

SERİ  
SERIE B

CİLT  
TOME XXV

SAYI  
FASCICULE II

1975

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

# ORMAN FAKÜLTESİ DERGİSİ

REVUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES FORESTIÈRES  
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU

## İSTİNAT DUVARLARINDA STATİK EMNİYETİN GRAFİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ<sup>1)</sup>

Y a z a n

Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU

### 1. GENEL BİLGİLER

Bilindiği gibi yol, bina ve benzeri yapıların yakınlarında gerek doğal olarak bulunan, gerekse doldurma sonucunda meydana gelmiş olan toprak kitleleri, çeşitli nedenlerle kayarak ya da ufalanarak, sözü geçen yapılara zarar verirler. Bu kitleleri oldukları yerlerde tutarak zarar verecekleri yapıların güvenliğini sağlamak amacıyla, *istinat duvarları*, ya da *kaplama duvarları* denilen sanat yapılarına ihtiyaç duyulur.

Örneğin orman yolları boyunca, özellikle;

1. Dolduru şevlerinin tutmadığı, ya da bunların dere tabanına kadar uzandığı yerlerde,
2. Enkesitlerde, kırmızı hattın yamaca doğru kaydırılmasının sakıncalı görüldüğü durumlarda,
3. Kayma eğilimi gösteren arazide zorunlu olarak yapılan kazılar önünde istinat duvarları yapılması gerekmektedir. Ayrıca harçlı taş ve beton köprü ayakları da birer istinat duvarı olarak düşünülür (9; s. 164).

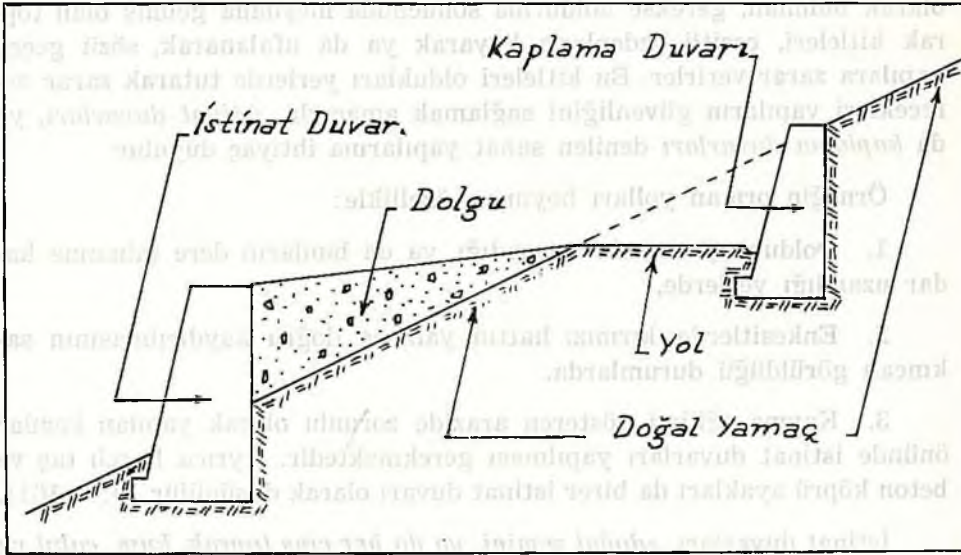
İstinat duvarları, «doğal zemini, ya da her cins toprak, kum, çakıl ve benzeri dolgu malzemesini tutmağa yarayan, üst ucu serbestçe hareket edip alt ucu etrafında dönmek suretiyle eğilebilen ya da yatay doğrultuda olduğu gibi (bütünüyle) hareket edebilen yapılar» şeklinde tanımlanabilir (2; s. 1).

Bu arada, istinat duvarları ile kaplama duvarları arasındaki farkı belirtmek yararlı olacaktır (Şekil 1):

<sup>1)</sup> Bu yazının hazırlanmasında, belirtilen kaynakların yanısıra Prof. Dr. Orhan Uzunsoy'un Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları dersine ait tatbikatlarda anlatıklarından tutulmuş bazı notlardan da yararlanılmıştır.

«Bir istinat duvarı, yapımı tamamlandıktan sonra arkasına konacak ya da birikecek toprak, kum ve benzeri dolgu malzemesinin basıncına (itkisine) karşı koymak üzere yapılan bir duvardır... Bir kaplama duvarı ise, istinat duvarına benzer bir yapı olmakla birlikte, doğal durumu bozulmamış, ancak bir kısmı kazılarak önünde düşey ya da eğik bir kazı yüzeyi ortaya çıkmış bulunan yerlerde toprağın yıkılmasını önlemek amacıyla yapılır» (6; s. 264).

Buna göre istinat duvarları yük taşıyıcı sanat yapılarından olduğu halde, kaplama duvarları yük taşımazlar; bir kaplama duvarının görevi, toprak kitlesini taşımaktan ve desteklemekten çok, onun yüzeyini dış etkenlerden korumaktır.



Şekil 1. İstinat ve kaplama duvarları

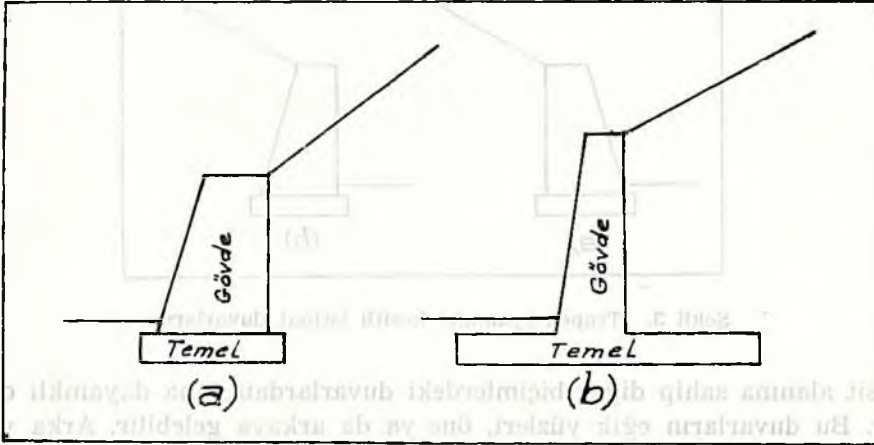
İstinat duvarları değişik tiplerde olabilir. Ancak pratikte en çok uygulanan tipler,

1. Ağırlık duvarları (kurutaş, harçlıtaş, beton),
2. Betonarme konsol duvarları

dır (Şekil 2). Ormancılık uygulamalarında istinat duvarları genellikle ağırlık duvarları tipinde yapılmaktadır.



Ağırlık duvarları, arkalarındaki toprak kitlelerinin etkisine yalnız kendi ağırlıkları ve tabanlarıyla toprak (zemin) arasındaki sürtünme sayesinde karşı koyarlar.



Şekil 2. Değişik istinat duvarları tipleri

a) Ağırlık duvarı, b) Betonarme konsol duvar.

Bu duvarlar, yapımında kullanılan malzeme bakımından,

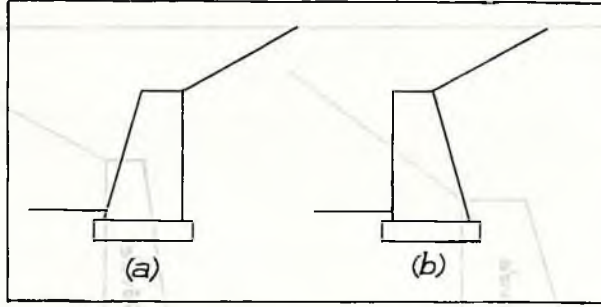
1. Kurutaş,
2. Harçlıtaş (moloz taşı, kesme taş),
3. Beton

olabilir. Yapı malzemesinin kararlaştırılmasında gözönünde tutulması gereken belli esaslar vardır. Örneğin, kurutaş duvarlar bükülmeye karşı dayanıklı, fakat basınca karşı duyarlıdırlar. Fazla yüksek olmayan ıslak yamaçlar önünde yararlı olurlar. Deprem bölgelerinde, henüz tam oturmamış dolduru kitleleri önünde ve dere kenarlarında da duvarlar kurutaş malzeme ile yapılırlar. Ancak kurutaş duvarlar basınca dayanıklı olmadıklarından, yüksek yapılamazlar. Öte yandan harçlıtaş ve beton duvarlar ise basınca dayanıklı olduklarından, yüksek olarak yapılabilmektedirler. Yalnız, harçlıtaş ve beton olarak yapılan istinat duvarlarının arkalarındaki suyun, yeterli ve uygun bir drenajla akıtılması gerekir.

İstinat duvarlarının enkesit biçimleri de, değişik durum ve koşullara bağlı olarak değişmektedir. Özet olarak söylemek gerekirse :

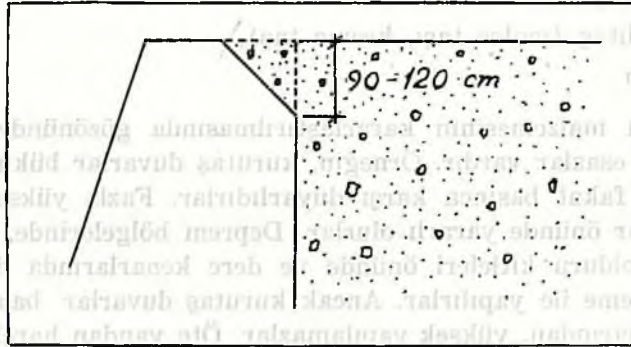
— Alçak istinat duvarlarında dikdörtgen kesit uygundur.

— İstinat duvarları pek alçak yapılmadıkları takdirde, genellikle trapez (yamuk) kesitlidirler (Şekil 3 a, b). Trapez kesitli duvarlar, aynı



Şekil 3. Trapez (yamuk) kesitli istinat duvarları

kesit alanına sahip diğer biçimlerdeki duvarlardan daha dayanıklı olurlar. Bu duvarların eğik yüzleri, öne ya da arkaya gelebilir. Arka yüzü dikey, ön yüzü eğik olanlar genellikle açık alanlarda ve arazinin çok değerli olmadığı yerlerde yapılır ve kaymaya çalışırlar. Öte yandan ön yüzü dikey, arka yüzü eğik olan trapez kesitli duvarlar ise, arazinin çok değerli ve dar olduğu alanlarda yapılmakta ve ezilmeye çalışılmaktadır.



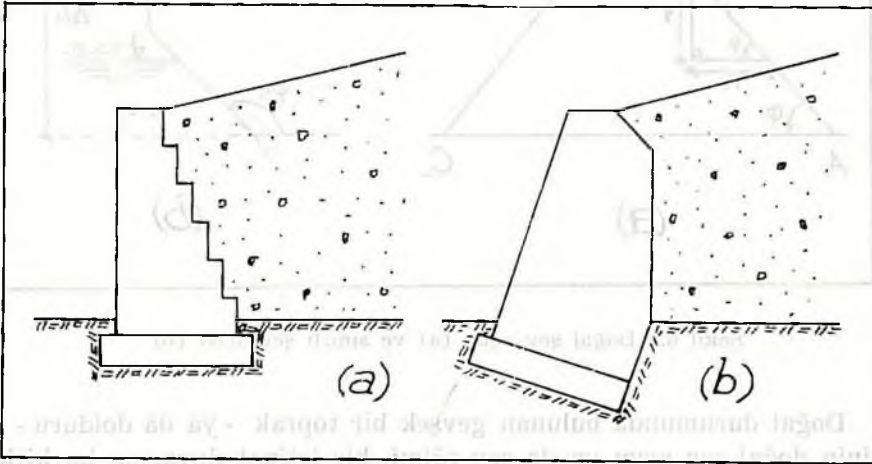
Şekil 4

Trapez enkesitli harçlıtaş duvarlarda taş sıralarının önden arkaya doğru eğimli yapılması halinde, bu sıraların oluşturduğu seksiyonların birbiri üzerinde kaymaları önleneyeceği gibi duvar arkasının materyalle doldurulmasından önce harcın tamamen sertleşmesini beklemeğe de ge-

rek kalmaz. Bilindiği gibi harcın tamamen sertleşmesi ve harçla yapı taşları arasında yeterli bir adhezyonun meydana gelmesi - yerine göre değişmekle birlikte - birkaç ay sürebilmektedir (6; s. 268).

Soğuk mevsimlerde toprağın derinlere kadar donduğu yerlerde yapılacak istinat duvarlarının arka yüzleri, üst kenardan itibaren 90 - 120 cm derinliğe kadar eğik (kesik) yapılmalıdır (Şekil 4). Bu eğik yüzeyin, donmuş toprakla sürtünmeyi azaltmak ve donan tabakanın duvarı zorlamasını önlemek üzere, pürüzsüz olması gerekir.

— Çok yüksek istinat duvarları ise kombine kesitli olurlar (Şekil 5 a, b). Böyle duvarların kesitleri için, belli avantajlar sağlayan çeşitli kombinasyonlar düşünülebilir.



