

## **HAFİFLETME KONSOLLU DAYANMA YAPILARINDA TOPRAK BASINCI YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

### **COMPARISON OF EARTH PRESSURE APPROACHES IN SHELF CONSOLE RETAINING STRUCTURES**

Süleyman CAN<sup>1</sup>, Sami ARSOY<sup>2</sup>

#### **ÖZET**

İstinat yapıları iki farklı düzeydeki zeminden oluşan yanal toprak etkisini, istenen bir güvenlikle karşılayan ve zeminin doğal şev açısını almasını önleyerek dengeyi koruyan yapı elemanlarıdır. Hafifletme konsollu istinat duvarı, yükseklik arttıkça ekonomiklik ve stabilitenin azaldığı beton istinat duvarına alternatif olarak inşa edilebilir. Bu çalışmada, hafifletme konsollu istinat duvarında zemin basıncı yaklaşımlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Zemin yüzeyinden farklı derinlikte yer alan hafifletme konsolunun, konumunun yanal toprak basıncına etkisi, duvar hareketi ve duvara etki eden maksimum eğilme momenti etkisini tartışmak için bir parametrik çalışma yapılmaktadır. Farklı yaklaşımlarda İstinat duvarı üzerindeki toprak basıncının dağılımını belirlemek için hafifletme konsollu istinat duvarlarının bir dizi sonlu elemanlar analizi sunulmuştur. Konsolun yerleştirme derinliğinin ve genişliğinin toprak basıncının dağılım modeli üzerinde etkisi araştırılmış, tasarım önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hafifletme Konsollu İstinat Duvarı, Sonlu Elemanlar, Toprak Basıncı, Yüksek İstinat duvarı

#### **ABSTRACT**

Retaining structures are structural elements that meet the lateral soil effect consisting of two different levels of ground with a desired security and protect the balance by preventing the ground from taking the natural slope angle. The attenuation cantilevered retaining wall can be constructed as an alternative to the concrete retaining wall, where the economy and stability decrease as the height increases. In this study, it is aimed to compare the ground pressure approaches in a retaining wall with a dampening console. A parametric study is carried out to discuss the effect of the position of the attenuation console at a different depth from the ground surface on the lateral earth pressure, the wall motion and the effect of the maximum bending moment acting on the wall. A series of finite element analyzes of attenuation cantilever retaining walls are presented to determine the distribution of soil pressure on the retaining wall in different approaches. Analysis results were compared and interpreted. The effect of the placement depth and width of the cantilever on the soil pressure distribution model was investigated, design suggestions were made.

**Keywords:** Retaining Wall, Shelve, Earth Pressure, High Retaining Wall, Plaxis, Finite Elements.

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisi, Remax, [suleyman-can@hotmail.com](mailto:suleyman-can@hotmail.com) (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Profesör, Kocaeli Üniversitesi, [samiarsoy@yahoo.com](mailto:samiarsoy@yahoo.com)

## 1. GİRİŞ

İstinat yapıları iki farklı seviyedeki zeminden oluşan yanal toprak basıncı etkisini, istenen bir güvenlikle karşılayan ve zeminin doğal şev açısını almasını engelleyerek dengeyi koruyan yapı elemanlarıdır. İstinat yapısının türü, hedeflenen yükseklik, inşaat alanının karakteristiği, mevcut yapı malzemeleri, yeraltı suyu seviyesi, dolguda kullanılacak malzemenin çeşidi, bölgesel şartlara uygunluğu ve kullanma işlevine bağlı olarak belirlenir (Türk Standartı-7994,1990).

Bu tip duvarların sınıflandırılması, 1927'de Batı Avustralya Üniversitesi'nde uygulanmış bir Zemin-Mekaniği dersi sırasında incelenmeye başlandı. Ders, esnek istinat duvarlarının sınıflandırılmasını sundu ve hafifletme konsollu duvar, esnek bir istinat duvarı olarak sınıflandırıldı (Shehata, 2016).

