

**YAYILI YÜK ETKİSİNDEKİ İSTİNAT  
DUVARLARINA ETKİYEN DİNAMİK TOPRAK  
BASINÇLARININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş. Müh. Barış ÖZCAN  
501041302**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006  
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Recep İYİSAN  
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. İsmail Hakkı AKSOY (İ.T.Ü.)  
Yrd.Doç.Dr. Mehmet BERİLGİN (Y.T.Ü.)**

**OCAK 2007**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın, deprem bölgelerinde inşa edilen istinat duvarlarının tasarımında bir boşluğu dolduracağına inancını taşımaktayım. Bu yüksek lisans tezinin konuyla ilgilenen öğretim üyeleri, araştırma görevlileri ve uygulamada çalışan mühendislere yardımcı olacağını ümit etmekteyim. Tez çalışmam esnasında beni yönlendirirken ilgisini ve değerli yardımlarını benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç Dr. Recep İYİSAN başta olmak üzere, çalışmalarım sırasında göstermiş olduğu ilgi ve yardımlardan dolayı Araş. Gör. Yük. Müh. Gökhan ÇEVİKBİLEN'e, bilgisayar programının yazılmasındaki yardımlarından dolayı kardeşim Mehmet Ali ÖZCAN'a, hayatım boyunca maddi manevi destek olup her zaman yanında olan aileme ve nişanlım Sinem BİRCAN'a, bu süreçte beni anlayışla karşılayan Ularte A.Ş.'ye teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2007

Barış ÖZCAN

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                                                             | <b>v</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                                           | <b>vi</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                                           | <b>vii</b> |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                                                          | <b>ix</b>  |
| <b>ÖZET</b>                                                                                    | <b>x</b>   |
| <b>SUMMARY</b>                                                                                 | <b>xi</b>  |
| <br>                                                                                           |            |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                                | <b>1</b>   |
| 1.1 Amaç                                                                                       | 2          |
| 1.2 Kapsam                                                                                     | 2          |
| <br>                                                                                           |            |
| <b>2. İSTİNAT YAPILARINA ETKİYEN TOPRAK BASINÇLARI</b>                                         | <b>4</b>   |
| 2.1 Sükûnetteki Toprak Basıncı                                                                 | 6          |
| 2.2 Aktif Toprak Basıncı                                                                       | 7          |
| 2.3 Pasif Toprak Basıncı                                                                       | 8          |
| 2.4 Rankine Durumuna Göre Yatay İtkiler                                                        | 9          |
| 2.5 Coulomb Yöntemine Göre Zemin İtkileri                                                      | 12         |
| 2.6 Cullman Yöntemi                                                                            | 14         |
| <br>                                                                                           |            |
| <b>3. DİNAMİK TOPRAK BASINÇLARI</b>                                                            | <b>18</b>  |
| 3.1 Mononobe-Okabe Yöntemi                                                                     | 18         |
| 3.1.1 Aktif Durum                                                                              | 18         |
| 3.1.2 Pasif Durum                                                                              | 20         |
| 3.2 Geliştirilmiş Cullman Yöntemi                                                              | 21         |
| 3.2.1 Aktif Durum                                                                              | 22         |
| 3.2.2 Pasif Durum                                                                              | 23         |
| 3.3 Steedman-Zeng Yöntemi                                                                      | 24         |
| 3.4 Prakash-Saran Yöntemi                                                                      | 26         |
| 3.5 Deprem Yönetmeliklerine Dinamik Toprak Basınçları                                          | 28         |
| 3.5.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e Göre Dinamik Toprak Basınçları | 29         |
| 3.5.2 Amerika Deprem Yönetmeliğine Göre Dinamik Toprak Basınçları                              | 31         |
| 3.5.3 Japonya Deprem Yönetmeliğine Göre Dinamik Toprak Basınçları                              | 31         |
| 3.5.4 Eurocode'a Göre Dinamik Toprak Basınçları                                                | 32         |
| 3.5.5 ABYYHY'nin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması                                           | 33         |

|                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. YAYILI YÜK ETKİSİNDEKİ İSTİNAT DUVARLARI İÇİN DİNAMİK İTKİLER</b> | <b>37</b>  |
| 4.1 Cullman Grafik Yönteminin Matematiksel İfadesinin Çıkarılması       | 40         |
| 4.2 Statik ve Dinamik Toprak İtkilerinin Etkime Noktaları               | 45         |
| 4.3 Yapılan Kabuller ve Kullanılan Bilgisayar Programı                  | 46         |
| <b>5. ANALİZ SONUÇLARI</b>                                              | <b>50</b>  |
| 5.1 Kayma Mukavemeti Açısının Etkisi                                    | 50         |
| 5.2 Duvar Yüksekliğinin Etkisi                                          | 53         |
| 5.3 Yayılı Yük Şiddetinin Etkisi                                        | 55         |
| 5.4 Şev Açısı Değişiminin Etkisi                                        | 58         |
| 5.5 Etkin Yayılı Yük Uzaklığı                                           | 59         |
| 5.6 Dinamik ve Statik Toprak Basınçlarının Karşılaştırılması            | 62         |
| 5.7 Örnek Uygulama                                                      | 63         |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>                                          | <b>73</b>  |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                        | <b>76</b>  |
| <b>EK A</b>                                                             | <b>77</b>  |
| <b>EK B</b>                                                             | <b>90</b>  |
| <b>EK C</b>                                                             | <b>140</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                         | <b>151</b> |

## **KISALTMALAR**

|               |                                                           |
|---------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>ABYYHY</b> | : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik |
| <b>M-O</b>    | : Mononobe-Okabe yöntemi                                  |
| <b>P-S</b>    | : Prakash-Saran yöntemi                                   |
| <b>S-Z</b>    | : Steedman-Zeng yöntemi                                   |

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1</b> : Aktif toprak basıncının oluşabilmesi için istinat duvarında oluşması gereken yatay hareketler (Saran, 1996).....                                                         | 8  |
| <b>Tablo 2.2</b> : Pasif toprak basıncının oluşabilmesi için istinat duvarında oluşması gereken yatay hareketler (Saran, 1996).....                                                         | 9  |
| <b>Tablo 3.1</b> : AEBCD kamasına etkiyen kuvvetler (Saran, 1996).....                                                                                                                      | 27 |
| <b>Tablo 3.2</b> : Yatay tasarım ivmesinin hesaplanması için r katsayıları (Eurocode 8, 2004) .....                                                                                         | 33 |
| <b>Tablo 4.1</b> : Kullanılan değişkenler ve aldıkları değerler.....                                                                                                                        | 39 |
| <b>Tablo 4.2</b> : Modelde farklı deprem bölgeleri ve kayma mukavemeti açıları için kullanılacak olan şev açıları.....                                                                      | 39 |
| <b>Tablo 5.1</b> : $A_0=0.4$ , $q=30 \text{ kN/m}^2$ , $\phi=30^\circ$ ve $i=0^\circ$ için $M_{\text{din}}$ ve $P_{\text{at}}$ değerleri.....                                               | 52 |
| <b>Tablo 5.2</b> : $A_0=0.4$ , $H=6 \text{ m}$ , $\phi=30^\circ$ ve $i=0^\circ$ için $M_{\text{din}}$ ve $P_{\text{at}}$ değerleri.....                                                     | 54 |
| <b>Tablo 5.3</b> : $A_0=0.4$ , $H=6 \text{ m}$ , $\phi=30^\circ$ ve $i=18^\circ$ için $M_{\text{din}}$ ve $P_{\text{at}}$ değerleri.....                                                    | 55 |
| <b>Tablo 5.4</b> : $A_0=0.4$ , $H=5 \text{ m}$ , $q=30 \text{ kN/m}^2$ ve $i=0^\circ$ için $M_{\text{din}}$ ve $P_{\text{at}}$ değerleri.....                                               | 56 |
| <b>Tablo 5.5</b> : $A_0=0.4$ , $H=5 \text{ m}$ , $q=30 \text{ kN/m}^2$ ve $i \leq (\phi - \theta)/1.1$ şartını sağlayan şev açıları için $M_{\text{din}}$ ve $P_{\text{at}}$ değerleri..... | 57 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : İstinat duvarlarında toptan göçme şekilleri (Coduto, 2001).....                       | 5  |
| Şekil 2.2 : Sükûnetteki toprak basıncı .....                                                      | 6  |
| Şekil 2.3 : Aktif durumda oluşan kesme göçmesi düzlemleri .....                                   | 8  |
| Şekil 2.4 : Pasif durumda oluşan kesme göçmesi düzlemleri.....                                    | 9  |
| Şekil 2.5 : Aktif ve pasif durum için Rankine zemin itkisi .....                                  | 11 |
| Şekil 2.6 : Aktif durum için Coulomb yöntemi .....                                                | 12 |
| Şekil 2.7 : Pasif durum için Coulomb yöntemi.....                                                 | 13 |
| Şekil 2.8 : Cullman yöntemi ile statik aktif toprak itkisinin bulunması .....                     | 14 |
| Şekil 2.9 : Cullman yöntemi ile statik pasif toprak itkisinin bulunması.....                      | 16 |
| Şekil 2.10 : Cullman yöntemi için toprak basıncı dağılımının bulunması .....                      | 17 |
| Şekil 2.11 : Bileşke kuvvetin etkiye noktasının bulunması için Terzaghi'nin yaklaşık yöntemi..... | 17 |
| Şekil 3.1 : Mononobe-Okabe Denkleminin Türetilmesi.....                                           | 19 |
| Şekil 3.2 : Mononobe-Okabe Dinamik Pasif Toprak İtkisi .....                                      | 21 |
| Şekil 3.3 : Dinamik aktif toprak itkisi için kuvvet poligonu .....                                | 22 |
| Şekil 3.4 : $P_{at}$ için Geliştirilmiş Cullman yöntemi .....                                     | 23 |
| Şekil 3.5 : Dinamik pasif toprak itkisi için kuvvet poligonu.....                                 | 24 |
| Şekil 3.6 : $P_{pt}$ için Geliştirilmiş Cullman yöntemi .....                                     | 24 |
| Şekil 3.7 : Steedman-Zeng yöntemindeki tanımlamalar.....                                          | 25 |
| Şekil 3.8 : Prakash-Saran Yönteminde, $c-\phi$ Zeminlere Sismik Durumda Etkiyen Kuvvetler.....    | 27 |
| Şekil 3.9 : ABYYHY'ye göre toprak basınçlarının etkiye noktaları (Özden ve diğ., 1995) .....      | 31 |
| Şekil 3.10 : Yöntemlerin karşılaştırılmasında kullanılan model ve parametreler .....              | 34 |
| Şekil 3.11 : Yöntemler arasında duvar yüksekliği değişiminin etkisi .....                         | 34 |
| Şekil 3.12 : Yöntemler arasında kayma mukavemeti açısı değişiminin etkisi .....                   | 35 |
| Şekil 3.13 : Yöntemler arasında yayılı yük değişiminin etkisi.....                                | 36 |
| Şekil 4.1 : İstinat duvarı modeli yük ve arka dolgu durumu .....                                  | 38 |
| Şekil 4.2 : Modelin sayısal çözümü için kullanılacak geometrik eşitlikler .....                   | 41 |
| Şekil 4.3 : Yukarı deprem hareketi için oluşturulan kuvvet poligonu.....                          | 43 |
| Şekil 4.4 : Aşağı deprem hareketi için oluşturulan kuvvet poligonu.....                           | 44 |
| Şekil 4.5 : Statik toplam toprak itkisi $P_{ast}$ 'nin etkiye noktası .....                       | 46 |
| Şekil 5.1 : $i=0^\circ$ için kayma mukavemeti açısının etkisi.....                                | 51 |
| Şekil 5.2 : $i=10^\circ$ için kayma mukavemeti açısının etkisi.....                               | 52 |
| Şekil 5.3 : $i=0^\circ$ için duvar yüksekliği değişiminin etkisi .....                            | 53 |
| Şekil 5.4 : $i=18^\circ$ için duvar yüksekliği değişiminin etkisi.....                            | 54 |

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.5 :</b> $i=0^0$ için yayılı yük değişiminin etkisi.....                                                                                                           | 56 |
| <b>Şekil 5.6 :</b> $i=18^0$ için yayılı yük değişiminin etkisi.....                                                                                                          | 57 |
| <b>Şekil 5.7 :</b> Şev açısı değişiminin etkisi .....                                                                                                                        | 58 |
| <b>Şekil 5.8 :</b> $i=0^0$ , $q=15\text{kN/m}^2$ durumu için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması .....                            | 59 |
| <b>Şekil 5.9 :</b> $i=0^0$ , $q=30\text{N/m}^2$ durumu için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması .....                             | 60 |
| <b>Şekil 5.10 :</b> $i=0^0$ , $q=60\text{N/m}^2$ durumu için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması .....                            | 60 |
| <b>Şekil 5.11 :</b> $i \leq (\phi - \theta) / 1.1$ için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması.....                                  | 61 |
| <b>Şekil 5.12 :</b> Birinci derece deprem bölgesinde, $q=30 \text{ kN/m}^2$ ve $i \leq (\phi - \theta) / 1.1$ için ( $P_{at}-P_{ast}$ ) ile $P_{ast}$ arasındaki ilişki..... | 62 |
| <b>Şekil 5.13 :</b> Birinci derece deprem bölgesinde, $i=0^0$ ve $q=30 \text{ kN/m}^2$ için ( $P_{at}-P_{ast}$ ) ile $P_{ast}$ arasındaki ilişki .....                       | 63 |
| <b>Şekil 5.14 :</b> Aşağı deprem hareketi için Geliştirilmiş Cullman yönteminin uygulanması .....                                                                            | 64 |
| <b>Şekil 5.15 :</b> Yukarı deprem hareketi için Geliştirilmiş Cullman yönteminin uygulaması .....                                                                            | 65 |
| <b>Şekil 5.16 :</b> Statik durum için Geliştirilmiş Cullman yönteminin uygulaması.....                                                                                       | 65 |
| <b>Şekil 5.17 :</b> Statik durumda bileşke kuvvetin etkime noktasının bulunması.....                                                                                         | 69 |

## SEMBOL LİSTESİ

|            |                                                                    |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| $A_o$      | : Etkin yer ivmesi katsayısı                                       |
| $\phi$     | : Zeminin kayma mukavemeti açısı                                   |
| $\beta$    | : Duvar arka yüzünün eğimi                                         |
| $\theta_1$ | : Deneme kaması kayma düzleminin düşey ile yaptığı açı             |
| $\alpha$   | : Deneme kaması kayma düzleminin yatay ile yaptığı açı             |
| $\delta$   | : Duvar ile zemin arası sürtünme açısı                             |
| $c$        | : Zeminin kohezyonu                                                |
| $i$        | : Arka dolgunun şev açısı                                          |
| $H$        | : Duvar yüksekliği                                                 |
| $q$        | : Düzgün yayılı yük                                                |
| $K_a$      | : Aktif toprak basıncı katsayısı                                   |
| $K_p$      | : Pasif toprak basıncı katsayısı                                   |
| $K_{at}$   | : Depremlı durum için aktif toprak basıncı katsayısı               |
| $K_{pt}$   | : Depremlı durum için pasif toprak basıncı katsayısı               |
| $K_o$      | : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı                             |
| $L$        | : Yayılı yükün istinat duvarı yatay uzaklığı                       |
| $L_e$      | : Yayılı yükün istinat duvarına etkisinin kalmadığı yatay uzaklık  |
| $k_h$      | : Tasarım deprem ivmesinin yatay bileşeni                          |
| $k_v$      | : Tasarım deprem ivmesinin düşey bileşeni                          |
| $P_a$      | : Aktif toprak itkisi                                              |
| $P_p$      | : Pasif toprak itkisi                                              |
| $P_{at}$   | : Depremlı durumda oluşan toplam toprak itkisi                     |
| $P_{ast}$  | : Statik durumda oluşan toplam toprak itkisi                       |
| $P_{as}$   | : Statik durumda toprak kütesinden oluşan statik toprak itkisi     |
| $P_{ad}$   | : Depremlı durumda toprak kütesinden oluşan dinamik toprak itkisi  |
| $Q_{as}$   | : Statik durumda yayılı yük kütesinden oluşan statik toprak itkisi |
| $Q_{ad}$   | : Depremlı durumda yayılı kütesinden oluşan dinamik toprak itkisi  |
| $M_{sta}$  | : Statik durumda oluşan toplam devirici moment                     |
| $M_{din}$  | : Depremlı durumda oluşan toplam devirici moment                   |
| $V_s$      | : Kayma dalgası hızı                                               |
| $W$        | : Kayma kaması ağırlığı                                            |
| $Q$        | : Yayılı yük ağırlığı                                              |

## **YAYILI YÜK ETKİSİNDEKİ İSTİNAT DUVARLARINA ETKİYEN DİNAMİK TOPRAK BASINÇLARININ BELİRLENMESİ**

### **ÖZET**

İstinat duvarları, kot farkı bulunan iki toprak yüzeyi tutmaya yarayan mühendislik yapılarıdır. Bu yapılar toprak basınçlarının etkisi altındadırlar. Deprem bölgelerinde inşa edilen istinat duvarlarına statik toprak basınçlarının yanı sıra dinamik toprak basınçları da etkimektedir. Tasarım sırasında bu iki kuvvet de dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, istinat duvarlarına etkileyen statik toprak basınçları ve bunların hesaplanma yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dinamik toprak basınçlarının hesaplama yöntemlerinden Mononobe-Okabe, Geliştirilmiş Cullman, Prakash-Saran ve Steedman-Zeng yöntemi incelenmiştir. Bu yöntemler arasındaki farklar ve yöntemlerin uygulanabilme koşulları incelenmiştir. Ayrıca, Amerikan, Japon, Türk deprem yönetmelikleri ve Eurocode 8'e de yer verilmiştir. Türk deprem yönetmeliğinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Çeşitli parametreler altında aralarındaki farklar incelenmiştir.

Seçilen istinat duvarı modeli ve bu modelin çözümüne cevap veren Geliştirilmiş Cullman yönteminin matematiksel çözümü verilmiştir. Modelde bir şev açısına sahip arka dolgu üzerinde belirli bir uzaklıkta düzgün yayılı yük bulunmaktadır. Geliştirilmiş Cullman yöntemi üzerinde değişiklikler yapılarak analizlerin Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ile uyumlu hale gelmesi sağlanmıştır. Analizler için yazılan bilgisayar programının akış diyagramı verilmiştir. Farklı değişkenlerin etkisi incelendiği analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Ayrıca, istinat duvarlarının tasarımını kolaylaştırması amacıyla toplam devirici moment ve kaydırıcı kuvvetlerin yer aldığı tablolara yer verilmiştir.

## **DETERMINATION OF DYNAMIC LATERAL EARTH PRESSURES ON RETAINING WALLS UNDER SURCHARGE LOAD**

### **SUMMARY**

Retaining walls hold the soil that has an elevation difference between its two surfaces. These structures are on influence of soil pressures. Static and dynamic soil pressures act on retaining walls that are built in seismic regions. These two forces should be considered for design.

In this study, information about the static soil pressures act on retaining walls and their calculation methods are given. Calculation methods of dynamic soil pressures,;Mononobe-Okabe, Modified Cullman, Prakash-Saran and Steedman-Zeng methods are examined. The differences between these methods and application conditions of these methods are examined. Also, American, Japanese, Turkish earthquake codes and Eurocode 8 are discussed. Turkish earthquake code is compared with other methods. The differences between them are examined in various parameters.

The selected model of retaining wall and the mathematical calculation of Modified Cullman method which gives solution for the selected model are given. There is an inclined backfill with a uniform distributed surcharge at a distant in the model. Modified Cullman method is adapted to Turkish earthquake code. The flow diagram for the computer program that is written for the analysis is given. The results of analysis that are based on various parameters are given. Tables which include total overturning moments and sliding forces are given for making easy design of retaining walls.

## 1. GİRİŞ

İstinat yapıları inşaat mühendisliği uygulamaları sırasında birçok kez karşımıza çıkmaktadır. İstinat yapılarına ihtiyacın doğmasının ilk sebebi belli açılarda oluşmuş şevler üzerinde inşa edilen yol ve bina türü yapılardır. Bodrum katları bulunan binaların derin kazıları için de değişik tipte istinat yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. İstinat yapılarının çeşitli tipleri vardır. Bunlar; ağırlık duvarları, betonarme konsol duvarlar, donatılı zemin istinat duvarları, zemin çivili duvarlar, sürekli kazıklardan teşkil edilmiş duvarlar ve diyafram duvarlardır. Bu yapılar, geçici veya kalıcı olarak inşa edilebilirler. Geçici olarak inşa edilen istinat yapılarında depremin oluşma riski çok düşük olduğundan, bu yapıların tasarımı genellikle sadece statik yüklere göre yapılır. Ancak deprem bölgelerinde, kalıcı istinat duvarlarının tasarımında statik yüklerin yanı sıra deprem kuvvetlerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Genel olarak istinat duvarları aktif ve pasif toprak basınçlarının etkisi altındadır. Etkiyen aktif ve pasif toprak basınçları statik ve dinamik olmak üzere iki durum için ayrı ayrı hesaplanabilir. Statik toprak basınçlarının belirlenmesinde genellikle Rankine (1857) ve Coulomb (1776) yöntemleri kullanılmaktadır. Karışık geometriye sahip şevlerde ve düzensiz yayılı yüklerin bulunması halinde ise Cullman grafik yöntemi kullanılmaktadır. Dinamik toprak basınçları hesabı konusunda, Mononobe-Okabe (1926), Steedman-Zeng (1990) ve Prakash-Saran (1968) en temel üç yöntemdir. Çeşitli ülkelerin yönetmeliklerinde, Türkiye’de de olduğu gibi hesap yönteminde esas olarak Mononobe-Okabe yöntemi alınmıştır. Bu yöntemlerin, hepsinde de düzgün açılı sonsuza giden şevler ve yayılı yükler dikkate alınarak hesabı basitleştirici kabuller yapılmıştır. Oysa uygulamalarda çok farklı geometri ve yükleme durumlarıyla karşılaşılabilir. Bu tip durumlar için Cullman’ın statik toprak basınçları için geliştirdiği yöntem, Mononobe-Okabe yöntemi esas alınarak dinamik toprak basınçları için uyarlanmıştır. Bu yöntem Geliştirilmiş Cullman yöntemidir. Tasarımdan sorumlu mühendisin optimum çözüm için çeşitli denemeler yaparak istinat duvarı boyutlarını belirlemesi gerektiği açıktır. Gerek statik, gerekse

dinamik toprak basınçlarının Cullman yöntemiyle belirlenmesi gayet zaman alıcı bir çalışmadır.

## 1.1 Amaç

Bu çalışmada yayılı yük etkisi altında bulunan istinat duvarlarına etkiyen toplam yatay itkiler ve en büyük momentler, değişik parametreler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmada, duvar yüksekliği (H), yayılı yük (q), yayılı yükün mesafesi (L), zeminin kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ), şev eğimi (i) değişken olarak seçilmiş ve her birinin etkisi deprem bölgesine bağlı olarak incelenmiştir.

Çalışmada sık karşılaşıldığı düşünülen geometri ve yükleme durumunu dikkate alan bir model istinat duvarı seçilmiştir. Seçilen modelde sınırlı şev uzunluğuna sahip dolgu üstünde, şevin bittiği yerde yayılı yükün başladığı bir yükleme durumu belirlenmiştir. Belirlenen model, mevcut yöntemlerden sadece Geliştirilmiş Cullman ile çözülebilmektedir.

Hesaplamaların ABYYHY ile uyumlu olabilmesi için yönetmelikteki bazı kabuller Geliştirilmiş Cullman yöntemi için de aynen alınmıştır. Geliştirilmiş Cullman yönteminin grafik bir yöntem olması ve bu yöntemle çözümlerin uzun zaman alması sebebiyle hesaplamaların çok sayıda tekrarlanmasını pratik açıdan uygun olmamaktadır. Bu nedenle, grafik yöntem matematiksel olarak ifade edilerek iterasyonla en büyük aktif itkileri ve momentleri bulan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program sayesinde hesaplamalar sonucunda toplam toprak itkisi ( $P_{at}$ ), toprak kütesinden kaynaklanan dinamik itki ( $P_{ad}$ ), yayılı yük kütesinden kaynaklanan dinamik itki ( $Q_{ad}$ ), toplam statik itki ( $P_{ast}$ ), toprak kütesinden kaynaklanan statik itki ( $P_{as}$ ), yayılı yük kütesinden kaynaklanan statik itki ( $Q_{as}$ ), kuvvetlerin etkiye yükseklikleri  $H_1, H_2, H_3, H_4$ , depremlili durumda oluşan devirici moment ( $M_{din}$ ), statik durumda oluşan devirici moment ( $M_{sta}$ ), ve kritik kayma kaması açıları  $\theta_{din}, \theta_{sta}$  bulunmaktadır.

## 1.2 Kapsam

Çalışmanın ikinci bölümünde istinat duvarlarına etkiyen toprak basınçları ve bunların hesaplama yöntemleri gözden geçirilmiştir. Üçüncü bölümde ise dinamik toprak

basınçlarının hesabı için kullanılan yöntemler ve deprem yönetmelikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde seçilen istinat duvarı modeli için yazılan bilgisayar programı yardımıyla farklı parametreler için analizler yapılmıştır. Kullanılacak parametrelerin çokluğu ve bunların alabileceği değerlerin çeşitliliği sebebiyle, en faydalı olacağı düşünülen değerler seçilerek veri sayısı incelenmesi mümkün bir seviye düşürülmüştür. Tez kapsamında yaklaşık 21000 farklı analiz yapılmıştır. İnceleme dört deprem bölgesini de içerse de hesaplamaların özetlendiği tablolarda sadece 1. ve 2. deprem bölgelerine yer verilmiştir. Seçilen model için tasarımcıyı en yararlı olabilecek veriler kaydırıcı kuvvetler ve devirici momentler verilmiştir. İstinat duvarının tipi ve boyutları çeşitlilik gösterebileceğinden duvarın kendi ağırlığından kaynaklanan dinamik yatay kuvvet dikkate alınmamıştır. Koruyucu kuvvetlerin ve momentlerin bulunması ve bunlara bağlı olarak devrilme, kayma ve taban basıncı tahkiklerinin yapılması tasarımcıya bırakılmıştır. Analizler için yayılı yük uzaklığı 0.5 m'lik aralıklarla değiştirilmiştir. Özet tablolarda bu aralıklar 0-10 m arası 2.5 m, 10 m-20 m arası için ise 5 m alınmıştır. Analizler yükün etkisini kaybettiği en uzak mesafeye kadar devam ettirilmiştir. Ancak tablolarda, 20 m'den sonrasına yer verilmemiştir.

## 2. İSTİNAT YAPILARINA ETKİYEN TOPRAK BASINÇLARI

Değişik amaçlar için kullanılacak istinat yapıları yatay toprak basınçlarının etkisi altındadır. Kazı yüksekliğine ve tipine göre farklı türde uygulanabilecek istinat yapıları mevcuttur. Bunların en başında konsol betonarme istinat duvarları gelir. Kalıcı dayanma yapılarındadır. Büyük eğilme etkilerini konsol perdesindeki içindeki donatılar sayesinde karşılayabildikleri için sıkça tercih edilirler. Bu tip istinat yapılarının yaklaşık 8m yüksekliğe kadar ekonomik oldukları bilinmektedir. Uygulamada daha büyük yükseklikler için de tercih edildikleri görülmektedir.

Ağırlık duvarları, taşların harç ile örülmesiyle oluşturulan duvarlardır. Yüksekliğin fazla olmadığı durumlar için uygundur. İşçilik maliyetleri azdır. Çekme gerilmelerine karşı koyamadıklarından, yükseklik arttıkça kalınlıkları çok artar. Bu nedenle, yüksek ağırlık duvarlarının maliyetleri diğer duvarlara kıyasla daha fazladır (Coduto, 2001).

Donatılı zemin istinat duvarları, zeminin çekme gerilmesi almamasından dolayı içine donatı elemanı yerleştirilerek toprak basınçları bu elemanlara taşınır. Donatı olarak geosentetikler, metal şerit veya tel örgü gibi malzemeler kullanılmaktadır. Donatılar genellikle zemin yüzündeki kaplamaya bağlanırlar (Coduto, 2001).

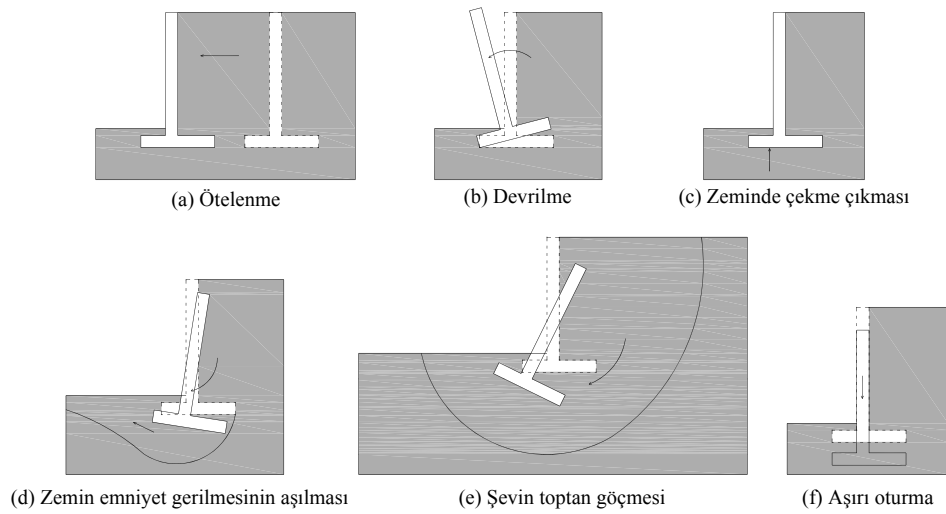
Zemin çivili duvarlar, zeminde açılan deliklere yerleştirilen çelik donatıların yerleştirilmesiyle oluşturulurlar. Yerleştirilen çelik donatılar çimentolanarak, yüzeyi püskürtme betonla kaplanır. Donatılı zemine benzer bir mantıkta çalışırlar. Kazı gerektirmediklerinden, özellikle yer sıkıntısının olduğu durumlarda kullanılırlar (Coduto, 2001).

Kazıklardan teşkil edilen duvarlar, kazıdan önce kazıkların yan yana belli aralıklarla sürekli şekilde çakılmasıyla oluşturulan duvarlardır. Yer sıkıntısının olduğu derin kazılarda sıkça kullanılmaktadırlar. Ekonomik tasarım amacıyla kazıklar arasına

düşeyde ve yatayda belli aralıklarla ankrajlar atılır veya dışardan destekler yerleştirilir.

Bir istinat duvarı, üzerine etkiyen kuvvetlerden dolayı oluşan kesit zorlarını karşılayacak yeterli iç stabiliteye sahip olmalıdır. Gerek perdesinde gerekse ampatmanında kesme ve eğilme dayanımları betonarme hesap kurallarının gerektirdiği şekilde olmalıdır. Bu yeterli iç mukavemete sahip istinat duvarının ayrıca, dış stabilite tahkikleri yapılmalıdır. İstinat duvarında dış stabilite tahkiki aşağıda verilen ve Şekil 2.1’de gösterilen altı durum için yapılmalıdır (Coduto, 2001).

- İstinat duvarı kaymaya karşı yeterli emniyete sahip olmalıdır.
- İstinat duvarı devrilmeye karşı yeterli emniyete sahip olmalıdır.
- İstinat duvarı tabanına etkiyen normal kuvvet toplam taban genişliğinin üçte birlik orta kısmının içinde olmalıdır.
- İstinat duvarı tabanında oluşan basınçlar zeminin emniyet gerilmesini geçmemelidir.
- İstinat duvarının yapıldığı şevin kayma tahkiklerine karşı yeterli stabiliteye sahip olması gerekmektedir.
- İstinat duvarının yaptığı toplam oturma kabul edilebilir mertebede olmalıdır.

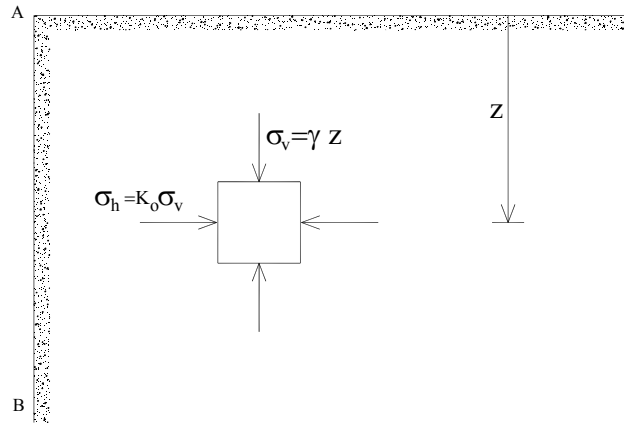


**Şekil 2.1 : İstinat duvarlarında toptan göçme şekilleri (Coduto, 2001)**

İstinat duvarlarına etkiyen yatay toprak basınçları, zeminin herhangi bir noktasındaki yatay efektif gerilmenin düşey efektif gerilmeye oranını gösteren yatay toprak basıncı katsayıları ile hesaplanır. Yatay toprak basınçları sükunetteki toprak basıncı, aktif ve pasif toprak basıncı olmak üzere üç durum için tanımlanır. Bu her üç durum, içinde kullanılan yatay toprak basıncı katsayıları farklıdır. Aşağıda bu üç durum anlatılmaktadır (Coduto, 2001).

## 2.1 Sükûnetteki Toprak Basıncı

Şekil 2.2'deki gibi bir zemin kütlesi düşünelim. Zemin AB hattında sonsuza giden sürtünmesiz bir duvar tarafından sınırlandırılmış olsun. Küçük bir zemin elemanına z derinliğinde düşey gerilme, ( $\sigma_v$ ) ve yatay gerilme, ( $\sigma_h$ ) etkimektedir. Eğer duvar sabit duruyorsa, zemin kütlesi elastik denge durumunda olmalıdır. Yatay şekil değiştirme sıfırdır. Yatay gerilmenin, düşey gerilmeye oranına, sükûnetteki toprak basıncı katsayısı denir ve  $K_o$  ile gösterilir. Bu katsayı aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Das, 1998).



**Şekil 2.2 : Sükûnetteki toprak basıncı**

$$K_o = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (2.1)$$

$\gamma$ , zeminin birim hacim ağırlığı ve z toprak basıncının hesaplanacağı derinlik olmak üzere düşey gerilme,  $\sigma_v$  ile yatay gerilme  $\sigma_h$ 'nin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_v = \gamma z \quad (2.2)$$

$$\sigma_h = K_o \gamma z \quad (2.3)$$

Sükunetteki toprak basıncı katsayıları zemin tipine göre farklı denklemlerle hesaplanmaktadır (Yıldırım, 2002). Bu bağıntılarda kullanılan değişkenler aşağıdaki gibidir;

$\phi$  : Duvar arkası zeminin kayma mukavemeti açısı

$\phi'$  : Duvar arkası zeminin efektif kayma mukavemeti açısı

OCR: Zeminin aşırı konsolidasyon oranı

$K_{onc}$ : Normal konsolide killerde yatay toprak basıncı katsayısı

$K_{oc}$ : Aşırı konsolide killerde yatay toprak basıncı katsayısı

Kaba daneli zeminler için  $K_o$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (2.4)$$

Normal konsolide killer için benzer şekilde aşağıdaki gibi ifade edilir.

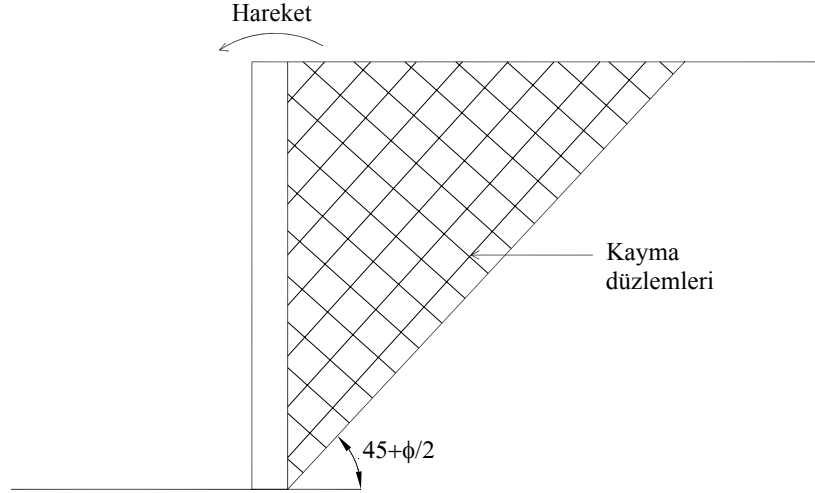
$$K_{onc} = 0.95 - \sin \phi' \quad (2.5)$$

Aşırı konsolide killerde sükunetteki toprak basıncı katsayısı normal konsolide killer için hesaplanan katsayının aşırı konsolidasyon oranının kareköküyle çarpılmasıyla elde edilir,

$$K_{oc} = K_{onc} \sqrt{OCR} \quad (2.6)$$

## 2.2 Aktif Toprak Basıncı

Sükunetteki durum sadece duvarın hareket etmediği durumda söz konusudur. İstinat duvarı herhangi bir şekilde öne doğru yeterli miktarda hareket ettiğinde aktif toprak basınçları oluşmaktadır. Oluşan kayma düzlemleri Şekil 2.3'te görüldüğü gibi yatayla  $45+\phi/2$  açı yapmaktadır (Coduto, 2001).



**Şekil 2.3 :** Aktif durumda oluşan kesme göçmesi düzlemleri

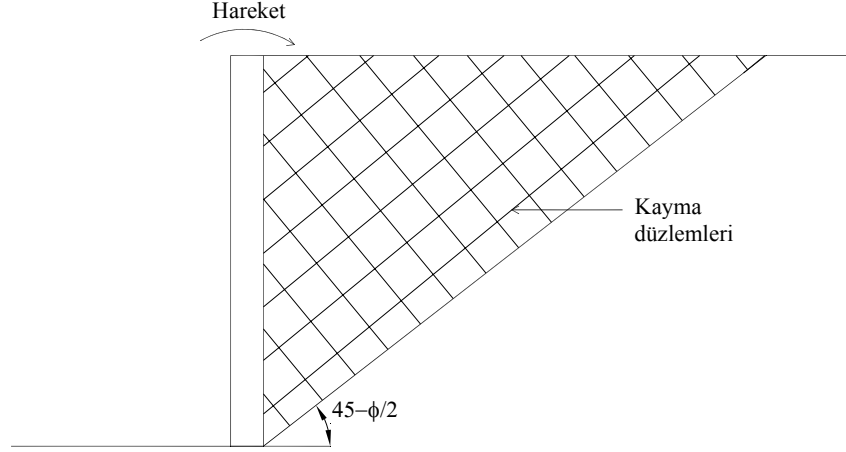
Aktif toprak basıncının oluşabilmesi için gerekli deplasmanlar zemin türüne göre farklılık göstermektedir. Tablo 2.1’de zemin tipine göre ve duvar yüksekliği,  $H$ ’a bağlı olarak gerekli olan deplasmanlar verilmiştir (Saran, 1996).

**Tablo 2.1 :** Aktif toprak basıncının oluşabilmesi için istinat duvarında oluşması gereken yatay hareketler (Saran, 1996)

| Zemin Türü               | Gerekli Yatay Hareket |
|--------------------------|-----------------------|
| Sıkı Kohezyonsuz Zemin   | $0.0005 H - 0.001 H$  |
| Gevşek Kohezyonsuz Zemin | $0.002 H - 0.004 H$   |
| Katı Kohezyonlu Zemin    | $0.01 H - 0.02 H$     |
| Yumuşak Kohezyonlu Zemin | $0.02 H - 0.05 H$     |

### 2.3 Pasif Toprak Basıncı

Pasif durumda ise aktif durumun tersine duvar dolgu içine doğru hareket eder. Bu durum için oluşan kayma göçmesi düzlemleri Şekil 2.3’te gösterilmiştir. Oluşan kayma göçmesi düzlemleri yatayla  $45-\phi/2$  açı yapmaktadır (Coduto, 2001).



**Şekil 2.4 :** Pasif durumda oluşan kesme göçmesi düzlemleri

Pasif toprak basıncının oluşabilmesi için, aktif durumdakinden daha fazla deplasman gerekmektedir. Tablo 2.2’de zemin tipine göre ve duvar yüksekliği,  $H$ ’a bağlı olarak gerekli olan deplasmanlar verilmiştir (Saran, 1996)

**Tablo 2.2 :** Pasif toprak basıncının oluşabilmesi için istinat duvarında oluşması gereken yatay hareketler (Saran, 1996)

| Zemin Türü               | Gerekli Yatay Hareket |
|--------------------------|-----------------------|
| Sıkı Kohezyonsuz Zemin   | $0.0015 H - 0.004H$   |
| Gevşek Kohezyonsuz Zemin | $0.006 H - 0.008 H$   |
| Katı Kohezyonlu Zemin    | $0.025H - 0.035 H$    |
| Yumuşak Kohezyonlu Zemin | $0.04 H - 0.08 H$     |

İstinat yapılarına etkiyen aktif ve pasif toprak basınçlarının ve itkilerinin hesaplanmasında Coulomb, Rankine, Cullman, Rebhann, Gerilme Dairesi ve Sürtünme Dairesi gibi değişik yöntemler mevcuttur (Huntington, 1957). Bu çalışmada en temel üç yöntemden bahsedilmiştir. Bunlar; Rankine, Coloumb ve Cullman yöntemleridir.

## 2.4 Rankine Durumuna Göre Yatay İtkiler

Bir istinat yapısı öne doğru hareket ettiğinde, herhangi bir noktadaki düşey gerilme sabit kalırken yatay gerilmeler giderek azalır. Bu yatay gerilme en az değere

düştüğünde plastik dengeye ulaşılır ve zeminde göçme oluşur. Rankine yöntemi ilk olarak ortaya çıkardığında zeminin kohezyonunu dikkate almamıştır. Bell 1915 yılında Rankine yöntemini geliştirerek kohezyonun dikkate alınabilmesini sağlamıştır (Bowles, 1996). Rankine durumunda duvar arkasının düz, duvarın düşey ve sürtünmesiz olması durumunda hem düşey hem de yanal gerilmeler birer asal gerilme olup duvar arkasında göçmeye ulaşıldığında düşey gerilme büyük asal gerilme ( $\sigma_1$ ), aktif gerilme ise küçük asal gerilmedir( $\sigma_3$ ). Zeminde göçme durumu için asal gerilmelerle kayma dayanımı parametreleri arasında;

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45 + \phi/2) + 2c \tan(45 + \phi/2) \quad (2.7)$$

bağıntısı mevcuttur.

Etkiyen aktif toprak basıncı  $\sigma_1 = p_v$   $\sigma_3 = p_a$  yazılırsa,

$$p_a = p_v \tan^2(45 - \phi/2) - 2c \tan(45 - \phi/2) \quad (2.8)$$

$$p_a = p_v K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (2.9)$$

ile hesaplanır.

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (2.10)$$

$$\text{Kohezyonlu zeminler, } p_a = - 2c \sqrt{K_a} \quad (2.11)$$

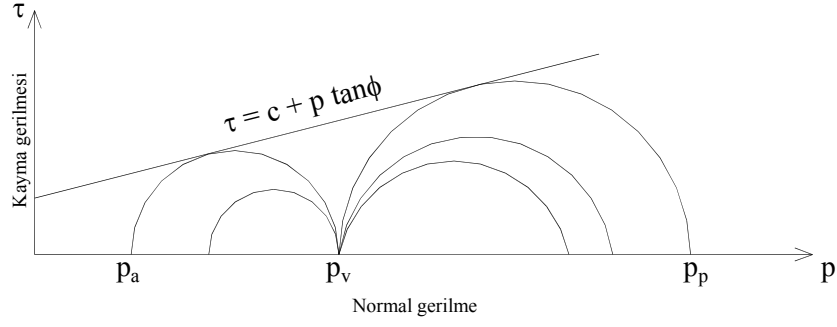
çekme gerilmeleri altındadır.

$$\gamma z_c K_a - 2c \sqrt{K_a} = 0$$

eşitliği yazılırsa çekme çatlağı derinliği  $z_c$ ,

$$z_c = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}} \quad (2.12)$$

olarak elde edilir. Yayılı yük olması durumunda hesaplanan basınçlara  $qK_a$  ilave edilir. (Yıldırım, 2002).



