



Açısal Dönme Tabanlı Aktif ve Pasif Toprak İtkisi

*Angular Rotation Based Active and Passive Earth Thrust*Murat Hamderi^{1*}¹ Türk-Alman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beykoz, İstanbul hamderi@tau.edu.trORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9167-8866>

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale Geçmişi:*Geliş 21 Mart 2023
Revizyon 04 Kasım 2023
Kabul 21 Aralık 2023
Online 31 Aralık 2023*Anahtar Kelimeler:**istinat, konsol duvar, pasif, aktif,
toprak itkisi*

ÖZ

Konsol istinat duvarlarında oluşan aktif ve pasif itki duvarın dönme ve yer değiştirmesi ile yakından ilgilidir. Klasik zemin mekaniği çerçevesinde yapılan hesaplarda duvarın yeteri kadar döndüğü ve yer değiştirdiği kabul edilerek aktif ve pasif itkilerin kararlı durumdaki değerleri kullanılır. Özellikle pasif itki için kararlı durumdaki değerleri kullanmak hesabın doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında aktif ve pasif itkiler için elde edilmiş açısal dönme tabanlı aktif ve pasif itki formülleri tanıtılacaktır. Literatürdeki diğer bazı formüller ve sonlu elemanlar modelinden elde edilen sonuçlar da kullanılarak bir konsol duvar örneği çözülecek, genel bir karşılaştırma yapılacaktır.

ARTICLE INFO

*Article history:*Received 21 March 2023
Received in revised form 04 Nov 2023
Accepted 21 December 2023
Available online 31 Aralık 2023*Keywords:**Retaining, Cantilever, Wall, Passive
Active, Earth Thrust*

ABSTRACT

The active and passive thrusts in cantilever retaining walls are closely related to the rotation and displacement of the wall. Within the framework of classical soil mechanics calculations, the steady-state values of the active and passive thrusts are used, assuming that the wall rotates and displaces sufficiently. Especially for the passive thrust, using steady-state values negatively affects the accuracy of the calculation. In this study, angular rotation based active and passive thrust formulas for active and passive thrusts will be introduced. A cantilever wall example will be solved by using couple of different formulas in the literature. In addition, some comparisons will be made between the results of the formulas and a finite element model.

Doi: 10.24012/dumf.1265609

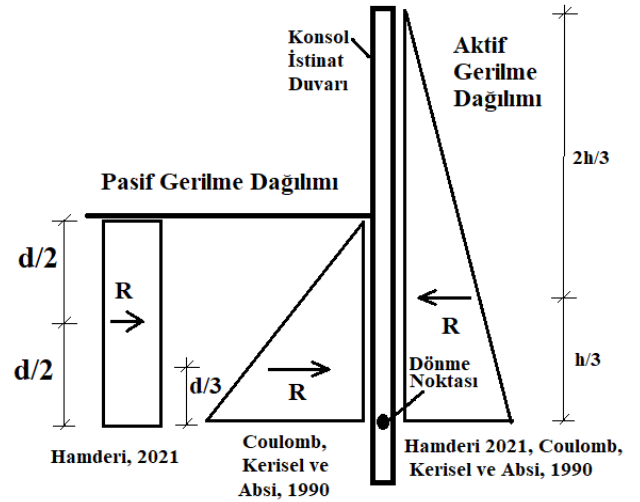
* Sorumlu Yazar

Giriş

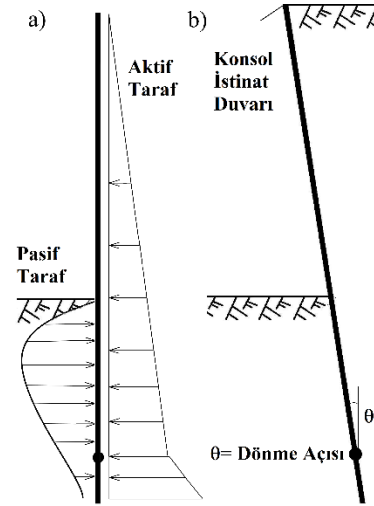
Konsol istinat duvarların hesabında kullanılan aktif ve pasif itki bir çok tasarım yönetmeliğinde Coulomb, Rankine veya logaritmik spiral teorilerine dayanmaktadır [1-4]. Coulomb kama göçmesi yöntemini kullanarak yatay toprak basıncını hesaplamıştır. Daha sonra Poncelet duvar-zemin ve içsel zemin sürtünmesi değerlerini de içeren aktif ve pasif toprak itkisi ifadesini geliştirmiştir [5]. Rankine ise gerilme alanı teorisini kullanarak duvar-zemin sürtünmesini içermeyen ifadeler elde etmiştir [3]. Logaritmik spiral göçme dairelerini kullanarak Caquot ve Kerisel ve Kerisel ve Absi aktif ve pasif itki için tablolar hazırlamıştır [2], [6]. Özellikle, Avrupa’da kullanılan EN 1997-1 yönetmeliğinde bu tabloların kullanılması önerilmektedir [7].