Hafifletme konsoluna sahip bir istinat duvarı, istinat duvarlarının özel tiplerinden biri olarak düşünülmüştür. Hafifletme konsollu istinat duvarlarının yanal basıncın azaltılması ve istinat duvarının genel stabilitesinin artırılması gibi avantajları vardır. Bu türden istinat duvarlarının incelenmesi, istinat yapıları alanında göze çarpmayan bir alan oluşturmaktadır. Bu tip gerçek davranışları araştırmak için çok az çalışma yapılmıştır. Ayrıca, bu tür istinat duvarı yapılarının çok az olduğu gözlenmiştir (Chauhan ve diğ., 2015).

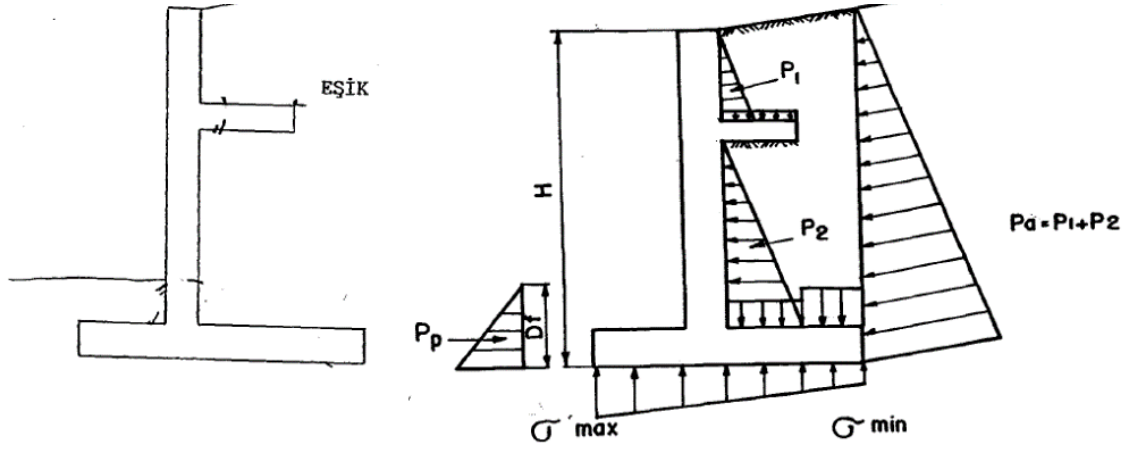
## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tsagareli (1969) bir ya da daha fazla hafifletme konsollunun tamamen yapısal terimlerle sağlam bir bağlantısının faydalarını tanımlamaktadır. İlk olarak, bir konsoldaki duvara etki eden yanal toprak basıncının dış momentleri, ek yerinde, toprağın ağırlığı, konsolun üzerinde uzanır. Ayrıca, toprak gevşek şekilde dolarsa, hatta hafifletme konsolunun altında üçgen bir boşluk bırakarak rafın üstündeki ağırlığın alttaki toprağa dayanmamasını ve dolayısıyla hafifletme konsolunun altındaki duvar bölümünde yanal baskıyı yaratmamasına dikkat çekmiştir. Tsagareli'nin hafifletme konsolları, duvarın yüzüne etki eden basınçları azaltmak ve daha da önemlisi, duvar yüzeyi için eğilme momenti diyagramını Şekil 1 'de gösterildiği gibi neredeyse istenen şekle göre değiştirebilmek için uygun görülebilir (Tsagareli,1969).



Şekil 1. Tsagareli (1969) iki hafifletme konsollu çözümü

Hafifletme konsollu duvar yapımında temel ilke konsol-temel birleşimindeki maksimum momentin bir veya iki hafifletme konsoluna gelecek düşey toprak yükünün oluşturduğu ters yöndeki momentlerle azaltılmasıdır. Duvar gövdesine bir veya birkaç sıra tabana paralel hafifletme konsolu yapılabilir. Hafifletme konsolu yeri, sayısı ve genişliğine çeşitli deneme hesapları ile karar verilir. Hafifletme konsollu duvar tipi için genel denge incelemeleri konsol duvar gibi yapılır. Ancak betonarme hesabında aktif itkiler  $P_1$  ve  $P_2$  'ye ek olarak hafifletme konsolu ve topuaktaki düşey yüklemeler Şekil 2.'deki gibi göz önüne alınır (Türk Standartı-7994,1990).