**Şekil 2.5 :** Aktif ve pasif durum için Rankine zemin itkisi

Pasif durumda ise istinat duvarı zemine doğru hareket ettiğinde, herhangi bir noktadaki düşey gerilme değişmezken yatay gerilmeler giderek artar. Normal koşullarda düşey gerilmelerden az olan yanıl gerilmeler giderek önce düşey gerilmelere eşit olur, daha sonraki artan değerlerde limit denge halinde zeminde kırılma meydana gelir. Bu durumda zeminde göçme oluştuğu anda pasif gerilme büyük asal gerilme  $\sigma_1=p_p$ , düşey gerilme ise küçük asal gerilmedir  $\sigma_3=p_v$ . Zeminde göçme durumu için asal gerilmelerle kayma dayanımı parametreleri arasındaki ilişkiden pasif toprak basıncı katsayısı;

$$p_p = p_v \tan^2(45+\phi/2) + 2c \tan(45+\phi/2) \quad (2.13)$$

$$p_p = p_v K_p + 2c \sqrt{K_p} \quad (2.14)$$

$K_p = \tan^2(45+\phi/2)$  şeklinde hesaplanır. Yayılı yük olması durumunda hesaplanan basınçlara  $qK_p$  ilave edilir (Yıldırım, 2002).

Yukarıda bahsedilen basınçlardan bileşke kuvvetleri bulmak için basınç dağılımının alanı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H K_a + qH K_a \quad (2.15)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H K_p + qH K_p \quad (2.16)$$

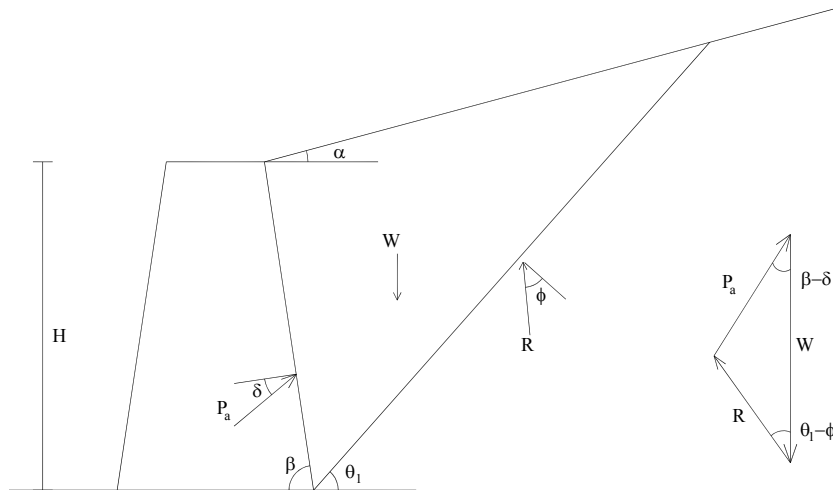
## 2.5 Coulomb Yöntemine Göre Zemin İtkileri

Coulomb yönteminde Rankine koşullarından farklı olarak, arka zemin yüzeyinin  $\alpha$  açısı yaptığı ve duvarın düşey olmamasından dolayı arkasında sürtünme olduğu koşullar göz önüne alınmıştır. Bu yöntem kohezyonsuz zeminler için geçerlidir. Şekil 2.6'ta görüldüğü üzere duvar arkasında  $\theta_1$  açısı yapan bir deneme göçme yüzeyinin belirlendiği zemin kütesinin dengesi düşünülürse bu kamaya etkiyen kuvvetler  $W$  ağırlığı, duvarın kütleyle yaptığı  $P_a$  tepkisi ve göçme yüzeyinde doğan  $R$  kuvvetidir.  $P_a$  ile duvar arasında duvar-zemin sürtünme açısı  $\delta$ ,  $R$  ile göçme yüzeyi arasında kayma mukavemeti açısı  $\phi$  bulunmaktadır.  $\theta_1$  açısının farklı değerleri için  $P_a$ 'lar hesaplanacak olursa çıkan en büyük etki Coulomb aktif yanal itkisi olacaktır. Bu durumda aktif toprak basıncı katsayısı ve aktif itki;

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.17)$$

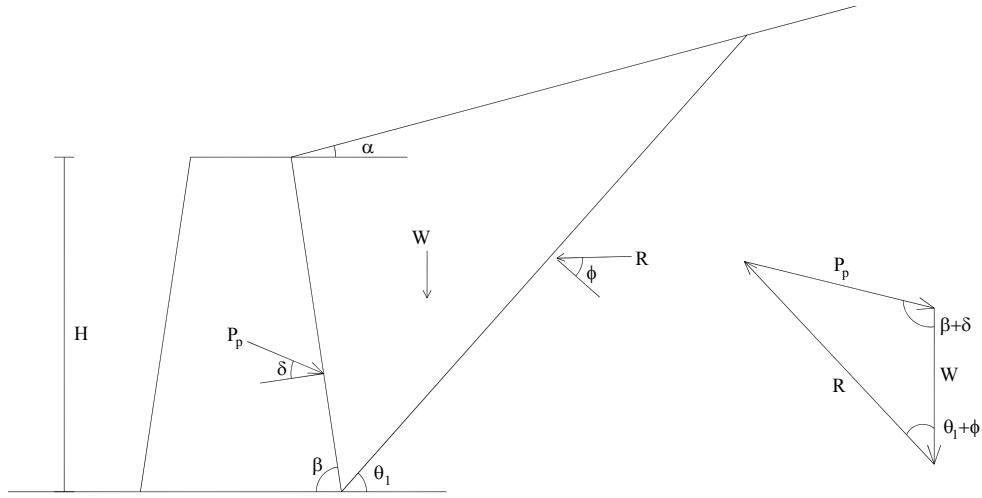
$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (2.18)$$

ile hesaplanır. Bileşke kuvvetin etkiye noktası ise  $H/3$ 'tür (Yıldırım, 2002).



Şekil 2.6 : Aktif durum için Coulomb yöntemi

Duvarın zemine doğru hareket ettiği durum için Şekil 2.7’de görüldüğü üzere duvar arkasında  $\theta_1$  açısı yapan bir deneme göçme yüzeyinin belirlendiği zemin kütlelerinin dengesi düşünülürse bu kamaya etkiyen kuvvetler  $W$  ağırlığı, duvarın kütleye yaptığı  $P_p$  tepkisi ve göçme yüzeyinde doğan  $R$  kuvvetidir.  $P_p$  ile duvar arasında duvar-zemin sürtünme açısı  $\delta$ ,  $R$  ile göçme yüzeyi arasında zemin-zemin sürtünme açısı  $\phi$  bulunmaktadır. Aktif duruma göre sadece yönleri değişmektedir. Bu değişimin nedeni zemin kütlelerinin aktif durumdakinin tersine yukarı doğru hareket etmesindendir.  $\theta_1$  açısının farklı değerleri için  $P_p$ ’lar hesaplanacak olursa çıkan en küçük etki Coulomb pasif yanal itkisi olacaktır. Analitik olarak bu yöntem;



**Şekil 2.7 : Pasif durum için Coulomb yöntemi**

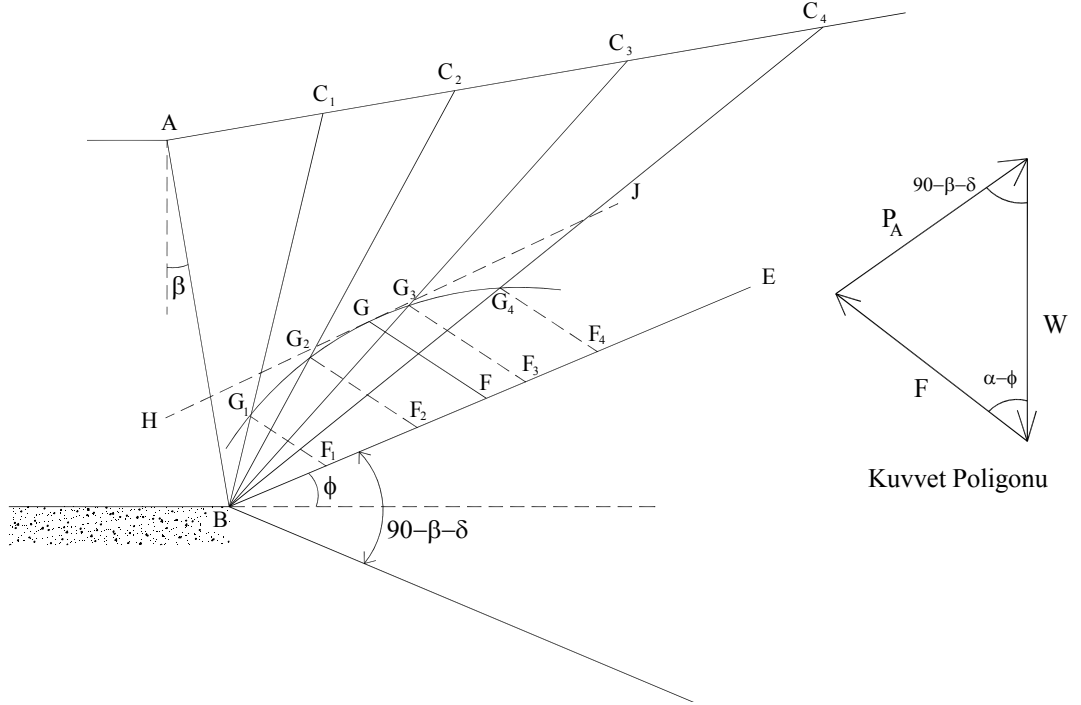
$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.19)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (2.20)$$

denklemleri ile ifade edilir (Yıldırım, 2002).

## 2.6 Cullman Yöntemi

Cullman yöntemi, Coulomb yöntemi ile aynı mantık üzerine kurulmuştur. Coulomb yönteminde matematiksel olarak denklemlerle ifade edilen yöntem Cullman tarafından grafik olarak uygulanmaktadır. Coulomb yönteminden farklı olarak kohezyonlu zeminler ve düzensiz arka dolgu ve düzensiz sürşarj yüklerinin bulunduğu durumlar için de uygulanabilmektedir. Cullman yönteminde, aktif toprak itkisinin grafikle bulunması için çizilen kuvvet poligonu Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Burada  $\alpha$ , kayma kamasının yatayla yaptığı açıdır. Birkaç deneme kaması çizilerek en büyük aktif toprak itkisi,  $P_A$  bulunmaya çalışılır (Das, 1998).



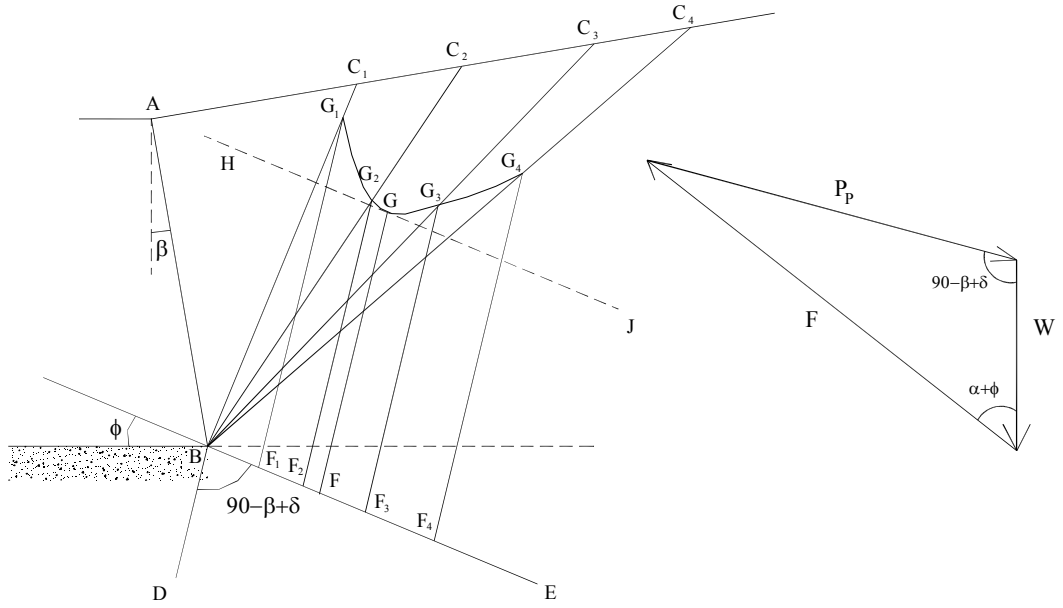
**Şekil 2.8 :** Cullman yöntemi ile statik aktif toprak itkisinin bulunması

Kohezyonsuz zeminler için  $P_a$ 'nın bulunmasında hesap aşamaları şunlardan oluşur (Şekil 2.8);

- Yatayla  $\phi$  açısı yapan BE doğrusu çizilir.
- BE doğrusu ile  $90^\circ - \beta - \delta$  açısı yapan BD doğrusu çizilir.
- Deneme amaçlı  $BC_1, BC_2, BC_3, \dots$  kayma yüzeyleri çizilir.

- $ABC_1, ABC_2, ABC_3, \dots$  kayma kamalarının ağırlıkları,  $W_1, W_2, W_3, \dots$  bir metre için hesaplanır.
- Yük eksenini için bir ölçek belirlenir.
- Belirlenen ölçekle  $BF_1=W_1, BF_2=W_2, BF_3=W_3, \dots$  doğruları çizilir.
- BD doğrusuna paralel  $F_1G_1, F_2G_2, F_3G_3, \dots$  doğruları çizilir. Oluşan  $BFG_i$  üçgenleri  $ABC_i$  deneme kamalarının kuvvet poligonlarıdır.
- $G_1, G_2, G_3, \dots$  noktaları düzgün bir eğri ile birleştirilir.
- BE doğrusuna paralel HJ doğrusu çizilir. G noktası, HJ doğrusuna teğet olan noktadır.
- BD doğrusuna paralel GF doğrusu çizilir.
- $P_a = GF \times \text{Yük eksenini ölçeği}$

Yayıllı yük veya tekil yük olması durumunda hesaplanan kayma kaması ağırlıklarına, yükün kamanın içinde kalan kısmının ağırlığı eklenmelidir. Cullman yönteminde grafik ile pasif toprak itkisinin bulunması için çizilen kuvvet poligonu aşağıda gösterilmiştir. Burada  $\alpha$ , kayma kamasının yatayla yaptığı açıdır. Birkaç deneme kaması çizilerek en küçük  $P_p$  bulunmaya çalışılır. Uygulanan aşamalar aktif yöntem ile aynıdır. Tek fark çizilen BE ve BD doğrularının açılarıdır. Bu durum pasif durumda oluşan kuvvet poligonunun açılarındaki farktan meydana gelmektedir. Şekil 2.9'da uygulanan yöntem görülebilmektedir.



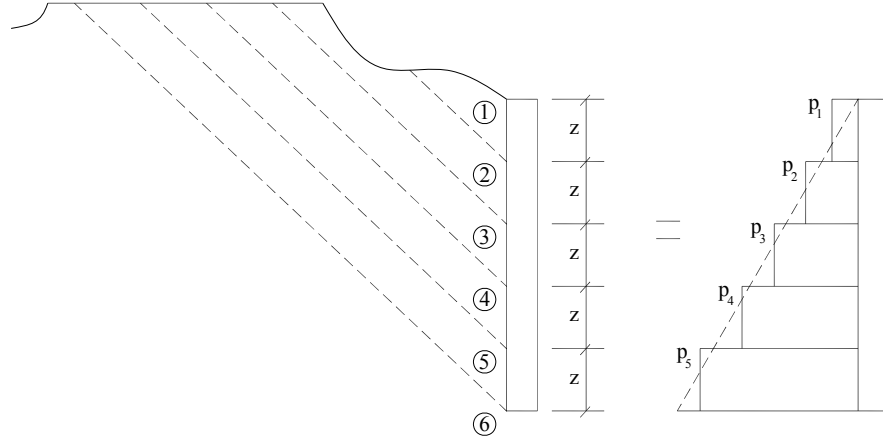
**Şekil 2.9 :** Culman yöntemi ile statik pasif toprak itkisinin bulunması

Culman yönteminde yapılan hesaplama ile bileşke kuvvet bulunur. Ancak basınç dağılımını belirlemek için ek işlemler yapılması gerekmektedir. Şekil 2.10'da Culman yöntemi ile yapılan hesaplamalarda basınç dağılımının nasıl belirleneceği gösterilmektedir. İstinat duvarı istenilen sayıda parçaya ayrıldıktan sonra her bir kademede üzerinde kalan toprak kütlesi ve yayılı yük için Culman yöntemi uygulanarak aktif toprak itkileri bulunur. Daha sonra aşağıda verilen denklemlerle her bir kademe için basınç dağılımı elde edilir (Retaining and Flood Walls, 1994).

$$p_1 = \frac{p_2 - p_1}{z} \quad (2.21)$$

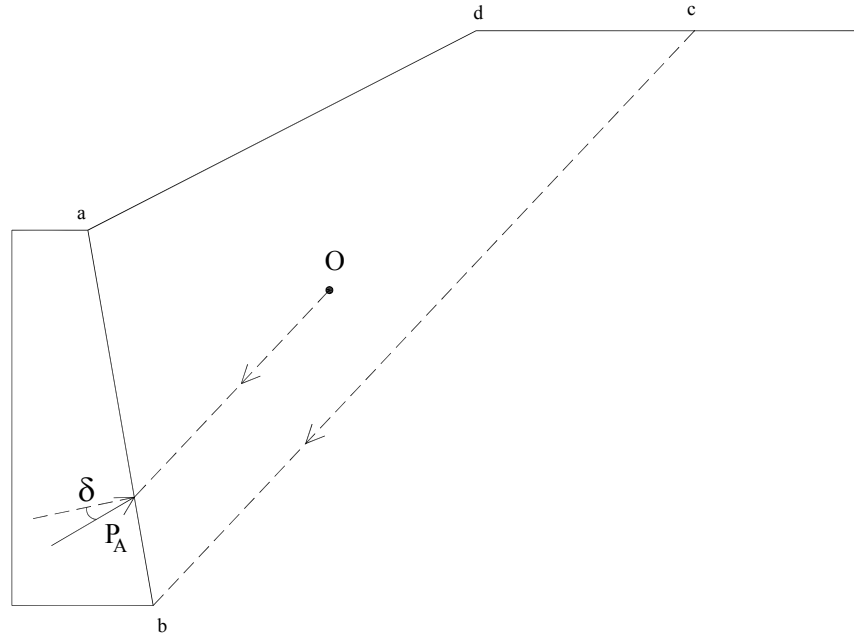
$$p_2 = \frac{p_3 - p_2}{z} \quad (2.22)$$

$$p_i = \frac{p_{i+1} - p_i}{z} \quad (2.23)$$



**Şekil 2.10 :** Cullman yöntemi için toprak basıncı dağılımının bulunması

Basıncı dağılımının belirlenmesi çok zaman aldığından Terzaghi basıncı dağılımını belirlemeden bileşke kuvvetin etkiye noktasının bulunması için yaklaşık bir yöntem önermiştir. Şekil 2.11’de bc kritik kayma yüzeyi olup, abcd yamuğunun ağırlık merkezi O’dur. Ağırlık merkezinden kritik kayma yüzeyine paralel çizilen doğrunun istinat duvarını kestiği nokta bileşke kuvvetin etkiye noktasını vermektedir (Clayton ve diğ, 1993).



**Şekil 2.11 :** Bileşke kuvvetin etkiye noktasının bulunması için Terzaghi’nin yaklaşık yöntemi

### **3. DİNAMİK TOPRAK BASINÇLARI**

Deprem bölgelerinde, yer hareketinden dolayı istinat duvarlarına dinamik toprak basıncı etkimektedir ve büyüklüğü genelde statik toprak basıncından daha büyüktür. Depremlerin istinat duvarları üstündeki etkisi dinamik yükün frekansı ile istinat duvarı-dolgu-temel-taban zeminin doğal frekansının yakınlığına bağlıdır. Bu durum, serbest titreşim ve yük altındaki titreşimin hareket denklemini yazmayı gerektirir. Bunun için de, dolgu zemini ile taban zemini arasındaki titreşim paylaşımını bilinmesi gerekir. Çoğu zaman bu bilgileri elde etmek çok zordur. Bu yüzden, genellikle psödo-statik analizler yapılarak dinamik toprak basınçları, eşdeğer statik yükler çevrilerek hesaplanır (Saran, 1996). Bu çalışma kapsamında, psödo-statik yöntemlerden, Monono-Okabe, Geliştirilmiş Cullman, Prakash-Saran, psödo-dinamik yöntemlerden ise Steedman-Zeng yöntemi dikkate alınacaktır. Ayrıca, dinamik toprak basınçlarının bulunmasıyla ilgili bazı ülkelerin yönetmeliklerine de yer verilecektir.

#### **3.1 Mononobe-Okabe Yöntemi**

Mononobe-Okabe yöntemi, Coulomb'un toprak basıncı denklemlerinde depremten dolayı oluşan yatay ve düşey ivmeler hesaba katılarak geliştirilmiştir. Coulomb kamasında yatay ve düşey ivmelerin etkisinden dolayı oluşan ek kuvvetler hesaplanır ve kuvvet dengesi, buna göre yeniden yazılarak deprem itkisi bulunur (Kramer, 1997).

##### **3.1.1 Aktif Durum**

Mononobe-Okabe yönteminde dinamik aktif toprak basıncı için yapılan kabuller aşağıda verilmektedir (Das, 1993);

- Zeminde göçme bir düzlem boyunca olmaktadır. (BC düzlemi)
- Duvarın deplasmanı aktif toprak basıncının oluşması için yeterlidir.

- [illegible]

Monono-Okabe yönteminde hesaba katılan yükler aşağıdaki gibidir:

- $g$  = yer çekimi ivmesidir.

19

$$P_{at} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{at} \quad (3.1)$$

$K_{at}$  deprem durumu için aktif toprak basıncı katsayısıdır

$$K_{at} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2} \quad (3.2)$$

ve ifadesi ile hesaplanmaktadır. Burada,

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{k_h}{1 - k_v} \right) \quad (3.3)$$

ile tanımlanmaktadır.  $\phi - \theta - i < 0$  durumunda  $K_{at}$  bir çözümü yoktur. Dolayısıyla, dolgunun stabilitesi için sınır açısı aşağıdaki gibi verilebilir;

$$i \leq \phi - \theta$$

Depremsiz durum için,  $\theta = 0$

$$i \leq \phi$$

Dolgu yüzeyinin eğimsiz olduğu durumda dolgu stabilitesi için,  $i = 0$

$$\theta \leq \phi$$

Bu şart için yukarıdaki denklemden  $k_h$  çekilirse,  $k_{h(crit)}$ =yatay ivmenin kritik değeri olmak üzere:

$$k_h \leq (1 - k_v) \tan \phi$$

$$k_{h(crit)} = (1 - k_v) \tan \phi \quad (3.4)$$

### 3.1.2 Pasif Durum

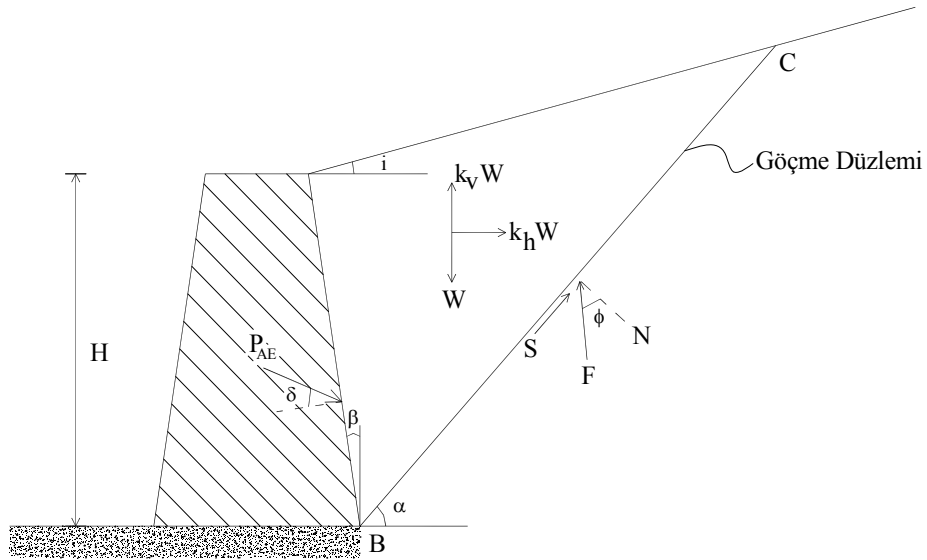
Şekil 3.2’de dolgu malzemesi olarak kohezyonsuz zemin kullanılmış bir istinat duvarı görülmektedir. Eğer duvar zemine doğru itilirse, belli bir noktada BC düzlemi üzerinde zemin göçecektir. Göçme anındaki kuvvet,  $P_{pt}$ , dinamik pasif

toprak itkisidir. Aktif durumdaki kabuller doğrultusunda kuvvetler dengesinden yararlanılarak  $P_{pt}$  hesaplanabilir.

$$P_{pt} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{pt} \quad (3.5)$$

$$K_{pt} = \frac{\cos^2(\phi + \beta - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + i - \theta)}{\cos(\delta - \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2} \quad (3.6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{k_h}{1 - k_v} \right) \quad (3.7)$$



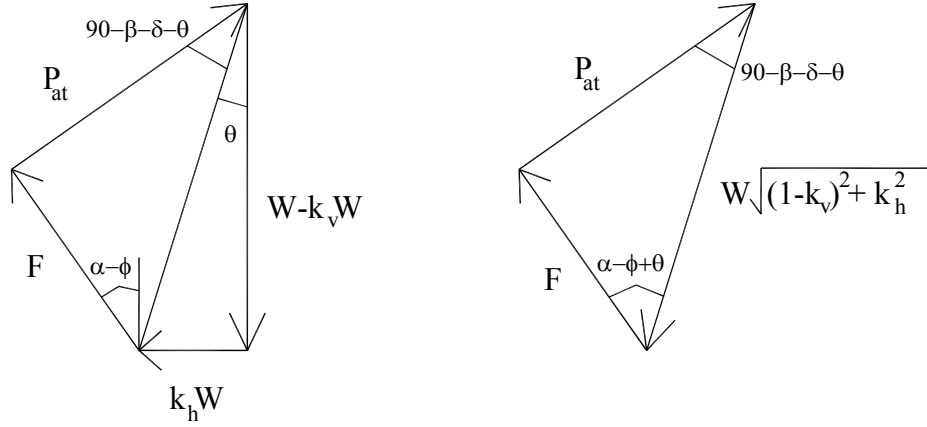
**Şekil 3.2 : Mononobe-Okabe Dinamik Pasif Toprak İtkisi**

### 3.2 Geliştirilmiş Cullman Yöntemi

Kapila 1962 yılında, statik toprak basınçları için kullanılan Cullman grafik yöntemini dinamik aktif ve pasif toprak basınçlarına uyarlanmıştır. Statik durumdan farklı olarak deprem sırasında oluşan ek kuvvetler kuvvet poligonunun içine katılmasıyla yöntem geliştirilmiştir (Das, 1993) Bu yöntem göre dinamik aktif ve dinamik pasif toprak basınçlarının hesaplanması aşağıda verilmektedir.

### 3.2.1 Aktif Durum

Cullman yönteminde, aktif toprak itkisi için çizilen kuvvet poligonu depremde kama üzerinde oluşan ek kuvvetler eklenerek tekrar çizilirse, aşağıda şekilde verilen kuvvet poligonu elde edilir. Şekilden görülebileceği gibi  $W$ 'dan  $k_v W$  çıkarılır ve  $W - k_v W$  bulunur. Kütle aynı zamanda  $k_h W$  etkimektedir. Bu iki kuvvetin bileşkesi yazılırsa  $W\sqrt{(1-k_v)^2 + k_h^2}$  elde edilir. Burada  $\alpha$ , kayma kamasının yatayla yaptığı açıdır. Birkaç deneme kaması çizilerek en büyük  $P_{at}$  bulunmaya çalışılır (Das, 1993).

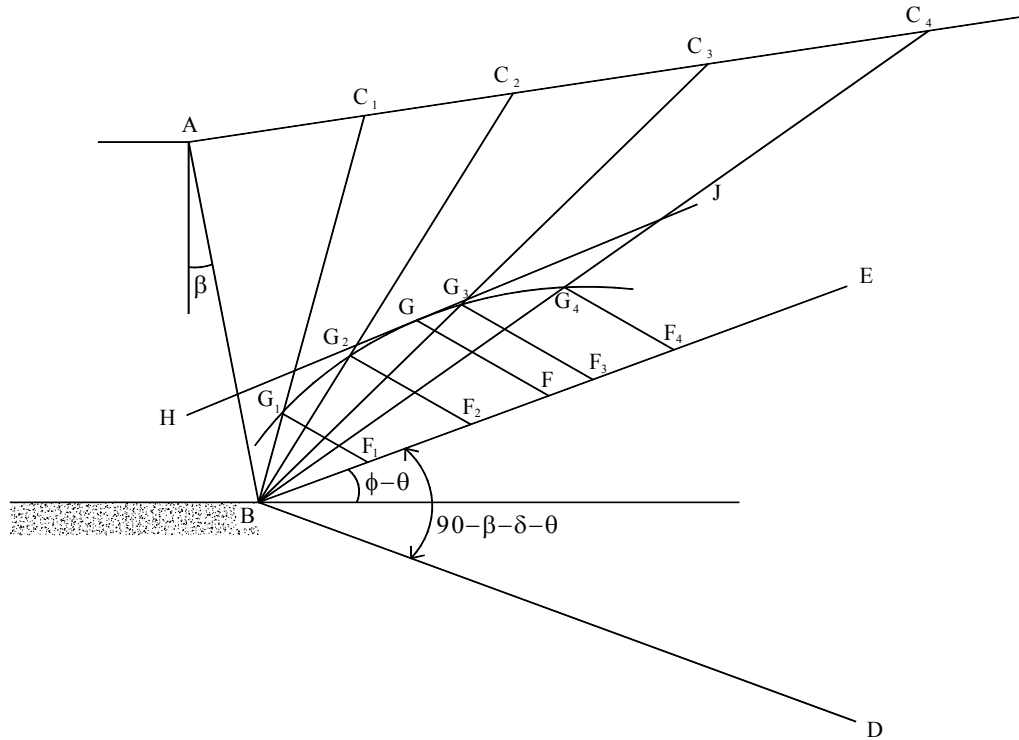


Şekil 3.3 : Dinamik aktif toprak itkisi için kuvvet poligonu

Hesap aşamaları şunlardan oluşur (Şekil 3.4);

- Yatayla  $\phi - \theta$  açısı yapan BE doğrusu çizilir.
- BE doğrusu ile  $90^\circ - \beta - \delta - \theta$  açısı yapan BD doğrusu çizilir.
- Deneme amaçlı  $BC_1, BC_2, BC_3, \dots$  kayma yüzeyleri çizilir.
- $k_h$  ve  $k_v$  belirlendikten sonra  $\sqrt{(1-k_v)^2 + k_h^2}$  hesaplanır.
- $ABC_1, ABC_2, ABC_3, \dots$  kayma kamalarının ağırlıkları,  $W_1, W_2, W_3, \dots$  bir metre için hesaplanır.
- $W_1', W_2', W_3', \dots$  hesaplanır.  $W_i' = W_i \sqrt{(1-k_v)^2 + k_h^2}$
- Yük eksenini için bir ölçek belirlenir.

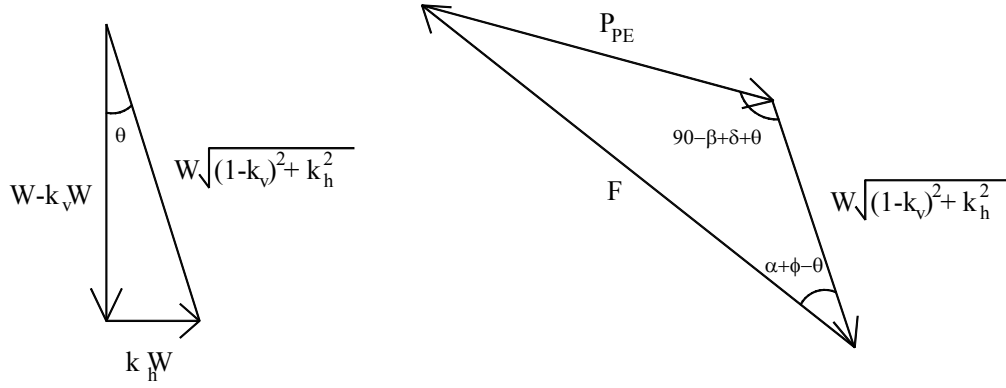
- Belirlenen ölçekle  $BF_1=W_1'$ ,  $BF_2=W_2'$ ,  $BF_3=W_3'$ ,...doğruları çizilir.
- BD doğrusuna paralel  $F_1G_1$ ,  $F_2G_2$ ,  $F_3G_3$ , ...doğruları çizilir. Oluşan  $BFG_i$  üçgenleri  $ABC_i$  deneme kamalarının kuvvet poligonlarıdır.
- $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ , ...noktaları düzgün bir eğri ile birleştirilir.
- BE doğrusuna paralel HJ doğrusu çizilir. G noktası, HJ doğrusuna teğet olan noktadır.
- BD doğrusuna paralel GF doğrusu çizilir.
- $P_{at} = GF \times \text{Yük eksenli ölçeği}$



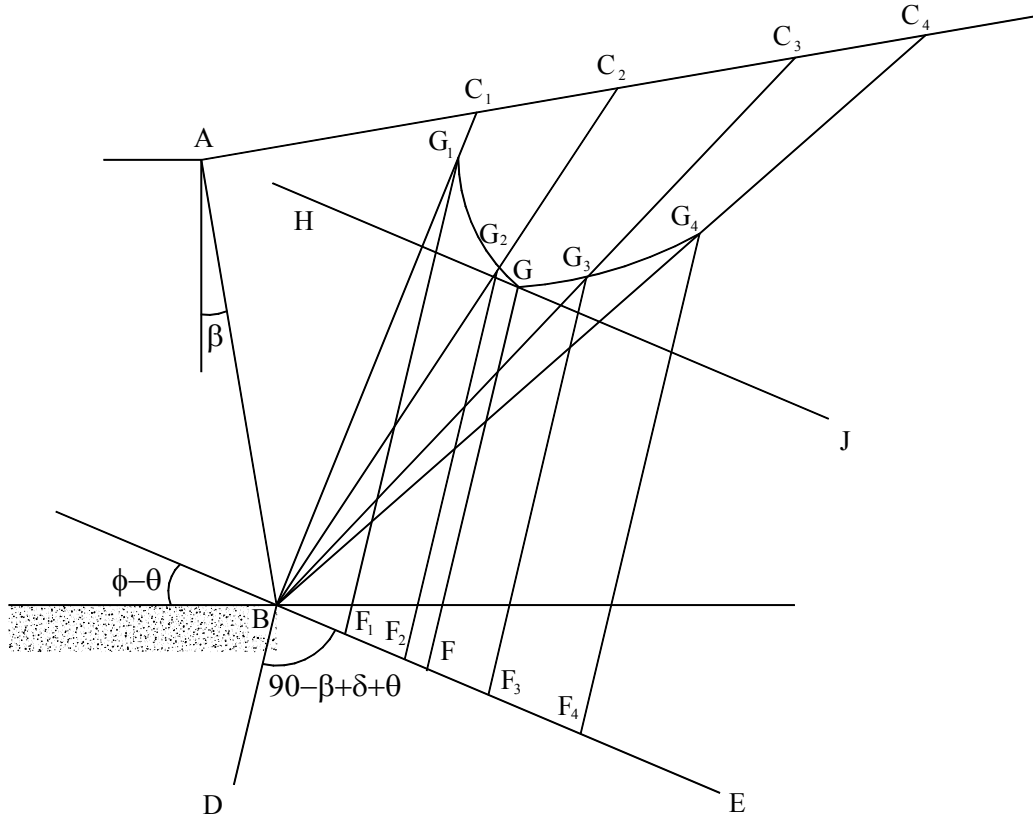
**Şekil 3.4 :  $P_{at}$  için Geliştirilmiş Culman yöntemi**

### 3.2.2 Pasif Durum

Aktif durumdakine benzer bir yol izlenerek toplam pasif toprak itkisi bulunur. Bir önceki bölümdeki aşamalar benzer şekilde uygulanır. Çizilen BE ve BD doğrularının açıları farklıdır. Bu durum pasif durumda oluşan kuvvet poligonunun açılarındaki farktan meydana gelmektedir. Ayrıca toplam pasif toprak itkisi, bulunan kuvvetlerin en küçüğüdür.



**Şekil 3.5 :** Dinamik pasif toprak itkisi için kuvvet poligonu



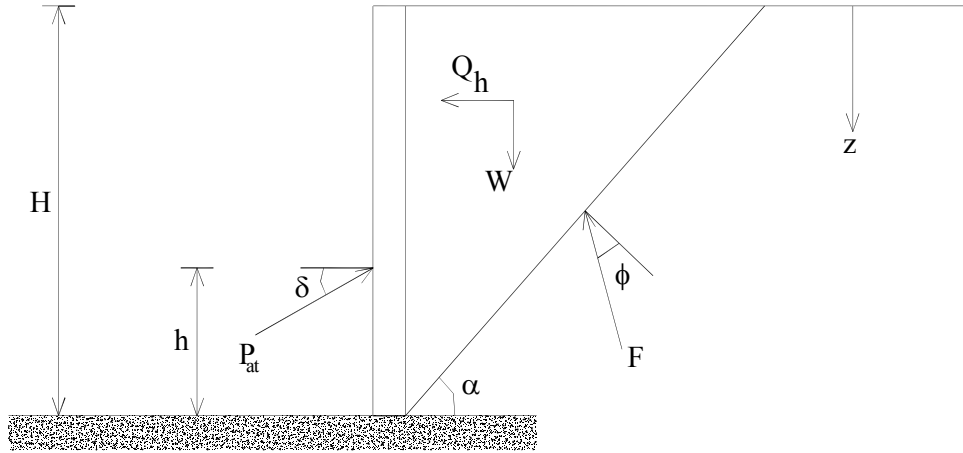
**Şekil 3.6 :**  $P_{pt}$  için Geliştirilmiş Culman yöntemi

### 3.3 Steedman-Zeng Yöntemi

Steedman-Zeng yönteminde, duvar arkası dolgusundaki faz farkları ve ivme büyütme etkilerinden yararlanılarak dinamik toprak basınçları hesaplanır. Bu yöntemle sadece aktif toprak basıncı hesaplanır. Aşağıda verilen şekildeki gibi sabit tabanlı bir istinat duvarına, tabanda harmonik yatay ivme ( $a_h$ ) etkirse, z derinlikteki ivme,

$$a(z,t) = a_h \sin \left[ \omega \left( t - \frac{H-z}{V_s} \right) \right] \quad (3.8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $V_s$  kayma dalgası hızıdır.



**Şekil 3.7 :** Steedman-Zeng yöntemindeki tanımlamalar

Dinamik toprak basınçlarının sadece  $\alpha$  açısı yapan üçgen kamanın içinde kalan zeminden kaynaklanacağı düşünülürse,  $\gamma$  dolgunun birim hacim ağırlığı olmak üzere,  $z$  derinlikte bir elemanın ağırlığı ( $m$ ) ve kamaya etkileyen toplam yatay kuvvet  $Q_h(t)$ ,

$$m(z) = \frac{\gamma H - z}{g \tan \alpha} dz \quad (3.9)$$

$$Q_h(t) = \int_0^H m(z) a(z,t) dz = \frac{\lambda \gamma a_h}{4\pi^2 g \tan \alpha} [2\pi H \cos \omega \zeta + \lambda (\sin \omega \zeta - \sin \omega t)] \quad (3.10)$$

ifadeleri ile elde edilmektedir. Burada  $\lambda = 2\pi V_s / \omega$  kayma dalgasının dalga boyudur.

$\zeta = t - \frac{H}{V_s}$  şeklinde tanımlanmaktadır.  $\omega$  açısal frekansı göstermektedir.

Kamanın rijit kabul edilmesi halinde,

$$\lim_{V_s \rightarrow \infty} (Q_h)_{\max} = \frac{\gamma H^2 a_h}{2g \tan \alpha} = \frac{a_h}{g} W = k_h W$$

$Q_h(t)$ 'nin limiti Mononobe-Okabe yöntemine eşit olur.

Toplam zemin etkisi,

$$P_{at}(t) = \frac{Q_h(t) \cos(\alpha - \phi) + W \sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \quad (3.11)$$

şeklindedir ve duvar arkasındaki toprak basıncın dağılımı şöyledir;

$$p_{at}(t) = \frac{\partial P_{at}(t)}{\partial z} = \frac{\gamma z}{\tan \alpha} \frac{\sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} + \frac{k_h \gamma z}{\tan \alpha} \frac{\cos(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \sin \left[ \omega \left( t - \frac{z}{V_s} \right) \right] \quad (3.12)$$

İlk ifade, zamandan bağımsız olup derinlikle doğrusal olarak artar ve statik toprak basıncını gösterir. Statik bileşke kuvvet, H/3'den etki eder. İkinci ifade ise, dinamik toprak basıncını gösterir. Derinlikle doğrusal olmayan şekilde artar. Dağılım şekli H/λ'ya bağlıdır. Dinamik bileşke kuvvetin yeri zamana bağlı olarak,

$$h_d = H - \frac{2\pi^2 H^2 \cos \omega \zeta + 2\pi \lambda H \sin \omega \zeta - \lambda^2 (\cos \omega \zeta - \cos \omega t)}{2\pi H \cos \omega \zeta + \pi \lambda (\sin \omega \zeta - \sin \omega t)} \quad (3.13)$$

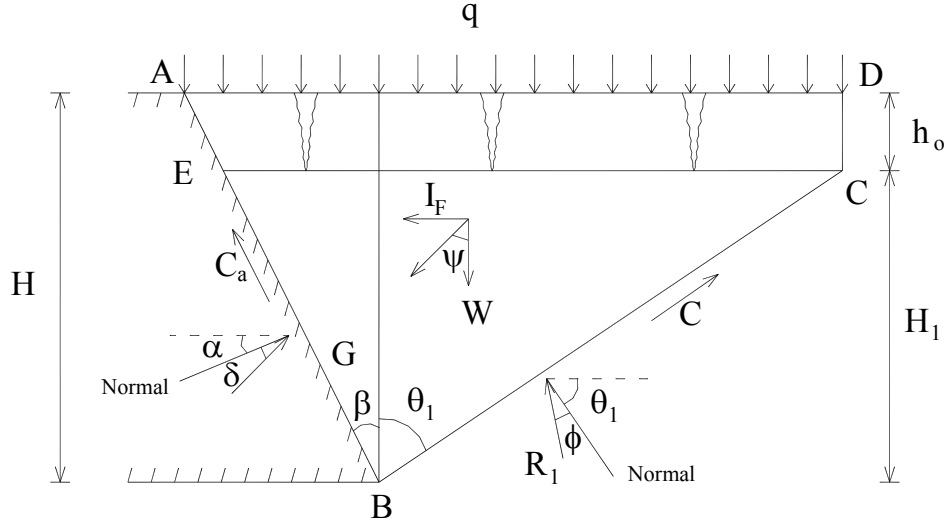
Düşük frekanstaki hareketler için  $h_d = H/3$ 'tür. Yüksek frekanstaki hareketleri için ise  $h_d$  büyümektedir (Kramer, 1997).

### 3.4 Prakash-Saran Yöntemi

Kohezyonlu zeminler için dinamik toprak basınçlarının hesaplanmasında kullanılan bu yöntem Prakash ve Saran tarafından 1968 yılında geliştirilmiştir. Tutulan zemin yataydır ve üzerinde düzgün yayılı yük bulunmaktadır. Depremde oluşan etkilerden sadece yatay olanı dikkate alınmaktadır (Saran, 1996). Prakash-Saran yöntemi ile dinamik toprak basınçlarının bulunmasında kullanılan değişkenler şekilde gösterilmiş ve açıklamaları aşağıda yapılmıştır;

- Duvar arkasının düşeyle yaptığı açı,  $\beta$
- Kayma yüzeyi açısı,  $\theta_1$
- Killi zeminde oluşan çatlak bölgesi, AECD
- Toplam duvar yüksekliği, H

- Çatlaksız zeminin yüksekliği,  $H_1$
- Çatlak derinliği,  $h_o = n(H - h_o) = nH_1$



**Şekil 3.8 :** Prakash-Saran Yönteminde,  $c$ - $\phi$  Zeminlere Sismik Durumda Etkiyen Kuvvetler

$c'=c$  kabulü yapılır. Yatay ve düşey denge denklemleri, Tablo 3.1'deki kuvvetler kullanılarak yazılır ve  $P_1$  bulunur.

**Tablo 3.1 :** AEBCD kamasına etkiyen kuvvetler (Saran, 1996)

| Kuvvet                              | Düşey bileşeni                                                                                                                     | Yatay bileşeni              |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Kama ağırlığı, ABCD (W)             | $0,5\gamma H_1^2 (\tan \beta + \tan \theta_1)$<br>$+ \gamma n H_1^2 (\tan \beta + \tan \theta_1) + 0,5\gamma n^2 H_1^2 \tan \beta$ | -                           |
| Kohezyon, $C = cH_1 \sec \theta_1$  | $cH_1$                                                                                                                             | $cH_1 \tan \theta_1$        |
| Adhezyon, $C_a = c'H_1 \sec \alpha$ | $c'H_1$                                                                                                                            | $c'H_1 \tan \beta$          |
| Sürşarj, Q                          | $qH_1 (\tan \beta + \tan \theta_1 + nH_1 \tan \beta)$                                                                              | -                           |
| Zemin tepkisi, $R_1$                | $R_1 \sin(\theta_1 + \phi)$                                                                                                        | $R_1 \cos(\theta_1 + \phi)$ |
| Atalet kuvveti, $I_F$               | -                                                                                                                                  | $(W+Q)k_h$                  |
| Toplam toprak itkisi, $P_1$         | $P_1 \sin(\beta + \delta)$                                                                                                         | $P_1 \cos(\beta + \delta)$  |

$\lambda = \theta_1 + \phi + \beta$  olmak üzere aşağıdaki birimsiz parametreler bulunur.