Yukarıda sayılan yöntemlerde toprak itkisi içsel sürtünme açısının ve jeolojik gerilmenin fonksiyonudur. Jeolojik gerilme derinlik ile yaklaşık olarak doğrusal arttığından, aktif ve pasif toprak itki dağılımlarının üçgen şeklinde olduğu kabul edilir (Şekil 1). Padfield ve Mair tarafından önerilen dağılımlar Şekil 2a’da gösterilmektedir [8]. Buna göre aktif taraftaki dağılım üçgen şeklinde, pasif taraftaki dağılım parabol şeklindedir. Bu da uygulamada kullanılan üçgen pasif itki dağılımının pek de doğru bir yaklaşım olmadığı konusunda düşünceler ortaya koymaktadır.

Rijit konsol duvarlar toprak itkisi altında Şekil 2b’de gösterildiği gibi dönerler. Duvarın sıkıştırdığı toprakta pasif itki, duvarın uzaklaştığı toprakta aktif itki oluşur. Oluşan aktif ve pasif itki duvarın dönme açısı θ ve yatayda ötelenme miktarı ile orantılıdır. Duvar belli bir miktar dönme ve ötelenme yaptıktan sonra aktif ve pasif itki kararlı duruma ulaşır. Aktif itki için kararlı durum granüler zeminlerde $0.001H$ olarak verilir (H = duvar yüksekliği, [9], [10]). 1 m duvar için 1 mm’lik deplasman, aktif itkinin kararlı duruma erişmesi için yeterlidir. Öte yandan, pasif itki için durum farklıdır. Pasif itkinin kararlı duruma erişmesi için $0.01H-0.02H$ duvar hareketi gereklidir ([9], [10]). Bir başka deyişle 1 m yüksekliğinde bir duvar için 1-2 cm’lik bir hareket gereklidir. Birçok yönetmelikte betonarme elemanların yapabileceği sehmin/dönmenin $0,0033H$ ile kısıtlandığı düşünülürse $0,01H-0,02H$ ’lik bir harekette duvar yapısal hasara uğrayacaktır. Ancak pasif itki için kullanılan geleneksel formüllerin içinde dönme açısı yer almadığından, pasif itki güvensiz tarafta hesaplanmaktadır. Bazı araştırmacılar, içinde dönme açısını barındıran ve aktif itkiyi hesaplayan metotlar geliştirmişlerdir [11-13]. Duncan ve Mokwa ise pasif itki ile duvar deplasmanı arasındaki ilişkiyi hiperbolik model ile açıklamıştır [14]. Hamderi granüler zeminler için aktif ve pasif itki için açısız dönme açısı, zemin modülü, içsel sürtünme açısı ve diğer geleneksel parametreleri içeren formüller türetmiştir [15]. Bu, çalışma kapsamında bu formüller tanıtılacak, bir örneğe uygulanacak, diğer geleneksel formüller ile karşılaştırılacaktır. Ayrıca, daha kapsamlı bir karşılaştırma için örneğin sonlu elemanlar modeli oluşturulacaktır.



