

İSTİNAT YAPILARINA ETKİYEN TOPRAK BASINÇLARI

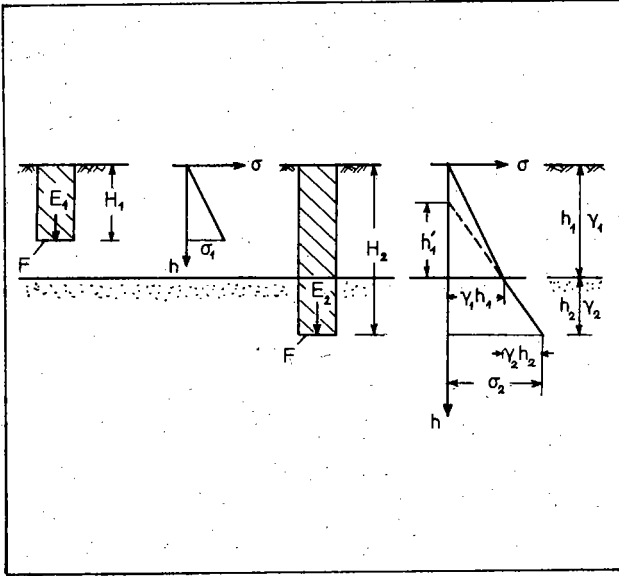
Yazan: Erol ÖZGEN*

1. GİRİŞ

Birim hacim ağırlığı γ_1 olan zeminin H_1 derinliğinde F alanına gelen düşey E_1 yükü

$$E_1 = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot F \quad \text{ve birim alana gelen düşey basınç gerilmesi}$$

$$\sigma_1 = E_1 : F = \gamma_1 \cdot H_1 \quad \text{dir (Şekil: 1).}$$



Şekil: 1

İki farklı tabakadan meydana gelen zeminlerde ($\gamma_2 > \gamma_1$) σ gerilme çizgisi, (Şekil: 1) de görüldüğü gibi, bir diz noktası meydana getirir. Burada h_1

bir diz noktası meydana getirir. Burada $h_1' \cdot \gamma_2 = h_1 \cdot \gamma_1$ veya $h_1' = h_1 \cdot \gamma_1 : \gamma_2$ olup

$$E_2 = (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2) \cdot F = \gamma_2 \cdot (h_1' + h_2) \cdot F \quad \text{ve}$$

$$\sigma_2 = E_2 : F = \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 = \gamma_2 \cdot (h_1' + h_2) \quad \text{yazılır. Eğer } \gamma_2 < \gamma_1 \text{ ise, } h_1' > h_1 \text{ dir.}$$

İstinat yapısına etkiyen toprak basıncı, yukarıda adı geçen σ düşey gerilmelerinden faydalanarak hesaplanır.

Tabii şev açısından daha büyük bir açı altında tutulan zeminin istinat duvarının birim uzunluğuna yaptığı aktif toprak basıncı E_a ile gösterilirse, birim alana gelen e_a basınç gerilmesi (aktif basınç ordinatı) K_a katsayısı yardımıyla σ düşey basınç gerilmesinden hesaplanır. Buna karşılık eğer istinat yapısı toprağa doru yeter miktarda hareket ederse E_p pasif toprak basıncı doğar ($E_p > E_a$).

E_p ve e_p (pasif basınç ordinatı) değerleri de K_p katsayısı yardımıyla σ düşey gerilmesinden hesaplanır.

$E_a(E_p)$ nin doğması için, istinat yapısının topraktan ileriye yeter miktarda hareket etmesi (istinat yapısının toprağa doğru yeter miktarda hareket etmesi) gerekir. Konstruksiyon şartları nedeniyle bu tip hareketler mümkün değil veya böyle hareketlere müsaade edilmiyorsa, bu takdirde meydana gelen yanal basınca sükunetteki toprak basıncı denir ve E_0 ile gösterilir. Bu basıncın değeri K_0 katsayısı yardımıyla gene σ düşey gerilmesinden hesaplanır. Özet olarak

$$e_a = \sigma \cdot K_a, \quad e_p = \sigma \cdot K_p, \quad e_0 = \sigma \cdot K_0$$

ve daima $e_a < e_0 < e_p$, $E_a < E_0 < E_p$ dir.

K katsayıları formüller, tablolar ve nomogramlar yardımıyla bulunur. Bu sayılar zeminin ϕ içsel sürtünme açısına, zeminle istinat yapısı arasındaki δ sürtünme açısına, dolgu yüzeyinin β eğim açısına bağlıdır. Eğer duvar arkası dolgusu üstünde başka yükler varsa, düşey basınç gerilmelerinin hesabında, bu yükleri de göz önünde bulundurmak gerekir.