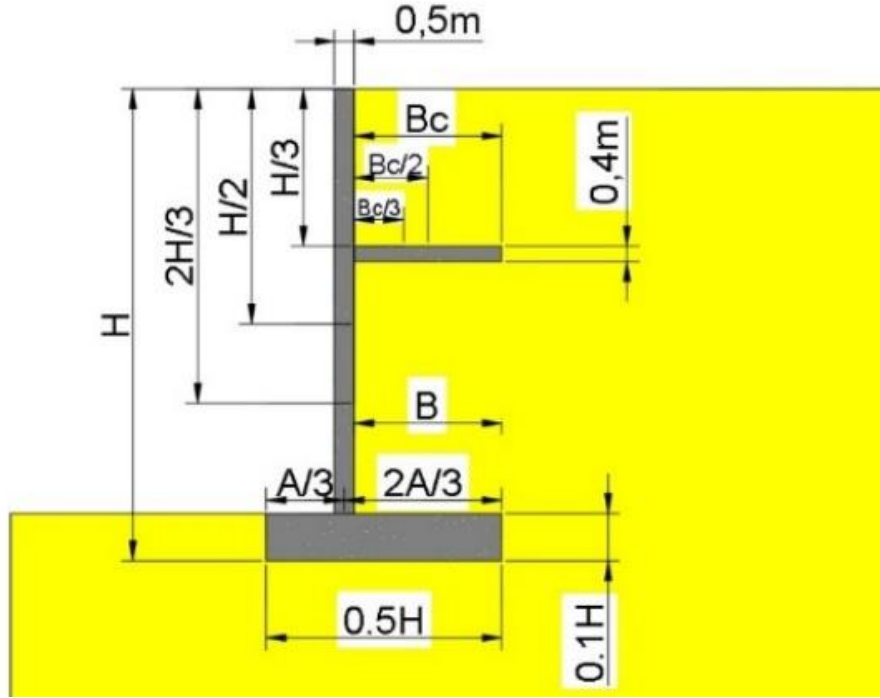
Şekil 2. Türk Standartı-7994 (1990), hafifletme konsollu duvar çözümü

### 3. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışmada 9 m, 12m ve 15 m yüksekliğindeki tek hafifletme konsolu olan ve olmayan istinat duvarı üzerindeki toprak basıncının dağılımı, PLAXIS 2D kullanılarak sonlu elemanlar analizi ile irdelenmiştir. Hafifletme konsolunun yeri ve genişliğinin gerilme dağılımına, maksimum eğilme momentine ve duvar hareketine etkisi araştırılmıştır. Türk Standartı-7994 (1990) teorileri ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

### 4. ARAŞTIRMA MODELİ

Toprak basıncı dağılımını hesaplamak için sonlu elemanlar programı (Plaxis 2D) kullanılmıştır. Malzeme özellikleri Sekar ve diğ. (2020), çalışmasından alınmıştır. Hesaplama kolaylığı açısından  $c=0,2$  ve dilatansi açısı  $=0$  alınarak analizler yapılmıştır. İstinat duvarında lineer elastik model ve zeminde pekleşme zemin modeli kullanılmıştır (Sekar ve diğ.,2020). Araştırma modelinin malzeme özellikleri Tablo 1'deki gibidir. İstinat duvarının model geometrisi (H) ile ilişki olarak Şekil 3' de verilmiştir. Burada kesitler yüksekliğe bağlı olarak konsol istinat duvarları için önerilen ön boyutlandırma parametrelerinden yola çıkarak  $H=9$  m, 12m ve 15 m için taban levhasının duvar arkasında kalan  $B= Bc$  uzunluğunun  $Bc=0, Bc, Bc/2, Bc/3$  hafifletme konsolu boyutlarında  $H/3, H/2$  ve  $2H/3$  yüksekliğindeki konumları için model grupları Tablo 2'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3. Araştırma Modeli Geometrisi

Tablo 1. Sonlu Elaman Analizinin Malzeme Özellikleri (Sekar ve diğ.,2020).