Kohezyon katsayısı,

$$(N_{ac})_{dyn} = \frac{\cos \lambda \sec \beta + \cos \phi \sec \theta_1}{\sin(\lambda + \delta)} \quad (3.14)$$

Yayıllı yük katsayısı,

$$(N_{aq})_{dyn} = \frac{[(n+1) \tan \beta + \tan \theta_1][\cos(\theta_1 + \phi) + k_h \sin(\theta_1 + \phi)]}{\sin(\lambda + \delta)} \quad (3.15)$$

Zemine ilişkin katsayı,

$$(N_{ay})_{dyn} = \frac{[(n+0,5)(\tan \beta + \tan \theta_1) + n^2 \tan \beta][\cos(\theta_1 + \phi) + k_h \sin(\theta_1 + \phi)]}{\sin(\lambda + \delta)} \quad (3.16)$$

Kama açısı,  $\theta_1$ 'in değişik değerleri için  $(N_{ay})_{dyn}$ ,  $(N_{aq})_{dyn}$ ,  $(N_{ac})_{dyn}$  parametreleri hesaplanır. Bu parametrelerin ayrı ayrı grafiği çizilirse her birinin belli bir  $\theta_1$  için tepe noktası yaptığı görülür. En büyük  $(N_{ay})_{dyn}$ ,  $(N_{aq})_{dyn}$  değerleri ve en küçük  $(N_{ac})_{dyn}$  değerleri bulunur. Bu tepe noktalara karşılık gelen  $\theta_1$  açıları farklıdır. Bu değerler dinamik aktif toprak itkisi hesabı için aşağıdaki denklemde yerine koyulur (Saran, 1996).

$$P_{at} = \gamma H_1^2 (N_{ay})_{dyn} + q H_1 (N_{aq})_{dyn} + c H_1 (N_{ac})_{dyn} \quad (3.17)$$

### 3.5 Deprem Yönetmeliklerine Dinamik Toprak Basınçları

Her ülkenin deprem yönetmeliğinde temel olarak Mononobe-Okabe yöntemi alınmıştır. Fakat yönetmelikler arasında bazı yorum farkları bulunmaktadır. Bu tez çalışması çerçevesinde ABYYHY, Eurocode, Amerikan ve Japon yönetmelikleri incelenmiştir. Bu yönetmeliklere göre dinamik toprak basınçlarının hesaplanması aşağıda verilmiştir.

### 3.5.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e Göre Dinamik Toprak Basınçları

ABYYHY'de dinamik toprak basınçları esas olarak bir önceki bölümde anlatılan Mononobe-Okabe yöntemine dayanarak yapılmaktadır. Mononobe-Okabe yönteminden farklı olarak deprem ivmesinin düşey bileşeninin aşağı hareketi için de toprak basınçlarının hesaplanması gerekmektedir. Bulunan her iki toprak basıncından en büyüğü tasarımda kullanılacak toprak basınçlarını vermektedir. Bu yaklaşımdan ortaya çıkan toplam aktif ve pasif toprak basıncı katsayıları sırasıyla aşağıdaki denklemlerle verilmiştir.

$$K_{at} = \frac{(1 \pm k_v) \cos^2(\phi - \beta - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - i - \theta)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]} \quad (3.18)$$

$$K_{pt} = \frac{(1 \pm k_v) \cos^2(\phi + \beta - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + i - \theta)}{\cos(\delta - \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]} \quad (3.19)$$

Bu formüllerdeki  $k_v$  katsayısı düşey eşdeğer deprem ivmesini ifade eder. Yatay eşdeğer deprem ivmesi  $k_h$  bağılı olarak ifade edilir.  $A_o$  etkin yer ivmesi ve  $I$  yapı önem katsayısı olmak üzere,  $k_h$  ve  $k_v$ 'nin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$k_h = 0.2 (I + 1) A_o \quad (3.20)$$

$$k_v = \frac{2k_h}{3} \quad (3.21)$$

$\theta$  açısı ise kuru zeminlerde

$$\theta = \arctan \left[ \frac{C_h}{1 \pm C_v} \right] \quad (3.22)$$

ile ifade edilir. Suyu doygün zeminlerde ise,  $\gamma_s$  zeminin suya doygün birim hacim ağırlığı ve  $\gamma_b$  su altı birim hacim ağırlığı olmak üzere,  $\theta$  açısının hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$\theta = \arctan \left[ \frac{\gamma_s}{\gamma_b} \frac{C_h}{1 \pm C_v} \right] \quad (3.23)$$

ABYYHY’de istinat duvarı etkiyen toplam devirici momentin bulunmasında etkiyen toprak basıncı dörde bölünerek hepsi için ayrı bir etkime yüksekliği verilmiştir. Bunun için toplam toprak basınçlarının, statik ve dinamik toprak basınçları olarak ikiye ayrılmıştır. Statik toprak basıncı katsayıları Coulomb yöntemi ile bulunur. Aktif ve pasif dinamik toprak basıncı katsayıları, toplam toprak basıncı katsayılarından statik toprak basıncı katsayılarının çıkartılmasıyla aşağıdaki gibi bulunur (ABYYHY, 1998).

$$K_{ad} = K_{at} - K_{as} \quad (3.24)$$

$$K_{pd} = K_{pt} - K_{ps} \quad (3.25)$$

Zeminin kütlesinden oluşan dinamik aktif ve pasif toprak itkisi,

$$P_{ad} = 0.5 \gamma K_{ad} H^2 \quad (3.26)$$

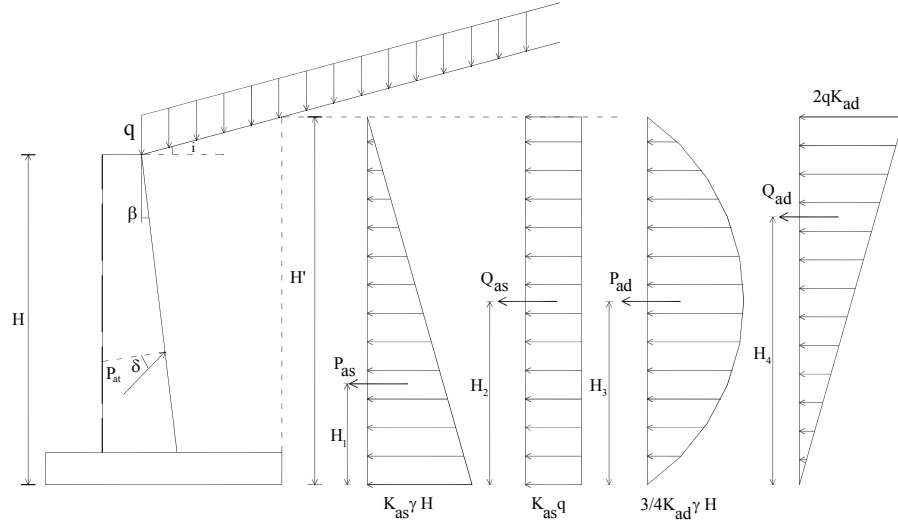
$$P_{pd} = 0.5 \gamma K_{pd} H^2 \quad (3.27)$$

denklemleriyle ifade edilirken, yayılı yükten oluşan dinamik aktif ve pasif toprak itkileri,

$$Q_{ad} = q K_{ad} H \quad (3.28)$$

$$Q_{pd} = q K_{pd} H \quad (3.29)$$

denklemleriyle hesaplanır. Şekil 3.9’da bu dört kuvvetin dağılımı ve etkime yükseklikleri görülmektedir.



**Şekil 3.9 :** ABYYHY’ye göre toprak basınçlarının etkime noktaları (Özden ve diğ., 1995)

### 3.5.2 Amerika Deprem Yönetmeliğine Göre Dinamik Toprak Basınçları

Türkiye’de geçerli olan ABYYHY’ye çok benzemektedir. Toplam zemin itkisinin hesabında göz önüne alınan kriterler birebir aynıdır. Aradaki tek fark zemin itkisinin etkime noktasıdır. Statik durum için etkime noktaları aynıdır. Deprem durumunda, sürşarjdan dolayı oluşan toprak basıncının bileşkesi ABYYHY’deki gibi  $2H/3$ ’ten etkimektedir. Zemin kütlelerinden dolayı oluşan dinamik toprak basıncının bileşkesi ise ABYYHY’den farklı olarak  $0.6H$ ’tan etkimektedir. Dolayısı ile toplam devirici moment, ABYYHY’ye göre Amerikan yönetmeliğinde daha fazla bulunmaktadır (Yıldırım, 2004).

### 3.5.3 Japonya Deprem Yönetmeliğine Göre Dinamik Toprak Basınçları

Genel olarak Mononobe-Okabe yöntemine dayanmaktadır. Birçok ülkenin yönetmeliğinden farklı olarak Japonya deprem yönetmeliğinde, zeminin kohezyonu dikkate alınır. Ayrıca, deprem ivmesinin düşey bileşeni, hesaplamalarda dikkate alınmaz. Bu iki durum Japonya deprem yönetmeliğini diğer yönetmeliklerde ayıran unsurlardır. Zarrabi’nin 1973 yılında yaptığı çalışmaya göre düşey ivmenin hesaplamalara katılmamasıyla bulunan toplam itki oluşabilecek itkidən çok daha büyüktür (Whitman, 1990). Bu yönetmelikte kohezyonsuz zeminler için diğer yönetmeliklere göre daha büyük itkiler hesaplanır. Japonya Deprem Yönetmeliğine göre toplam aktif ve pasif itkiler,

$$P_{at} = \gamma \times K_{at} - 2c\sqrt{K_{at}} + qK_{at} \quad (3.30)$$

$$P_{pt} = \gamma \times K_{pt} + 2c\sqrt{K_{pt}} + qK_{pt} \quad (3.31)$$

denklemleri ile ifade edilir. Toprak basıncı katsayıları ise,

$$K_{at} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \lambda)}{\cos \lambda \cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha + \lambda) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - i - \lambda)}{\cos(\delta + \alpha + \lambda) \cos(i - \alpha)}} \right]} \quad (3.32)$$

$$K_{pt} = \frac{\cos^2(\phi + \alpha - \lambda)}{\cos \lambda \cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha + \lambda) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + i - \lambda)}{\cos(\delta + \alpha - \lambda) \cos(i - \alpha)}} \right]} \quad (3.33)$$

ile hesaplanmaktadır.  $\theta$  açısı,

$$\lambda = \arctan(k_h) \quad (3.34)$$

ile hesaplanırken, yatay deprem ivmesi ( $k_h$ )'nın hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$k_h = C_z C_g C_I C_T k_o \quad (3.35)$$

Burada  $k_o=0.2$  olmak üzere ve diğer katsayılar  $C_I$ ,  $C_z$ ,  $C_T$ ,  $C_g$ , sırasıyla yapı önem katsayısı, deprem bölgesi katsayısı, yapı davranış katsayısı ve zemin tipi katsayısıdır. Japonya yönetmeliğine bakarak seçilmelidir. (Yıldırım, 2004).

#### 3.5.4 Eurocode'a Göre Dinamik Toprak Basınçları

Eurocode 8 de diğer yönetmelikler gibi Mononobe-Okabe yöntemini benimsemiştir. Dinamik toprak basınçlarının hesaplanmasında kullanılacak olan tasarım yatay ivmesi

$$k_h = \alpha \frac{S}{r} \quad (3.36)$$

ile ifade edilir. Burada  $\alpha$ , Eurocode'da tanımlanan A grubu zeminler için kullanılabilecek tasarım ivmesinin yer çekimi ivmesine oranıdır. Daha sonra  $\alpha$ , ivmesi S zemin faktörü ile çarpılarak istinat duvarının inşa edildiği alandaki zemin

grubu için düzeltilir. S, A ve B grubu zeminler için 1'dir. C grubu zeminler içinse 0.9'dur. En büyük yatay deprem ivmesi ( $a_g$ ) ve en büyük düşey deprem ivmesi ( $a_{vg}$ ) olmak üzere düşey tasarım deprem ivmesinin kullanılacak olan büyüklüğü bu iki parametrenin oranına göre aşağıdaki denklemlerden biriyle hesaplanır.

$$k_v = \pm 0.5 k_h, \text{ eğer } a_{vg}/a_g \geq 0.6 \quad (3.37)$$

$$k_v = \pm 0.33 k_h \quad a_{vg}/a_g < 0.6 \quad (3.38)$$

İstinat duvarı tipine ve izin verilen deplasmanlara göre belirlenen r katsayısının değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir (Eurocode 8, 2004).

**Tablo 3.2 :** Yatay tasarım ivmesinin hesaplanması için r katsayıları (Eurocode 8, 2004)

| İstinat Duvarı Tipi                                                                                                                                               | r   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $d_x = 300 \alpha S$ (mm) deplasman yapmasına izin verilen, ağırlık duvarları                                                                                     | 2   |
| $d_x = 200 \alpha S$ (mm) deplasman yapmasına izin verilen, ağırlık duvarları                                                                                     | 1.5 |
| Betonarme istinat duvarları, ankrajlı veya destekli duvarlar, düşey kazıklar üzerine inşa edilmiş betonarme istinat duvarları, bodrum perdeleri ve köprü ayakları | 1   |

Kullanılan toprak basıncı katsayılarının denklemleri Mononobe-Okabe ile aynıdır. Ancak, kayma mukavemeti açısı ve duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı değerleri aşağıda verilen denklemlerdeki gibi küçültülmektedir. (Eurocode 8, 2004)

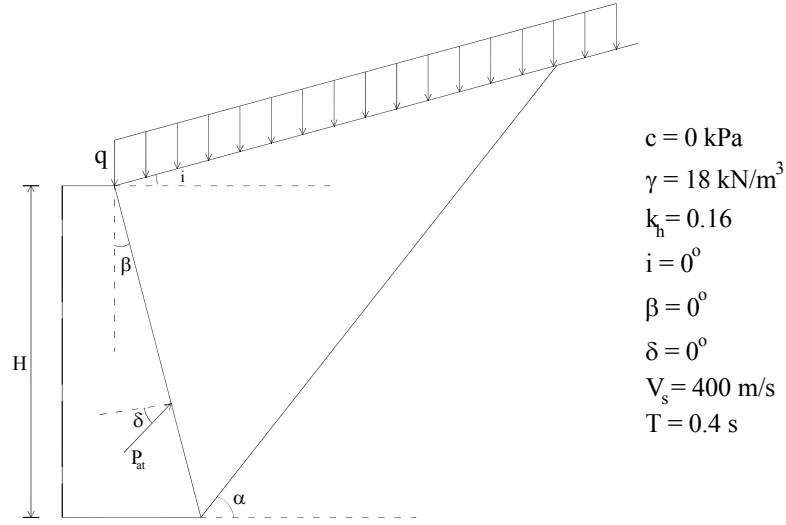
$$\phi_d' = \tan^{-1} \frac{\tan \phi'}{1.25} \quad (3.39)$$

$$\delta_d = \tan^{-1} \frac{\tan \delta}{1.25} \quad (3.40)$$

### 3.5.5 ABYYHY'nin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

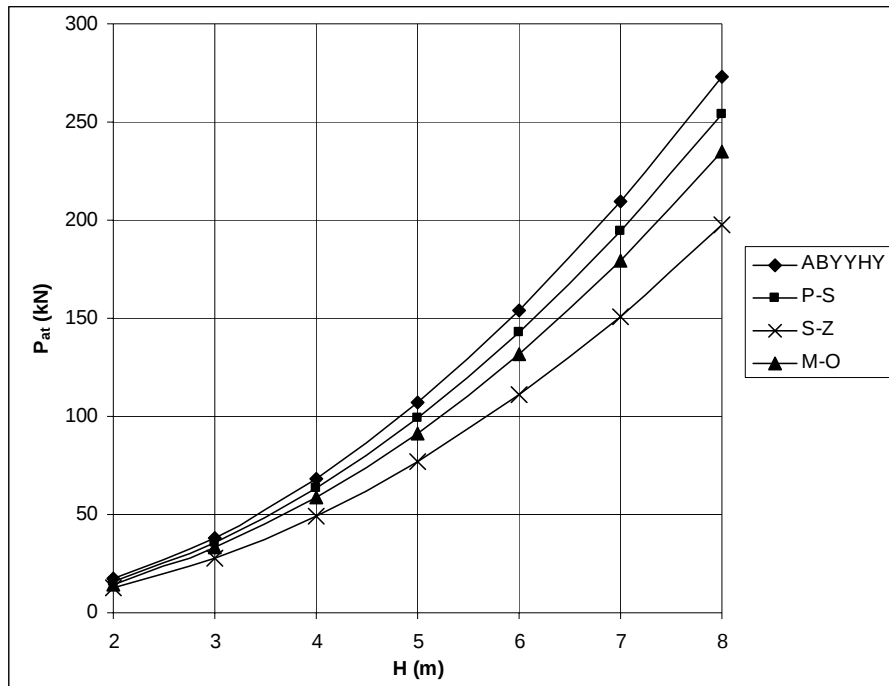
Bu bölümde değinilen yöntemler arasındaki farkların anlaşılabilmesi için aynı şartlar altında yöntemlerde bulunan toplam itkiler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara ABYYHY'de verilen yöntem de eklenmiştir. Farklı parametrelerdeki değişim yöntemler arasındaki ayrımları daha iyi ortaya çıkaracaktır. Bu nedenle, duvar yüksekliği, kayma mukavemeti ve yayılı yükün etkisi olmak üzere üç farklı maddede

yöntemler karşılaştırılmıştır. Bu modele göre sabit alınan parametreler Şekil 3.10’da görülmektedir.



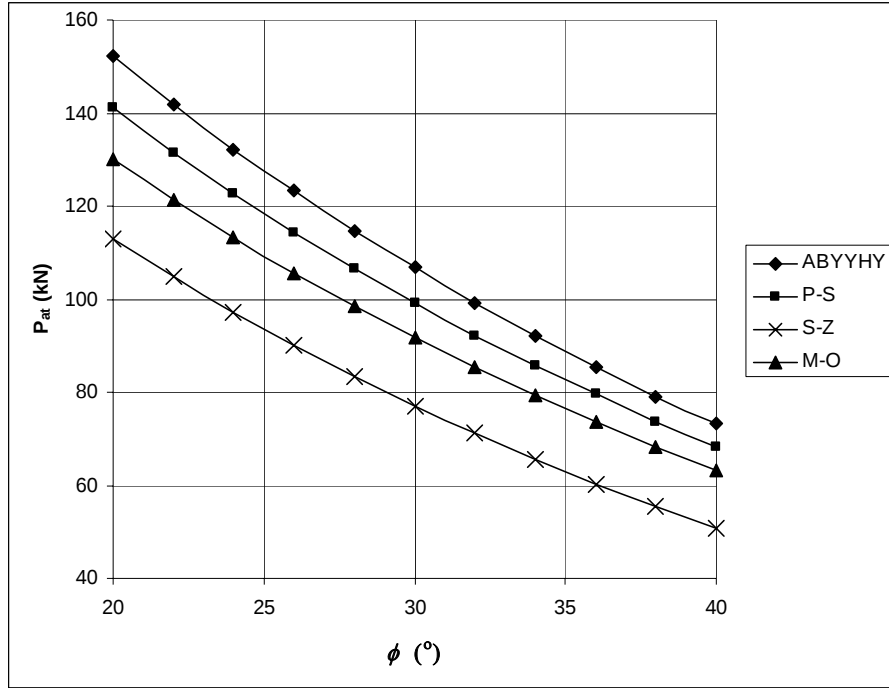
**Şekil 3.10 :** Yöntemlerin karşılaştırılmasında kullanılan model ve parametreler

Bütün yöntemler arasında ABYYHY’de verilen yöntem en fazla toprak itkisini veren yöntemdir. Duvar yüksekliği  $H=2\text{m}$ ’den  $8\text{m}$ ’ye kadar  $1$ ’er metre aralıklarla alınmıştır. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi  $H$  arttıkça toprak itkileri arasındaki fark da artmaktadır.



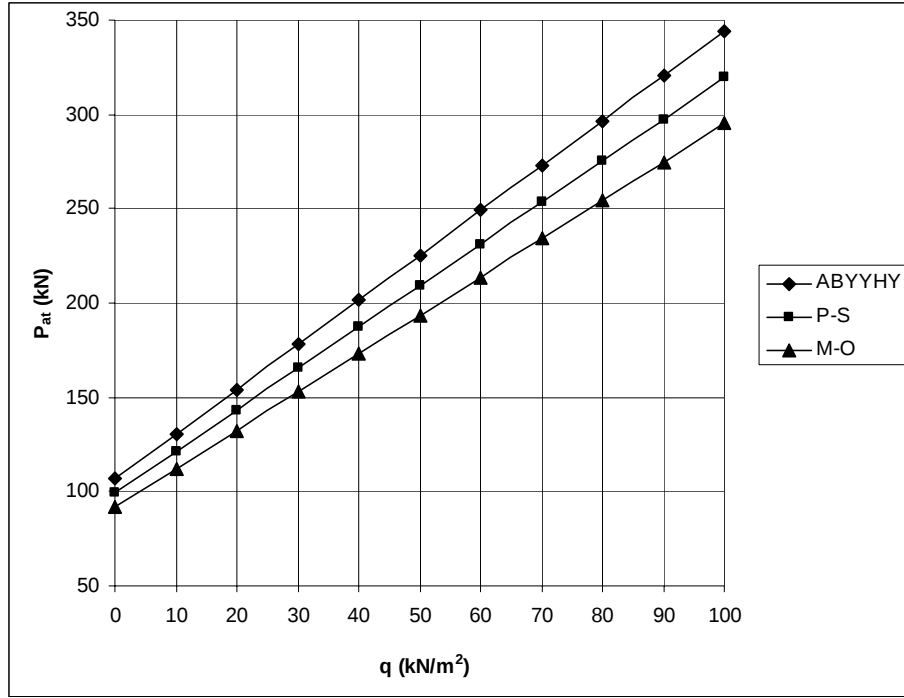
**Şekil 3.11 :** Yöntemler arasında duvar yüksekliği değişiminin etkisi

Kayma mukavemeti açısının etkisi incelenirken  $\phi = 20^\circ$ 'den  $40^\circ$ 'ye kadar  $2^\circ$ 'er aralıklarla alınmıştır. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi  $\phi$  azaldıkça toprak itkileri arasındaki fark azalmaktadır.



**Şekil 3.12 :** Yöntemler arasında kayma mukavemeti açısı değişiminin etkisi

Yayıllı yükteki değişimin etkisi incelenirken ise,  $q=0$ 'dan 100 kPa'ya kadar 10 kPa'lık aralıklarla alınmıştır. Steedman-Zeng yönteminde yayıllı yük etkisi alınamadığından, karşılaştırmaya bu yöntem katılmamıştır. Şekil 3.13'te yayıllı yük arttıkça toprak itkileri arasındaki farklarında arttığı gözükmemektedir.



Şekil 3.13 : Yöntemler arasında yayılı yük değişiminin etkisi

#### 4. YAYILI YÜK ETKİSİNDEKİ İSTİNAT DUVARLARI İÇİN DİNAMİK İTKİLER

İstinat duvarlarına etkiyen statik ve dinamik toprak basınçları, dinamik toprak basınçlarının hesaplanmasında en sık kullanılan yöntemler bir önceki bölümde açıklanmıştır. Ayrıca, aynı bölümde bu yöntemler ile ABYYHY'nin karşılaştırılması da yapılmıştır. Değişik yük durumları ve dolgu geometrileri için toprak basınçlarının hesaplanmasında Geliştirilmiş Cullman yönteminin incelenen yöntemler arasında kullanılabilecek en uygun yöntem olduğu anlaşılmaktadır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'de dinamik toprak basıncı hesabı için verilen yöntem esas olarak Mononobe-Okabe yöntemine dayandığı bilinmektedir. Bu yöntemde düzgün yayılı yükün, istinat duvarından başlayarak belli bir şev açısına sahip dolgu üzerinde sonsuza kadar devam ettiği kabul edilmektedir. Şevli duvar arkası dolgusunun sonsuza kadar devam etmediği ve yayılı yükün duvardan belli bir mesafede etkimesi gibi durumlarda yöntemin uygulanabilirliği zorlaşmaktadır.

Bu çalışmada değişik dolgu geometrisi ve yayılı yük durumlarında istinat duvarlarına etkiyen dinamik toprak basınçlarının pratik amaçlar doğrultusunda tahmin edilebilmesi amacıyla seçilen bir model duvar için analizler yapılmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi yatayda L mesafede yayılı yük etkisinde, duvar arka dolgusu yatay olmayan bir istinat duvarı göz önüne alındığını varsayalım. "H" yüksekliğindeki böyle bir duvara etkiyen dinamik toprak basınçlarını, ülkemizde yürürlükte olan ABYYHY'ye göre doğrudan hesaplanması mümkün olmamaktadır. Seçilen modelde arka dolgu şev açısı,  $i=0^\circ$  ve  $L=0$  özel durumu için ABYYHY'de verilen yöntem ile çözüm mümkündür. Geliştirilmiş Cullman yöntemiyle  $i \neq 0$  ve  $L \neq 0$  durumları için analizlerin yapılarak dinamik itkilerin bulunması mümkün olmaktadır. Ancak, bu yöntemin uygulanma tekniği nedeniyle değişik durumlar için çok sayıda tekrarlanması oldukça zaman alıcıdır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında ilk önce

The diagram illustrates a retaining wall cross-section. The wall has a vertical face of height  $H$  and a horizontal top surface of length  $L$ . A uniform distributed load  $q$  acts vertically downwards on the top surface. The wall is inclined at an angle  $i$  to the horizontal. The base of the wall is shown as a dashed line.

38

arasında değişen duvar yükseklikleri incelense de tablolarda 4-8 m arasındaki duvar yüksekliklerine ait sonuçlara yer verilmiştir.

**Tablo 4.1 :** Kullanılan değişkenler ve aldıkları değerler

| H (m) | L (m) | $\phi$ (°) | q<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | A <sub>o</sub> |
|-------|-------|------------|---------------------------|----------------|
| 2     | 0.0   | 25.0       | 15                        | 0.1            |
| 3     | 2.5   | 27.5       | 30                        | 0.2            |
| 4     | 5.0   | 30.0       | 60                        | 0.3            |
| 5     | 7.5   | 32.5       | 100                       | 0.4            |
| 6     | 10.0  | 35.0       |                           |                |
| 7     | 15.0  | 37.5       |                           |                |
| 8     | 20.0  | 40.0       |                           |                |

**Tablo 4.2 :** Modelde farklı deprem bölgeleri ve kayma mukavemeti açıları için kullanılacak olan  $\theta$  değerleri

| $\phi$ (°) | $i$ (°)                                |                                       |                                       |                                       |              |
|------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|            | A <sub>o</sub> =0.4<br>$\theta$ =10.15 | A <sub>o</sub> =0.3<br>$\theta$ =7.43 | A <sub>o</sub> =0.2<br>$\theta$ =4.83 | A <sub>o</sub> =0.1<br>$\theta$ =2.35 | Statik Durum |
| 25.0       | 13                                     | 15                                    | 18                                    | 20                                    | 22           |
| 27.5       | 15                                     | 18                                    | 20                                    | 22                                    | 25           |
| 30.0       | 18                                     | 20                                    | 22                                    | 25                                    | 27           |
| 32.5       | 20                                     | 22                                    | 25                                    | 27                                    | 29           |
| 35.0       | 22                                     | 25                                    | 27                                    | 29                                    | 31           |
| 37.5       | 24                                     | 27                                    | 29                                    | 31                                    | 34           |
| 40.0       | 27                                     | 29                                    | 31                                    | 34                                    | 36           |

İstinat duvarlarının arkasında dolgu malzemesi olarak genelde kum ve çakıl karışımı zeminler kullanılmaktadır. Bu tip zeminlerde kayma mukavemeti açısı killi zeminlere göre daha yüksek olmaktadır. Bu nedenle, kayma mukavemeti açısı 25°-40° arasında 2.5°'lik aralıklarla alınmıştır. Yayılı yük büyüklükleri için seçilen değerlerden 15 kN/m<sup>2</sup> trafik yükünü, 30 kN/m<sup>2</sup> ise demiryolları için kullanılabilecek yayılı yükü ve buna eşdeğer diğer yükleri temsil etmektedir. Daha büyük yayılı yükleri temsilen 60 kN/m<sup>2</sup>'lik ve 100 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yük olması durumları da

incelense de tablolarda  $100 \text{ kN/m}^2$ 'lik yayılı yükün olmasına ilişkin değerlere yer verilmemiştir. Kullanılan değişkenlerden şev açısının ( $i$ ) sıfır değerleri için çözüm yapılmasının yanında Bölüm 3'te verilen  $i \leq \phi - \theta$  bağıntısını sağlayan en büyük  $i$  açılarda hesaba katılmıştır. Bu hesaplanan değerlerde kuvvet poligonu kapanmadığından, bu değerler 1.1 olarak seçilen bir güvenlik sayısına bölünerek bulunan şev açıları için analizler yapılmıştır. Burada verilen  $\theta$  açısı Bölüm 3'te açıklandığı gibi düşey ve yatay tasarım ivmelerine bağlı bir açıdır. Aşağıda verilen tabloda kullanılan  $i$  değerleri görülmektedir.

#### 4.1 Cullman Grafik Yönteminin Matematiksel İfadesinin Çıkarılması

Seçilen istinat duvarı modelinin çözümüne bölüm 3'te anlatılan yöntemlerden sadece Geliştirilmiş Cullman yöntemi cevap vermektedir. Geliştirilmiş Cullman yöntemi grafik bir yöntemdir. Duvara etkiyen itkileri ve momentleri bulmak için birçok çözüm yapmak gerekmektedir. Grafik yöntem özünde bir iterasyona dayanmaktadır. Bölüm 3'te anlatıldığı gibi birkaç deneme kaması için toprak itkileri hesaplandıktan sonra bunlar grafiğe işlenmekte ve toprak itkilerinin tepe noktası yaptığı yer bulunmaktadır. Bu tepe noktası aktif toprak itkisine karşı gelmektedir. Bu nedenle, yöntem öncelikle herhangi bir deneme kaması içine matematiksel denklemlerle ifade edilebilmesi yoluna gidilmiştir. Deneme kaması açılarının  $1^\circ$ 'lik aralıklarla artımları için bütün toprak itkileri hesaplanarak en büyüğünün aktif toprak itkisi olarak belirleneceği düşünülmüştür. Böylelikle yöntemin bir bilgisayar programına aktararak, iterasyonların programda yapılması ve çok sayıda çözümün daha pratik olarak yapılması mümkün olacaktır.

Çözümlerde önemli olan nokta deneme kayma kaması içine düşen ağırlıkların hesaplanmasıdır. Ağırlıkların hesaplanabilmesi için geometrinin belirlenmesi gerekmektedir. Geometrinin belirlenmesinde kritik bazı noktalar için koordinatlar hesaplanmaktadır. Geometri belirlendikten sonra kamanın ağırlığı ve bu kama içine düşen yayılı yük ağırlıkları hesaplanır. Modelin çözümünde kullanılacak geometrik eşitlikler Şekil 4.2'de görülmektedir. Bu eşitlikler kullanılarak fiziksel olarak mümkün olasılıklar dahilindeki bütün deneme kamaları için kama ağırlıkları ve yayılı yük ağırlıkları hesaplanmaktadır.



$$\begin{aligned}
\theta_1 < \theta_2 &\Rightarrow y = \frac{H \tan i (\tan \beta + \tan \theta_1)}{1 - \tan \theta_1 \tan i} \\
\Rightarrow x_3 &= x_1 + H(\tan \beta + \tan \theta_1) + \frac{H \tan i (\tan \beta + \tan \theta_1)}{1 - \tan \theta_1 \tan i} \tan \theta_1 \\
y_3 &= y_1 + \frac{H \tan i (\tan \beta + \tan \theta_1)}{1 - \tan \theta_1 \tan i}
\end{aligned}
\quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \theta_1 < \theta_2 \\ \Rightarrow x_3 \\ y_3 \end{aligned}} \right\} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned}
\theta_1 > \theta_2 &\Rightarrow y = L \tan i \\
\Rightarrow x_3 &= H(\tan \beta + \tan \theta_1) + L \tan i \tan \theta_1 \\
y_3 &= H + L \tan i
\end{aligned}
\quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \theta_1 > \theta_2 \\ \Rightarrow x_3 \\ y_3 \end{aligned}} \right\} \quad (4.5)$$

Analitik geometri kurallarına göre köşe noktalarının koordinatları belli bir üçgeninin alanının bulunmasından yola çıkılarak kama ağırlıkları hesaplanmıştır. Şev geometrisi gereği kama ağırlığı iki ayrı üçgen halinde hesaplanırsa  $\theta_1 < \theta_2$  için kama ağırlıkları,

$$\theta_1 < \theta_2 \quad \Rightarrow W_1 = \frac{1}{2} \gamma |x_1 y_2 + x_2 y_3 + x_3 y_1 - x_2 y_1 - x_3 y_2 - x_1 y_3| \quad (4.6)$$

$$W_2 = 0$$

ifadeleri ile hesaplanırken kamanın ağırlık merkezi,

$$x_G = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \quad y_G = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \quad (4.7)$$

eşitlikleri ile bulunur. Bu durum için,

$Q = 0$  olduğundan, genel ağırlık merkezi kamanın ağırlık merkezi ile aynıdır.

$$x_0 = x_G, \quad y_0 = y_G$$

$\theta_1 > \theta_2$  ise ikiye ayrılan kama ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanır. AEG üçgeninin ağırlığı  $W_1$  ve EFG üçgeninin ağırlığı  $W_2$ 'dir.

$$\theta_1 > \theta_2 \quad \Rightarrow W_1 = \frac{1}{2} \gamma |x_1 y_2 + x_2 y_4 + x_4 y_1 - x_2 y_1 - x_4 y_2 - x_1 y_4| \quad (4.8)$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \gamma |x_4 y_2 + x_2 y_3 + x_3 y_4 - x_2 y_4 - x_3 y_2 - x_4 y_3| \quad (4.9)$$

AEG ve EFG üçgenlerinin ağırlık merkezleri,

$$x_{G1} = \frac{x_1 + x_2 + x_4}{3} \quad y_{G1} = \frac{y_1 + y_2 + y_4}{3} \quad (4.10)$$

$$x_{G2} = \frac{x_2 + x_3 + x_4}{3} \quad y_{G2} = \frac{y_2 + y_3 + y_4}{3} \quad (4.11)$$

ifadeleri ile hesaplanmaktadır.

Yayıllı yük ağırlığı ve ağırlık merkezi,

$$Q = q(x_3 - x_4) \quad (4.12)$$

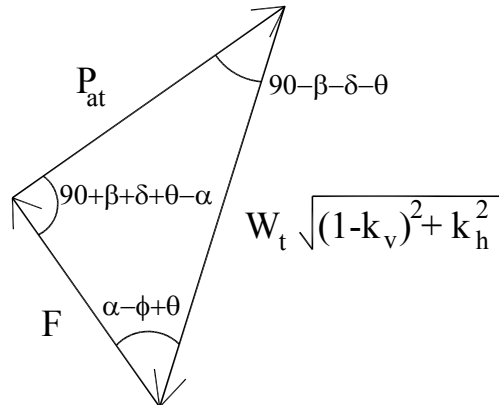
$$x_q = \frac{x_3 + x_4}{2} \quad y_q = H + B \tan i \quad (4.13)$$

bağıntılarıyla bulunur.

Genel ağırlık merkezi aşağıdaki denklemlerle bulunmaktadır.

$$x_0 = \frac{W_1 x_{G1} + W_2 x_{G2} + Q x_q}{W_1 + W_2 + Q}, \quad y_0 = \frac{W_1 y_{G1} + W_2 y_{G2} + Q y_q}{W_1 + W_2 + Q} \quad (4.14)$$

Hesaplanan toprak ve yayıllı yük ağırlıkları toplanarak toplam ağırlık bulunur ve kuvvet poligonu oluşturulur. Yapılan hesaplamaların ABYYHY'e uygun olması açısından toprak itkileri, depremin yukarı ve aşağı hareketleri için ayrı ayrı hesaplanarak en büyüğü istinat duvarına etkiyen aktif kuvvet olarak belirlenecektir.



**Şekil 4.3 :** Yukarı deprem hareketi için oluşturulan kuvvet poligonu

$$W_t = W + Q, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right), \quad \alpha = 90 - \theta_1$$

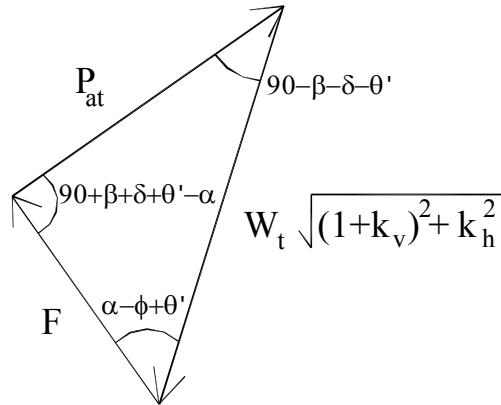
Deprem ivmesinin düşey bileşenin yukarı yönü için oluşturulan kuvvet poligonu Şekil 4.3'te verilmektedir. Sinüs teoreminden yararlanılırsa,

$$\frac{P_{at}}{\sin(\alpha - \phi + \theta)} = \frac{W_t \sqrt{(1-k_v)^2 + k_h^2}}{\sin(90 + \beta + \delta + \phi - \alpha)}$$

eşitliği yazılır ve buradan  $P_{at}$  çekilirse,

$$P_{at} = W_t \sqrt{(1-k_v)^2 + k_h^2} \frac{\sin(\alpha - \phi + \theta)}{\sin(90 + \beta + \delta + \phi - \alpha)} \quad (4.15)$$

denklemini bulunur.



**Şekil 4.4 :** Aşağı deprem hareketi için oluşturulan kuvvet poligonu

$$W_t = W + Q, \quad \theta' = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1+k_v}\right), \quad \alpha = 90 - \theta_1$$

Deprem ivmesinin düşey bileşenin aşağı yönü için oluşturulan kuvvet poligonu Şekil 4.4'te verilmektedir. Aynı şekilde sinüs teoreminden yararlanılırsa,

$$\frac{P_{at}}{\sin(\alpha - \phi + \theta')} = \frac{W_t \sqrt{(1+k_v)^2 + k_h^2}}{\sin(90 + \beta + \delta + \phi - \alpha)}$$

eşitliği yazılır ve buradan  $P_{at}$  çekilirse,

$$P_{at} = W_t \sqrt{(1 + k_v)^2 + k_h^2} \frac{\sin(\alpha - \phi + \theta')}{\sin(90 + \beta + \delta + \phi - \alpha)} \quad (4.16)$$

denklemini bulunur. Bulunan  $P_{at}$ 'lerin en büyüğü istinat duvarına etkiyen toplam kuvvettir.

#### 4.2 Statik ve Dinamik Toprak İtkilerinin Etkime Noktaları

İstinat duvarı üzerinde oluşan devirici momentlerin bulunabilmesi toprak itkisinin etkidiği noktanın bulunması gerekmektedir. ABYYHY'ye göre istinat duvarlarına etkiyen kuvvetler dörde ayrılmıştır. Bunlar; zeminin kütlelerinden oluşan statik itki,  $P_{as}$ , zeminin kütlelerinden oluşan dinamik itki,  $P_{ad}$ , yayılı yükten oluşan statik itki  $Q_{as}$  ve yayılı yükten oluşan dinamik itki,  $Q_{ad}$ 'dir. Bölüm 3'te bu kuvvetler görülebilmektedir. ABYYHY'de belirtildiği üzere, depremde zeminin kendi kütlelerinden dolayı oluşan ek toprak basıncı tabandan  $H/2$  yüksekliğinden, yayılı yükün kendi ağırlığından dolayı oluşan ek toprak basıncı ise tabandan  $2H/3$  yüksekliğinden etkimektedir. Hesaplamalarda güvenli tarafta alınarak bu iki kuvvet  $P_{ad}$  ve  $Q_{ad}$ 'nin etkime noktaları ABYYHY'deki gibi alınmıştır.

Statik durumda oluşan  $P_{as}$  ve  $Q_{as}$  kuvvetlerinin bileşkesi  $P_{ast}$ 'nin etkime noktasının bulunması normalde oldukça uğraştırıcı bir iştir. Ancak, Şekil 4.5'ten yararlanılarak etkime noktası yaklaşık olarak bulunabilir. En kritik kayma kamasının olduğu durumda oluşan kayma düzlemine paralel bir çizgi kayan kütle'nin ağırlık merkezinden geçirilerek  $P_{ast}$ 'nin etkime noktası yaklaşık olarak bulunur (Das, 1998).

$$\left. \begin{aligned} y' \tan \theta &= x_0 - H \tan \beta + \tan \beta y_0 - \tan \beta y' \\ \Rightarrow y' &= \frac{x_0 + \tan \beta (y_0 - H)}{\tan \beta + \tan \theta_1} \\ \text{Etkime noktası, } h &= y_0 - y' \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$



- En büyük  $P_{at}$ 'nin bulunduğu kritik kayma açısı için  $P_{ad}$  hesaplanır.  $P_{at}$  ve  $P_{ad}$ 'nin farkı alınarak  $Q_{ad}$  bulunur.
- En büyük  $P_{ast}$ 'nin bulunduğu kritik kayma açısı için  $P_{as}$  hesaplanır.  $P_{ast}$  ve  $P_{as}$ 'nin farkı alınarak  $Q_{as}$  bulunur.

Analizler, bu kabuller doğrultusunda Visual Basic dilinde yazılan bir bilgisayar programında yapılmıştır. Bu programa girilen veriler, duvar yüksekliği (H), şev açısı (i), dolgu birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ), yayılı yük (q), yayılı yük uzaklığı (L), duvar arkası eğimi ( $\beta$ ), duvar ile zemin arası sürtünme açısı ( $\delta$ ), etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_o$ ) ve yapı önem katsayısı (I)'dır. Girilen veriler kullanarak seçilen duvar modeli üzerinde hesaplamalar yapılmaktadır. Program hesap kolaylığı ve anlaşılabilirlik açısından sekiz ayrı modülden oluşmaktadır.

Modül 1: Dinamik ve statik itkilerin toplamı ( $P_{at}$ )'yi hesaplar.

Modül 2: Statik itkilerin toplamı ( $P_{ast}$ )'yi hesaplar.

Modül 3: Toprak kütesinden kaynaklanan statik itki ( $P_{as}$ )'yi hesaplar.

Modül 4: Toprak kütesinden kaynaklanan dinamik itki ( $P_{ad}$ )'yi hesaplar.