Şekil 1. Aktif ve pasif toprak itkisi için uygulamada kullanılan dağılımlar



Şekil 2.a) Padfield ve Mair tarafından önerilen aktif ve pasif gerilme dağılımları, b) Toprak itkisi altındaki konsol duvarın dönmesi

Materyal ve Yöntem

Aktif Toprak İtkisi Katsayısı Formülü

Aktif itkinin oluşması için gerekli dönme miktarı sadece $\theta=0,001\text{rad}$ ($H=1$ m için sadece 1 mm) olduğundan aktif itkinin kararlı duruma konsol bir duvarda kolayca ulaşılır. Bu durum aktif itki formülüne açısız dönmeyi eklemeyi gereksiz kılmaktadır. Hamderi granüler zeminde aktif toprak itki katsayısının yatay bileşenini, içsel sürtünme açısına (ϕ), duvar-zemin sürtünme açısına (δ) ve duvar arkasındaki şevim eğimine (β) bağlı olarak aşağıdaki formül ile ifade etmiştir [15]:

$$k_{ax-ult} = a_1 - b_1 \cdot \left(\frac{\phi+20}{36}\right)^{c_1} \cdot \left(\frac{\delta+0.1}{30}\right)^{d_1} \cdot \left(\frac{\beta+15}{5}\right)^{e_1} \quad (1)$$

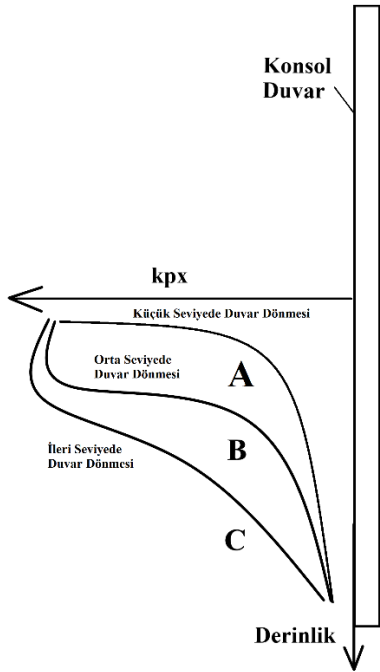
Burada a_1 , b_1 , c_1 , d_1 ve e_1 formül katsayıları olup değerleri Tablo 1’de verilmektedir. Ayrıca, $\phi \geq 20^\circ$, $\delta \geq 15^\circ$, $\beta \leq \phi/2$ olmalıdır.

Tablo 1. k_{ax-ulu} formülünün katsayıları

a_1	b_1	c_1	d_1	e_1
2,686955	2,338920	0,194972	0,041700	-0,026646

Pasif Toprak İtkisi Katsayısı Formülü

Pasif itkinin oluşması için gerekli dönme miktarı $\theta=0,01-0,02$ rad civarında olduğundan ve bu dönme değerine konsol bir duvarda kolayca ulaşılamayacağından, pasif itki formülüne açılal dönme eklemek gerekmektedir. Pasif itkinin yatay bileşeninin (k_{px}) konsol bir duvarda, dönme seviyelerine göre değişimi Şekil 3’de verilmektedir. Buna göre küçük dönmelerde duvarın dönmesine karşı koyan kısım toprağın üst taraflarındadır (Şekil 3,A). Daha büyük dönmelerde duvarın alt tarafları buna katılmaktadır (Şekil 3, B, C). Verilen bu eğriler Padfield ve Mair tarafından verilen parabol şeklindeki eğriye benzerlik göstermektedir.



Şekil 3. Konsol bir duvarda oluşan pasif itki katsayısının yatay bileşeninin duvar dönmesine göre değişimi [15]

Öte yandan bu eğrilerin derinlik boyunca dağılımlarının formülize edilmesi zor olduğundan Hamderi k_{px} değerinin 1 m’lik bir derinlik için ağırlıklı ortalamasını (k_{px-avg}) hesaplayan bir formül türetmiştir. Granüler zeminde pasif toprak itkisi katsayısının ortalama değerinin yatay bileşenini, %1 uzamadaki zemin modülüne ($E_{1\%Strain}$), duvarın dönme açısına (θ) içsel sürtünme açısına (ϕ), duvar-zemin sürtünme açısına (δ) ve duvar arkasındaki şevim eğimine (β) bağlı olarak aşağıdaki gibi vermektedir:

$$k_{px-avg} = \sum_{n=0}^{n=5} a_{4n} \cdot \left[\begin{array}{l} b_{4n} \cdot \left(\frac{E_{1\%Strain}}{50000[kPa]} \right)^{c_{4n}} \cdot \left(\frac{(\phi + 20)}{36} \right)^{d_{4n}} \\ \left(\frac{(\delta + 0.1)}{30} \right)^{e_{4n}} \\ \left(\frac{(\beta + 15)}{15} \right)^{f_{4n}} \cdot (1000\theta_p + 0.0001) \end{array} \right]^n \quad (2)$$

Burada a_{4n} , b_{4n} , c_{4n} , d_{4n} , e_{4n} , f_{4n} formül katsayıları olup değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Ayrıca, $\phi \geq 20^\circ$, $\delta \geq 15^\circ$, $\beta \leq \phi/2$ olmalıdır.