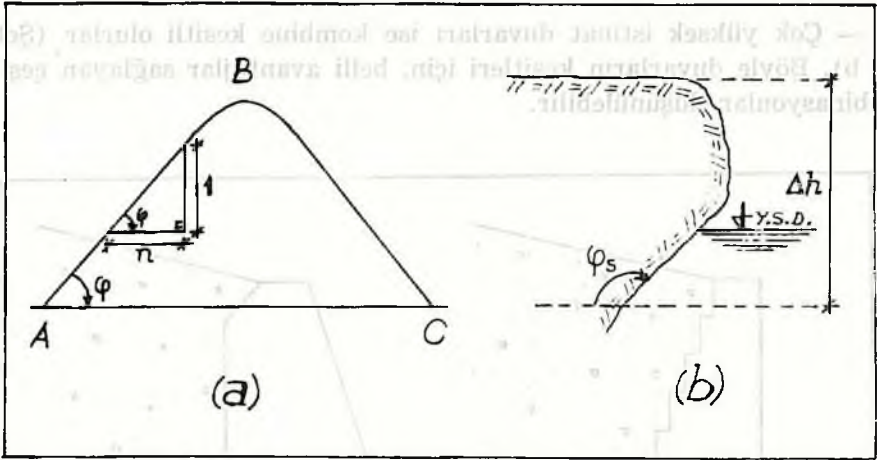
Şekil 5. Kombine kesitli istinat duvarları

Buraya kadar tanımlayıp başlıca özelliklerinden söz ettiğimiz istinat duvarları konusuyla ilgili temel esas ve kabullere de kısaca bir göz atmak, bazı kavram ve terimler üzerinde - ayrıntılara inmeden - durmak gerekiyor:

Kum ya da toprak yığını gibi, birbirlerine bağlı olmayan parçacıklardan meydana gelen - yalnız kendi ağırlıkları etkisinde denge durumunda bulunan - kitlelerde dış yüzeyler, katı cisimlerde olduğu şekilde herhangi bir eğime sahip olamayacağı gibi, sıvılarda olduğu şekilde dış yüzeylerin mutlaka yatay olmaları da zorunlu değildir (5; s. 391). Bu



özellik uyarınca her toprağın kendi kendini stabil tutabildiği bir «doğal şev açısı» söz konusudur. Bu açıya genellikle yalnız «şev açısı» denildiği gibi, bu açı yerine çoğu zaman «doğal şev eğimi» kavramı da kullanılmakta ve eğik yüzeyin (şevin) düşey düzlem üzerindeki izdüşümünün, yatay düzlem üzerindeki izdüşümüne oranı ( $tg \varphi = 1/n$ ), ya da şevin yatay düzlem üzerindeki izdüşümünün düşey düzlem üzerindeki izdüşümüne oranı ( $\cot \varphi = n/1$ ) şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 6a).



Şekil 6. Doğal şev açısı (a) ve sınırlı şev açısı (b)

Doğal durumunda bulunan gevşek bir toprak - ya da dolduru - kitlesinin doğal şev açısı ya da şev eğimi, bir istinat duvarına bu kitlenin yapabileceği yanıl (lateral) itkiyi belirleyen bir faktördür. İstinat duvarları arkasında bulunabilecek çeşitli dolgu materyalinin hacim ağırlıkları, şev eğimleri ve şev açıları Tablo I'de gösterilmiştir (1; s. 892).

Ancak, dolgu materyalinin kuru, nemli, ya da ıslak olmasına bağlı olarak hacim ağırlığının yanısıra doğal şev açısının da değiştiği bilinmektedir. Tablo II'de, çeşitli toprak kitlelerinin nemlilik durumlarına bağlı olarak şev açılarının değişimi gösterilmiştir (4; s. 1).

İstinat duvarının yapılacağı yerdeki toprak kitlesinin doğal şev açısı, yerinde yapılacak basit bir deneyle saptanabilir.

Doğal şev açısının yanısıra, bir de toprağın belli bir kot farkına kadar -kohezyonun da yardımıyla- kendi kendini tutabilmesiyle oluşan «sınırlı şev açısı» vardır (Şekil 6 b). Ancak bu özel durum ve «sınırlı

TABLO I. GEVŞEK DOLGU MATERYALİ İÇİN ŞEV EĞİMLERİ, ŞEV AÇILARI VE HACİM AĞIRLIKLARI

Meteryalin Cinsi	Şev Eğimi (1/n)	Şev Açısı ( $\varphi$ )	Hacim Ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )
Temiz kum	1:1.5	33°41'	1440
Kum ve kil	1:1.33	36°53'	1600
Kuru kil	1:1.75	29°44'	1600
Islak, plastik kil	1:3.00	18°24'	1600
Temiz çakıl	1:1.33	36°53'	1600
Çakıl ve kil	1:1.33	36°53'	1600
Çakıl, kum, kil	1:1.33	36°53'	1600
Toprak	1:1.50	33°41'	1600
Yumuşak, çürümüş kaya	1:1.33	36°53'	1760
Sert, çürümüş kaya	1:1.00	45°00'	1600
Bitümlü cürufur	1:1.00	45°00'	720
Antrasit külleri	1:1.00	45°00'	480

TABLO II. KİTLENİN NEMLİLİK DURUMUNA BAĞLI OLARAK ŞEV AÇISININ DEĞİŞİMİ

Toprak Kitlesinin Cinsi	Kuru		Nemli		Islak	
	$\text{kg/m}^3$	$\varphi''$	$\text{kg/m}^3$	$\varphi''$	$\text{kg/m}^3$	$\varphi''$
Kaya parçaları, çakıllı yığıntılar	1300-1600	45-50	1350-1650	40-45	1500-1800	35-40
Graviye	1300-1500	35-45	1350-1600	30-40	1450-1700	25-35
İri kum	1300-1400	30-35	1400-1600	30-35	1500-1700	25-30
İnce kum	1300-1400	25-30	1400-1600	25-35	1500-1700	20-30
Killi kum	1400-1600	30-40	1500-1700	30-40	1600-1800	15-25
Bitkisel toprak	1400-1600	35-45	1500-1700	30-40	1650-1800	20-30
Marn	1500-1700	40-50	1500-1800	30-40	1650-1900	15-30
Kil	1500-1700	30-40	1500-1800	15-20	1650-1900	15-00
Puding (Konglomera)	1600-1700	45-55	1700-1900	35-45	1800-2000	25-35



*h* şev açısı» kavramı, istinat duvarlarının hesabında genellikle göz önünde tutulmaz.

Bilindiği gibi doğal şev açısının tanjantı, toprağın toprak üzerindeki sürtünme katsayısını verir; yani

$$f = \operatorname{tg} \varphi$$

dir. İstinat duvarlarının teorisinde ise, yüzeydeki düzlemler boyunca sürtünme katsayısı değil, fakat dolgu materyali kitlesinin içindeki düzlemler boyunca sürtünme katsayısı önemlidir. Bu katsayıya ilişkin açıya da «iç sürtünme açısı» denilmektedir.

Denemelerle elde edilen sonuçlara göre, kohezyonsuz materyaller için iç sürtünme açısı, genellikle gevşek materyal için Tablo I'de verilen şev açısından daha büyüktür. Fakat istinat duvarlarını etkileyen teorik basıncı (toprak itkisini) belirlerken Tablo I'deki ( $\varphi$ ) değerlerini kullanmak — daha güvenilir sonuçlar sağlamak amacıyla — tavsiye edilmektedir (1; s. 892). Kuru kum, çakıl, kırma taş, cüruf ve benzerleri gibi kohezyonsuz materyaller, granüler parçacıklardan oluşmakta ve kaymaya yol açan kuvvetlere yalnız sürtünme ile karşı koymaktadırlar.

Şimdi de istinat duvarlarını etkileyen kuvvetlere ve bunlarla ilgili hususlara kısaca değinelim :

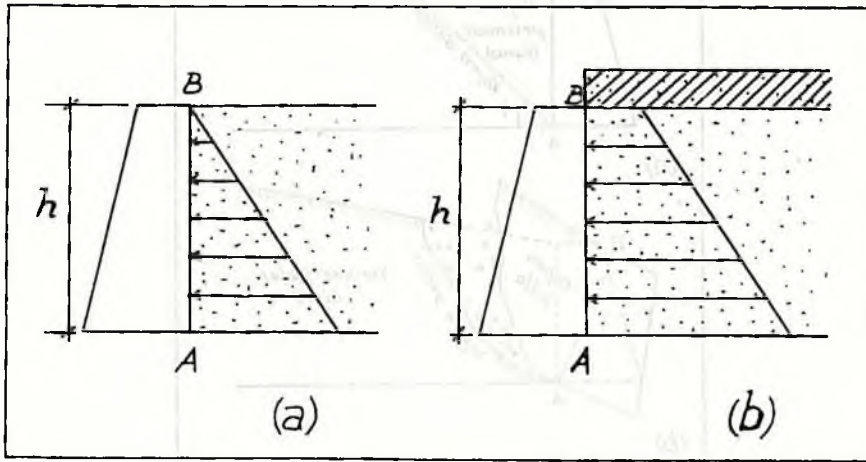
Bir istinat duvarı, arkasında bulunan toprak ya da dolgu kitlesi nedeniyle, kendisini devirmeğe ve kaydırmağa çalışın yanal bir itkinin etkisindedir. Bu itkinin miktarı, birim hacımdaki toprağın ağırlığına, iç sürtünmeye ve toprak içinde meydana gelebilecek kohezyona, bu nedenle de bir dereceye kadar toprağın su muhtevasına bağlıdır.

İstinat duvarlarının güvenilir biçimde boyutlandırılmalarını sağlamak amacıyla, böyle bir duvarın arka yüzüne gelen yanal itkilerin bileşkesinin doğrultusunu, şiddetini (büyüklüğünü) ve tatbik noktasını belirlemek üzere birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Duvarların arkasını dolduran materyallerin özellik, durum ve koşullar bakımından çok değişik olmaları nedeniyle, teorinin doğru şekilde kullanılmasını sağlayacak karakteristikleri hassas olarak belirlemek zordur. Ne var ki, yalnız yaklaşık sonuçlar elde edilebilmesine rağmen, temel üzerindeki basınç dağılımını belirlemek üzere teorik uygulama yapılmadan istinat duvarlarının projelendirilmemeleri gerekir.

İstinat duvarları arkasındaki toprak kitlelerinin duvar arka yüzlerine yaptığı basıncın hesaplanması için ortaya konmuş başlıca iki teori vardır ve bunlar;

1. Kama teorisi (Coulomb teorisi)
2. Elastik Teori (Rankine teorisi)

olarak anılmaktadır. Bu teoriler, duvar arkasındaki materyalin *kohezyonsuz ve üniform bir granüler kitle* olduğu varsayımına dayanırlar; yani iç sürtünme açısı kitlenin içindeki her noktada aynıdır ve basıncın (itkinin) şiddeti derinlikle doğru orantılı olarak - üniform bir şekilde - artar (Şekil 7 a, b).

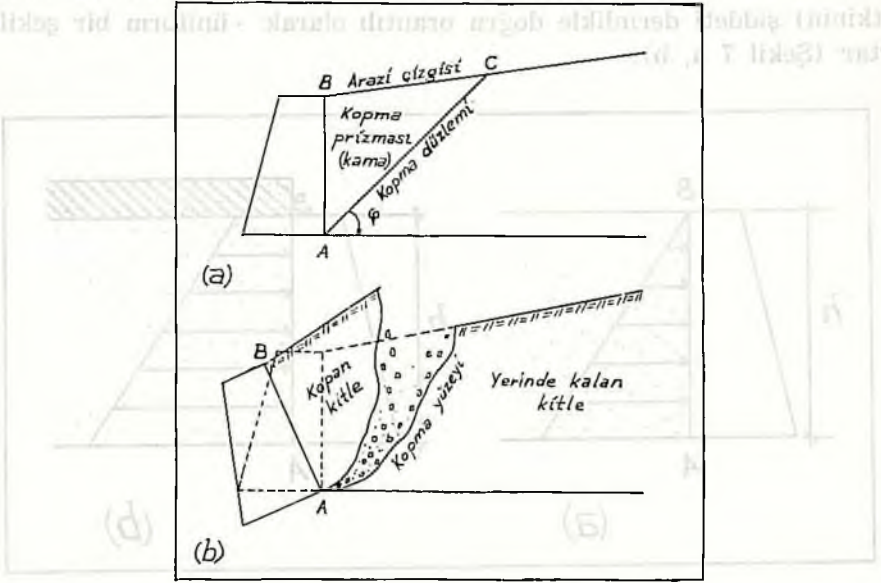


Şekil 7. İstinat duvarları arkasında yük dağılımı

Rankine'in istinat duvarları arka yüzleri üzerindeki toprak itkisine ilişkin teorisi, yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu teori, elastisite prensiplerinin granüler materyallere uygulanması esasına dayanır ve itki, gerginlik (basınç) elipsi yardımıyla bulunur.