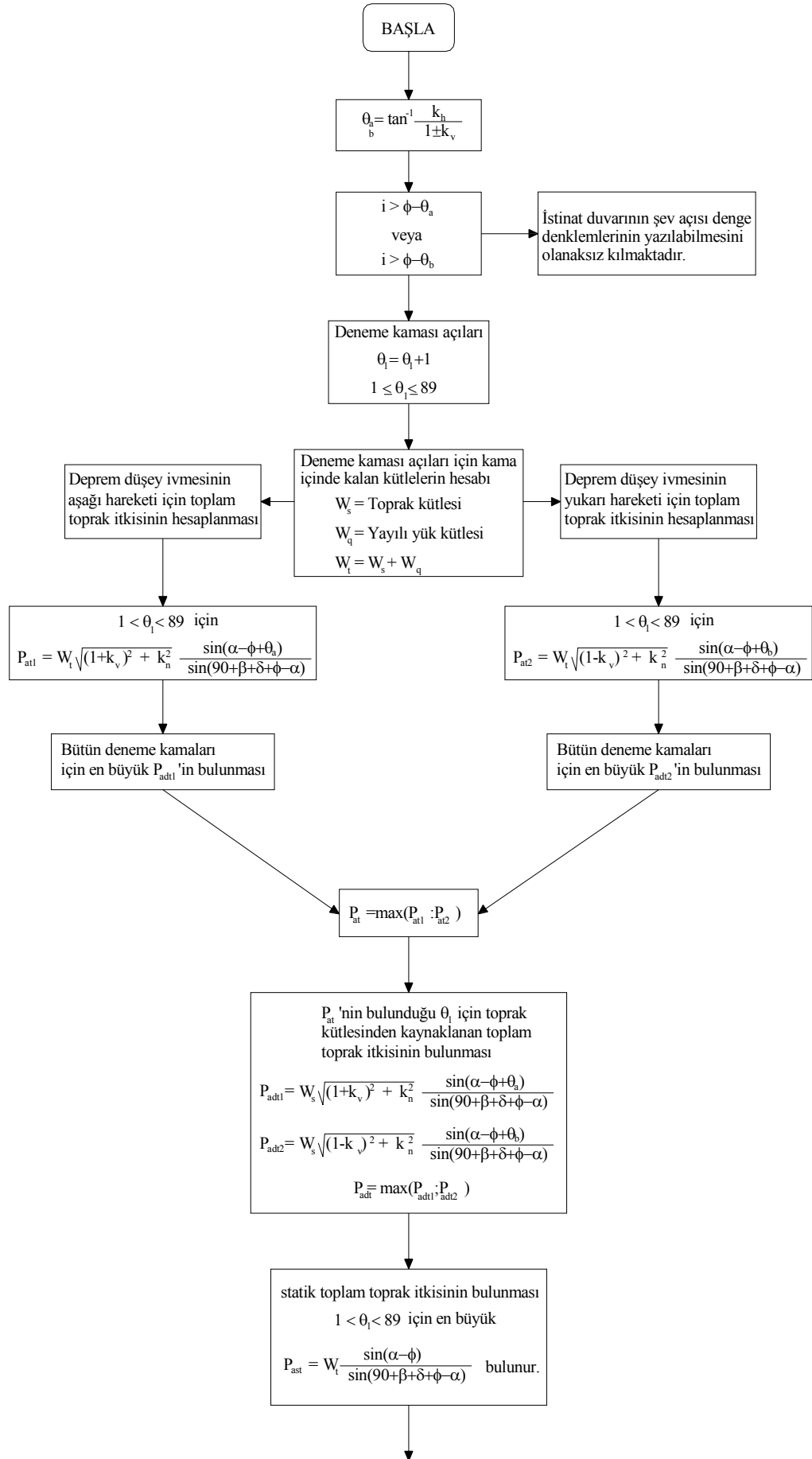
Modül 5: Dinamik durumda oluşan kritik kayma kamasının düşey ile yaptığı açı ( $\theta_{din}$ )'i hesaplar.

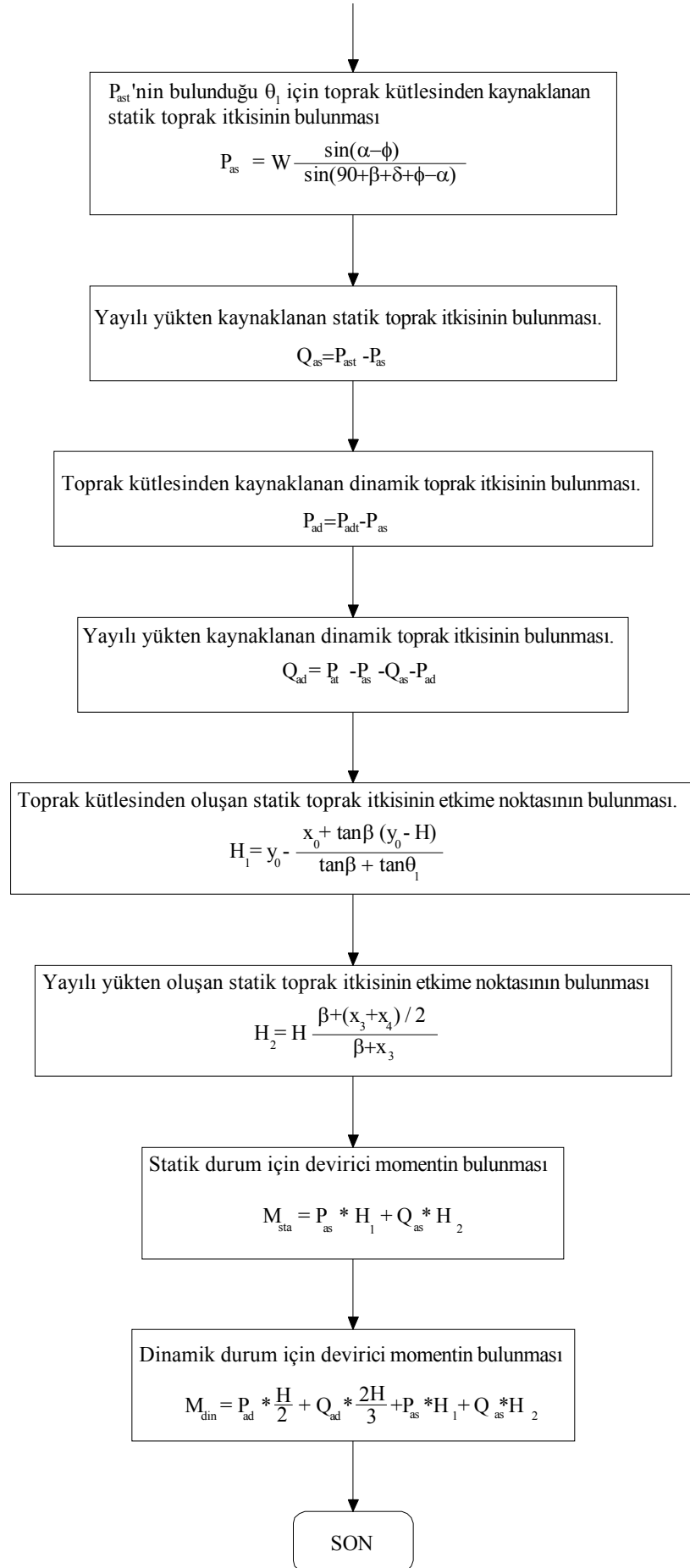
Modül 6: Statik durumda oluşan kritik kayma kamasının düşey ile yaptığı açı ( $\theta_{sta}$ )'yi hesaplar.

Modül 7: Toprak kütesinden kaynaklanan statik itki ( $P_{as}$ )'nin etkiye noktası ( $H_1$ )'i hesaplar.

Modül 8: Yayılı yük kütesinden kaynaklanan statik itki ( $Q_{as}$ )'nin etkiye noktası ( $H_2$ )'yi hesaplar.

Programda bu modüller kullanılarak istinat duvarı tasarımında gerekli kaydırıcı kuvvetler ve devirici momentler hesaplanır. Bu modüllerin açık kodları eklerde verilmiştir. Kullanılan bilgisayar programının akış diyagramı aşağıda verilmektedir.





## 5. ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmada yayılı yük etkisindeki istinat duvarlarına etkiyen toprak basınçlarının, değişik yükleme durumları için belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, gerekli bilgileri bir önceki bölümde verilmiş bir istinat duvarı modeli seçilmiştir. Seçilen modelde duvar yüksekliği ( $H$ ), düzgün yayılı yük ( $q$ ), kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ), şev açısı ( $i$ ), yayılı yük uzaklığı ( $L$ ) ve etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ ) değişken olarak alınmış ve her birinin dinamik toprak basıncına etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma için oluşturulan bir yazılım ile grafik yöntemle birlikte ABYYHY'nin kabulleri kullanılarak çeşitli yükleme durumları için bir seri analiz yapılmıştır.

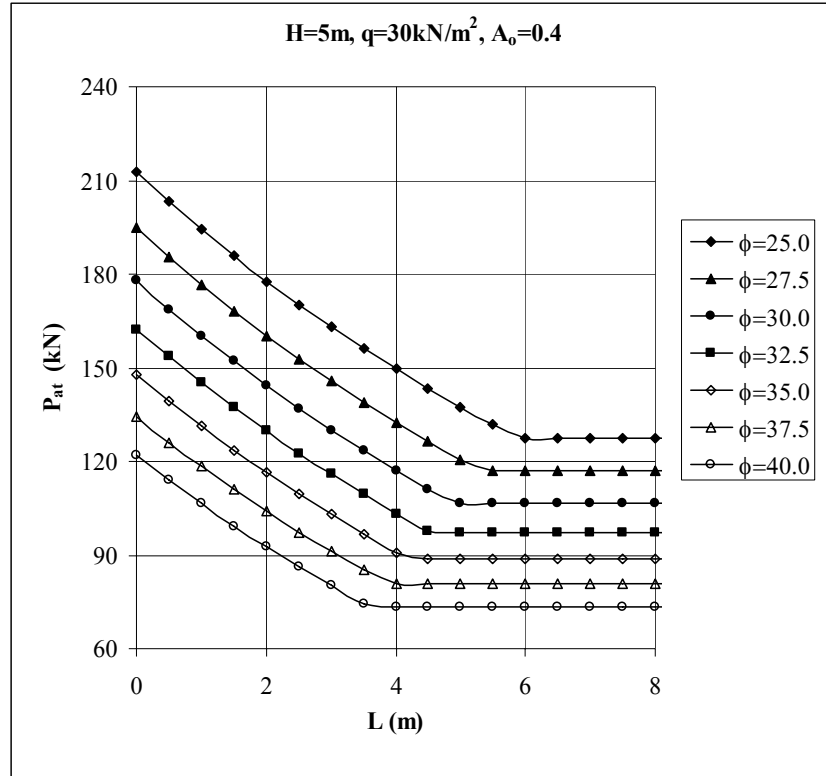
Duvara etkiyen dinamik toprak basınçlarının çeşitli yükleme durumları için kolayca tahmin edilebilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, analiz sonuçlarında duvara etkiyen toplam aktif itki ve devirici momentin verilmesi ile yetinilmiştir. Tasarım sırasında çok değişik duvar geometrisi olabileceğinden, duvar geometrisine bağlı tahkikler yapılmamıştır. Devrilme, kayma ve taban basıncı tahkikleri tasarımcıya bırakılmıştır. Analiz sonuçları belli bir  $\phi$  açısı,  $q$  yayılı yükü ve deprem bölgesi için duvar yüksekliği ( $H$ )'ın ve yayılı yük uzaklığı ( $L$ )'nin çeşitli değerleri için tablolar halinde eklerde verilmiştir. Tablolarda dinamik ve statik durumlar için ayrı ayrı toplam kaydırıcı kuvvetler  $P_{at}$  ve  $P_{ast}$ , devirici momentler  $M_{din}$  ve  $M_{sta}$  verilmektedir.

Yaklaşık olarak 21000 civarında yapılan farklı analizler sırasında ortaya çıkan bazı sonuçların verilebilmesi için toplam toprak itkisi üzerinde kayma mukavemeti açısının, duvar yüksekliğinin ve yayılı yükün etkisi incelenmiştir.

### 5.1 Kayma Mukavemeti Açısının Etkisi

Kayma mukavemeti açısının toplam toprak itkisi ( $P_{at}$ ) üzerindeki etkisini incelemek amacıyla duvar yüksekliği 5 m, yayılı yükü 30 kN/m<sup>2</sup> ve birinci derece deprem bölgesinde bulunan bir istinat duvarı modeli seçilmiştir. Şev açısı 0° ve 10° olmak

üzere incelemeler yapılmıştır. Kayma mukavemeti açısı  $25^{\circ}$ 'den  $40^{\circ}$ 'ye kadar  $2.5^{\circ}$  aralıklarla alınmış ve her biri için  $P_{at}$ 'nin  $L$ 'ye bağlı olarak değişimi çizilmiştir.  $P_{at}$ - $L$  eğrilerinin yataya paralel olarak gittiği noktalar yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafeleri ifade etmektedir.  $i=0^{\circ}$  durumu için Şekil 5.1'de görüldüğü gibi kayma mukavemeti açısı düştükçe toplam toprak itkileri birbirine paralel olarak artmaktadırlar. Ayrıca düşük kayma mukavemeti açıları için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafe artmaktadır.



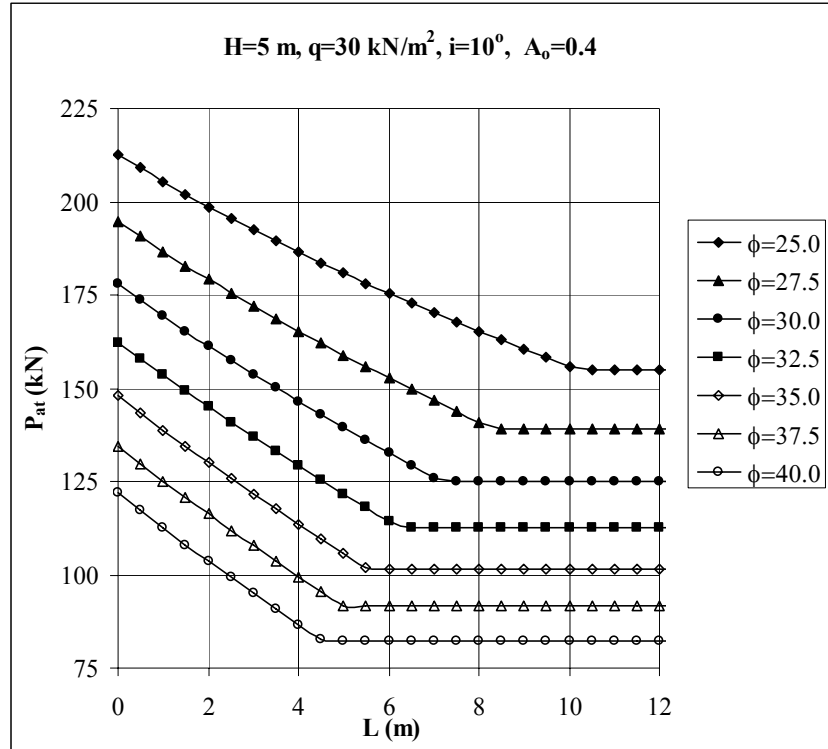
**Şekil 5.1 :**  $i=0^{\circ}$  için kayma mukavemeti açısının etkisi

Analizler, duvar yüksekliğinin ve yayılı yükün diğer değerleri için farklı deprem bölgelerini de kapsayacak şekilde yapılmıştır. Ancak genel eğilim değişmediğinden örnek bir durum için kayma mukavemeti açısındaki değişimin  $P_{at}$ - $L$  grafiği üzerindeki etkisi verilmiştir. Tablo 5.1'de farklı duvar yükseklikleri için depremli durumda oluşan devirici moment ( $M_{din}$ ) ve toplam itki ( $P_{at}$ ) verilmiştir.  $M_{din}$ - $L$  grafiği üzerinde kayma mukavemeti açısının etkisi ise toplam itkilere bağlı olarak yukarıda verilen şekle benzer bir eğilim göstermektedir.  $q$ 'nın ve  $L$ 'nin farklı değerleri için hesaplanan toplam moment ve toplam itkileri içeren tablolar ekte verilmiştir. Ekte ayrıca ikinci derece deprem bölgesine ve statik duruma da yer verilmiştir.

**Tablo 5.1 :**  $A_0=0.4$ ,  $q=30 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=30^\circ$  ve  $i=0^\circ$  için  $M_{\text{din}}$  ve  $P_{\text{at}}$  değerleri

|       | L=0 m                  |                      | L=2.5 m                |                      | L=5 m                  |                      |
|-------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| H (m) | $M_{\text{din}}$ (kNm) | $P_{\text{at}}$ (kN) | $M_{\text{din}}$ (kNm) | $P_{\text{at}}$ (kN) | $M_{\text{din}}$ (kNm) | $P_{\text{at}}$ (kN) |
| 4     | 229.9                  | 125.3                | 137.8                  | 86.5                 | 104.7                  | 68.3                 |
| 5     | 400.0                  | 178.0                | 270.2                  | 137.1                | 204.4                  | 106.8                |
| 6     | 634.9                  | 239.2                | 464.4                  | 196.8                | 396.6                  | 162.2                |
| 7     | 944.4                  | 308.9                | 730.4                  | 265.6                | 661.0                  | 228.7                |
| 8     | 1338.1                 | 387.2                | 1081.6                 | 343.2                | 963.6                  | 304.5                |

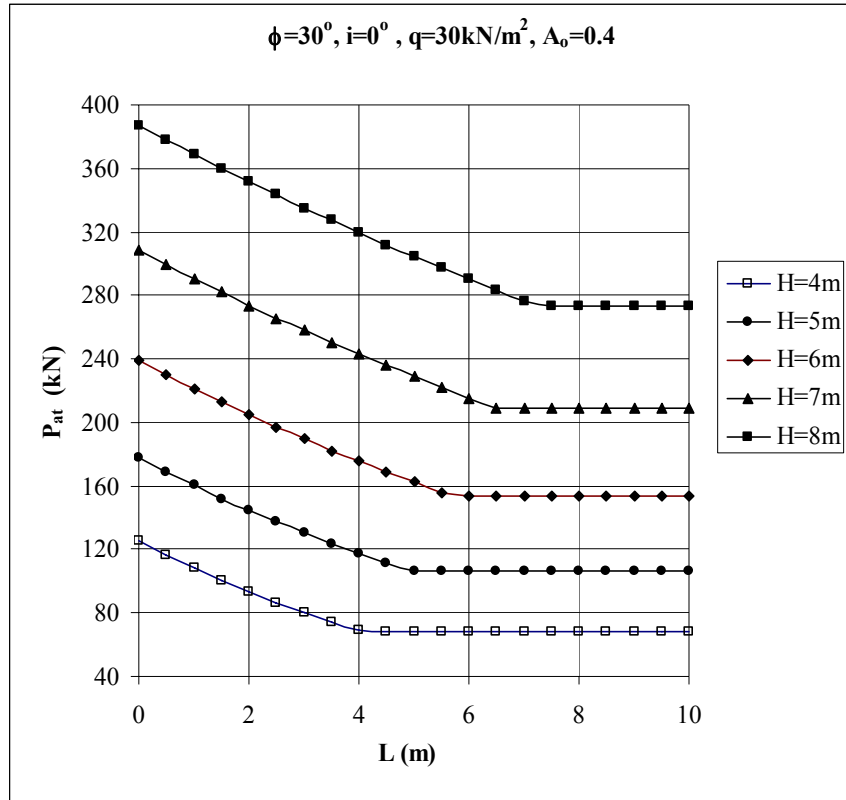
Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi şev açısının sıfırdan farklı alındığı durumlar için, şev açısı  $\phi$  ve  $\theta$ 'ya bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, her  $\phi$  açısı için farklı bir şev açısı bulunmaktadır. Değişken şev açıları için karşılaştırma yapmak bir şey ifade etmeyeceğinden kayma mukavemeti açıları için hepsi için kullanılacak bir şev açısı seçilmiştir.  $i=10^\circ$  için çizilen şekilde  $P_{\text{at}}$ -L eğrileri arasındaki paralelliğin kalktığı gözükmemektedir. Kayma mukavemeti açısı düştükçe toprak kütesinden kaynaklanan toprak itkileri artmakta ve  $P_{\text{at}}$ -L eğrilerinin eğimi azalmaktadır.



**Şekil 5.2 :**  $i=10^\circ$  için kayma mukavemeti açısının etkisi

## 5.2 Duvar Yüksekliğinin Etkisi

Duvar yüksekliğinin toplam itki ( $P_{at}$ ) üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kayma mukavemeti açısı  $30^\circ$ , yayılı yükü  $60 \text{ kN/m}^2$  ve birinci derece deprem bölgesinde bulunan bir istinat duvarı modeli seçilmiştir. Şev açısı,  $0^\circ$  ve seçilen model için pratik olarak uygulanması mümkün en büyük açı olan  $18^\circ$  seçilmiş ve açılar için iki ayrı inceleme yapılmıştır. Duvar yüksekliği 4 ile 8 m arasındaki istinat duvarlarının her biri için farklı  $P_{at}$ -L eğrileri çizilmiştir.  $P_{at}$ -L eğrilerinin yataya paralel olarak gittiği noktalar yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafeleri ifade etmektedir.  $i=0^\circ$  durumu için Şekil 5.3'te görüldüğü gibi duvar yüksekliği arttıkça toplam toprak itkileri birbirine paralel olarak artmaktadırlar. Ayrıca duvar yüksekliği arttıkça için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafe artmaktadır.



Şekil 5.3 :  $i=0^\circ$  için duvar yüksekliği değişiminin etkisi

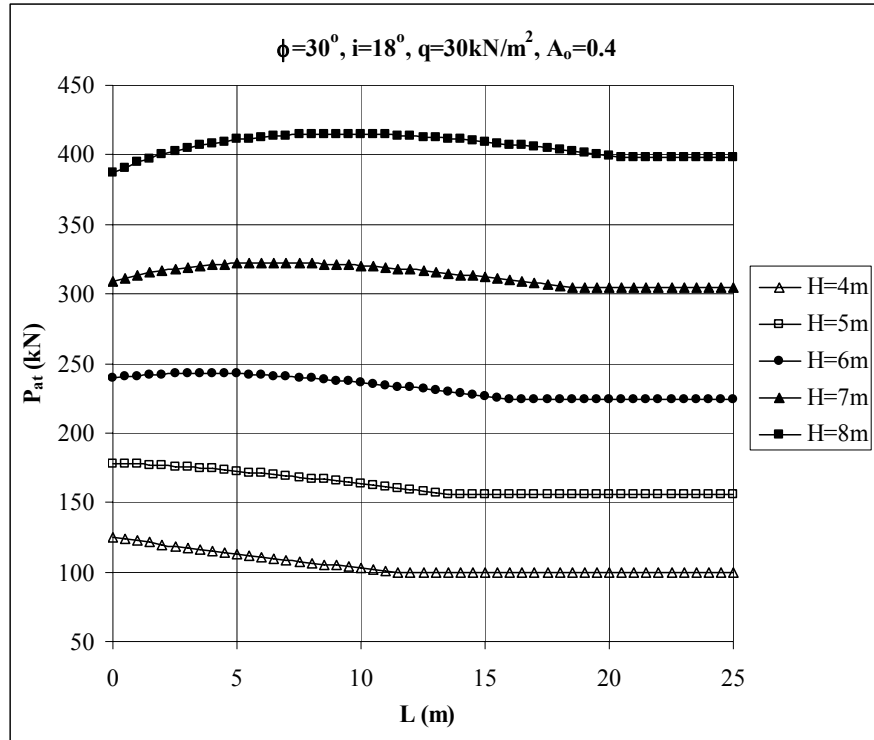
Analizler, yayılı yükün ve kayma mukavemeti açısının diğer değerleri için farklı deprem bölgelerini de kapsayacak şekilde yapılmıştır. Ancak genel eğilim değişmediğinden örnek bir durum için duvar yüksekliğindeki değişimin  $P_{at}$ -L grafiği üzerindeki etkisi verilmiştir. Tablo 5.2'de farklı duvar yükseklikleri için depremler

durumda oluşan devirici moment  $M_{din}$  ve toplam itki  $P_{at}$  verilmiştir.  $M_{din}$ -L grafiği üzerinde duvar yüksekliğinin etkisi ise toplam itkilere bağlı olarak yukarıda verilen şekle benzer bir eğilim göstermektedir.  $\phi$ 'nin ve  $L$ 'nin farklı değerleri için hesaplanan toplam moment ve toplam itkileri içeren tablolar ekte verilmiştir. Ekte ayrıca ikinci derece deprem bölgesine ve statik duruma da yer verilmiştir.

**Tablo 5.2 :**  $A_0=0.4$ ,  $H=6$  m,  $\phi=30^\circ$  ve  $i=0^\circ$  için  $M_{din}$  ve  $P_{at}$  değerleri

|                           | L=0 m              |                  | L=2.5 m            |                  | L=5 m              |                  |
|---------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| q<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) |
| 15                        | 494.1              | 196.5            | 406.4              | 174.4            | 362.8              | 155.0            |
| 30                        | 634.9              | 239.2            | 464.4              | 196.8            | 396.6              | 162.2            |
| 60                        | 916.6              | 324.6            | 587.1              | 243.8            | 486.7              | 183.0            |

$i=18^\circ$  için çizilen  $P_{at}$ -L grafiğinde duvar yüksekliğinin 6 m'den fazla olduğu durumlarda yayılı yük uzaklaşmasına rağmen toprak itkilerinde bir artış gözükmemektedir. Duvar yüksekliği arttıkça toprak kütesinden kaynaklanan toprak itkileri artmakta ve yayılı yükten daha baskın olmaktadır. Daha sonra yayılı yük uzaklaşmaya devam ettikçe kritik kamanın içinden çıkmaktadır. Böylece toplam itki tekrar azalmaya başlamaktadır.



**Şekil 5.4 :**  $i=18^\circ$  için duvar yüksekliği değişiminin etkisi

Depremli durumda istinat duvarı tabanına göre oluşan momentlerin yayılı yük uzaklığına göre değişimi toplam itki ile orantılı olarak yukarıda verilen şekil ile benzerlik göstermektedir. Tablo 5.3'te  $q$ 'nın ve  $L$ 'nin farklı değerleri için devirici moment ( $M_{din}$ ) ve toplam itki ( $P_{at}$ ) verilmiştir.  $\phi$ 'nin ve  $H$ 'ın farklı değerleri için hesaplanan toplam moment ve toplam itkileri içeren tablolar ekte verilmiştir. . Ekte ayrıca ikinci derece deprem bölgesine ve statik duruma da yer verilmiştir.

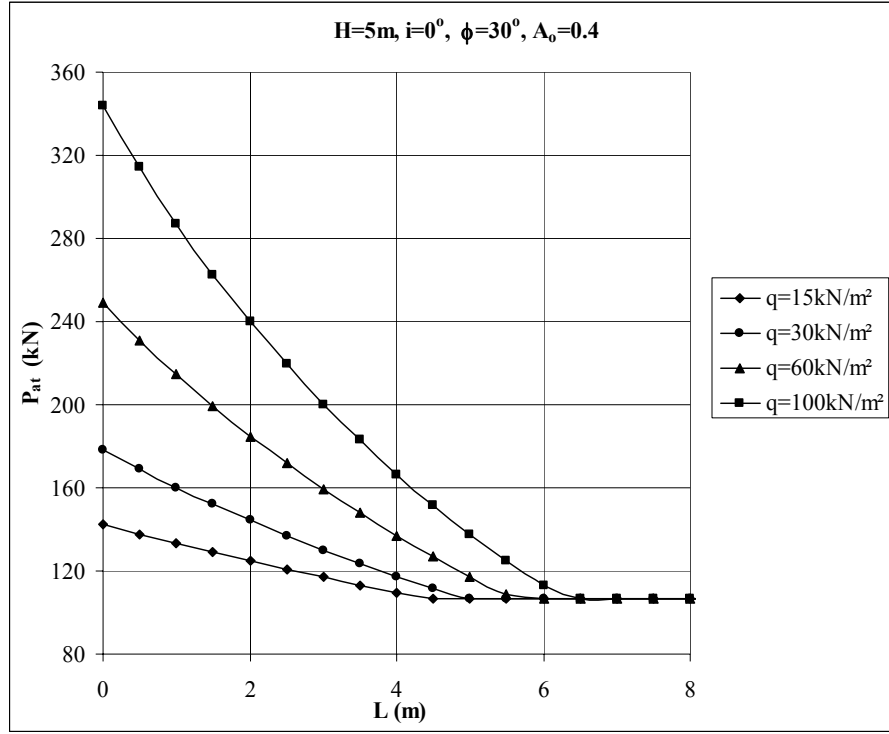
**Tablo 5.3 :**  $A_0=0.4$ ,  $H=6$  m,  $\phi=30^\circ$  ve  $i=18^\circ$  için  $M_{din}$  ve  $P_{at}$  değerleri

|                             | L=2.5 m            |                  | L=5 m              |                  | L=10 m             |                  |
|-----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| $q$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) |
| 15                          | 512.5              | 214.3            | 535.4              | 223.5            | 553.6              | 227.9            |
| 30                          | 591.6              | 242.6            | 589.2              | 242.3            | 588.4              | 236.1            |
| 60                          | 751.2              | 300.6            | 703.6              | 283.2            | 679.9              | 257.3            |

### 5.3 Yayılı Yük Şiddetinin Etkisi

Yayılı yük büyüklüğünün  $P_{at}$  üzerindeki etkisini göstermek amacıyla yapılan analizlerde duvar yüksekliği 5 m, kayma mukavemeti açısı  $30^\circ$  ve birinci derece deprem bölgesinde bulunan bir model seçilmiştir. Sonuçlar şev açısının  $0^\circ$  ve  $18^\circ$  değerleri için verilmiştir. Dolgu üzerinde 15, 30, 60 ve 100 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yükler alınarak her biri için  $P_{at}$ 'nin  $L$ 'ye göre değişimi çizilmiştir.  $P_{at}$ - $L$  eğrilerinin yataya paralel olarak gittiği noktalar yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafeleri ifade etmektedir.  $i=0^\circ$  durumu için Şekil 5.5'de görüldüğü gibi yayılı yükün büyüklüğü arttıkça toplam toprak itkileri için çizilen eğrilerin eğimi artmaktadır. Ayrıca yayılı yük büyüdükçe için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafe artmaktadır.

Tablo 5.4'te farklı kayma mukavemeti açısı değerleri için depremli durumda oluşan devirici moment  $M_{din}$  ve toplam itki  $P_{at}$  verilmiştir.  $M_{din}$ - $L$  grafiği üzerinde yayılı yük etkisi ise toplam itkilere bağlı olarak aşağıda verilen şekle benzer bir eğilim göstermektedir.  $H$ 'ın ve  $L$ 'nin farklı değerleri için hesaplanan toplam moment ve toplam itkileri içeren tablolar ekte verilmiştir. Ekte ayrıca ikinci derece deprem bölgesine ve statik duruma da yer verilmiştir.

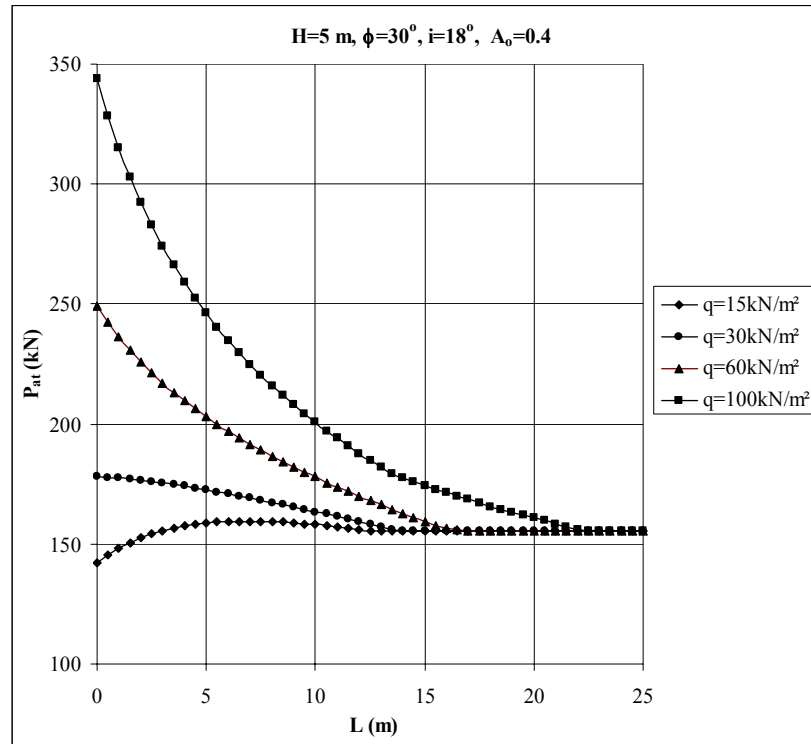


Şekil 5.5 :  $i=0^\circ$  için yayılı yük değişiminin etkisi

Tablo 5.4 :  $A_0=0.4$ ,  $H=5$  m,  $q=30$  kN/m<sup>2</sup> ve  $i=0^\circ$  için  $M_{din}$  ve  $P_{at}$  değerleri

|               | L=0 m              |                  | L=2.5 m            |                  | L=5 m              |                  |
|---------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| $\phi$<br>(°) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) |
| 25.0          | 476.1              | 212.8            | 335.0              | 170.2            | 283.6              | 137.4            |
| 27.5          | 436.6              | 194.7            | 300.7              | 152.8            | 243.7              | 120.6            |
| 30.0          | 400.0              | 178.0            | 270.2              | 137.1            | 204.4              | 106.8            |
| 32.5          | 366.0              | 162.4            | 242.1              | 122.6            | 187.1              | 97.4             |
| 35.0          | 334.4              | 147.9            | 217.3              | 109.4            | 171.1              | 88.8             |
| 37.5          | 304.9              | 134.4            | 194.8              | 97.3             | 156.1              | 80.7             |
| 40.0          | 277.5              | 121.9            | 173.5              | 86.2             | 142.1              | 73.1             |

Şev açısının  $18^\circ$  olduğu durum için çizilen Şekil 5.6'da 30, 60 ve 100 kN/m<sup>2</sup>'lik yükler için eğriler arasında  $i=0^\circ$  durumuna benzer bir durum vardır. Ancak, 15 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yük olması durumunda yayılı yük uzaklaşırken belli bir noktaya kadar  $P_{at}$  artmakta sonra tekrar düşüşe geçmektedir. Yayılı yük uzaklaşmasına rağmen toprak itkisinin artmasının sebebi şev nedeniyle artan toprak kütesidir. Yayılı yükün küçük olması sebebiyle toprak kütesinden kaynaklanan basınçlar  $P_{at}$ 'nin değişimi üzerinde daha etkili olmuştur.



**Şekil 5.6 :**  $i=18^\circ$  için yayılı yük değişiminin etkisi

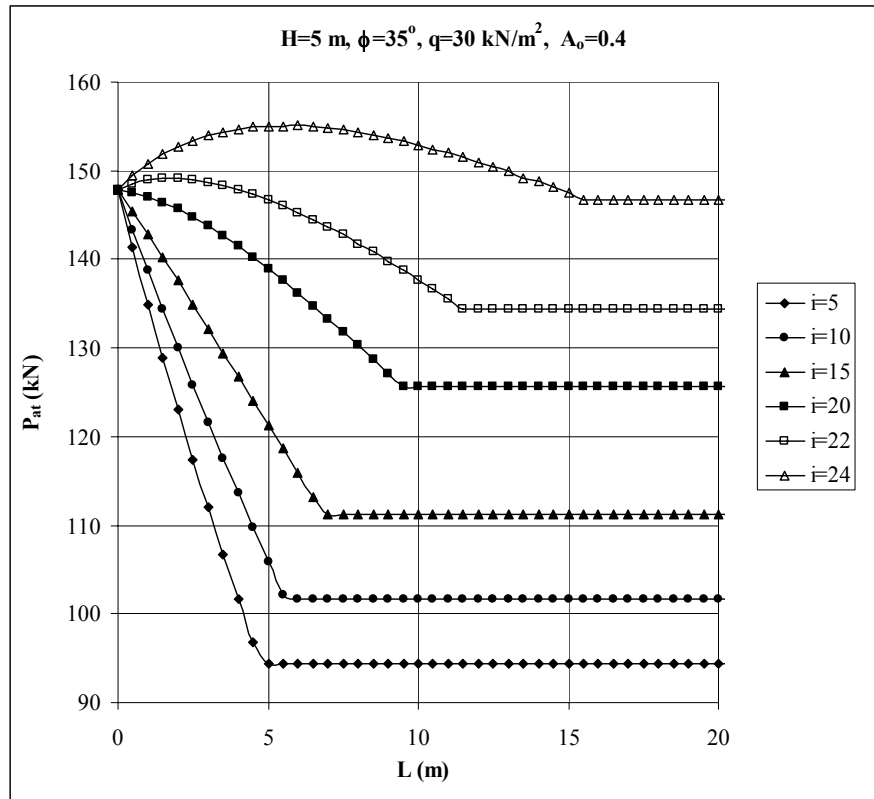
Tablo 5.5’te farklı kayma mukavemeti açısı değerleri için depremli durumda oluşan devirici moment  $M_{din}$  ve toplam itki  $P_{at}$  verilmiştir.  $M_{din}$ -L grafiği üzerinde yayılı yük etkisi ise toplam itkilere bağlı olarak aşağıda verilen şekle benzer bir eğilim göstermektedir. Şev açıları  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  şartına bağlı olarak seçildiğinden her  $\phi$  açısı için karşılık gelen şev açıları da farklıdır. H’nin ve L’nin farklı değerleri için hesaplanan toplam moment ve toplam itkileri içeren tablolar ekte verilmiştir. Ekte ayrıca ikinci derece deprem bölgesine ve statik duruma da yer verilmiştir.

**Tablo 5.5 :**  $A_o=0.4$ ,  $H=5$  m,  $q=30$  kN/m<sup>2</sup> ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  şartını sağlayan şev açıları için  $M_{din}$  ve  $P_{at}$  değerleri

|               | L=2.5 m            |                  | L=5 m              |                  | L=10 m             |                  |
|---------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| $\phi$<br>(°) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) | $M_{din}$<br>(kNm) | $P_{at}$<br>(kN) |
| 25.0          | 411.6              | 203.7            | 398.7              | 195.8            | 377.9              | 181.6            |
| 27.5          | 381.0              | 188.1            | 371.2              | 181.5            | 348.2              | 168.2            |
| 30.0          | 357.5              | 176.0            | 354.7              | 172.5            | 338.3              | 163.3            |
| 32.5          | 330.2              | 162.1            | 328.3              | 159.3            | 309.9              | 150.4            |
| 35.0          | 303.7              | 149.0            | 304.6              | 146.8            | 282.5              | 137.7            |
| 37.5          | 280.0              | 136.6            | 282.3              | 134.7            | 255.8              | 125.3            |
| 40.0          | 260.9              | 126.8            | 266.0              | 126.7            | 248.2              | 119.9            |

#### 5.4 Şev Açısı Değişiminin Etkisi

Şev açısı değişiminin  $P_{at}$  üzerindeki etkisini incelemek amacıyla duvar yüksekliği 5 m, kayma mukavemeti açısı  $35^0$  ve birinci derece deprem bölgesinde bulunan bir istinat duvarı seçilmiştir. Dolgu üzerinde  $30 \text{ kN/m}^2$ 'lik yayılı yük alınmıştır. Şev açısı için 5, 10, 15, 20, 22 ve  $24^0$ 'lik değerler alınarak her biri için farklı  $P_{at}$ -L eğrileri çizilmiştir. Şev açısının  $24.85^0$  değeri için çözüm yoktur. Bu yüzden bu değere yaklaştıkça aralıklar daha sık alınmıştır. Eğrileri yataya paralel olarak gittiği noktalar yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafeleri ifade etmektedir. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi şev açısı arttıkça toplam toprak itkileri için çizilen eğrilerin eğimi azalmaktadır. Ayrıca şev açısı arttıkça yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafe artmaktadır. Şev açısı sınır değere yaklaştıkça toprak kütesinden kaynaklanan toprak itkileri daha baskın olmaktadır. Bu nedenle, yayılı yük uzaklaşmasına rağmen  $P_{at}$  artmaktadır. Belli bir değerden sonra yayılı yük kritik kamanın dışına çıkmakta ve  $P_{at}$  tekrar düşüşe geçmektedir.



Şekil 5.7 : Şev açısı değişiminin etkisi

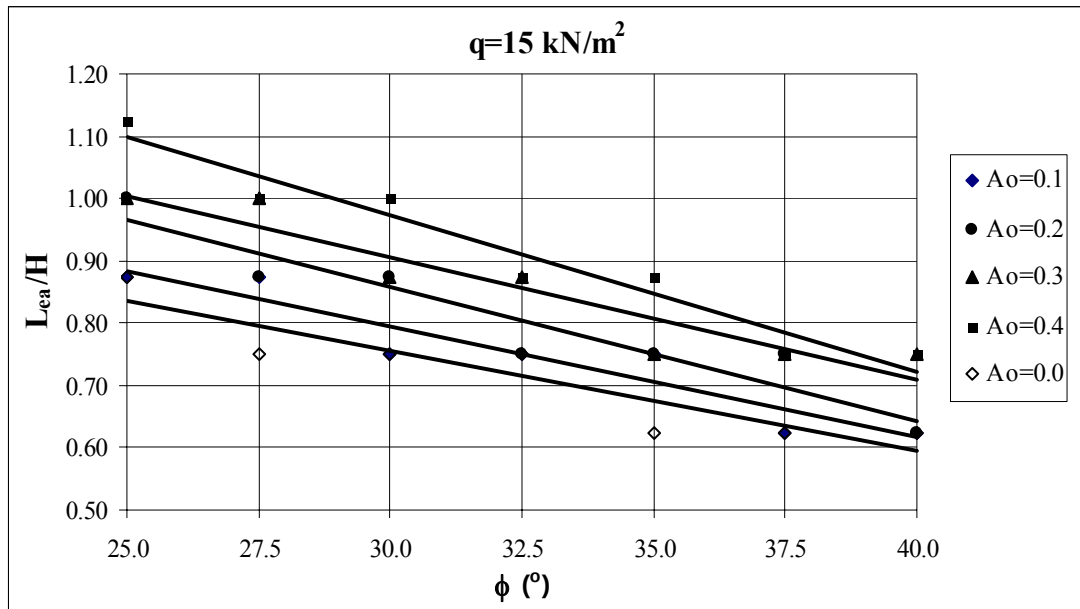
### 5.5 Etkin Yayılı Yük Uzaklığı

Modelde yapılan incelemelerden görülebileceği gibi yayılı yük istinat duvarından belli bir mesafede uzaklaştığı takdirde istinat duvarına etkisi kalmamaktadır. Bu mesafe yayılı yükün şiddetine, istinat duvarının yüksekliğine, kayma mukavemeti açısına, şev açısına ve deprem bölgesine bağlıdır.