Tablo 2. k_{px-avg} formülünün katsayıları

n	a4	b4	c4	d4	e4	f4
5	8,4099	0,0539	0,5568	0,3958	-1,3184	-0,2440
4	-113,8981	-0,3215	0,8349	-2,9180	0,2616	-0,2772
3	45,8769	0,4577	0,8605	-2,6712	0,2287	-0,2310
2	-189,3166	0,1596	0,8914	-1,8668	0,1214	-0,1128
1	44,6176	0,0664	0,9228	0,2888	0,0406	0,2456
0	0,6705					

Farklı metotlar ile rijit konsol duvar stabilite hesabı

Rijit konsol duvarların stabilite hesabında dönme ve ötelemeye karşı tahkikler yapılır. Konsol duvar rijit bir giriş olarak kabul edilirse d derinliğindeki dönme noktası üzerinde ve altında pasif ve aktif kuvvetlerin dönme noktasına göre momentleri sıfır olmalıdır (Şekil 1 ve 4). Buradaki çalışmada dönme noktasının altındaki küçük alandaki pasif ve aktif itkiler hesaba katılmayacaktır. Moment dengesi şartına ilaveten pasif ve aktif kuvvetlerin yataydaki bileşkesi teorik olarak sıfır olmalıdır. Ancak, hesaplara güvenlik sayıları da eklendiğinde denge tahkikleri bir miktar teoriden uzaklaşmaktadır.

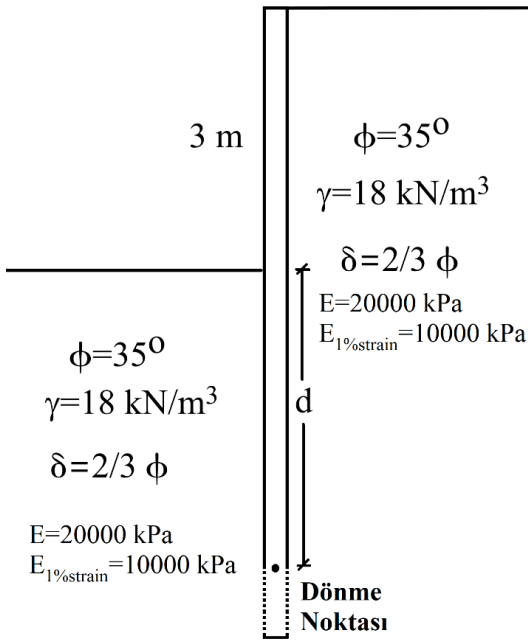
Şekil 4’deki gibi granüler zeminde bulunan 3 m yüksekliğindeki konsol duvarın Coulomb aktif ve pasif kuvvet katsayıları kullanılarak yapılan Faktörlü Moment Metodu (FMM) tahkiki Tablo 3a’da verilmektedir. İçsel sürtünme açısının 35° , zemin-duvar arayüz açısının $23,3^\circ$ alındığı Coulomb pasif itki formüle göre hesaplanan yatay pasif etki katsayısı 9,1’dir. Buna karşılık aktif itki katsayısı 0,22 olarak hesaplanmıştır. FMM metodunda pasif itkinin d noktası etrafında oluşturduğu moment aktif itkinin oluşturduğunun iki katı olmalıdır. Bu değeri sağlayan d derinliği 1,75 m’dir. Daha sonra pasif itkinin yatay bileşeninin aktif itkinin yatay bileşeninden daha büyük olup olmadığı kontrol edilmelidir. Tablo 3a’da görüldüğü üzere bu koşul da sağlanmaktadır.