	Zemin	Betonarme Yapı
BHA (KN/M3)	17	25
Kohezyon (KN/M2)	0,2	
Young's Modülü,E	-	32000000
Elastisite Modülü (kPa) $E^{Ref}_{50}$	10,000	
Elastisite Modülü (kPa) $E^{ref}_{oed}$	10,000	
Elastisite Modülü (kPa) $E^{ref}_{ur}$	30,000	
Güç,m	0,500	
Poisson Oranı	0,3	0,15
İçsel Sürtünme Açısı	38	
Dilatansi Açısı	0	
Kullanılan Model	Hardening Soil Model	Linear Elastic

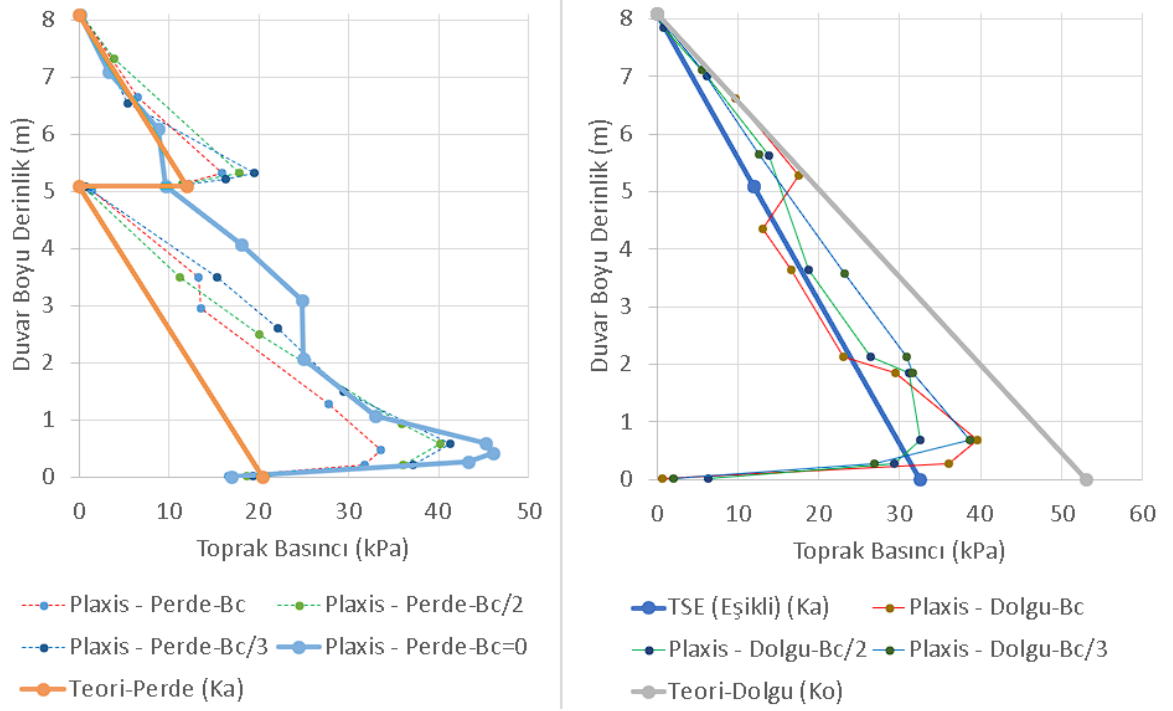
Tablo 2. Araştırma Modeli Gruplarının Tanımı