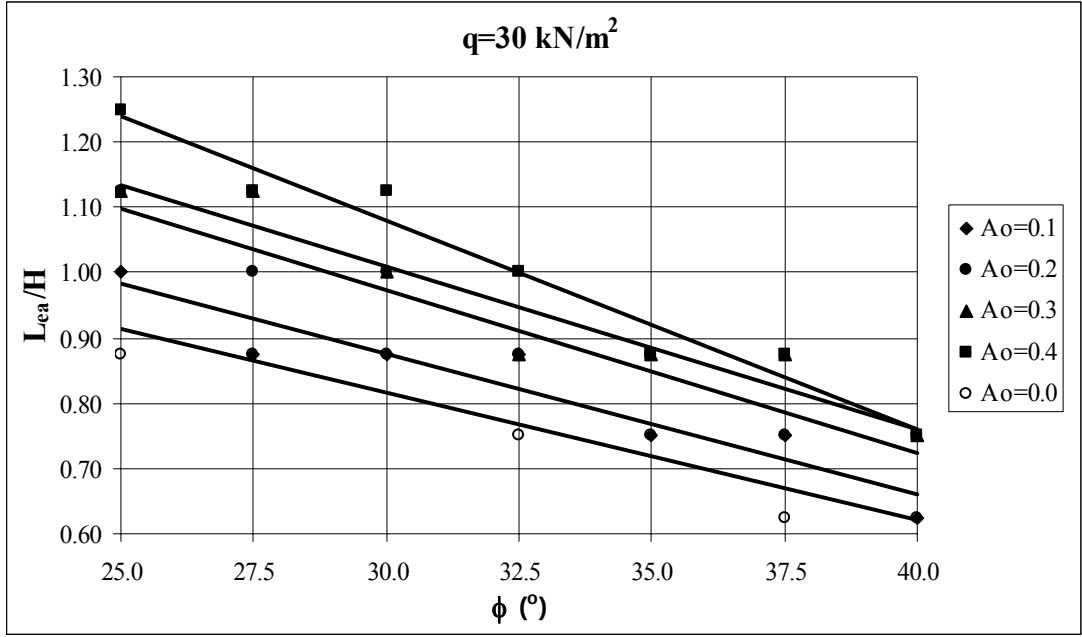
Şev açısının sıfır olduğu durumda 4m yüksekliğindeki istinat duvarının arkasında 15, 30 ve 60kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yük bulunduğu durumlar incelenmiştir. Yapılan analizlerde etkin yayılı yük uzaklığı ile duvar yüksekliği arasında doğrusala yakın bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, diğer duvar yükseklikleri için yayılı yükün etkisini kaybettiği nokta,  $L_e$ 'nin bulunması için bağıntılar verilmiştir. Bağıntılarda, Şekil 5.8'den okunan  $L_{ea}/H$  değeri ve istinat duvarının yüksekliği yerine koyulursa  $L_e$  değeri yaklaşık olarak elde edilir.

$$q = 15 \text{ kN/m}^2 \text{ için, } L_e = L_{ea} * (1 - (H-4)/40) \quad (5.1)$$

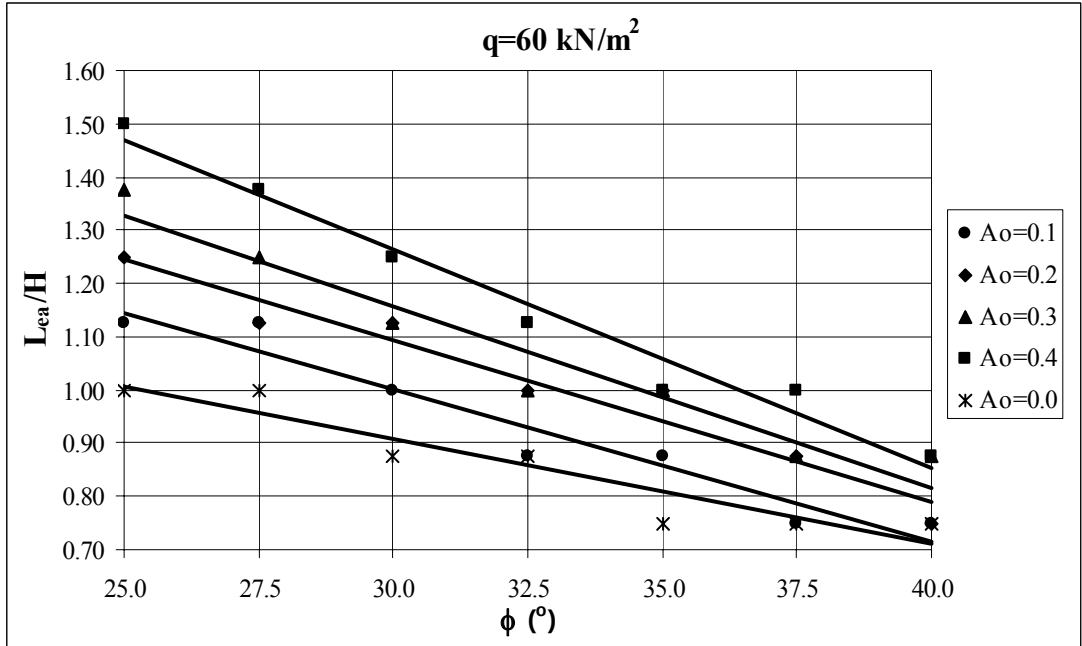
$$q = 30 \text{ ve } 60 \text{ kN/m}^2 \text{ için, } L_e = L_{ea} * (1 - (H-4)/30) \quad (5.2)$$



Şekil 5.8 :  $i=0^\circ$ ,  $q=15\text{kN/m}^2$  durumu için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması



**Şekil 5.9 :**  $i=0^0$ ,  $q=30\text{N/m}^2$  durumu için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması



**Şekil 5.10 :**  $i=0^0$ ,  $q=60\text{N/m}^2$  durumu için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması

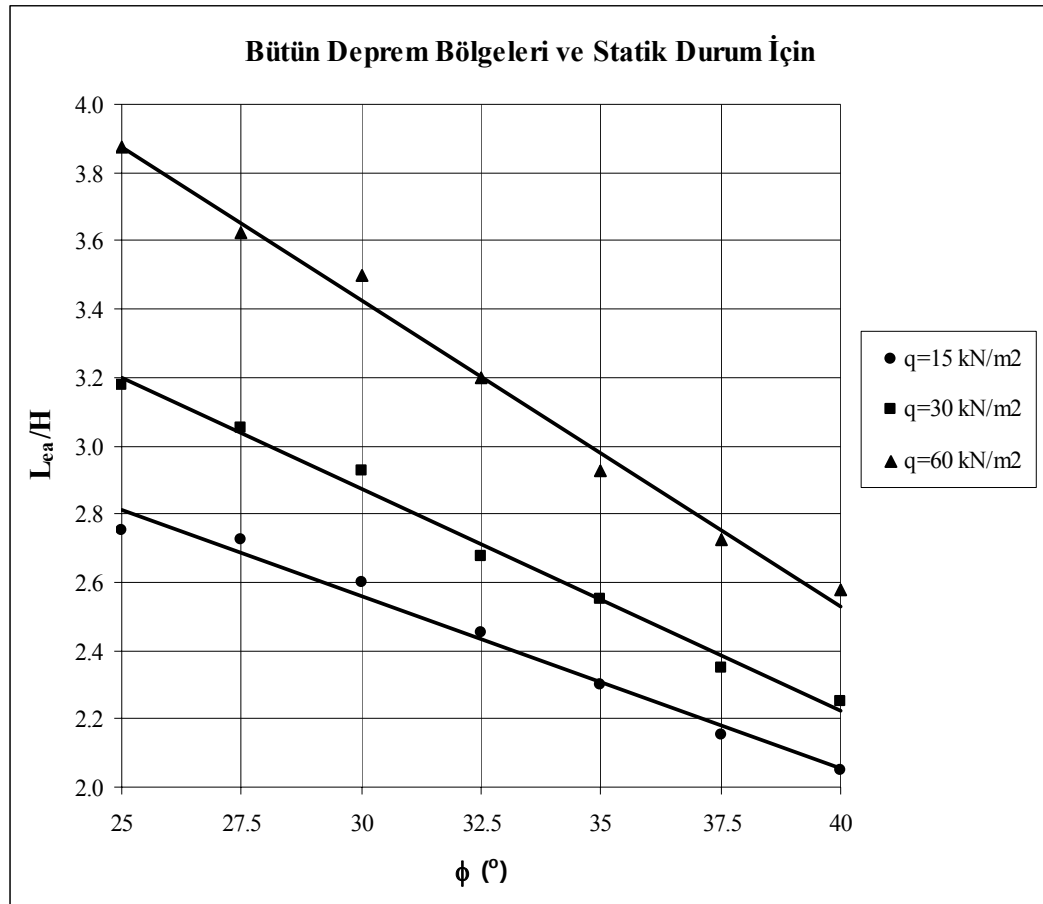
Şev açısının Tablo 4.2'ye göre belirlenmesi halinde aynı inceleme yapıldığında  $L_e/H$  değerlerinde deprem bölgeleri arasında çok büyük farkların olmadığı görülmüştür. Herhangi bir deprem bölgesi için veya statik durumda seçilen şev açıları

uygulanabilecek en yüksek açı olması halinde  $L_e/H$  değerleri büyük ölçüde birbirine yaklaşmaktadırlar. Farklı deprem bölgelerinde çıkan  $L_e/H$  değerlerinin ortalaması alındığında geriye  $L_e/H$  değerini etkileyen faktörler arasında sadece yayılı yük şiddeti ve istinat duvarı yüksekliği kalmaktadır. Şekil 5.11’de 4m yüksekliğindeki istinat duvarının 15, 30 ve 60kN/m<sup>2</sup>’lik yayılı yükleri için çizilen grafiği bulunmaktadır. Diğer duvar yükseklikleri için yayılı yükün etkisini kaybettiği nokta,  $L_e$ ’nin bulunması için bağıntılar verilmiştir. Bağıntılarda, tablodan okunan  $L_{ea}/H$  değeri ve istinat duvarının yüksekliği yerine koyulursa  $L_e$  değeri yaklaşık olarak elde edilir. Bu bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$q=15 \text{ kN/m}^2 \text{ için} \quad L_e=L_{ea}*(1- (H-4)/49) \quad (5.3)$$

$$q=30 \text{ kN/m}^2 \text{ için} \quad L_e=L_{ea}*(1- (H-4)/35) \quad (5.4)$$

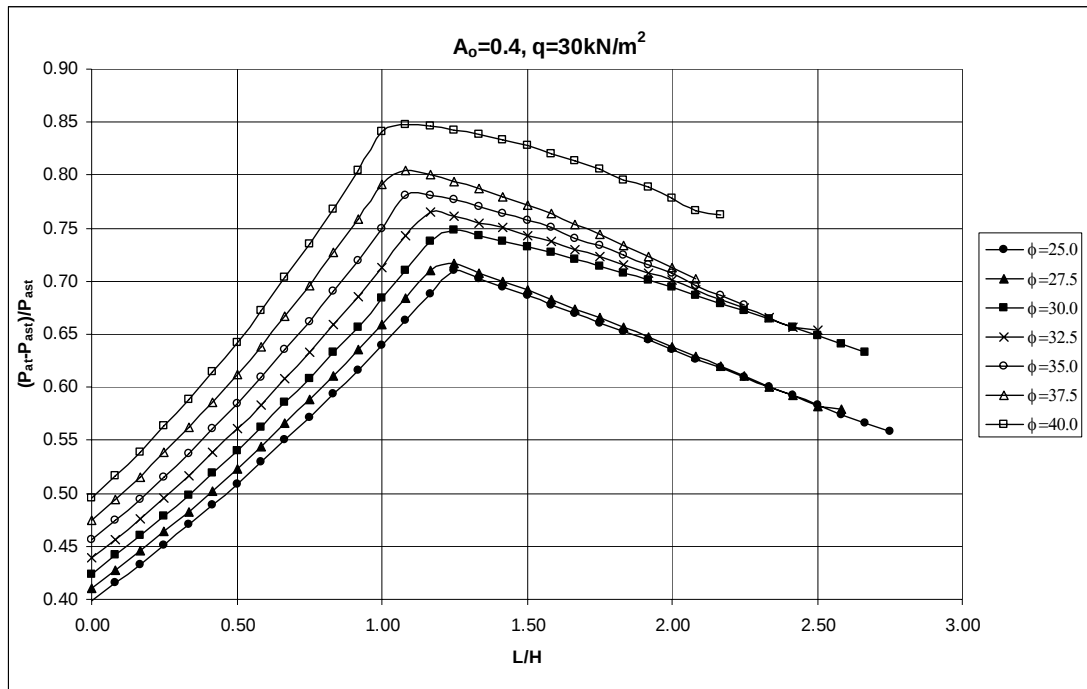
$$q=60 \text{ kN/m}^2 \text{ için} \quad L_e=L_{ea}*(1- (H-4)/25) \quad (5.5)$$



**Şekil 5.11 :**  $i \leq (\phi - \theta) / 1.1$  için yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafenin ( $L_e$ ) yaklaşık olarak bulunması

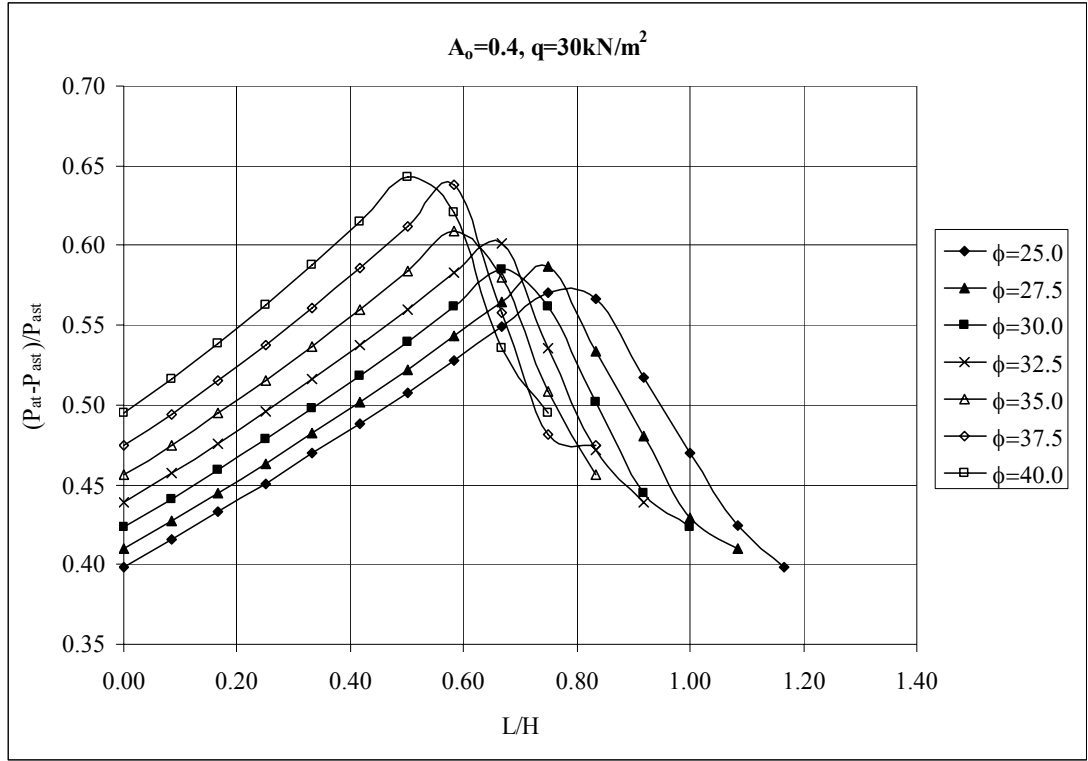
## 5.6 Dinamik ve Statik Toprak Basınçlarının Karşılaştırılması

Yayılı yükün istinat duvarına uzaklığı değiştikçe, duvar üzerinde depremten dolayı oluşan ek kuvvetlerin, statik kuvvetlere oranı değişmektedir. İlk başta yayılı yük uzaklaştıkça artan oran tepe noktası yaptıktan sonra tekrar düşmektedir. Bu nedenle,  $(P_{at}-P_{ast})/P_{ast}$  ile  $L/H$ 'ın değişimini gösteren grafikler çizilerek arada ilişki gösterilmiştir. Burada  $P_{ast}$  statik durumda oluşan toplam itki olmak üzere  $P_{at}-P_{ast}$  depremli durumda oluşan ek kuvvetleri ifade etmektedir. İncelenen duvar yükseklikleri arasından  $H=6m$ 'nin ortalama bir değer verdiği görülmüştür. Genel değişimi özetleyebilmesi açısından  $6m$  yüksekliğindeki istinat duvarı temel alınarak  $(P_{at}-P_{ast})/P_{ast}$  ile  $L/H$ 'ın değişimi çizilmiştir. Dolgu üstünde  $30 \text{ kN/m}^2$ 'lik yayılı yükü olan ve birinci derece deprem bölgesinde bulunan bir istinat duvarında şev açısı olması halinde ve  $i=0^\circ$  durumları için sırasıyla Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 verilmiştir. Diğer durumlar için çizilen grafikler eklerde verilmiştir.



Şekil 5.12 : Birinci derece deprem bölgesinde,  $q=30 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta) / 1.1$  için

$(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



**Şekil 5.13 :** Birinci derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=30 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki

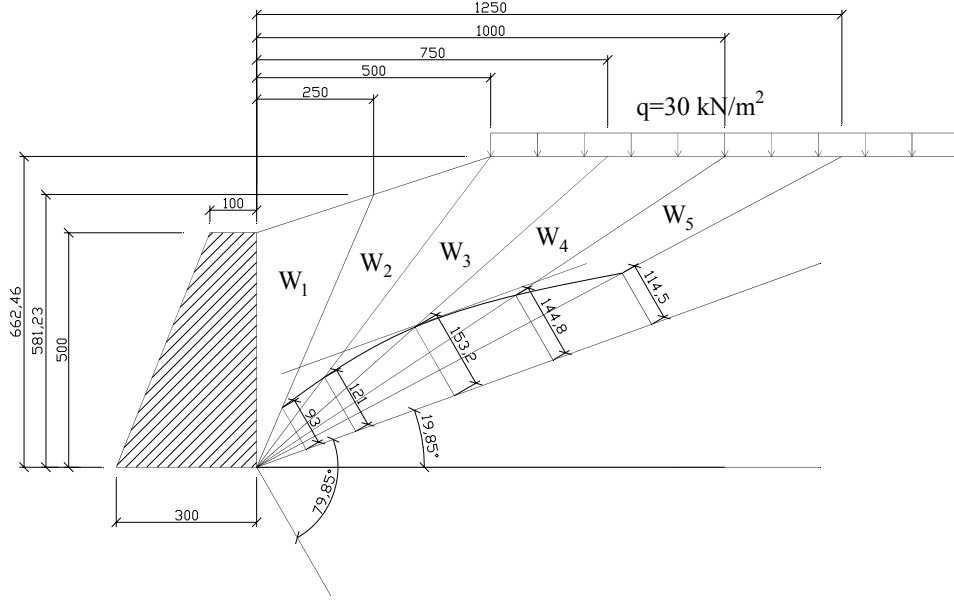
Yukarıdaki şekillerde depremli durumda oluşan ek kuvvetlerin statik kuvvetlere oranının en büyük olduğu  $L/H$  değerler, yayılı yükün statik durumda etkisinin kalmadığı mesafelere denk gelmektedir. Statik durumda oluşan kritik kayma kamaları dinamik duruma göre düşeyde daha dar açılar yapmasından dolayı yayılı yük statik durumda etkisini dinamik duruma göre daha hızlı kaybetmektedir. Statik durumda yayılı yük etkisini kaybettikten sonra  $P_{ast}$  sabit bir değer alır. Ancak  $P_{at}$ , depremli durumda yayılı yük etkisini kaybedene kadar azalmaya devam eder. Bu nedenle,  $(P_{at}-P_{ast})/P_{ast}$  oranı tekrar azalmaya başlar. Şev açısının sıfır olduğu yayılı yükün  $L=0$  ve  $L=L_e$  mesafelerinde bulunması durumlarında  $(P_{at}-P_{ast})/P_{ast}$  oranları aynıdır. Bunun nedeni yayılı yükün en baştan itibaren başlaması ile etkisinin kalmadığı uzaklıkta bulunduğu bu iki durum da tamamen üniform bir yüklemeyi ifade etmektedir.

## 5.7 Örnek Uygulama

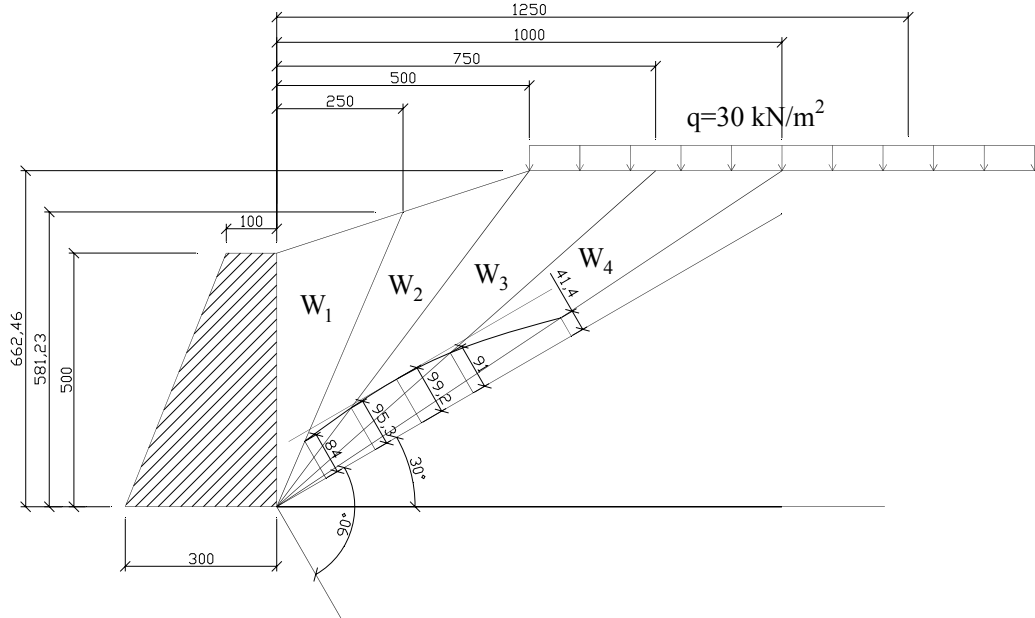
Bir önceki bölümde seçilen istinat duvarı modelinin analizinde kullanılan Geliştirilmiş Cullman yönteminin uygulanışını anlatmak ve bu yöntemle uyumlu



Daha sonra yukarı deprem hareketi için Geliştirilmiş Cullman yöntemi uygulanacaktır. Deprem yönetmeliği gereğince bulunan iki kuvvetten büyüğü depremli durumda istinat duvarına etkiyen toplam itki olacaktır.



**Şekil 5.15 :** Yukarı deprem hareketi için Geliştirilmiş Cullman yönteminin uygulaması



**Şekil 5.16 :** Statik durum için Geliştirilmiş Cullman yönteminin uygulaması

Statik durumda oluşan kuvvetler ile dinamik durumda oluşan kuvvetlerin etkiye noktaları ABYYHY'ye göre birbirinden farklı olduğundan statik durumda oluşan toprak itkilerinin belirlenmesi için yöntemin uygulanması Şekil 5.16'da verilmiştir. Dinamik ve statik durumda yapılan hesaplamalarda çizilen deneme kamaları için bulunan toprak itkileri aşağıda verilmektedir. Burada  $\alpha_i$  açısı deneme kamasının yatay düzlem ile yaptığı açıyı ifade etmektedir.

1. deneme kaması için hesaplanan ağırlıklar ve toprak itkileri,

$$W_1 = 5 \cdot 2.5 / 2 \cdot 18 = 112.5 \text{ kN}$$

$$W_{t1} = W_1$$

$$W_{t1} = 112.5 \text{ kN}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1}(5.81/2.5) = 66.73^\circ$$

$$\text{Yukarı deprem hareketi için, } P_{adt} = 93.0 \text{ kN}$$

$$\text{Aşağı deprem hareketi için, } P_{adt} = 110.9 \text{ kN}$$

$$\text{Statik durum için, } P_{ast} = 83.9 \text{ kN}$$

2. deneme kaması için hesaplanan ağırlıklar ve toprak itkileri,

$$W_1 + W_2 = 5 \cdot 5 / 2 \cdot 18 = 225 \text{ kN}$$

$$W_{t2} = W_1 + W_2$$

$$W_{t2} = 225 \text{ kN}$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1}(6.63/5) = 52.96^\circ$$

$$\text{Yukarı deprem hareketi için, } P_{adt} = 121.0 \text{ kN}$$

$$\text{Aşağı deprem hareketi için, } P_{adt} = 141.5 \text{ kN}$$

$$\text{Statik durum için, } P_{ast} = 95.3 \text{ kN}$$

3. deneme kaması için hesaplanan ağırlıklar ve toprak itkileri,

$$W_3=2.5*6.63/2*18=149.1 \text{ kN}$$

$$Q_1=2.5*30=75 \text{ kN}$$

$$W_{t3}= W_1+W_2+W_3+ Q_1$$

$$W_{t3}=449.1 \text{ kN}$$

$$\alpha_3=\tan^{-1}(6.63/7.5)=41.46^\circ$$

$$\text{Yukarı deprem hareketi için, } P_{adt}=153.2 \text{ kN}$$

$$\text{Aşağı deprem hareketi için, } P_{adt}=172.6 \text{ kN}$$

$$\text{Statik durum için, } P_{ast}=91 \text{ kN}$$

4. deneme kaması için hesaplanan ağırlıklar ve toprak itkileri,

$$W_4=2.5*6.63/2*18=149.1 \text{ kN}$$

$$Q_2=2.5*30=75 \text{ kN}$$

$$W_{t4}= W_1+W_2+W_3+W_4+Q_1+Q_2$$

$$W_{t4}=673.1 \text{ kN}$$

$$\alpha_4=\tan^{-1}(6.63/10)=33.52^\circ$$

$$\text{Yukarı deprem hareketi için, } P_{adt}=144.8 \text{ kN}$$

$$\text{Aşağı deprem hareketi için, } P_{adt}=153.6 \text{ kN}$$

$$\text{Statik durum için, } P_{ast}=41.4 \text{ kN}$$

5. deneme kaması için hesaplanan ağırlıklar ve toprak itkileri,

$$W_5=2.5*6.63/2*18=149.1 \text{ kN}$$

$$Q_3=2.5*30=75 \text{ kN}$$

$$W_{t5} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$W_{t5} = 897.2 \text{ kN}$$

$$\alpha_5 = \tan^{-1}(6.625/12.5) = 27.92^\circ$$

Yukarı deprem hareketi için,  $P_{adt} = 114.5 \text{ kN}$

Aşağı deprem hareketi için,  $P_{adt} = 107.6 \text{ kN}$

Dinamik durum için aşağı deprem hareketi en büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Tablodan okunan değerler parantez içinde verilmiştir.

Grafiklerden okunan en büyük kuvvetler ve oluştukları durum için  $\alpha$  açıları:

$$P_{adt} = 172.8 \text{ kN (172.5 kN)}, \alpha = 40.65^\circ$$

$P_{ast} = 99.2 \text{ kN (101.2)}$ ,  $\alpha = 46.68^\circ$  bu kama açısında topraktan dolayı oluşan statik itkiyi bulmak için,

$$W_t = 299.3 \text{ kN} \rightarrow P_{as} = 89.7 \text{ kN}$$

$$Q_{as} = P_{ast} - P_{as} = 99.2 - 89.7 = 9.5 \text{ kN}$$

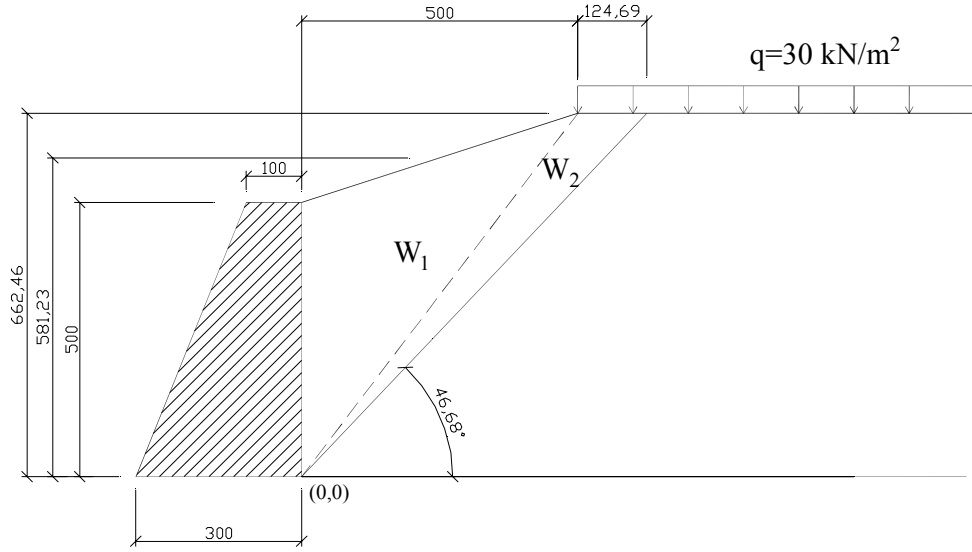
$\alpha = 40.65^\circ$  için sadece topraktan oluşan toplam itki bulunursa;

$$W_t = 387 \text{ kN} \rightarrow P_t = 142.5 \text{ kN}$$

$$P_{ad} = P_t - P_{as} = 142.5 - 89.7 = 52.8 \text{ kN}$$

$$Q_{ad} = P_{adt} - P_{ad} - P_{as} - Q_{as} = 172.8 - 52.8 - 89.7 - 9.5 = 20.8 \text{ kN}$$

Statik durumda moment kolunun bulunması için daha önceki bölümde anlatılan yöntemden faydalanılmıştır. Bunun için, kritik kayma kaması için ağırlık merkezi hesaplanmıştır. Kayma düzlemine paralel çizilen bir doğru kamanın ağırlık merkezinden geçirilir. Bu doğrunun istinat duvarını kestiği nokta statik durumda bileşke kuvvetin etkiye noktasını vermektedir.



**Şekil 5.17 :** Statik durumda bileşke kuvvetin etkiye noktasının bulunması

Önce sistemin ağırlık merkezinin hesaplanması gerekmektedir. Kama iki üçgene ayrılır. Üçgenlerin ağırlık merkezlerinin x ve y koordinatları,

$$x_{g1} = (0+0+5)/3 = 1.67 \text{ m}$$

$$y_{g1} = (0+5+6.63)/3 = 3.88 \text{ m}$$

$$x_{g2} = (0+5+6.25)/3 = 3.75 \text{ m}$$

$$y_{g2} = (0+6.63+6.63)/3 = 4.42 \text{ m}$$

şeklinde bulunur. Yayılı yükün ağırlık merkezi ise,

$$x_q = 5 + 1.25/2 = 5.63 \text{ m}$$

$$y_q = 6.63 \text{ m}$$

olarak hesaplanır. Kamaların ve yayılı yükün ağırlıkları sırası ile,

$$W_1 = 225 \text{ kN}$$

$$W_2 = 74.3 \text{ kN}$$

$$Q = 37.5 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır. Genel ağırlık merkezi ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$x_0=(225*1.67+74.3*3.75+37.5*5.63)/(225+74.3+37.5)=2.57\text{m}$$

$$y_0=(225*3.88+74.3*4.42+37.5*6.63)/(225+74.3+37.5)=4.31\text{m}$$

Daha önceki bölümde verildiği gibi etkime noktası (h) aşağıdaki iki denklem ile hesaplanır.

$$y' = \frac{x_0 + \tan \beta (y_0 - H)}{\tan \beta + \tan \theta_1}$$

$$\text{Etkime noktası, } h = y_0 - y'$$

$$\theta_1 = 90 - \alpha = 90 - 46.68 = 43.32^\circ$$

$$y' = 2.73\text{m}$$

$$h = 4.31 - 2.73 = 1.58\text{m}$$

Dinamik kuvvetler için moment kolları,

$$P_{ad} \text{ için } H/2 = 2.5\text{m}$$

$$Q_{ad} \text{ için } 2H/3 = 3.33\text{m}$$

olarak bulunursa buna göre devirici momentler,

$$M_{sta} = P_{ast} * 1.58$$

$$M_{sta} = 99.2 * 1.58 = 156.7 \text{ kNm (159.7 kNm)}$$

$$M_{din} = P_{ad} * 2.5 + Q_{ad} * 3.33 + P_{ast} * 1.58$$

$$M_{din} = 52.8 * 2.5 + 20.8 * 3.33 + 99.2 * 1.58 = 357.7 \text{ kNm (354.7 kNm)}$$

olarak hesaplanır. Parantez içinde verilen değerler bilgisayar programı tarafından hesaplanmış ve ekte verilen tablolardan okunarak alınmıştır. Bulunan değerler birbirine çok yakındır.

Örnek teşkil etmesi açısından hesaplanan kuvvetlere göre istinat duvarında devrilme, kayma ve taban basıncı tahkikleri aşağıda verilmektedir. Duvarın dönem noktasına göre devrilme tahkiki yapılırsa,

Koruyucu moment,  $M_k=2*5/2*2*1.33*20+1*5*2.5*20=516$  kNm

olarak hesaplanır. Bu durumda güvenlik sayıları,

Depremli durum için,  $G_s=516/357.7=1.44 > 1.3$

Statik durum için,  $G_s=516/156.7=3.29 > 2$

olarak bulunur. Kayma tahkiki kaydırıcı kuvvetler,

Depremli durum için kaydırıcı kuvvet: 172.6 kN

Statik durum için kaydırıcı kuvvet: 99.2 kN

olarak daha önceden hesaplanmıştır. Koruyucu kuvvet ise,

$P_k= 3+1)/2*5*20*\tan 30=115.5$  kN

olarak hesaplanır. Bu durumda güvenlik sayıları,

Depremli durum için  $G_s=115.5/172.6=0.67 < 1.1$

Statik durum için  $G_s=115.5/99.2=1.17 < 1.5$

olarak bulunur. Taban basınçları depremli durum için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$q_{1,2} = N/A \pm M/W$$

$$W = b^2/6=9/6=1.5$$

$$q_{1,2} = 250/(3*1) \pm [357.7+(1.67-1.5)*2*5/2*20-(0.5+0.5)*1*5*20]/1.5$$

$$q_{1,2} = 83.3 \pm 182.4$$

$$q_1 = 265.7 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2 = -99.1 \text{ kN/m}^2$$

Statik durum için ise taban basınçları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$q_{1,2} = N/A \pm M/W$$

$$W = b^2/6=9/6=1.5$$

$$q_{1,2} = 250/(3*1) \pm [156.7+(1.67-1.5)*2*5/2*20-(0.5+0.5)*1*5*20]/1.5$$

$$q_{1,2} = 83.3 \pm 49.1$$

$$q_1 = 132.4 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2 = 34.2 \text{ kN/m}^2$$

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yayılı yük etkisindeki istinat duvarlarına etkiyen dinamik toprak basınçları incelenmiştir. Bu amaçla, mevcut yöntem ve yönetmeliklerden bazıları irdelenmiş ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Mevcut yöntem ve yönetmeliklerin doğrudan çözülmesinde zorluklar olan bir yükleme durumu ve şev geometrisine sahip bir istinat duvarı modeli üzerinde analizler yapılmıştır. Hesaplamalarda Geliştirilmiş Cullman yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde ABYYHY’de yapılan benzer kabuller yapılarak analizlerin ABYYHY ile uyumlu hale gelmesi sağlanmıştır. Grafik yöntem olan Geliştirilmiş Cullman matematiksel olarak ifade edilmiş ve toprak itkileri Excel’de Visual Basic kodları ile yazılan bir bilgisayar programı yardımı ile iterasyonla hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde yayılı yük uzaklığına bağlı olarak diğer değişkenlerin etkileri incelenmiştir. Bu değişkenler, duvar yüksekliği (H), kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ), yayılı yük (q), yayılı yük uzaklığı (L) ve şev açısı (i)’dir. Analizler sırasında ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Her türlü yükleme durumuna sahip istinat duvarının çözümünde kullanılabilen Geliştirilmiş Cullman grafik yönteminin matematiksel ifadesi çıkartılmıştır.
- Geliştirilmiş Cullman yöntemi uygulanırken ABYYHY’deki hesaplama aşamaları ve kabuller dikkate alınarak analizlerin ABYYHY ile uyumlu olması sağlanmıştır.
- Matematiksel ifadesi çıkarılan yöntem Visual Basic kodlarıyla bilgisayar programına dönüştürülmüştür. Yayılı yük etkisindeki istinat duvarlarına etkiyen dinamik toprak itkilerini bulmak için geliştirilen bu bilgisayar programının bu tür problemlerin çözümünde yeterli olduğu görülmüştür.

- Yapılan hesaplamalar sonucunda her yük durumu, ilgili şev açısı için statik, dinamik aktif itkiler ve devirici momentler verilmiştir.
- Analiz sonuçları duvar yüksekliği, kayma mukavemeti açısı, yayılı yük şiddeti ve mesafesine bağlı olarak tablolaştırılmıştır. Bu tablolardan yükleme ve geometriye bağlı olarak dinamik ve statik durumdaki itkiler ve momentler yeterli yaklaşıklıkta tahmin edilebilmektedir. Böylece dinamik ve statik durumdaki itkilerin karşılaştırılması imkanı oluşmaktadır.
- Yayılı yükün etkisinin kalmadığı mesafe ( $L_e$ ), kayma mukavemeti açısı ile ters, duvar yüksekliği, yayılı yük ve şev açısı ile doğru orantılıdır.
- Bütün deprem bölgelerinde  $i=0^\circ$  iken 15, 30 ve 60 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yükler için etkin yayılı yük mesafesi ( $L_e$ ), 0.6H ile 1.5H arasında değerler almaktadır.
- Bütün deprem bölgelerinde şev açısı  $i \leq \phi - \theta$  şartını sağlayan  $i$  değerleri için, 15 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yükte  $L_e$ , 2H ile 2.8H arasında, 30 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yükte  $L_e$ , 2.2H ile 3.2H arasında, 60 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yükte  $L_e$ , 2.5H ile 3.9H arasında değerler almaktadır.
- $i>0$  durumlarında yayılı yük istinat duvarından uzaklaşmasına rağmen toplam toprak itkilerinde artış olabilmektedir. Toprak kütesinden kaynaklanan toprak itkilerinin toplam bileşke kuvvetteki oranının yüksek olması bu durumu ortaya çıkarmaktadır. Bu durumun oluşabilmesi şev açısı, kayma mukavemeti açısı, yayılı yük büyüklüğü, duvar yüksekliği ve deprem bölgesine bağlıdır. Şev açısı, duvar yüksekliği ve deprem bölgesi büyüdükçe böyle bir durum oluşması daha olasıdır. Kayma mukavemeti açısı ve yayılı yük büyüdükçe böyle bir durumla karşılaşma olasılığı azalmaktadır.
- $i=0$  ve  $q=15, 30$  kN/m<sup>2</sup> için dinamik durumda oluşan ek kuvvetlerin statik kuvvetlere oranı,  $L/H$ 'ın 0.5 ile 0.8 değerleri arasında en büyük olmaktadır.  $q=60$  kN/m<sup>2</sup> için ise dinamik durumda oluşan ek kuvvetlerin statik kuvvetlere oranı,  $L/H$ 'ın 0.5 ile 1.0 değerleri arasında en büyük olmaktadır.

- $i \leq \phi - \theta$  şartını 1.1 güvenlik sayısı ile sağlayan  $i$  değerlerinde, 15, 30 ve 60 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yükler için birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde dinamik durumda oluşan ek kuvvetlerin statik kuvvetlere oranı,  $L/H$ 'ın 1 ile 1.5 değerleri arasında en büyük olmaktadır. Üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde dinamik durumda oluşan ek kuvvetlerin statik kuvvetlere oranı,  $L/H$ 'ın 1.2 ile 2.5 değerleri arasında en büyük olmaktadır.

Çeşitli yükleme durumlarında istinat duvarına etkiyen aktif itki ve momentleri hesaplamak için geliştirilen bilgisayar programı bu çalışmada yapılan kabuller, yükleme koşulları ve değişkenler için geçerlidir. Bu çalışma kapsamında dikkate alınmayan yükleme koşulları ve değişkenler için yapılacak hesaplamalarda yazılımın gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

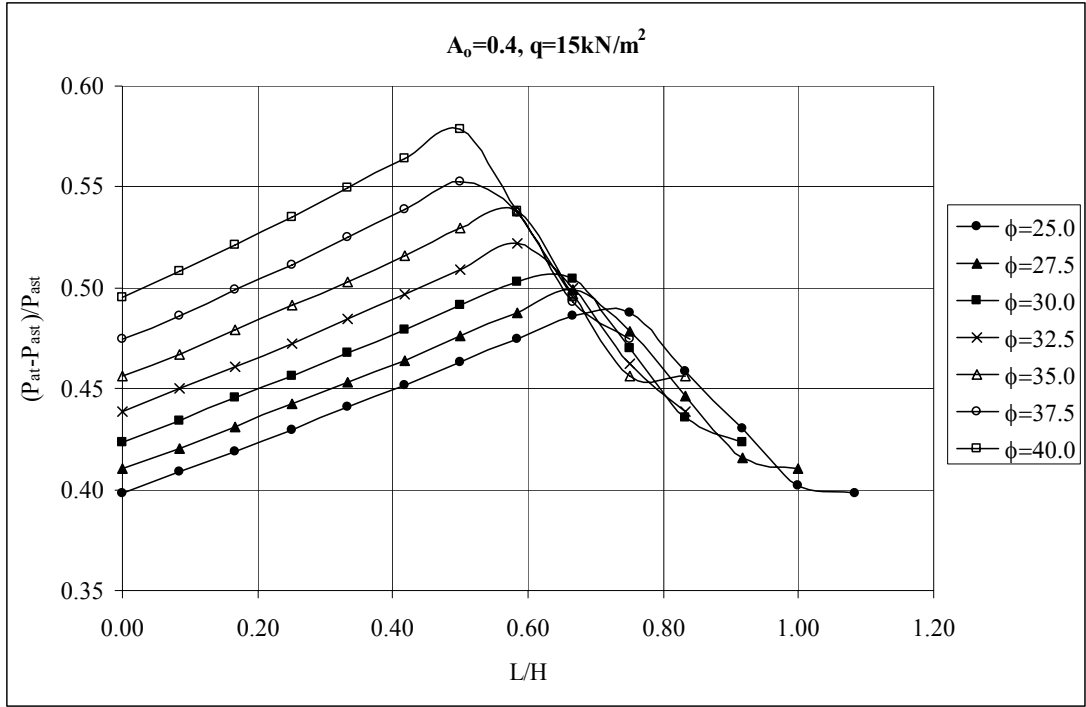
Yayılı yük uzaklığına göre dinamik itkilerin etkime noktalarının değişeceği bilinmektedir. Ancak bu çalışmada ABYYHY'deki etkime noktaları kabul edilmiş ve yayılı yükün mesafesi ile değişimi incelenmemiştir. Yapılacak ileriki çalışmalarda yayılı yükten dolayı oluşan dinamik itkinin etkime noktasının değişiminin incelenmesi tavsiye edilir.

Bu çalışmada yayılı yük etkisindeki bir istinat duvarına etkiyen aktif itkiler ve devirici momentlerin kolaylıkla ve yeterli doğrulukta tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Tasarım sırasında çok değişik duvar geometrisi olabileceğinden, duvar geometrisine bağlı tahkikler yapılmamıştır. Devrilme, kayma ve taban basıncı tahkikleri tasarımcıya bırakılmıştır.