2. YAPIDA MEYDANA GELEN HAREKET MİKTARLARI

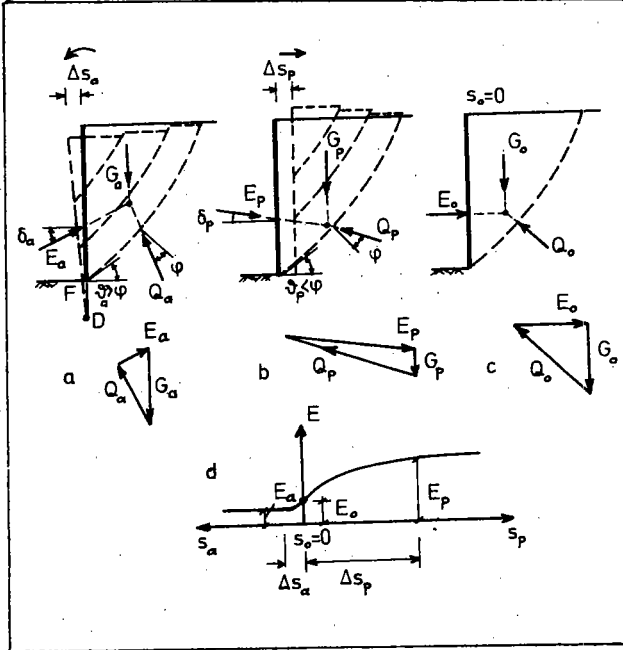
Yukardaki bölümde adı geçen duvar hareketleri, aktif toprak basıncı halinde, yapının h yüksekliğine ve zemin cinsine bağlı olarak, mm-cm mertebesindedir. Kohezyon-

suz zeminlerde (Şekil 2 a) ya göre $\Delta S_a \geq \frac{h}{200}$ olmalı ve ya $h : 400$ miktarında paralel bir öteleme meydana gelmelidir. Kohezyonlu zeminlerde aktif basıncı meydana getiren hareketler daha büyüktür.

*Yük. Müh. İTÜ. Firma Frankipfahl GmbH, Münih

Pasif toprak basıncı halinde gerekli hareket miktarları cm-dm mertemesinde olup, $\Delta s_p \approx \frac{h}{100}$ ilâ $h : 10$ arasında

değişir. FRANZIUS'a göre 3 metreye kadar duvar yükseklikleri için $\Delta s_p(\text{mm}) = \lambda \cdot h^x(\text{m})$ olup burada $\lambda = 30$ ilâ 50 (zeminin sıklık derecesi ve rutubetine bağlı) ve $x = 1,5$ ilâ 2,5 (zemin cinsine ve duvar yüzünün pürüzlüğüne bağlı) olan katsayıları gösterir. λ ve x in büyük değerleri sıklık derecesinin ve sürtünmenin az olması haline tekabül eder.



Şekil: 2

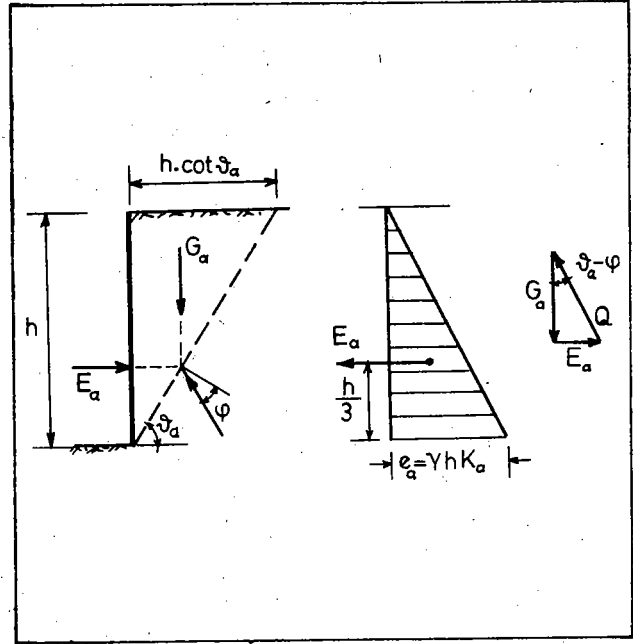
(Şekil: 2a, 2b) de görüldüğü gibi, meydana gelen depasmanlar nedeniyle, sürtünme kuvvetleri doğar. Yapının zemine temas eden yüzünde ve esas kayma yüzeyinde hasıl olan sürtünme kuvvetleri E_a ve E_p yi δ_a ve δ_p duvar sürtünme açıları kadar, kayma yüzeyinde doğan Q kuvvetini de normale göre φ açısı kadar saptırır. φ zeminin içsel sürtünme açısıdır.

