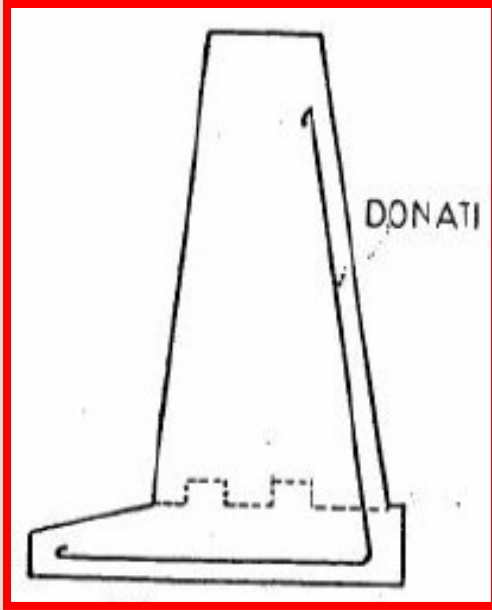
Adımlı yüz

Trapez



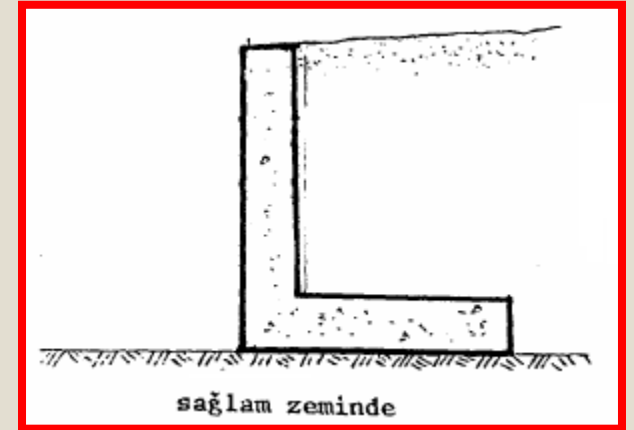
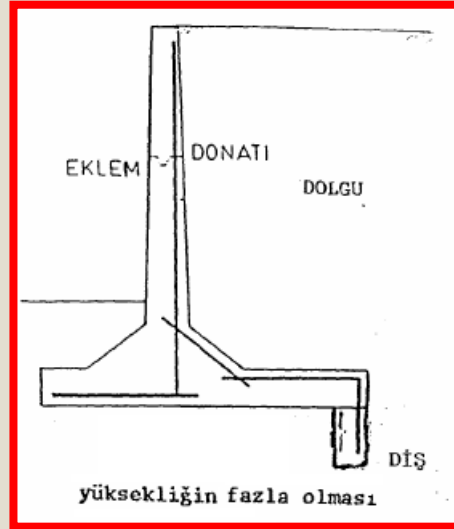
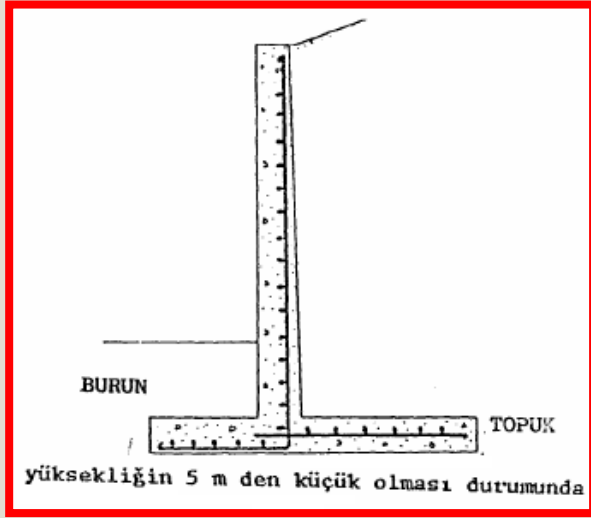
B- Yarı Ağırlık Dayanma Duvarları

- Temel genişliğinin büyük çıkması durumunda gövde malzemesinden tasarruf için ve duvar yüksekliğinin fazla olması durumunda arkada çekme gerilmeleri ve buna bağlı çekme çatlakları oluşması tehlikesine karşı, arka kısma düşey donatı yerleştirilir. Böylece yarı ağırlık dayanma duvarı ortaya çıkar.

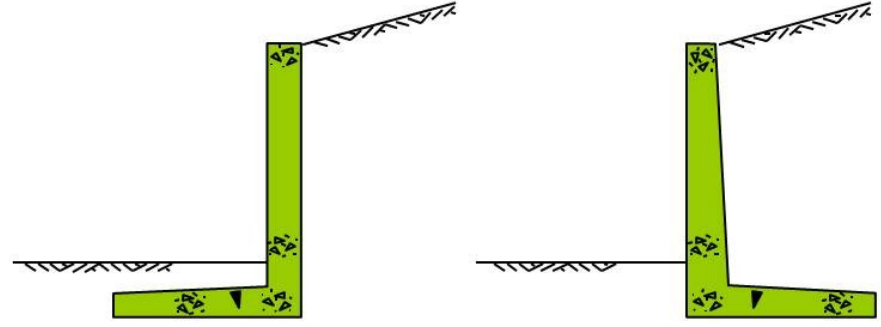


C- Betonarme Dayanma Duvarları

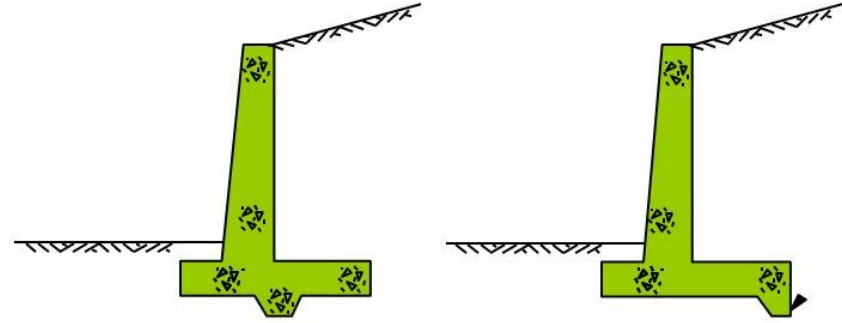
- Konsol Dayanma Duvarı; betonun basınca, donatının çekmeye dayanımlarının yüksekliği sebebiyle narin, buna karşın 20 m'ye varan yüksekliklerde yapılabilir. Ekonomik maksimum yükseklik 7.5 m civarındadır. Bu duvar tipinde topuk tarafındaki temel uzun tutularak bunun üzerine binen zemininin etkisinden yararlanır. Direnen kuvvetlerin yeterli olmaması durumunda, zemin itkisi duvarı öne doğru kaydırır. Bunu önlemek için temele dış yapılarak pasif direncin artırılması yoluna gidilir.



- Donatılıdır.
- Kayma ve dönmeye karşı zemin ağırlığından faydalanırlar.
- Yüksek eğilme gerilmeleri altındadır, bu nedenle betonarme yapılırlar.
- Genelde masif duvarlara göre çok ucuzdurlar.

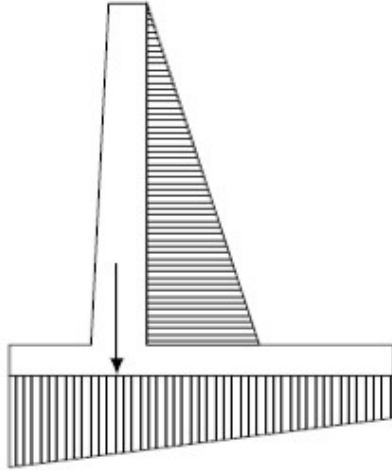
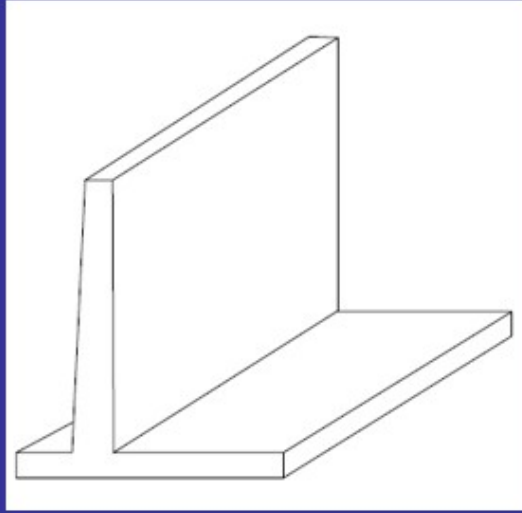


"L" tipi konsol duvarlar

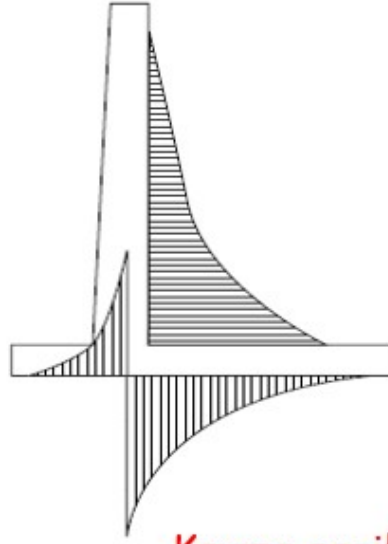


Ters "T" tipi konsol duvarlar

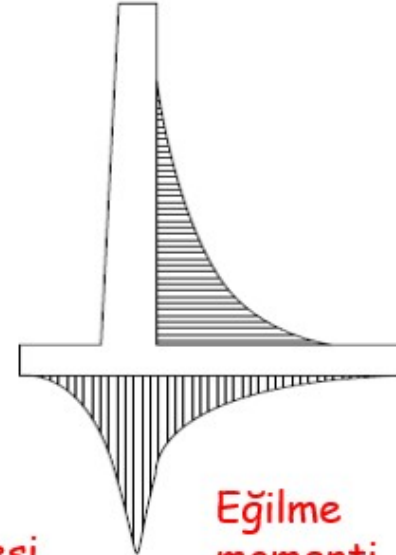
- Ağırlık dayanma duvarlarına göre, kesitleri daha küçüktür (narın). Dolayısıyla çok daha az malzeme ile inşa edilebilirler.
- En sık tercih edilen tasarımıdır.



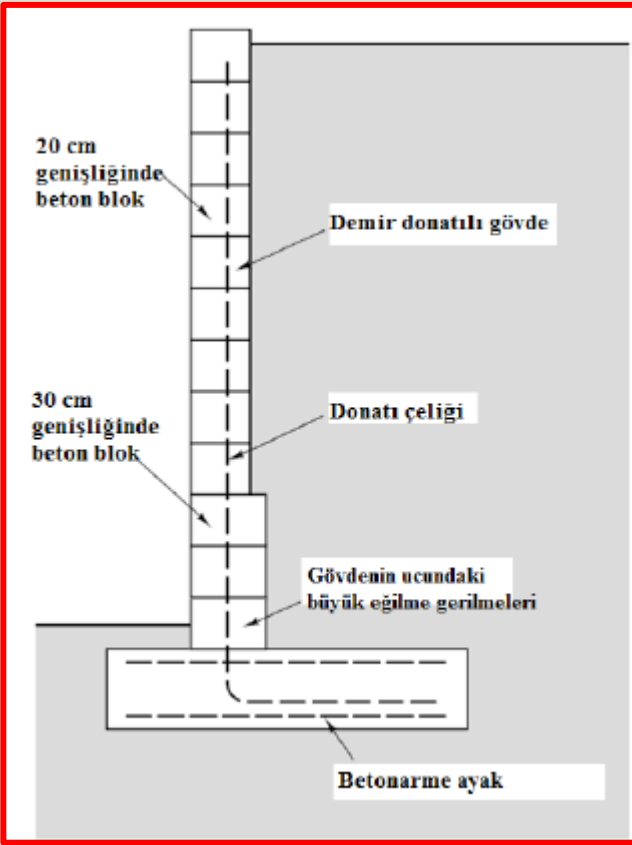
Basınç dağılımı



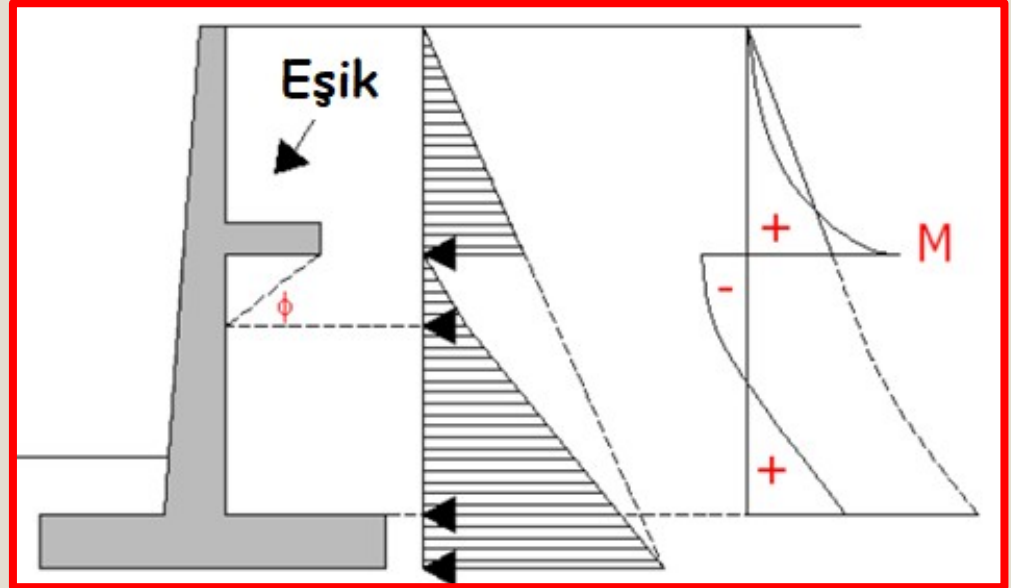
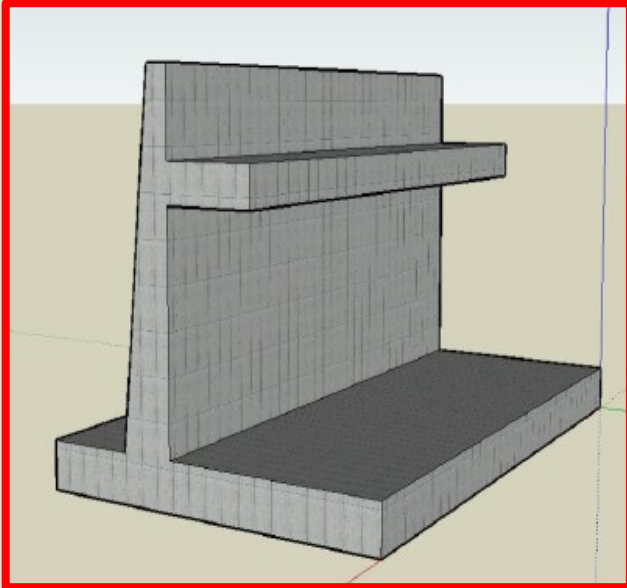
Kayma gerilmesi



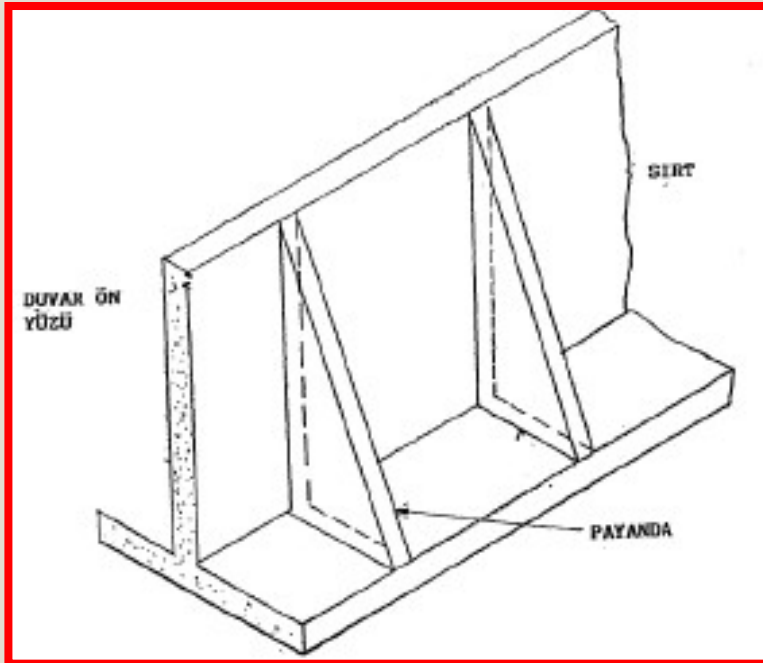
Eğilme momenti

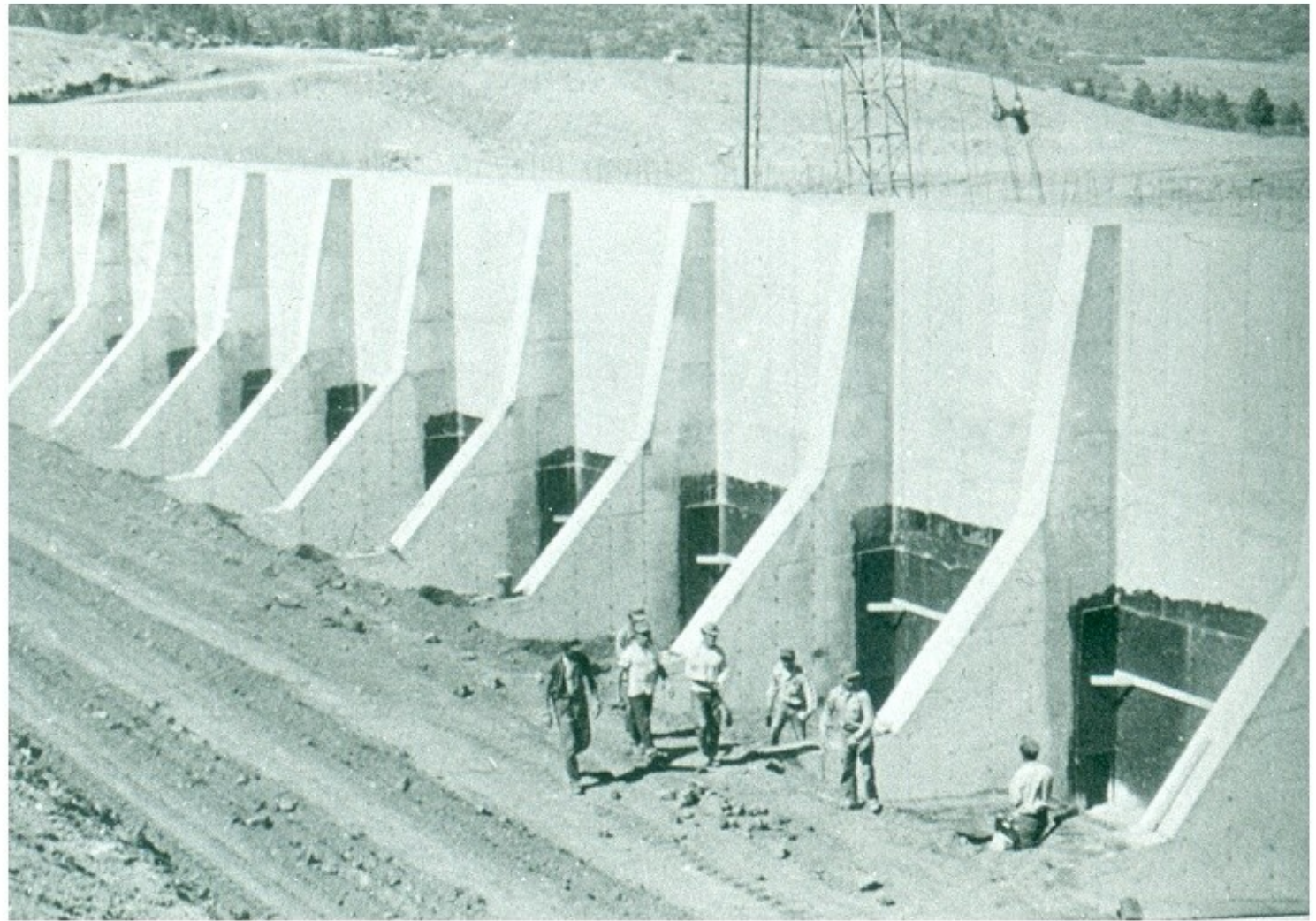


- **Eşikli Konsol Duvarlar:** Konsol dayanma duvarlarında konsol (gövde) çok uzun olursa, çok büyük momentlere maruz kalır. Bu momentleri azaltmak için gövdeye eşik yapılır. Eşikli konsol duvar türünde ana ilke, konsol-temel birleşimindeki maksimum momentin bir veya iki eşiğe gelecek düşey zemin yükünün oluşturduğu ters yöndeki momentlerle azaltılmasıdır. Duvar sırtına bir veya birkaç sıra, tabana paralel eşik inşa edilir. Eşik yeri, sayısı ve genişliğine çeşitli deneme hesapları ile karar verilir.

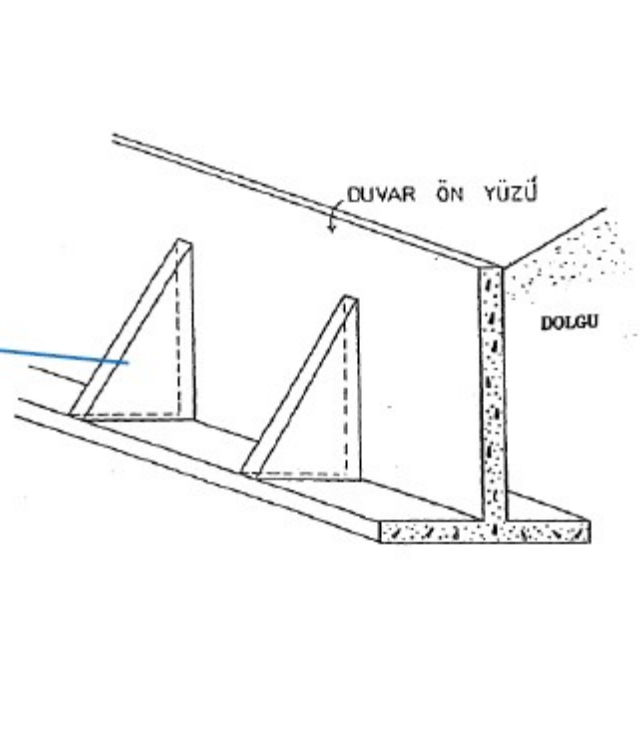


□ **Payandalı Duvar:** Yüklerin ve yüksekliğin artması durumunda konsol duvar yapılması güvenli ve ekonomik olmayabilir. Bu sebeple payandalı duvar tipi tercih edilir. Payandalı duvarda taban ve gövde elemanları konsol duvarda olduğu gibidir. Bunlara ek olarak duvarın arka tarafında gövdeyle tabanı bağlayan ve böylece sistemin daha sağlam ve daha çok yük taşır duruma gelmesini sağlayan kama şeklinde destek elemanları (payandalar) konur. Payandaların işlevlerinden biri de duvarın uzun eksenindeki momentleri azaltmaktır. Yüksekliği 8 m'den az olan duvarlarda payanda gerekmez.





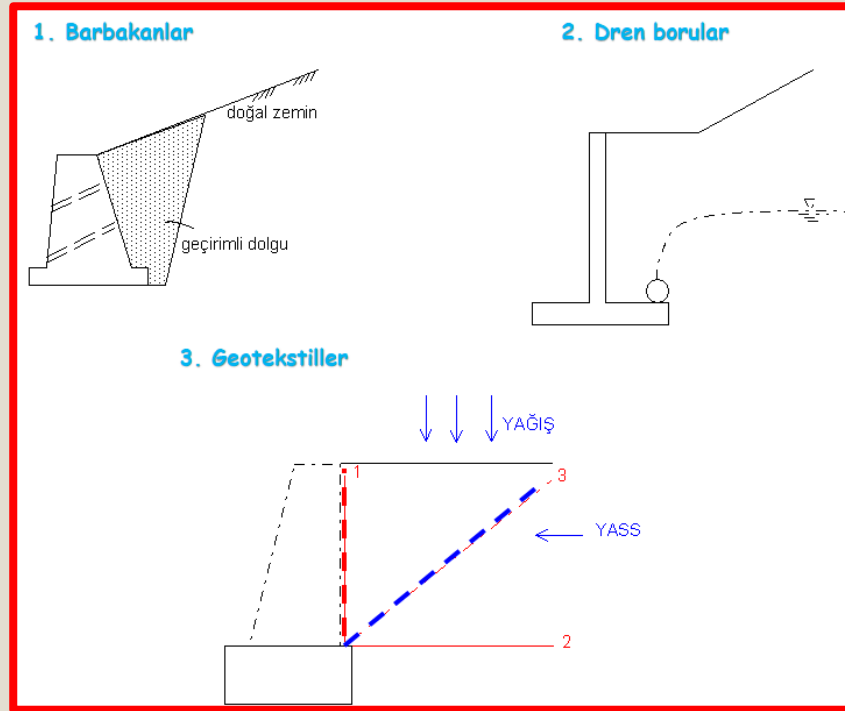
- Ters Payandalı Duvar: Payandaların önde bir engel teşkil etmeyeceği durumlarda ters payandalı duvar kullanılır. Bu duvar tipinin kullanılmasıyla payanda basınca çalıştığından konsol ve temeldeki beton miktarında önemli azalmalar sağlanır. Buna karşın düşey zemin yükü kısa olan topuk üzerine etkidiğinden duvar stabilitesine katkısı daha azdır.



DRENAJ VE DERZ

Drenaj

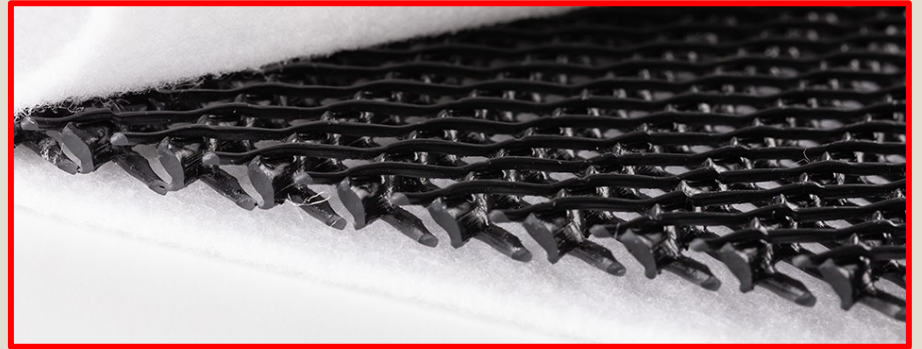
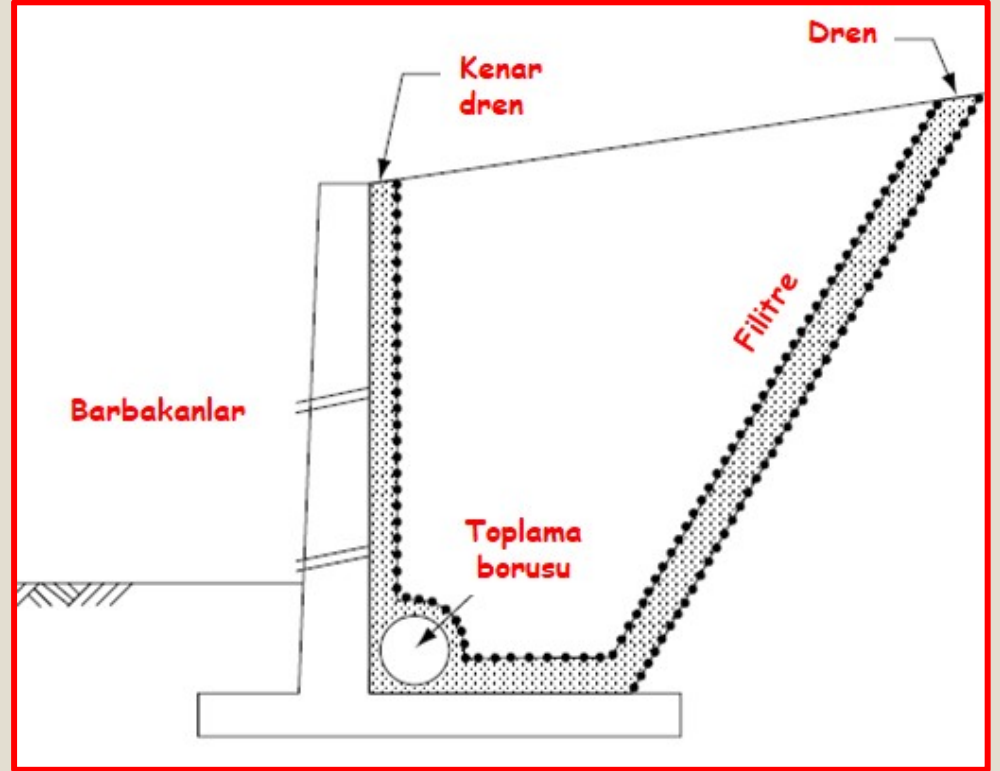
- Dayanma duvarlarının arkasında biriken yağmur suları, yüzey veya sızıntı suları, duvara hidrostatik basınç uygulayarak olumsuz etki yaparlar. Duvar arkasında su birikmesinin önlenmesi için çeşitli drenaj önlemleri alınır.



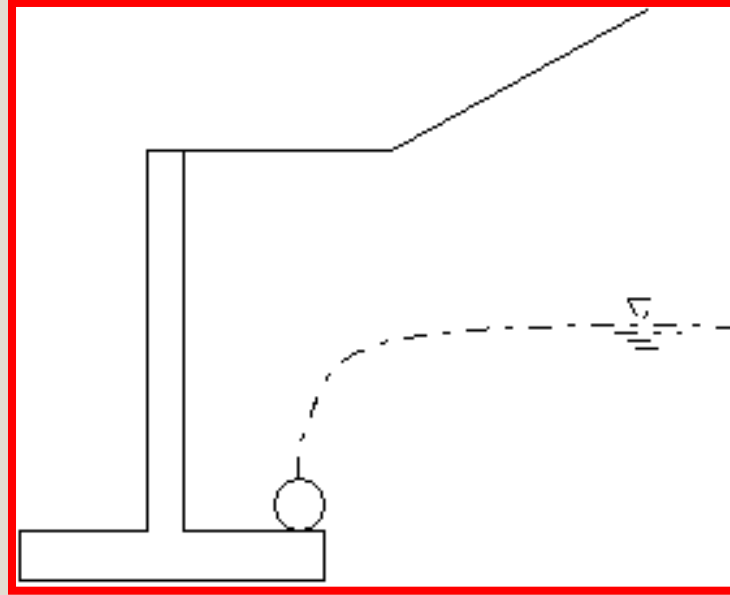
Duvar dreni kullanmak;

- ✓ Dren boru
- ✓ Geonet

Duvar gövdesinde (0.10-0.20) m çapında dikdörtgen veya dairesel drenaj delikleri (güvercin delikleri, barbakanlar) bırakılır. Bunlar yatayda ve düşeyde (1-2) m aralıklarla duvar gövdesinde oluşturulur.