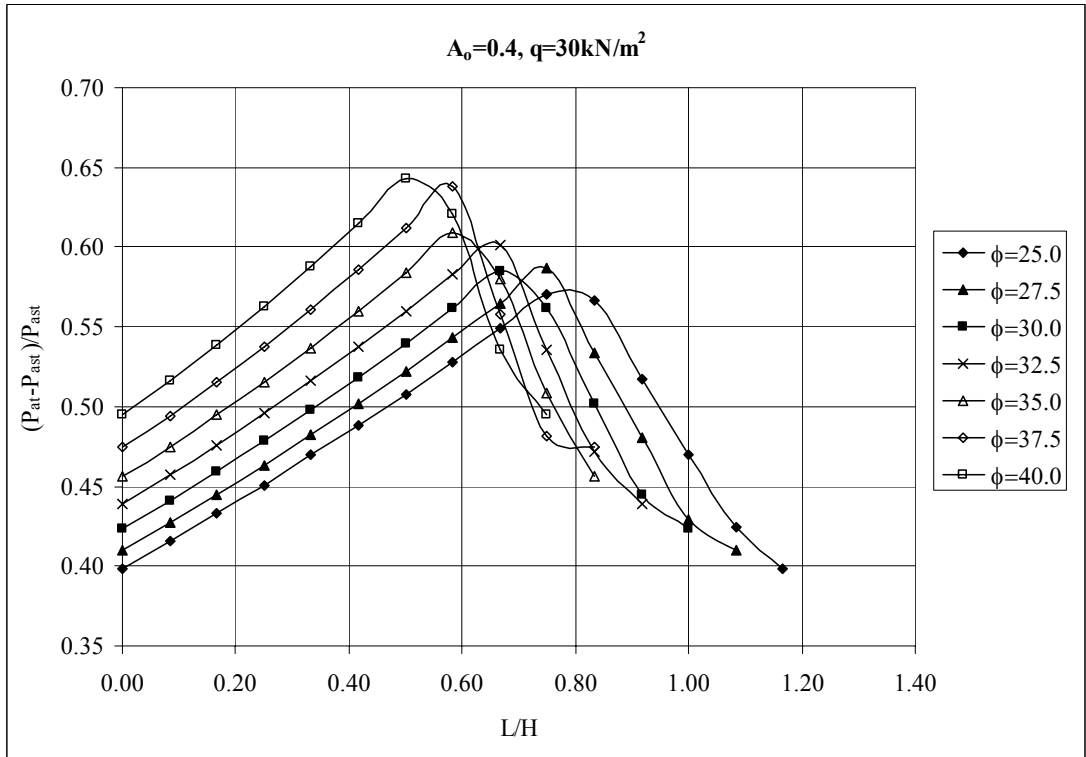
## KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1997. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.
- Bowles, J. E.**, 1996. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, New York.
- Coduto, D. P.**, 2001. Temel Tasarımı: İlkeler ve Uygulamalar, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Clayton, C. R. I., Milititsky, J., Woods, R. I.**, 1993. Earth Pressure and Earth Retaining Structures, Chapman & Hall, London
- Das, M. B.**, 1993. Principles of Soil Dynamics, PWS, Boston.
- Das, M. B.**, 1998. Principles of Geotechnical Engineering, PWS, Boston.
- Eurocode 8**, 2004. Design of Structures For Earthquake Resistance, European Committee For Standardization, Brussels.
- Huntington, W. C.**, 1957. Earth Pressures and Retaining Walls, John Wiley & Sons, New York.
- Kramer, S. L.**, 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- Retaining and Flood Walls**, 1994. American Society of Civil Engineers.
- Özden, K., Trupia, A., Eren İ., Öztürk, T.**, 1995. Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Saran, S.**, 1996. Analysis and design of substructures : limit state design, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Whitman, R.**, 1990. Seismic Design and Behaviour of Gravity Retaining Walls, *Design and Performance of Earth Retaining Structures*, ASCE, New York.
- Yıldırım, S.**, 2002. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Yıldırım, İ. Z.**, 2004. İstinat duvarlarının tasarımında deprem etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

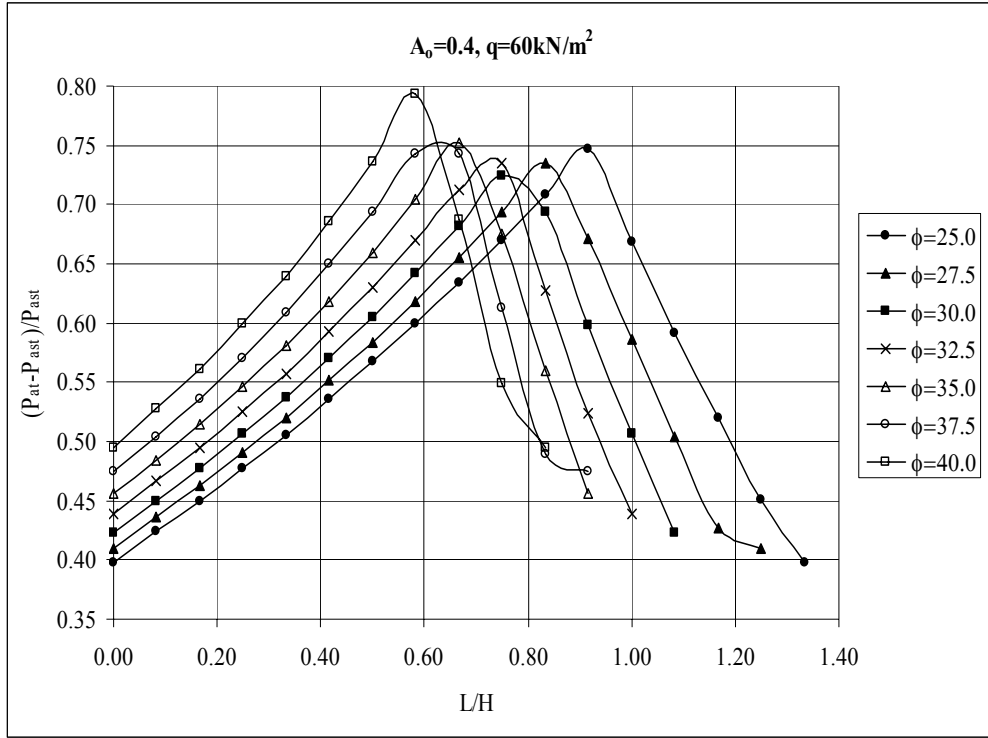
## **EK A:** Dinamik ve statik toprak basınçlarının karşılaştırılması



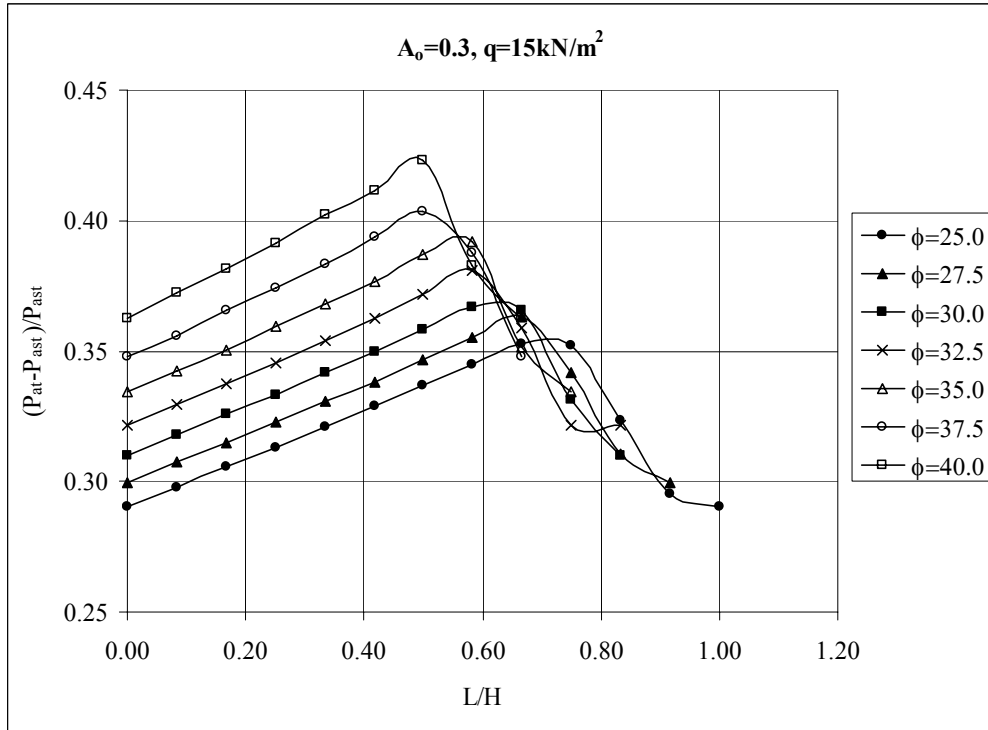
**Şekil A1** : Birinci derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=15 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



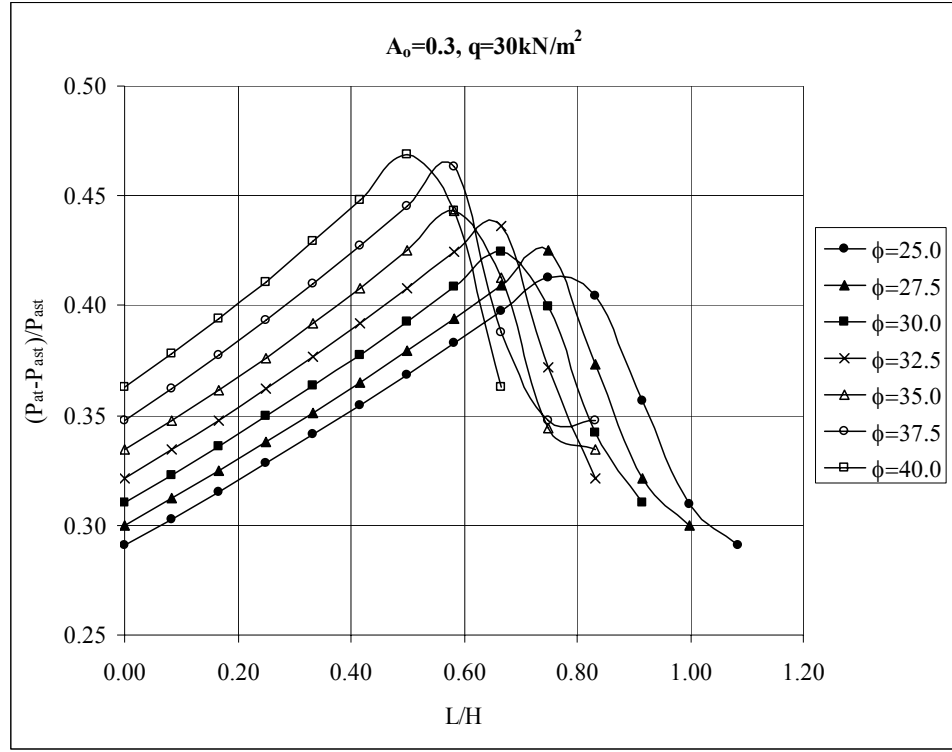
**Şekil A2** : Birinci derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=30 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



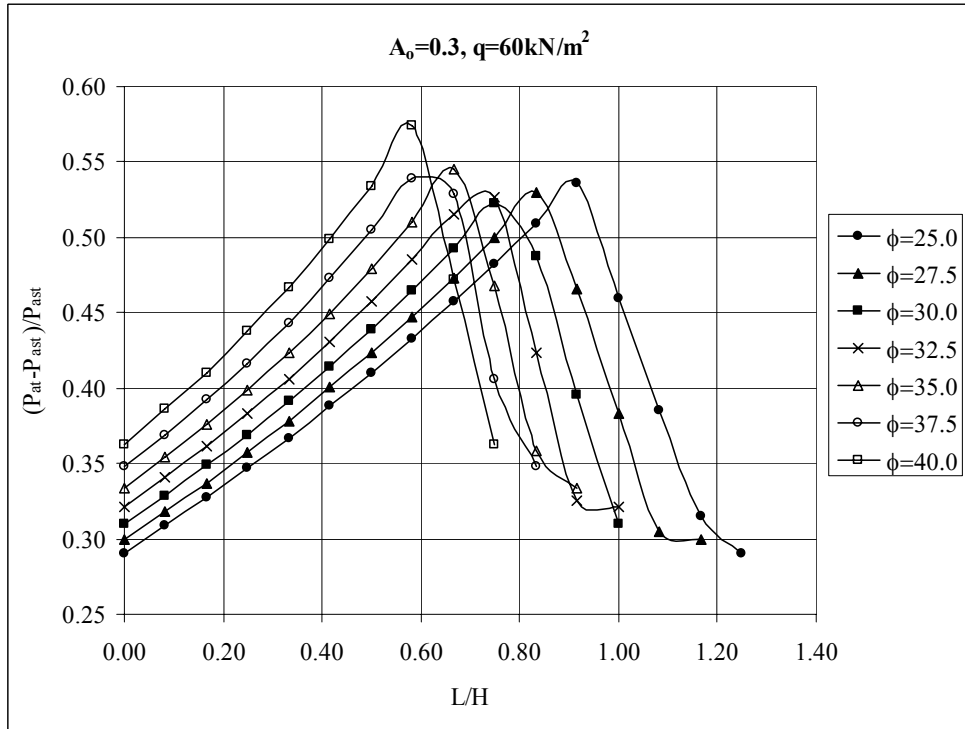
**Şekil A3 :** Birinci derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=60 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



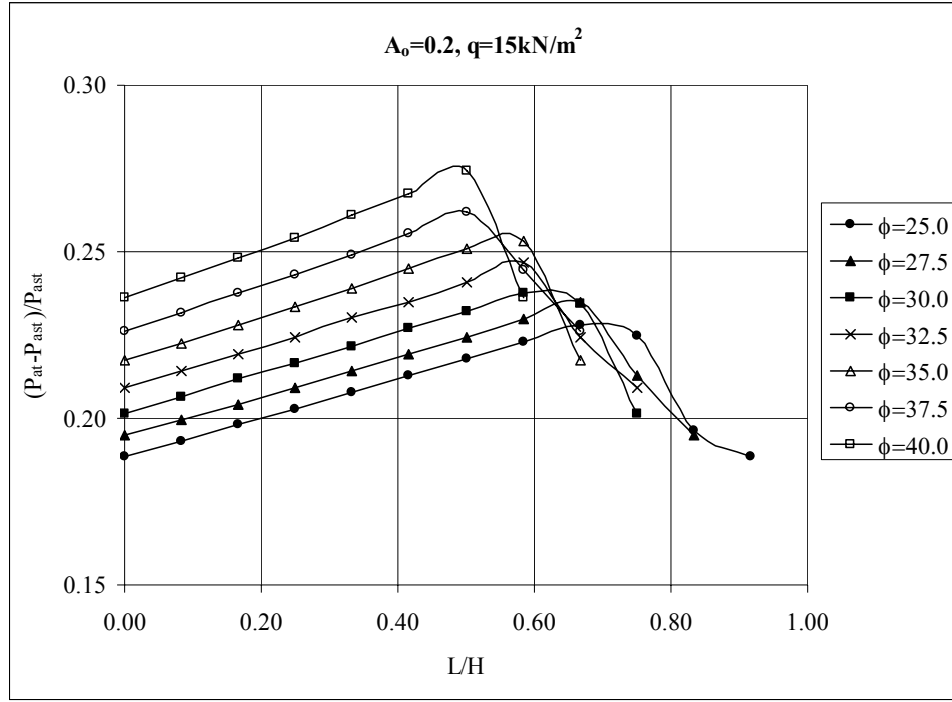
**Şekil A4 :** İkinci derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=15 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



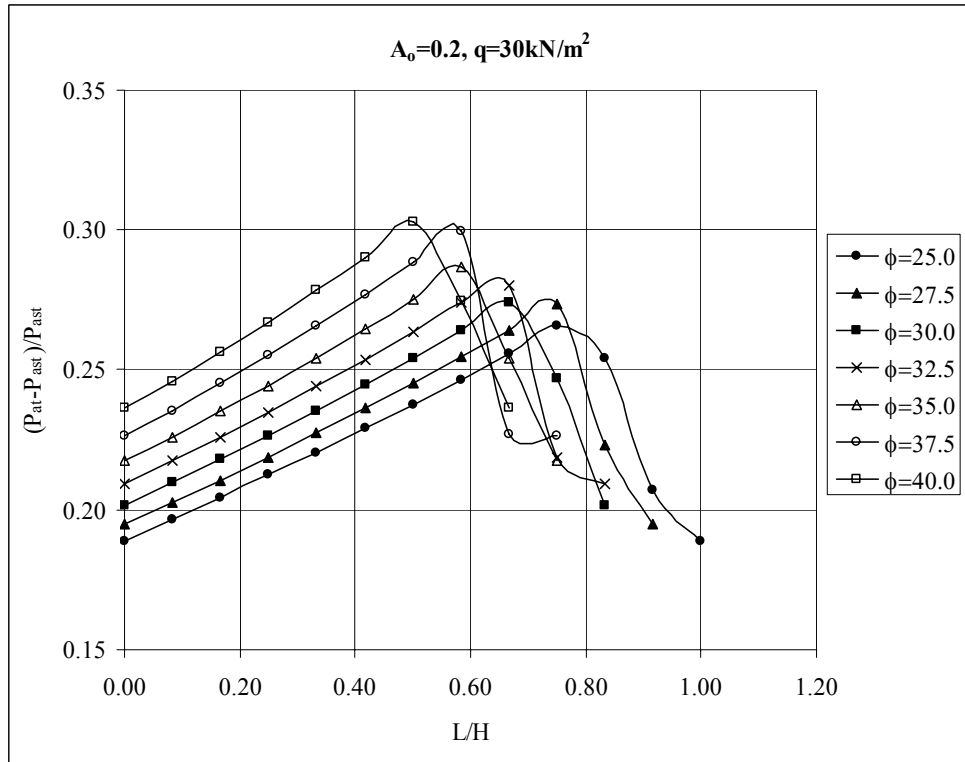
**Şekil A5 :** İkinci derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=30\text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



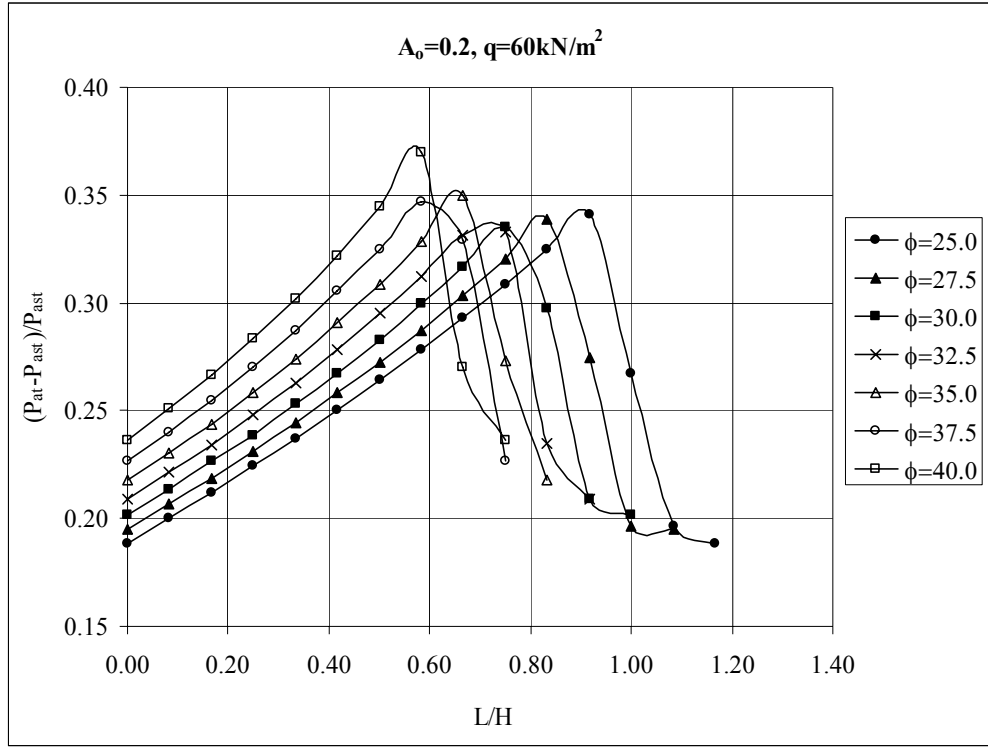
**Şekil A6 :** İkinci derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=60\text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



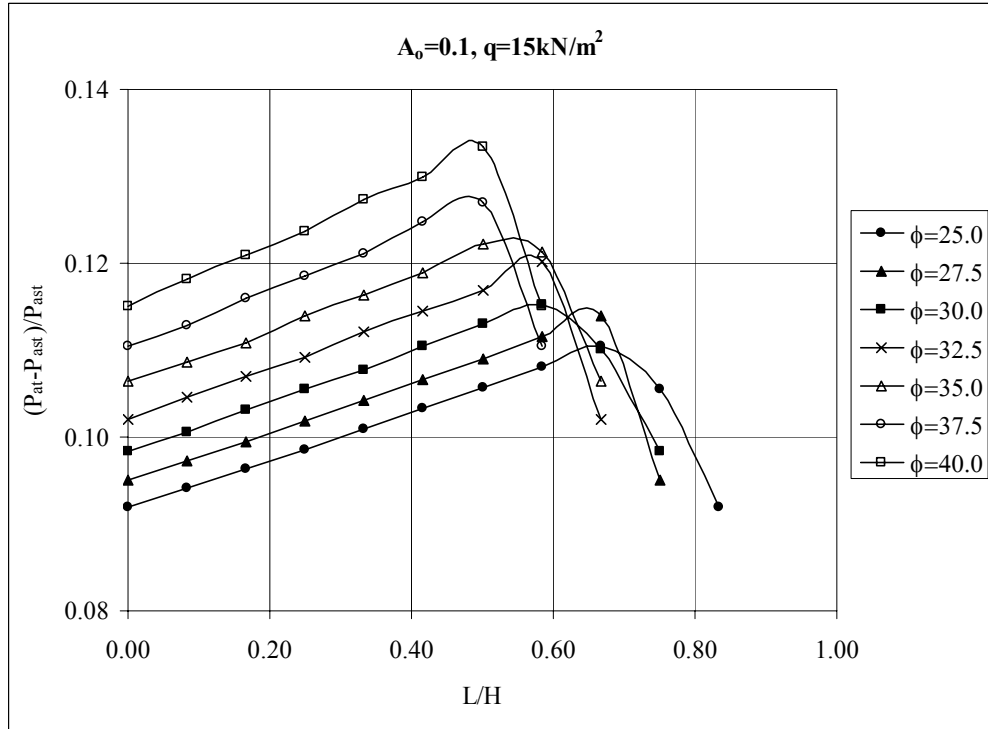
**Şekil A7 :** Üçüncü derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=15 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



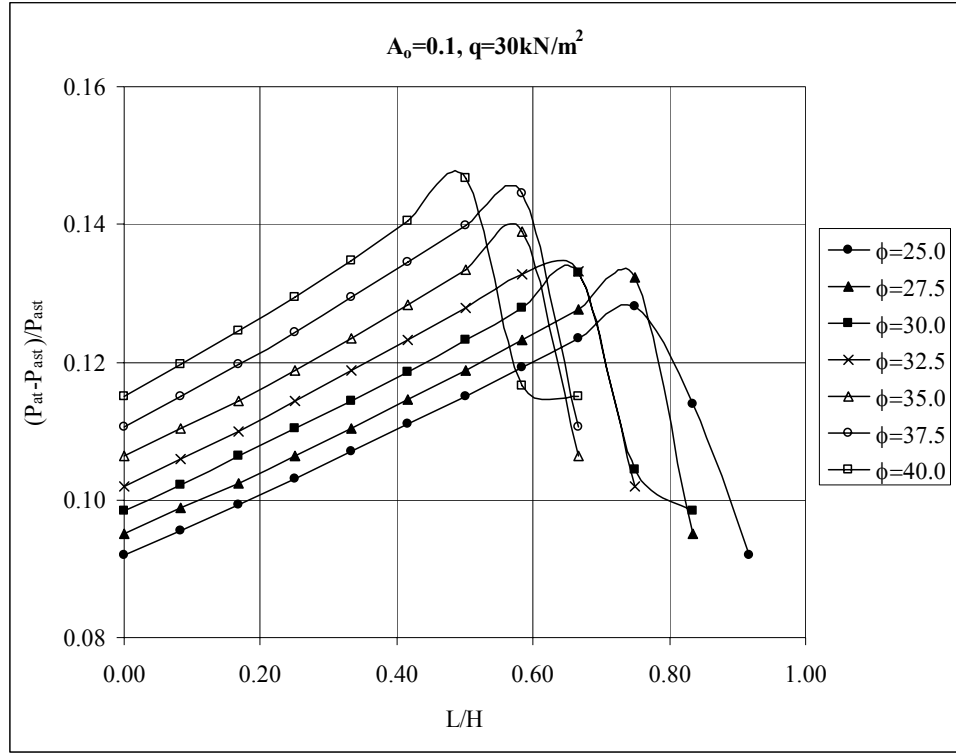
**Şekil A8 :** Üçüncü derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=30 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



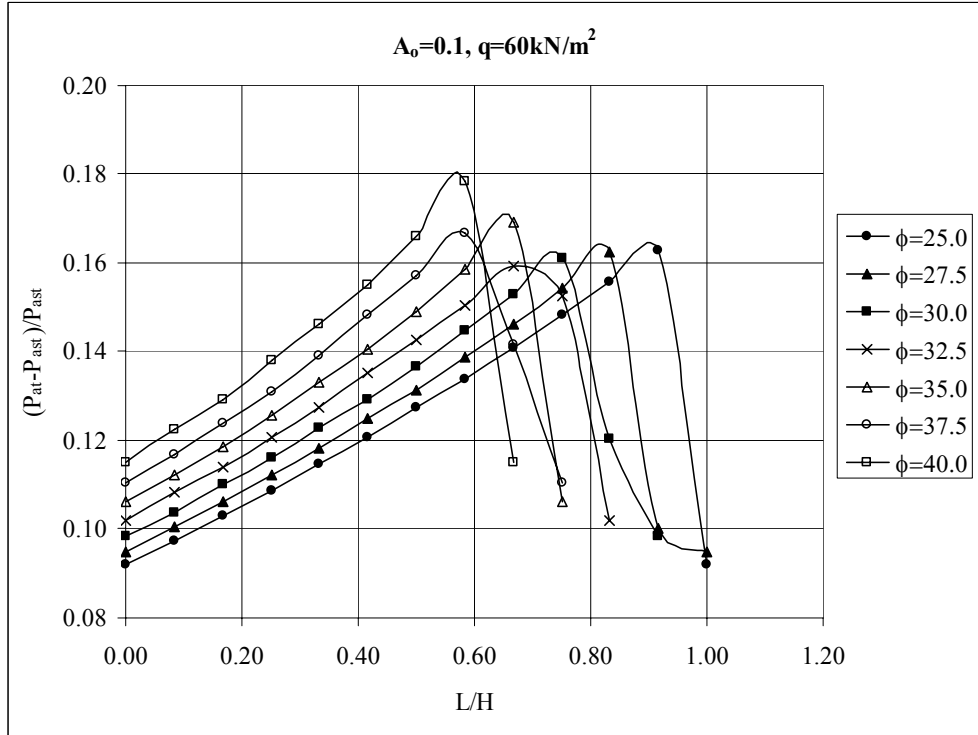
**Şekil A9 :** Üçüncü derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=60 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



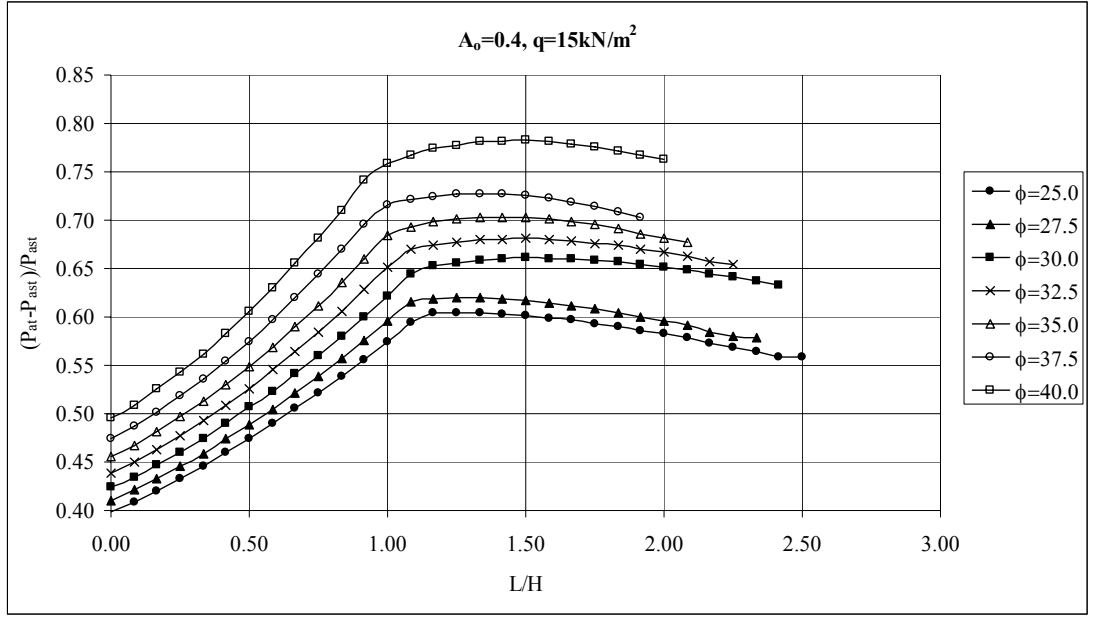
**Şekil A10 :** Dördüncü derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=15 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



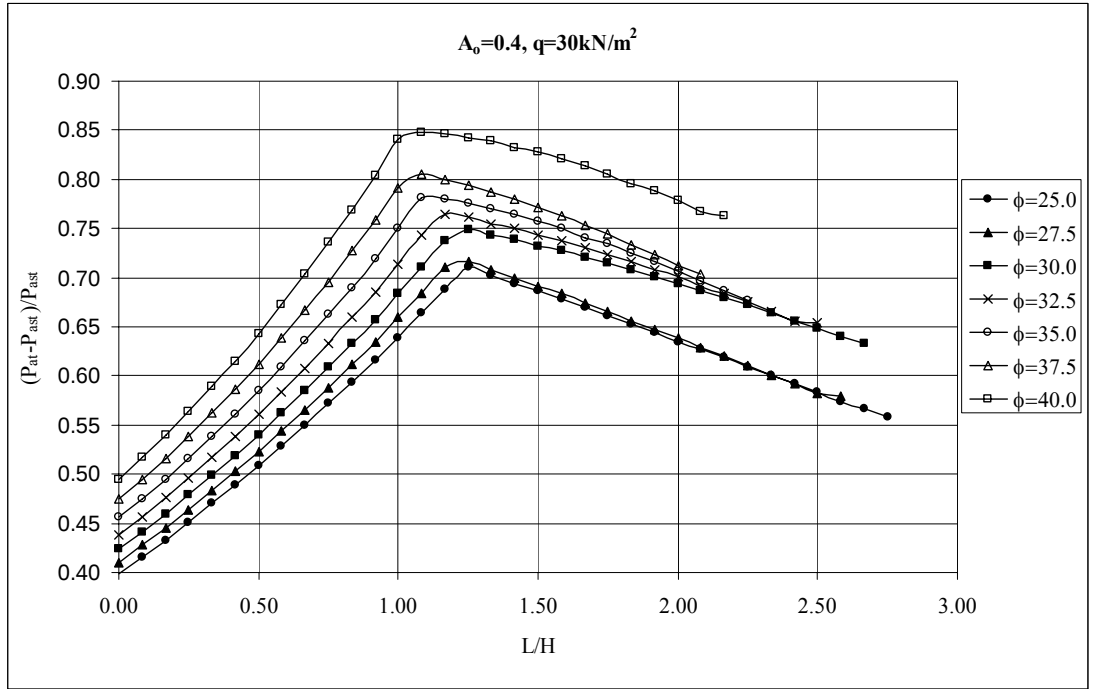
**Şekil A11 :** Dördüncü derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=30 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



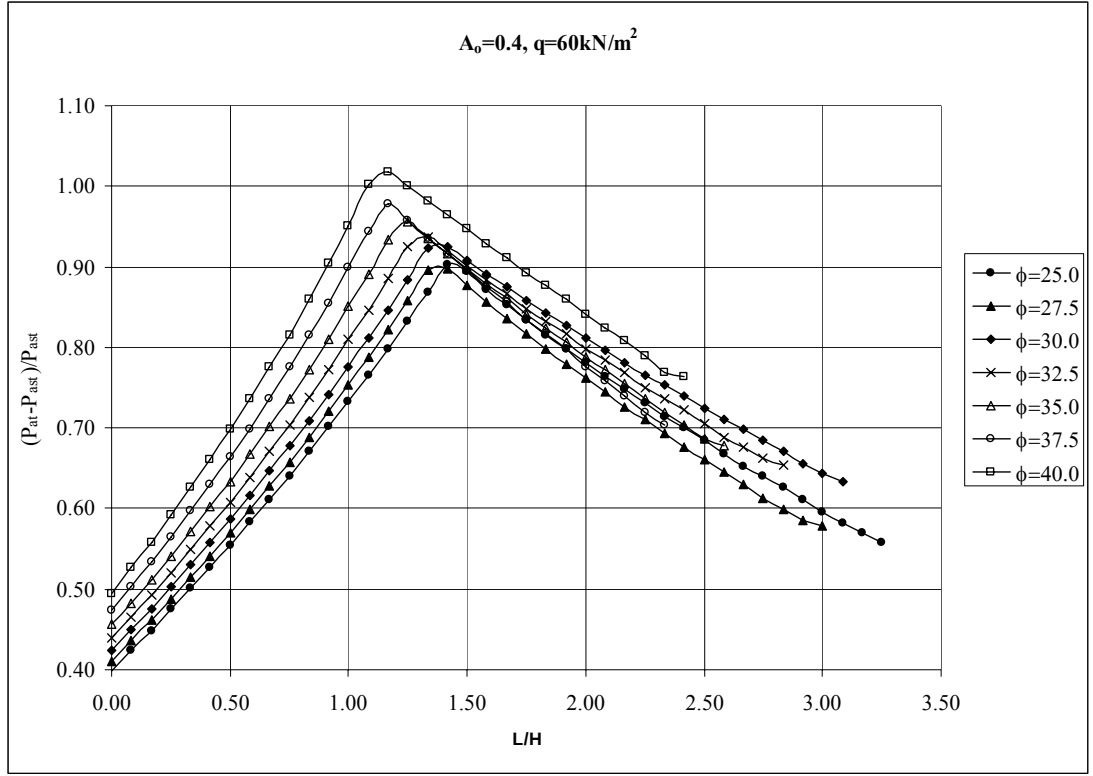
**Şekil A12 :** Dördüncü derece deprem bölgesinde,  $i=0^\circ$  ve  $q=60 \text{ kN/m}^2$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



**Şekil A13 :** Birinci derece deprem bölgesinde,  $q=15 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at} - P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki

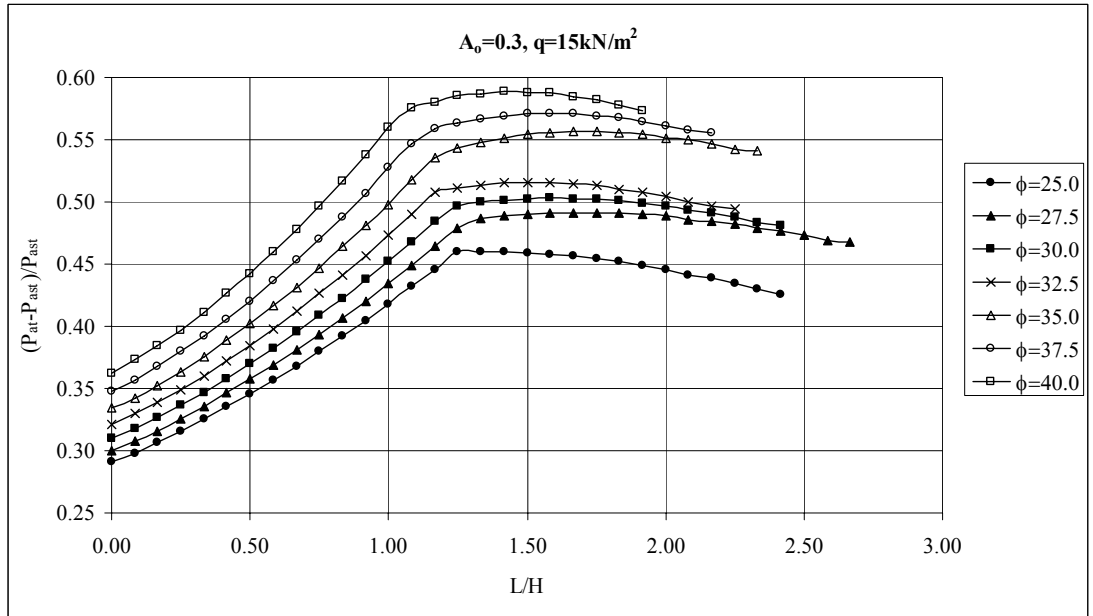


**Şekil A14 :** Birinci derece deprem bölgesinde,  $q=30 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at} - P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



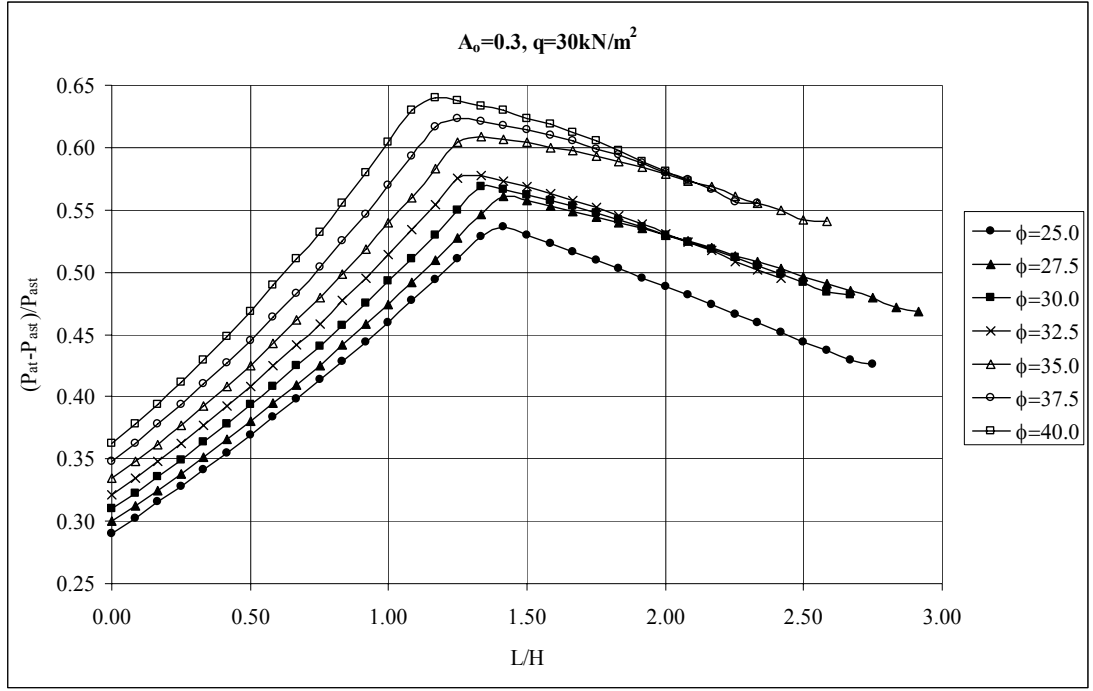
**Şekil A15 :** Birinci derece deprem bölgesinde,  $q=60 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için

$(P_{at} - P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki

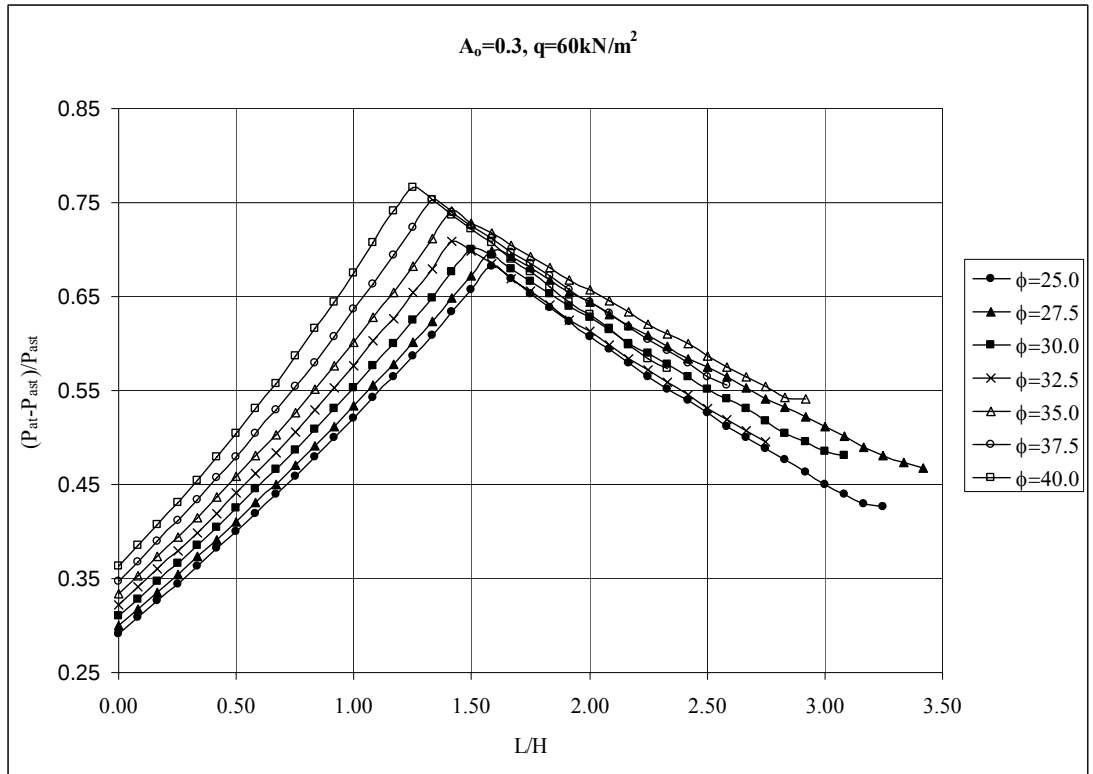


**Şekil A16 :** İkinci derece deprem bölgesinde,  $q=15 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için

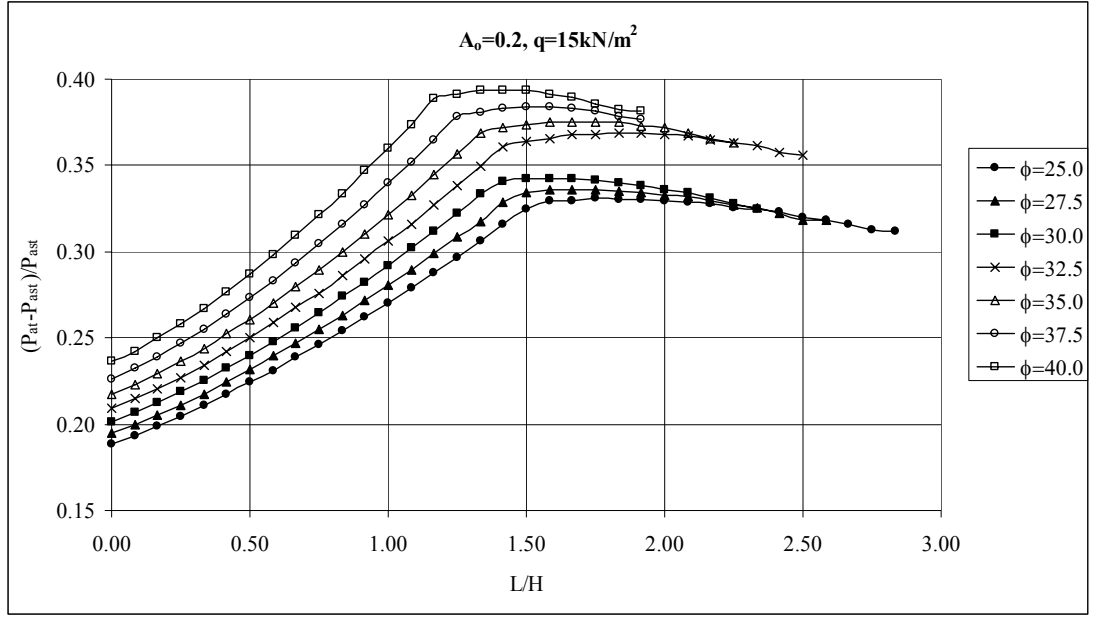
$(P_{at} - P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



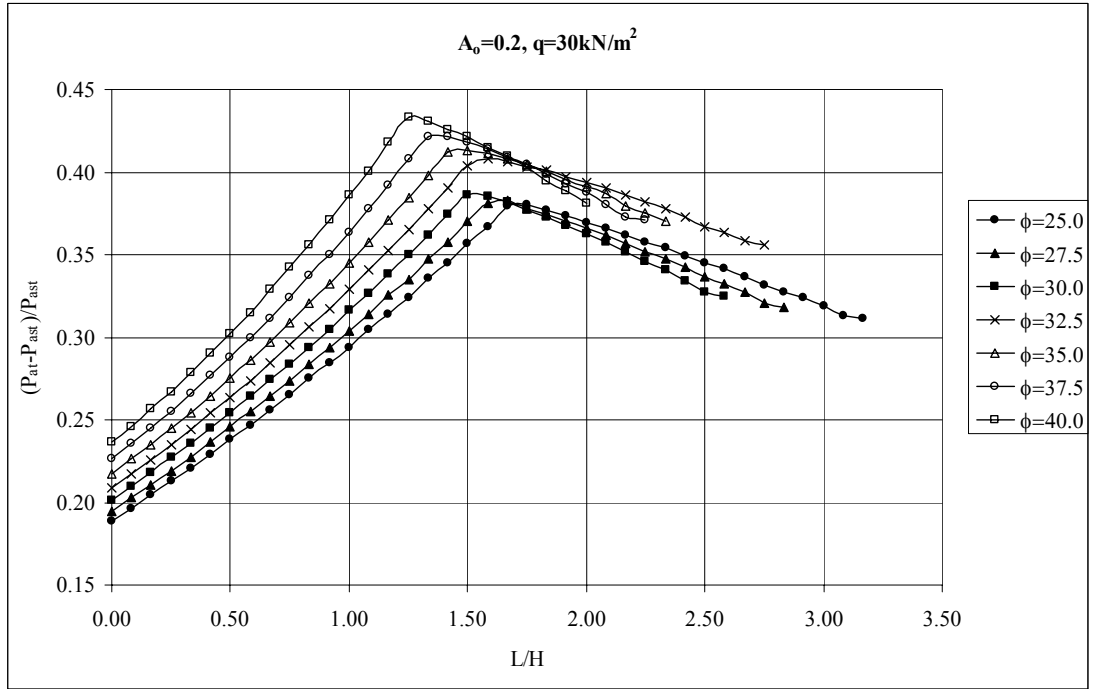
**Şekil A17 :** İkinci derece deprem bölgesinde,  $q=30 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



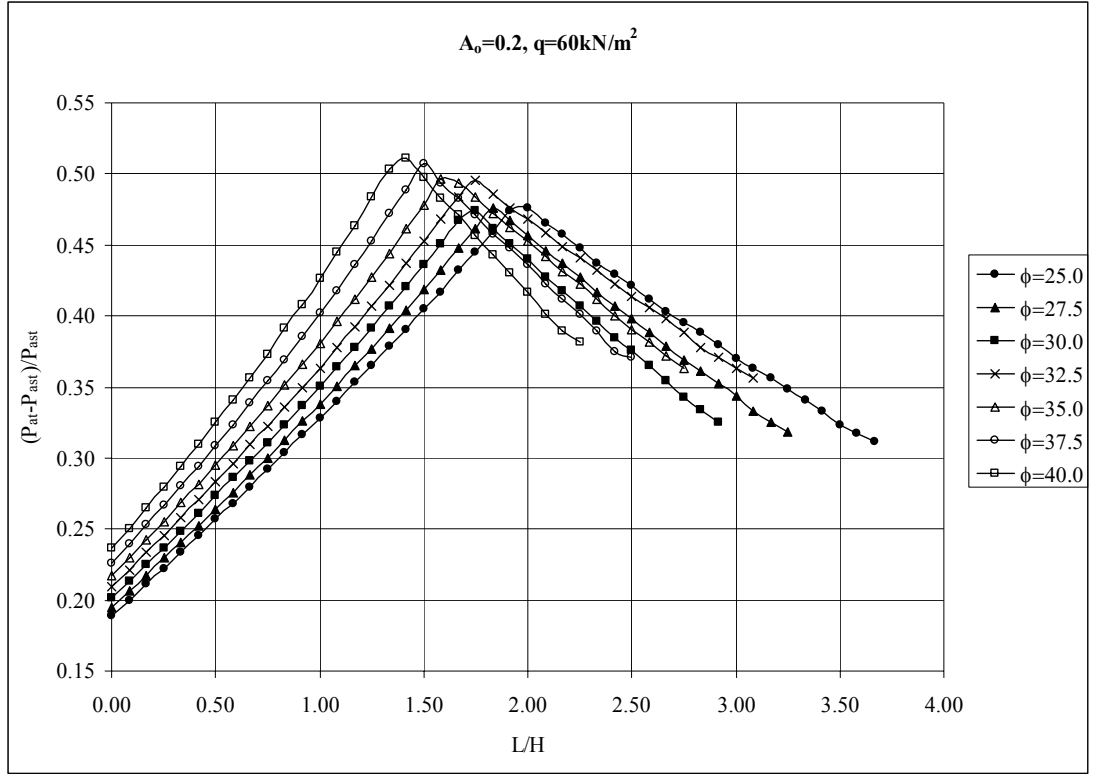
**Şekil A18 :** İkinci derece deprem bölgesinde,  $q=60 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