Duvar da herhangi bir hareket yoksa $\Delta s_0 = 0$ dır. Bu halde sürtünme kuvveti meydana gelmez ve (Şekil: 2c) de görüldüğü gibi, E_0 ve Q kuvvetleri dik olarak tesir ederler.

Kuvvet poligonlarına göre $E_a < E_0 < E_p$ bağıntısı mevcuttur. (Şekil: 2d) de toprak basıncı değerlerine tekabül eden hareket miktarları gösterilmiştir.

3. AKTİF ve PASİF TOPRAK BASINÇLARININ HESABI

Bu bölümde COULOMB (1776) ve RANKINE (1857) teorilerine ve bunların kritiğine geçmeksizin pratikte kullanılan formüller verilecektir. Adı geçen teoriler hakkında bilgi edinmek isteyenlerin zemin mekaniği ve temel inşaatı kitaplarına baş vurmaları tavsiye olunur. E_a ve E_p nin COULOMB'a göre hesabı düşey duvar hali ($\alpha = 0^\circ$), yatay zemin seviyesi ($\beta = 0^\circ$) ve sürtünmesiz duvar yüzeyi ($\delta_a = 0^\circ$) için (Şekil: 3) de verilmiştir.



Şekil: 3

Bu şekilde $G_a = h \cdot \text{ctg} \theta_a \cdot \frac{h}{2} \cdot \gamma$

$E_a = G_a \cdot \text{tg} (\theta_a - \varphi)$ dır. G_a yerine değeri konursa

$$E_a = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \text{ctg} \theta_a \cdot \text{tg} (\theta_a - \varphi) \text{ bulunur.}$$

Kritik kayma düzlemi için E_a nın ekstrem değeri $\frac{dE_a}{d\theta_a}$ dan

$\theta_a = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$ olarak elde edilir. Buna göre

$$E_a = \frac{\gamma h^2}{2} \text{tg}^2 (45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \gamma \frac{h^2}{2} \cdot K_a \text{ dır.}$$

(Şekil : 3) de incelenen özel hal için aktif toprak basıncı katsayısı $K_a = \text{tg}^2 (45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ olup bu sayı φ açısının muhtelif değerleri için tablolardan alınabilir. Aktif toprak basıncının e_a ordinatı

$$e_a = \frac{2E_a}{h} = \gamma \cdot h \cdot \text{tg}^2 (45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \gamma \cdot h \cdot K_a \text{ dır.}$$

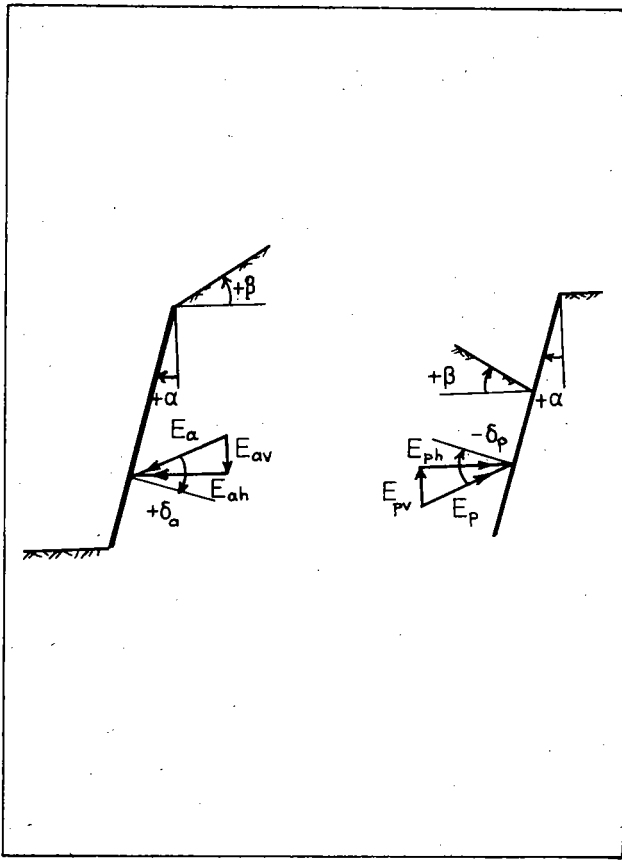
Gene yukarda yapılan kabuller için pasif toprak basıncı halinde

$$E_p = \frac{\gamma h^2}{2} \text{tg}^2 (45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot K_p,$$

$$K_p = \text{tg}^2 (45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \text{ ve}$$

$e_p = \frac{2E_p}{h} = \gamma \cdot h \cdot \text{tg}^2 (45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = \gamma \cdot h \cdot K_p$ formülleri çıkar.