Coulomb teorisi ise, maksimum itkinin duvar arkasındaki materyal kitlesinin «kama» biçimindeki bir bölümü tarafından meydana getirildiğini kabul eder ki bu kama bir yandan duvar arka yüzüyle, öte yandan da «kopma düzlemi» ya da «kayma düzlemi» adı verilen bir yüzle sınırlanmıştır (Şekil 8a). İstinat duvarı basınç altında zorlanıp eğildiği zaman kama, bu düzlem üzerinde kayma eğilimi gösterir. Deneyle, bir kopma ya da kayma düzlemi üzerinde aktüel bir hareket olmadığını göstermiştir; bu nedenle böyle bir düzlemin var sayılması, yalnız analiz amacıyla yararlı olmaktadır. Ne var ki, *kamanın ötesindeki dolgu üzerinde bulunan yüklerin pratik olarak yanıl itkiye etkili olmadıkları* da

saptanmıştır (1; s. 896). Gerçekte, duvar yıkıldığı takdirde arkasındaki toprak bir düzlem boyunca değil, daha çok içbükey bir yüzey boyunca kopup gökecektir. Bu kopma yüzeyinin yukarı ucu, birçok materyallerde düşey bir doğrultuya ulaşır (Şekil 8b).



Şekil 8. Kopma düzlemi ve kopma yüzeyi

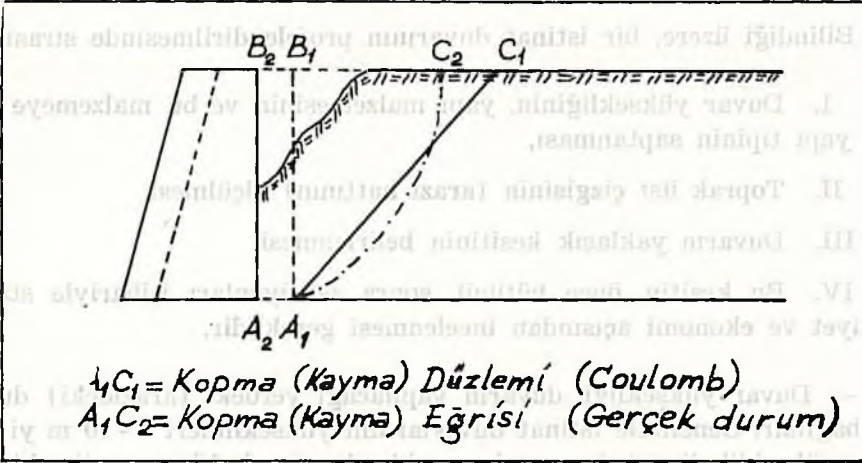
Kısaca söylemek gerekirse, «gerçek bir istinat duvarının arkasındaki kopma - ya da kayma - yüzeyi hafifçe eğridir. Coulomb, hesapları basitleştirmek için bu yüzeyi düzlem olarak kabul etmiştir. Eğriliği ihmal etmekle yapılan hata çok küçüktür» (10; s. 153) (Şekil 9).

Kohezyon da söz konusu olduğu takdirde, gerçek toprak basıncı, teorinin vereceği sonuçtan daha az olacaktır. Rankine ve Coulomb teorilerinden elde edilecek basıncın gerçek basınçla uyum derecesi, duvar arkasındaki dolgu materyalinin homojenliğine, sıklık ve kohezyonuna bağlıdır. Bu faktörlerin hepsinin de çok belirsiz olmaları ve belli bir yerde bile oldukça değişik bulunmaları nedeniyle, *teorik analizlerde genellikle kohezyonun etkisi hesaba katılmaz.*

İstinat duvarlarının arka yüzlerine etki yapan *toprak basıncının (itkisinin) doğrultusu* konusunda, değişik varsayımlar öne sürülmüştür. Örneğin Rankine, bu doğrultunun, duvarın arkasındaki toprak kitlesinin



üst yüzünün eğimi ile duvar arka yüzünün eğimine bağlı olduğunu kabul eder. Coulomb teorisi ise, duvar arka yüzü üzerindeki toprak itkisinin doğrultusunu, duvar arka yüzüne dik bir doğru ile - toprakla duvar yapı malzemesi arasındaki sürtünme açısını aşmayan - bir açı yapacak şekilde vermektedir.



Şekil 9. Kopma yüzeyinin teorik ve gerçek durumu

Toprak itkisinin doğrultusunu belirlemek amacıyla yapılan denemeler, birbirlerinden önemli ölçülerde farklı sonuçlar vermişlerdir. Bununla birlikte en son denemeler Coulomb teorisindeki varsayımı doğrulamış, toprak basıncının duvarı yukarıdan aşağıya doğru eğik doğrultuda etkilediğini ve bu doğrultunun normale yaptığı açının, duvar arkasındaki materyalle duvar arasındaki sürtünme açısına eşit olduğunu göstermiştir.

Duvar arka yüzünün ve toprak kütlesi üst yüzünün değişik eğim durumlarına göre toprak basıncını veren formüller, dedüksiyon yoluyla çıkarılmış bulunmakta ve kullanılmaktadır. Ancak bu formüller, duvar arka yüzünün düşey, toprak üst yüzünün (arazi çizgisinin) yatay olduğu durum dışında, çok karışıktır. Bu nedenle, toprak itkisinin kolayca bulunmasına yarayan bazı grafik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, Coulomb teorisine dayanılarak geliştirilmiş olan Rebhann'ın grafik yöntemi tavsiyeye değer. Bu yöntem, Rankine teorisile de uyuşan sonuçları pratik olarak vermekle birlikte, ondan daha basit ve kolaydır (1; s. 896).

## 2. STATİK EMNİYETİN GRAFİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Buraya kadar, konuya ilişkin genel bilgilere ve temel esaslara kısaca değinilmiştir. Şimdi, istinat duvarlarının projelendirilmesinde sağlanması gereken koşulların grafik yöntemle incelenmesine geçebiliriz. Ancak bu konuda da olanaklar ölçüsünde ayrıntılara inmeden, konunun çoğunlukla ana çizgilerine değinmekle yetineceğiz.

Bilindiği üzere, bir istinat duvarının projelendirilmesinde sırasıyla,

I. Duvar yüksekliğinin, yapı malzemesinin ve bu malzemeye uygun yapı tipinin saptanması,

II. Toprak üst çizgisinin (arazi hattının) ölçülmesi,

III. Duvarın yaklaşık kesitinin belirlenmesi,

IV. Bu kesitin, önce bütünü, sonra seksiyonları itibariyle statik emniyet ve ekonomi açısından incelenmesi gereklidir.

— Duvar yüksekliği, duvarın yapılacağı yerdeki (arazideki) duruma bağlıdır. Genellikle istinat duvarlarının yükseklikleri 9 - 10 m yi aşmaz; yükseklik limiti (sınırı) ise yaklaşık olarak 18 m verilmektedir (1; s. 917). Yapı malzemesinin ve bu malzemeye uygun yapı tipinin saptanmasında yardımcı olabilecek başlıca esaslara ise daha önce değinilmiştir.

— Toprak kitlesinin üst çizgisi ya da arazi hattı, bilinen esaslara uygun olarak dikme ve oturtma lataları yardımıyla kolayca ölçülebilir.

— Duvarın yaklaşık kesiti, duvar cinsine ve yüksekliğine göre hazırlanmış tablolardan alınacak üst ya da alt genişliklere (taban genişliği) ve ön yüz eğimine dayanılarak ölçekle çizilir. Bu amaçla değişik tablolardan (9; s. 173 - 175) yararlanılarak bir araya toplanmış değerler Tablo III'de görülmektedir.

Gerek kuru ve harçlı taş, gerekse beton istinat duvarlarında arka yüz çoğunlukla düşey, ön yüz ise eğimli yapılmaktadır. Ön yüz eğimleri kurutaş duvarlarda 1:1/3 - 1:1/4, harçlıtaş duvarlarda 1:1/4 - 1:1/6, beton duvarlarda ise 1:1/5 - 1:1/20 arasında alınır.

— Bu kesitin bütünü ve seksiyonları itibariyle statik emniyet ve ekonomi açısından incelenmesinde izlenecek yol ve yapılacak işler şöyle sıralanabilir :



TABLO III. İSTİNAT DUVARLARINDA YÜKSEKLİĞE GÖRE YAKLAŞIK KESİTİ BULMAĞA YARAYAN DEĞERLER

Duvar Yüksekliği h (m)	Kuruluş Duvarı	Harçtaş Duvar		Beton Duvar								
		Oturmuş Toprak Önünde	Dolduru Kitlesi Önünde	Toprak Kitlesi Duvar Üstünü Aşmadığına göre				Toprak Kitlesi Duvar Üstünü 1 m Aştığına göre				
				Doğal Şev Açısı ( $\varphi^\circ$ )								
		Duvar Üst Genişliği k (m)		25°	30°	40°	45°	25°	30°	40°	45°	
1.00	0.70	0.50	0.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.00	0.80	0.50	0.60	0.75	0.68	0.60	0.60	1.15	1.05	0.85	0.80	
3.00	0.90	0.50	0.75	1.13	1.07	0.90	0.85	1.60	1.46	1.16	1.10	
4.00	1.00	0.60	0.85	1.55	1.47	1.20	1.10	2.10	1.92	1.50	1.40	
5.00	1.10	0.75	1.00	2.07	1.92	1.54	1.40	2.70	2.40	1.87	1.73	
6.00	1.20	0.90	1.15	—	—	—	—	—	—	—	—	
7.00	—	1.05	1.25	—	—	—	—	—	—	—	—	
8.00	—	1.20	1.40	—	—	—	—	—	—	—	—	
9.00	—	1.35	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	
10.00	—	1.50	1.65	—	—	—	—	—	—	—	—	

1) Burada verilen taban genişlikleri, trapez kesitli ve ön yüzünün eğimi 1:1/5 olan beton duvarlar için geçerlidir. Beton istinat duvarlarında duvar üst genişliği en az 0.30 m olarak alınmalıdır.



## 2.1 DUVARIN BÜTÜNÜ İLE İNCELENMESİ

### 2.1.1 Kesitin Çizilmesi

İstinat duvarının belirlenen yaklaşık kesiti belli bir ölçükle çizildikten sonra, duvar arka yüzünün üst kenarından başlamak üzere, ölçülen toprak üst çizgisi - eğime ve bu eğimin devam ettiği yatay mesafeye göre - çizilir. Öte yandan duvar arka yüzünün alt kenarından başlamak ve yatay doğru (duvar tabanının uzantısı) ile  $\phi$  açısı (toprağın doğal şev açısı) yapmak üzere çizilecek bir doğru sayesinde doğal şev çizgisi belirlenir.

### 2.1.2 Duvar Ağırlığının Hesaplanması

Duvarın - 1 m uzunluğundaki parçasının - ağırlığı,

$$G = \frac{k+b}{2} \cdot h \cdot \gamma \cdot l$$

eşitliğinde değerler yerine konularak bulunur. Burada  $k$  = duvarın üst genişliği (m),  $b$  = duvarın alt genişliği (m),  $h$  = duvarın yüksekliği (m),  $\gamma$  = yapı malzemesinin 1 m<sup>3</sup> ünün ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>),  $l$  = duvarın uzunluğudur (1 m).

### 2.1.3 Toprak Basıncının Hesaplanması

Duvarın 1 m uzunluğundaki bu kesimini etkileyen toprak basıncının (itki; toprak yükü) kolayca hesaplanabilmesi için, toprak basınç üçgeninin bulunması gerekir.

Toprak basınç üçgeninin grafik yolla (çizim yoluyla) bulunması, daha önce değinildiği üzere Coulomb teorisine dayanılarak geliştirilmiş olan Rebhann yöntemi ile gerçekleştirilir.

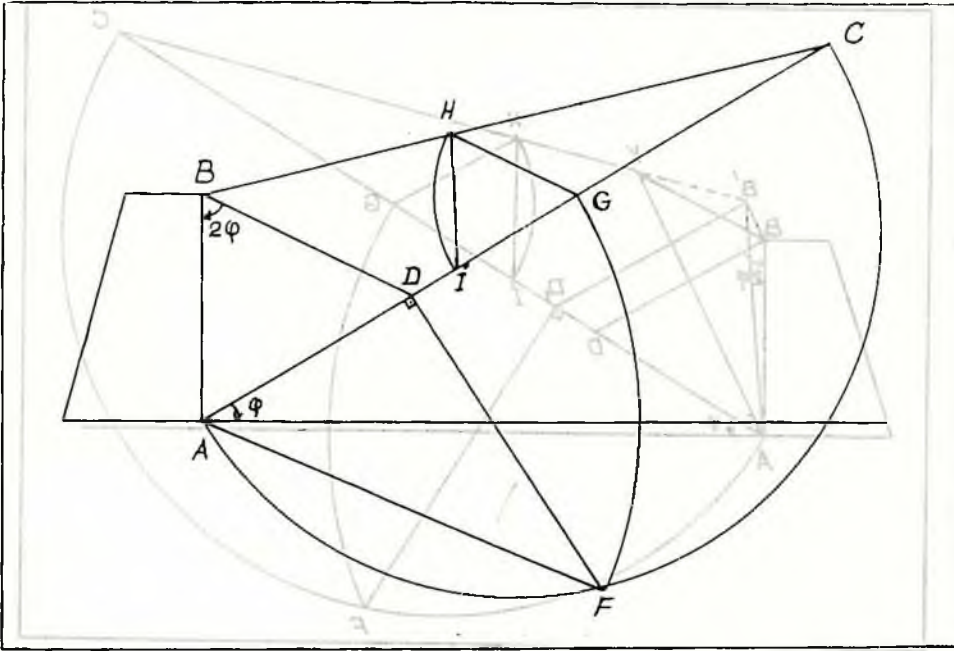
#### 2.1.3.1 Toprak Basıncı Üçgeninin Bulunması

Toprak basınç üçgeninin Rebhann yöntemiyle bulunmasında genellikle üç değişik durumla karşılaşılabilir ve bu durumlar, toprak üst çizgisiyle doğal şev çizgisinin 1) yakın bir mesafede kesişmeleri, 2) uzak bir mesafede kesişmeleri, 3) paralel olmaları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu durumların herbiri için, toprak üst çizgisinin kırıksız (düz) ya da kırıklı olmasına göre de ayrı kombinasyonlar söz konusu olmaktadır.