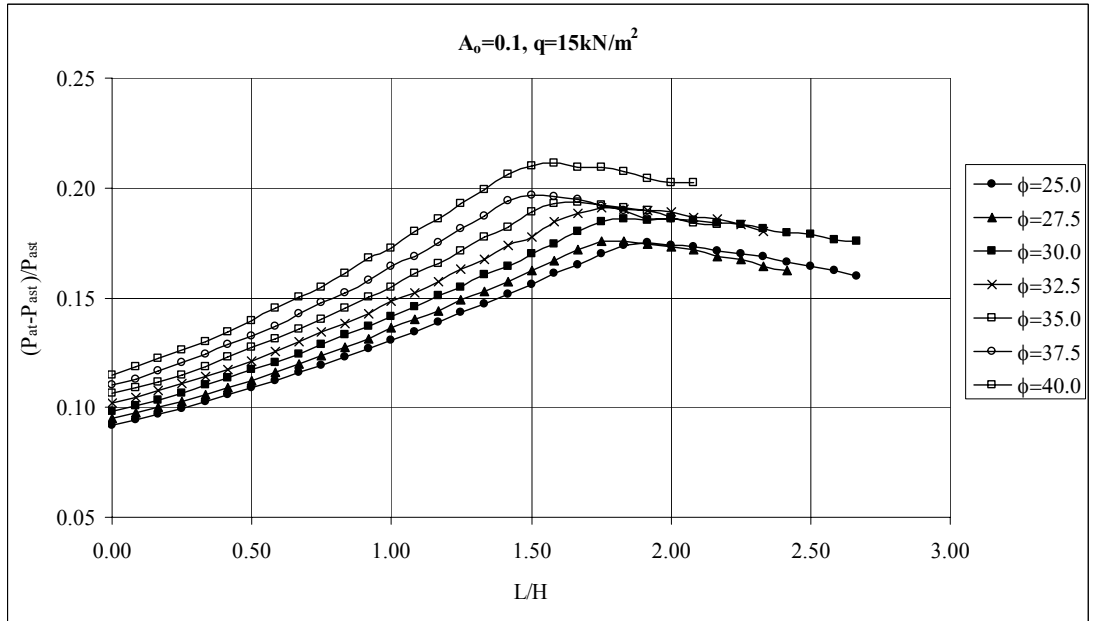
**Şekil A19 :** Üçüncü derece deprem bölgesinde,  $q=15 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



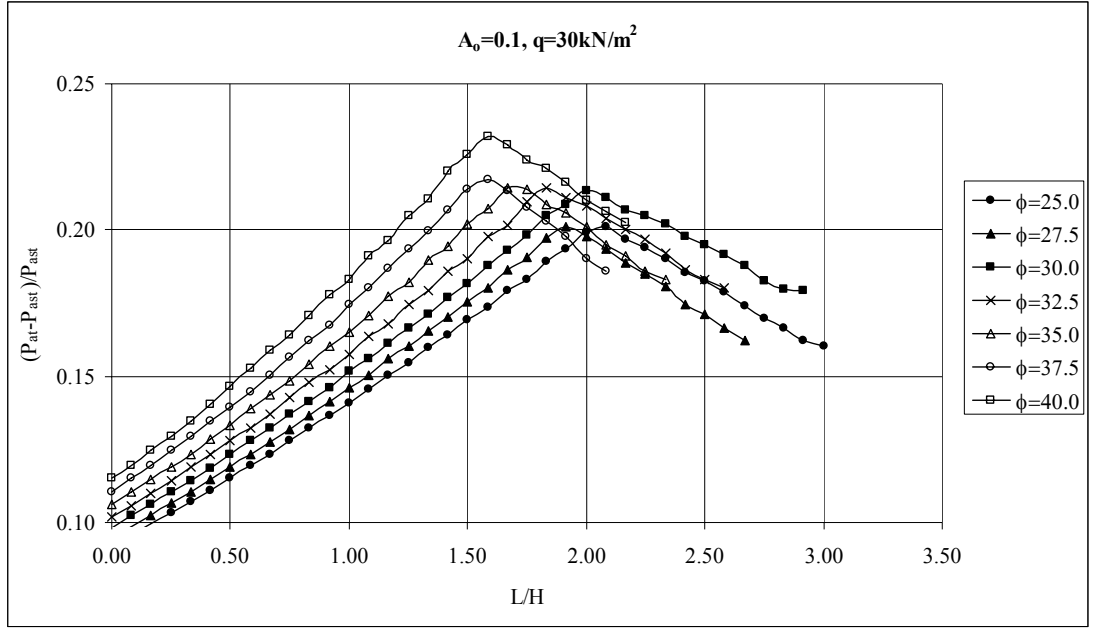
**Şekil A20 :** Üçüncü derece deprem bölgesinde,  $q=30 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



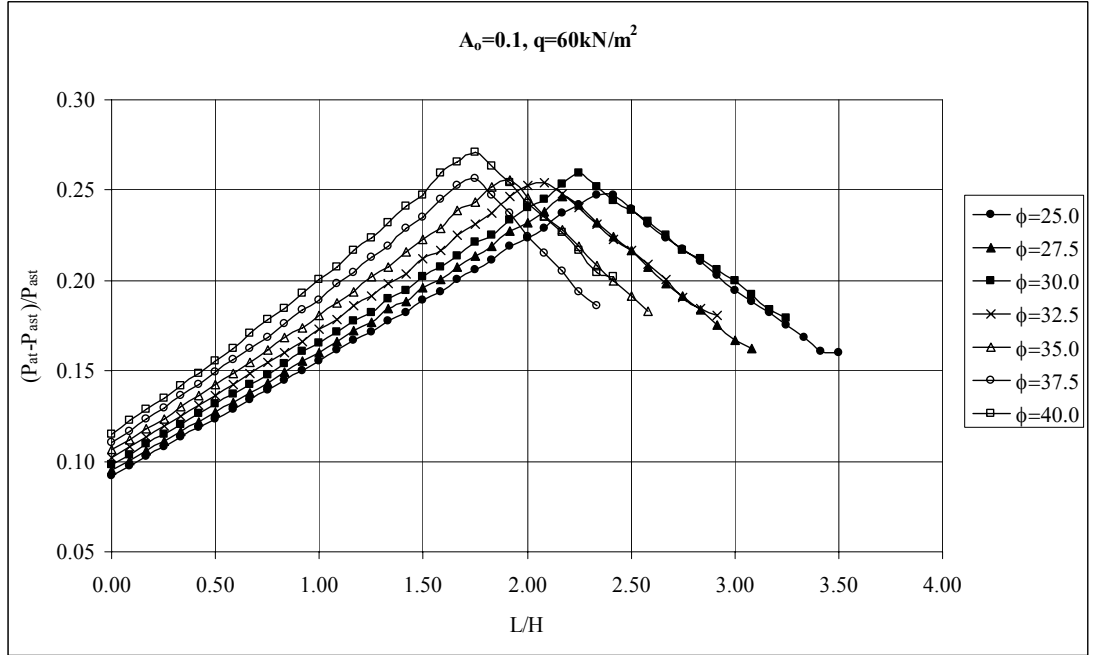
**Şekil A21 :** Üçüncü derece deprem bölgesinde,  $q=60 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



**Şekil A22 :** Dördüncü derece deprem bölgesinde,  $q=15 \text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



**Şekil A23** : Dördüncü derece deprem bölgesinde,  $q=30\text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki



**Şekil A24** : Dördüncü derece deprem bölgesinde,  $q=60\text{ kN/m}^2$  ve  $i \leq (\phi - \theta)/1.1$  için  $(P_{at}-P_{ast})$  ile  $P_{ast}$  arasındaki ilişki

**EK B:** Toplam devirici moment ve kaydırıcı kuvvetlerin verildiği tablolar

$$\phi=25^{\circ}, i=0^{\circ}, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

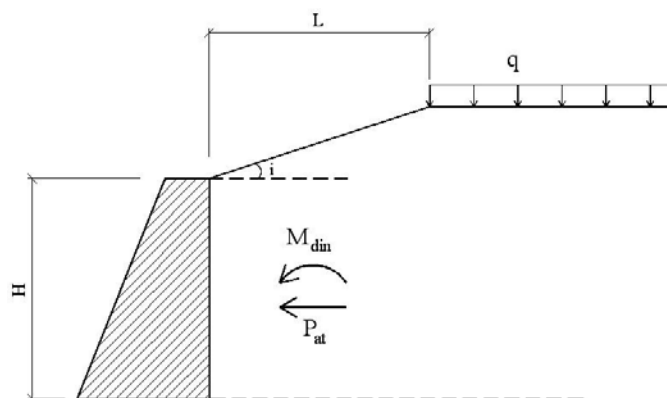
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 106.8                   | 179.4                     | 85.5                    | 128.5                     | 75.4                    | 111.9                     | 75.4                    | 111.9                     | 75.4                    | 111.9                     |
| 5        | 157.1                   | 324.1                     | 134.8                   | 251.8                     | 117.8                   | 218.5                     | 117.8                   | 218.5                     | 117.8                   | 218.5                     |
| 6        | 216.8                   | 529.6                     | 193.9                   | 434.4                     | 174.0                   | 399.4                     | 169.7                   | 377.6                     | 169.7                   | 377.6                     |
| 7        | 286.0                   | 806.5                     | 262.7                   | 688.6                     | 241.8                   | 642.2                     | 231.0                   | 599.6                     | 231.0                   | 599.6                     |
| 8        | 364.5                   | 1165.3                    | 341.0                   | 1023.3                    | 319.4                   | 959.0                     | 301.7                   | 895.0                     | 301.7                   | 895.0                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 138.3                   | 247.0                     | 98.3                    | 148.5                     | 75.4                    | 111.9                     | 75.4                    | 111.9                     | 75.4                    | 111.9                     |
| 5        | 196.4                   | 429.7                     | 154.1                   | 289.8                     | 121.9                   | 240.0                     | 117.8                   | 218.5                     | 117.8                   | 218.5                     |
| 6        | 264.0                   | 681.6                     | 220.1                   | 498.5                     | 184.7                   | 447.1                     | 169.7                   | 377.6                     | 169.7                   | 377.6                     |
| 7        | 340.9                   | 1013.4                    | 296.0                   | 783.3                     | 258.1                   | 687.0                     | 231.0                   | 599.6                     | 231.0                   | 599.6                     |
| 8        | 427.4                   | 1435.5                    | 381.6                   | 1160.7                    | 341.8                   | 1028.2                    | 306.7                   | 940.1                     | 301.7                   | 895.0                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 201.1                   | 382.1                     | 126.2                   | 192.6                     | 79.5                    | 134.0                     | 75.4                    | 111.9                     | 75.4                    | 111.9                     |
| 5        | 277.6                   | 647.8                     | 196.4                   | 375.7                     | 140.3                   | 308.4                     | 117.8                   | 218.5                     | 117.8                   | 218.5                     |
| 6        | 364.5                   | 1005.9                    | 278.5                   | 642.2                     | 214.5                   | 495.8                     | 169.7                   | 377.6                     | 169.7                   | 377.6                     |
| 7        | 461.9                   | 1468.6                    | 371.8                   | 1008.3                    | 301.4                   | 803.6                     | 244.6                   | 699.2                     | 231.0                   | 599.6                     |
| 8        | 569.8                   | 2048.1                    | 476.1                   | 1484.8                    | 400.3                   | 1210.6                    | 337.0                   | 1122.9                    | 301.7                   | 895.0                     |



$$\phi=27.5^\circ, i=0^\circ, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

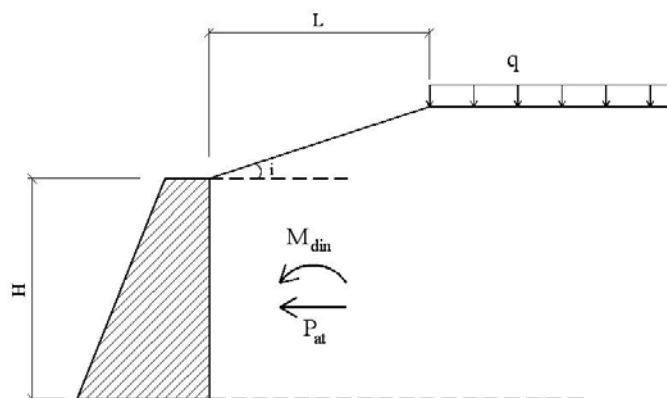
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 97.6                    | 164.3                     | 76.8                    | 116.2                     | 68.9                    | 102.5                     | 68.9                    | 102.5                     | 68.9                    | 102.5                     |
| 5        | 143.6                   | 296.8                     | 121.8                   | 228.2                     | 107.7                   | 200.2                     | 107.7                   | 200.2                     | 107.7                   | 200.2                     |
| 6        | 198.1                   | 485.1                     | 175.8                   | 394.6                     | 156.3                   | 355.5                     | 155.1                   | 345.9                     | 155.1                   | 345.9                     |
| 7        | 261.3                   | 738.7                     | 238.7                   | 625.7                     | 218.2                   | 586.3                     | 211.1                   | 549.3                     | 211.1                   | 549.3                     |
| 8        | 333.1                   | 1067.3                    | 310.2                   | 931.3                     | 289.1                   | 870.5                     | 275.7                   | 819.9                     | 275.7                   | 819.9                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 126.4                   | 226.2                     | 87.3                    | 132.4                     | 68.9                    | 102.5                     | 68.9                    | 102.5                     | 68.9                    | 102.5                     |
| 5        | 179.5                   | 393.5                     | 138.2                   | 259.5                     | 107.7                   | 200.2                     | 107.7                   | 200.2                     | 107.7                   | 200.2                     |
| 6        | 241.2                   | 624.2                     | 198.5                   | 448.7                     | 163.8                   | 390.2                     | 155.1                   | 345.9                     | 155.1                   | 345.9                     |
| 7        | 311.6                   | 928.1                     | 267.8                   | 707.5                     | 230.7                   | 615.9                     | 211.1                   | 549.3                     | 211.1                   | 549.3                     |
| 8        | 390.5                   | 1314.7                    | 346.0                   | 1050.1                    | 307.1                   | 930.0                     | 275.7                   | 819.9                     | 275.7                   | 819.9                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 183.8                   | 349.9                     | 110.7                   | 168.5                     | 68.9                    | 102.5                     | 68.9                    | 102.5                     | 68.9                    | 102.5                     |
| 5        | 253.7                   | 593.2                     | 174.5                   | 332.2                     | 119.8                   | 255.4                     | 107.7                   | 200.2                     | 107.7                   | 200.2                     |
| 6        | 333.1                   | 921.1                     | 249.1                   | 572.7                     | 186.7                   | 437.5                     | 155.1                   | 345.9                     | 155.1                   | 345.9                     |
| 7        | 422.1                   | 1344.8                    | 334.2                   | 901.3                     | 265.4                   | 709.2                     | 211.1                   | 549.3                     | 211.1                   | 549.3                     |
| 8        | 520.7                   | 1875.5                    | 429.4                   | 1331.9                    | 355.2                   | 1073.8                    | 293.5                   | 953.7                     | 275.7                   | 819.9                     |



$$\phi=30^\circ, i=0^\circ, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

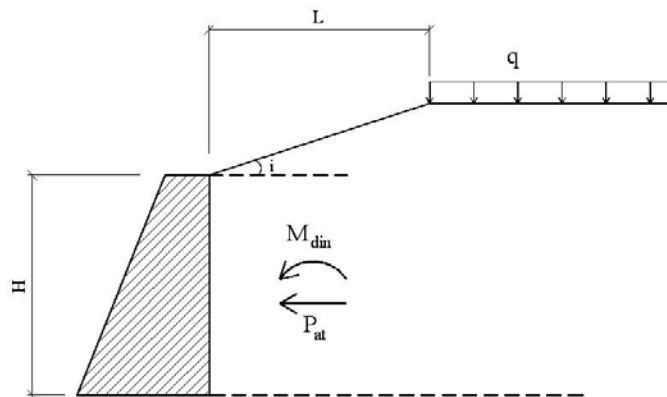
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 89.1                    | 150.3                     | 68.8                    | 104.5                     | 62.9                    | 93.8                      | 62.9                    | 93.8                      | 62.9                    | 93.8                      |
| 5        | 131.0                   | 271.5                     | 109.9                   | 206.1                     | 98.2                    | 183.1                     | 98.2                    | 183.1                     | 98.2                    | 183.1                     |
| 6        | 180.8                   | 443.6                     | 159.2                   | 357.5                     | 141.5                   | 316.4                     | 141.5                   | 316.4                     | 141.5                   | 316.4                     |
| 7        | 238.4                   | 675.6                     | 216.5                   | 568.0                     | 196.6                   | 524.4                     | 192.6                   | 502.5                     | 192.6                   | 502.5                     |
| 8        | 303.9                   | 976.2                     | 281.7                   | 845.9                     | 261.2                   | 793.3                     | 251.5                   | 750.1                     | 251.5                   | 750.1                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 115.3                   | 206.8                     | 77.4                    | 117.5                     | 62.9                    | 93.8                      | 62.9                    | 93.8                      | 62.9                    | 93.8                      |
| 5        | 163.7                   | 359.8                     | 123.7                   | 232.6                     | 98.2                    | 183.1                     | 98.2                    | 183.1                     | 98.2                    | 183.1                     |
| 6        | 220.1                   | 570.8                     | 178.6                   | 403.5                     | 144.9                   | 339.0                     | 141.5                   | 316.4                     | 141.5                   | 316.4                     |
| 7        | 284.3                   | 848.7                     | 241.8                   | 639.7                     | 205.8                   | 572.8                     | 192.6                   | 502.5                     | 192.6                   | 502.5                     |
| 8        | 356.3                   | 1202.3                    | 313.1                   | 950.0                     | 275.4                   | 836.4                     | 251.5                   | 750.1                     | 251.5                   | 750.1                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 167.7                   | 319.9                     | 96.7                    | 147.2                     | 62.9                    | 93.8                      | 62.9                    | 93.8                      | 62.9                    | 93.8                      |
| 5        | 231.4                   | 542.3                     | 154.5                   | 293.7                     | 101.7                   | 209.2                     | 98.2                    | 183.1                     | 98.2                    | 183.1                     |
| 6        | 303.9                   | 842.2                     | 222.4                   | 508.9                     | 161.9                   | 416.6                     | 141.5                   | 316.4                     | 141.5                   | 316.4                     |
| 7        | 385.1                   | 1229.6                    | 299.8                   | 806.7                     | 233.0                   | 627.8                     | 192.6                   | 502.5                     | 192.6                   | 502.5                     |
| 8        | 475.1                   | 1714.9                    | 386.5                   | 1196.3                    | 314.4                   | 955.8                     | 254.6                   | 803.7                     | 251.5                   | 750.1                     |



$$\phi=32.5^\circ, i=0^\circ, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

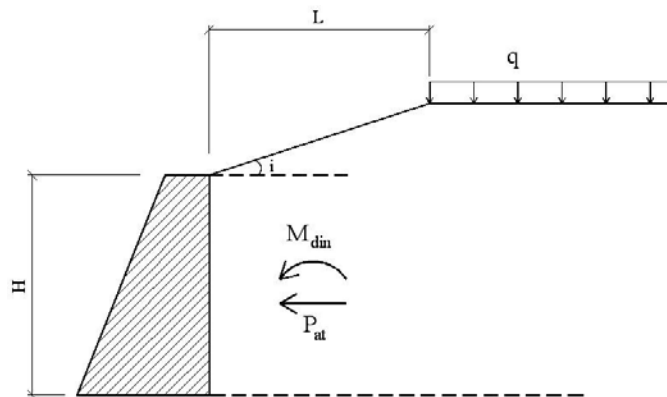
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 81.1                    | 137.2                     | 61.6                    | 94.6                      | 57.3                    | 85.6                      | 57.3                    | 85.6                      | 57.3                    | 85.6                      |
| 5        | 119.3                   | 247.9                     | 98.9                    | 186.6                     | 89.5                    | 167.3                     | 89.5                    | 167.3                     | 89.5                    | 167.3                     |
| 6        | 164.6                   | 405.1                     | 143.8                   | 323.8                     | 128.9                   | 289.0                     | 128.9                   | 289.0                     | 128.9                   | 289.0                     |
| 7        | 217.1                   | 617.0                     | 195.9                   | 514.8                     | 176.7                   | 469.3                     | 175.4                   | 459.0                     | 175.4                   | 459.0                     |
| 8        | 276.8                   | 891.5                     | 255.4                   | 768.6                     | 235.5                   | 723.6                     | 229.1                   | 685.1                     | 229.1                   | 685.1                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 105.0                   | 188.8                     | 68.4                    | 104.9                     | 57.3                    | 85.6                      | 57.3                    | 85.6                      | 57.3                    | 85.6                      |
| 5        | 149.1                   | 328.5                     | 110.4                   | 208.5                     | 89.5                    | 167.3                     | 89.5                    | 167.3                     | 89.5                    | 167.3                     |
| 6        | 200.4                   | 521.2                     | 160.4                   | 362.5                     | 128.9                   | 289.0                     | 128.9                   | 289.0                     | 128.9                   | 289.0                     |
| 7        | 258.9                   | 775.0                     | 217.9                   | 576.0                     | 183.0                   | 504.7                     | 175.4                   | 459.0                     | 175.4                   | 459.0                     |
| 8        | 324.5                   | 1097.9                    | 282.8                   | 857.0                     | 246.2                   | 757.1                     | 229.1                   | 685.1                     | 229.1                   | 685.1                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 152.7                   | 292.0                     | 84.1                    | 129.3                     | 57.3                    | 85.6                      | 57.3                    | 85.6                      | 57.3                    | 85.6                      |
| 5        | 210.8                   | 495.1                     | 136.5                   | 259.2                     | 89.5                    | 167.3                     | 89.5                    | 167.3                     | 89.5                    | 167.3                     |
| 6        | 276.8                   | 768.8                     | 198.0                   | 452.1                     | 139.7                   | 350.1                     | 128.9                   | 289.0                     | 128.9                   | 289.0                     |
| 7        | 350.8                   | 1122.6                    | 268.3                   | 719.0                     | 203.8                   | 558.1                     | 175.4                   | 459.0                     | 175.4                   | 459.0                     |
| 8        | 432.7                   | 1565.6                    | 347.1                   | 1069.7                    | 277.3                   | 845.2                     | 229.1                   | 685.1                     | 229.1                   | 685.1                     |



$$\phi=35^\circ, i=0^\circ, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

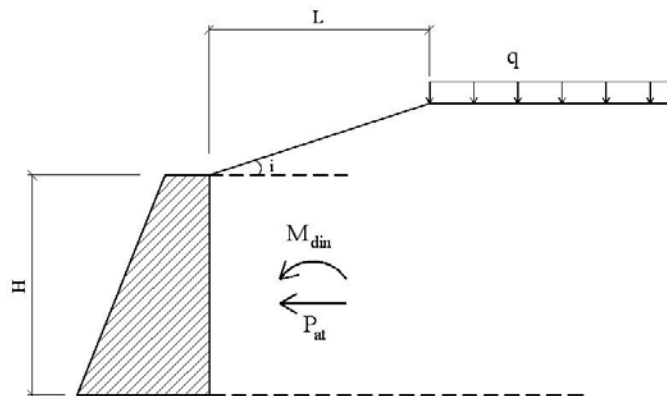
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 73.7                    | 125.1                     | 54.9                    | 86.5                      | 52.0                    | 78.1                      | 52.0                    | 78.1                      | 52.0                    | 78.1                      |
| 5        | 108.4                   | 225.9                     | 88.8                    | 168.5                     | 81.3                    | 152.5                     | 81.3                    | 152.5                     | 81.3                    | 152.5                     |
| 6        | 149.6                   | 369.3                     | 129.5                   | 292.8                     | 117.1                   | 263.5                     | 117.1                   | 263.5                     | 117.1                   | 263.5                     |
| 7        | 197.3                   | 562.4                     | 176.9                   | 466.3                     | 159.4                   | 418.5                     | 159.4                   | 418.5                     | 159.4                   | 418.5                     |
| 8        | 251.6                   | 812.7                     | 230.9                   | 696.0                     | 211.8                   | 647.3                     | 208.2                   | 624.7                     | 208.2                   | 624.7                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 95.4                    | 172.1                     | 60.1                    | 92.7                      | 52.0                    | 78.1                      | 52.0                    | 78.1                      | 52.0                    | 78.1                      |
| 5        | 135.5                   | 299.4                     | 98.3                    | 186.7                     | 81.3                    | 152.5                     | 81.3                    | 152.5                     | 81.3                    | 152.5                     |
| 6        | 182.2                   | 475.0                     | 143.5                   | 324.6                     | 117.1                   | 263.5                     | 117.1                   | 263.5                     | 117.1                   | 263.5                     |
| 7        | 235.3                   | 706.3                     | 195.8                   | 517.6                     | 162.2                   | 440.9                     | 159.4                   | 418.5                     | 159.4                   | 418.5                     |
| 8        | 294.9                   | 1000.7                    | 254.7                   | 773.4                     | 219.5                   | 692.4                     | 208.2                   | 624.7                     | 208.2                   | 624.7                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 138.8                   | 266.1                     | 72.9                    | 113.3                     | 52.0                    | 78.1                      | 52.0                    | 78.1                      | 52.0                    | 78.1                      |
| 5        | 191.6                   | 451.1                     | 120.0                   | 228.0                     | 81.3                    | 152.5                     | 81.3                    | 152.5                     | 81.3                    | 152.5                     |
| 6        | 251.6                   | 700.6                     | 175.6                   | 401.7                     | 119.8                   | 290.9                     | 117.1                   | 263.5                     | 117.1                   | 263.5                     |
| 7        | 318.8                   | 1023.0                    | 239.3                   | 640.4                     | 177.4                   | 520.7                     | 159.4                   | 418.5                     | 159.4                   | 418.5                     |
| 8        | 393.3                   | 1426.7                    | 310.7                   | 956.2                     | 243.6                   | 756.5                     | 208.2                   | 624.7                     | 208.2                   | 624.7                     |



$$\phi=37.5^\circ, i=0^\circ, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

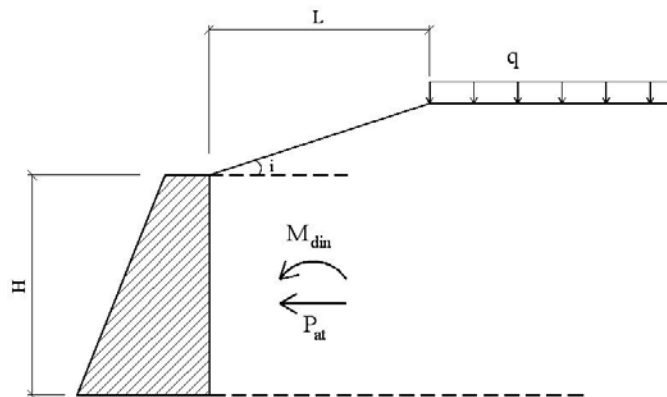
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 66.9                    | 113.7                     | 48.8                    | 76.3                      | 47.2                    | 71.0                      | 47.2                    | 71.0                      | 47.2                    | 71.0                      |
| 5        | 98.3                    | 205.5                     | 79.5                    | 151.4                     | 73.7                    | 138.7                     | 73.7                    | 138.7                     | 73.7                    | 138.7                     |
| 6        | 135.7                   | 335.9                     | 116.4                   | 264.6                     | 106.2                   | 239.8                     | 106.2                   | 239.8                     | 106.2                   | 239.8                     |
| 7        | 178.9                   | 511.5                     | 159.3                   | 420.8                     | 144.5                   | 380.7                     | 144.5                   | 380.7                     | 144.5                   | 380.7                     |
| 8        | 228.1                   | 739.2                     | 208.3                   | 629.9                     | 189.9                   | 578.4                     | 188.8                   | 568.3                     | 188.8                   | 568.3                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 86.5                    | 156.5                     | 52.7                    | 88.1                      | 47.2                    | 71.0                      | 47.2                    | 71.0                      | 47.2                    | 71.0                      |
| 5        | 122.9                   | 272.2                     | 87.1                    | 166.0                     | 73.7                    | 138.7                     | 73.7                    | 138.7                     | 73.7                    | 138.7                     |
| 6        | 165.2                   | 431.9                     | 128.1                   | 291.9                     | 106.2                   | 239.8                     | 106.2                   | 239.8                     | 106.2                   | 239.8                     |
| 7        | 213.3                   | 642.3                     | 175.4                   | 465.7                     | 144.5                   | 380.7                     | 144.5                   | 380.7                     | 144.5                   | 380.7                     |
| 8        | 267.4                   | 910.0                     | 228.8                   | 695.3                     | 195.0                   | 610.6                     | 188.8                   | 568.3                     | 188.8                   | 568.3                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 125.8                   | 241.9                     | 62.7                    | 98.1                      | 47.2                    | 71.0                      | 47.2                    | 71.0                      | 47.2                    | 71.0                      |
| 5        | 173.7                   | 410.1                     | 105.0                   | 201.8                     | 73.7                    | 138.7                     | 73.7                    | 138.7                     | 73.7                    | 138.7                     |
| 6        | 228.1                   | 636.9                     | 155.2                   | 355.2                     | 106.2                   | 239.8                     | 106.2                   | 239.8                     | 106.2                   | 239.8                     |
| 7        | 289.1                   | 930.1                     | 212.7                   | 570.2                     | 153.5                   | 439.1                     | 144.5                   | 380.7                     | 144.5                   | 380.7                     |
| 8        | 356.6                   | 1297.2                    | 277.4                   | 853.5                     | 213.1                   | 718.3                     | 188.8                   | 568.3                     | 188.8                   | 568.3                     |



$$\phi=40^\circ, i=0^\circ, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

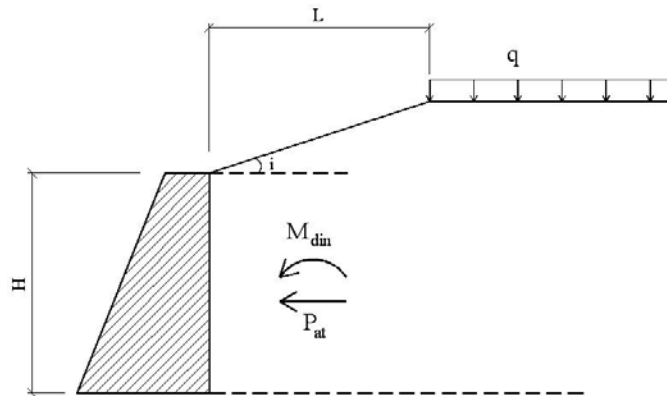
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 60.4                    | 103.2                     | 43.1                    | 66.6                      | 42.7                    | 64.5                      | 42.7                    | 64.5                      | 42.7                    | 64.5                      |
| 5        | 88.9                    | 186.4                     | 70.8                    | 137.0                     | 66.7                    | 125.9                     | 66.7                    | 125.9                     | 66.7                    | 125.9                     |
| 6        | 122.7                   | 304.7                     | 104.2                   | 237.7                     | 96.0                    | 217.6                     | 96.0                    | 217.6                     | 96.0                    | 217.6                     |
| 7        | 161.8                   | 464.1                     | 143.0                   | 380.1                     | 130.7                   | 345.5                     | 130.7                   | 345.5                     | 130.7                   | 345.5                     |
| 8        | 206.2                   | 670.6                     | 187.3                   | 567.6                     | 170.7                   | 515.7                     | 170.7                   | 515.7                     | 170.7                   | 515.7                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 78.2                    | 141.9                     | 45.9                    | 75.3                      | 42.7                    | 64.5                      | 42.7                    | 64.5                      | 42.7                    | 64.5                      |
| 5        | 111.1                   | 246.9                     | 76.9                    | 147.9                     | 66.7                    | 125.9                     | 66.7                    | 125.9                     | 66.7                    | 125.9                     |
| 6        | 149.3                   | 391.8                     | 113.8                   | 260.1                     | 96.0                    | 217.6                     | 96.0                    | 217.6                     | 96.0                    | 217.6                     |
| 7        | 192.9                   | 582.6                     | 156.6                   | 416.3                     | 130.7                   | 345.5                     | 130.7                   | 345.5                     | 130.7                   | 345.5                     |
| 8        | 241.8                   | 825.4                     | 204.8                   | 624.4                     | 172.5                   | 532.9                     | 170.7                   | 515.7                     | 170.7                   | 515.7                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 113.8                   | 219.3                     | 53.5                    | 85.1                      | 42.7                    | 64.5                      | 42.7                    | 64.5                      | 42.7                    | 64.5                      |
| 5        | 157.0                   | 371.9                     | 91.4                    | 176.3                     | 66.7                    | 125.9                     | 66.7                    | 125.9                     | 66.7                    | 125.9                     |
| 6        | 206.2                   | 577.6                     | 136.5                   | 313.1                     | 96.0                    | 217.6                     | 96.0                    | 217.6                     | 96.0                    | 217.6                     |
| 7        | 261.4                   | 843.4                     | 188.4                   | 504.9                     | 132.0                   | 369.9                     | 130.7                   | 345.5                     | 130.7                   | 345.5                     |
| 8        | 322.4                   | 1176.4                    | 246.6                   | 758.5                     | 185.3                   | 611.4                     | 170.7                   | 515.7                     | 170.7                   | 515.7                     |



$$\phi=25^\circ, i=0^\circ, A_o=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

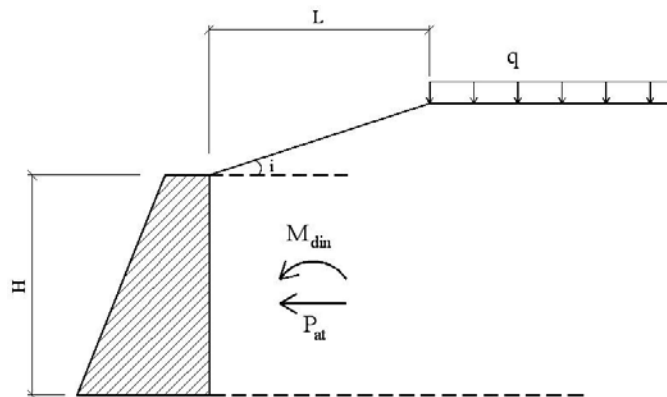
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 115.7                   | 199.0                     | 94.2                    | 147.6                     | 81.7                    | 124.5                     | 81.7                    | 124.5                     | 81.7                    | 124.5                     |
| 5        | 170.2                   | 359.6                     | 147.8                   | 286.8                     | 129.0                   | 251.8                     | 127.7                   | 243.1                     | 127.7                   | 243.1                     |
| 6        | 234.9                   | 587.8                     | 211.9                   | 492.7                     | 191.8                   | 456.2                     | 183.8                   | 420.0                     | 183.8                   | 420.0                     |
| 7        | 309.8                   | 895.3                     | 286.4                   | 776.8                     | 265.3                   | 729.5                     | 250.2                   | 667.0                     | 250.2                   | 667.0                     |
| 8        | 394.9                   | 1293.8                    | 371.3                   | 1151.1                    | 349.5                   | 1085.9                    | 329.3                   | 1016.9                    | 326.8                   | 995.6                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 149.8                   | 273.6                     | 109.4                   | 174.0                     | 81.7                    | 124.5                     | 81.7                    | 124.5                     | 81.7                    | 124.5                     |
| 5        | 212.8                   | 476.1                     | 170.2                   | 335.0                     | 137.4                   | 283.6                     | 127.7                   | 243.1                     | 127.7                   | 243.1                     |
| 6        | 286.0                   | 755.5                     | 241.8                   | 571.1                     | 205.9                   | 517.8                     | 183.8                   | 420.0                     | 183.8                   | 420.0                     |
| 7        | 369.4                   | 1123.6                    | 324.2                   | 892.0                     | 285.9                   | 793.8                     | 252.7                   | 697.0                     | 250.2                   | 667.0                     |
| 8        | 463.0                   | 1592.1                    | 417.0                   | 1315.8                    | 376.9                   | 1181.1                    | 341.2                   | 1090.5                    | 326.8                   | 995.6                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 217.9                   | 422.7                     | 142.1                   | 230.8                     | 93.8                    | 168.4                     | 81.7                    | 124.5                     | 81.7                    | 124.5                     |
| 5        | 300.7                   | 716.8                     | 218.8                   | 442.0                     | 161.3                   | 370.4                     | 127.7                   | 243.1                     | 127.7                   | 243.1                     |
| 6        | 394.9                   | 1113.4                    | 308.2                   | 746.7                     | 243.1                   | 595.8                     | 192.0                   | 483.0                     | 183.8                   | 420.0                     |
| 7        | 500.4                   | 1625.9                    | 409.7                   | 1162.4                    | 338.2                   | 949.1                     | 280.0                   | 842.1                     | 250.2                   | 667.0                     |
| 8        | 617.3                   | 2268.0                    | 523.1                   | 1701.2                    | 446.2                   | 1421.6                    | 381.7                   | 1327.5                    | 326.8                   | 995.6                     |



$$\phi=27.5^\circ, i=0^\circ, A_o=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

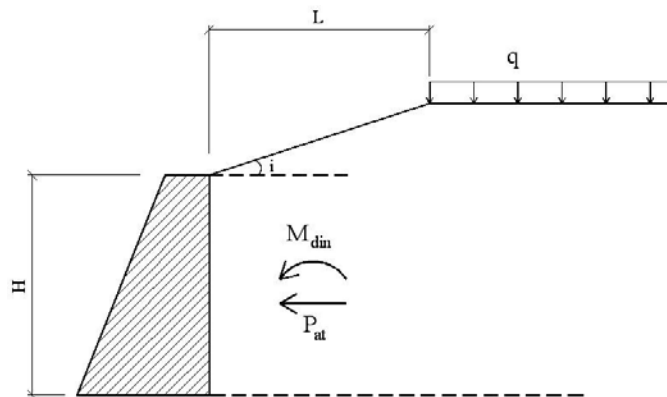
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 105.9                   | 182.5                     | 84.8                    | 133.7                     | 74.8                    | 114.2                     | 74.8                    | 114.2                     | 74.8                    | 114.2                     |
| 5        | 155.8                   | 329.8                     | 133.7                   | 260.2                     | 116.8                   | 223.0                     | 116.8                   | 223.0                     | 116.8                   | 223.0                     |
| 6        | 215.0                   | 539.2                     | 192.4                   | 447.6                     | 172.5                   | 407.2                     | 168.2                   | 385.4                     | 168.2                   | 385.4                     |
| 7        | 283.5                   | 821.3                     | 260.6                   | 707.1                     | 239.8                   | 666.3                     | 229.0                   | 612.0                     | 229.0                   | 612.0                     |
| 8        | 361.4                   | 1186.9                    | 338.2                   | 1049.5                    | 316.8                   | 987.2                     | 299.1                   | 913.5                     | 299.1                   | 913.5                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 137.1                   | 250.9                     | 97.4                    | 154.9                     | 74.8                    | 114.2                     | 74.8                    | 114.2                     | 74.8                    | 114.2                     |
| 5        | 194.7                   | 436.6                     | 152.8                   | 300.7                     | 120.6                   | 243.7                     | 116.8                   | 223.0                     | 116.8                   | 223.0                     |
| 6        | 261.7                   | 693.0                     | 218.3                   | 515.1                     | 183.0                   | 453.9                     | 168.2                   | 385.4                     | 168.2                   | 385.4                     |
| 7        | 338.0                   | 1030.6                    | 293.6                   | 807.5                     | 255.9                   | 712.8                     | 229.0                   | 612.0                     | 229.0                   | 612.0                     |
| 8        | 423.7                   | 1460.3                    | 378.6                   | 1192.7                    | 339.0                   | 1069.2                    | 304.0                   | 957.9                     | 299.1                   | 913.5                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 199.4                   | 387.6                     | 124.9                   | 202.6                     | 77.7                    | 133.9                     | 74.8                    | 114.2                     | 74.8                    | 114.2                     |
| 5        | 275.2                   | 657.3                     | 194.6                   | 391.9                     | 138.1                   | 309.6                     | 116.8                   | 223.0                     | 116.8                   | 223.0                     |
| 6        | 361.4                   | 1021.0                    | 276.1                   | 667.6                     | 212.1                   | 526.3                     | 168.2                   | 385.4                     | 168.2                   | 385.4                     |
| 7        | 458.0                   | 1491.1                    | 368.7                   | 1039.8                    | 298.4                   | 842.9                     | 241.3                   | 706.0                     | 229.0                   | 612.0                     |
| 8        | 564.9                   | 2080.0                    | 472.3                   | 1527.4                    | 396.6                   | 1263.7                    | 333.2                   | 1135.3                    | 299.1                   | 913.5                     |



$$\phi=30^{\circ}, i=0^{\circ}, A_o=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

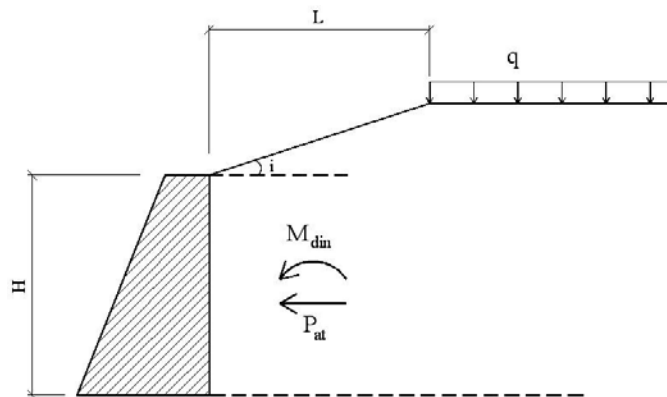
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 96.8                    | 167.3                     | 76.1                    | 120.5                     | 68.3                    | 104.7                     | 68.3                    | 104.7                     | 68.3                    | 104.7                     |
| 5        | 142.4                   | 302.2                     | 120.9                   | 235.6                     | 106.8                   | 204.4                     | 106.8                   | 204.4                     | 106.8                   | 204.4                     |
| 6        | 196.5                   | 494.1                     | 174.4                   | 406.4                     | 155.0                   | 362.8                     | 153.8                   | 353.3                     | 153.8                   | 353.3                     |
| 7        | 259.1                   | 752.7                     | 236.7                   | 643.2                     | 216.5                   | 598.0                     | 209.3                   | 561.0                     | 209.3                   | 561.0                     |
| 8        | 330.3                   | 1087.7                    | 307.7                   | 955.6                     | 286.8                   | 901.0                     | 273.3                   | 837.4                     | 273.3                   | 837.4                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 125.3                   | 229.9                     | 86.5                    | 137.8                     | 68.3                    | 104.7                     | 68.3                    | 104.7                     | 68.3                    | 104.7                     |
| 5        | 178.0                   | 400.0                     | 137.1                   | 270.2                     | 106.8                   | 204.4                     | 106.8                   | 204.4                     | 106.8                   | 204.4                     |
| 6        | 239.2                   | 634.9                     | 196.8                   | 464.4                     | 162.2                   | 396.6                     | 153.8                   | 353.3                     | 153.8                   | 353.3                     |
| 7        | 308.9                   | 944.4                     | 265.6                   | 730.4                     | 228.7                   | 661.0                     | 209.3                   | 561.0                     | 209.3                   | 561.0                     |
| 8        | 387.2                   | 1338.1                    | 343.2                   | 1081.6                    | 304.5                   | 963.6                     | 273.3                   | 837.4                     | 273.3                   | 837.4                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 182.2                   | 355.1                     | 109.4                   | 177.7                     | 68.3                    | 104.7                     | 68.3                    | 104.7                     | 68.3                    | 104.7                     |
| 5        | 251.5                   | 602.2                     | 172.8                   | 347.7                     | 117.9                   | 256.7                     | 106.8                   | 204.4                     | 106.8                   | 204.4                     |
| 6        | 330.3                   | 935.4                     | 247.0                   | 595.3                     | 184.5                   | 492.8                     | 153.8                   | 353.3                     | 153.8                   | 353.3                     |
| 7        | 418.6                   | 1366.1                    | 331.4                   | 933.1                     | 262.7                   | 744.2                     | 209.3                   | 561.0                     | 209.3                   | 561.0                     |
| 8        | 516.3                   | 1905.7                    | 425.9                   | 1377.8                    | 351.8                   | 1127.5                    | 290.0                   | 965.7                     | 273.3                   | 837.4                     |



$\phi=32.5^\circ, i=0^\circ, A_0=0.4$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