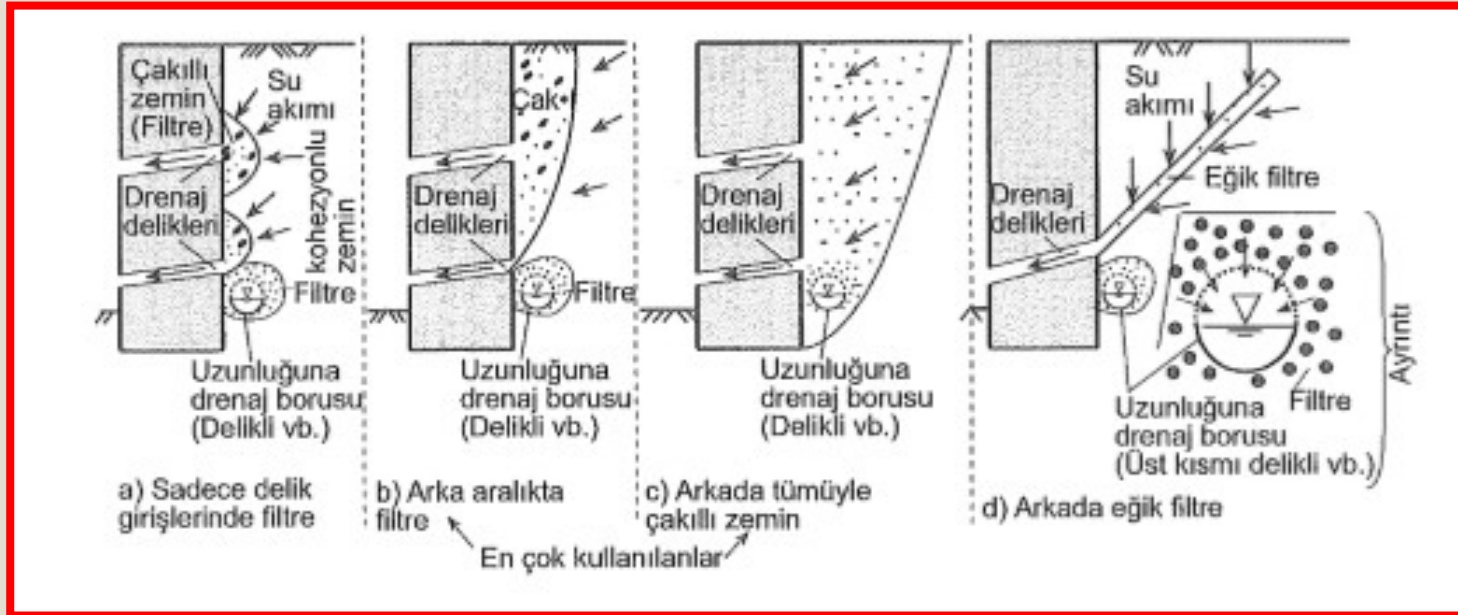


Duvar arka alt kısmında, uzunluğa paralel, suları toplayıp uzaklaştıran eğimli bir drenaj sisteminin de oluşturulması uygun olur.



Duvar arkasındaki dolgu malzemelerinin uygun drenajı, istinat duvar tasarımının kritik noktasıdır. Genellikle arka dolgu için kohezyonlu malzemeler;

- düşük drenaj,
- ısladığında mukavemet kaybı ve yoğunluktaki artış ve
- yüksek aktif zemin basınç katsayısının olmasından dolayı tercih edilmezler. Bu amaç için kabul edilebilir zemin tipleri **SW**, **GW** ve **SP**'dir.

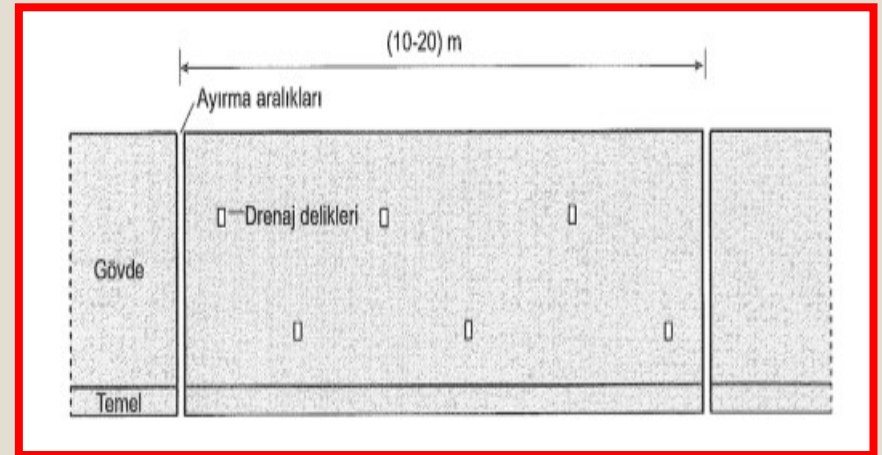
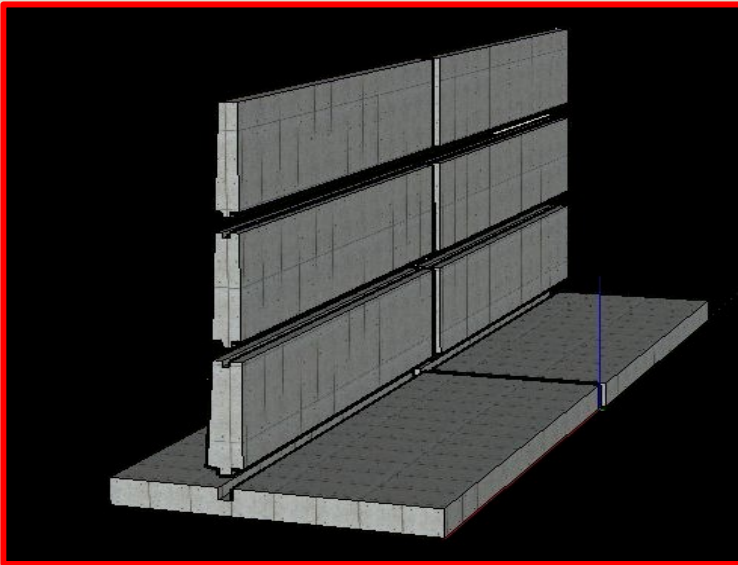


- ❑ Ağırlık tipi duvarların olumsuz yanlarından biri dolguda beliren yer altı suyunun gereğince kurutulamamasıdır. Bu sebeple boşluk suyu basınçlarının ihmal edilebilir seviyede tutulması için drenaj önlemleri alınmalıdır.
- ❑ İnce daneli dolgu malzemelerinin drenaj kanallarında tıkanmaya yol açmaması için malzemenin altında ya da üstünde geotekstil kullanılarak filtrasyon sağlanır. Geotekstil ince daneli dolgu malzemesinin bulunduğu yüzeye veya atık sahalarında atığın bulunduğu üst kısma lamine edilir ve geotekstilin yardımıyla filtre ve ayırma özelliği de kazanmış olur.



DüŖey Ayırma (Derz)

- ❑ Uzun dayanma duvarlarında, uzunluk boyunca 10-20 m'de bir, 30-60 mm vb. genişliğinde düŖey ayırma (dilatasyon) aralıkları (derzler) oluşturulur. DüŖey olan bu aralıklar, dayanma duvarlarında farklı oturma, genleşme, büzülme (sıcaklık) vb. olaylar içindir. Bu olaylar duvarda düzensiz çatlak veya kırılmalar oluşturabilir. Bu aralıklar temelden en üst düzeye kadar devam ederler.
- ❑ Derzler yatay ve düŖey olabilir.



3.2. ESNEK DAYANMA YAPILARI

- Bu tür dayanma yapıları, temel zeminin geleneksel duvarları taşıyamayacak kadar yetersiz olması, su kenarlarında inşaat çalışmalarının diğer tipler için zorluğu ve pahalı kurutma işlemlerini gerektirmesi, yapımda kolaylık, geçici duvar oluşturma mecburiyeti ve yeniden kullanma imkanının ekonomi sağlaması sebebiyle rijit ve yarı rijit türlere tercih edilir.
 - Palplanş Perde Duvarlar
 - Donatılı Zemin Duvarlar

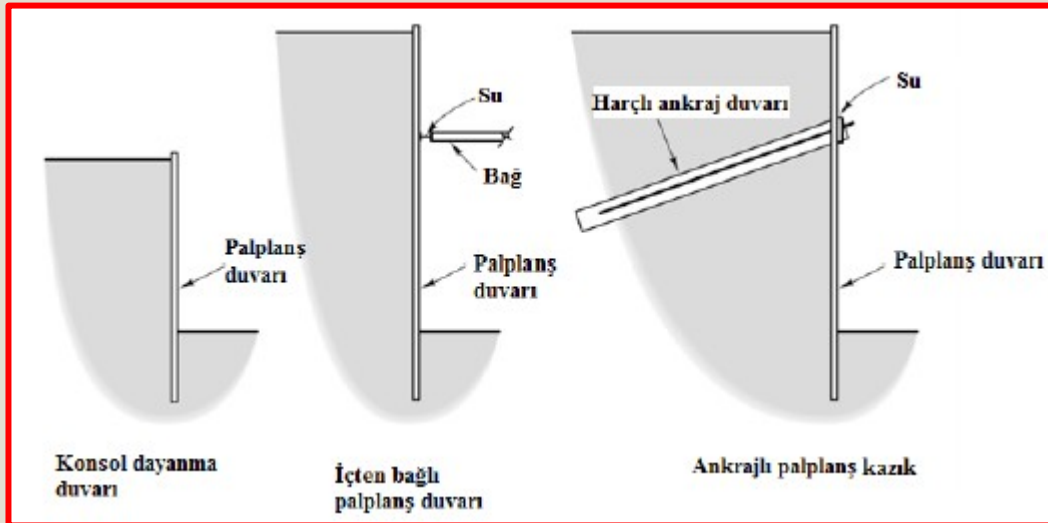
□ Palplanş Perde Duvarları

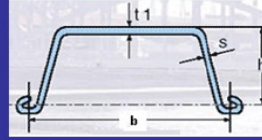
- Gömme perde (Ankastre palplanş)
 - ✓ Zemine yarı ankastre bağlı perde
 - ✓ Zemine tam ankastre bağlı perde
- Bağlı perde (Ankrajlı palplanş)



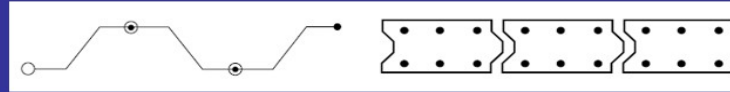
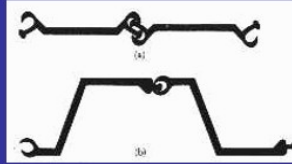
- Genellikle kuma çakılan, yanal zemin basıncını esnek davranışıyla karşılayan ahşap, çelik veya betonarme yapı elemanlarıdır.
- Sığ kanal kazılarında, deniz kenarı gibi su seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu yerlerde yapılacak temel kazılarında zemin akmasını ve su gelişini büyük oranda engelleyen palplanş perdeler, hidrolik tokmaklar yardımıyla istenilen boyda zemine çakılırlar.
- Kazı işleri bitirilip, kazılan yer kapatıldıktan sonra palplanşlar tekrar çekilir ve başka yerlerde kullanılabilirler. Bu nedenle sığ temel kazılarındaki duraylılık problemlerinde palplanş perdeler; hız, ekonomi ve güvenlik sağlarlar.

- ✓ Palplanş istinat yapıları genellikle çelik levhaların çakma kazık gibi yere sıra ile çakılmasıyla veya fore kazıklar ile oluşturulurlar.
- ✓ Sıra halindeki levha kazıklar palplanş oluşturur.
- ✓ Konsol biçiminde çalıştırmak mümkündür.
- ✓ Bazen ankraj veya destek kullanılarak sabitlenmeleri gerekebilir.





b	350-500 mm
t	7-12 mm
h	150-400 mm
w	80-160 kg/m



Çelik

Betonarme

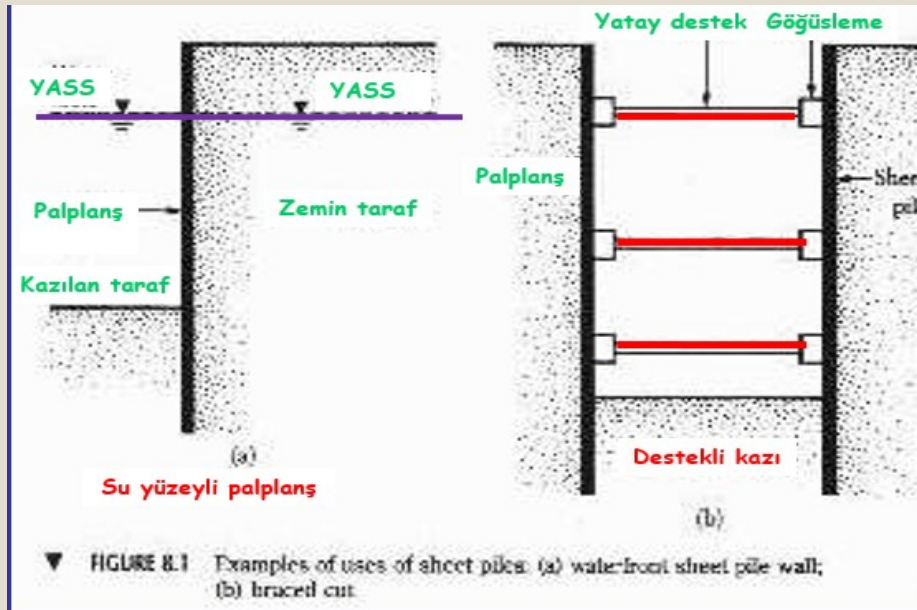


❖ Avantajlar

- Çok yaygın
- Hem kısa hem de uzun süre için uygun
- Esnek (flaksıbil)
- "Temiz" inşası

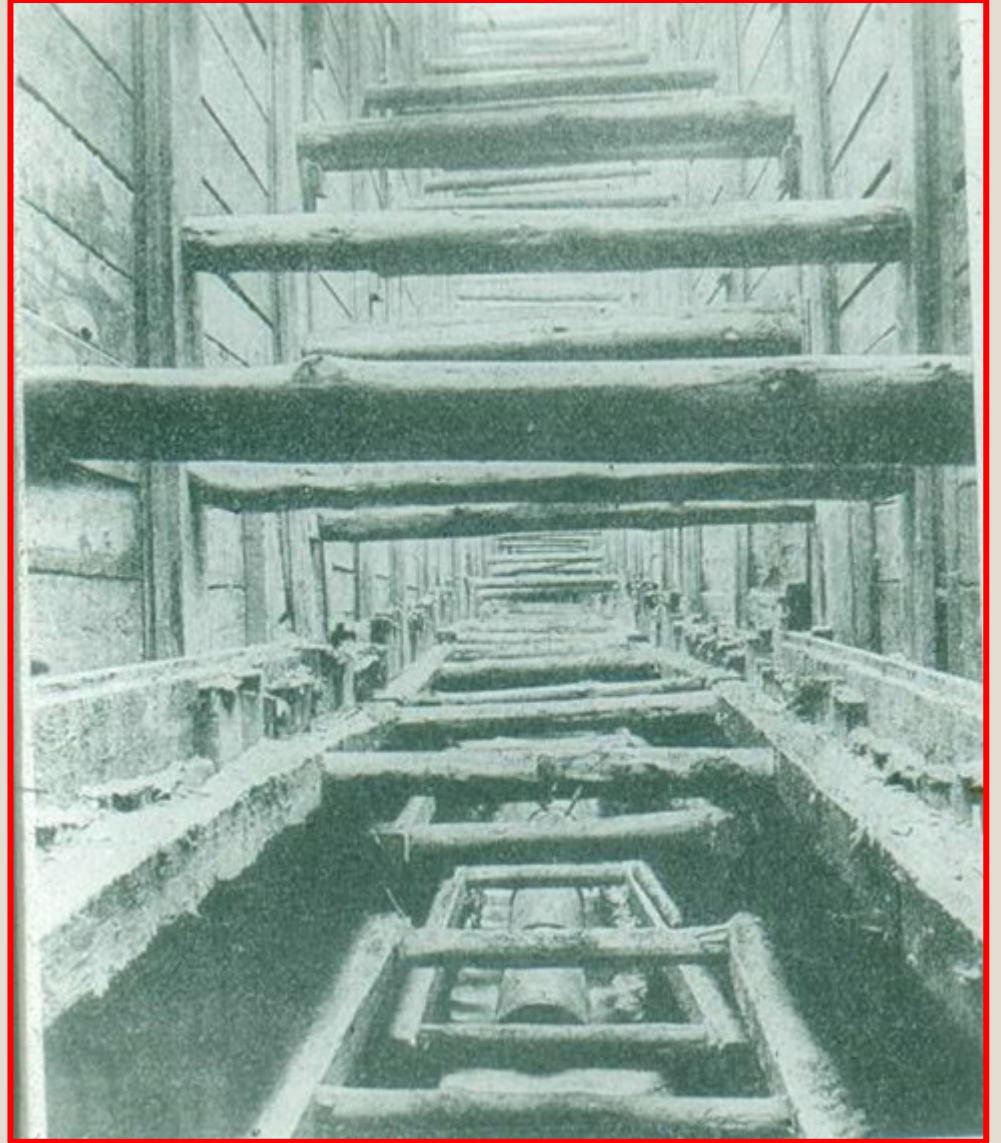
❖ Dezavantajlar

- Pahalı



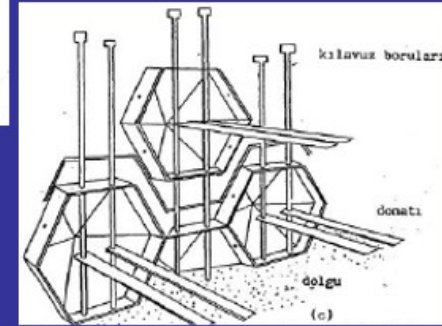
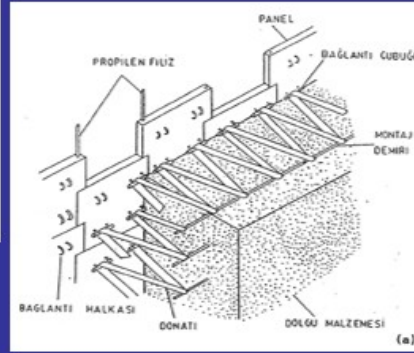
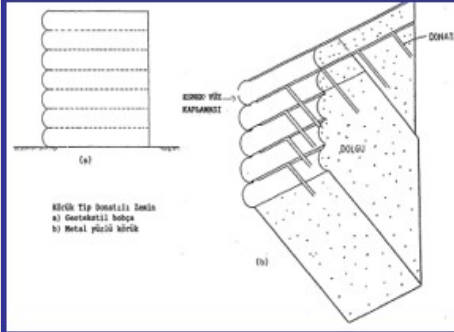
Kazı Kaplamaları

- ✓ Herhangi bir amaçla (temel çukuru, hendek) açılan çukurda, çalışma güvenliğini sağlamak üzere, kazı yan yüzlerinin göçmesinin önlenmesi gerekir.
- ✓ Göçmeyi önlemek üzere temel çukurunun kaplamasının tasarımı yapılmalıdır.
- ✓ Desteklemeye bir seçenek de kazı yan yüzlerini şevli açmaktır. Ancak bu geniş yan alanlar ister ve kazı hacmi artar.

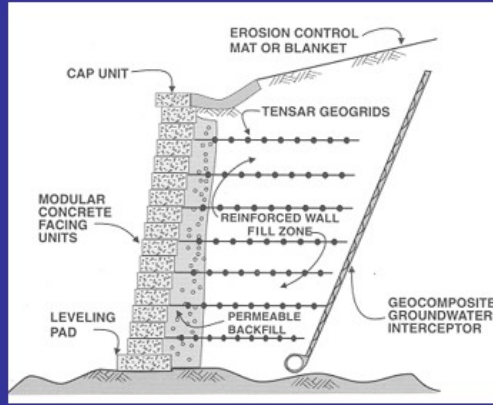


□ Donatılı Zemin Dayanma Duvarları

- Körük tip
- Teleskop tip
- Kılavuzlu tip



- ✓ Kaba daneli dolgunun içine yerleştirilen çelik veya plastik şeritler, geogrid veya geomembranların ortama kendisinde olmayan çekme dayanımını sağlama amacına yönelik olarak yapılan esnek dayanma yapılarıdır.

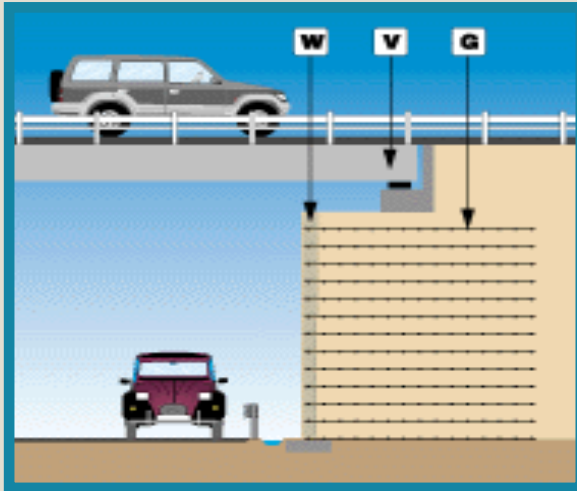


❖ Avantajlar

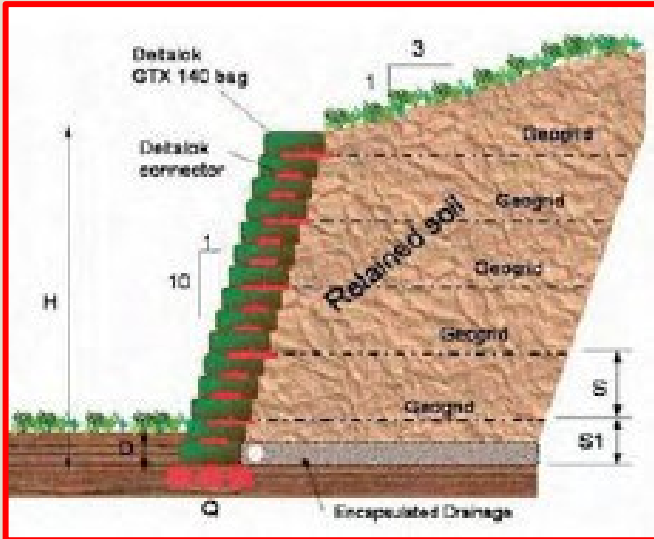
- Daha ucuz
- Esnek
- İnşası kolay
- Estetik

❖ Dezavantaj

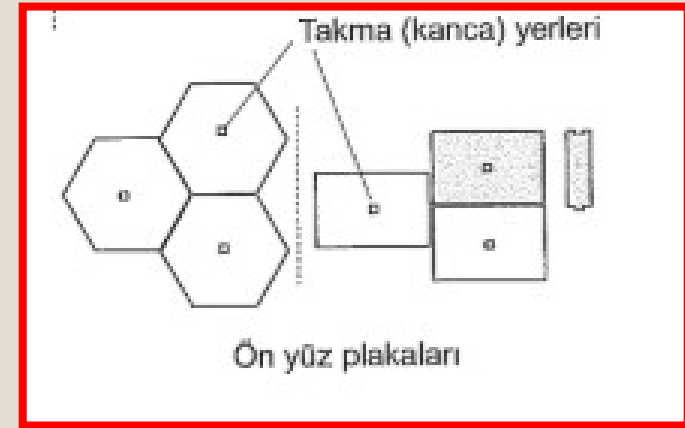
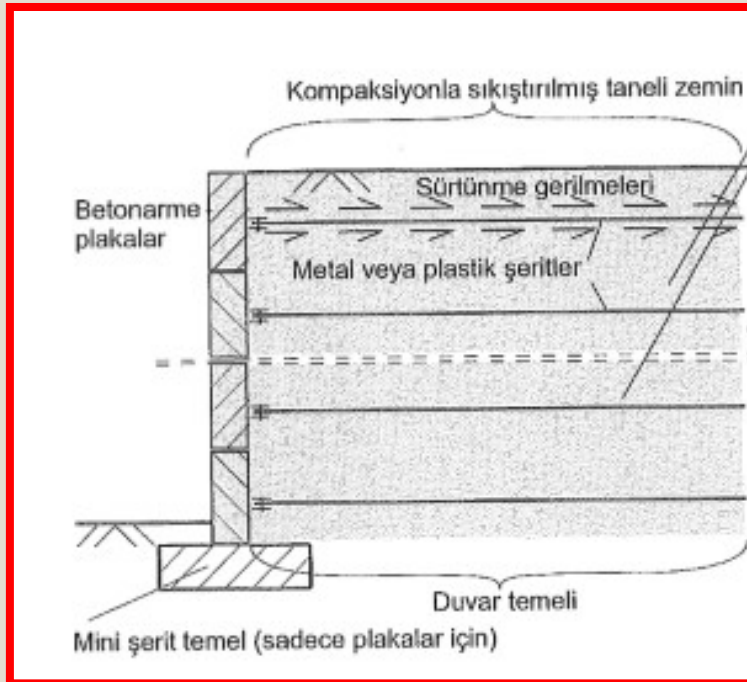
- Ne kadar ömür süresi konusunda tartışma



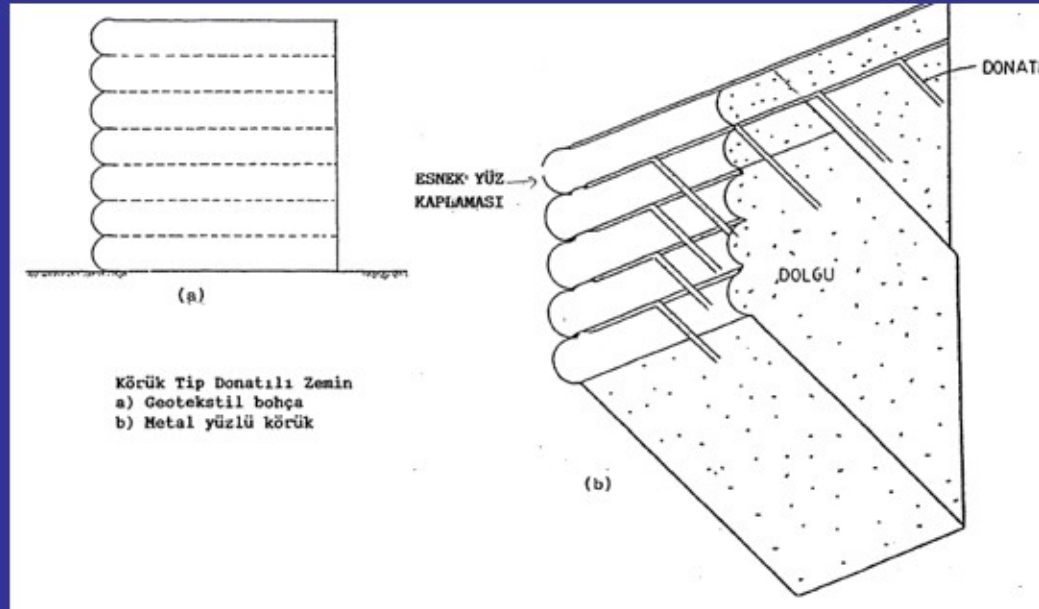
- Zemin basınçta güçlüdür fakat neredeyse hiç çekme mukavemeti yoktur.
- Bu nedenle zemine çekme mukavemeti kazandırma amacıyla donatı görevi göreceğ malzemeler dolgu inşaatı sırasında zemine eklenebilir (görevi betonun içindeki donatı gibi)
- Böylece normalde yapılabileceğinden daha dik şevler oluşturulabilir.
- Bazen düşeye yakın yüzeyler oluşturularak istinat yapısı gibi çalışmaları sağlanabilir.
- Donatı elemanı olarak çelik şeritler, polimer bazlı geogridler, tel kafesler, geosentetikler kullanılabilir
- Bu tip yapılar gittikçe daha popüler olmaktadır, özellikle otoyol inşaatlarında.
- Avantajları düşük maliyet ve farklı oturmalara toleranslı olmalarıdır.



- Hazır (prefabrik) betonarme plaklı duvar (donatılı zemin dayanma duvarı); önceden hazırlanmış beton(arme) plakların üst üste yerleştirilerek, plaklara metal, plastik vb. şeritler takılarak oluşturulur. Duvar yüzünün oluşmasına paralel olarak, arka dolgu yükseltilir ve sıkıştırılır. Arka dolgu zemini genellikle iri taneli (çakıl) zemindir. Tamamlanmış duvarda, duvar yüzü öne doğru hareket etmek isterken; şeritlerle arka dolgu zemini arasında oluşan sürtünme gerilmeleri, bu eğilimi engeller. Plakların kenarlarında dişili-erkekli bir düzenleme, plaklar arasında kenetlenme oluşturularak duvar yüzünün bütünlüğünü sağlamış olur. Metal şeritler galvaniz kaplama vb. yöntemlerle paslanmaya karşı korunur.



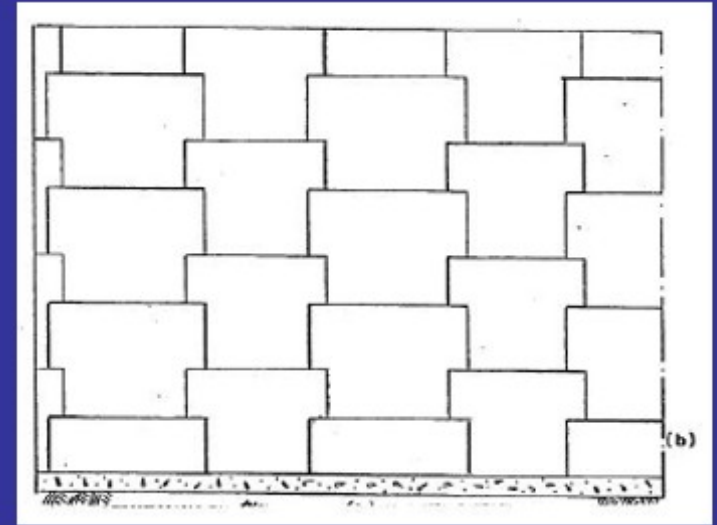
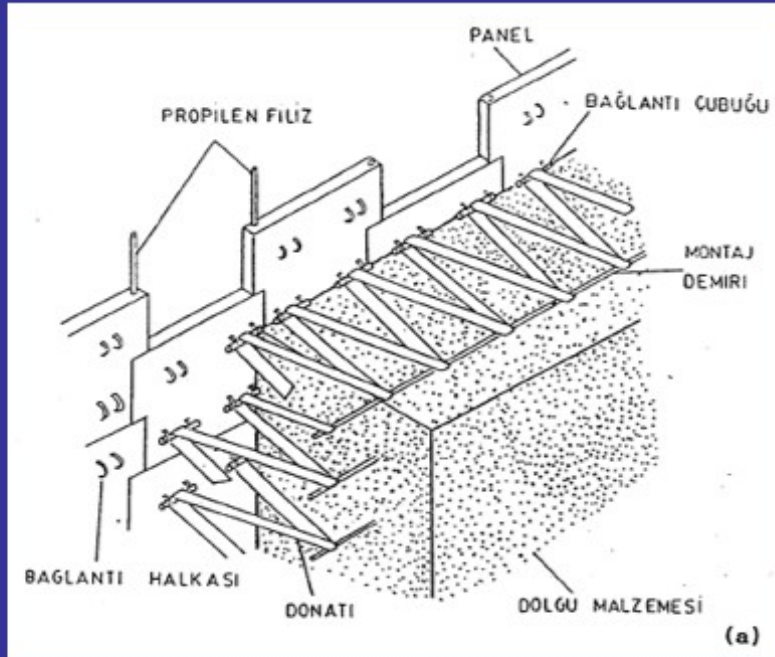
A. Körük Tip: İlk geliştirilmiş türdür. Ön yüzü metal yada plastikten yapılır. Metal yüzlü körük duvarda ondüle saç veya alüminyum parçalar birbirine perçinlenerek donatı şeritleri buraya bağlanır.