Şimdi bu durumlar için yöntemin uygulanış biçimini ayrı ayrı gözden geçirelim :

### 2.1.3.1.1 Yakında Kesişme Durumu

Toprak üst çizgisi kırıksız ve düz ise,  $\widehat{ABD} = 2\varphi$  olmak üzere  $\overline{AC}$  üzerinde bir D noktası bulunur (Şekil 10). Bu noktadan  $\overline{AC}$  ye bir dik çıkılarak aşağıya doğru uzatılır. Sonra  $\overline{AC}$  çap olmak üzere bir yarım daire çizilir. Bu yarım daire ile D noktasından  $\overline{AC}$  ye çizilen dikin keşistikleri nokta F olsun. F noktası ile A noktası birleştirilir. A noktası merkez olmak üzere  $\overline{AF}$  yarıçaplı bir daire çizilerek,  $\overline{AC}$  üzerinde bir G noktası bulunur ( $\overline{AF} = \overline{AG}$ ). G noktasından  $\overline{BD}$  ye bir paralel çizilir.

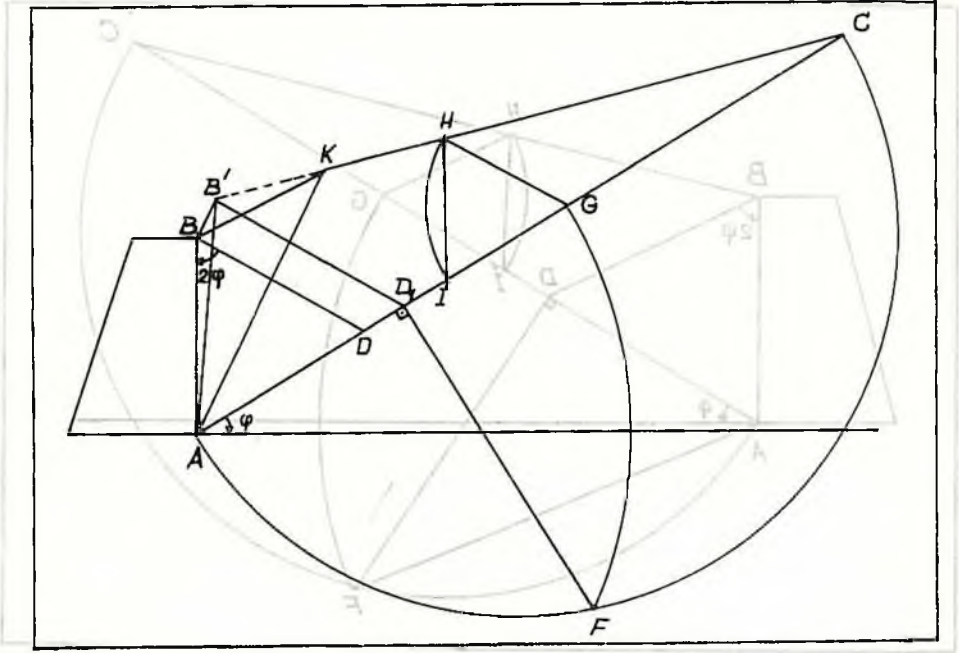


Şekil 10

Bu paralelin toprak üst çizgisini kestiği nokta H olsun. Sonra G noktası merkez olmak üzere  $\overline{GH}$  yarıçaplı bir daire çizilerek  $\overline{AC}$  üzerinde I noktası bulunur ( $\overline{GH} = \overline{GI}$ ). H ve I noktaları birleştirilerek  $\overline{GHI}$  üçgeni elde edilir. Bu üçgen, toprak basınç üçgenidir.

Toprak üst çizgisi kırıklı ise, önce bu kırık doğruyu - aynı değerde yük (toprak basıncı) verecek - kırıksız bir doğruya dönüştürmek gere-

kir. Bu amaçla A ve K noktaları (Şekil 11) birleştirilir. B noktasından  $\overline{AK}$  ye bir paralel çizilir.  $\overline{CK}$  doğrusu, K noktasından itibaren uzatılır. Bu uzantının, B noktasından  $\overline{AK}$  ye çizilen paralele kesişme noktası  $B'$  olsun.  $B'$  noktası ile A noktası birleştirilir. Böylelikle elde edilen  $AB'K$  üçgeni,  $ABK$  üçgeni ile - tabanları ( $\overline{AK}$ ) ortak ve yükseklikleri eşit olduğundan - eşdeğerdedir. Bu nedenle, istinat duvarını etkilediği kabul edilen toprak kitlesinin kesit yüzeyi olarak,  $ABKC$  dörtgeni yerine  $AB'C$  üçgeni,  $\overline{AB}$  yerine de  $\overline{AB'}$  alınabilir. Yani bu durumda toprak yükünün  $AB$  yerine  $\overline{AB'}$  ye dağıldığı kabul edilebilir.



Şekil 11

Böylece toprak yüzeyi kırksız bir çizgiye ( $\overline{B'C}$ ) dönüştürüldükten sonra, işlemler bu yeni duruma göre aşağıdaki biçimde sürdürülür.

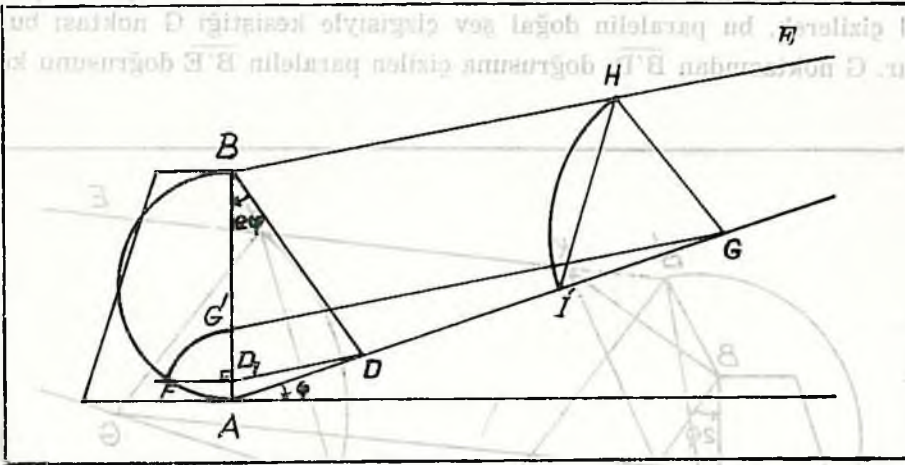
B noktasında  $2\varphi$  açısı işaretlenir ve bu açının  $\overline{BD}$  kenarına,  $B'$  noktasından bir paralel çizilir. Bu paralelin  $\overline{AC}$  yi kestiği  $D_1$  noktasından  $\overline{AC}$  ye bir dik çizilerek, bu dik aşağıya doğru uzatılır. Sonra  $\overline{AC}$  çap olmak üzere bir daire çizilir.  $\overline{AC}$  ye  $D_1$  noktasından çizilen dikle dairenin kesişme noktası  $F$  olsun. A noktası merkez olmak üzere çizilecek



$\overline{AF}$  yarıçaplı daire  $\overline{AC}$  doğrusunu  $G$  noktasında keser. Bu noktadan  $\overline{B'D_1}$  doğrusuna bir paralel çizilerek  $H$  noktası bulunur<sup>1)</sup>.  $G$  noktası merkez olmak üzere çizilecek  $\overline{GH}$  yarıçaplı dairenin  $\overline{AC}$  yi kestiği  $I$  noktası  $H$  ile birleştirilerek basınç üçgeni elde edilir.

### 2.1.3.1.2 Uzakta Kesişme Durumu

Toprak üst çizgisi kırıksız ise,  $B$  noktasında (Şekil 12)  $2\varphi$  açısı işaretlenir ve açı kenarının doğal şev çizgisini kestiği  $D$  noktasından  $\overline{BE}$  ye bir paralel çizilir. Bu paralelin  $\overline{AB}$  yi kestiği  $D_1$  noktasından  $\overline{AB}$  ye bir dik çıkılır. Bu dikin,  $\overline{AB}$  çap olmak üzere çizilecek daireyi kestiği



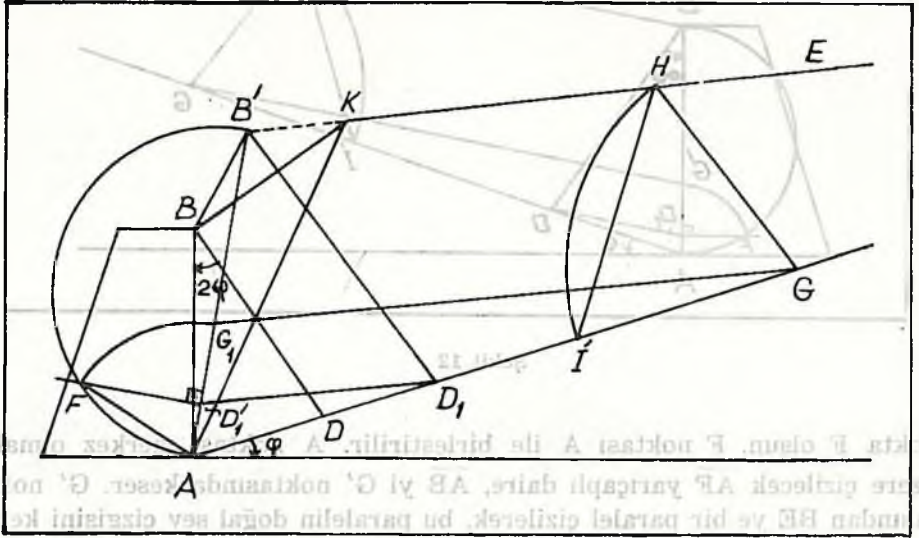
Şekil 12

nokta  $F$  olsun.  $F$  noktası  $A$  ile birleştirilir.  $A$  noktası merkez olmak üzere çizilecek  $\overline{AF}$  yarıçaplı daire,  $\overline{AB}$  yi  $G'$  noktasında keser.  $G'$  noktasından  $\overline{BE}$  ye bir paralel çizilerek, bu paralelin doğal şev çizgisini kestiği  $G$  noktası bulunur. Bu noktadan  $\overline{BD}$  ye çizilecek bir paralel,  $\overline{BE}$  yi  $H$  noktasında keser. Sonra  $G$  noktası merkez ve  $\overline{GH}$  yarıçap olmak üzere

<sup>1)</sup> Bazı durumlarda  $G$  noktasından  $\overline{B'D_1}$  doğrusuna çizilen paralel  $K$  noktasının solundan geçmekte ve hem  $\overline{BK}$ , hem de  $\overline{B'K}$  doğru parçalarını kesmektedir. Böyle durumlarda  $H$  noktası  $\overline{BK}$  üzerinde değil,  $\overline{B'K}$  üzerindedir.

re bir daire çizilerek doğal şev çizgisi üzerinde İ noktası bulunur. H noktası İ ile birleştirilerek GHİ toprak basınç üçgeni elde edilir.