Model Grubu	Model
Grup 1	H/3, Tek konsol, B=Bc,H=9m,12m,15m
	H/3, Tek konsol, B=Bc/2,H=9m,12m,15m
	H/3, Tek konsol, B=Bc/3,H=9m,12m,15m
Grup 2	H/2, Tek konsol, B=Bc,H=9m,12m,15m
	H/2, Tek konsol, B=Bc/2,H=9m,12m,15m
	H/2, Tek konsol, B=Bc/3,H=9m,12m,15m
Grup 3	2H/3, Tek konsol, B=Bc,H=9m,12m,15m
	2H/3, Tek konsol, B=Bc/2,H=9m,12m,15m
	2H/3, Tek konsol, B=Bc/3,H=9m,12m,15m

## 5. ANALİZ SONUÇLARI

H=9 m, 12 m, 15 m istinat duvarındaki hafifletme konsolunun H/3, H/2, 2H/3 konumlarındaki B=Bc, Bc/2,Bc/3 genişliklerindeki gerilme dağılımları perdedeki Rankine aktif gerilmesi ( $K_a$ ), teori TSE (eşikli) aktif gerilmesi ( $K_a$ ), teori-dolgudaki Rankine pasif gerilmeleri ( $K_o$ ) ile birlikte analizlere ait örnek olarak Şekil 4'de 9m

yüksekliğindeki duvarın Bc/3 konsol genişliğindeki gerilme dağılımları gösterilmiştir. Duvar ve topuk kısmında oluşan gerilmelerin Türk Standartı-7994 (1990) ile karşılaştırılması Tablo 3’de gösterilmiştir.



Şekil 4. H=9m’deki Bc/3 hafifletme konsolunun duvar ve topuk gerilme dağılımları

Tablo 3. H=9m, 12m, 15m’deki hafifletme konsolunun Türk Standartı-7994 (1990) ile karşılaştırılması

Duvar Yüksekliği	Konum	Aktif Kuvvetler	Bc-Perde	Bc-Dolgu	Bc/2-Perde	Bc/2-Dolgu	Bc/3-Perde	Bc/3-Dolgu
9 m	H/3	P1-Perde (H.Konsol Üst)	23,82		26,70		29,28	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	89,73	21,18%	107,93	-0,57%	111,10	10,90%
		Pa=P1+P2	113,55	144,06	134,63	133,87	140,38	157,55
	H/2	P1-Perde (H.Konsol Üst)	55,17		57,44		61,88	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	56,47	15,51%	70,87	22,09%	81,07	19,99%
		Pa=P1+P2	111,64	132,13	128,31	164,69	142,95	178,65
	2H/3	P1-Perde (H.Konsol Üst)	76,62		75,00		77,82	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	18,98	47,68%	34,75	39,43%	43,00	34,52%
		Pa=P1+P2	95,60	182,73	109,75	181,20	120,82	184,52
12 m	H/3	P1-Perde (H.Konsol Üst)	42,64		47,54		50,60	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	181,19	11,28%	186,91	14,40%	193,60	8,06%
		Pa=P1+P2	223,83	252,30	234,45	273,90	244,20	265,61
	H/2	P1-Perde (H.Konsol Üst)	100,02		104,70		110,16	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	109,75	3,42%	129,29	19,73%	145,43	9,96%
		Pa=P1+P2	209,77	217,19	233,99	291,50	255,59	283,86
	2H/3	P1-Perde (H.Konsol Üst)	161,96		162,64		171,72	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	48,42	18,93%	64,92	23,48%	75,91	19,04%
		Pa=P1+P2	210,38	259,52	227,56	297,37	247,63	305,87
15 m	H/3	P1-Perde (H.Konsol Üst)	67,05		72,60		77,02	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	250,36	28,20%	279,91	22,04%	294,86	19,96%
		Pa=P1+P2	317,41	442,09	352,51	452,16	371,88	464,62
	H/2	P1-Perde (H.Konsol Üst)	158,59		162,64		172,50	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	191,41	-2,25%	194,68	20,97%	229,23	23,03%
		Pa=P1+P2	350,00	342,30	357,32	452,13	401,73	521,91
	2H/3	P1-Perde (H.Konsol Üst)	249,35		244,35		265,00	
		P2-Perde (H.Konsol Altı)	96,90	10,15%	96,04	29,35%	115,36	17,12%