Körük tipte çekme direnci yüksek, suyu geçirmesine karşın ince zemin danelerini tutan geotekstil duvar ön yüzü ve donatı elemanı olarak kullanılır. Böylece zemin geotekstil içinde bohçalanmış olur.



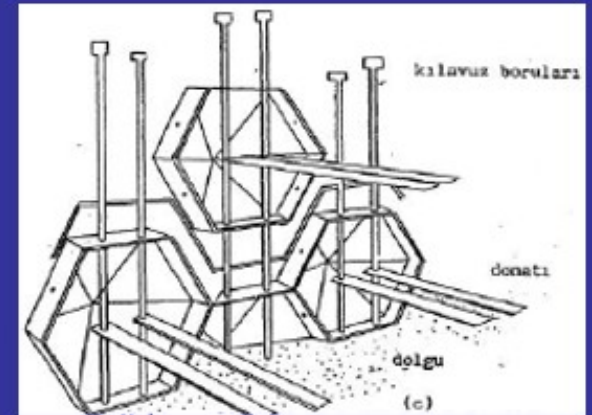
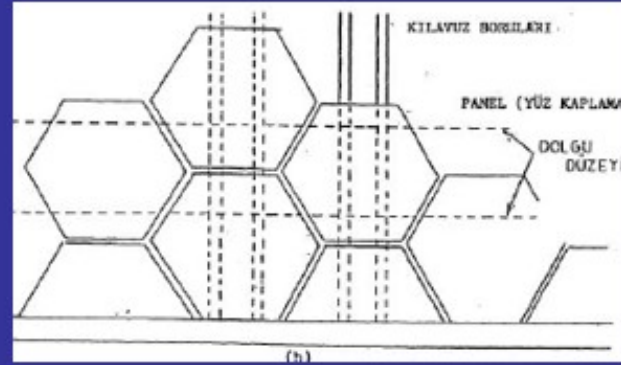
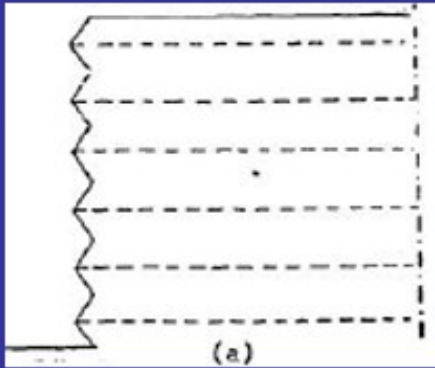
B. Teleskop Tip: Önceden imal edilmiş (prefabrike) kaplama elemanları, arkasına bağlanan donatı şeritleriyle yanındaki elemanlardan bağımsız olarak çalışır. Duvarın hareketi, yüzünde kaplama elemanlarının yatayda yer değiştirmesi ve eğilmesi biçiminde belirebilir. Paneller C30 betonu ile dökülür. Tipik boyut 160cm*200cm*16cm olan panellerde tek sıra $\phi 8$ nervürlü hasır donatı kullanılır. Ağırlığı 1 ton, yüzey alanı 3 m² civarındadır.



Teleskop Tip Donatılı Zemin
a) Bir teleskop duvarın görünüşü
b) Teleskop duvar yüzey elemanları



C. Kılavuzlu Tip: Bu duvar tipinde donatılar duvar yüzü arkasında kalan borulara bağlanır. Bu durumda duvar yüzünün, yapısal işlevi ortadan kalkmakta, sadece yüzeyi kaplama görevini gerçekleştirmektedir.

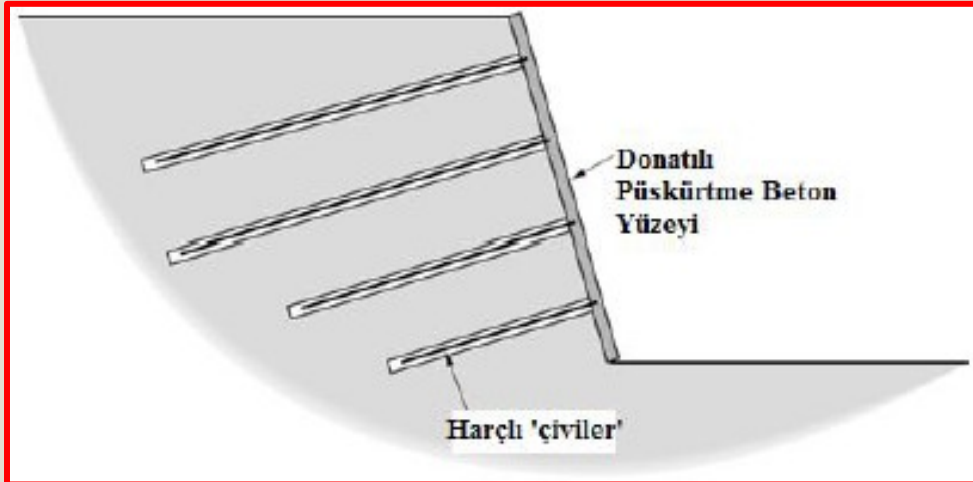






Yerinde Donatılı Sistemler

- ❑ Yerinde donatılı sistemlerin farkı, donatı elemanlarının mevcut zeminin içine itilmesi/yerleştirilmesidir.
- ❑ Bir tipi zemin çivisidir (pasif ankraj).
- ❑ Zemin çivisi zemine yataya yakın sondaj deliğinin açılmasının ardından deliğe tendon sokulup harçlanması ile oluşturulur.
- ❑ Duvarın yüzü genellikle püskürtme beton ile kaplanır.
- ❑ Bu tip istinat yapıları kazı çalışması gerektirmemeleri sebebiyle inşaat alanının dar olduğu durumlarda avantajlıdır.



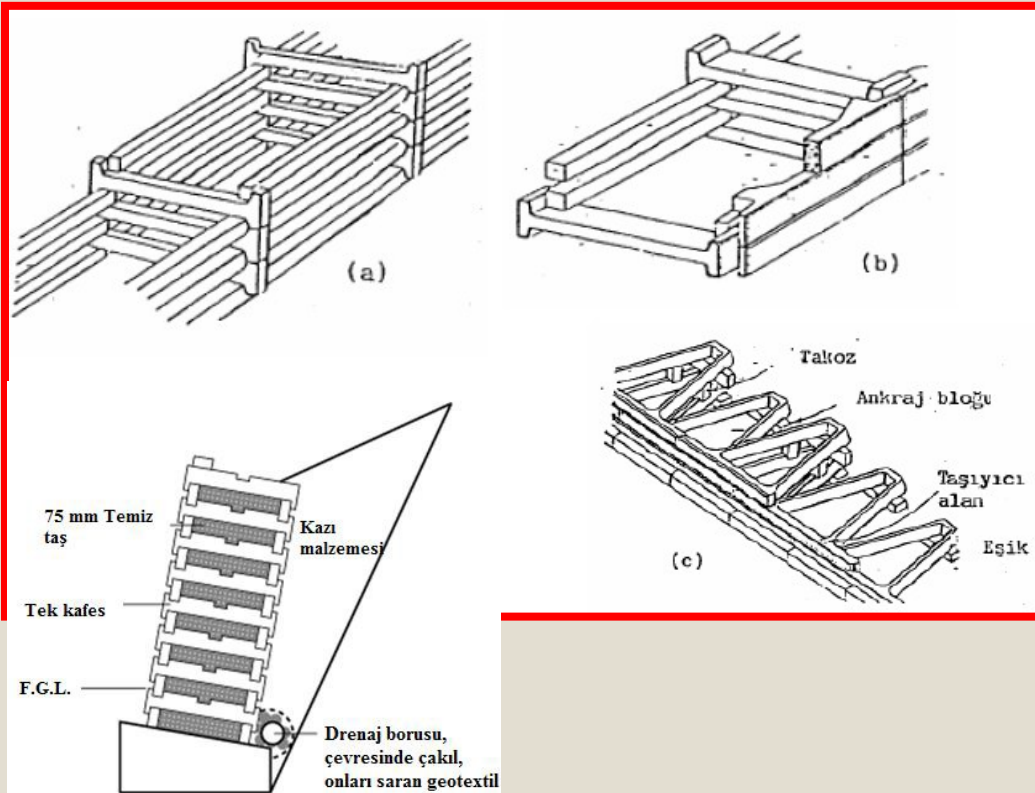
3.3. YARI ESNEK DAYANMA YAPILARI

Bu gruptaki dayanma yapıları, zemin itkisini karşılamakla birlikte belirli limitin ötesinde hareket ederek veya basıncın önemli bir bölümünü zeminin kendisine aktararak işlevlerini yerine getirirler.

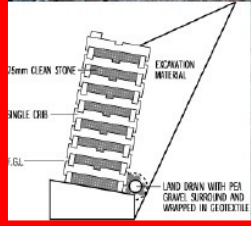
- Kafes (Gabion) tipi dayanma duvarları
- Sandık tipi dayanma duvarları
- Diyafram duvarlar
- Kazıklı perdeler
 - ✓ Aralıklı kazıklarla oluşturulan perde
 - ✓ Teğet kazıklı perde
 - ✓ Enjeksiyonlu teğet kazıklı perde
 - ✓ Bindirme kazıklı perde

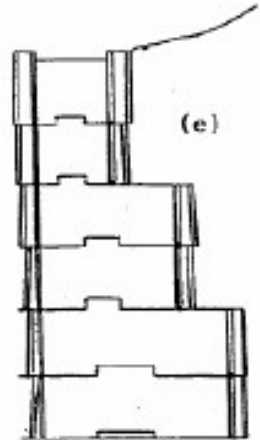
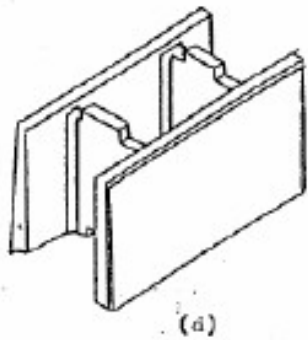
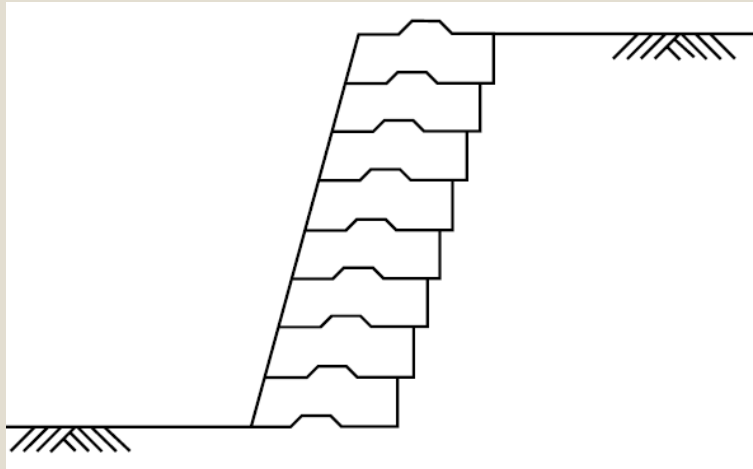
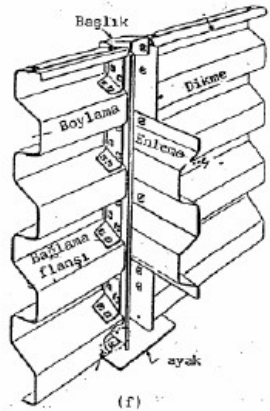
□ Sandık Dayanma Duvarı

- ✓ Birbirine geçmeli betonarme veya metal kirişler ile istenen uzunluk ve yükseklikte ve birbirine bağlı hücreler oluşturulur.
- ✓ Bu yapı elemanları ile kurulan sandıkların içi taşla, gerektiğinde taneli malzemeyle doldurularak dayanma duvarı inşa edilir.
- ✓ Yüksekliği 6 m'den fazla olması durumunda en kesitteki hücre sayısı birden ikiye artırılır.



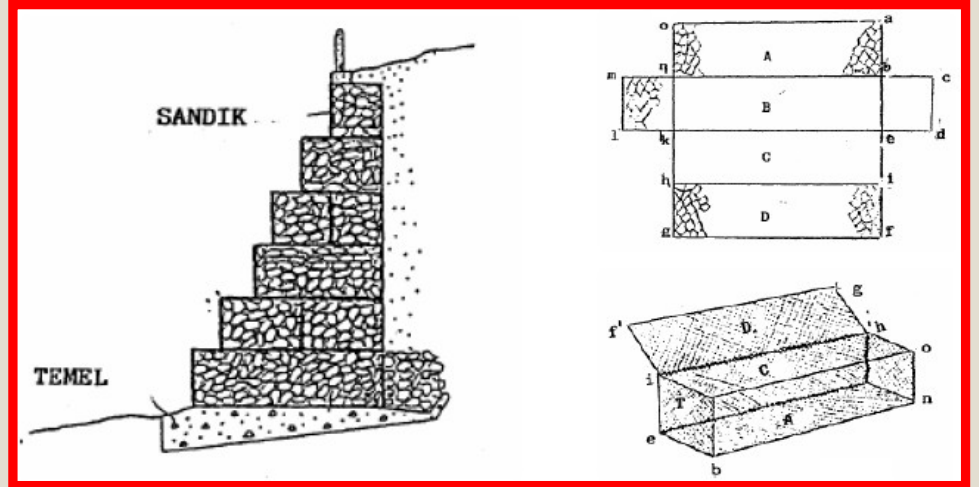
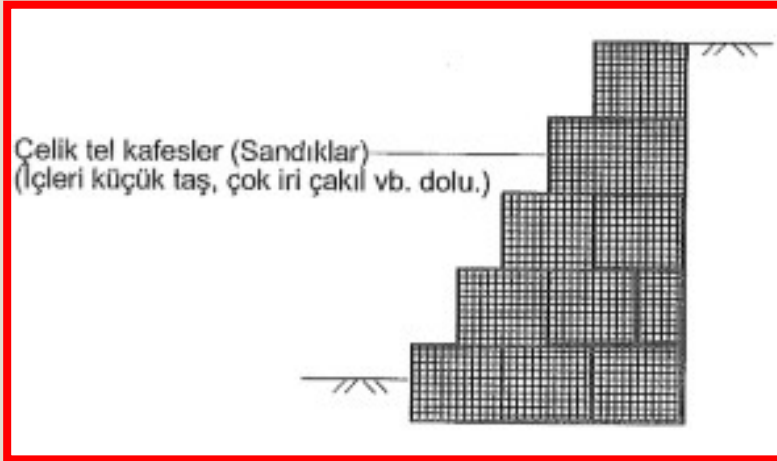






□ Kafes (Gabion) Dayanma Duvarı

- ✓ Paslanmaz çelik tellerle yapılan kafes tipi tel örgü sandıklar içine kaya dolgu yerleştirilerek inşa edilir.
- ✓ Tipik kafes taban boyutları (1x1) m, uzunluğu (2-4) m dir. Bu kafesler üst üste konularak kafes tipi dayanma duvarını oluştururlar.
- ✓ Duvarın gövdesi kaya dolgu olduğundan drenaj sorunu çıkmaz. Bu tür duvar farklı oturmalarından dolayı hasara uğramaz.
- ✓ Kafes türü dayanma duvarı, deniz inşaatlarında, su kanalları şevlerinin korunmasında, erozyon önleme amacıyla da kullanılabilir.



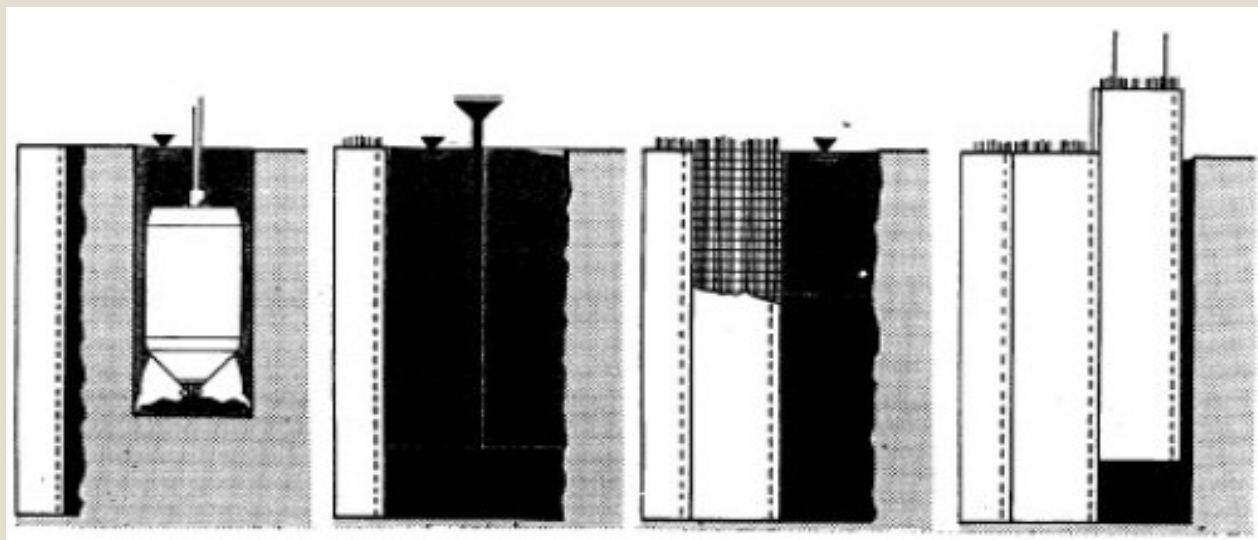
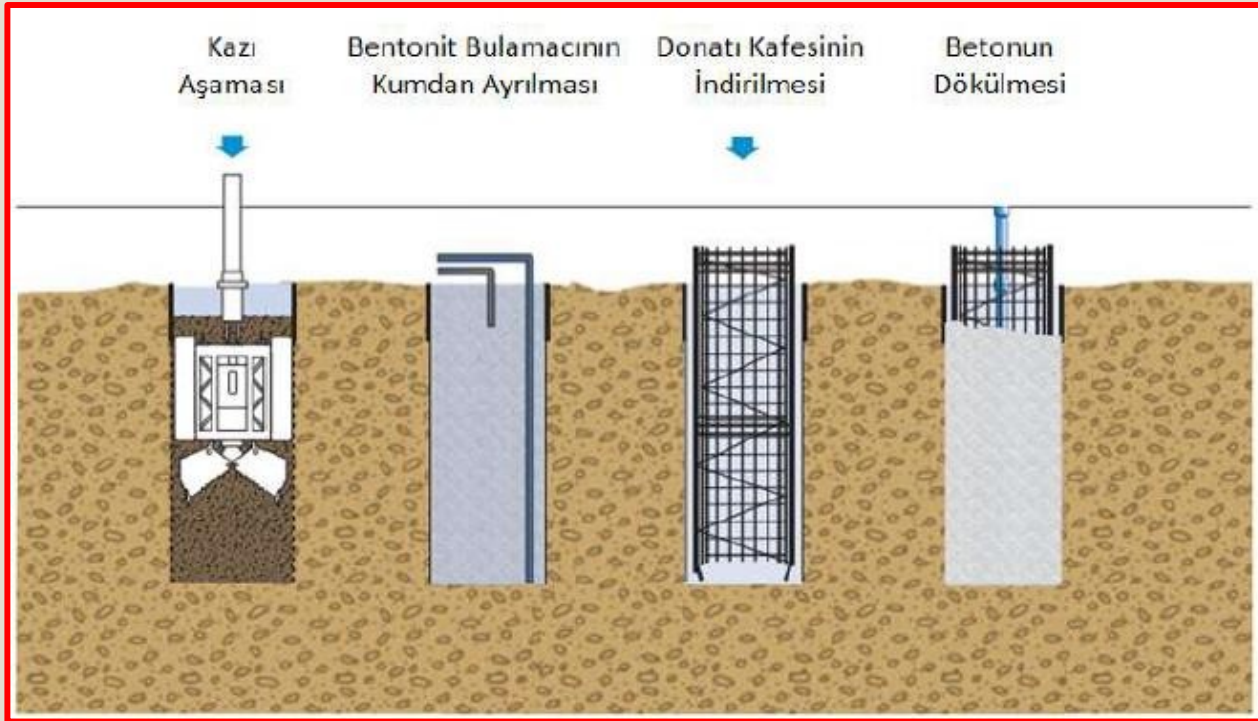


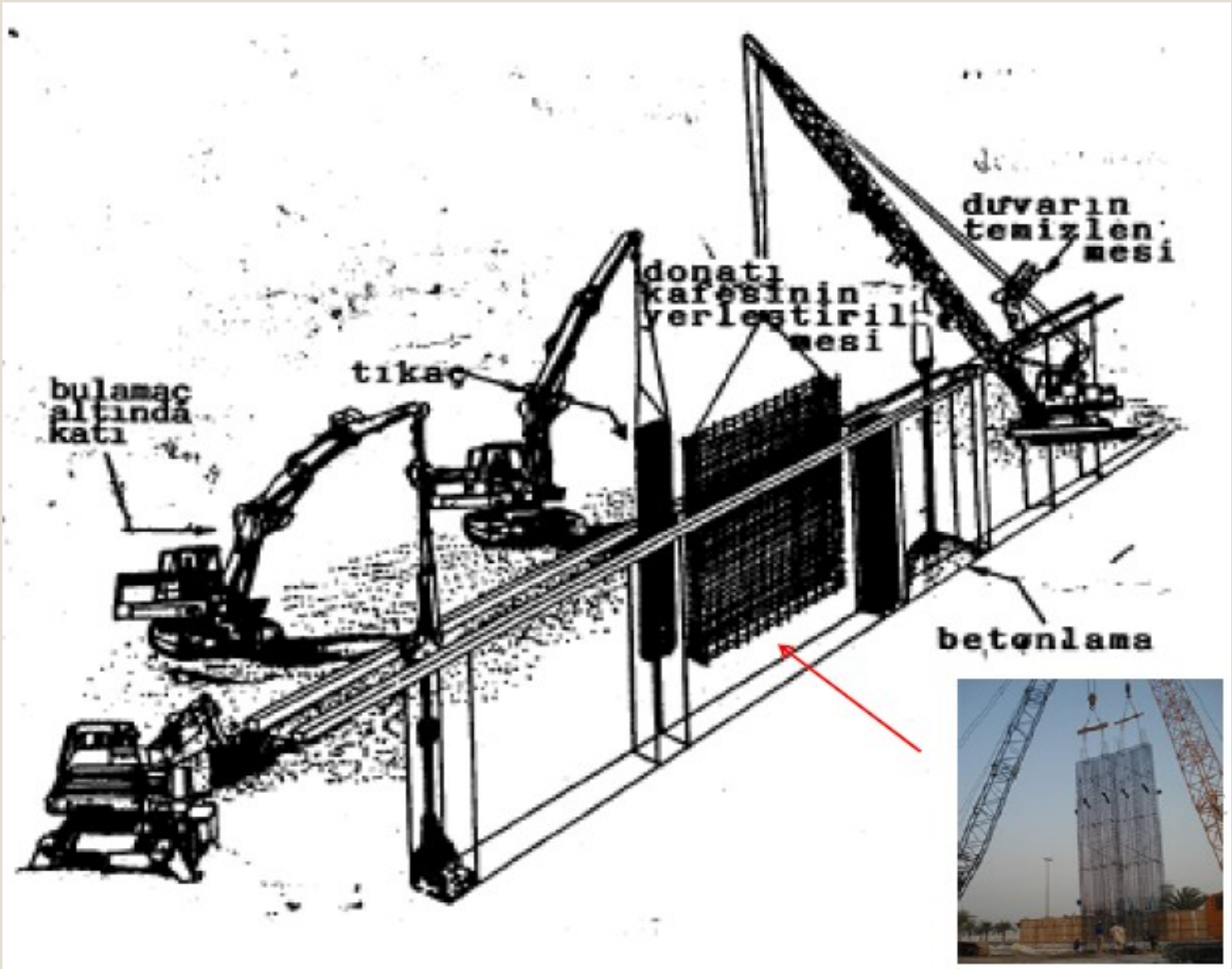
□ Diyafram Duvar

- Donatılı beton, beton veya genellikle çimento esaslı malzemelerden yapılmış yer altı yapı elemanlarıdır. Yapısal ve/veya su tutma ve/veya koruyucu fonksiyonlara sahiptirler ve hem geçici hem de kalıcı uygulamalar için uygundurlar.
- **Duvarlar genellikle yatay ve/veya düşey statik yüklere maruz kalırlar.**
Kullanım alanları;
 - ✓ Açık kazılar ve shaftlarda zemin desteği olarak,
 - ✓ Köprü derin temellerinde,
 - ✓ Açık kazılarda su geçirmez duvar olarak,
 - ✓ Geçirimsizlik perdesi olarak kullanılmaktadırlar (baraj inşaatı projelerinde yer altı su yalıtımı, toprak dolgu barajları için çekirdek su yalıtımı veya kirlilik kontrolü ve endüstriyel tesislerde muhafaza duvarı gibi).
- **Bu duvarlarda deformasyonun düşük olduğu kabul edilmektedir.**



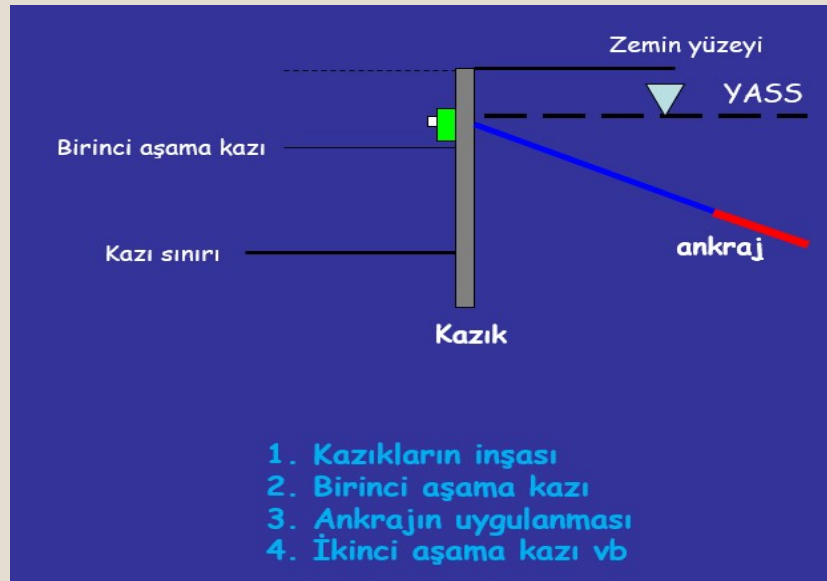
- ❑ Diyafram duvarlar, zemin içerisinde anolar veya paneller halinde inşa edilen yerinde dökme betonarme duvarlardır. Genellikle atlamalı olarak ayrı ayrı inşa edilen, birincil ve ikincil olarak adlandırılan anolardan teşkil edilirler. Bir anonun inşası sırasında izlenen imalat yöntemi aşağıdaki gibidir:
 - ✓ **Kazı yapılması:** Zemin cinsine bağlı olarak hidrolik frezeler (trench cutter veya hydromill) ve/veya grab adı verilen kovalar kullanılarak bulamaç hendeği (slurry trench) yöntemi ile hendek kazısı yapılır.
 - ✓ **Donatı yerleştirilmesi:** Tasarım uzunluğunda hazırlanmış ve bağlanmış olan donatı kafesi ağır tonajlı vinçlerin yardımı ile hendek içerisine yerleştirilir.
 - ✓ **Beton dökümü:** Tremie yöntemi ile, hendek içerisine dipten yukarıya doğru beton dökümü yapılarak anonun imalatı tamamlanır.





□ Kazıklı Perde Duvarlar

- ✓ Tutulması gereken zemin yüksekliği fazla, buna karşın zemin özellikleri yetersiz olan ortamda önce yerinde dökülen (fore) betonarme kazıklardan oluşturulur. Bunu izleyerek kazı yapılır.
- ✓ Kazık çapları, zemin basıncı mertebesine göre 45 cm-80 cm arası seçilir. Kazıkların ekonomik olmayacak derecede uzun yapılması gerektiğinde, kazıklar beton kuşaklı veya kuşaksız uygulanan bir veya birkaç sıra ankrajla desteklenebilir.
- ✓ Bu tür perdelerde ekonomik kazı derinliği 5 m'den fazladır. Fore Kazıklı duvarlar 20 m'ye, kazıklı ankraj duvarlar ise 25 m'ye kadar yapılabilir.



Aralıklı kazıklarla oluşturulan perde: Zemin itkisinin yüksek olmadığı ve kazık aralarından akmayacağı durumlarda kazıklar aralıklı imal edilir. Perdenin geri kalan bölümü ayrıca oluşturulur.



Teğet kazıklı perde: Genelde en çok uygulamayı bulan bu tür kazıklar yan yana yerleştirilir.

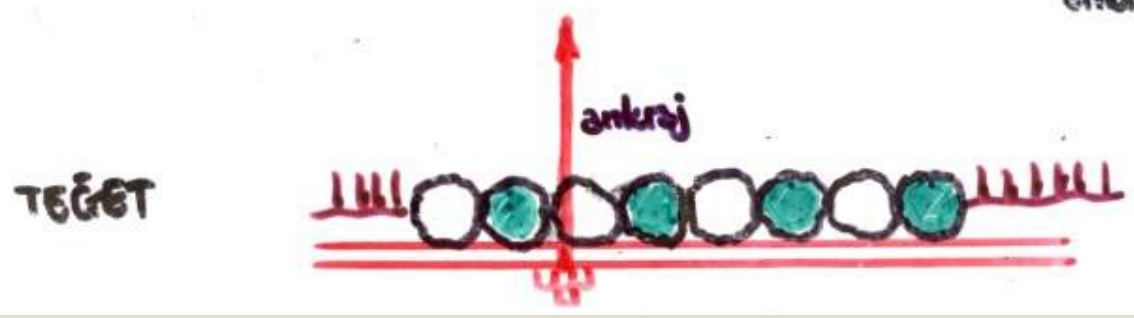


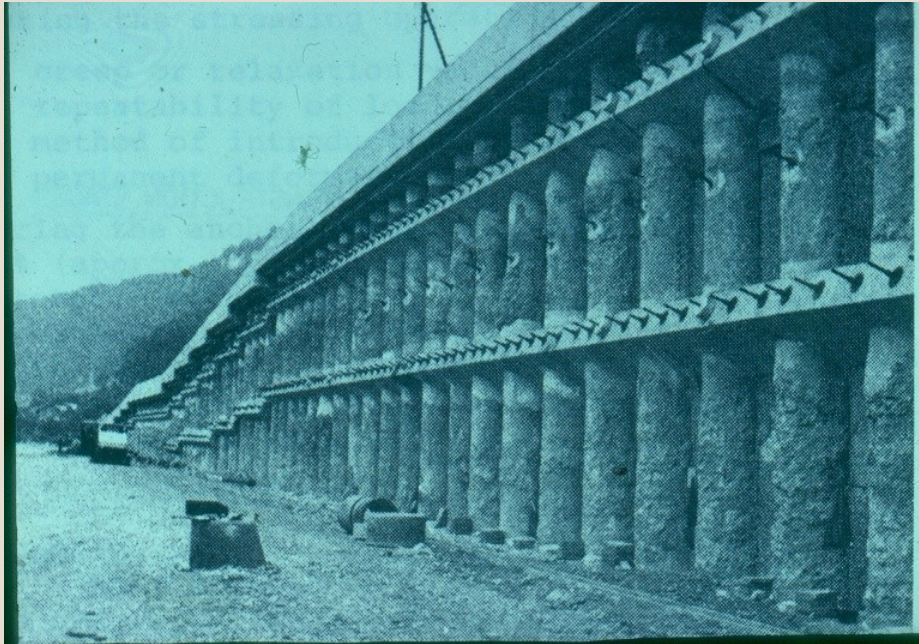
Enjeksiyonlu teğet kazıklı perde: Yer altı suyunun yüksek ve hareketli olduğu durumlarda perdenin tam geçirimsizliğini sağlamak için arkasında kazık birleşme noktaları enjeksiyonla tıkanır.