Toprak üst çizgisi kırıklı ise, önce bunun kıriksiz şekle dönüştürülmesi gerekir. Bilinen bu dönüştürme işlemi sonunda bir B' noktası bulunur (Şekil 13). B noktasında işaretlenen  $\widehat{ABD} = 2\phi$  açısının BD kenarına B' noktasından bir paralel çizilir. Bu paralelin doğal şev çizgisini kestiği D<sub>1</sub> noktasından B'E ye bir paralel çizilir. Bunun AB' nü (AB yi değil!) kestiği nokta D<sub>1</sub> olsun. D<sub>1</sub> noktasından AB' ne bir dik çıkılır. Sonra AB' nü çap kabul eden bir daire çizilir ve bu dairenin dikle kestiği F noktası A ile birleştirilir. A noktası merkez, AF yarıçap olmak üzere çizilecek dairenin AB' nü kestiği G<sub>1</sub> noktasından B'E ye bir paralel çizilerek, bu paralelin doğal şev çizgisiyle kestiği G noktası bulunur. G noktasından B'D<sub>1</sub> doğrusuna çizilen paralelin B'E doğrusunu kes-



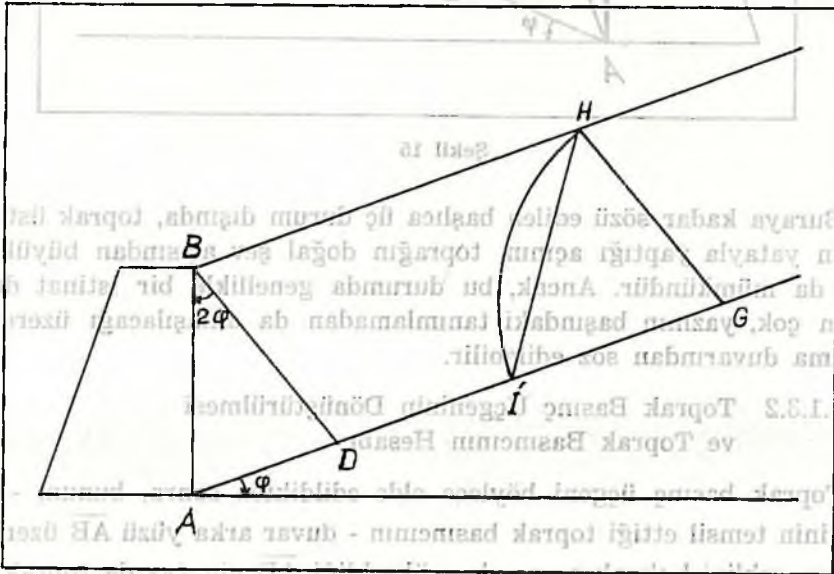
Şekil 13

tiği nokta H olur. (Bu kesişme K noktasının solunda olursa, paralelin BK yi değil, B'K yi kestiği nokta H dir). G noktası merkez ve GH yarıçap olmak üzere çizilecek bir dairenin doğal şev çizgisini kestiği İ noktası H ile birleştirilerek GHİ toprak basınç üçgeni elde edilir.

## 2.1.3.1.3 Paralel Olma Durumu

Toprak üst çizgisi kırıksız ise, B noktasında  $\widehat{ABD} = 2\varphi$  işaretlenir (Şekil 14). Doğal şev çizgisi üzerinde herhangi bir yerde G noktası alınır. Bu noktadan  $\overline{BD}$  ye bir paralel çizilir. Paralelin toprak üst çizgisini kestiği nokta H olsun. G merkezli ve  $\overline{GH}$  yarıçaplı dairenin doğal şev çizgisini kestiği İ noktası H ile birleştirilerek toprak basınç üçgeni elde edilir.

Toprak üst çizgisi kırıklı ise<sup>1)</sup>, - toprak basınç üçgeninin elde edilmesinde gerekli olmamakla birlikte, grafik incelemenin daha sonraki aşamalarında gerekli olduğundan - önce bu çizgi bilinen yolla kırıksız bir doğruya dönüştürülür (Şekil 15).  $\widehat{ABD} = 2\varphi$  alınır. Sonra doğal şev çizgisi üzerinde herhangi bir nokta G olarak işaretlenir. Bu noktadan  $\overline{BD}$  ye (ya da  $\overline{B'D'}$  ne) bir paralel çizilir. Paralelin  $\overline{B'E}$  yi kestiği nokta H olsun. G merkez ve  $\overline{GH}$  yarıçap olmak üzere çizilecek dairenin

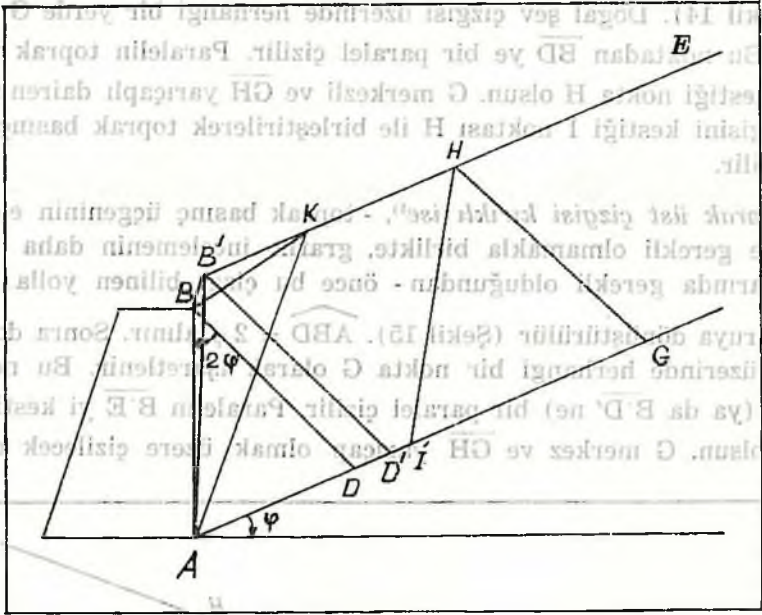


Şekil 14

<sup>1)</sup> Bu durumda doğal olarak kırık çizgilerden yalnız birinin, daha doğrusu ikinci çizginin doğal şev çizgisine paralellığı söz konusudur.



doğal şev çizgisini kestiği  $I$  noktası  $H$  ile birleştirilerek toprak basınç üçgeni elde edilir.



Şekil 15

Buraya kadar sözü edilen başlıca üç durum dışında, toprak üst çizgisinin yatayla yaptığı açının, toprağın doğal şev açısından büyük olması da mümkündür. Ancak, bu durumda genellikle bir istinat duvarından çok, yazının başındaki tanımlamadan da anlaşılacağı üzere bir kaplama duvarından söz edilebilir.

### 2.1.3.2 Toprak Basınç Üçgeninin Dönüştürülmesi ve Toprak Basıncının Hesabı

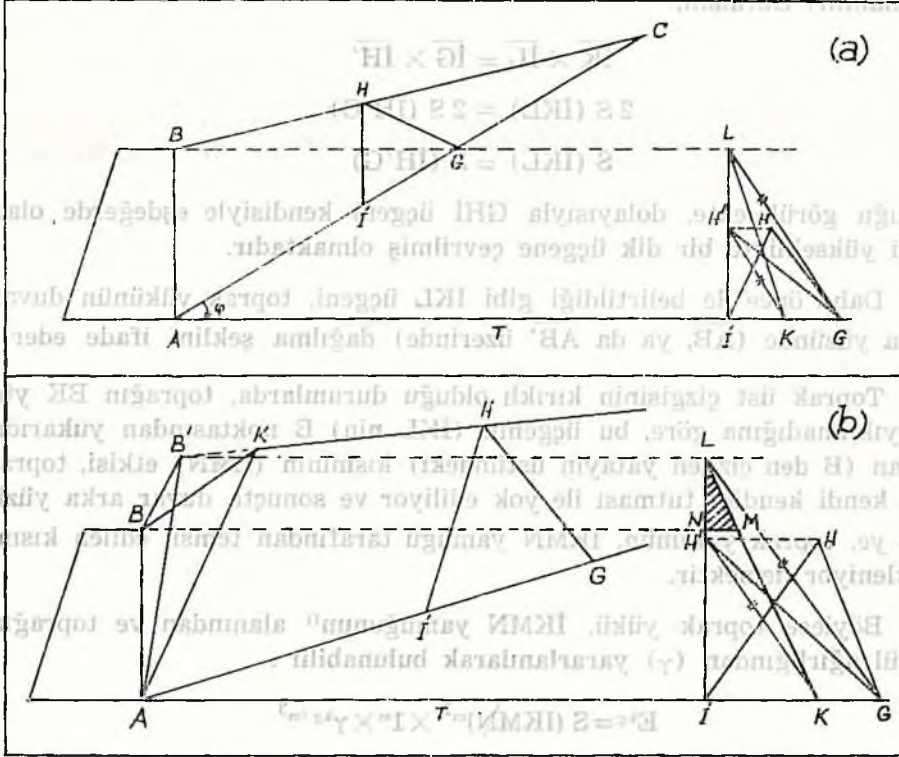
Toprak basınç üçgeni böylece elde edildikten sonra, bunun,  $\triangle GH$  üçgeninin temsil ettiği toprak basıncının - duvar arka yüzü  $\overline{AB}$  üzerinde dağılım şeklini bulmak amacıyla, yüksekliği  $\overline{AB}$  nin (ya da toprak üst çizgisi kırıklı ise  $\overline{AB'}$  nin) yüksekliğine eşit ve alan bakımından da kendisiyle eşdeğerde olan bir üçgene dönüştürülmesi gerekir.

Bu dönüştürme işlemi şöyle yapılmaktadır (Şekil 16 a, b) :

- 1 —  $B$  (toprak üst çizgisi kırıklı ise  $B'$ ) noktasından bir yatay doğru çizilir.

2 —  $\overline{GH}$  toprak basınç üçgeni,  $\overline{IG}$  taban olmak üzere  $\overline{AT}$  yatay doğrusu üzerine taşınır.

3 —  $\hat{I}$  noktasından bir dik çıkılır.



Şekil 16. Toprak basınç üçgeninin dönüştürülmesi

4 —  $H$  noktasından  $\overline{AT}$  ye bir paralel çizilir. Bu paralelin  $\hat{I}$  noktasından çıkılan dikey kestiği  $H'$  noktası  $G$  ile birleştirilir. Böylece elde edilen  $\overline{GH'I}$  dik üçgeninin alanı, - tabanları ortak, yükseklikleri eşit olduğundan -  $\overline{GHİ}$  ikizkenar üçgeninin alanına eşittir.

5 —  $\hat{I}$  noktasından çıkılan dikin  $B$  (ya da  $B'$ ) noktasından çizilen yatayla kesiştiği  $L$  noktası ile  $G$  birleştirilir.

6 —  $H'$  noktasından  $\overline{LG}$  ye bir paralel çizilerek  $K$  noktası bulunur.

7 —  $K$  noktası  $L$  ile birleştirilerek, aranan  $\overline{İKL}$  üçgeni elde edilir.

KH'I ile GLİ üçgenlerinin benzerliğinden;

$$\frac{\overline{IK}}{\overline{IG}} = \frac{\overline{IH'}}{\overline{IL}}$$

yazılabilir. Buradan,

$$\overline{IK} \times \overline{IL} = \overline{IG} \times \overline{IH'}$$

$$2 S (\overline{IKL}) = 2 S (\overline{IH'G})$$

$$S (\overline{IKL}) = S (\overline{IH'G})$$

olduğu görülmekte, dolayısıyla GHİ üçgeni kendisiyle eşdeğerde olan belli yükseklikte bir dik üçgene çevrilmiş olmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi İKL üçgeni, toprak yükünün duvar arka yüzünde (AB, ya da AB' üzerinde) dağılma şeklini ifade eder.

Toprak üst çizgisinin kırıklı olduğu durumlarda, toprağın BK yüzü yıkılmadığına göre, bu üçgenin (İKL nin) B noktasından yukarıda kalan (B den çizilen yatayın üstündeki) kısmının (LMN) etkisi, toprağın kendi kendini tutması ile yok ediliyor ve sonuçta duvar arka yüzü  $\overline{AB}$  ye, toprak yükünün, İKMN yamuğu tarafından temsil edilen kısmı yükleniyor demektir.

Böylece toprak yükü, İKMN yamuğunun<sup>1)</sup> alanından ve toprağın özgül ağırlığından ( $\gamma$ ) yararlanılarak bulunabilir :

$$E^{kg} = S (\overline{IKMN})^m \times 1^m \times \gamma^{kg/m^3}$$

Buraya kadar yapılan işlem ve hesaplar sonucunda birim uzunluk-taki (1 m) istinat duvarının ağırlığı (G) ile, bunu etkileyen toprak itkisi (E) elde edilmiş olmaktadır.

#### 2.1.4 Bileşkenin Belirlenmesi

Duvar, kendi ağırlığının (G) ve toprak itkisinin (E) etkisi altında bulunduğuna göre, bu kuvvetlerin ortak etkilerinin doğrultu ve şiddetini saptamak üzere bileşke kuvveti R nin belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 17 a).

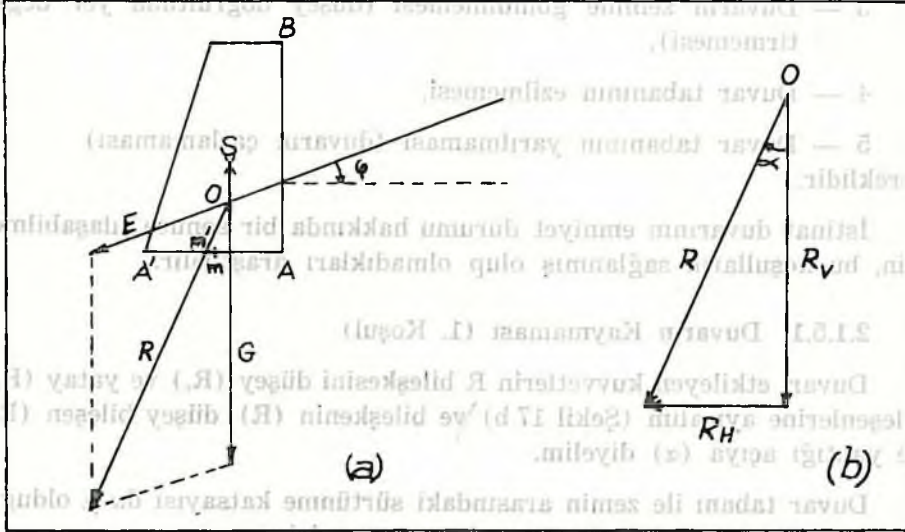
<sup>1)</sup> Toprak yükü, doğrudan doğruya İKL üçgeninin alanı göz önünde bulundurularak da hesaplanabilir. Bu takdirde istinat duvarı daha emniyetli olacak, fakat ekonomik olmayacaktır. Oysa, bilindiği gibi bütün mühendislik yapılarının hem emniyetli, hem de olanaklar ölçüsünde ekonomik olmaları esastır.