Genel halde ($\alpha \neq 0, \beta \neq 0, \delta_a \neq 0, \delta_p \neq 0$) K_a ve K_p sayıları için formüller verilmiştir. Ayrıca K_a, K_p değerleri φ, α, β ve δ ya bağlı olarak aşağıda verilen tablolardan alınabilir. Tabloların kullanılmasında daima işaret kaidelerine dikkat etmek gerekir. Aşağıdaki incelemelerimizde en çok kullanılan işaret kaideleri (Şekil: 4) de verilmiştir.



Sekil : 4

Toprak tarafında düşey yüzü ($\alpha = 0$) istinat yapılarında genellikle E_a ve E_p yerine bunların yatay E_{ah} , E_{ph} bileşenleri ve e_{ah} , e_{ph} yatay ordinatları K_{ah} , K_{ph} sayıları yardımıyla hesaplanır. Bu değerler için şu bağıntılar mevcut tur:

$$K_{ah} = K_a \cdot \cos(\alpha - \delta_a) = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot [1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \delta_a) \cdot \cos(\alpha + \beta)}}]^2}$$

$$K_{ph} = K_p \cdot \cos(\alpha - \delta_p) = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot [1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta_p) \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta_p) \cdot \cos(\alpha + \beta)}}]^2}$$

$$E_{ah} = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot K_{ah} = E_a \cdot \cos(\alpha - \delta_a),$$

$$e_{ah} = \gamma \cdot h \cdot K_{ah} = e_a \cdot \cos(\alpha - \delta_a)$$

$$E_{ph} = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot K_{ph} = E_p \cdot \cos(\alpha - \delta_p),$$

$$e_{ph} = \gamma \cdot h \cdot K_{ph} = e_p \cdot \cos(\alpha - \delta_p)$$

İstinat yapısında $\Sigma V = 0$ tahkikinin yapılması istenirse bu takdirde

$E_{av} = E_{ah} \cdot \tan(\alpha - \delta_a)$ ve $E_{pv} = E_{ph} \cdot \tan(\alpha - \delta_p)$ bileşenlerinin de hesabı gerekir.

K_{ah} , K_{ph} sayıları aşağıda verilen tablolardan alınacaktır.

TABLO : 1 K_{ah} sayıları

		δ_a				
		$\varphi = 20^\circ$				
α	β	-20°	-10°	0°	10°	20°
-20°	20°	1,132	1,132	1,132	1,132	1,132
	10°	1,132	0,818	0,721	0,651	0,590
	0°	1,132	0,721	0,609	0,532	0,470
	-10°	1,132	0,651	0,532	0,455	0,394
	-20°	1,132	0,590	0,470	0,394	0,335
-10°	20°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	10°	1,000	0,726	0,644	0,588	0,541
	0°	1,000	0,644	0,551	0,489	0,440
	-10°	1,000	0,588	0,489	0,426	0,377
	-20°	1,000	0,541	0,440	0,377	0,300
0°	20°	0,883	0,883	0,883	0,883	0,883
	10°	0,883	0,638	0,569	0,523	0,486
	0°	0,883	0,569	0,490	0,440	0,401
	-10°	0,883	0,523	0,440	0,388	0,350
	-20°	0,883	0,486	0,401	0,350	0,311
10°	20°	0,773	0,773	0,773	0,773	0,773
	10°	0,773	0,551	0,492	0,455	0,426
	0°	0,773	0,492	0,426	0,385	0,355
	-10°	0,773	0,455	0,385	0,344	0,313
	-20°	0,773	0,426	0,355	0,313	0,283
20°	20°	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665
	10°	0,665	0,456	0,412	0,382	0,360
	0°	0,665	0,412	0,357	0,325	0,302
	-10°	0,665	0,382	0,325	0,292	0,265
	-20°	0,665	0,360	0,302	0,269	0,246