Bindirmeli kazıklı perde: Yanal zemin basıncının yüksek ve zeminin doygun olduğu durumlarda uygulanır. İmalat için özel makine kullanılır.







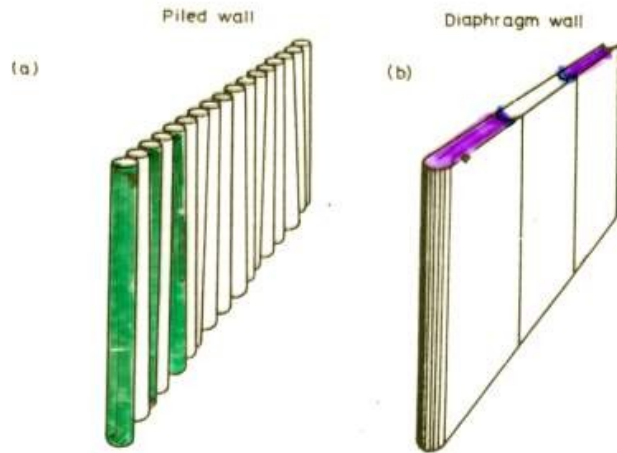


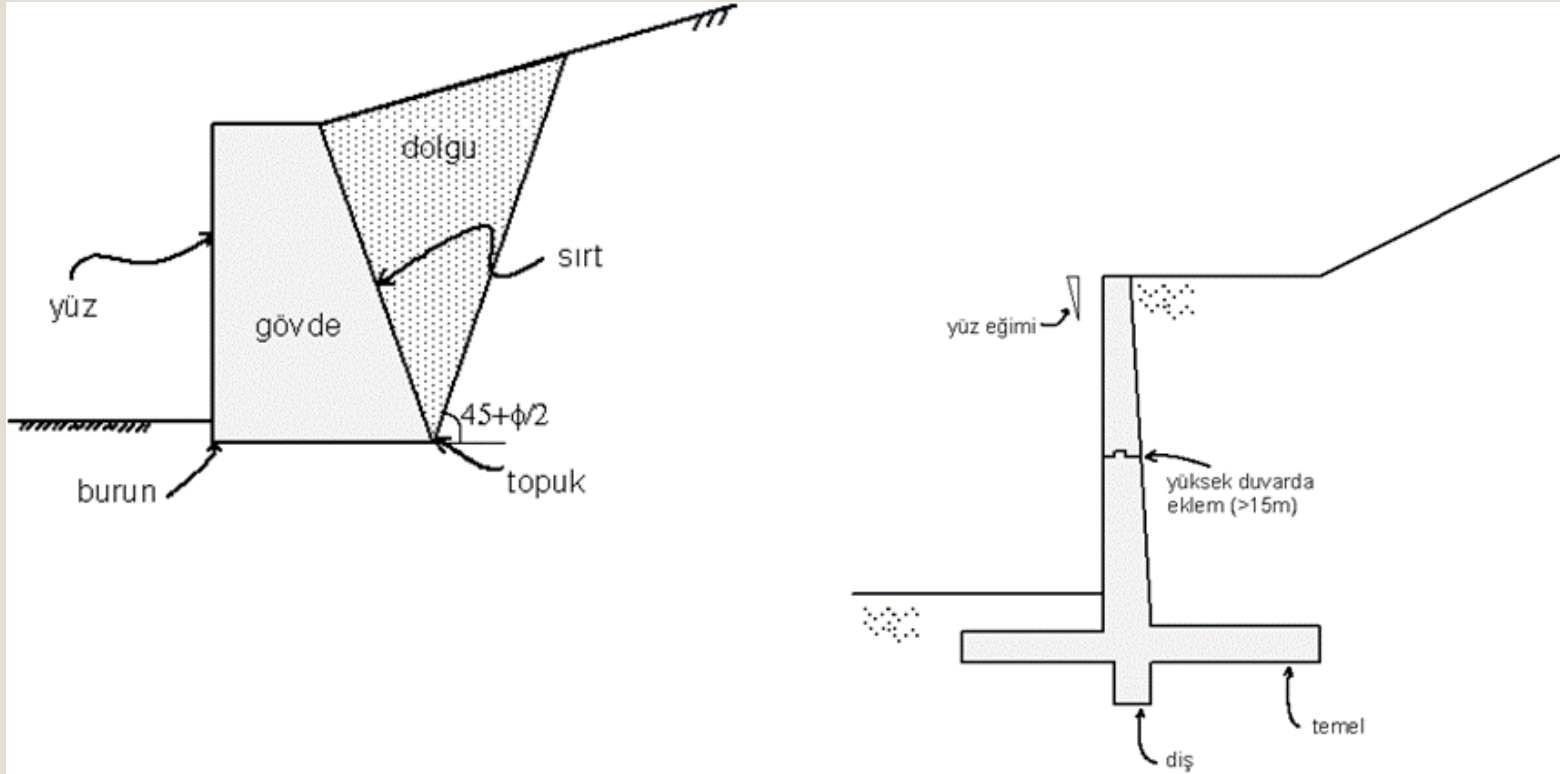
Fig. 5.57

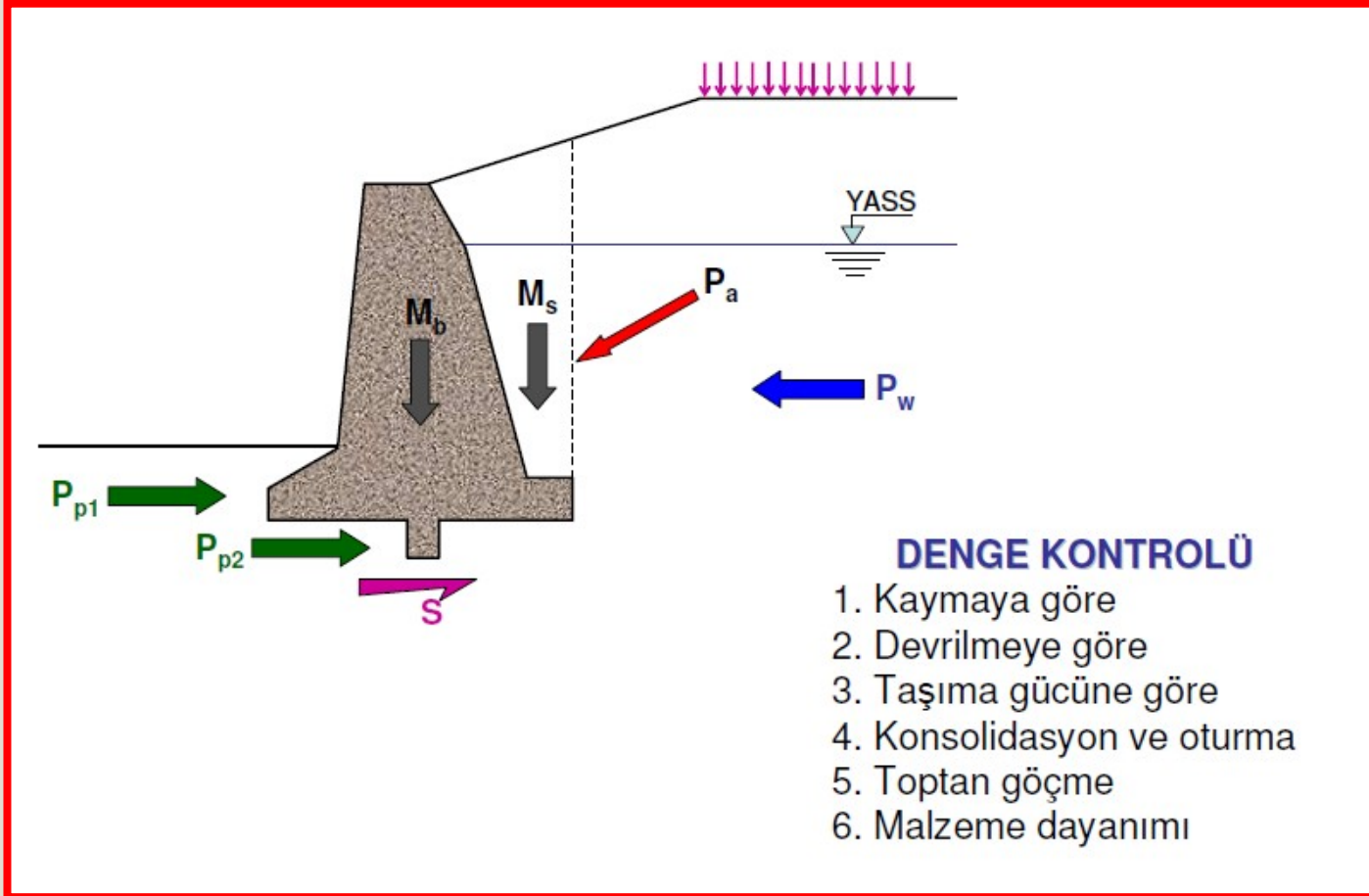
Walls consisting of borings or panels. (a) Wall consisting of adjacent borings; (b) Wall consisting of panels



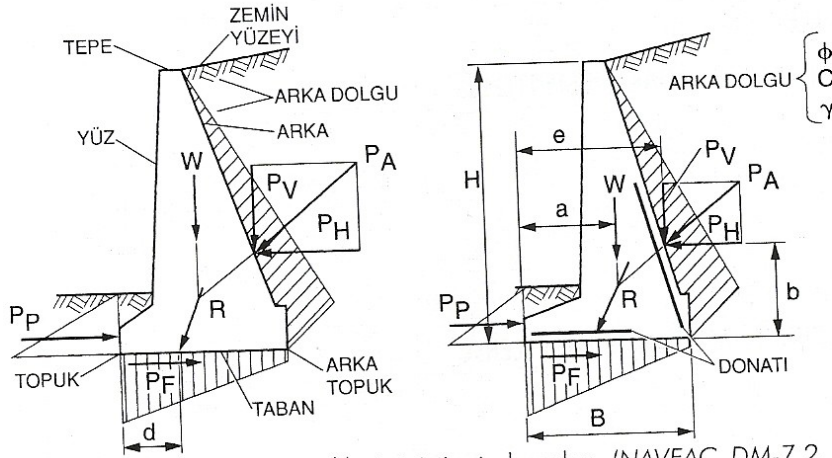
IV- RİJİT DAYANMA DUVARLARININ PROJELENDİRİLMESİ

- ❑ Hesaplamalar dayanma duvarlarının 1 m'lik boyu için yapılır.
- ❑ İnşa edilecek dayanma duvarları yükleme durumuna ve yapılan boyutlandırmaya göre statik olarak dengede olmalıdır.

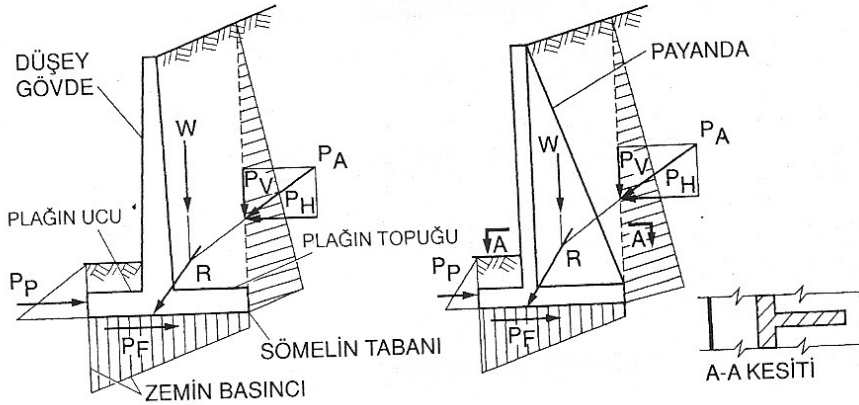




TS 7994 (1990): Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, özellikleri ve projelendirme esasları



Şeki 10.2a Ağır ve yarı-ağır tipi istinat duvarları (NAVFAC DM-7.2, 1982'den çoğaltılmıştır).



Şeki 10.2b Konsol ve payandalı istinat duvarları (NAVFAC DM-7.2, 1982'den çoğaltılmıştır).

İstinat duvarına etkiyen **3 tip zemin basıncı** vardır. Bunlar:

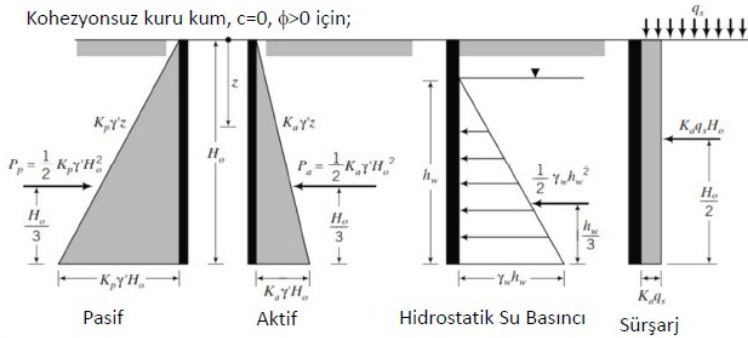
1. Duvarın arka yüzeyine etkiyen **aktif zemin basıncı**
2. İstinat duvarı temelinin ön tarafında etkiyen **pasif zemin basıncı**
3. İstinat temelinin tabanına etkiyen **taban basıncı**

Depremsiz durumlar için istinat duvarına etkiyen zemin basınçları

Rankine Teorisi

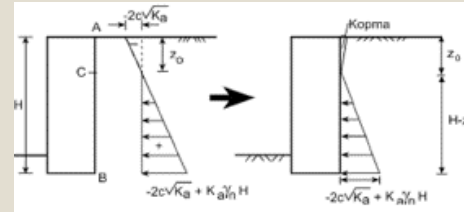
- Kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin durumu
- Zemin ortamda plastik denge durumuna ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alır
- Sürtünmesiz duvar kabulu
- Rijit duvar
- Düşey duvar

Kohezyonsuz kuru kum, $c=0$, $\phi>0$ için;



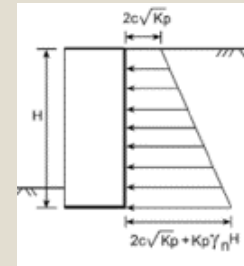
$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$



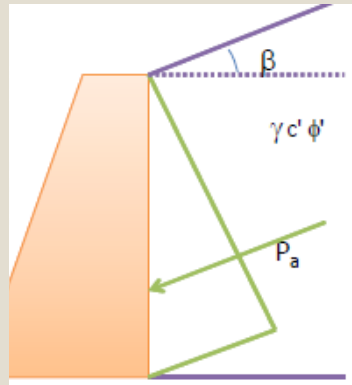
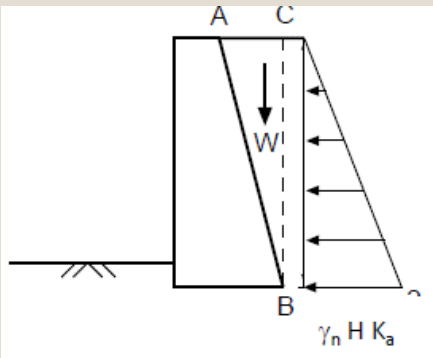
$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$



$$\sigma'_p = \sigma'_o K_p + 2c'\sqrt{K_p}$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$



$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{0.5}}{\cos \beta + (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{0.5}}$$

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{0.5}}{\cos \beta - (\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)^{0.5}}$$

Coulomb Teorisi

Rankine toprak basıncı teorisinin dikkate almadığı

- ❖ Arka zeminin yatayla bir açı yaptığı,
- ❖ Duvarın düşey olmadığı ve
- ❖ Duvar arkasında sürtünmenin olduğu granüler ($c=0$) zemin koşullarında geçerlidir.

Bu yöntem;

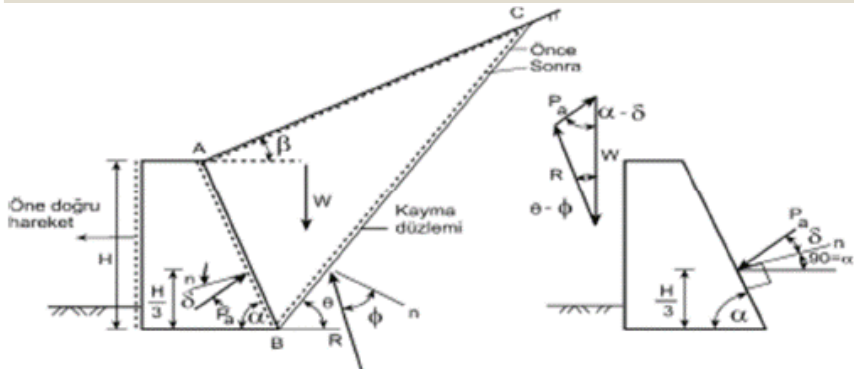
- ❖ Duvar, öne veya arkaya doğru hareket ederken, duvar arkasında oluşan ve kayan zemin kütesinin dengesini dikkate almıştır.
- ❖ Kohezyonsuz zeminlerde, duvar arkasından kayan kütle, üçgen şeklindedir (kama).
- ❖ Zemin homojen ve izotropur
- ❖ Kayma yüzeyi düzlemsel olarak kabul edilmektedir.
- ❖ Granüler zemin koşullarında geçerlidir.
- ❖ Sürtünme kuvvetleri kayma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılmıştır.
- ❖ En önemli özelliği, duvar arkasının pürüzlü kabul edilmesidir.

Etkiyen kuvvetler :

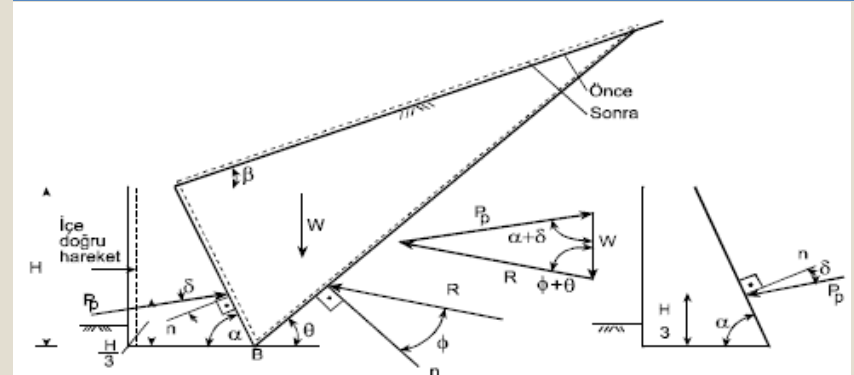
- ABC kamasının kendi ağırlığı (W),
- BC kayma düzlemi boyunca etkiyen R bileşke kuvveti ve
- AB düzlemi boyunca etkiyen P_a aktif bileşke kuvveti.

Kama aşağı doğru hareket ettiğinden, P_a ve R kuvvetleri, yüzey normaleri ile hareket yönünün tersine sırasıyla δ ve θ açıları yapar.

δ : duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısıdır.



Kohezyonsuz zeminler için, pasif durumda, duvar arkaya doğru hareket ederken, üçgen kama yukarı doğru hareket eder.



$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)} \right]^2}$$

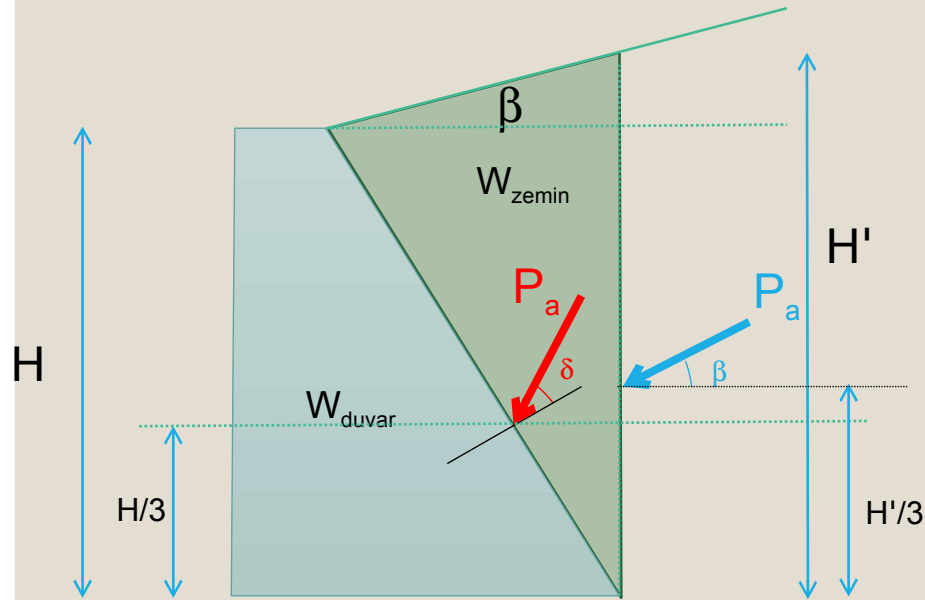
$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)} \right]^2}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

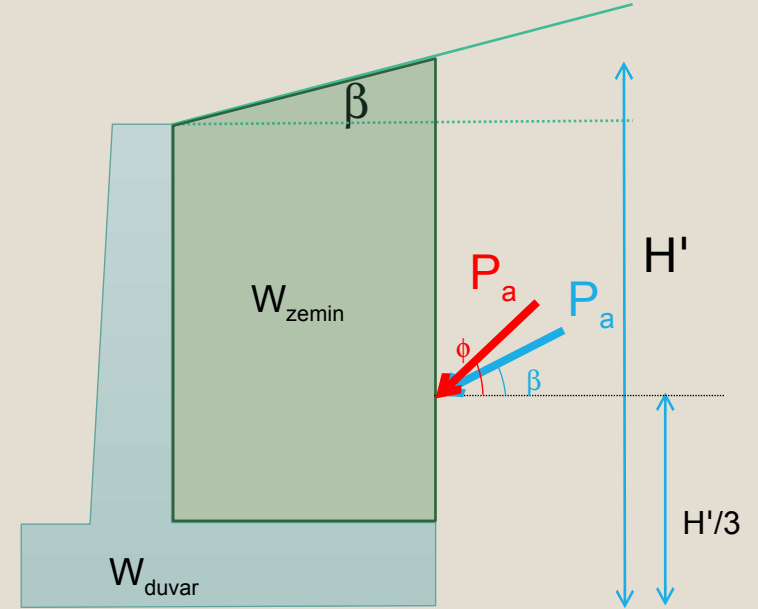
Rankine ve Coulomb Teorileri

❖ Aktif İtkinin Yeri ve Doğrultusu



Coulomb: Duvar yüzeyinin normali ile δ açısı (duvar zemin sürtünme açısı) yaparak etkir.

Rankine: Duvarın üzerinde kalan kısmı duvara dahil eder ve yatayla β açısı ile etkir. $W=W_{duvar}+W_{zemin}$

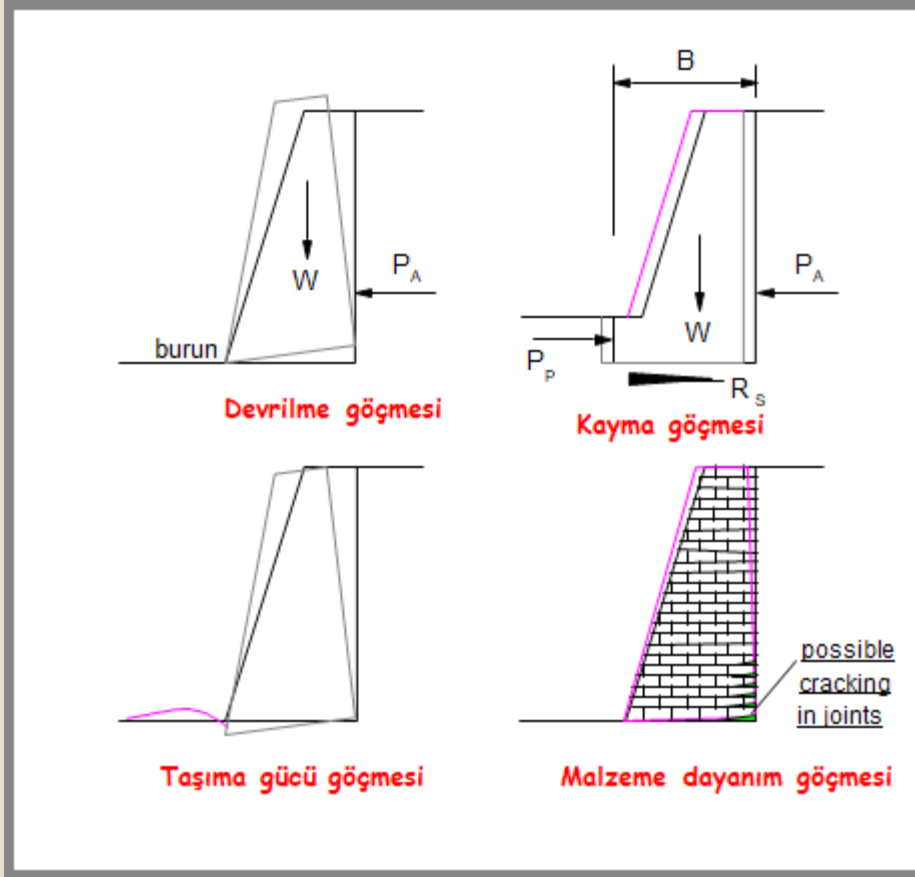


Coulomb: Duvar yüzeyi zemindir. Yüzeyin normali ile zemin–zemin sürtünme açısı (ϕ) ile etkir.

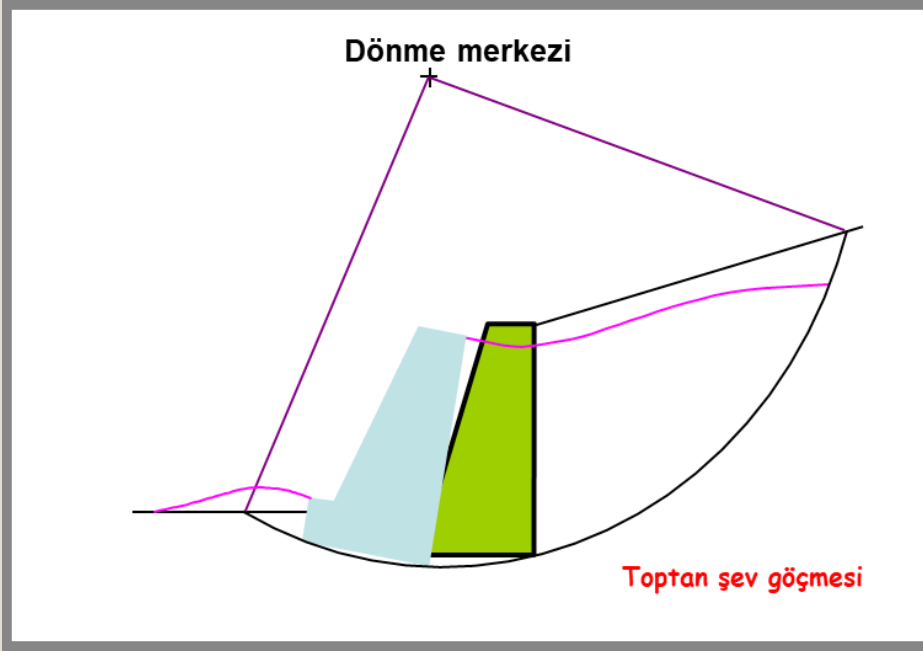
$$W=W_{duvar}+W_{zemin}$$

Rankine: Duvarın üzerinde kalan kısmı duvara dahil eder ve yatayla β açısı ile etkir. $W=W_{duvar}+W_{zemin}$

Dayanma Duvarlarının Göçme Şekilleri

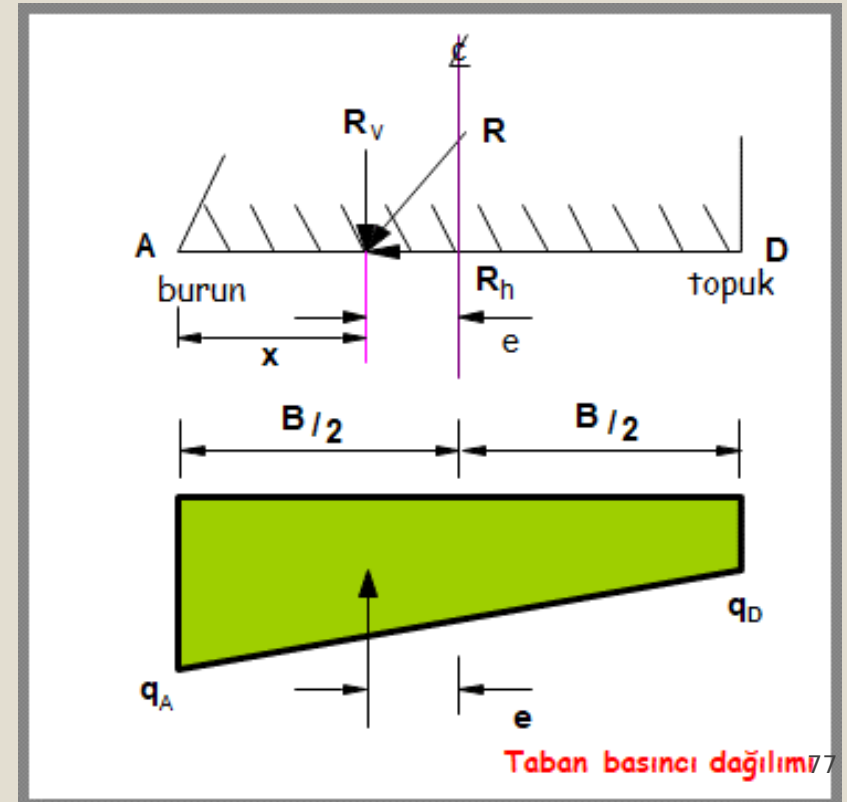


- Burunda Devrilme göçmesi
- Tabanda Kayma göçmesi
- Taşıma gücü göçmesi
- Malzeme dayanımında göçme