Aynı sisteme Coulomb itkileri altında Faktörlü Parametre Metodu (FPM) uygulanırsa d derinliği 2 m bulunur (Tablo 3b). FPM tahkikinde moment dengesinde güvenlik katsayısı

uygulanmaz. Buna karşın içsel sürtünme açısına (35°) 1,25 güvenlik katsayısı uygulanmıştır. FMM de olduğu gibi yatayda hesaplanan pasif itkinin aktif itkiden büyük olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Hamderi tarafından verilen k_{ax-ult} formülüne göre aktif yatay itki katsayısı 0,25 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3c). Bu değer Coulomb ile hesaplanan değere çok yakındır. Hamderi'nin pasif itki katsayısında ($k_{px-avg-hamderi}$) içsel sürtünme açısına ilaveten $E_{1\%strain}$ ve dönme açısı θ mevcuttur. Zeminin %1 uzamadaki modülü ($E_{1\%strain}$) 10000 kPa alınmıştır. Betonarme yapılarda izin verilen bağıl dönme/sehim miktarının 1/500 civarında olduğundan yola çıkarak, güvenli tarafta kalınarak duvar dönmesi formüle 1/1000 olarak girilmiştir (Tablo 3c). Bulanan pasif yatay itki katsayısı 1,37 olup bu değer Coulomb ile bulunan 9,1 değerinden oldukça düşüktür. Hamderi'nin formülünü kullanarak FMM yöntemine göre hesaplanan d derinliği 2,95 m'dir. Bu değer Hamderi'nin formülü FPM yöntemine uygulandığında 2,90 m olmaktadır (Tablo 3d).

Kerisel ve Absi'nin tablolarını kullanarak aktif itki katsayısı 0,22 olarak hesaplanmaktadır (Tablo 3e). Bu değer Coulomb ve Hamderi'nin formülleriyle hesaplanan değerlere benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. Rijit konsol bir duvar ve çevresindeki zemin özellikleri

Kerisel ve Absi tabloları yardımıyla hesaplanan pasif yatay itki katsayısı 7 olup bu değer Coulomb ile hesaplanan değerden bir miktar düşük, ancak Hamderi'nin formülü ile hesaplanan değerden oldukça yüksektir. FMM ve FPM ile Kerisel ve Absi tablolarından elde edilen aktif ve pasif katsayılar ile kullanılırsa, her iki yöntemde de d derinliği 2 m olarak bulunmaktadır (Tablo 3e, 3f).

Genel olarak FMM ve FPM ile hesaplanan d derinlikleri benzerdir. Öte yandan Hamderi'nin formülüne göre

hesaplanan d derinlikleri Coulomb ve Kerisel ve Absi'ye göre hesaplanan derinliklere göre oldukça konservatif tarafta kalmaktadır. Bu durumu açıklayabilmek için bir sonraki bölümde aynı problem sonlu elemanlar yöntemi ile çözülecektir.

Tablo 3. d derinliği farklı yöntemler ile hesap adımları

a) Coulomb ile Faktörlü Moment Metodu					
γ (kN/m ³)	ϕ° (Güvenli k Faktörü=1)	M_{pasif} (kN.m)	M_{pasif}/M_{aktif}	F_{pasif} (kN)	F_{pasif}/F_{aktif}
18,0	35,0	147,1	2,0	252,1	5,5
$k_{px-coulomb}$	$k_{ax-coulomb}$	M_{aktif}	δ°	F_{aktif} (kN)	d (m)
9,1	0,22	72,2	23,33	45,6	1,75

b) Coulomb ile Faktörlü Parametre Metodu					
γ (kN/m ³)	ϕ° (Güvenli k Faktörü=1,25)	M_{pasif} (kN.m)	M_{pasif}/M_{aktif}	F_{pasif} (kN)	F_{pasif}/F_{aktif}
18,0	28,0	117,1	1,0	175,7	2,6
$k_{px-coulomb}$	$k_{ax-coulomb}$	M_{aktif}	δ°	F_{aktif} (kN)	d (m)
4,88	0,30	114,2	18,67	68,5	2,00

c) Hamderi ile Faktörlü Moment Metodu						
γ (kN/m ³)	ϕ° (Güvenli k Faktörü=1)	M_{pasif} (kN.m)	M_{pasif}/M_{aktif}	F_{pasif} (kN)	F_{aktif} (kN)	F_{pasif}/F_{aktif}
18,0	35,0	316,7	2,0	214,7	156,2	1,4
$E_{1\%strain}$	θ_{pasif}	M_{aktif}	$k_{px-avg-hamderi}$	$k_{ax-ult-hamderi}$	d (m)	
10000	-1/1000	154,9	1,37	0,25	2,95	

d) Hamderi ile Faktörlü Parametre Metodu						
γ (kN/m ³)	ϕ° (Güvenli k Faktörü=1,25)	M_{pasif} (kN.m)	M_{pasif}/M_{aktif}	F_{pasif} (kN)	F_{aktif} (kN)	F_{pasif}/F_{aktif}
18,0	28,0	287,0	1,4	197,9	207,4	1,0