$$Pa=P1+P2$$

346,25 385,35 340,39 481,80 380,36 458,91

İstinat duvarında, hafifletme konsolunun yerinin ve genişliğinin duvarın yatay hareketine etkisi ile konsolda ve duvarda oluşturduğu moment değişimleri Tablo 4'de gösterilmiştir. Hafifletme konsolunun yeri ve genişliğinin konsolsuz duruma göre (Bc=0) aktif itki kuvvetinde (Pa) meydana getirdiği azalış yüzdeleri Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 4. H=9m, 12m, 15m'deki hafifletme konsolunun moment ve duvar hareketine etkisi

Duvar Yüksekliği	Hafifletme Konsolu Konumu	Genişliği	M max Hafifletme Konsolu (kNm/m)	M max Duvar (kNm/m)	Duvar Hareketi Ux (ΔX/H)
9 m	Konsolsuz			369,16	0,034
	H/3	Bc	-368,06	-349,68	0,026
		Bc/2	-85,08	222,22	0,028
		Bc/3	-37,52	288,61	0,030
	H/2	Bc	440,67	-379,91	0,026
		Bc/2	118,07	215,59	0,031
		Bc/3	48,60	294,06	0,031
	2H/3	Bc	542,36	-397,60	0,032
		Bc/2	130,89	226,70	0,034
		Bc/3	56,26	302,57	0,031
12 m	Konsolsuz			865,73	0,026
	H/3	Bc	-711,4	-666,67	0,023
		Bc/2	-202,27	530,26	0,026
		Bc/3	-90,69	678,06	0,027
	H/2	Bc	-1040	-889,54	0,022
		Bc/2	-269,31	527,88	0,026
		Bc/3	-116,2	694,50	0,026
	2H/3	Bc	-1170	-823,00	0,023
		Bc/2	-319,07	518,30	0,026
		Bc/3	-128,35	716,64	0,027
15 m	Konsolsuz			1700	0,025
	H/3	Bc	-1710	-1630,00	0,021
		Bc/2	-403,23	1040,00	0,024
		Bc/3	-167,11	1380,00	0,024
	H/2	Bc	-1730	-1440,00	0,020
		Bc/2	-512,31	1060,00	0,023
		Bc/3	-216,58	1390,00	0,025
	2H/3	Bc	-1930	-1240,00	0,021
		Bc/2	-615,85	1060,00	0,024
		Bc/3	-244,87	1360,00	0,025

Tablo 5. H=9m, 12m, 15m'deki hafifletme konsolunun konumu ve genişliğinin gerilme dağılımına etkisi

Yükseklik	Konumu	Duvar Türü	Bc=0	Bc	Bc/2	Bc/3
9 m	H/3	Toplam İtme kuvveti (Pa)	186,75	113,55	134,63	140,38
		% İtmedeki azalma	-	39,20%	27,91%	24,83%
	H/2	Toplam İtme kuvveti (Pa)	186,75	111,64	128,31	142,95
		% İtmedeki azalma	-	40,22%	31,29%	23,45%
	2H/3	Toplam İtme kuvveti (Pa)	186,75	95,60	109,75	120,82
		% İtmedeki azalma	-	48,81%	41,23%	35,30%
12 m	H/3	Toplam İtme kuvveti (Pa)	296,95	223,83	234,45	244,20
		% İtmedeki azalma	-	24,62%	21,05%	17,76%
	H/2	Toplam İtme kuvveti (Pa)	296,95	209,77	233,99	255,59
		% İtmedeki azalma	-	29,36%	21,20%	13,93%
	2H/3	Toplam İtme kuvveti (Pa)	296,95	210,38	227,56	247,63
		% İtmedeki azalma	-	29,15%	23,37%	16,61%
15 m	H/3	Toplam İtme kuvveti (Pa)	506,79	317,41	352,51	371,88
		% İtmedeki azalma	-	37,37%	30,44%	26,62%