		δ_a				
		$\varphi = 30^\circ$				
α	β	-20°	-10°	0°	10°	20°
-20°	20°	0,798	0,708	0,646	0,595	0,547
	10°	0,708	0,605	0,537	0,483	0,435
	0°	0,646	0,537	0,468	0,414	0,367
	-10°	0,595	0,483	0,414	0,362	0,317
	-20°	0,547	0,435	0,367	0,317	0,275
-10°	20°	0,661	0,588	0,539	0,502	0,468
	10°	0,588	0,505	0,454	0,413	0,378
	0°	0,539	0,454	0,402	0,361	0,326
	-10°	0,502	0,413	0,361	0,321	0,288
	-20°	0,468	0,378	0,326	0,288	0,256
0°	20°	0,532	0,477	0,441	0,413	0,389
	10°	0,477	0,413	0,374	0,344	0,321
	0°	0,441	0,374	0,333	0,304	0,279
	-10°	0,413	0,344	0,304	0,275	0,251
	-20°	0,389	0,321	0,279	0,251	0,227
10°	20°	0,421	0,375	0,348	0,327	0,311
	10°	0,375	0,325	0,296	0,275	0,258
	0°	0,348	0,296	0,266	0,245	0,228
	-10°	0,327	0,275	0,245	0,224	0,208
	-20°	0,311	0,258	0,228	0,208	0,191
20°	20°	0,312	0,277	0,258	0,244	0,233
	10°	0,277	0,240	0,220	0,206	0,195
	0°	0,258	0,220	0,199	0,185	0,174
	-10°	0,244	0,206	0,185	0,171	0,160
	-20°	0,233	0,195	0,174	0,160	0,150

		δ_a				
		$\varphi = 40^\circ$				
α	β	-20°	-10°	0°	10°	20°
-20°	20°	0,555	0,488	0,454	0,416	0,380
	10°	0,488	0,440	0,396	0,359	0,324
	0°	0,454	0,396	0,353	0,316	0,283
	-10°	0,416	0,359	0,316	0,281	0,250
	-20°	0,380	0,324	0,283	0,250	0,220
-10°	20°	0,426	0,385	0,355	0,329	0,306
	10°	0,385	0,344	0,313	0,288	0,265
	0°	0,355	0,313	0,283	0,259	0,237
	-10°	0,329	0,288	0,259	0,235	0,213
	-20°	0,306	0,265	0,237	0,213	0,193
0°	20°	0,315	0,287	0,267	0,250	0,235
	10°	0,287	0,258	0,236	0,221	0,207
	0°	0,267	0,238	0,217	0,201	0,187
	-10°	0,250	0,221	0,201	0,186	0,172
	-20°	0,235	0,207	0,187	0,172	0,159
10°	20°	0,219	0,200	0,187	0,177	0,169
	10°	0,200	0,181	0,169	0,159	0,150
	0°	0,187	0,169	0,156	0,146	0,138
	-10°	0,177	0,159	0,146	0,137	0,128
	-20°	0,169	0,150	0,138	0,128	0,121
20°	20°	0,135	0,124	0,117	0,112	0,108
	10°	0,124	0,114	0,107	0,101	0,097
	0°	0,117	0,107	0,100	0,095	0,090
	-10°	0,112	0,101	0,096	0,090	0,085
	-20°	0,108	0,097	0,090	0,085	0,081

TABLO : 2 K_{ph} sayıları

		δ_p				
		$\varphi = 20^\circ$				
α	β	-20°	-10°	0°	10°	20°
-20°	20°	5,208	3,616	2,492	1,618	0,665
	10°	3,616	2,742	2,045	1,434	0,665
	0°	2,492	2,045	1,643	1,248	0,665
	-10°	1,618	1,434	1,248	1,040	0,665
	-20°	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665
-10°	20°	6,415	4,208	2,816	1,816	0,773
	10°	4,208	3,093	2,272	1,597	0,773
	0°	2,816	2,272	1,815	1,387	0,773
	-10°	1,816	1,597	1,387	1,164	0,773
	-20°	0,773	0,773	0,773	0,773	0,773
0°	20°	8,849	5,275	3,311	2,073	0,883
	10°	5,235	3,644	2,594	1,799	0,883
	0°	3,311	2,594	2,040	1,551	0,883
	-10°	2,073	1,799	1,551	1,301	0,883
	-20°	0,883	0,883	0,883	0,883	0,883
10°	20°	15,047	7,244	4,125	2,435	1,000
	10°	7,242	4,568	3,077	2,065	1,000
	0°	4,125	3,077	2,347	1,757	1,000
	-10°	2,435	2,065	1,757	1,465	1,000
	-20°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
20°	20°	43,801	12,263	5,558	2,992	1,133
	10°	12,263	6,398	3,860	2,444	1,133
	0°	5,558	3,860	2,800	2,031	1,133
	-10°	2,992	2,444	2,031	1,169	1,133
	-20°	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133