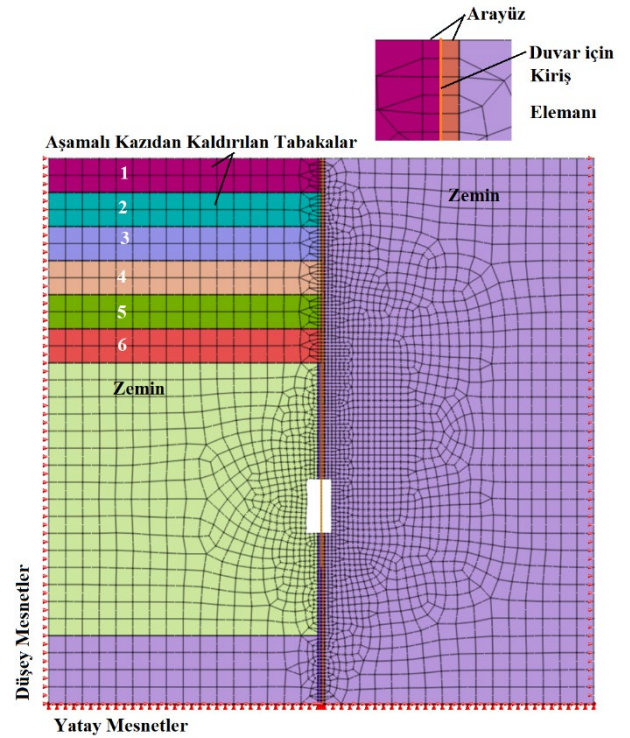
$E_{1\%str}$ ain (kPa)	θ_{pas}	M_{aktif}	$k_{px-avg-}$ hamdeleri	$k_{ax-ult-}$ hamdeleri	d (m)
10000	-1/1000	204,0	1,31	0,33	2,90

e) Kerisel ve Absi ile Faktörlü Moment Metodu						
γ (kN/m ³)	ϕ° (Güvenli k Faktörü=1)	M_{pasif} (kN.m)	M_{pasif}/M_{aktif} f	F_{pasif} (kN)	F_{aktif} (kN)	F_{pasif}/F_{aktif}
18,0	35,0	168,0	2,0	252,0	49,5	5,1
k_{px-} Kerisel &Absi	k_{ax-} Kerisel&Absi	M_{aktif}	d (m)			
7,0	0,22	82,5	2,0			

f) Kerisel ve Absi ile Faktörlü Parametre Metodu					
γ (kN/m ³)	ϕ° (Güvenli k Faktörü=1. 25)	M_{pasif} (kN.m)	M_{pasif}/M_{aktif} f	F_{pasif} (kN)	$F_{pasif}>F_{aktif}$
18	28	115	1,0	173	2,56
k_{px-} Kerisel &Absi	k_{ax-} Kerisel&Absi	M_{aktif}	F_{aktif} (kN)	d (m)	
4,8	0,3	113	68	2,0	

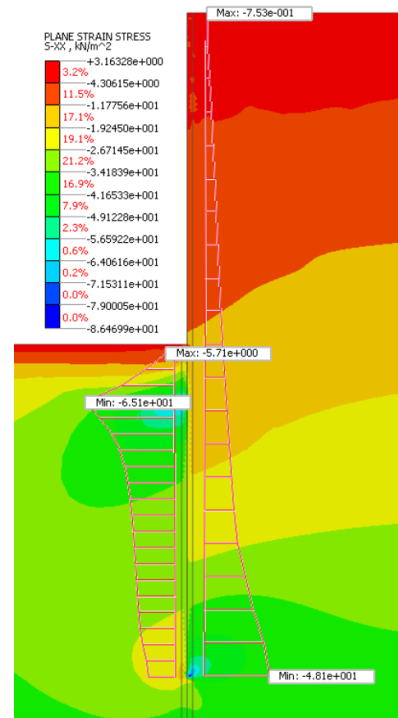
3 m yükseklikli konsol istinat duvarının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi

MIDAS GTX NX sonlu elemanları programında modellenen 3 m yüksekliğindeki konsol duvarın gömme derinliği de 3 m alınmıştır. Duvar elemanı olarak 1 m kalınlıklı betonarme kare kiriş kesit kullanılmıştır. Kiriş lineer elastik olarak tanımlanmış, elastik modülü ise 30 GPa olarak alınmıştır. Zemin Mohr-Coulomb zemin modeli ile oluşturulmuş, programa Şekil 4'de verilen değerler girilmiştir ($\phi=35^{\circ}$, $\delta=23.3^{\circ}$, $E_{1\%strain}=10000$ kPa, $\gamma=18$ kN/m³, Poisson Oranı=0.35). Zemin-duvar arayüzünü modellenmesi işi, kiriş yakınındaki ince tabakanın içsel sürtünme açısının azaltılması yöntemiyle yapılmıştır ($\delta=2/3 \phi$). Sonlu elemanlar ağı kenar ortasında nodların bulunduğu kare ve üçgen elemanlar ile oluşturulmuştur (Şekil 5). Modelde aşamalı imalat yöntemi kullanılmıştır. Birinci aşamada zeminin ilk gerilmeleri oluşturulmuş, ikinci aşamada duvar yerleştirilmiş ve daha sonra 6 aşamada duvarın ötü kazılmıştır.



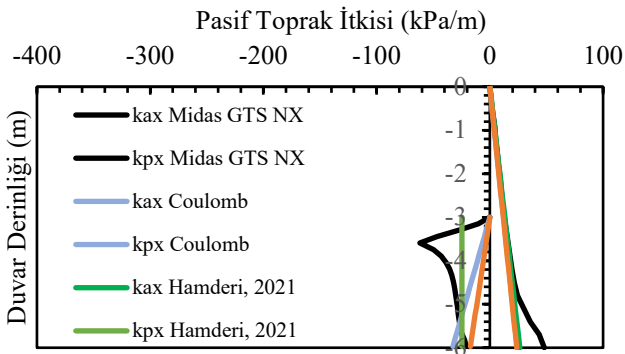
Şekil 5. 3 m yükseklikli konsol istinat duvarının sonlu elemanlar modeli

Şekil 6'da 6. kazı aşaması sonunda duvar boyunca oluşan itkiler verilmiştir. Duvarın sağında itki üçgen şeklinde olup literatürde kullanılan dağılıma benzerdir. Duvarın solundaki pasif itki dağılımı ise uygulamada kullanılan dağılımdan oldukça farklı olup Padfield ve Mair tarafından önerilen dağılıma benzerlik göstermektedir [8] (bknz. Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 6. 3 m yükseklikli konsol istinat duvarında oluşan yatay toprak itkileri

Midas GTS NX programında 3 m yüksekliğindeki duvar için yaklaşık 3 mm yatay deplasman elde edilmiştir. Bu da 1/1000 dönme değerine karşılık gelmektedir. Hamderi'nin pasif itki formülüne dönme değeri doğrudan girilebilmektedir. Ancak diğer formüller ile hesaplanan pasif itkiler EN-1997-1 Tablo C.2'de verilen oranlar doğrultusunda azaltılmalıdır. Bu tabloda gevşek zeminlerde duvarın 15/1000 dönmesi ile en büyük pasif itkinin yarısına ulaşıldığı belirtilmektedir. Öte yandan beklenen dönme için (1/1000) Tablo C.2'de herhangi bir pasif itki azaltma değeri bulunmamaktadır. Bu yüzden, karşılaştırmanın mertebe olarak doğru olabilmesi için Coulomb, Kerisel ve Absi formüllerinin verdiği pasif itki değerleri kabaca 15'e bölünecektir. Şekil 7'de konsol duvarda farklı yöntemler ile bulunan toprak itkilerine yer verilmiştir. Buna göre sağ tarafta oluşan aktif itkiler bakımından Coulomb, Hamderi, Kerisel ve Absi, ve Midas GTS NX yöntemleri arasında pek bir fark bulunmamaktadır. Sol tarafta oluşan pasif itkilerde Hamderi ve Midas GTS ile 15 kat azaltılan Coulomb, Kerisel ve Absi yöntemleri mertebe olarak benzer sonuçlar vermektedir. Öte yandan böyle bir azaltma mevcut bilimsel çalışma kapsamında yapılmış olup mühendislik uygulamalarında kullanılabilirliği mümkün değildir. Pasif itki hesaplamada dönmeyi doğal olarak içeren bir formülün kullanılması daha uygun olacaktır.