H/2	Toplam İtme kuvveti (Pa)	506,79	350,00	357,32	401,73
	% İtmedeki azalma	-	30,94%	29,49%	20,73%
2H/3	Toplam İtme kuvveti (Pa)	506,79	346,25	340,39	380,36
	% İtmedeki azalma	-	31,68%	32,83%	24,95%

## 6. SONUÇLAR

H=9m, 12m, 15m uzunluğunda istinat duvarlarına hafifletme konsolunun konulması duvardaki yatay gerilmeyi B=Bc, Bc/2,Bc/3 uzunluklarında H/3 konumunda, %17,76-%39,20 arasında, H/2 konumunda %13,93-%40,22 arasında, 2H/3 konumunda %16,61-%48,81 arasında azaltığı görülmüştür. Bc genişliğinde %24,62-%48,81 arasında, Bc/2 genişliğinde %21,05-%41,23 arasında, Bc/3 genişliğinde %13,93-%35,30 arasında gerilmeyi azalttığı görülmüştür. Duvarda oluşan moment en fazla Bc genişliğinde azalırken en az Bc/3 genişliğinde azalmaktadır. Duvar hareketine karşı en etkili uzunluğun Bc uzunluğu olduğu, en az etkininde Bc/3 uzunluğunda olduğu görülmüştür. Aşırı maliyet ile hafifletme konsolu ve duvarda oluşabilecek yüksek moment nedeniyle gerilme dağılımları ve duvarın hareketinde yaratılan etki gözönüne alındığında en etkili genişliğin Bc/2 olduğu görülmüştür. Moment ve duvar hareketine etki ile gerilme dağılımdaki azalışlar göz önüne alındığında en etkili optimum yüksekliğin H/2 olduğu değerlendirilmektedir. Türk Standartı-7994 (1990)'da belirtilen projendirilme esaslarına göre yapılan karşılaştırmalarda konsolun altında ve üstünde duvarda oluşan aktif itki kuvvetlerinin toplamı kadar topukta aktif itki olacağı varsayımı H=9m, 12m, 15m uzunluğunda istinat duvarlarında B=Bc, Bc/2,Bc/3 uzunluklarında hafifletme konsollarında yapılan analizler ile karşılaştırılmış H/3 konumunda %8,06-%28,20 arasında, H/2 konumunda -%2,25-%23,03 arasında, 2H/3 konumunda %10,15-%29,15 arasında, 1 istisna (H/c, Bc genişlik) dışında topuktaki itkinin duvardaki itki kuvvetlerinin toplamından yüksek olduğu görülmüştür. Bu yükseklikler ve genişlikler için tablolardaki yükseklik % oranı kadar duvardaki itki kuvvetleri artırılarak projelerde hesaplama yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Chauhan V.B., Dasaka S.M., Gade V.K. (2015), Investigation of failure of a rigid retaining wall with relief shelves. 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability 2492–2497.
- Sekar, P., Alluri, S. K. R., & Suganya, S. (2020). Effect of relief shelves on cantilever retaining walls. In *Advances in Geotechnical and Transportation Engineering: Select Proceedings of FACE 2019* (pp. 165-178). Springer Singapore.
- Shehata, H.F. (2016)'Retaining walls with relief shelves', *Innovative Infrastructure Solutions*, Vol.1, No. 4, 13 pp.
- Shehata, H.F. (2016)'Retaining walls with relief shelves', *Innovative Infrastructure Solutions*, Vol.1, No. 4, 13 pp.
- TS-7994, 1990. Türk Standartları Enstitüsü. "Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 7994, 1990.
- Tsagareli. Z.V. (1969), *New methods of lightweight wall construction*, Stroizdat, Moscow (in Russian)