Bu amaçla önce duvarı etkileyen  $G$  ve  $E$  kuvvetlerinin doğrultuları belirlenecek ve tatbik noktaları bulunacaktır.

$G$  kuvvetinin doğrultusu, duvar kesitinin ağırlık merkezinden ( $S$ ) geçen bir düşey doğru ile belirlenir.

$E$  kuvvetinin duvar arka yüzünü etkilediği noktayı, toprak itkisini temsil eden üçgenin, ya da - toprak çizgisi kırıklı ise - yamağın ağırlık merkezini duvar arka yüzüne izdüşümleyerek buluruz. Bu noktadan geçmek ve -yatayın üzerinde- yatayla toprağın doğal şev açısı ( $\phi$ ) kadar bir açı yapmak üzere çizilecek bir doğru, toprak itkisinin etkiye doğrultusunu verecektir.



Şekil 17. Bileşkenin (a) ve bileşenlerin (b) belirlenmesi

Bu doğru uzatılarak  $S$  den geçen düşey doğru ile kesiştirilir. Bu doğruların kesişme noktalarından başlanarak belli bir kuvvet ölçeğiyle, örneğin  $1 \text{ cm} = 1000 \text{ kg}$  olmak üzere, düşey doğru üzerinde aşağıya doğru  $G$  kuvveti, toprak itkisinin doğrultusunu belirleyen eğik doğru üzerinde de duvarın hava yüzüne doğru  $E$  kuvveti - yönü belirlenerek - işaretlenir.

Bileşkenin doğrultu ve şiddetini belirlemek için, bir kenarı  $E$  ve bir kenarı da  $G$  olmak üzere meydana getirilecek paralelkenarın köşegenini çizmek yeterlidir.

Böylece elde edilen R bileşkesinin duvar tabanı AA' nü kestiği noktaya m' noktası diyelim.

Bu işleri tamamladıktan sonra, artık duvarın statik emniyet durumunu incelemeye başlayabiliriz.

### 2.1.5 Statik Emniyetin İncelenmesi

İstinat duvarının, kendisinden beklenen görevi emniyetle yerine getirilebilmesi için,

- 1 — Duvarın kaymaması (yatay doğrultuda yer değiştirmemesi),
- 2 — Duvarın devrilmemesi (A' eksenini etrafında dönmemesi),
- 3 — Duvarın zemine gömülmemesi (düşey doğrultuda yer değiştirmemesi),
- 4 — Duvar tabanının ezilmemesi,
- 5 — Duvar tabanının yarılmaması (duvarın çatlamaması)

gereklidir.

İstinat duvarının emniyet durumu hakkında bir sonuca ulaşabilmek için, bu koşulların sağlanmış olup olmadıkları araştırılır.

#### 2.1.5.1 Duvarın Kaymaması (1. Koşul)

Duvarı etkileyen kuvvetlerin R bileşkesini düşey ( $R_v$ ) ve yatay ( $R_H$ ) bileşenlerine ayırılım (Şekil 17 b) ve bileşkenin (R), düşey bileşen ( $R_v$ ) ile yaptığı açıya ( $\alpha$ ) diyelim.

Duvar tabanı ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı da  $\mu$  olduğuna göre, duvarın zemin üzerinde kaymaması için,

$$\operatorname{tg} \alpha = R_H/R_v \leq \mu$$

olmalıdır. Bu amaçla kabul edilebilecek (caiz görülen) bir açı (sürtünme açısı) biliniyorsa ve bu açıyı  $\alpha_{ca}$  ile gösterirsek,

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg} \alpha_{ca}$$

ve dolayısıyla da,

$$\alpha \leq \alpha_{ca}$$

olması gerektiği ortaya çıkar.

Yapılan denemelerden elde edilen sonuçlara göre, toprak zeminler üzerinde caiz görülebilecek sürtünme açısı,

$$\alpha_{ca} \leq 25^\circ$$

dir. Islak killi zeminlerde ise bu açı  $0^\circ$  ye kadar inmektedir (9, s. 171).

Bileşke R nin düşey bileşen  $R_v$  ile yaptığı açı, zemin için caiz görülen sürtünme açısından büyük çıkarsa, kaymayı önlemek amacıyla alınacak tedbirler kısaca,

- Duvarın arka yüzünü eğik yapmak,
- Duvar tabanını eğik yapmak,
- Duvarı tabanından kazıklarla zemine tutturmak,
- Duvar tabanını ve zemini dişlendirmek

olabilir (Şekil 18).

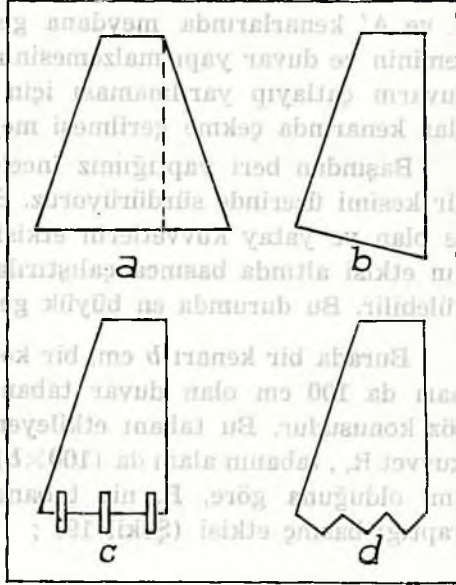
### 2.1.5.2 Duvarın Devrilmemesi (2. Koşul)

R bileşkesinin yatay bileşeni ( $R_H$ ) duvarı taban dış kenarı üzerinde (A' noktası çevresinde) döndürerek devirmeğe, düşey bileşeni ( $R_v$ ) ise bu devrilmeyi önlemeğe çalışır. O halde yatay ve düşey bileşenlerin dönme noktasına (A' noktasına) göre momentlerini düşünersek, duvarın devrilmemesi için

$$M_{R_v} \geq M_{R_H}$$

olmalıdır. Başka bir deyişle,  $M_R = M_{R_H} + M_{R_v} > 0$  ise, yani bileşkenin momenti pozitif (+) ise duvar devrilmez.

Pratik olarak duvarın devrilmemesi için, bileşke (R) nin duvar tabanını kestiği  $m'$  noktasının taban içinde, yani A ve A' noktaları arasında bulunması, A' noktasının dışına çıkmaması gereklidir.



Şekil 18. Duvarın kaymasını önleyici başlıca tedbirler



### 2.1.5.3 Duvarın Zemine Gömülmemesi, Duvar Tabanının Ezilmemesi ve Yarılmaması (3., 4. ve 5. Koşullar)

İstinat duvarının zemine gömülmemesi ve duvar tabanının ezilmemesi için, R bileşkesinin düşey bileşeni  $R_v$  nin yaptığı basınçtan dolayı A ve A' kenarlarında meydana gelen  $K_A$  ve  $K_A'$  kenar gerginlikleri, zeminin ve duvar yapı malzemesinin mukavemetini aşmamalıdır. Ayrıca duvarın çatlayıp yarılmaması için de duvar tabanının bileşkeye uzak olan kenarında çekme gerilmesi meydana gelmemesi gereklidir.

Başından beri yaptığımız incelemeleri duvarın 1 m uzunluğundaki bir kesimi üzerinde sürdürüyoruz. Bu duvar kesimi, tabanından ankastre olan ve yatay kuvvetlerin etkisi altında eğilmeye ve kendi ağırlığının etkisi altında basınca çalıştırılan bir prizmatik çubuk olarak düşünülebilir. Bu durumda en büyük gerilmeler taban düzeyinde doğacaktır.

Burada bir kenarı  $b$  cm, bir kenarı da 100 cm olan duvar tabanı söz konusudur. Bu tabanı etkileyen kuvvet  $R_v$ , tabanın alanı da  $(100 \times b)$   $\text{cm}^2$  olduğuna göre,  $R_v$  nin tabana yaptığı basınç etkisi (Şekil 19) ;

$$\sigma_m = \frac{P}{F} = \frac{R_v}{100 \cdot b}$$

dir. Buna merkezsiz basınç diyelim.

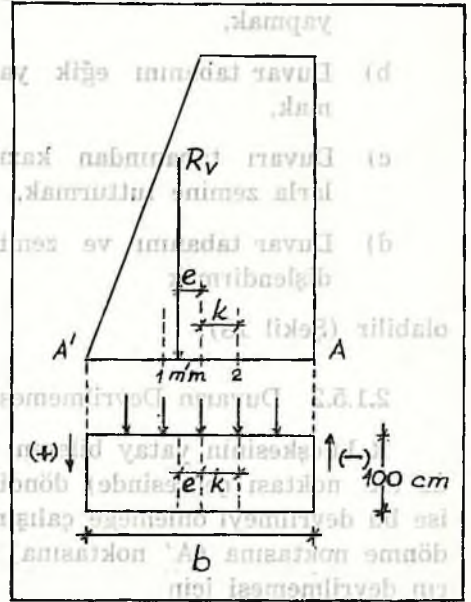
Duvar tabanının A ve A' kenarlarındaki gerginliklerin hesabında ise, döndürme etkisi (eğilme zorlanması) de söz konusudur. Eğilme zorlanması, bilindiği gibi,

$$\sigma_k = \frac{M}{W} = \frac{R_v \cdot e}{F \cdot k}$$

dır. Burada  $M$  = moment (kg.cm),  $W$  = mukavemet momenti ( $\text{cm}^3$ ),  $e$  = eksantrisite miktarı (cm) (duvar tabanını etkileyen kuvvetin duvar orta noktasından uzaklığı),  $F$  = taban alanı ( $\text{cm}^2$ ) (etkilenen yüzey),  $k$  = çekirdek mesafesi ( $b/6$ ) (cm) dir. Bu nedenle,

$$\sigma_k = \frac{R_v \cdot e}{100 \cdot b \cdot \frac{b}{6}}$$

olmaktadır.



Şekil 19

Kenar gerginliklerini hesaplamak için,  $R_v$  bileşeninin basınç etkisiyle döndürme etkisini cebirsel olarak toplamak gerekir. Yani,

$$\sigma_{A,A'}(K_{A,A'}) = \sigma_m + \sigma_k = \frac{R_v}{100b} \pm \frac{R_v \cdot e}{100 \cdot \frac{b}{6}}$$

$$(B) \quad \sigma_{A,A'} = \frac{R_v}{100b} \left( 1 \pm \frac{6e}{b} \right)$$

Bu eşitlikten yararlanılarak hesap yapılırken,  $R$  bileşkesinin yakın olduğu kenar ( $A'$ ) için işaret (+),  $R$  bileşkesinin uzak olduğu kenar ( $A$ ) için ise işaret (—) olacaktır. O halde :

$$\sigma_{A'}(K_{A'}) = \frac{R_v}{100b} \left( 1 + \frac{6e}{b} \right)$$

$$\sigma_A(K_A) = \frac{R_v}{100b} \left( 1 - \frac{6e}{b} \right)$$

dir. Ya da,  $R_v/100 \cdot b$  ifadesine daha önce merkezsiz basınç dediğimize ve bunu  $\sigma_m$  ile gösterdiğimizize göre, bu eşitlikleri daha kısa olarak,

$$\sigma_{A'} = \sigma_m \left( 1 + \frac{6e}{b} \right)$$

$$\sigma_A = \sigma_m \left( 1 - \frac{6e}{b} \right)$$

biçiminde de yazabiliriz.