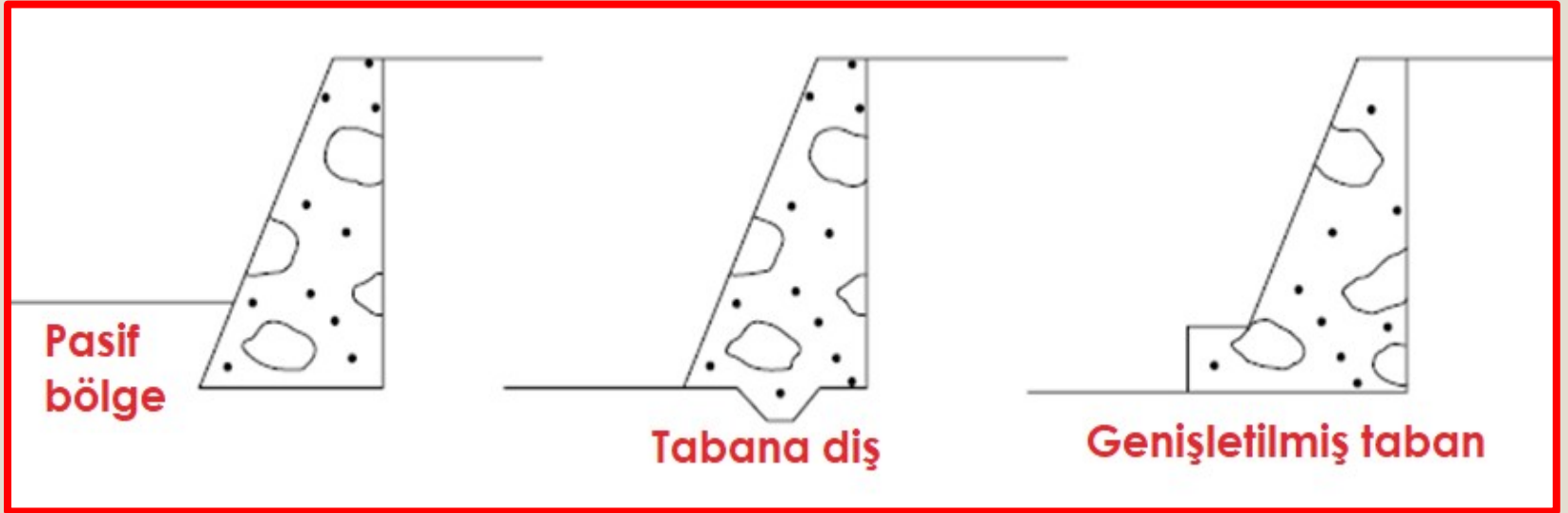


- Toptan şev göçmesi
- Aşırı deformasyon ve oturma

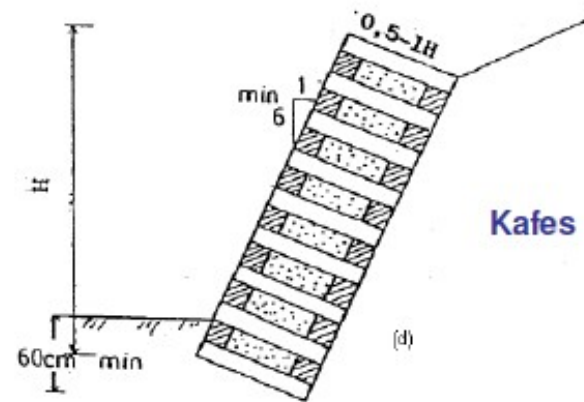
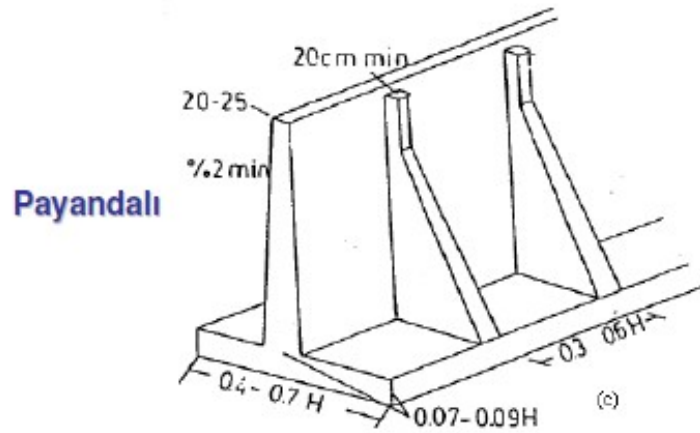
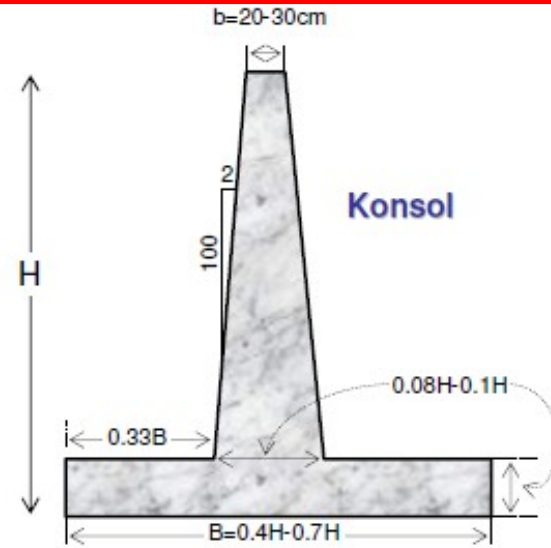
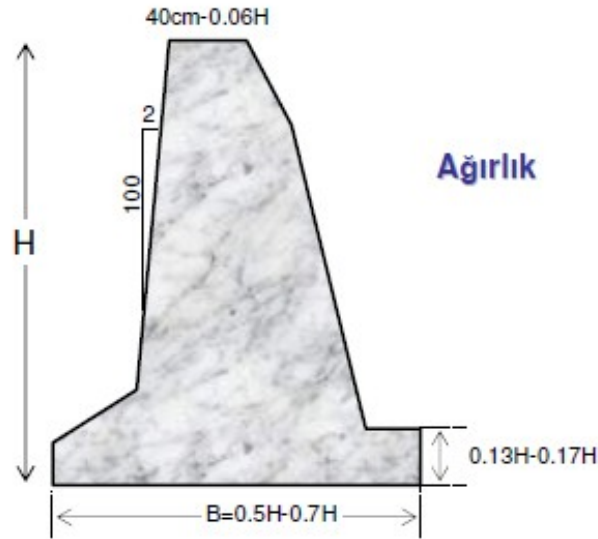
Maksimum taban basıncı (q_A) izin verilir (güvenli) taşıma gücünü (q_{em}) aşmamalıdır.

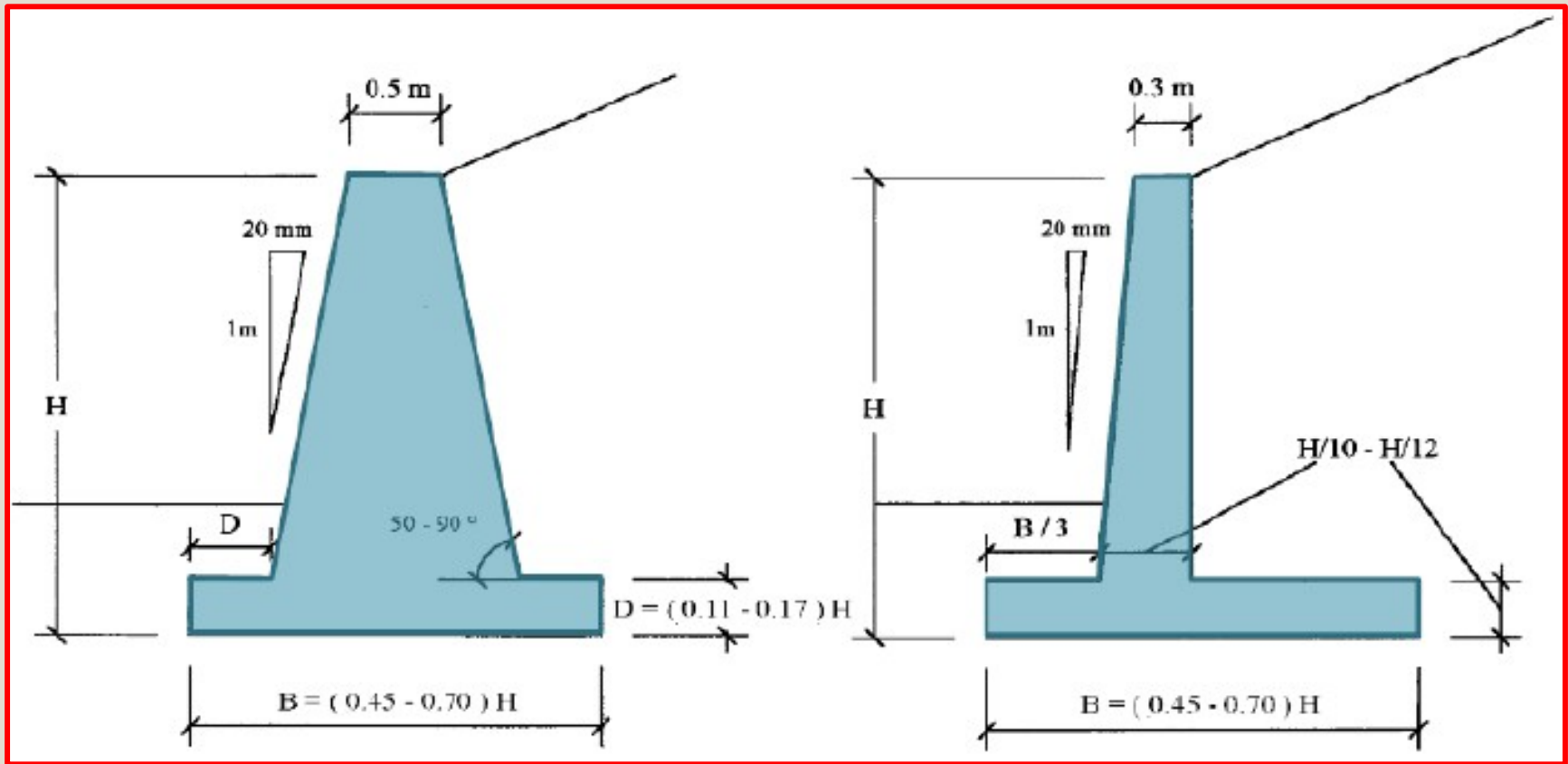


Dayanma duvarlarının stabilitesini artıracak tipik önlemler aşağıda verilmiştir:



İstinat duvarları için yükseklığe bağlı (H) ön boyutlar

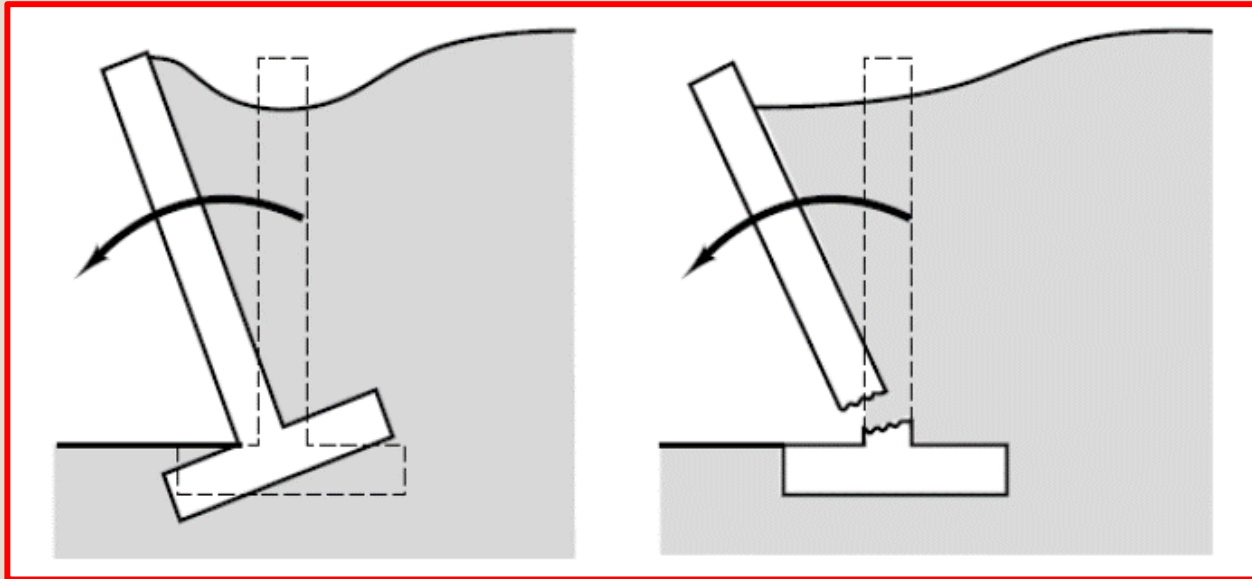




Konsol istinat yapılarının tasarımında göz önüne alınması gereken iki sorun vardır:

- Duvar yeterli dış stabiliteye sahip olmalıdır (minik hareketler dışında inşa edildiği yerde kalmalıdır).
- Yeterli iç stabiliteye (yapısal bütünlüğe) sahip olmalıdır. Etkiyen yükler sonucu oluşan yapısal gerilmeler altında hasar görmemelidir.

Yeterli dış stabiliteye sahip olmayan duvarlar zeminlerinde göçme yaşarlar. Yeterli iç stabiliteye sahip olmayan duvarlar yapısal göçme yaşarlar.



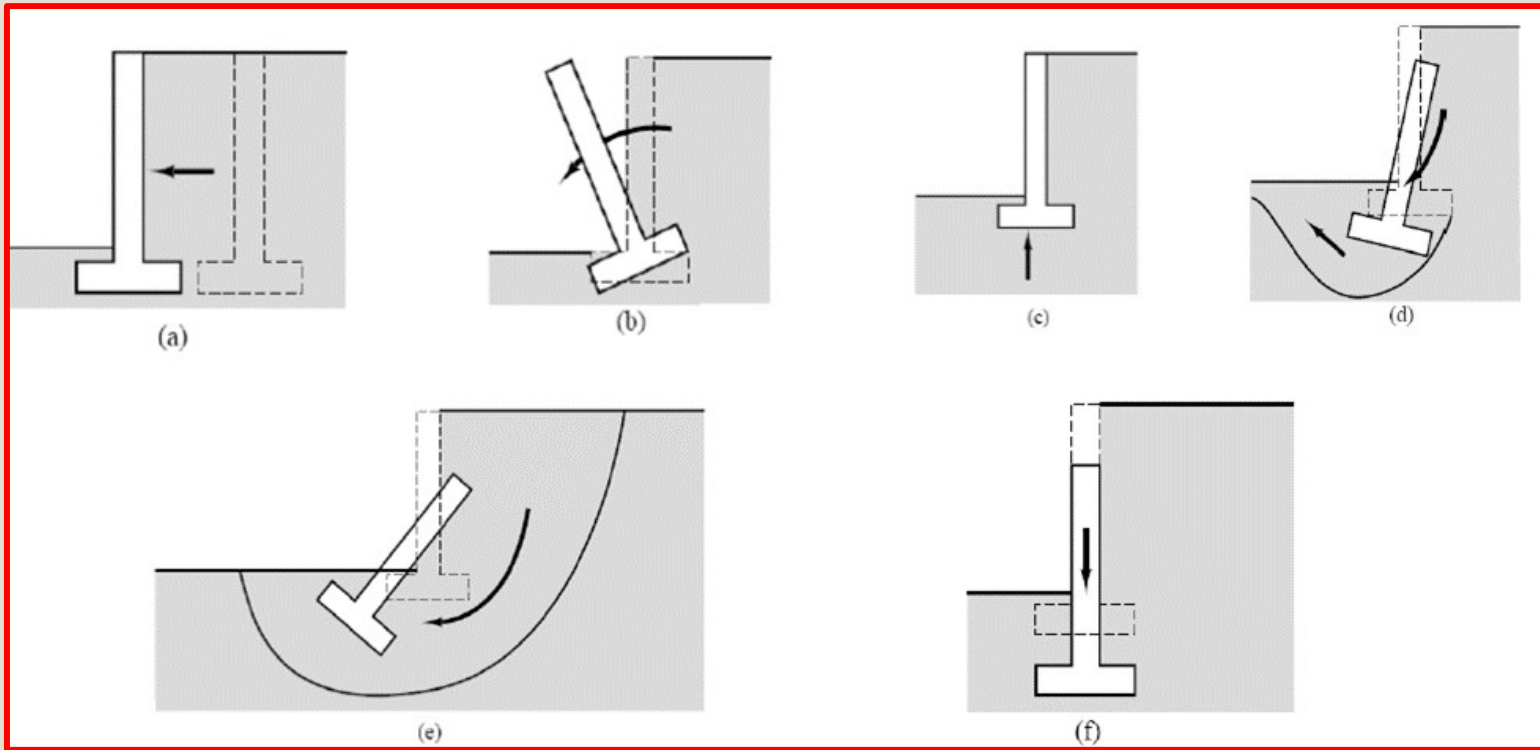
Dış Stabilite Sorunu

İç Stabilite Sorunu

Dış Stabilité

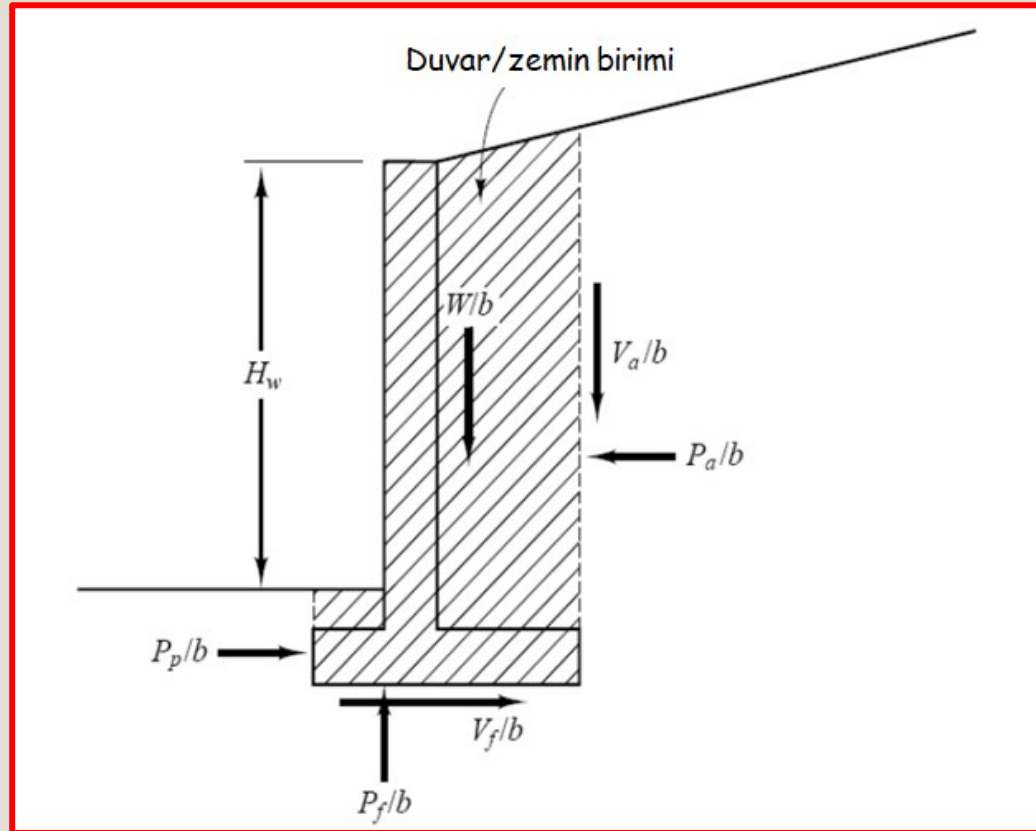
Konsol istinat yapısı aşağıdaki şekillerde stabil olmalıdır:

- Kaymamalı (a)
- Dönmemeli (b)
- Temel yükü temel genişliğinin altında birinden fazla dış merkezli olmamalı (c)
- Yeterli taşıma gücüne sahip olmalı (d)
- Derin göçme problemine karşı stabil olmalı (e)
- Çok oturma yapmamalı (f)



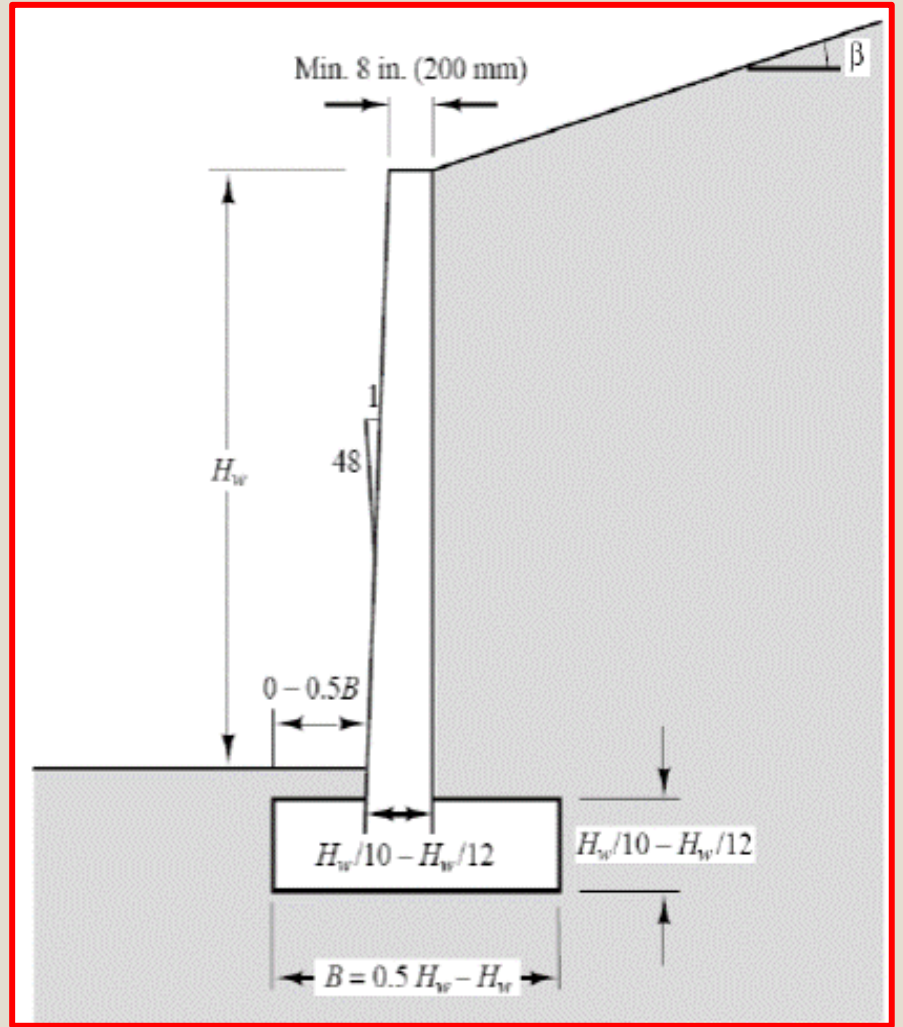
Dış stabilite incelenirken duvar ve üzerindeki zemin tek bir birim olarak düşünülmeli.

✓ Buna duvar-zemin birimi diyoruz.



Dış stabilite statik prensipleri ile değerlendirilir:

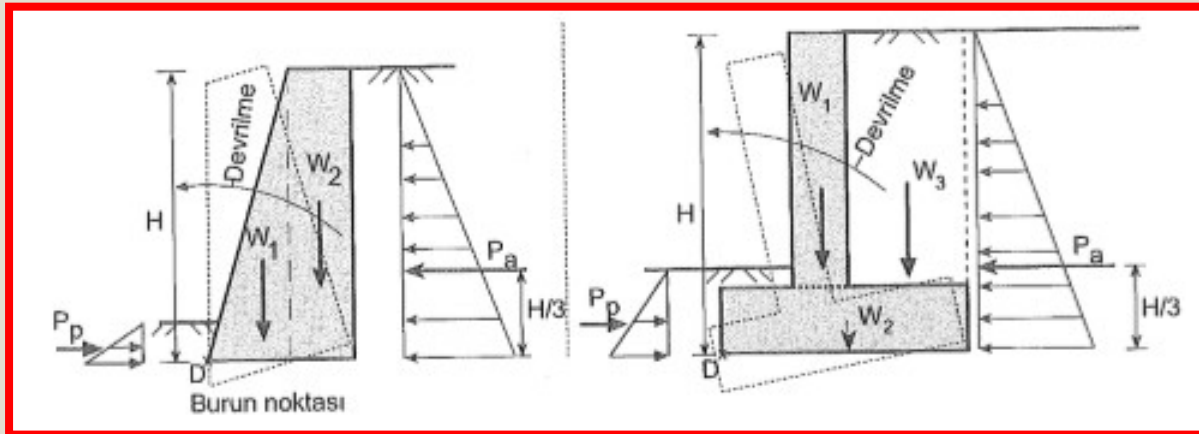
- Dış stabilite sadece duvarın boyutları belirlendikten sonra hesaplanabilir.
- Dolayısıyla, ilk önce yandaki şekilde tanımlanan önerilerle deneme tasarımı yapılmalı, ardından dış stabilite kontrol edilmeli, ve tasarım iyileştirilmelidir.
- Şekil kum tipi dolgu malzemeleri için önerilen deneme boyutlarını vermektedir.
- Mukavemetli zeminler üzerinde yatay zeminleri destekleyen kısa duvarlar için burun uzantısı yaklaşık $0.5B$ olacaktır.
- Daha zayıf zeminlerde ve şevli dolgularda burun uzantısı daha kısa olabilir (topuk uzunluğunda orantılı uzama ile birlikte)

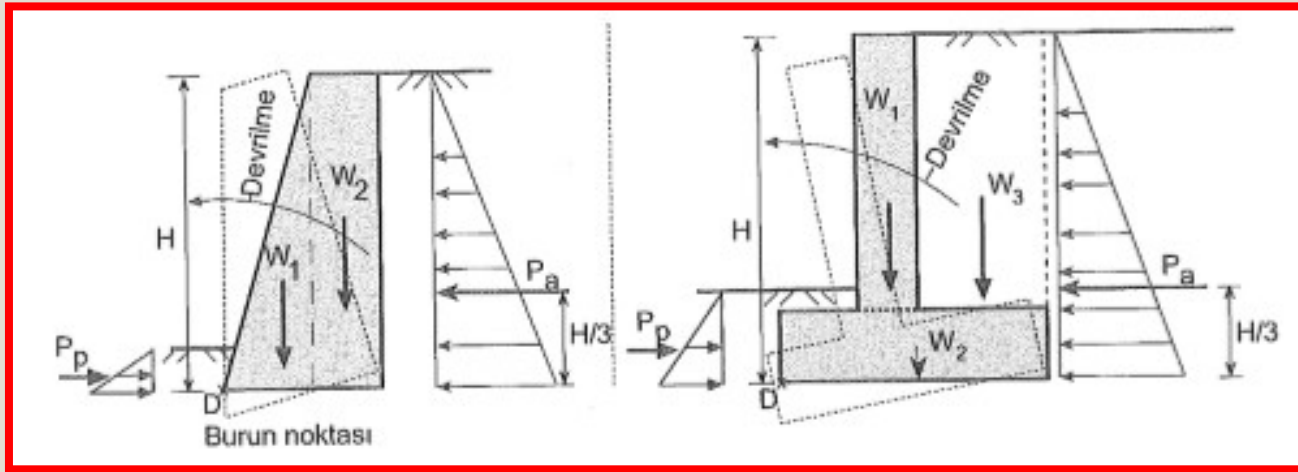


Dayanma Duvarlarında Dış Stabilite Tahkikleri

A. Devrilme Tahkiki

- Bir dayanma duvarı, yanal zemin basınçlarının etkisi ile devrilmemeli ve devrilmeye karşı belli bir güvenlikte olmalıdır. Dayanma duvarlarının hesaplanmasında, duvar arkasına gelen yanal zemin basınçları, aktif yanal zemin basınçlarıdır. Çünkü duvarın öne doğru yatması veya hareket etmesi, zeminde bir genişleme, dolayısıyla aktif durum meydana getirir.
- Dayanma duvarının ön kısmında, sıkışma nedeniyle pasif durum oluşacağı düşünülse bile; aktif duruma göre pasif durum oluşturmak için daha fazla hareketin gerekeceği vb. nedenlerle, ön kısımdaki pasif durum veya pasif itki sıg ön derinliklerde (0.5-1 m gibi) bazen hesaplarda ihmal edilebilir. Bu ihmal ile güvenli tarafta kalınır.

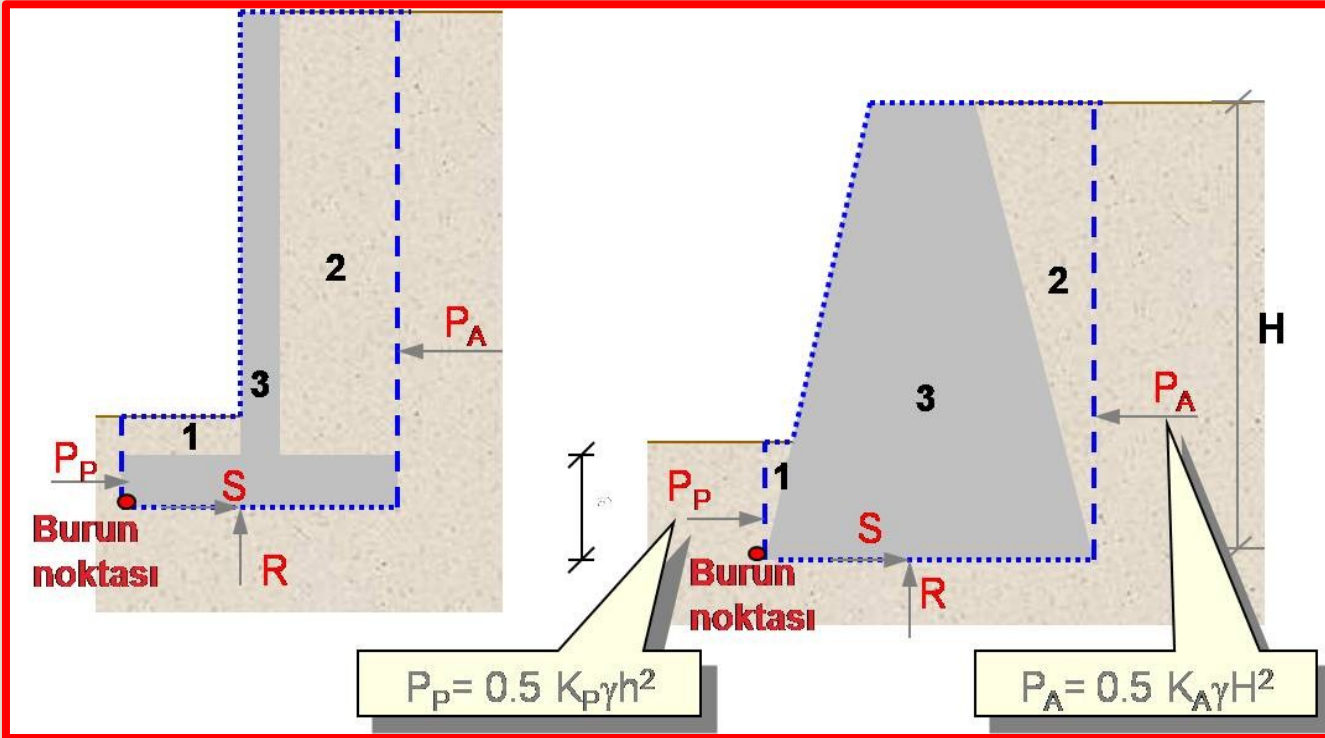




- Devrilmeye karşı güvenlik (emniyet) sayısı, G_s ; burun noktasına (D noktası) göre devrilmeye karşı koyan momentler (P_p, W_1, W_2, W_3) toplamının, yine burun noktasına (D noktası) göre deviren momentler (P_a) toplamına oranı olarak tanımlanır.

$$G_{s \text{ (devrilme)}} = \frac{\sum M_D \text{ (karşı koyan)}}{\sum M_D \text{ (deviren)}} > 1$$

G_s , genellikle 2-3 dolaylarında seçilir (TS 7994, 1990).