		δ_p				
		$\varphi = 30^\circ$				
α	β	-20°	-10°	0°	10°	20°
-20°	20°	8,545	5,453	3,578	2,310	1,375
	10°	5,453	3,880	2,773	1,970	1,235
	0°	3,578	2,773	2,137	1,595	1,098
	-10°	2,310	1,930	1,595	1,278	0,952
	-20°	2,375	1,235	1,098	0,952	0,782
-10°	20°	12,254	7,052	4,381	2,763	1,653
	10°	7,052	4,742	3,292	2,269	1,472
	0°	4,381	3,292	2,496	1,861	1,305
	-10°	2,763	2,269	1,861	1,496	1,136
	-20°	1,635	1,472	1,305	1,136	0,946
0°	20°	21,931	10,242	5,736	3,426	2,008
	10°	10,242	6,221	4,081	2,731	1,760
	0°	5,736	4,081	3,000	2,203	1,548
	-10°	3,426	2,731	2,203	1,760	1,345
	-20°	2,003	1,760	1,548	1,345	1,128
10°	20°	68,252	18,458	8,366	4,496	2,488
	10°	18,458	9,124	5,398	3,414	2,137
	0°	8,366	5,398	3,757	2,675	1,854
	-10°	4,496	3,414	2,675	2,103	1,600
	-20°	2,488	2,137	1,854	1,600	1,341
20°	20°	∞	57,257	14,999	6,511	3,227
	10°	57,257	16,526	7,954	4,530	2,673
	0°	14,999	7,954	5,017	3,379	2,267
	-10°	6,511	4,530	3,379	2,578	1,930
	-20°	3,227	2,673	2,267	1,930	1,608

		δ_p				
		$\varphi = 40^\circ$				
α	β	-20°	-10°	0°	10°	20°
-20°	20°	15,768	8,807	5,338	3,300	1,981
	10°	8,807	5,340	3,870	2,603	1,679
	0°	5,338	3,870	2,837	2,050	1,414
	-10°	3,300	2,603	2,050	1,585	1,168
	-20°	1,981	1,679	1,414	1,168	0,942
-10°	20°	29,291	13,252	7,251	4,266	2,526
	10°	13,252	7,780	4,966	3,256	2,104
	0°	7,251	4,966	3,534	2,526	1,757
	-10°	4,266	3,256	2,526	1,946	1,452
	-20°	2,526	2,104	1,757	1,452	1,164
0°	20°	95,461	24,967	11,063	5,876	3,312
	10°	24,967	11,895	6,839	4,249	2,680
	0°	11,063	6,839	4,599	3,193	2,200
	-10°	5,876	4,249	3,193	2,421	1,805
	-20°	3,312	2,680	2,200	1,805	1,451
10°	20°	∞	82,022	20,978	9,978	4,585
	10°	82,022	22,845	10,569	5,915	3,553
	0°	20,978	10,569	6,415	4,208	2,816
	-10°	9,914	5,915	4,208	3,093	2,272
	-20°	4,585	3,553	2,816	2,272	1,815
20°	20°	∞	∞	68,756	17,019	6,995
	10°	∞	74,961	20,273	9,194	4,938
	0°	68,756	20,273	10,021	5,929	3,750
	-10°	17,019	9,194	5,929	4,126	2,938
	-20°	6,995	4,938	3,750	2,938	2,310

Yukarki incelemelerde zemin kohezyonunun sıfır ve kayma mukavemetinin sadece φ açısına bağlı bulunduğu kabul edilmiştir. Kohezyonlu zeminlerde yapılan böyle bir hesap emniyeti arttırır. Hakikatte kohezyonun hesaplarda göz önünde tutulması E_a değerini küçültür, E_p değerini arttırır. Kohezyon tesiri 5. bölümde incelenecektir. Burada δ_a ve δ_p hakkında bazı noktalara işaret etmek yerinde olur. Bu açılar duvarın pürüzlülüğüne, zeminin sıklığına, rutubete ve kohezyonun olup olmamasına göre 0° ile φ arasında değişirler. Çoğu zaman hesap yapılırken $\delta_a = \frac{\varphi}{2}$ ilâ $\frac{2\varphi}{3}$

arasında seçilir. Zeminde büyük sarsıntılar meydana gelmesi beklenirse $\delta_a = \frac{\varphi}{3}$ ilâ $\frac{\varphi}{2}$ almak uygun düşer. Burada

verilen büyük değerler kohezyonsuz zeminlerde ve pürüzlü duvar yüzeyleri için geçerlidir. Çok rutubetli kohezyonlu zeminlerde ve kaygan duvarlarda $\delta_a = 0^\circ$ dir.