Bunlardan biri diğerinden büyük olacaktır. Bizim şeklimizde  $\sigma_{A'}(K_{A'}) > \sigma_A(K_A)$  dır. Bu durumda  $\sigma_{A'}$ 'ne  $\sigma_{max}$  dersek, bu değer zemin ve duvar yapı malzemesi için caiz görülen  $\sigma_{ca_z}$  ve  $\sigma_{ca_d}$  değerleriyle karşılaştırılması gerekir. Bu karşılaştırma sonucunda ;

$$\sigma_{ca_z} > \sigma_{max} \quad \text{ise zemin ezilmez.}$$

$$\sigma_{ca_z} < \sigma_{max} \quad \text{ise zemin ezilir.}$$

$$\sigma_{ca_d} > \sigma_{max} \quad \text{ise duvar ezilmez.}$$

$$\sigma_{ca_d} < \sigma_{max} \quad \text{ise duvar ezilir.}$$

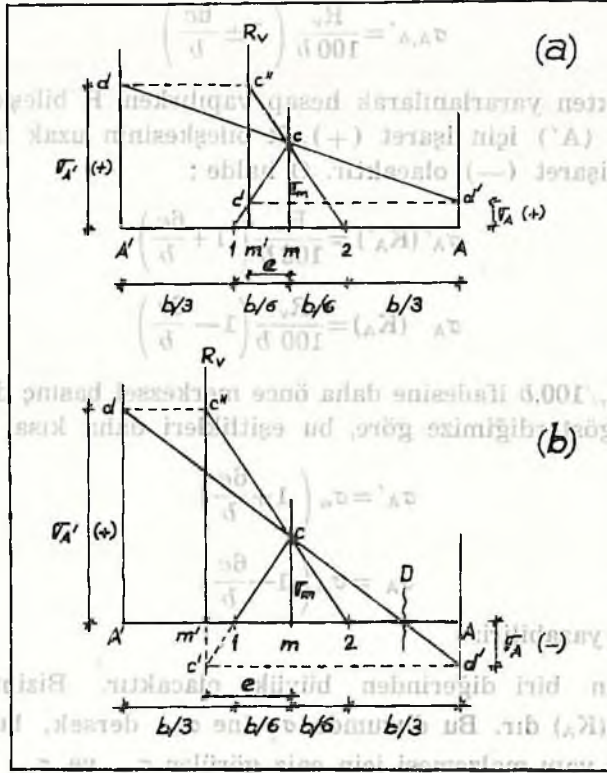
$$\sigma_{ca_d} > \sigma_{max} > \sigma_{ca_z} \quad \text{ise zemin ezilir, duvar ezilmez.}$$

$$\sigma_{ca_d} < \sigma_{max} < \sigma_{ca_z} \quad \text{ise duvar ezilir, zemin ezilmez.}$$

$$\sigma_{ca_d} > \sigma_{max} < \sigma_{ca_z} \quad \text{ise duvar ve zemin ezilmez.}$$

Son durum, yani hem duvarın, hem de zeminin ezilmemesi için gerekli olan  $\sigma_{ca_d} > \sigma_{max} < \sigma_{ca_z}$  koşulu, duvarın statik emniyeti için sağlanmak zorundadır.

Yukarıda sözü edilen inceleme grafik olarak şöyle yapılır (Şekil: 20):



Şekil 20. Kenar gerginliklerinin grafik yöntemle bulunması

— Duvar tabanını temsil eden AA' doğrusu yatay olarak çizilir ve bunun orta noktası (m) ile çekirdek mesafesini belirleyen 1 ve 2 noktaları ve bileşkenin tabanı kestiği m' noktası işaretlenir.

— A', m', m ve A noktalarından birer dik çıkarılır.

— m noktasından çıkılan dik üzerinde belli bir basınç ölçeğiyle merkezsiz basınç  $\left(\sigma_m = \frac{R_v}{100 \cdot b}\right)$  işaretlenerek c noktası belirlenir.



— 1 ile  $c$  noktaları birleştirilerek, bunun  $m'$  noktasından çıkılan diki ( $R_v$  yi) kestiği nokta ( $c'$ ) işaretlenir:

$m'c' = \sigma_A$  dır ;  $c'$  noktası A noktasından çıkılan dik üzerine izdüğümlenerek  $d'$  noktası belirlenir.

— 2 ile  $c$  noktaları birleştirilerek uzatılır, bunun  $m'$  noktasından çıkılan diki kestiği nokta ( $c''$ ) işaretlenir.

$m'c'' = \sigma_A'$  dür;  $c''$  noktası A' noktasından çıkılan dik üzerine izdüğümlenerek  $d$  noktası belirlenir.

—  $d$  ile  $d'$  noktaları birleştirilir ve böylece basıncın tabana dağılışı biçimi bulunmuş olur.

Bu grafik inceleme sonunda duvar tabanındaki basınç dağılımı Şekil 20 a'daki gibi çıkıyorsa, yani hem  $\sigma_A$ , hem de  $\sigma_A'$  nün işareti (+) ise, her iki kenarda da basınç gerilmeleri söz konusudur. Bu durumda, bileşkenin yakın olduğu kenardaki basıncın zemin ve duvar yapı malzemesi için caiz görülen zorlanmayı aşmaması, emniyet bakımından yeterlidir.

Tabandaki basınç dağılımının Şekil 20 b'deki gibi çıkması, yani kenar gerginliklerinden birinin (+), diğerinin (—) işaretli olması halinde ise bir kenarda basınç, diğer kenarda ise çekme gerilmesi söz konusudur ve duvarda çatlama ya da yarılma meydana gelir. <sup>1)</sup>

Bileşkenin uzak olduğu kenardaki gerilme,

$$\sigma_A = \frac{R_v}{100 \cdot b} \left( 1 - \frac{6e}{b} \right)$$

olduğuna göre, bu gerilmenin işareti doğrudan doğruya  $6e/b$  terimine bağlıdır. Dolayısıyla,

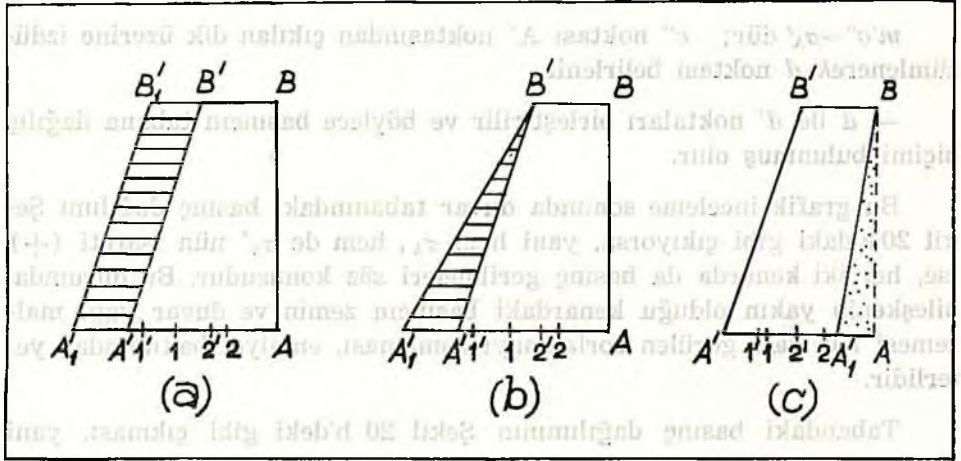
—  $6e/b > 1$ , yani  $e > b/6$  ise, başka bir deyişle  $m'$  noktası çekirdek noktalarının (1 ve 2 nin) dışında bulunuyorsa,  $m'$  noktasının uzak olduğu kenarda çekme gerilmesi meydana gelmekte ve duvarın çatlaması söz konusu olmaktadır.

—  $6e/b = 1$ , yani  $e = b/6$  ise, başka bir deyişle  $m'$  noktası çekirdek noktalarından biri üzerinde bulunuyorsa,  $m'$  noktasının uzak olduğu kenarda hiçbir basınç ya da çekme gerilmesi meydana gelmez.

<sup>1)</sup> Kurutaş ve harçtaş duvarlarda çekme gerilmesi kabul edilmez. Beton duvarlarda ise 1-1.5 kg/cm<sup>2</sup> yi aşmayan çekme gerilmeleri kabul edilebilir.

—  $6e/b < 1$ , yani  $e < b/6$  ise, başka bir deyişle  $m'$  noktası çekirdek mesafesi içinde (1 ve 2 noktaları arasında) bulunuyorsa, her iki kenarda da basınç gerilmeleri meydana gelir.

Bu üç durumdan yalnız birincisinde duvarın çatlaması ve yarılması söz konusu olup, diğer iki durumda böyle bir tehlike yoktur.



Şekil 21. Duvarın çatlamasını önleyici bazı tedbirler

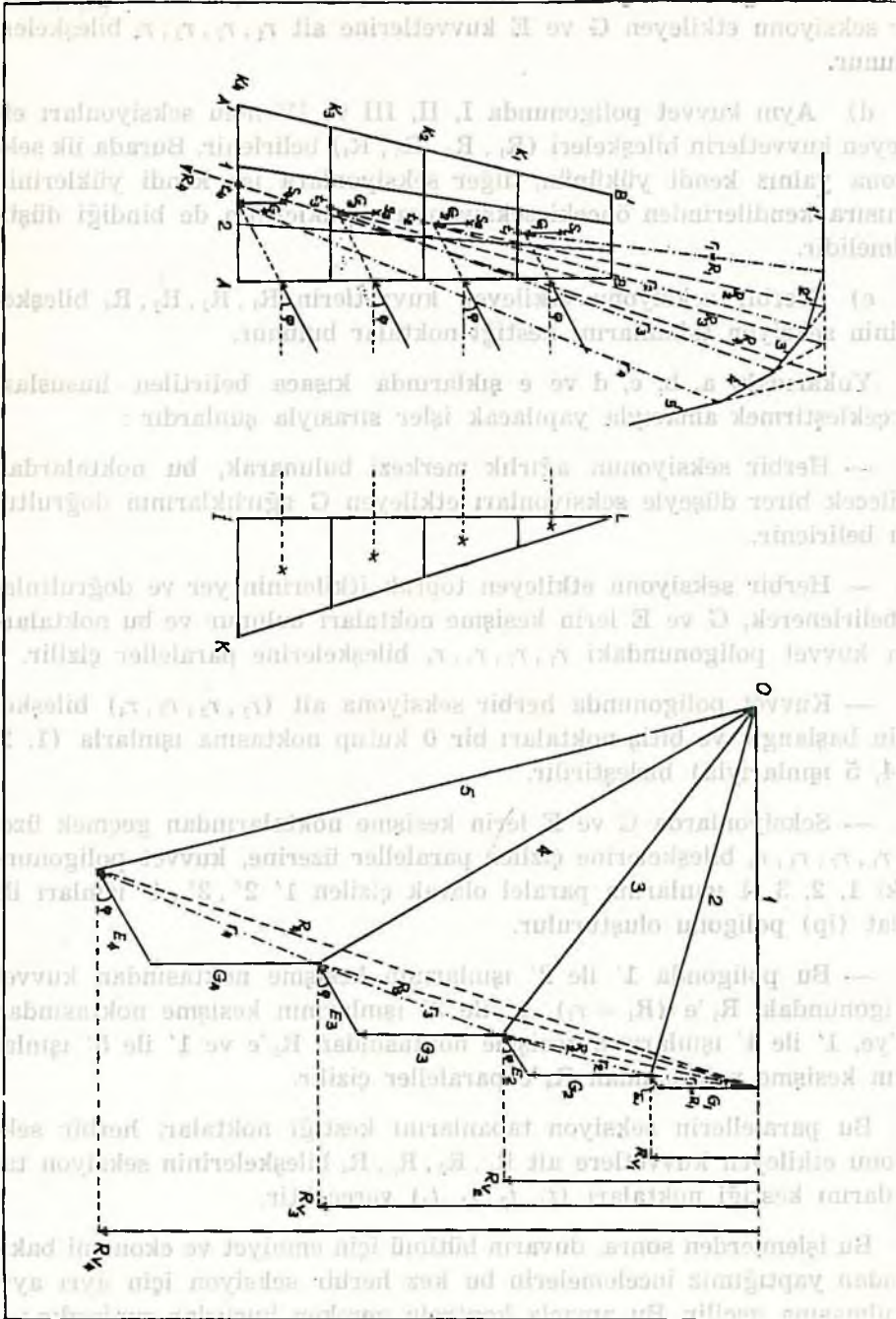
Bu açıklamalardan anlaşıldığı üzere, duvarın çatlamaması için bileşekenin çekirdek noktaları arasında kalması gereklidir. Bunun sağlanması, duvar kesitinin, ya da - ön yüz eğimi arttırılmak suretiyle - duvar tabanının büyütülmesiyle mümkündür (Şekil 21 a, b). Fakat böyle bir işlem masrafı da arttıracığından, aksine - duvar arka yüzünü eğik yaparak tabanı daraltmak suretiyle - duvar kesitini küçülterek amaca ulaşmak düşünülmelidir (Şekil 21 c).

## 2.2 DUVARIN SEKSİYONLARA AYRILARAK İNCELENMESİ

a) Duvar ve toprak yükü (arazi çizgisinin kırık olduğu durumlarda üçgen, kırıklı olduğu durumlarda trapez), yatay çizgilerle — çoğunlukla birbirine eşit yükseklikte ve normal olarak 3-4 ü aşmamak üzere — yeter sayıda seksiyonlara ayrılarak bu seksiyonlar yukarıdan aşağıya doğru numaralanır (Şekil 22).

b) Duvarın seksiyonlarına ait ağırlıklar ( $G_I, G_{II}, G_{III}, G_{IV}$ ) ve toprak yükleri ( $E_I, E_{II}, E_{III}, E_{IV}$ ), bilinen esaslara göre hesaplanır.