NOT: Genellikle güvenli tarafta kalmak için, burun üzerinde kalan zeminin ağırlığı ve pasif basınçlar dikkate alınmaz.

$$G_s \text{ (devrilme)} = \frac{\sum M_D \text{ (karşı koyan)}}{\sum M_D \text{ (deviren)}} = \frac{P_p \cdot \frac{h}{3} + \sum (W_i x_i)}{P_a \cdot \frac{H}{3}}$$

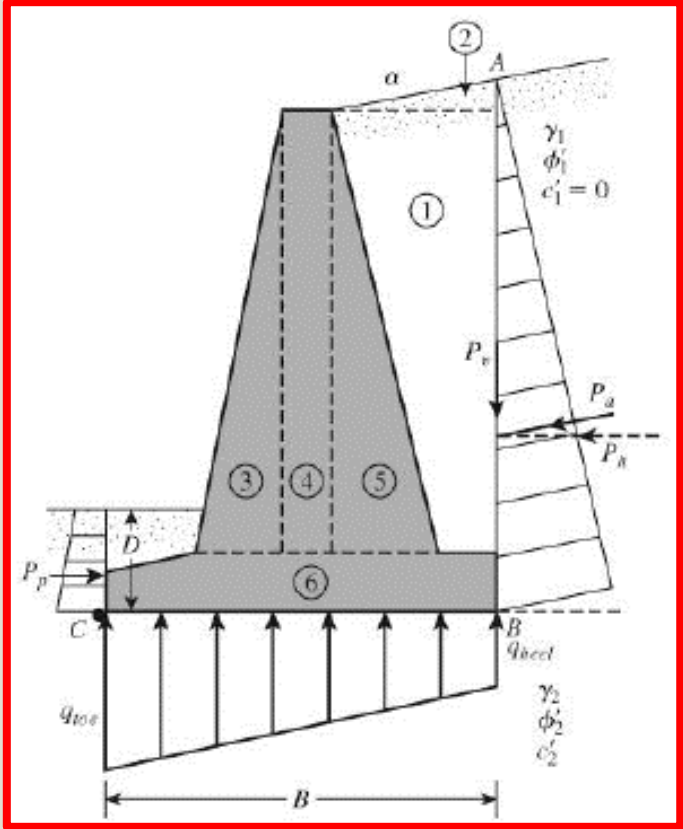
Direnç momentini M_R (Pasif itki P_p 'yi gözardı ederek) hesaplamak için aşağıdaki gibi bir tablo oluşturulabilir.

- Betonun ağırlığı ve topuğun üzerindeki zemin direnç momentine katkıda bulunan yükler durumundadır.
- Aktif kuvvetin düşey bileşeninin de direnç momentine katkıda bulunduğu gözönünde bulundurulmalı:

$$M_v = P_v B = P_a \sin \alpha B$$

Bölüm	Alan	Duvarın birim uzunluğu için ağırlık	C noktasından ölçülen moment kolu	C'ye göre moment
1	A1	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	X_1	M_1
2	A2	$W_2 = \gamma_2 \times A_2$	X_2	M_2
3	A3	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	X_3	M_3
4	A4	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	X_4	M_4
5	A5	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	X_5	M_5
6	A6	$W_6 = \gamma_c \times A_1$	X_6	M_6
		P_v	B	M_v
		ΣV		ΣM_R

γ_1 = dolgu birim hacim ağırlığı
 γ_c = beton birim hacim ağırlığı



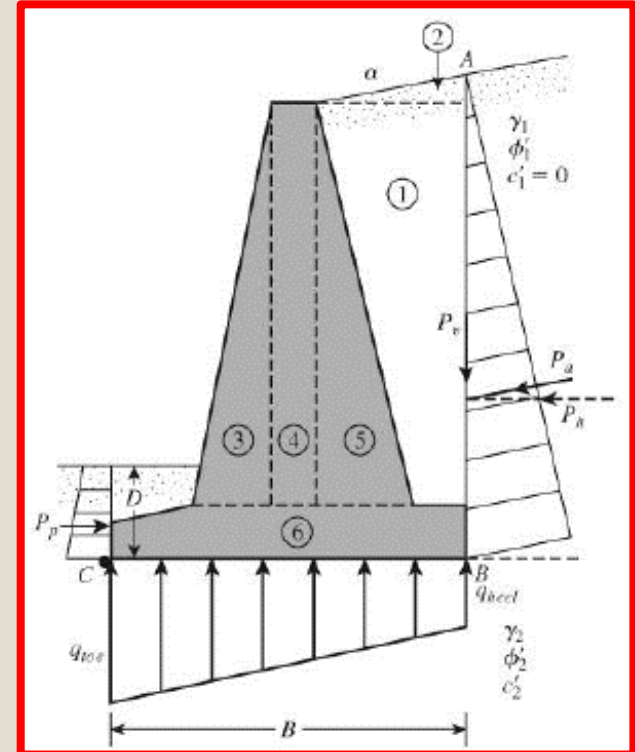
 M_R bilince GS hesaplanabilir.

$$GS_{(donme)} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v}{P_a \cos \alpha (H'/3)}$$

Genelde devrilmeye karşı güvenlik sayısı 2-3 civarındadır.

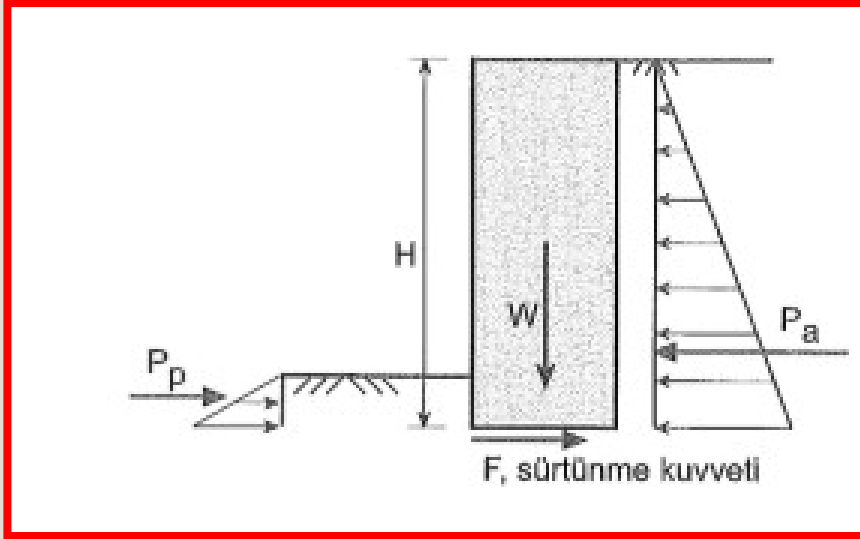
Bölüm	Alan	Duvarın birim uzunluğu için ağırlık	C noktasından ölçülen moment kolu	C'ye göre moment
1	A1	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	X_1	M_1
2	A2	$W_2 = \gamma_2 \times A_2$	X_2	M_2
3	A3	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	X_3	M_3
4	A4	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	X_4	M_4
5	A5	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	X_5	M_5
6	A6	$W_6 = \gamma_c \times A_1$	X_6	M_6
		P_v	B	M_v
		ΣV		ΣM_R

γ_1 = dolgu birim hacim ağırlığı
 γ_c = beton birim hacim ağırlığı



B. Kayma (Taban Üzerinde) Tahkiki

Kayma stabilitesini limit denge yöntemi ile değerlendiriyoruz. Bu yöntemde duvar-zemin biriminin kaymak üzere olduğunu varsayıyoruz. Dayanma duvarı, yanal itkilerin etkisi altında, öne doğru kaymamalı ve kaymaya karşı belli bir güvenlikte olmalıdır.



Kaydırmaya çalışan kuvvetler:

- Duvar-zemin birimini iten toprak basıncının yatay bileşeni
- Duvar-zemin birimini iten hidrostatik kuvvetler
- Dolguda deprem ivmeleri altında ortaya çıkan kuvvetler

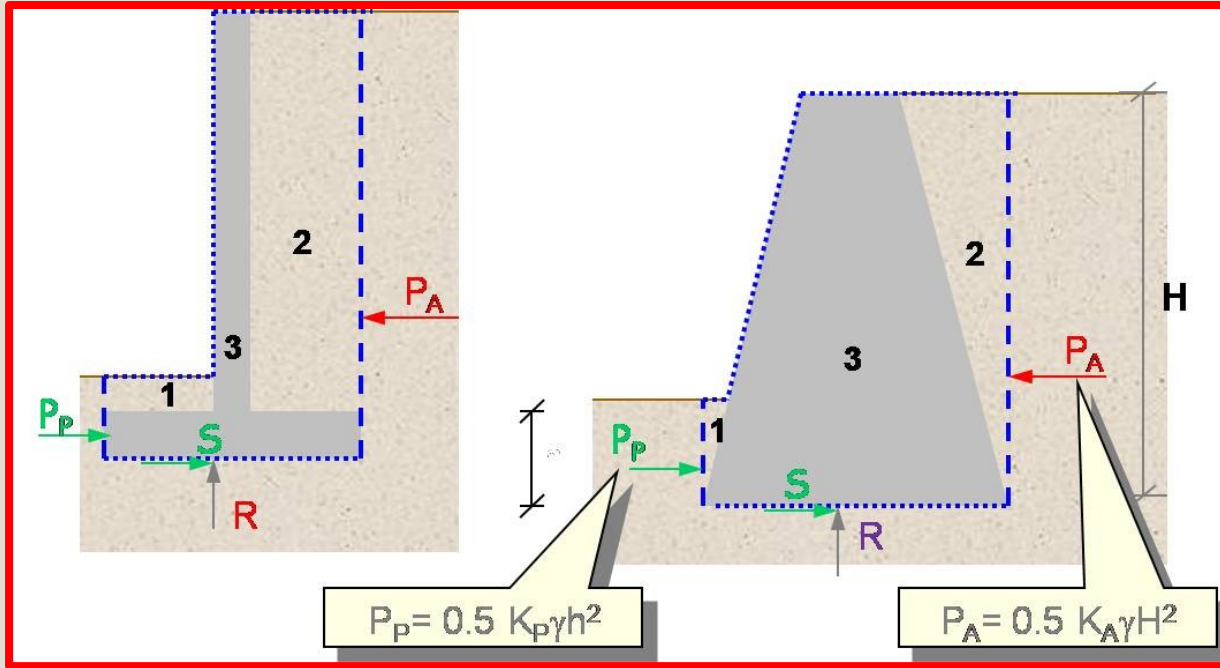
Kaymaya direnen kuvvetler:

- Kaymaya karşı duvara etkiyen yatay toprak basınçları
- Duvar temelinin altında etkin sürtünme kuvvetleri
- Kaymaya karşı yönde etkin hidrostatik kuvvetler

Duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetler, duvara yanal olarak etkiyen aktif kuvvetlerdir (P_a). Kaymaya karşı koyan kuvvetler ise, tabanda oluşan sürtünme kuvvetleri ile ihmal edilmeyecekse öndeki pasif dirençtir. Sürtünme kuvveti, duvar tabanına binen tüm düşey ağırlıkların ($\sum W$), sürtünme katsayısı (μ) ile çarpılmasına eşittir.

Bir çok problemde pasif itki P_p , güvenli tarafta kalmak için hesaplara katılmaz.

$$G_s \text{ (devrilme)} = \frac{\sum F_{\text{(kaymaya karşı koyan)}}}{\sum F_{\text{(kaydıran)}}$$



$$G_{s \text{ (kayma)}} = \frac{\sum F_{\text{(kaymaya karşı koyan)}}}{\sum F_{\text{(kaydıran)}}} = \frac{P_p + Bc' + \sum W_i \tan \delta}{P_a}$$

1.5 ☒ $G_{s_{\text{kayma}}} < 2$ (Kohezyonsuz zeminlerde)

$G_{s_{\text{kayma}}} \odot 2$ (Kohezyonlu zeminlerde)

Bunun sebebi killi zeminlerin mukavemetinin çok daha az güvenilecek bir özellik olması ve tarihi olarak killi zeminler üzerine inşa edilen istinat yapılarının yetersiz performanslarıdır.

$$G_s \text{ (kayma)} = \frac{\Sigma F_{\text{(kaymaya karşı koyan)}}}{\Sigma F_{\text{(kaydıran)}}} = \frac{P_p + Bc' + \Sigma W_i \tan \delta}{P_a}$$

$$\mu = \tan \delta$$

♥: Taban sürtünme açısı olup, duvar tabanının pürüzlülüğüne ve zemin cinsine göre $\frac{\mu}{3}$ ile μ arasında değişir. Bazı kaynaklarda tablo olarak da bulunabilir. ♥ açısı tipik olarak 15° - 30° arasında değerler alabilir.

❖ $W_i = 1, 2$ ve 3 nolu alanlardan kaynaklanan düşey kuvvetler

❖ Temel zemininin kohezyonlu olması durumunda karşı koyan kuvvetlere Bc' ifadesi eklenebilir.

➤ B temel taban genişliğidir.

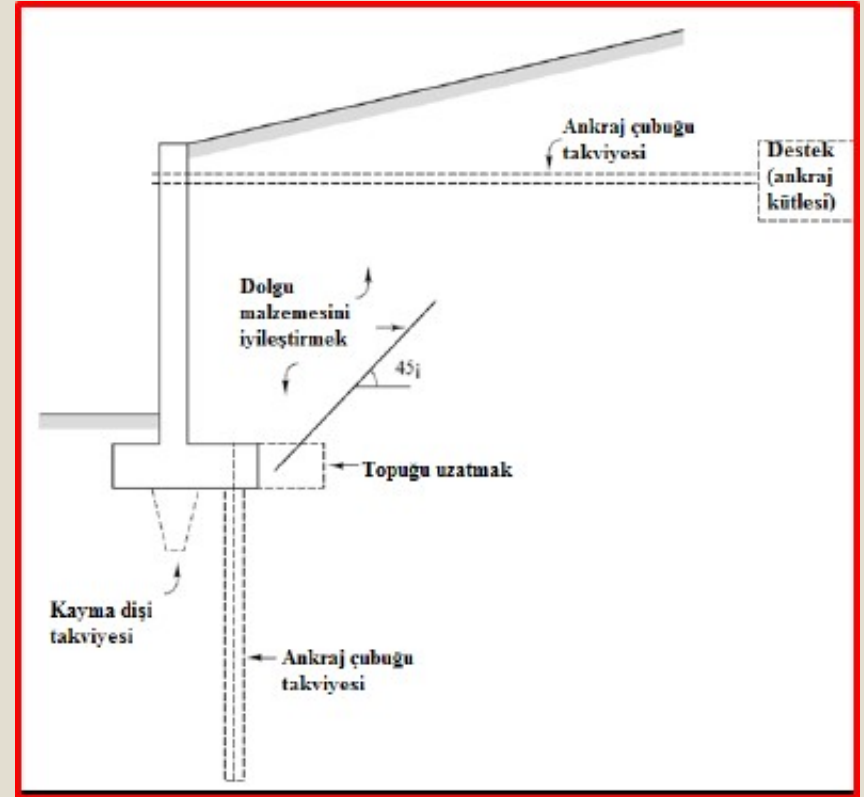
➤ c' : Duvar temeli ile kohezyonlu zemin arasındaki adezyondur (Farklı iki malzemenin yapışması).

➤ c' duvar temelinin malzemesine ve zeminin cinsine göre kohezyonun $(0.5-1)$ katı alınabilir.

Eğer kayma kriteri sağlanamıyorsa, mühendis deneme tasarımını aşağıda tarif edilen yöntemlerin biri veya birkaçını kullanarak modifiye eder:

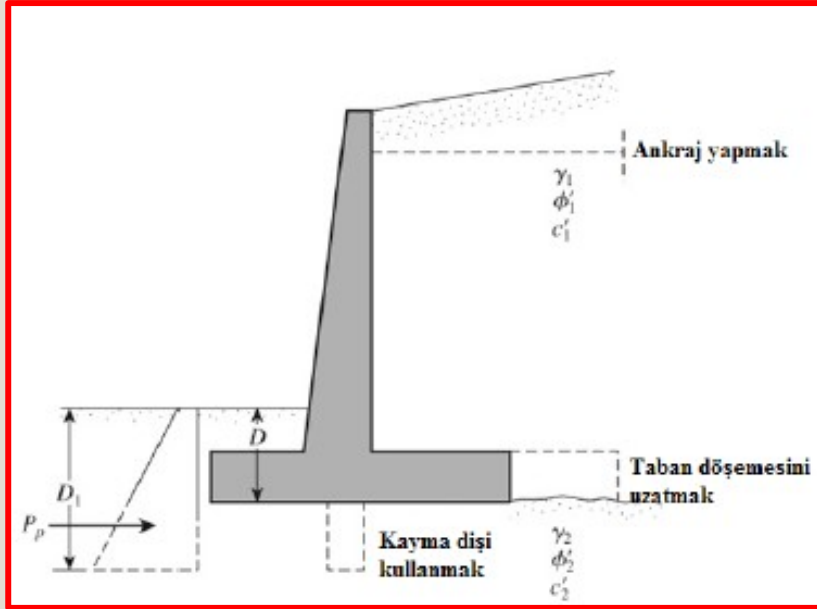
Taban üzerinde kaymayı önlemek için duvarın ağırlığı (dolayısıyla genişliği) yada topuk uzunluğu arttırılabilir.

- Bu temel üzerine etkiyen yükü arttırır, ve böylece kayma direnci artar.
- Bu ne yazık ki inşaat maliyetlerini de arttırır çünkü daha geniş bir kazı yapılması gerekir
- Eğer duvar şantiye sınırındaysa ve başka herhangi bir engel mevcutsa bu yöntem uygulanamayabilir.



Bir diğerk ekonomik yöntem **tabanda diş (çıkıntı)** yapmaktır.

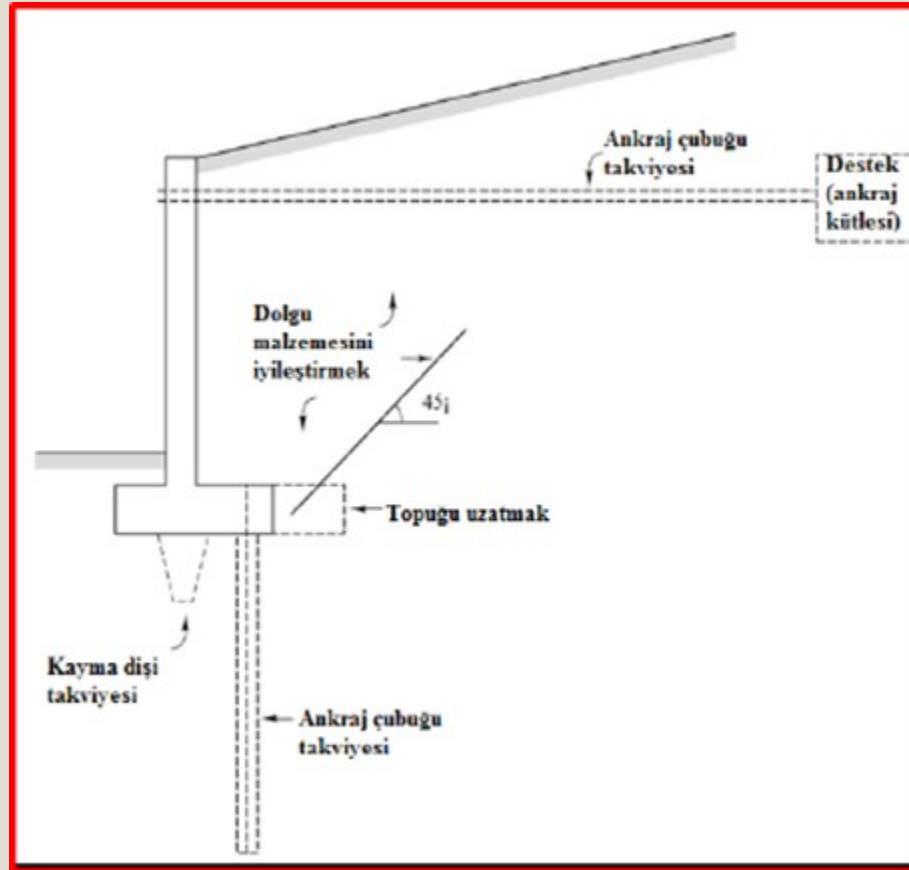
- Bu yöntem pasif itkiyi arttırarak, kayma stabilitesini arttırır.
- Ne yazık ki bu yöntem aktif gerilmeleri de arttırır. Fakat pasif gerilme artışı aktif gerilme artışına oranla çok daha büyüktür. Bu nedenle net bir kazanç vardır.
- Bu yöntem yüksek sürtünme açısına sahip zeminlerde daha verimlidir çünkü bu zeminlerde K_p/K_a çok daha yüksektir.



- Bu diř tipik olarak (0.5×0.5) m boyutlarında olup, uzunluk boyunca devam eder.
- Diř, temel tabanına birleştiği kesitin kesmeye göre tahkiki ile boyutlandırılır. $GS < 1.10$ ise ebatların büyüülmesi uygun olur.

Bir diğer yöntem daha kaliteli dolgu malzemesi kullanımı:

- Kaliteli dolgu malzemesi en azından kritik kayma yüzeyinin arkasına kadar uzanmalıdır.
- Bu daha geniş bir kazı çalışması ve muhtemelen taşınan zemin gerektirir.
- Genellikle pahalı bir yöntemdir.

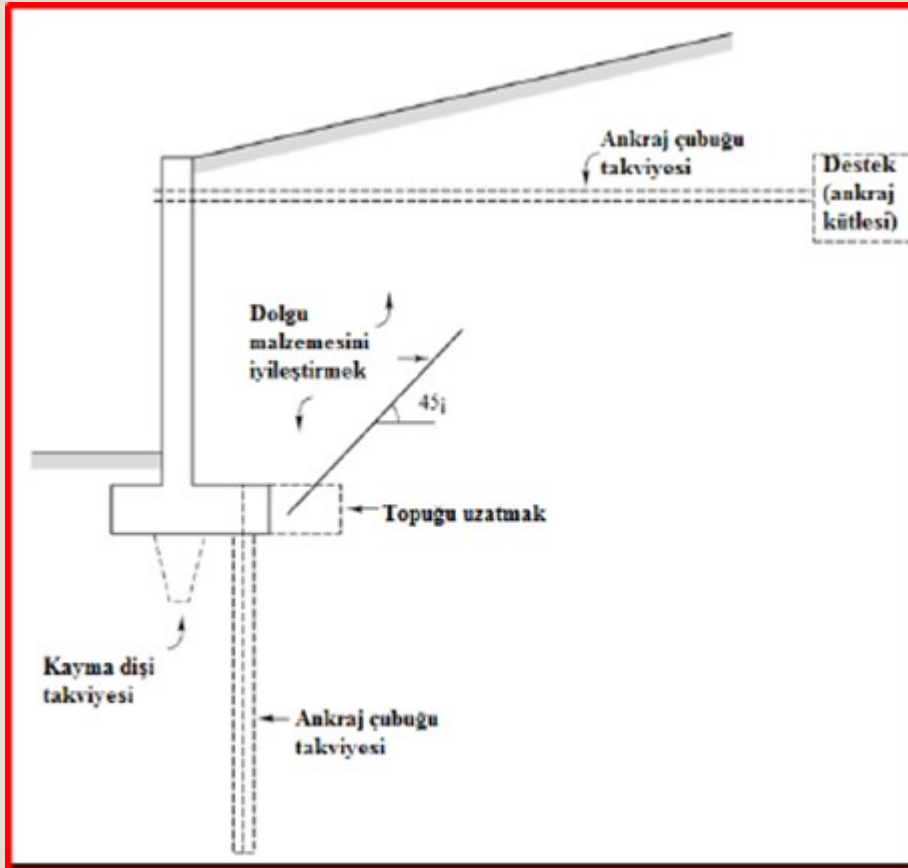


Bir diğerk yöntem aşağı bağlama ankraji oluşturulması:

- Bu temele etkiyen normal yükü ve dolayısıyla sürtünmeye karşı direnci

Geri bağlama ankraji oluşturulması:

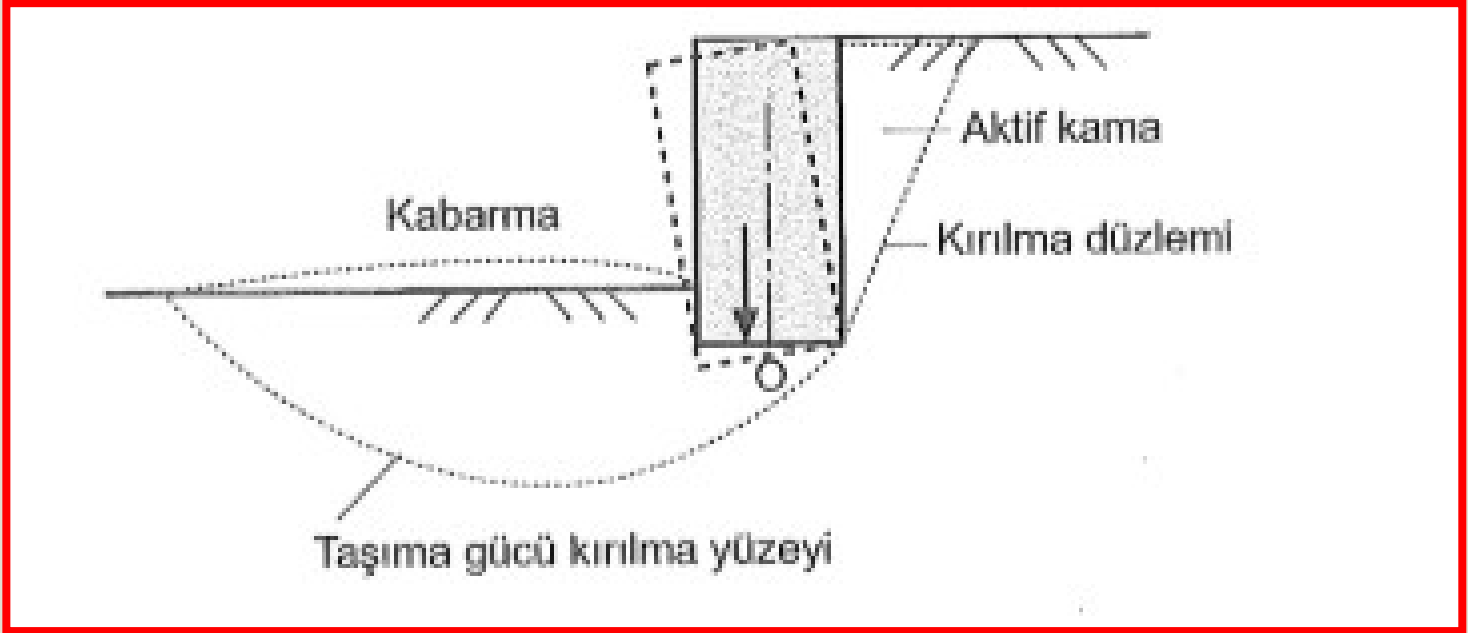
- Bu toplam direnci artırır.
- Farklı tiplerde ankraj yöntemleri kullanılabilir.



- Tersine, kaymaya karşı GS çok yüksekse, topuk ve/veya diğ kısıltılabilir.
- Burun uzunluğunu düşürmenin kayma direncine etkisi çok düşüktür.

C. Taşıma Gücü (Taban Basıncı) Tahkiki

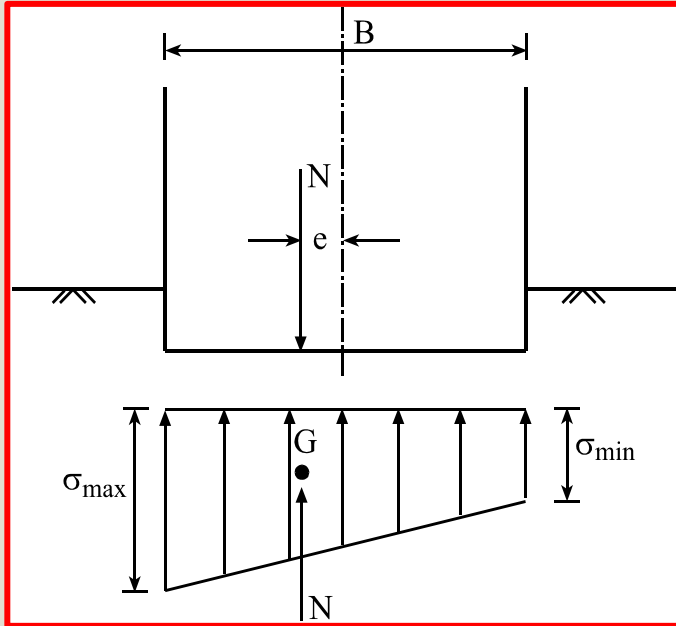
Dayanma duvarının tabanında, taşıma gücü koşulu sağlanmalıdır. İstinat duvarı ile temel zeminin birlikte çalıştıkları düşünülerek, istinat duvarı temel tabanının iki ucundaki gerilmelerin zeminin taşıma gücünü aşıp aşmadığı kontrol edilir.