δ_p değerleri için aynı düşünceler caridir. Sükunetteki toprak basınçlarında $\delta = 0^\circ$ alınmalıdır.

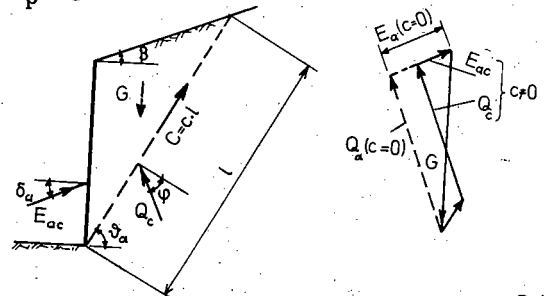
4. SÜKUNETTEKİ TOPRAK BASINCININ HESABI

İstinat yapısında herhangi bir hareket bahis konusu değilse E_0 ile gösterilen sükunetteki toprak basıncının doğduğunu yukarda görmüştük. Örneğin kaya gibi sıkışmayan zeminlere veya kazıklı temeller üzerinde inşa edilen istinat duvarlarının, tünel ve benzeri yapılar için seçilen kapalı betonarme kesitlerin hesabı sükunetteki toprak basınçlarına göre yapılır.

Hesaplarda kullanılacak K_0 sayısının değeri $K_0 = 1 - \sin \varphi$ olarak alınır. Bu formülün kullanılması ayrıca Alman şartnamesi DIN 1055 in 2. kısmında da tavsiye edilmiştir. Bu halde zemin kohezyonunun tesiri ihmal edilir.

5. AKTİF VE PASİF TOPRAK BASINÇLARINDA KOHEZYONUN TESİRİ

$\varphi \neq 0^\circ$ olan tabii kohezyonlu zeminlerdeki toprak basınçlarının hesabında eğer zemin don ve kuraklık gibi dış tesirlerin etkisine maruz kalmaz ve yuğrulma neticesi bün-yelerinde kıvam değişimleri meydana gelmezse, bu takdirde zemindeki kohezyon, hesaplar için göz önünde tutulabilir. Ancak kohezyonun labor neticelerine göre sıhhatli olarak tayini gerekir. Kohezyonun E_a üzerindeki tesiri (Şekil: 5) de gösterilmiştir. Aynı tesir, analog tarzda, E_p de geri için de incelenebilir. Buna göre E_a değerlerinde azalma, E_p değerlerinde çoğalma meydana gelir.



Şekil: 5

Kayma yüzeyinde tesir eden C kohezyon kuvveti zeminin c kohezyonuyla l uzunluğunun çarpımına eşittir.

$(e_{ah})_c$ ve $(e_{ph})_c$ ile gösterilen kohezyon ordinatları, h yüksekliğinden bağımsız olup, sabit bir değeri haizdir. (Şekil: 6) da görüldüğü gibi kohezyondan doğan dikdörtgen yayılı yükler üçgen yayılı yük işaret kaidesine göre toplanır. (Şekil: 6) aktif toprak basıncı haline aittir. Pasif toprak basıncında $(e_{ph})_c$ değeri pozitif işaretli olduğundan, süperpozisyon neticesinde, yamuk (trapez) yük diagramı elde olunur.

Aktif toprak basıncında, kohezyon nedeniyle meydana gelen, negatif gerilmeler hesaba katılmaz. Çünkü çekme gerilmelerinin zeminden istinat yapısına intikali mümkün değildir.