Şekil 7. 3 m yükseklikli konsol istinat duvarında farklı yöntemler ile bulunan toprak itkileri

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında açıl dönme tabanlı aktif ve pasif toprak itki formülü tanıtılmıştır. Özellikle pasif itki için olan formül duvarın açıl dönmesini ve zemin modülünü de hesaba kattığından oldukça hassas yaklaşım sunmaktadır.

Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Aktif toprak itki duvardaki küçük bir açıl dönme ile kararlı duruma ulaşmaktadır. Farklı yöntemler benzer sonuçlar vermektedir.
- Konsol istinat duvarlarda, yönetmeliklerde izin verilen dönme miktarı çerçevesinde pasif toprak itki kararlı duruma ulaşmamaktadır. Konsol duvarlar için dönme açısına bağlı olmayan formüller kullanıldığında kuvvet dengesi hesabı sorunsuz olsa da deplasman kriteri sağlanmayacaktır. Hesabın tam olması için sonlu elemanlar programında deplasman analizi de gereklidir.

- Bu çalışma kapsamında verilen açıl dönme tabanlı pasif itki katsayısına göre çözümlenen konsol istinat duvarı için bulunan itkiler sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan değerlere yakındır.
- Bu çalışmada sunulan yöntemin konsol istinat duvarlarının tasarımında güvenilir bir araç olacağı düşünülmektedir.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Terzaghi, K. 1943. Theoretical soil mechanics in engineering practices. New York: Wiley.
- [2] Caquot, A. I., ve J. Kerisel. 1948. Tables for the calculation of passive pressure, active pressure, and bearing capacity of foundations. Paris: Gauthier-Villars.
- [3] Rankine, W. J. M. 1857. "On the stability of loose earth." Proc. R. Soc. London 8: 185–187.
- [4] Coulomb, C. A. 1776. Essai sur une application des regles des maximas et minmas a quelques problemes de statique relatifs a l'architecture. [In French.] Paris: Academie Royale Des Sciences.
- [5] Poncelet, J. V. 1840. Mémoire sur la stabilité des revêtements et de leurs fondations. Note additionnelle sur les relations analytiques qui lient entre elles la poussée et la butée de la terre. Memorial de l'officier du génie. Paris: Imprimerie et librairie de Bachelier.
- [6] Kérisel, J., and E. Absi. 1990. Active and passive earth pressure tables, Rotterdam, Netherlands: Balkema.
- [7] EN 1997-1, 2004: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules. Brussels: The European Union.
- [8] Padfield, C. J., ve R. J. Mair. 1984. Design of retaining walls embedded in stiff clay. London: CIRIA.
- [9] Clough, G. W., ve J. M. Duncan. 1991. "Earth pressures." Foundation engineering handbook, uyarlayan H. Y. Fang, 223–235. 2nd ed. New York: Chapman and Hall.
- [10] CGS (Canadian Geotechnical Society). 2006. Canadian foundation engineering manual. 4th. ed. Richmond, BC, Canada: CGS
- [11] Chen, L. 2014. "Active earth pressure of retaining wall considering wall movement." Eur. J. Environ. Civ. Eng. 18 (8): 910–926.
- [12] Bang, S. 1985. "Active earth pressure behind retaining walls." J. Geotech. Eng. 111 (3): 407–412.

- [13] Chang, M. F. 1997. "Lateral earth pressures behind rotating walls." *Can. Geotech. J.* 34 (4): 498–509.
- [14] Duncan, M., ve R. L. Mokwa. 2001. "Passive earth pressures: Theories and tests." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 127 (3): 248–257. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:3\(248\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:3(248)).
- [15] Hamderi, M. 2021. "Finite Element–Based Coefficient of Lateral Earth Pressure for Cohesionless Soil" *Int. J. Geomech.* 21 (5).
- [16] EN-1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1