C. Taşıma Gücü (Taban Basıncı) Tahkiki

Bir yönde eksantrikliğe sahip dikdörtgen temelde, geleneksel yöntemle göre taban basınç dağılışı

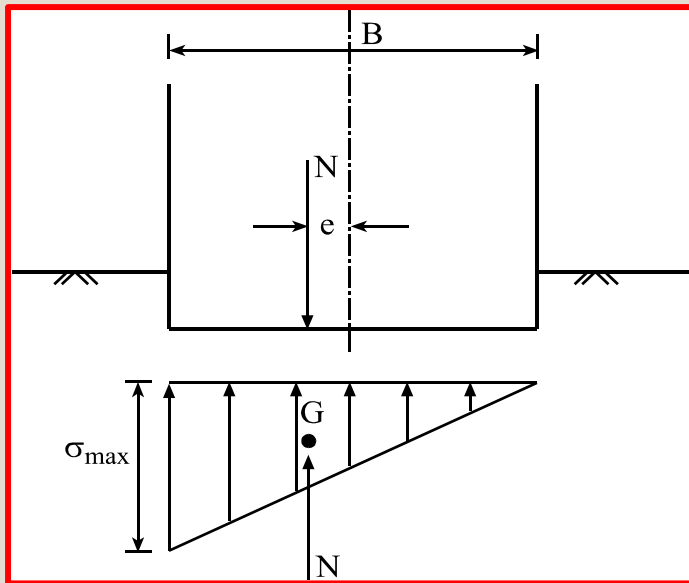
□ Eksantrisite Çekirdek İçinde ($e < B/6$)



$$e_x = \text{eksantrisite} = \frac{M}{N}$$

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{y-y}}{W_{y-y}} = \frac{N}{BL} \pm \frac{Ne_x}{\frac{B^2L}{6}} = \frac{N}{BL} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

□ Eksantrisite Çekirdek Sınırı Üzerinde ($e=B/6$)

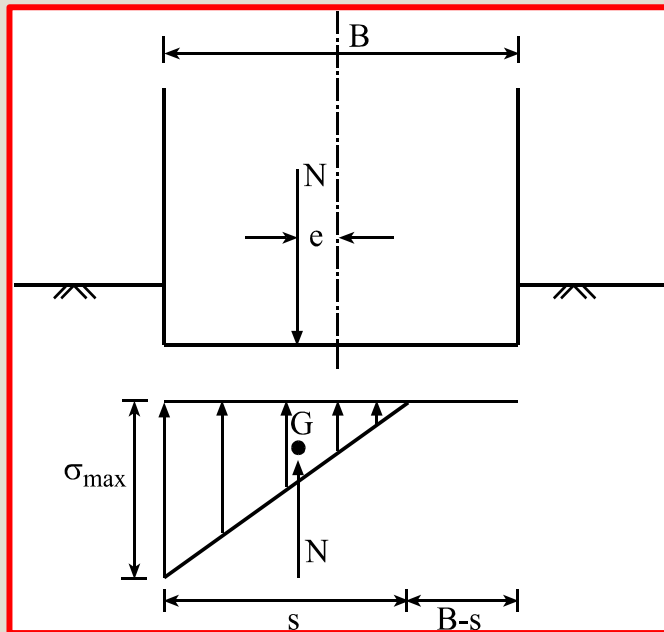


$$e_x = \text{eksantrisite} = \frac{M}{N}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{2N}{BL}$$

$$\sigma_{min} = 0$$

□ Eksantrisite Çekirdek Dışında ($e_{AB}/6$)

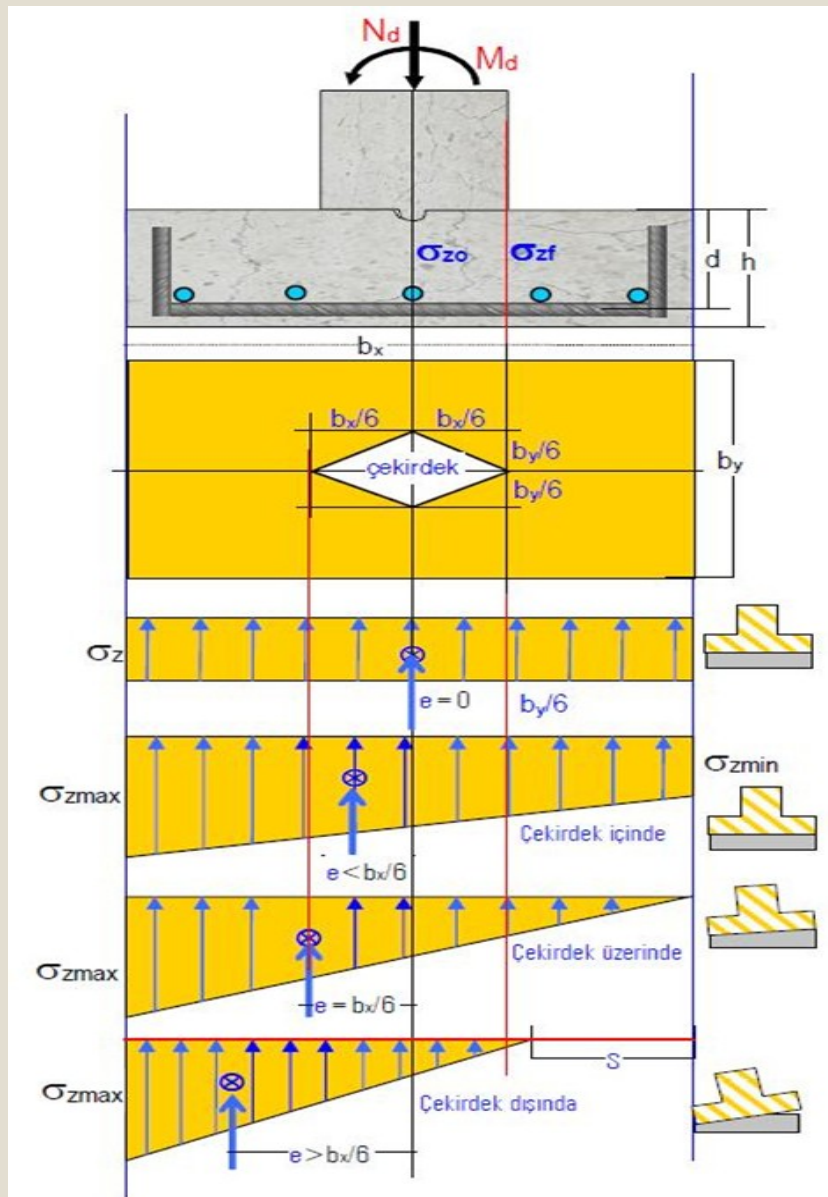


$$e_x = \text{eksantrisite} = \frac{M}{N}$$

$$\sigma_{max} = \frac{2N}{sL}$$

$$\sigma_{min} = 0$$

$$s = 3(B/2 - e_x)$$



Bileşke R'nin temel döşemesini E'de kestiği kabul edilirse, CE mesafesi şu şekilde hesaplanabilir:

$$\overline{CE} = \bar{X} = \frac{M_{net}}{\sum V}$$

M_R : C noktasına göre dönmeye karşı koyan momentler

M_O : C noktasına göre döndürmeye çalışan momentler

M_{net} : $M_R - M_O$

V : Temel döşemesine etkiyen düşey yükler toplamı

Böylece bileşke R'nin dış merkezliliği

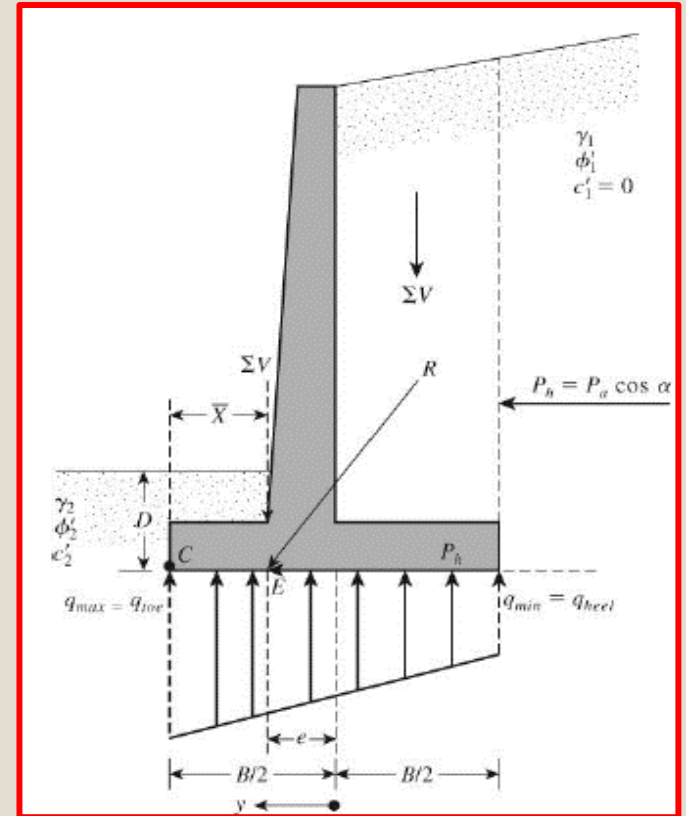
$$e = \frac{B}{2} - \overline{CE}$$

olur. Temel döşemesinin altındaki basınç dağılımı da şu şekilde hesaplanabilir, öncelikle

$$q = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_{net} \cdot y}{I}$$

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_O$$

I=Birim uzunluk için atalet momenti=



$$q = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_{net}.y}{I}$$

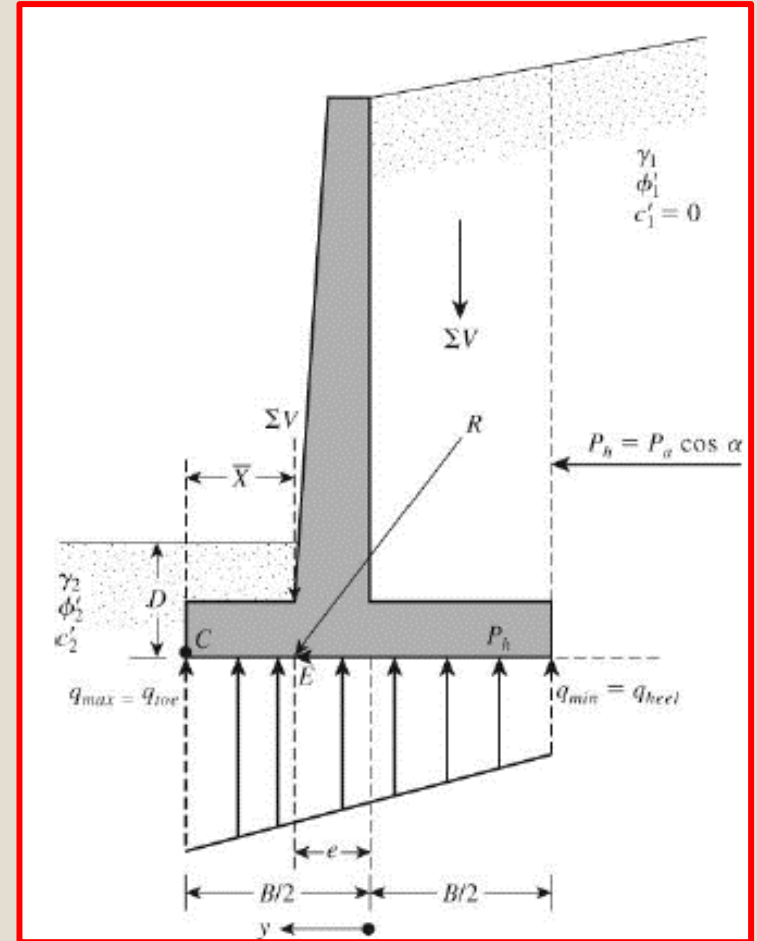
En büyük ve en küçük gerilmeler için y değeri $B/2$ 'ye eşittir. Böylece;

$$q_{max} = q_{burun} = \frac{\sum V}{(B)(1)} + \frac{e(\sum V)\frac{B}{2}}{\left(\frac{1}{12}\right)(B^3)} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

Benzer şekilde;

$$q_{min} = q_{topuk} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

Dış merkezliliğin $B/6$ 'yı geçtiği durumlarda q_{min} değerinin negatif olduğuna dikkat edilmelidir. Dolayısıyla bu noktalarda çekme gerilmesi hesaplanacak fakat zemin çekmeye çalışmadığı için o noktalarda temel ve zemin ayrılacaktır. Bu istenmeyen bir durumdur. Eğer analizler $e > B/6$ veriyorsa, tasarım değiştirilmelidir.



Yüzeysel temellerin taşıma gücü konusu hatırlanırsa, nihai taşıma gücü formülü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Burada, Meyerhof'a göre:

q =Temel tabanına etkiyen düşey efektif gerilme
 $B' = B - 2e$

Burada;

N_c, N_q ve N_γ taşıma gücü katsayıları,
 s_c, s_q ve s_γ boyutsuz düzeltme katsayıları olarak yer alan temel şekli katsayıları;
 d_c, d_q ve d_γ derinlik katsayıları;
 i_c, i_q ve i_γ yükleme eğikliği katsayıları;
 g_c, g_q ve g_γ temel zemini eğimi katsayıları;
 b_c, b_q ve b_γ temel taban eğimi katsayılarıdır.

$$d_c = 1 + 0.4 \frac{D}{B'}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi'_2 (1 - \sin \phi'_2)^2 \frac{D}{B'}$$

$$d_\gamma = 1$$

Derinlik faktörleri

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{\phi'_2}\right)^2$$

Yük eğimi faktörleri

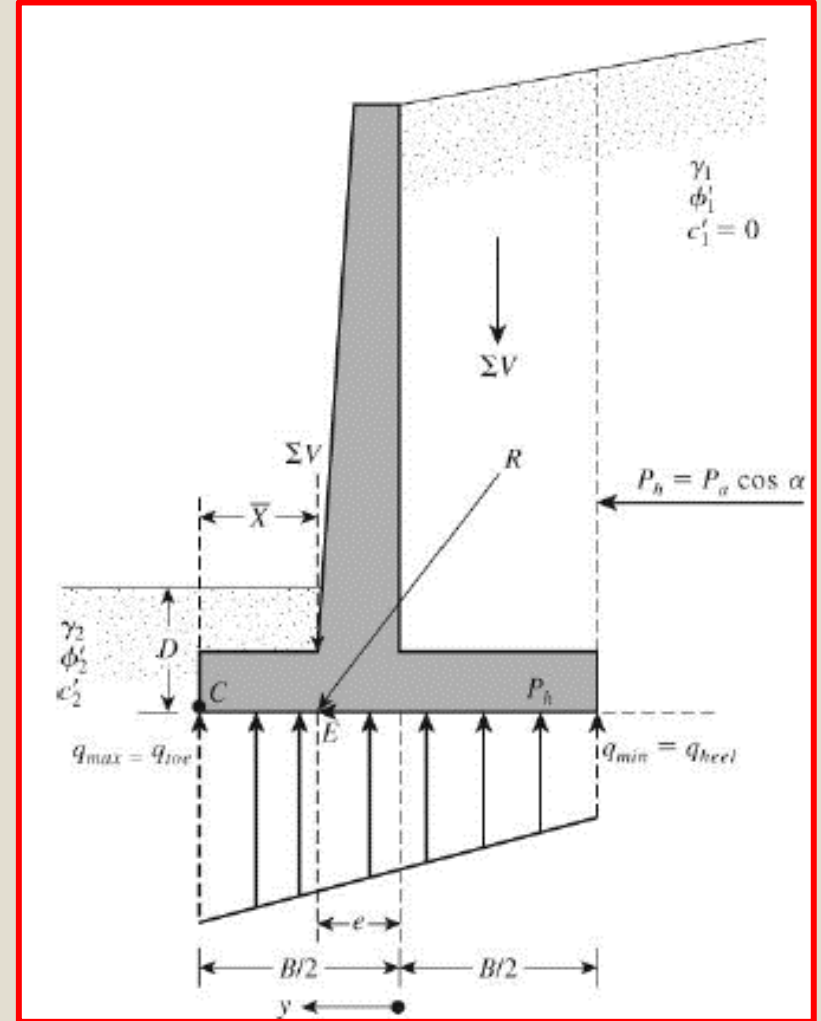
$$\psi^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{P_a \cos \alpha}{\sum V} \right)$$

Görülebileceği gibi tüm şekil faktörleri (s) 1 olarak alınmıştır. Bunun sebebi bu yapının sürekli temel olarak kabul edilmesinin uygun olmasındandır.

Nihai taşıma gücünün hesaplanmasının ardından taşıma gücü geçmesine karşı güvenlik sayısı hesaplanabilir:

$$GS_{(\text{tasıma gücü})} = \frac{Q_{ult}}{Q_{max}}$$

Genellikle güvenlik sayısı olarak 3 kullanılır.

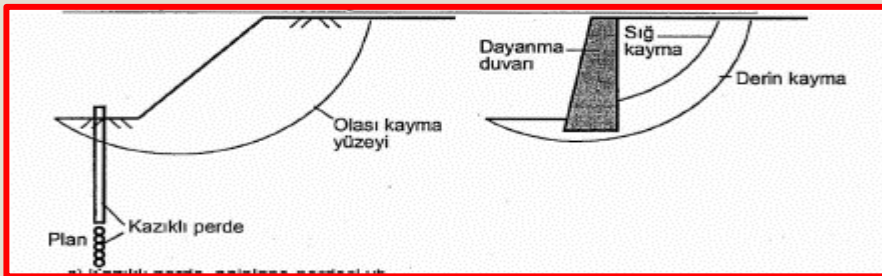
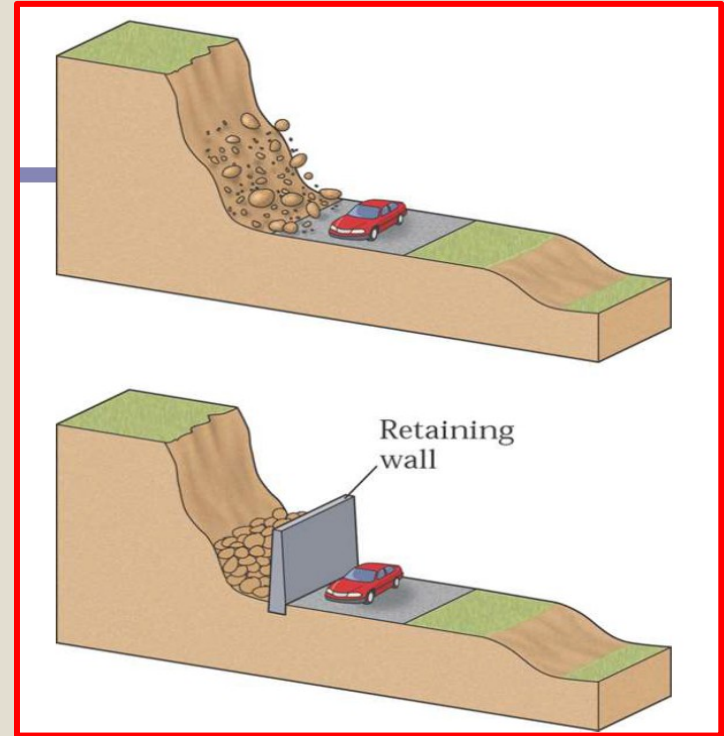
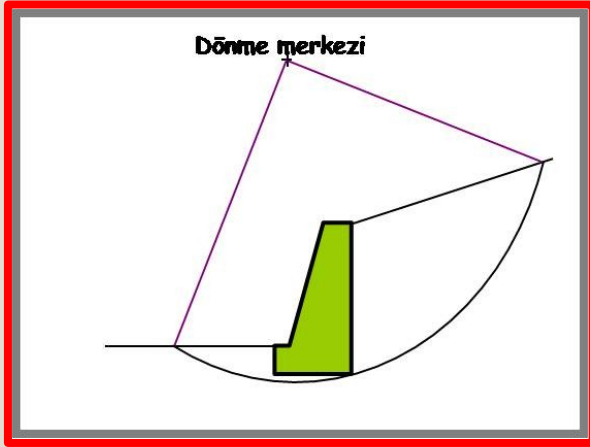


D. Toptan Göçme Tahkiki

Dayanma duvarının içinde bulunduğu şevde, dayanma duvarını da içine alacak şekilde kayma meydana gelmemelidir ve kaymaya karşı belli bir güvenlik olmalıdır. Eğer aşağıdaki şartlardan herhangi biri mevcutsa bu tip göçme konusu incelenmelidir:

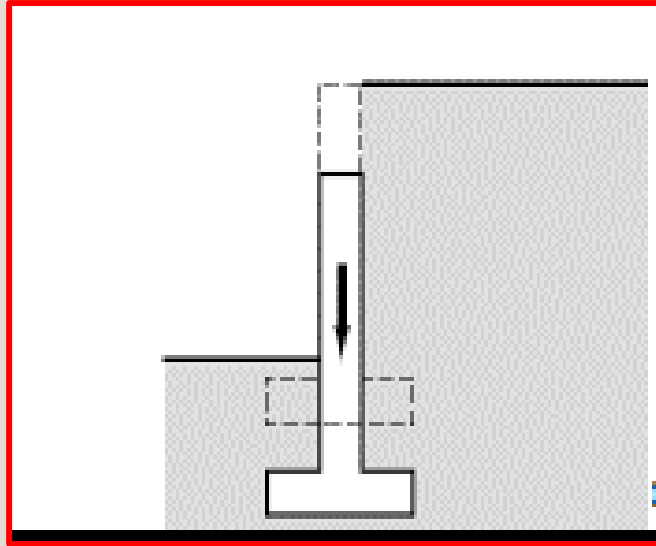
- ✓ Zemin yumuşak veya orta katı kil ve drenajsız şartlarda yüklenmiş
- ✓ İnce zayıf tabakalar ve yönelimli yüzeyler mevcut
- ✓ Sıvılaşma problemi mevcut

Dayanma duvarları, şevlerde yüzeysel (sığ) kaymaları önlerken; derin kaymalara karşı iyi bir önlem olmazlar.



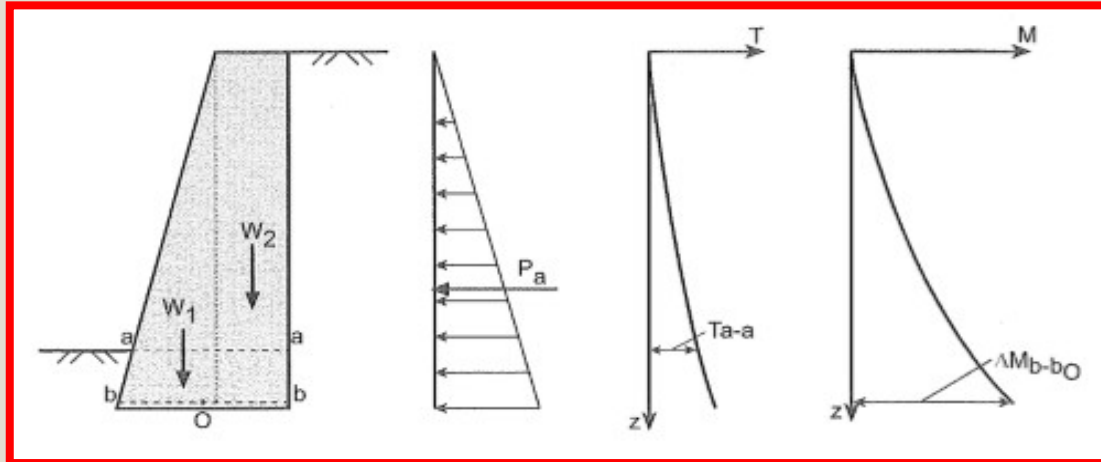
E. Oturma Tahkiki

Dayanma duvarı, altındaki zeminin, yükleme altında sıkışması sonucu oturmaya uğrar. Temel zemini, kohezyonlu veya kohezyonsuz olabilir. Dayanma duvarının oturması hesaplanarak, oturmalarının izin verilebilir oturma değerlerini aşmadığı gösterilir.



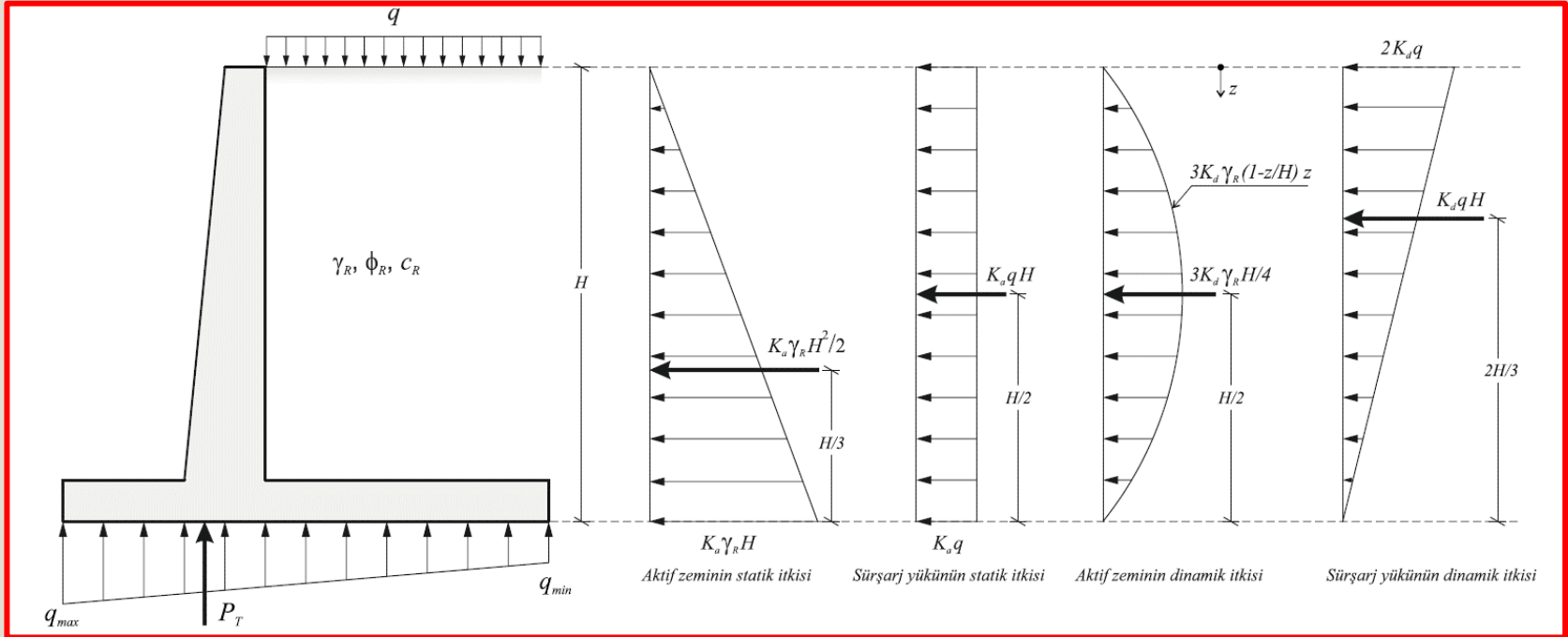
F. Diğer Tahkikler

- ❖ Ağırlık dayanma duvarlarında, duvarın kendisi yatay yönde kesmeye karşı güvenli olmalıdır. Özellikle temeli beton, gövdesi taştan yapılan duvarlarda, gövde-temel birleşim yeri kesme için kritik bir kesittir.
- ❖ Ağırlık dayanma duvarlarının gövdesi, yanal etkiler nedeniyle eğilmeye maruzdur. Bu eğilme momentleri, duvar arka yüzünde çekme gerilmeleri dolayısıyla çekme çatlakları meydana getirebilirler. Çatlak meydana geleceksa, duvar genişliği arttırılabilir veya duvar arkasına donatı konulabilir (Yarı ağırlık dayanma duvarı).
- ❖ **Betonarme dayanma duvarları**; yanal zemin basınçları ile taban basınç dağılışı belirlendikten sonra betonarmenin bilinen kurallarına göre boyutlandırılıp, donatılandırılır.



Dayanma Duvarına Etkiyen Deprem Yükleri

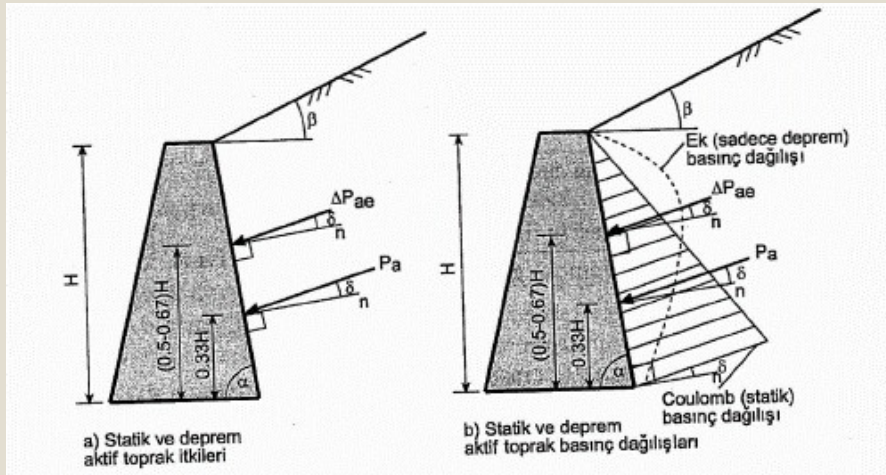
Deprem; yanal zemin basıncını artırır. İlgili yönetmeliklere göre, istinat duvarına etkiyen statik ve dinamik yüklere ait dağılımların elde edilmesinin ardından, duvar için stabilite ve betonarme kesit hesapları yapılarak tasarımın güvenlik kontrolleri yapılır.



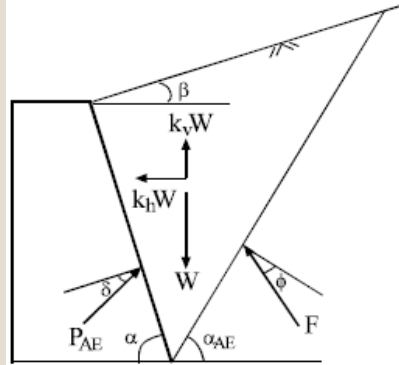
❖ Basitleştirilmiş yöntem

Mononobe-Okabe Yöntemi: Aktif ve pasif zemin ortamının plastik duruma ulaştığı anda, deprem etkilerini de eş değer bir kuvvet gibi kabul ederek, duvar arkasındaki zemin kamasına etkiyen tüm kuvvetlerin dengesini dikkate alan bir çözüm yöntemi

- ❖ Coulomb yönteminde yapılan kabuller aynen geçerli
- ❖ Depremden dolayı oluşan yatay ve düşey zemin ivmelerinin istinat duvarı yüksekliğince değişmediği kabulü
- ❖ Mononobe-Okabe, statik durum için Coulomb teorisini, deprem (dinamik durum) için değiştirerek, depremlili durum için toplam aktif ve pasif toprak basınç katsayılarını (K_{AE} ve K_{PE}) ve toplam aktif ve pasif itkiyi ($P_{AE} = P_A + \Delta P_{AE}$ ve $P_{PE} = P_P + \Delta P_{PE}$) veren formülleri elde ettiler.



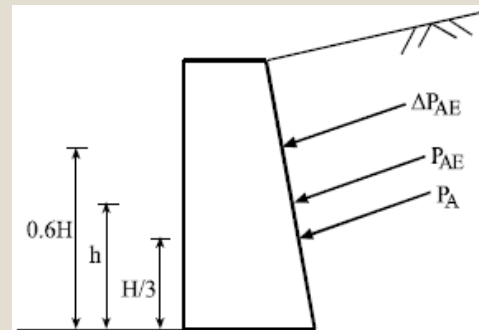
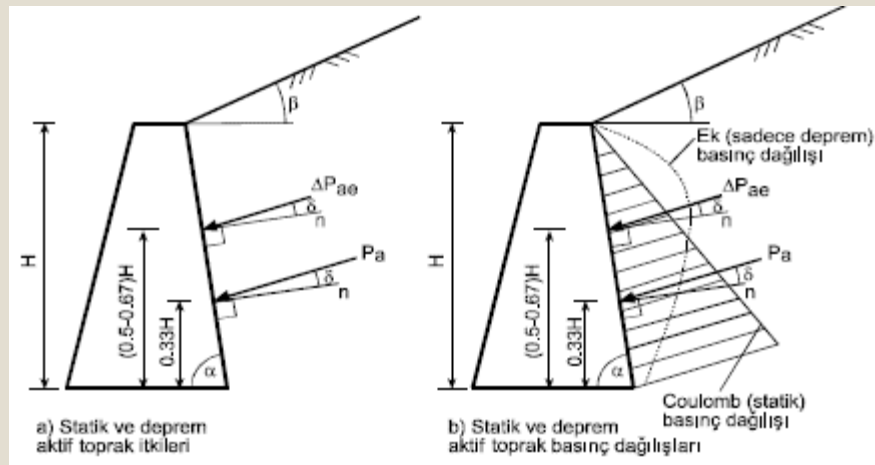
Depremden dolayı duvara etkiyen kuvvet, duvar tabanından itibaren $(0.5-0.67) H$ mesafesindedir.