OHDE genel hal için, kohezyon ordinatlarının değerlerini aşağıdaki formüllerle vermiştir:

$$(e_{ah})_c = \frac{2c \cdot (1 + \tan \alpha \cdot \tan \beta) \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\delta_a + \alpha) \cdot \cos \beta}{1 + \sin(\varphi + \delta_a + \alpha - \beta)}$$

$$(e_{ph})_c = \frac{2c \cdot (1 + \tan \alpha \cdot \tan \beta) \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\delta_p - \alpha) \cdot \cos \beta}{1 - \sin(\varphi - \delta_p - \alpha + \beta)}$$

RANKINE hali için $(\alpha = 0^\circ, \delta = \beta)$

$$(e_{ah})_c = 2c\sqrt{K_{ah}} \text{ ve } (e_{ph})_c = 2c\sqrt{K_{ph}} \text{ bulunur.}$$

Buna göre aktif toprak basıncında

$$e_{ahc} = e_{ah} - (e_{ah})_c = \gamma \cdot h \cdot K_{ah} - 2c\sqrt{K_{ah}}$$

$$E_{ahc} = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_{ah} - 2c \cdot h \sqrt{K_{ah}} = \frac{1}{2} (e_{ahc} + (e_{ah})_c) \cdot (h - h_F)$$

ve pasif toprak basıncında

$$e_{phc} = e_{ph} + (e_{ph})_c = \gamma \cdot h \cdot K_{ph} + 2c\sqrt{K_{ph}}$$

$$E_{phc} = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_{ph} + 2c \cdot h \sqrt{K_{ph}} \text{ elde edilir.}$$

E_{ahc} formülündeki h_F değeri $h_F = 2h_c$ olup

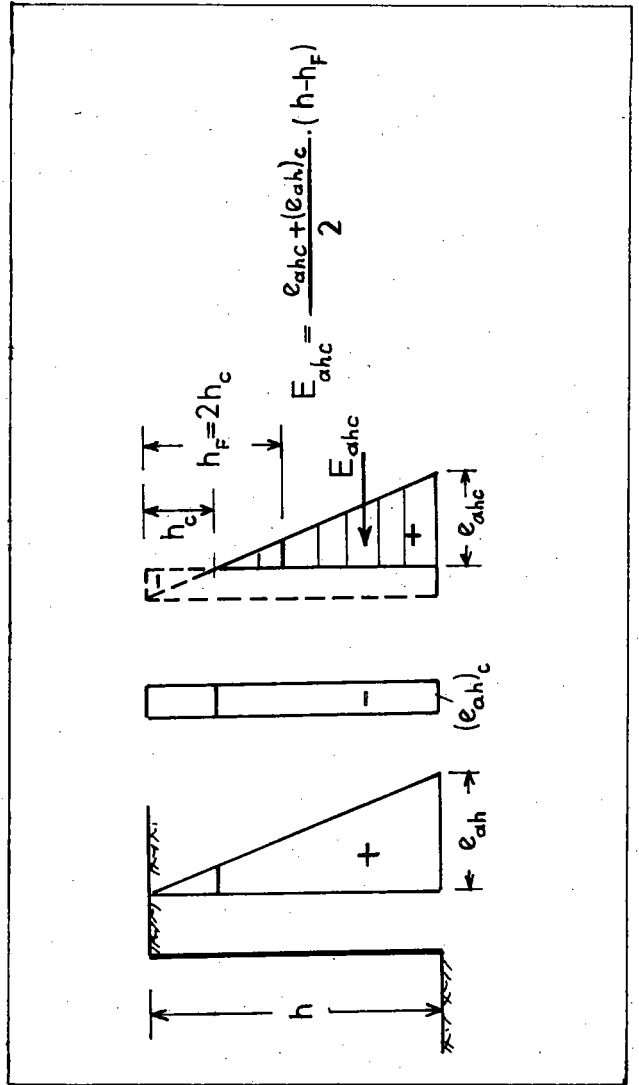
$$l_c = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_{ah}}} \text{ dir. Tabakalı zeminlerde herbir tabaka}$$

çin, yukarıda gösterilen tarzda, ayrı hesap yapılmalıdır.

$c \neq 0$ ve $\varphi \approx 0^\circ$ olan zeminlerde $\alpha = 0^\circ, \delta = 0^\circ$ ve $\beta \neq 0^\circ$ Şekil: 7) için şu bağıntılar mevcuttur:

$$e_a = \left(\frac{\gamma \cdot h}{4} - c \right) \cdot l \cdot \sqrt{2}, \quad e_a = \frac{\gamma l}{\sqrt{2}}, \quad e_c = \frac{c \cdot l}{h} \cdot \sqrt{2}$$

$$\text{Eğer } \beta = 0^\circ \text{ ise } E_a = \frac{\gamma h^2}{2} - 2c \cdot h \text{ olur.}$$



Şekil: 6

Şekil: 7