Şekil 22. Duvarın seksiyonlara ayrılarak incelenmesi



c) Bu ağırlık ve yüklerle bir kuvvet poligonu çizilerek (Şekil 22), her seksiyonu etkileyen G ve E kuvvetlerine ait  $r_1, r_2, r_3, r_4$  bileşkeleri bulunur.

d) Aynı kuvvet poligonunda I, II, III ve IV nolu seksiyonları etkileyen kuvvetlerin bileşkeleri ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ) belirlenir. Burada ilk seksiyona yalnız kendi yükünün, diğer seksiyonlara ise kendi yüklerinin yanısıra kendilerinden önceki seksiyonların yüklerinin de bindiği düşünülmelidir.

e) Herbir seksiyonu etkileyen kuvvetlerin  $R_1, R_2, R_3, R_4$  bileşkelerinin seksiyon tabanlarını kestiği noktalar bulunur.

Yukarıdaki a, b, c, d ve e şıklarında kısaca belirtilen hususları gerçekleştirmek amacıyla yapılacak işler sırasıyla şunlardır :

— Herbir seksiyonun ağırlık merkezi bulunarak, bu noktalardan çizilecek birer düşeyle seksiyonları etkileyen G ağırlıklarının doğrultuları belirlenir.

— Herbir seksiyonu etkileyen toprak itkilerinin yer ve doğrultuları belirlenerek, G ve E lerin kesişme noktaları bulunur ve bu noktalardan kuvvet poligonundaki  $r_1, r_2, r_3, r_4$  bileşkelerine paraleller çizilir.

— Kuvvet poligonunda herbir seksiyona ait ( $r_1, r_2, r_3, r_4$ ) bileşkelerin başlangıç ve bitiş noktaları bir 0 kutup noktasına ışınlarla (1, 2, 3, 4, 5 ışınlarıyla) birleştirilir.

— Seksiyonlarda G ve E lerin kesişme noktalarından geçmek üzere  $r_1, r_2, r_3, r_4$  bileşkelerine çizilen paraleller üzerine, kuvvet poligonundaki 1, 2, 3, 4 ışınlarına paralel olarak çizilen  $1' 2', 3', 4'$  ışınları ile halat (ip) poligonu oluşturulur.

— Bu poligonda  $1'$  ile  $2'$  ışınlarının kesişme noktasından kuvvet poligonundaki  $R_1$ 'e ( $R_1 = r_1$ ),  $1'$  ile  $3'$  ışınlarının kesişme noktasından  $R_2$ 'ye,  $1'$  ile  $4'$  ışınlarının kesişme noktasından  $R_3$ 'e ve  $1'$  ile  $5'$  ışınlarının kesişme noktasından  $R_4$ 'e paraleller çizilir.

Bu paralellerin seksiyon tabanlarını kestiği noktalar, herbir seksiyonu etkileyen kuvvetlere ait  $R_1, R_2, R_3, R_4$  bileşkelerinin seksiyon tabanlarını kestiği noktaları ( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ) verecektir.

Bu işlemlerden sonra, duvarın bütünü için emniyet ve ekonomi bakımından yaptığımız incelemelerin bu kez herbir seksiyon için ayrı ayrı yapılmasına geçilir. Bu amaçla kontrolü gereken hususlar şunlardır :

1. *Seksiyonlar birbiri üzerinde kaymamalıdır.* Bu koşulun gerçekleşmesi için, seksiyon tabanlarını etkileyen  $R_1, R_2, R_3$  bileşkelerinin düşeyle yaptıkları  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  açıları, duvar içinde (duvar yapı malzemesi ile duvar yapı malzemesi arasında) caiz görülebilen sürtünme açısından ( $\alpha_{ca} = 35^\circ$ ) küçük olmalıdır.

Böyle bir tehlike, kritik durumlarda, duvarı oluşturan taş sıralarının geriye doğru eğik yapılmalarıyla önlenabilir.

2. *Seksiyonlar, kendi tabanlarının dış kenarları üzerinde dönerek devrilmemelidir.* Bu koşulun gerçekleşmesi için, herbir seksiyonu etkileyen  $R_1, R_2, R_3$  bileşkelerinin seksiyon tabanları içinde bulunmaları gerekir.

3. *Seksiyonlar bir alttaki seksiyonlar içine gömülmemeli, daha doğrusu seksiyon tabanları ezilmemelidir.* Bu koşul, seksiyon tabanlarındaki maksimum basınç zorlanmalarının ( $\sigma_{max}$ ) duvar yapı malzemesi için caiz görülen basınç zorlanmasını ( $\sigma_{ca,d}$ ) aşmamalarıyla gerçekleşir.

4. *Seksiyonların çatlayıp yarılmamaları için, seksiyonların bileşkelerden uzak kenarlarında çekme gerilmeleri meydana gelmemelidir.* Bu koşul, seksiyonlara ait kenar gerilmeleri hesaplanarak kontrol edilir.

### 2.3 GRAFİK YÖNTEM UYGULANMASINDA DIKKAT EDİLMESİ GEREKEN ÖNEMLİ NOKTALAR

Bütün proje çizimlerinde olduğu gibi burada da ölçek çok önemlidir. Çizime başlamadan uygun ölçeklerin belirlenmesi (örneğin şekil ölçeği 1/50, kuvvet ölçeği 1 cm = 1000 kg, basınç ölçeği 1 cm = 1 kg/cm<sup>2</sup>) ve çizim sırasında bu ölçeklere özenle uyulması gerekir. Çizimin ince uçlu bir kalemle yapılması, grafik yolla bulunacak sonuçların hesap yoluyla bulunanlarla uyuşması bakımından yarar sağlar.

Normal olarak seksiyonların ağırlıkları toplamının, duvarın bütünüünün ağırlığı ile, seksiyonları etkileyen toprak basınçları toplamının da duvarın bütünüünü etkileyen toprak basıncı ile aynı olması gerekir. Ancak bunun her zaman gerçekleşmesi olanağı yoktur ve ikisi arasında çoğu kez bir miktar fark çıkar. Bu farkların, pek önemli olmaması -örneğin 100 kg 1 aşmaması- halinde, seksiyonlara ağırlıklı olarak dağıtılmaları gerekmektedir. Bu ağırlıklı dengeleme şöyle yapılır :

Duvarın bütünüünün ağırlığının  $G_d = 10\ 240$  kg, seksiyonların ağırlıklarının ise,



$$\begin{aligned}
 G_I &= 1\,983 \text{ kg} \\
 G_{II} &= 2\,330 \text{ kg} \\
 G_{III} &= 2\,725 \text{ kg} \\
 G_{IV} &= 3\,120 \text{ kg} \\
 \hline
 \Sigma G_s &= 10\,158 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

olarak hesaplandığını kabul edelim. Bu durumda seksiyonların ağırlıkları toplamı, duvarın bütününe ağırlığından farklı (eksik) bulunmaktadır ve fark,

$$\Delta G = G_d - \Sigma G_s = 10\,240 - 10\,158 = 82 \text{ kg}$$

dır. Bu farkın giderilmesi, yani seksiyonlara kendi ağırlıklarıyla orantılı ölçülerde dağıtılması (bu örnekte eklenmesi) gerekir. Herbir seksiyona düşen farkı hesaplamak için, birim ağırlık başına düşen farkın seksiyon ağırlıklarıyla ayrı ayrı çarpılması yeterlidir. Yani,

$$\Delta G_I = \frac{\Delta G}{\Sigma G_s} \times G_I = \frac{82}{10\,158} \times 1983 = \frac{162\,606}{10\,158} = 16.00 \text{ kg}$$

$$\Delta G_{II} = \frac{\Delta G}{\Sigma G_s} \times G_{II} = \frac{82}{10\,158} \times 2330 = \frac{191\,060}{10\,158} = 18.80 \text{ kg}$$

$$\Delta G_{III} = \frac{\Delta G}{\Sigma G_s} \times G_{III} = \frac{82}{10\,158} \times 2725 = \frac{223\,450}{10\,158} = 22.00 \text{ kg}$$

$$\Delta G_{IV} = \frac{\Delta G}{\Sigma G_s} \times G_{IV} = \frac{82}{10\,158} \times 3120 = \frac{255\,840}{10\,158} = 25.20 \text{ kg}$$

olacaktır. Buna göre de seksiyonların dengelenmiş ağırlıkları,

$$G_{Id} = G_I + \Delta G_I = 1983 + 16 = 1999 \text{ kg}$$

$$G_{IId} = G_{II} + \Delta G_{II} = 2330 + 18.80 = 2348.8 \text{ kg}$$

$$G_{IIId} = G_{III} + \Delta G_{III} = 2725 + 22 = 2747 \text{ kg}$$

$$G_{IVd} = G_{IV} + \Delta G_{IV} = 3120 + 25.20 = 3145.20 \text{ kg}$$

olarak bulunur.

Seksiyonlara gelen toprak basınçları toplamının duvarın bütününe etkileyen toprak basıncından farklı çıkması halinde de dengeleme aynı yolla yapılacaktır.

Dengelemenin yapılmasından sonra çizilecek kuvvet poligonundan elde edilecek  $R_{V4}$  ün, daha önce duvarın bütünü için bulunan  $R_V$  ile aynı



büyüklikte olması gerekir. Bu eşitlik sağlanmamışsa, kuvvet poligonundaki  $G_I, G_{II}, G_{III}, G_{IV}$  ve  $E_I, E_{II}, E_{III}, E_{IV}$  kuvvetlerinin büyüklüklerini, ayrıca  $E_I, E_{II}, E_{III}$  ve  $E_{IV}$  ün doğrultularının yatayla yaptıkları  $\phi$  açılarının doğru ve tam olup olmadıklarını kontrol etmek gerekecektir.

Halat poligonundan yararlanılarak bulunan — seksiyonları etkileyen kuvvetlere ait — bileşkelerin seksiyon tabanlarını kestiği noktalar ( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ) her seksiyon tabanının çekirdek mesafesi içinde olmalıdır. Normal olarak en alttaki seksiyon tabanına ait  $t$  noktasının ( $t_4$ ),  $m'$  noktası ile çakışması gerekir. Çizim sonucunda bundan farklı bir durumun ortaya çıkması halinde, paralellerin çizimleri kontrol edilmeli ve hata giderilmelidir.

Bu ayrıntıların yanısıra, bütün projelerde aranan düzen ve esaslara her zaman dikkat edilmesi ve grafik incelemenin her aşamasında gerekli işlerin titizlikle yapılması, sonucu ve başarıyı etkileyen önemli bir faktördür.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. Douglas, W. J. 1946  
«Masonry and Masonry Structures»  
American Civil Engineers' Handbook, Section 10.  
John Wiley and Sons, Inc., New York.
2. D.S.İ. 1966  
«İstinat Duvarları»  
D.S.İ. Genel Yayın No. 560, Ankara.
3. D.S.İ. 1970  
«D.S.İ. Ajandası — 1970»  
D.S.İ. Matbaası, Ankara.
4. E.N.E.F. 1964  
«Les Murs de Soutenement»  
Cours de Routes Forestières, R-7-C.  
Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy.
5. Santur, F. 1933  
«Mukavemet ve Muvazenet-i Tersimiye Dersleri»  
2. Cilt, İstanbul.
6. Snelling, G.T. 1946  
«Retaining-Walls, Breast-Walls and Vault-Walls»  
Architects' and Builders' Handbook, Chapter IV.  
John Wiley and Sons, Inc., London.

7. Tavşanoğlu, F. 1952  
«İstinad ve Kaplama Duvarlarında Muvazene (Statik) Emniyetinin Grafik Olarak İncelenmesi»  
İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt II, Sayı 2.
8. Tavşanoğlu, F. 1965  
«İstinad ve Kaplama Duvarlarında Toprak Basınç Teorisinin Basit Yoldan Değerlendirilmesi»  
İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt XV, Sayı 1.
9. Tavşanoğlu, F. 1973  
«Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları»  
İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 182, İstanbul.
10. Terzaghi, K. - Peck, R. B. 1962  
«Soil Mechanics in Engineering Practise»  
John Wiley and Sons, Inc., New York - London.
11. Tümerkan, F. C. 1976  
«İstinad Duvarları»  
Arpaz Matbaası, İstanbul.

## KAYNAKÇA

1. Terzaghi, K. B. 1943  
-Soil Mechanics and Foundations Engineering  
-McGraw-Hill Engineering Handbook, Edition 10  
John Wiley and Sons, Inc. New York.
2. Peck, R. B. 1969  
-Soil Mechanics  
-Soil Mechanics and Foundations Engineering  
-McGraw-Hill Engineering Handbook, Edition 10  
John Wiley and Sons, Inc. New York.
3. Peck, R. B. 1970  
-Soil Mechanics and Foundations Engineering  
-McGraw-Hill Engineering Handbook, Edition 10  
John Wiley and Sons, Inc. New York.
4. Terzaghi, K. B. 1943  
-Soil Mechanics and Foundations Engineering  
-McGraw-Hill Engineering Handbook, Edition 10  
John Wiley and Sons, Inc. New York.
5. Terzaghi, K. B. 1943  
-Soil Mechanics and Foundations Engineering  
-McGraw-Hill Engineering Handbook, Edition 10  
John Wiley and Sons, Inc. New York.
6. Terzaghi, K. B. 1943  
-Soil Mechanics and Foundations Engineering  
-McGraw-Hill Engineering Handbook, Edition 10  
John Wiley and Sons, Inc. New York.