Bileşke kuvvet, statik ve deprem bileşenlerine ayrılırsa;

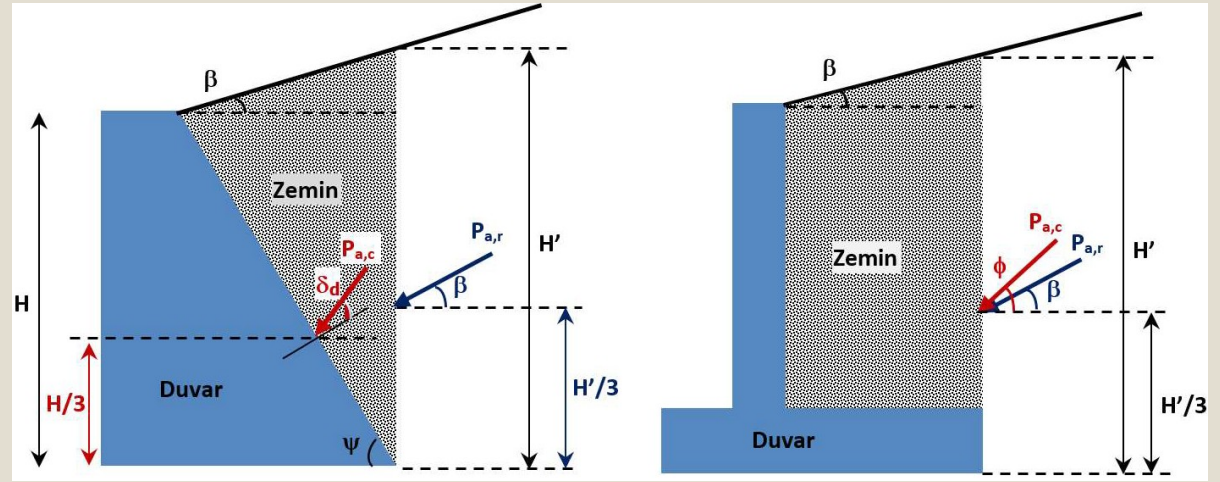
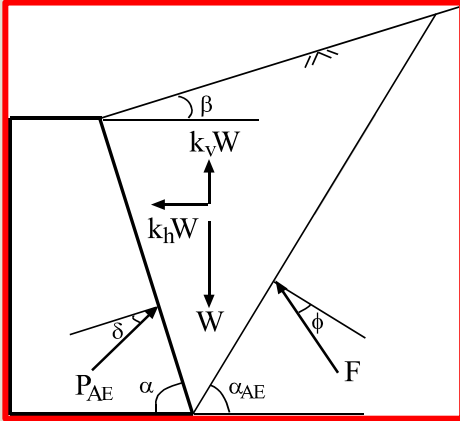
$$P_{AE} = P_A + \Delta P_{AE}$$

$$P_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AE}$$



$$h = \frac{P_A \left(\frac{H}{3} \right) + \Delta P_{AE} (0.6H)}{P_{AE}}$$

□ TBDY (2018)



$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r}$$

$$k_v = 0.5k_h$$

k_h : Statik-eşdeğer yatay deprem katsayısı

k_v : Statik-eşdeğer düşey deprem katsayısı

W : Zemin kamasının ağırlığı

F : Kayma kaması üzerine etkiyen normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkesi

P_+ : Dayanma yapısına etkiyen toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşkesi

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

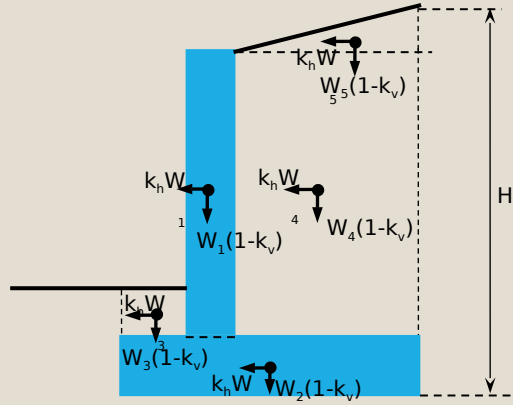
r : Statik-eşdeğer deprem azaltma katsayısı

Statik-eşdeğer düşey deprem katsayısı (k_v), her iki yönde de incelenmelidir.

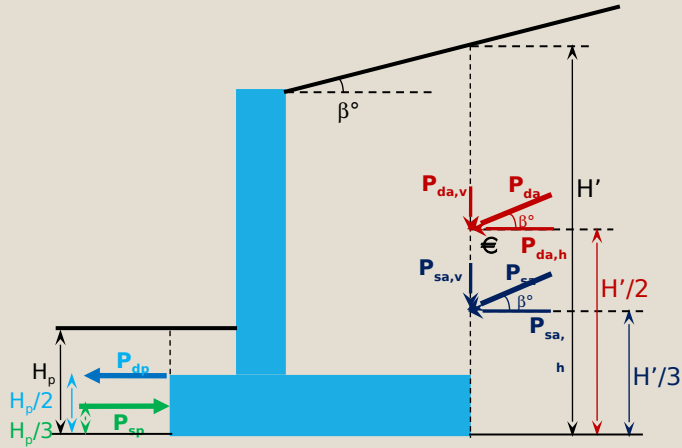
k_v (+) ☹️ deprem yükü yukarı doğru

k_v (-) ☹️ deprem yükü aşağı doğru

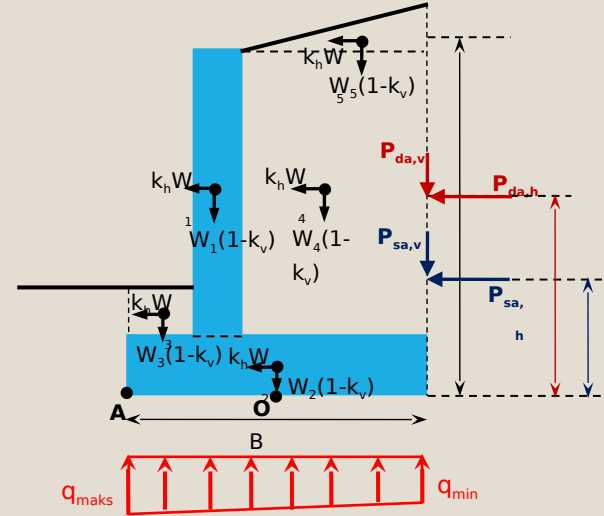
Rankine'ye Göre



Zemin ve İstinat duvarının ağırlığı



Yanal zemin itkileri (kuvvetleri) ve etki noktaları



Sisteme etkiyen tüm ve kuvvetler ve etki noktaları

Dayanma Yapıları İçin Statik-Eşdeğer Deprem Azaltma Katsayısı (r)

Dayanma Yapısının Tipleri	r
En Fazla 120 (mm) Yer Değiştirmeye İzin Verilen Ağırlık Tipi Duvarlar	2.0
En Fazla 80 (mm) Yer Değiştirmeye İzin Verilen Ağırlık Tipi Duvarlar	1.5
Ankrajlı Duvarlar ve Yer Değiştirmesine İzin Verilmeyen Ağırlık Tipi Duvarlar	1.0

- Yüksek boşluk suyu basıncı artışları meydana gelebilecek doygun zeminlerin bulunması durumunda, r katsayısının değeri 1'den büyük alınmamalıdır.

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r}$$

$$k_v = 0.5k_h$$

S_{DS} **Türkiye Deprem Tehlike Haritası**

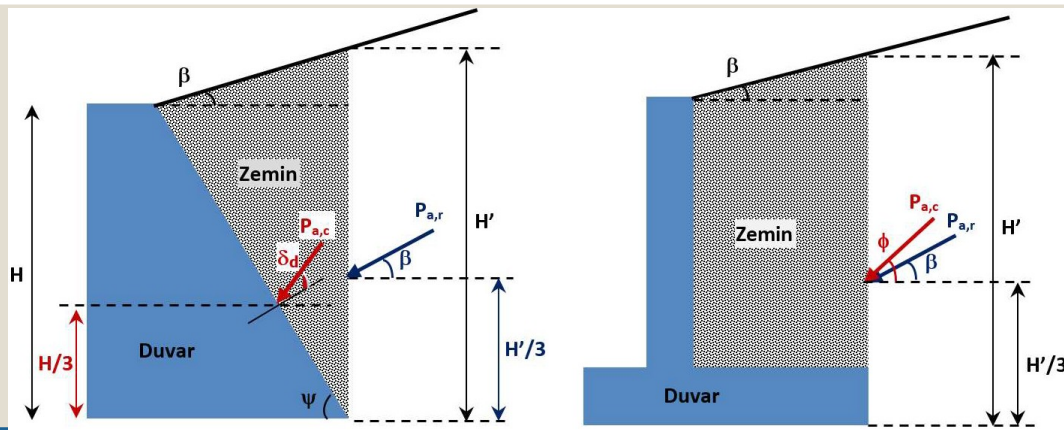
Yerel zemin sınıfı (ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF)

Deprem yer hareketi düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4)

DD-3 ve DD-4 → servis depremleri

DD-2 → tasarım depremi

DD-1 → en büyük deprem olarak isimlendirilmektedir.



- k_h : Statik-eşdeğer yatay deprem katsayısı
 k_v : Statik-eşdeğer dikey deprem katsayısı
 W : Zemin kamasının ağırlığı
 F : Kayma kaması üzerine etkileyen normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkesi
 P_t : Dayanma yapısına etkileyen toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşkesi
 S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 r : Statik-eşdeğer deprem azaltma katsayısı

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r}$$

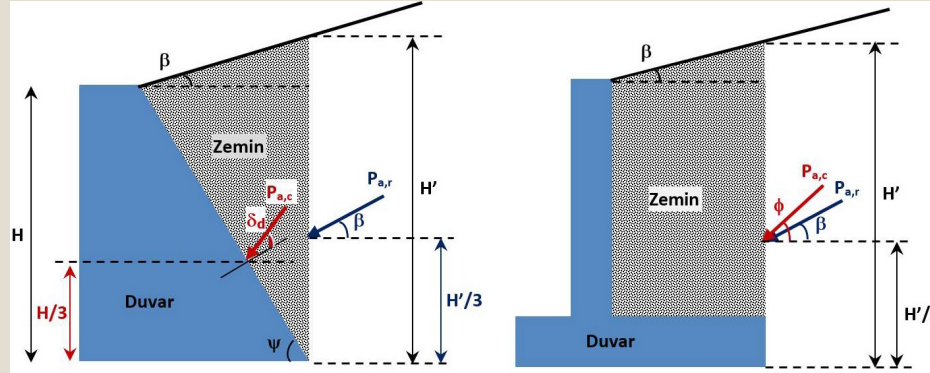
$$k_v = 0.5k_h$$

$$P_t = K(1 \mp k_v) \left(\frac{1}{2} \gamma^* H^2 + qH \right) + P_{su} + \Delta P_{su}$$

- H : Duvar yüksekliği
 γ^* : Zeminin tipik birim hacim ağırlığı
 q : Ek yük (sürşarj)
 K : Toplam (statik+dinamik) aktif (K_a) veya pasif (K_p) toprak basıncı katsayısı
 P_{su} : Bileşke statik su basınçları
 ΔP_{su} : Bileşke dinamik su basınçları

Toplam (statik+dinamik) aktif (K_a) toprak basıncı katsayısı hesaplamak için iki durum söz konusu olmaktadır.

$$\beta \leq \phi'_d - \theta$$



$$\beta > \phi'_d - \theta$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)}$$

ψ = Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı [derece]

ϕ'_d = Zeminin tasarım kayma direnci açısı [derece]

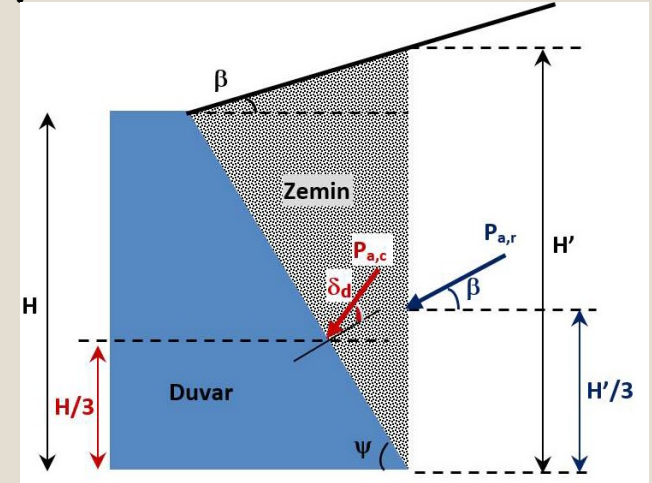
θ = Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı [rad]

\ominus = Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açı [derece]

\heartsuit_d = Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı [derece]

Toplam pasif basınç katsayısı (K_p), zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı ($\delta_d=0$) varsayılarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin \phi'_d \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$



ψ = Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı [derece]

ϕ'_d = Zeminin tasarım kayma direnci açısı [derece]

θ = Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı [rad]

β = Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açı [derece]

NOT

✓ Statik durumda $\delta_d=0$ alınacaktır.

✓ Dinamik zemin basınç katsayısı, toplam toprak basınç katsayısından statik basınç katsayısı çıkarılarak elde edilecektir.

ÖNEMLİ NOTLAR !!!

→ Dinamik toprak basınçlarına ilişkin bileşke kuvvetin etkime noktası, duvar yüksekliğinin orta noktası ($H/2$) olarak alınacaktır.

→ Topuğu etrafında serbestçe dönebilecek duvarlarda, dinamik kuvvetin statik kuvvet ile aynı noktada etkiyeceği varsayılabilir.

→ Statik ve dinamik toprak basınçlarının, duvar arkasının normaline göre, aktif basınç durumunda en fazla $\delta=(2/3)\phi'$ açısı ile pasif durumda ise sıfır eğimle ($\delta=0$) etkidiği kabul edilecektir.

ϕ' = Zeminin efektif kayma direnci açısı [derece]

Dayanma Yapısı Arkasına Su Seviyesinin Etkisi

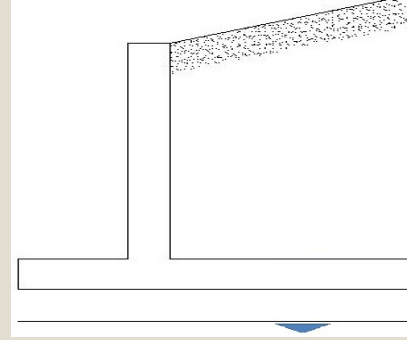
Tutulan zemin kütlesinin drenaj ile birlikte su tablası altında tutulmaması gerekir. Bu nedenle, drenaj sisteminin dinamik etkilerin yaratacağı geçici veya kalıcı yer değiştirmelerden etkilenmeyecek şekilde düzenlenmesi gerekir.

Dayanma yapısının tuttuğu zeminde su olup olmamasına bağlı olarak θ açısı ve γ^* 'ın değerleri için üç durum vardır.

θ : Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı [rad]

γ^* : Zeminin tipik birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

□ Su Seviyesinin Temel Taban Seviyesi Altında Olması Durumu



$$\left(P_{su} = \Delta P_{su} = 0 \right)$$



$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 + k_v} \right]; \quad \gamma^* = \gamma$$

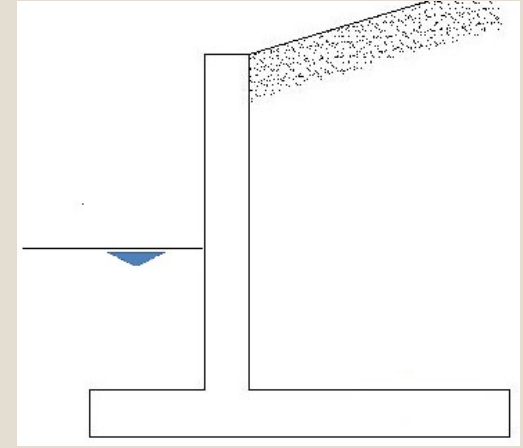
P_{su} : Bileşke statik su basıncı
 ΔP_{su} : Bileşke dinamik su basıncı

θ : Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı [rad]

■* : Zeminin Tipik Birim Hacim Ağırlığı (kN/m³)

■ : Zeminin Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m³)

- Su seviyesinin Temel Taban Seviyesi Üstünde Olması ve Zeminin Dinamik Olarak Geçirimsiz Olması Durumunda (permeabilite katsayısının 5×10^{-4} m/s'den küçük olduğu zeminlerde)



$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 + k_v} \right]$$



$$\gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su}$$

θ : Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı [rad]

■* : Zeminin Tipik Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)

■_d : Suyu doymun zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

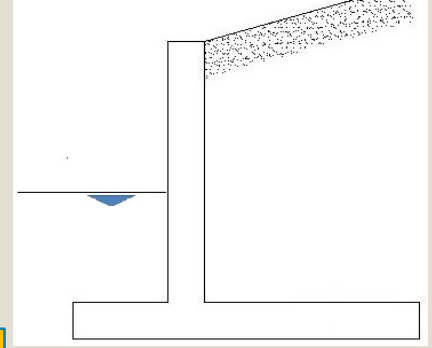


NOT: Suyu doymun durum olduğu için $\Delta P_{su} = 0$

P_{su} : Bileşke statik su basıncı

ΔP_{su} : Bileşke dinamik su basıncı

- Su Seviyesinin Temel Taban Seviyesi Üstünde Olması ve Zeminin Dinamik Olarak Geçirimli Olması Durumunda



$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 + k_v} \right]$$

$$\gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su}$$

θ : Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı [rad]

γ^* : Zeminin Tipik Birim Hacim Ağırlığı (kN/m³)

γ_d : Suyu doymun zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m³)

★ Not: Bileşke statik-eşdeğer ek dinamik su kuvveti ΔP_{su} ve bileşkenin su yüzeyinden itibaren derinliği

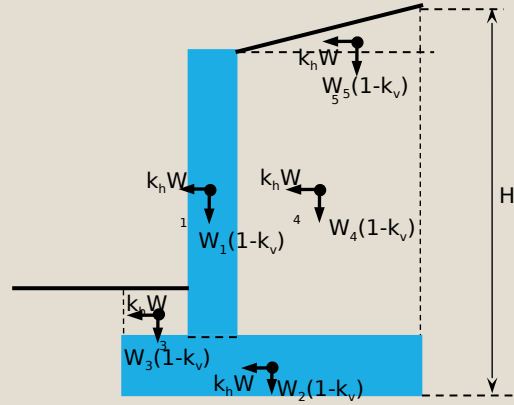
$$\Delta P_{su} = \frac{7}{12} (0.4 S_{DS}) \gamma_{su} d_{su}^2 ; \bar{z} = 0.6 d_{su}$$

d_{su} : Su altındaki duvar yüksekliği (m)

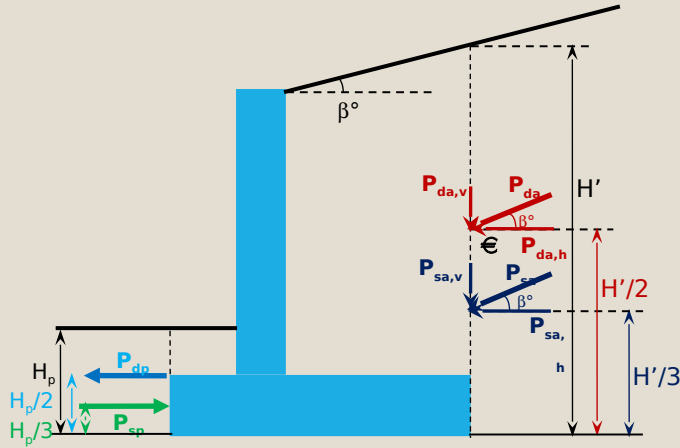
\bar{z} : Statik-eşdeğer dinamik su basıncının bileşkesinin su yüzeyinden itibaren derinliği

ΔP_{su} : Bileşke dinamik su basıncı

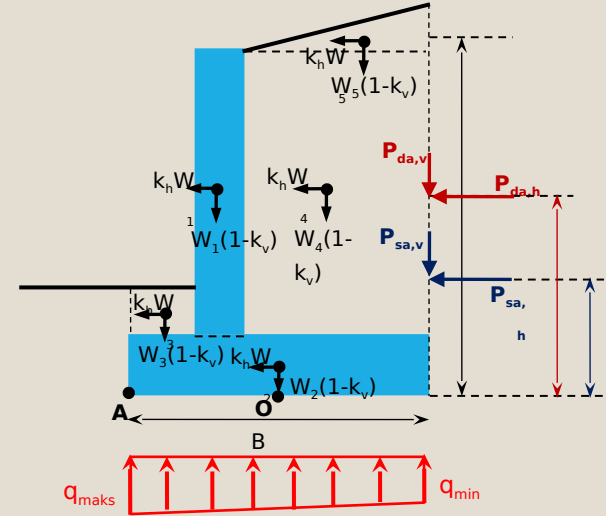
Rankine'ye Göre



Zemin ve İstinat duvarının ağırlığı

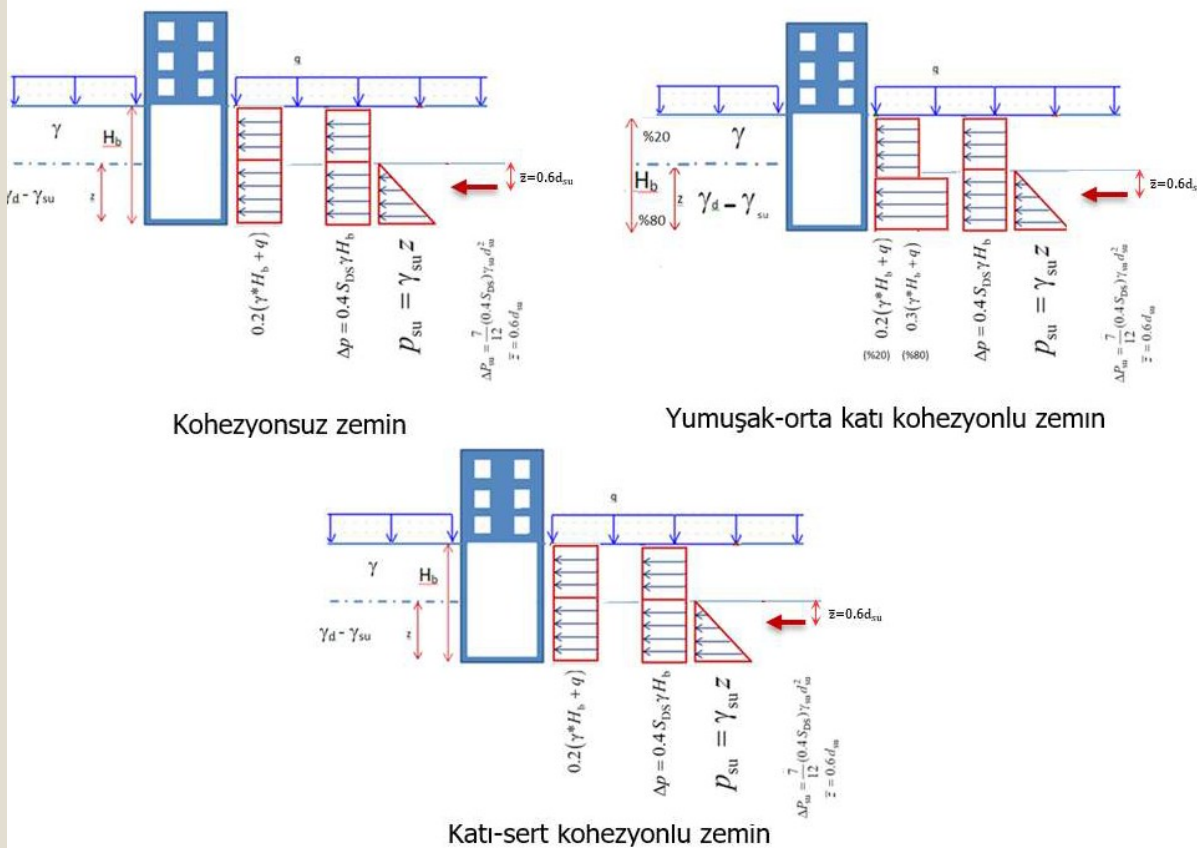


Yanal zemin itkileri (kuvvetleri) ve etki noktaları



Sisteme etkiyen tüm ve kuvvetler ve etki noktaları

Binaların Bodrum Perdelerine Etkiyen Statik ve Dinamik Zemin Basınçları



- Deprem etkisi altında ek zemin basınçları (Δp) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır. Bu basınç duvar yüksekliği boyunca düzgün yayılı olarak etki ettirilecektir (Şekil 3.24).

$$\Delta p = 0.4 S_{DS} \gamma H_b \quad (3.1)$$

- Kohezyonsuz zeminlerde, bodrumun kısmen kuruda olması durumunda, su seviyesi ile bodrum tabanı arasında, yukardaki tablonun ikinci satırındaki statik su basıncına ek olarak gözönüne alınacak statik-eşdeğer dinamik su basıncının su derinliği boyunca değişimi $\Delta p_{su}(z)$, aşağıdaki bağıntı ile belirlenecektir (Şekil 3.24):

$$\Delta p_{su}(z) = \frac{7}{8} (0.4 S_{DS}) \gamma_{su} \sqrt{z d_{su}} \quad (3.2)$$

Burada S_{DS} zemin yüzeyinde tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, d_{su} ise su altındaki duvar yüksekliğini göstermektedir. Bağıntı (3.2)'nin su derinliğince entegre edilmesi ile, bileşke statik-eşdeğer ek dinamik su kuvveti ve bileşkenin su yüzeyinden itibaren derinliği aşağıdaki bağıntı ile elde edilir (Şekil 3.24):

$$\Delta P_{su} = \frac{7}{12} (0.4 S_{DS}) \gamma_{su} d_{su}^2, \quad \bar{z} = 0.6 d_{su} \quad (3.3)$$



V- KAZI DESTEK YAPILARI HAKKINDA YÖNETMELİK (22.12.2022)

Bu Yönetmeliğin amacı; tüm planlı ve plansız alanlarda inşa edilecek her tür yapının temel ve/veya bodrum katlarının inşaatı için yapılacak kazılarda, gerek statik yükler gerekse deprem yükleri altında, kazı destek yapılarının tasarımı, projelendirilmesi ve uygulama için uyulması gerekli kuralları, asgari gereklilikleri ve esasları belirlemektir.

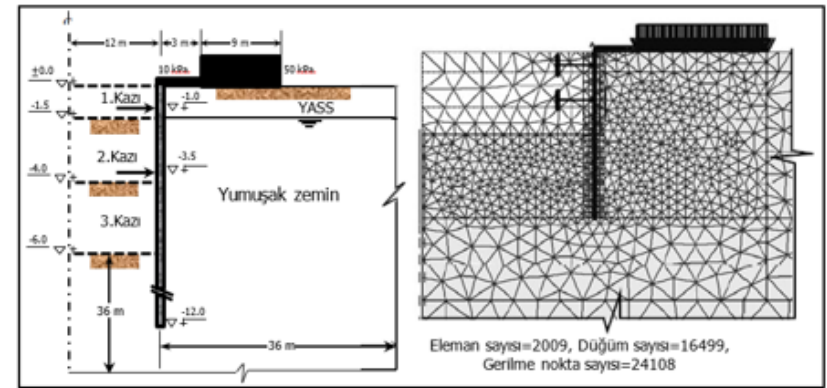
Kapsam: (1) Bu Yönetmelik; kazı çukurlarının stabilitesinin sağlanması için yapılacak destek yapıları ile ilgili genel esasların belirlenmesi, bu kapsamdaki projelendirme, geoteknik analizlerde uyulacak genel şartlar ile yaygın olarak uygulanmakta olan destek yapısı tipleri ile ilgili genel bilgileri, uygulama esaslarını, kazı destek yapılarının aletsel ölçümlerle ve gözlemsel olarak izlenmesini ve performansının değerlendirilmesi kriterleri ile kazı destek yapılarının projelendirme, uygulama ve kontrol aşamalarında görev alacak geoteknik sorumlular ve kontrol teşkilatı ile ilgili uygulama sırasında herhangi bir problemle karşılaşılması halinde izlenecek yol ve alınacak tedbirlerle ilgili hususları kapsar. **(2)** Kütle hareket riskleri açısından uygun olmayan alanlar, resmî kurumlarca belirlenmiş heyelan bölgelerindeki inşaat ve kazılar ile şevli kazılar bu Yönetmelik kapsamı dışındadır.

Uygulanacak esaslar: (1) Bina ve bina türü yapıların kazılarında yapılacak kazı destek yapılarında bu Yönetmeliğin ekinde yer alan **Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları** uygulanır. **(2)** Kazı ve imalat koşullarının benzerlik gösterdiği durumlarda, ilgili kamu kurum ve kuruluşunun uygunluk görüşü ile Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları, bina ve bina türü yapılar dışındaki uygulamalar için referans verilebilir.

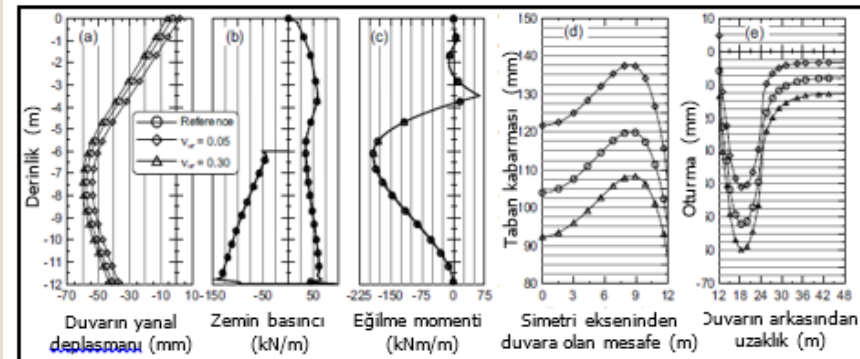
Yürürlük: Bu Yönetmelik yayımı tarihinden bir yıl sonra yürürlüğe girer.

İki boyutlu sonlu elemanları veya farklar yöntemlerini kullanan paket programları ile derin kazı çözümlenmesi yapılabilir. Paket programlarında (PLAXIS, CRISP, SIGMA, FLAC vb) modelleme aşamaları aşağıda verilmiştir (Şekil 3.52 ve Şekil 3.53):

- Zemin şartlarının iyi anlaşılması
- Bir veya daha fazla idealize edilmiş zemin profil(ler)i
- Kazının kesit geometrisi
- İksa sisteminin inşaat adımları ve yüklemeler
- Sonlu eleman idealizasyonu (sonlu eleman ağ oluşumu)
- Sonlu eleman için zemin modelinin seçimi (Elasto-plastik Mohr Coulomb model, Hyperbolik model vb)
- Toplam veya efektif gerilme analizine karar verme
- Zemin parametrelerinin belirlenmesi
- Girdi verilerinin hazırlanması
- Bilgisayar programının çalıştırılması
- Hesaplanan sonuçların değerlendirilmesi (dayanma duvarı derinliğince oluşan düşey ve yatay deplasmanlar, dayanma duvarı derinliğince eğilme momenti, payandalara veya ankrajlara gelen kuvvetler)



Şekil 3.52. Destekli duvarın modellenmesi (Kempfert ve Gebreselassie, 2006)



Şekil 3.53. Modelleme sonuçları: Duvarın yanal deplasmanı, zemin basıncı, duvarın eğilme momenti, kazı taban kabarması ve yüzeyin oturması (Kempfert ve Gebreselassie, 2006)