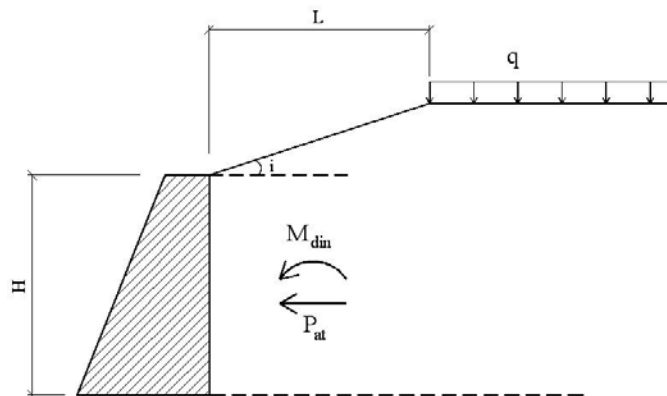
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 88.3                    | 153.1                     | 68.3                    | 109.2                     | 62.4                    | 95.8                      | 62.4                    | 95.8                      | 62.4                    | 95.8                      |
| 5        | 129.9                   | 276.6                     | 109.0                   | 213.8                     | 97.4                    | 187.1                     | 97.4                    | 187.1                     | 97.4                    | 187.1                     |
| 6        | 179.3                   | 452.2                     | 157.9                   | 369.1                     | 140.3                   | 323.4                     | 140.3                   | 323.4                     | 140.3                   | 323.4                     |
| 7        | 236.4                   | 688.8                     | 214.7                   | 584.7                     | 195.0                   | 535.4                     | 191.0                   | 513.5                     | 191.0                   | 513.5                     |
| 8        | 301.4                   | 995.5                     | 279.4                   | 869.2                     | 259.1                   | 820.9                     | 249.4                   | 766.5                     | 249.4                   | 766.5                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 114.3                   | 210.3                     | 76.6                    | 123.8                     | 62.4                    | 95.8                      | 62.4                    | 95.8                      | 62.4                    | 95.8                      |
| 5        | 162.4                   | 366.0                     | 122.6                   | 242.1                     | 97.4                    | 187.1                     | 97.4                    | 187.1                     | 97.4                    | 187.1                     |
| 6        | 218.2                   | 581.0                     | 177.1                   | 418.5                     | 143.5                   | 345.1                     | 140.3                   | 323.4                     | 140.3                   | 323.4                     |
| 7        | 281.9                   | 864.1                     | 239.8                   | 660.8                     | 203.9                   | 582.8                     | 191.0                   | 513.5                     | 191.0                   | 513.5                     |
| 8        | 353.3                   | 1224.4                    | 310.6                   | 978.8                     | 273.0                   | 873.8                     | 249.4                   | 766.5                     | 249.4                   | 766.5                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 166.3                   | 324.8                     | 95.6                    | 156.0                     | 62.4                    | 95.8                      | 62.4                    | 95.8                      | 62.4                    | 95.8                      |
| 5        | 229.5                   | 550.9                     | 153.0                   | 308.3                     | 100.0                   | 210.6                     | 97.4                    | 187.1                     | 97.4                    | 187.1                     |
| 6        | 301.4                   | 855.7                     | 220.4                   | 531.1                     | 159.8                   | 417.5                     | 140.3                   | 323.4                     | 140.3                   | 323.4                     |
| 7        | 381.9                   | 1249.8                    | 297.3                   | 836.7                     | 230.5                   | 662.2                     | 191.0                   | 513.5                     | 191.0                   | 513.5                     |
| 8        | 471.1                   | 1743.4                    | 383.3                   | 1236.6                    | 311.3                   | 1000.9                    | 251.4                   | 815.3                     | 249.4                   | 766.5                     |



$\phi=35^\circ, i=0^\circ, A_0=0.4$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

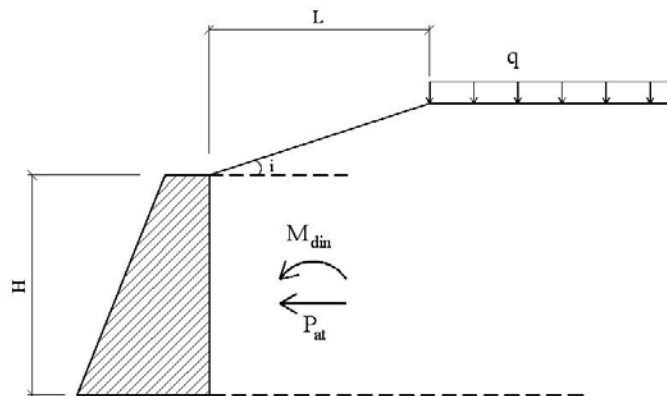
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 80.5                    | 139.9                     | 61.0                    | 100.0                     | 56.8                    | 87.6                      | 56.8                    | 87.6                      | 56.8                    | 87.6                      |
| 5        | 118.3                   | 252.8                     | 98.1                    | 193.1                     | 88.8                    | 171.1                     | 88.8                    | 171.1                     | 88.8                    | 171.1                     |
| 6        | 163.3                   | 413.3                     | 142.6                   | 334.2                     | 127.8                   | 295.6                     | 127.8                   | 295.6                     | 127.8                   | 295.6                     |
| 7        | 215.4                   | 629.6                     | 194.3                   | 530.2                     | 175.2                   | 479.6                     | 174.0                   | 469.5                     | 174.0                   | 469.5                     |
| 8        | 274.5                   | 909.9                     | 253.3                   | 790.5                     | 233.6                   | 738.8                     | 227.2                   | 700.8                     | 227.2                   | 700.8                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 104.1                   | 192.1                     | 67.7                    | 109.9                     | 56.8                    | 87.6                      | 56.8                    | 87.6                      | 56.8                    | 87.6                      |
| 5        | 147.9                   | 334.4                     | 109.4                   | 217.3                     | 88.8                    | 171.1                     | 88.8                    | 171.1                     | 88.8                    | 171.1                     |
| 6        | 198.8                   | 530.9                     | 159.0                   | 376.3                     | 127.8                   | 295.6                     | 127.8                   | 295.6                     | 127.8                   | 295.6                     |
| 7        | 256.8                   | 789.7                     | 216.1                   | 596.0                     | 181.3                   | 511.7                     | 174.0                   | 469.5                     | 174.0                   | 469.5                     |
| 8        | 321.9                   | 1119.0                    | 280.5                   | 884.8                     | 244.1                   | 799.6                     | 227.2                   | 700.8                     | 227.2                   | 700.8                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 151.5                   | 296.7                     | 83.1                    | 137.1                     | 56.8                    | 87.6                      | 56.8                    | 87.6                      | 56.8                    | 87.6                      |
| 5        | 209.1                   | 503.3                     | 135.1                   | 272.6                     | 88.8                    | 171.1                     | 88.8                    | 171.1                     | 88.8                    | 171.1                     |
| 6        | 274.5                   | 781.8                     | 196.2                   | 472.4                     | 137.7                   | 350.6                     | 127.8                   | 295.6                     | 127.8                   | 295.6                     |
| 7        | 347.9                   | 1141.9                    | 266.0                   | 748.6                     | 201.4                   | 617.6                     | 174.0                   | 469.5                     | 174.0                   | 469.5                     |
| 8        | 429.2                   | 1593.0                    | 344.2                   | 1110.2                    | 274.5                   | 893.5                     | 227.2                   | 700.8                     | 227.2                   | 700.8                     |



$$\phi=37.5^\circ, i=0^\circ, A_o=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

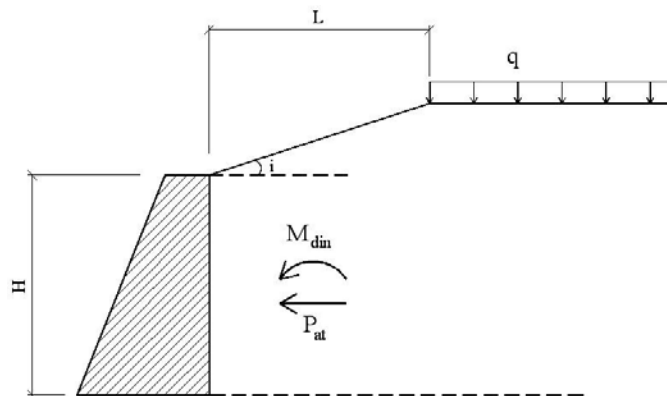
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 73.1                    | 127.5                     | 54.4                    | 88.2                      | 51.6                    | 79.9                      | 51.6                    | 79.9                      | 51.6                    | 79.9                      |
| 5        | 107.6                   | 230.5                     | 88.0                    | 174.4                     | 80.7                    | 156.1                     | 80.7                    | 156.1                     | 80.7                    | 156.1                     |
| 6        | 148.4                   | 376.9                     | 128.4                   | 302.7                     | 116.2                   | 269.7                     | 116.2                   | 269.7                     | 116.2                   | 269.7                     |
| 7        | 195.8                   | 574.2                     | 175.5                   | 480.8                     | 158.1                   | 428.3                     | 158.1                   | 428.3                     | 158.1                   | 428.3                     |
| 8        | 249.5                   | 829.8                     | 229.1                   | 716.7                     | 210.1                   | 661.5                     | 206.5                   | 639.3                     | 206.5                   | 639.3                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 94.7                    | 175.2                     | 59.5                    | 103.2                     | 51.6                    | 79.9                      | 51.6                    | 79.9                      | 51.6                    | 79.9                      |
| 5        | 134.4                   | 304.9                     | 97.3                    | 194.8                     | 80.7                    | 156.1                     | 80.7                    | 156.1                     | 80.7                    | 156.1                     |
| 6        | 180.7                   | 484.1                     | 142.3                   | 338.3                     | 116.2                   | 269.7                     | 116.2                   | 269.7                     | 116.2                   | 269.7                     |
| 7        | 233.4                   | 720.1                     | 194.1                   | 536.8                     | 160.6                   | 449.4                     | 158.1                   | 428.3                     | 158.1                   | 428.3                     |
| 8        | 292.6                   | 1020.4                    | 252.6                   | 797.8                     | 217.5                   | 705.7                     | 206.5                   | 639.3                     | 206.5                   | 639.3                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 137.7                   | 270.5                     | 71.9                    | 120.1                     | 51.6                    | 79.9                      | 51.6                    | 79.9                      | 51.6                    | 79.9                      |
| 5        | 190.0                   | 458.8                     | 118.7                   | 241.1                     | 80.7                    | 156.1                     | 80.7                    | 156.1                     | 80.7                    | 156.1                     |
| 6        | 249.5                   | 712.7                     | 173.9                   | 419.4                     | 118.0                   | 294.2                     | 116.2                   | 269.7                     | 116.2                   | 269.7                     |
| 7        | 316.2                   | 1041.0                    | 237.2                   | 667.6                     | 175.2                   | 526.8                     | 158.1                   | 428.3                     | 158.1                   | 428.3                     |
| 8        | 390.1                   | 1452.3                    | 308.1                   | 992.7                     | 241.0                   | 841.6                     | 206.5                   | 639.3                     | 206.5                   | 639.3                     |



$\phi=40^\circ, i=0^\circ, A_0=0.4$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

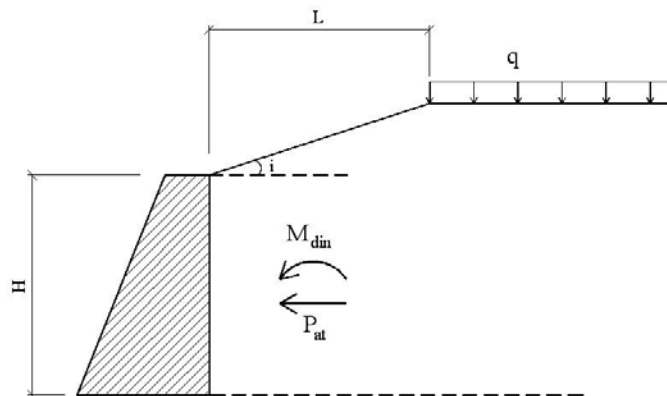
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 66.3                    | 116.1                     | 48.3                    | 77.8                      | 46.8                    | 72.8                      | 46.8                    | 72.8                      | 46.8                    | 72.8                      |
| 5        | 97.5                    | 209.8                     | 78.8                    | 157.9                     | 73.1                    | 142.1                     | 73.1                    | 142.1                     | 73.1                    | 142.1                     |
| 6        | 134.6                   | 343.0                     | 115.4                   | 273.6                     | 105.3                   | 245.5                     | 105.3                   | 245.5                     | 105.3                   | 245.5                     |
| 7        | 177.5                   | 522.6                     | 158.0                   | 435.0                     | 143.4                   | 389.9                     | 143.4                   | 389.9                     | 143.4                   | 389.9                     |
| 8        | 226.3                   | 755.3                     | 206.6                   | 649.0                     | 188.3                   | 589.9                     | 187.3                   | 582.0                     | 187.3                   | 582.0                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 85.8                    | 159.4                     | 52.1                    | 88.8                      | 46.8                    | 72.8                      | 46.8                    | 72.8                      | 46.8                    | 72.8                      |
| 5        | 121.9                   | 277.5                     | 86.2                    | 173.5                     | 73.1                    | 142.1                     | 73.1                    | 142.1                     | 73.1                    | 142.1                     |
| 6        | 163.8                   | 440.5                     | 126.9                   | 303.7                     | 105.3                   | 245.5                     | 105.3                   | 245.5                     | 105.3                   | 245.5                     |
| 7        | 211.6                   | 655.2                     | 173.9                   | 483.0                     | 143.4                   | 389.9                     | 143.4                   | 389.9                     | 143.4                   | 389.9                     |
| 8        | 265.3                   | 928.6                     | 226.9                   | 719.7                     | 193.2                   | 622.7                     | 187.3                   | 582.0                     | 187.3                   | 582.0                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 124.8                   | 246.0                     | 61.8                    | 104.2                     | 46.8                    | 72.8                      | 46.8                    | 72.8                      | 46.8                    | 72.8                      |
| 5        | 172.3                   | 417.3                     | 103.8                   | 211.7                     | 73.1                    | 142.1                     | 73.1                    | 142.1                     | 73.1                    | 142.1                     |
| 6        | 226.3                   | 648.4                     | 153.7                   | 373.3                     | 105.3                   | 245.5                     | 105.3                   | 245.5                     | 105.3                   | 245.5                     |
| 7        | 286.7                   | 947.1                     | 210.7                   | 595.6                     | 151.4                   | 444.9                     | 143.4                   | 389.9                     | 143.4                   | 389.9                     |
| 8        | 353.7                   | 1321.3                    | 274.8                   | 888.5                     | 210.6                   | 727.2                     | 187.3                   | 582.0                     | 187.3                   | 582.0                     |



$$q=15\text{kN/m}^2$$

$$q=30\text{kN/m}^2$$
$$q=60\text{kN/m}^2$$

The diagram illustrates a retaining wall cross-section. The wall has a total height  $H$  and a top width  $L$ . The wall face is inclined at an angle  $\alpha$  to the horizontal. A uniform surcharge load  $q$  is applied to the ground surface behind the wall. The wall is subjected to a horizontal active earth pressure  $P_{ast}$  and a counter-clockwise bending moment  $M_{sta}$  at its base.

$$\phi=27.5^\circ, i=0^\circ, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

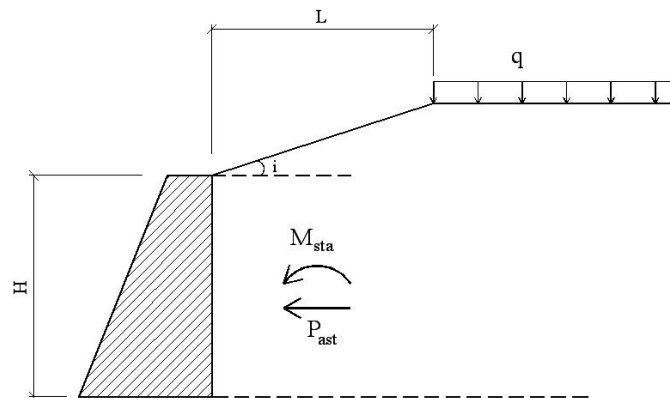
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 75.1                    | 114.9                     | 55.5                    | 70.1                      | 53.0                    | 70.7                      | 53.0                    | 70.7                      |
| 5        | 110.5                   | 207.1                     | 90.0                    | 142.4                     | 82.8                    | 138.1                     | 82.8                    | 138.1                     |
| 6        | 152.4                   | 338.0                     | 131.4                   | 252.3                     | 119.3                   | 238.6                     | 119.3                   | 238.6                     |
| 7        | 201.0                   | 514.2                     | 179.6                   | 406.6                     | 162.4                   | 378.9                     | 162.4                   | 378.9                     |
| 8        | 256.3                   | 742.3                     | 234.5                   | 613.2                     | 214.7                   | 559.8                     | 212.1                   | 565.6                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 97.2                    | 159.1                     | 60.9                    | 72.2                      | 53.0                    | 70.7                      | 53.0                    | 70.7                      |
| 5        | 138.1                   | 276.2                     | 99.4                    | 151.4                     | 82.8                    | 138.1                     | 82.8                    | 138.1                     |
| 6        | 185.6                   | 437.4                     | 145.4                   | 271.7                     | 119.3                   | 238.6                     | 119.3                   | 238.6                     |
| 7        | 239.7                   | 649.5                     | 198.4                   | 441.6                     | 164.1                   | 363.3                     | 162.4                   | 378.9                     |
| 8        | 300.5                   | 919.0                     | 258.4                   | 667.2                     | 222.2                   | 560.6                     | 212.1                   | 565.6                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 141.4                   | 247.4                     | 73.9                    | 81.3                      | 53.0                    | 70.7                      | 53.0                    | 70.7                      |
| 5        | 195.1                   | 418.8                     | 121.4                   | 175.5                     | 82.8                    | 138.1                     | 82.8                    | 138.1                     |
| 6        | 256.3                   | 649.5                     | 177.7                   | 323.5                     | 121.7                   | 214.1                     | 119.3                   | 238.6                     |
| 7        | 324.8                   | 947.2                     | 242.3                   | 528.3                     | 179.7                   | 367.7                     | 162.4                   | 378.9                     |
| 8        | 400.6                   | 1319.7                    | 314.7                   | 804.2                     | 246.6                   | 581.6                     | 212.1                   | 565.6                     |



$$\phi=30^\circ, i=0^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

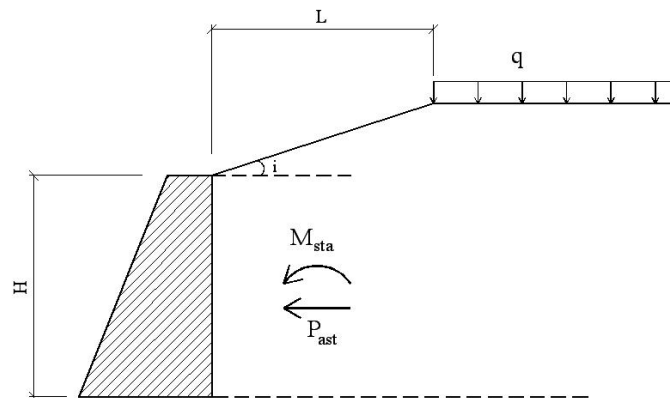
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 68.0                    | 104.0                     | 49.3                    | 62.5                      | 48.0                    | 64.0                      | 48.0                    | 64.0                      |
| 5        | 100.0                   | 187.5                     | 80.5                    | 127.4                     | 75.0                    | 125.0                     | 75.0                    | 125.0                     |
| 6        | 138.0                   | 306.0                     | 117.9                   | 226.2                     | 108.0                   | 216.0                     | 108.0                   | 216.0                     |
| 7        | 182.0                   | 465.5                     | 161.6                   | 365.1                     | 147.0                   | 343.0                     | 147.0                   | 343.0                     |
| 8        | 232.0                   | 672.0                     | 211.3                   | 550.2                     | 192.4                   | 506.2                     | 192.0                   | 512.0                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 88.0                    | 144.0                     | 53.3                    | 63.4                      | 48.0                    | 64.0                      | 48.0                    | 64.0                      |
| 5        | 125.0                   | 250.0                     | 88.1                    | 133.5                     | 75.0                    | 125.0                     | 75.0                    | 125.0                     |
| 6        | 168.0                   | 396.0                     | 129.6                   | 241.4                     | 108.0                   | 216.0                     | 108.0                   | 216.0                     |
| 7        | 217.0                   | 588.0                     | 177.6                   | 393.6                     | 147.0                   | 343.0                     | 147.0                   | 343.0                     |
| 8        | 272.0                   | 832.0                     | 231.9                   | 596.3                     | 197.3                   | 500.2                     | 192.0                   | 512.0                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 128.0                   | 224.0                     | 63.6                    | 69.6                      | 48.0                    | 64.0                      | 48.0                    | 64.0                      |
| 5        | 176.7                   | 379.2                     | 106.4                   | 152.6                     | 75.0                    | 125.0                     | 75.0                    | 125.0                     |
| 6        | 232.0                   | 588.0                     | 157.1                   | 281.3                     | 108.0                   | 216.0                     | 108.0                   | 216.0                     |
| 7        | 294.0                   | 857.5                     | 215.3                   | 465.8                     | 155.7                   | 320.3                     | 147.0                   | 343.0                     |
| 8        | 362.7                   | 1194.7                    | 280.7                   | 712.0                     | 215.8                   | 509.8                     | 192.0                   | 512.0                     |



$$\phi=32.5^\circ, i=0^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

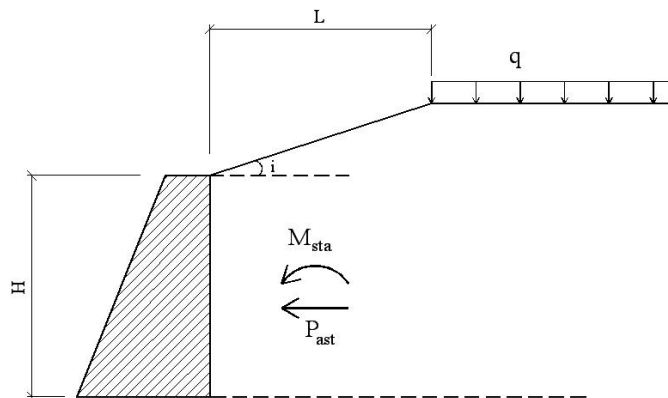
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 61.4                    | 93.9                      | 43.6                    | 56.1                      | 43.3                    | 57.8                      | 43.3                    | 57.8                      |
| 5        | 90.3                    | 169.3                     | 71.7                    | 113.9                     | 67.7                    | 112.9                     | 67.7                    | 112.9                     |
| 6        | 124.6                   | 276.3                     | 105.5                   | 202.1                     | 97.5                    | 195.0                     | 97.5                    | 195.0                     |
| 7        | 164.3                   | 420.3                     | 144.9                   | 326.4                     | 132.7                   | 309.7                     | 132.7                   | 309.7                     |
| 8        | 209.5                   | 606.7                     | 189.8                   | 493.3                     | 173.4                   | 462.3                     | 173.4                   | 462.3                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 79.5                    | 130.0                     | 46.5                    | 55.8                      | 43.3                    | 57.8                      | 43.3                    | 57.8                      |
| 5        | 112.9                   | 225.7                     | 77.8                    | 117.8                     | 67.7                    | 112.9                     | 67.7                    | 112.9                     |
| 6        | 151.7                   | 357.5                     | 115.2                   | 213.2                     | 97.5                    | 195.0                     | 97.5                    | 195.0                     |
| 7        | 195.9                   | 530.9                     | 158.5                   | 348.6                     | 132.7                   | 309.7                     | 132.7                   | 309.7                     |
| 8        | 245.6                   | 751.2                     | 207.4                   | 529.3                     | 174.5                   | 448.7                     | 173.4                   | 462.3                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 115.6                   | 202.2                     | 54.4                    | 59.2                      | 43.3                    | 57.8                      | 43.3                    | 57.8                      |
| 5        | 159.5                   | 342.3                     | 92.6                    | 131.1                     | 67.7                    | 112.9                     | 67.7                    | 112.9                     |
| 6        | 209.5                   | 530.9                     | 138.1                   | 245.4                     | 97.5                    | 195.0                     | 97.5                    | 195.0                     |
| 7        | 265.5                   | 774.2                     | 190.6                   | 405.9                     | 134.0                   | 281.3                     | 132.7                   | 309.7                     |
| 8        | 327.4                   | 1078.7                    | 249.5                   | 623.5                     | 187.7                   | 445.1                     | 173.4                   | 462.3                     |



$$\phi=35^\circ, i=0^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

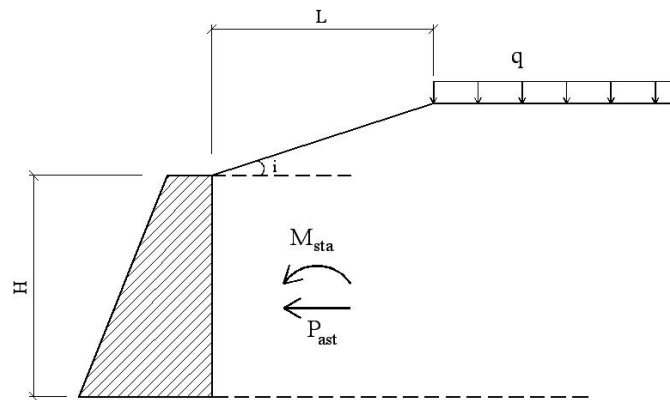
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 55.3                    | 84.5                      | 39.0                    | 52.0                      | 39.0                    | 52.0                      | 39.0                    | 52.0                      |
| 5        | 81.3                    | 152.4                     | 63.7                    | 101.5                     | 61.0                    | 101.6                     | 61.0                    | 101.6                     |
| 6        | 112.2                   | 248.7                     | 94.1                    | 180.1                     | 87.8                    | 175.6                     | 87.8                    | 175.6                     |
| 7        | 147.9                   | 378.3                     | 129.5                   | 291.4                     | 119.5                   | 278.8                     | 119.5                   | 278.8                     |
| 8        | 188.6                   | 546.2                     | 169.9                   | 440.7                     | 156.0                   | 416.1                     | 156.0                   | 416.1                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 71.5                    | 117.0                     | 40.3                    | 48.7                      | 39.0                    | 52.0                      | 39.0                    | 52.0                      |
| 5        | 101.6                   | 203.2                     | 68.3                    | 103.6                     | 61.0                    | 101.6                     | 61.0                    | 101.6                     |
| 6        | 136.5                   | 321.9                     | 101.9                   | 188.2                     | 87.8                    | 175.6                     | 87.8                    | 175.6                     |
| 7        | 176.4                   | 477.9                     | 140.8                   | 308.7                     | 119.5                   | 278.8                     | 119.5                   | 278.8                     |
| 8        | 221.1                   | 676.2                     | 184.9                   | 470.1                     | 156.0                   | 416.1                     | 156.0                   | 416.1                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 104.0                   | 182.1                     | 46.2                    | 50.4                      | 39.0                    | 52.0                      | 39.0                    | 52.0                      |
| 5        | 143.6                   | 308.2                     | 80.2                    | 113.0                     | 61.0                    | 101.6                     | 61.0                    | 101.6                     |
| 6        | 188.6                   | 477.9                     | 121.0                   | 211.8                     | 87.8                    | 175.6                     | 87.8                    | 175.6                     |
| 7        | 239.0                   | 696.9                     | 167.9                   | 354.9                     | 119.5                   | 278.8                     | 119.5                   | 278.8                     |
| 8        | 294.8                   | 971.0                     | 220.8                   | 547.6                     | 162.4                   | 390.7                     | 156.0                   | 416.1                     |



$$\phi=37.5^\circ, i=0^\circ, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

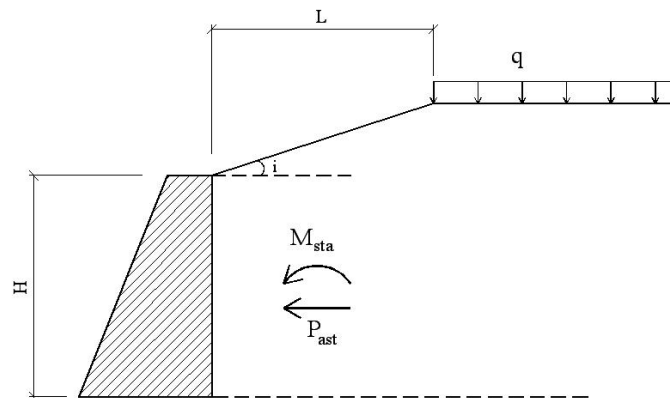
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 49.6                    | 75.9                      | 35.0                    | 46.7                      | 35.0                    | 46.7                      | 35.0                    | 46.7                      |
| 5        | 73.0                    | 136.8                     | 56.2                    | 90.0                      | 54.7                    | 91.2                      | 54.7                    | 91.2                      |
| 6        | 100.7                   | 223.2                     | 83.5                    | 160.2                     | 78.8                    | 157.6                     | 78.8                    | 157.6                     |
| 7        | 132.8                   | 339.6                     | 115.3                   | 259.2                     | 107.2                   | 250.2                     | 107.2                   | 250.2                     |
| 8        | 169.2                   | 490.2                     | 151.6                   | 392.0                     | 140.1                   | 373.5                     | 140.1                   | 373.5                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 64.2                    | 105.1                     | 35.0                    | 46.7                      | 35.0                    | 46.7                      | 35.0                    | 46.7                      |
| 5        | 91.2                    | 182.4                     | 59.7                    | 90.8                      | 54.7                    | 91.2                      | 54.7                    | 91.2                      |
| 6        | 122.6                   | 288.9                     | 89.7                    | 165.4                     | 78.8                    | 157.6                     | 78.8                    | 157.6                     |
| 7        | 158.3                   | 429.0                     | 124.6                   | 271.7                     | 107.2                   | 250.2                     | 107.2                   | 250.2                     |
| 8        | 198.4                   | 607.0                     | 164.1                   | 415.6                     | 140.1                   | 373.5                     | 140.1                   | 373.5                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 93.4                    | 163.4                     | 38.8                    | 42.7                      | 35.0                    | 46.7                      | 35.0                    | 46.7                      |
| 5        | 128.9                   | 276.6                     | 68.9                    | 96.6                      | 54.7                    | 91.2                      | 54.7                    | 91.2                      |
| 6        | 169.2                   | 429.0                     | 105.2                   | 183.0                     | 78.8                    | 157.6                     | 78.8                    | 157.6                     |
| 7        | 214.5                   | 625.6                     | 147.2                   | 306.6                     | 107.2                   | 250.2                     | 107.2                   | 250.2                     |
| 8        | 264.6                   | 871.5                     | 194.5                   | 475.2                     | 140.1                   | 373.5                     | 140.1                   | 373.5                     |



$$\phi=40^{\circ}, i=0^{\circ}, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

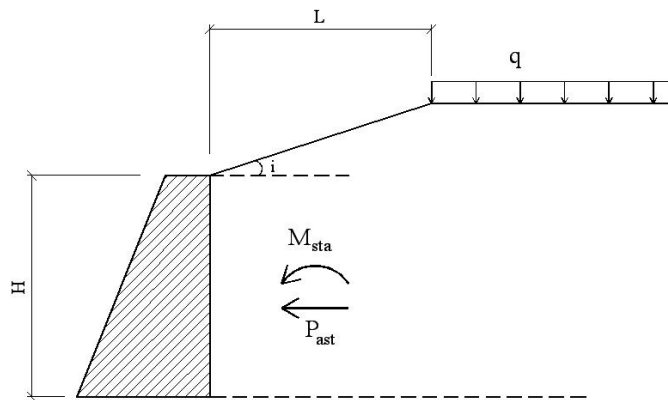
|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 44.4                    | 67.8                      | 31.3                    | 41.7                      | 31.3                    | 41.7                      | 31.3                    | 41.7                      |
| 5        | 65.2                    | 122.3                     | 49.4                    | 80.2                      | 48.9                    | 81.5                      | 48.9                    | 81.5                      |
| 6        | 90.0                    | 199.6                     | 73.8                    | 141.9                     | 70.5                    | 140.9                     | 70.5                    | 140.9                     |
| 7        | 118.7                   | 303.7                     | 102.2                   | 229.7                     | 95.9                    | 223.7                     | 95.9                    | 223.7                     |
| 8        | 151.3                   | 438.4                     | 134.6                   | 347.7                     | 125.2                   | 334.0                     | 125.2                   | 334.0                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 57.4                    | 93.9                      | 31.3                    | 41.7                      | 31.3                    | 41.7                      | 31.3                    | 41.7                      |
| 5        | 81.5                    | 163.1                     | 51.8                    | 79.2                      | 48.9                    | 81.5                      | 48.9                    | 81.5                      |
| 6        | 109.6                   | 258.3                     | 78.6                    | 145.0                     | 70.5                    | 140.9                     | 70.5                    | 140.9                     |
| 7        | 141.6                   | 383.6                     | 109.7                   | 238.7                     | 95.9                    | 223.7                     | 95.9                    | 223.7                     |
| 8        | 177.4                   | 542.7                     | 145.0                   | 365.0                     | 125.2                   | 334.0                     | 125.2                   | 334.0                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=0m                    |                           | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 83.5                    | 146.1                     | 32.2                    | 35.8                      | 31.3                    | 41.7                      | 31.3                    | 41.7                      |
| 5        | 115.2                   | 247.3                     | 58.8                    | 82.4                      | 48.9                    | 81.5                      | 48.9                    | 81.5                      |
| 6        | 151.3                   | 383.6                     | 90.9                    | 156.7                     | 70.5                    | 140.9                     | 70.5                    | 140.9                     |
| 7        | 191.8                   | 559.4                     | 128.2                   | 265.4                     | 95.9                    | 223.7                     | 95.9                    | 223.7                     |
| 8        | 236.6                   | 779.3                     | 170.4                   | 413.3                     | 125.2                   | 334.0                     | 125.2                   | 334.0                     |



$$\phi=25^{\circ}, i=15^{\circ}, A_0=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

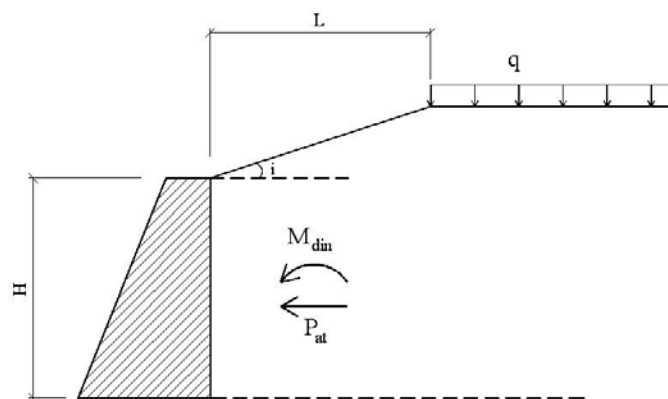
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 109.8                   | 168.7                     | 109.2                   | 171.8                     | 107.0                   | 169.0                     | 104.0                   | 161.3                     | 103.7                   | 158.9                     | 103.7                   | 158.9                     |
| 5        | 165.2                   | 317.1                     | 167.7                   | 324.0                     | 167.2                   | 331.1                     | 165.0                   | 321.5                     | 162.0                   | 310.3                     | 162.0                   | 310.3                     |
| 6        | 230.4                   | 532.0                     | 236.7                   | 544.0                     | 238.7                   | 558.1                     | 238.2                   | 558.9                     | 233.2                   | 536.1                     | 233.2                   | 536.1                     |
| 7        | 305.3                   | 823.3                     | 316.0                   | 844.7                     | 321.3                   | 868.1                     | 322.9                   | 883.7                     | 319.5                   | 862.5                     | 317.5                   | 851.4                     |
| 8        | 389.7                   | 1201.2                    | 405.3                   | 1235.4                    | 414.3                   | 1268.3                    | 418.8                   | 1309.9                    | 419.0                   | 1298.6                    | 414.6                   | 1270.9                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 127.6                   | 199.6                     | 119.9                   | 191.3                     | 113.5                   | 188.0                     | 107.6                   | 171.9                     | 103.7                   | 158.9                     | 103.7                   | 158.9                     |
| 5        | 189.7                   | 370.1                     | 183.5                   | 357.6                     | 177.3                   | 368.2                     | 171.5                   | 346.4                     | 162.0                   | 310.3                     | 162.0                   | 310.3                     |
| 6        | 261.9                   | 615.5                     | 258.1                   | 599.1                     | 253.3                   | 598.5                     | 248.0                   | 602.9                     | 236.1                   | 556.6                     | 233.2                   | 536.1                     |
| 7        | 343.9                   | 944.9                     | 343.4                   | 925.1                     | 340.7                   | 929.9                     | 336.7                   | 953.6                     | 325.9                   | 899.8                     | 317.5                   | 851.4                     |
| 8        | 435.8                   | 1368.9                    | 439.2                   | 1349.9                    | 439.2                   | 1357.9                    | 436.8                   | 1374.5                    | 428.1                   | 1351.8                    | 416.1                   | 1290.6                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 164.9                   | 264.5                     | 144.1                   | 233.4                     | 129.7                   | 234.3                     | 118.5                   | 204.6                     | 103.7                   | 158.9                     | 103.7                   | 158.9                     |
| 5        | 242.1                   | 484.6                     | 219.5                   | 435.1                     | 202.8                   | 414.9                     | 189.6                   | 412.3                     | 168.5                   | 344.2                     | 162.0                   | 310.3                     |
| 6        | 330.9                   | 800.1                     | 307.7                   | 725.7                     | 289.7                   | 698.5                     | 274.9                   | 717.9                     | 250.6                   | 619.4                     | 233.2                   | 536.1                     |
| 7        | 431.0                   | 1214.0                    | 408.1                   | 1120.3                    | 389.6                   | 1076.7                    | 373.8                   | 1056.6                    | 347.1                   | 1012.5                    | 324.6                   | 909.3                     |
| 8        | 542.1                   | 1749.2                    | 520.2                   | 1628.4                    | 501.8                   | 1569.2                    | 485.8                   | 1544.6                    | 457.7                   | 1524.4                    | 432.9                   | 1401.3                    |



$$\phi=27.5^\circ, i=18^\circ, A_0=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

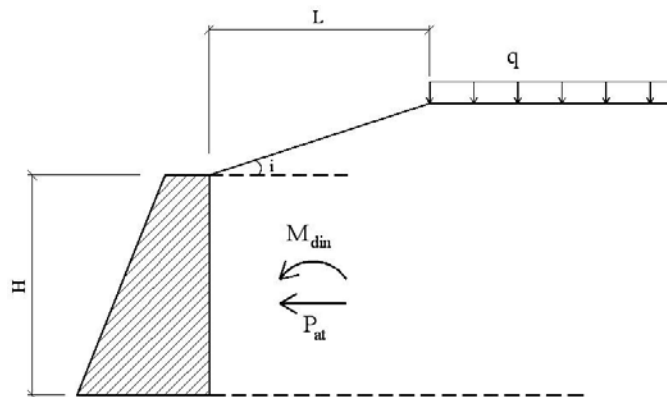
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 103.6                   | 160.0                     | 104.9                   | 165.9                     | 104.1                   | 165.4                     | 102.1                   | 160.1                     | 101.0                   | 156.2                     | 101.0                   | 156.2                     |
| 5        | 155.3                   | 299.7                     | 160.3                   | 310.4                     | 161.5                   | 321.4                     | 160.7                   | 315.8                     | 157.9                   | 305.1                     | 157.9                   | 305.1                     |
| 6        | 216.1                   | 501.6                     | 225.4                   | 520.0                     | 229.7                   | 541.2                     | 230.9                   | 545.1                     | 228.0                   | 531.4                     | 227.3                   | 527.1                     |
| 7        | 285.6                   | 774.4                     | 300.0                   | 805.3                     | 308.0                   | 834.4                     | 311.8                   | 859.4                     | 312.0                   | 852.7                     | 309.4                   | 837.1                     |
| 8        | 364.0                   | 1128.8                    | 383.8                   | 1176.1                    | 396.1                   | 1219.8                    | 403.2                   | 1265.9                    | 407.7                   | 1273.2                    | 404.5                   | 1254.6                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 119.7                   | 187.8                     | 114.4                   | 182.7                     | 109.8                   | 182.6                     | 105.4                   | 170.2                     | 101.0                   | 156.2                     | 101.0                   | 156.2                     |
| 5        | 177.5                   | 348.2                     | 174.4                   | 341.6                     | 170.7                   | 353.3                     | 166.7                   | 338.7                     | 157.9                   | 309.3                     | 157.9                   | 305.1                     |
| 6        | 244.6                   | 576.2                     | 244.7                   | 570.2                     | 242.8                   | 576.7                     | 239.8                   | 585.2                     | 231.7                   | 548.5                     | 227.3                   | 527.1                     |
| 7        | 320.7                   | 883.2                     | 324.7                   | 878.1                     | 325.5                   | 892.9                     | 324.4                   | 921.0                     | 318.0                   | 885.1                     | 309.4                   | 837.1                     |
| 8        | 405.8                   | 1277.9                    | 414.4                   | 1280.1                    | 418.5                   | 1297.7                    | 419.5                   | 1326.8                    | 416.2                   | 1322.9                    | 408.3                   | 1280.7                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 153.3                   | 246.5                     | 136.1                   | 220.4                     | 124.2                   | 224.1                     | 115.1                   | 199.7                     | 101.0                   | 156.2                     | 101.0                   | 156.2                     |
| 5        | 224.9                   | 453.0                     | 206.8                   | 411.9                     | 193.5                   | 395.2                     | 182.7                   | 394.6                     | 165.5                   | 337.8                     | 157.9                   | 305.1                     |
| 6        | 307.1                   | 741.9                     | 289.2                   | 685.1                     | 275.3                   | 663.9                     | 263.8                   | 688.7                     | 244.8                   | 610.0                     | 228.6                   | 548.0                     |
| 7        | 399.6                   | 1131.3                    | 382.9                   | 1054.9                    | 369.3                   | 1025.6                    | 357.6                   | 1015.8                    | 337.2                   | 980.8                     | 319.0                   | 904.5                     |
| 8        | 502.2                   | 1628.1                    | 487.5                   | 1530.7                    | 474.7                   | 1491.9                    | 463.2                   | 1480.2                    | 442.8                   | 1480.0                    | 423.9                   | 1372.9                    |



$$\phi=30^{\circ}, i=20^{\circ}, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

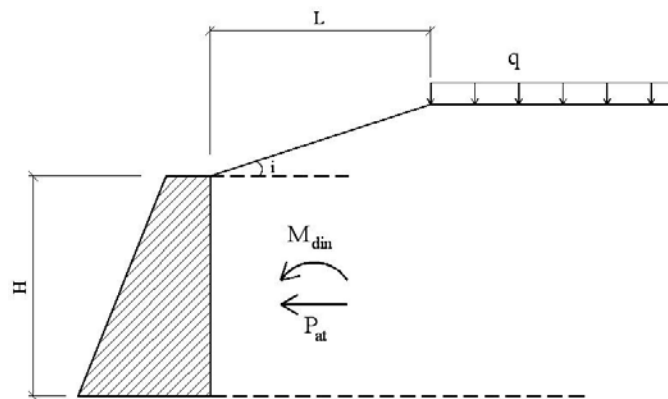
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 95.9                    | 148.3                     | 97.4                    | 154.2                     | 96.4                    | 152.8                     | 94.1                    | 147.1                     | 94.1                    | 145.8                     | 94.1                    | 145.8                     |
| 5        | 143.8                   | 278.2                     | 149.0                   | 289.9                     | 150.2                   | 298.5                     | 149.0                   | 292.3                     | 147.0                   | 284.8                     | 147.0                   | 284.8                     |
| 6        | 199.9                   | 464.4                     | 209.7                   | 485.2                     | 213.9                   | 509.1                     | 214.7                   | 506.7                     | 211.7                   | 492.2                     | 211.7                   | 492.2                     |
| 7        | 264.1                   | 717.5                     | 279.1                   | 751.1                     | 287.1                   | 781.4                     | 290.6                   | 801.1                     | 289.6                   | 791.1                     | 288.1                   | 781.5                     |
| 8        | 336.4                   | 1046.7                    | 356.9                   | 1096.8                    | 369.2                   | 1140.3                    | 376.0                   | 1181.2                    | 379.2                   | 1184.7                    | 376.3                   | 1166.6                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 110.1                   | 172.8                     | 105.5                   | 168.4                     | 100.9                   | 166.8                     | 96.5                    | 154.6                     | 94.1                    | 145.8                     | 94.1                    | 145.8                     |
| 5        | 163.5                   | 320.6                     | 161.2                   | 317.0                     | 157.7                   | 324.8                     | 153.6                   | 310.4                     | 147.0                   | 284.8                     | 147.0                   | 284.8                     |
| 6        | 225.4                   | 532.5                     | 226.4                   | 529.0                     | 224.9                   | 534.6                     | 221.9                   | 539.3                     | 213.2                   | 502.0                     | 211.7                   | 492.2                     |
| 7        | 295.6                   | 816.2                     | 300.7                   | 817.3                     | 301.9                   | 829.6                     | 300.8                   | 851.6                     | 293.8                   | 814.9                     | 288.1                   | 781.5                     |
| 8        | 374.0                   | 1180.6                    | 383.7                   | 1186.8                    | 388.4                   | 1209.2                    | 389.6                   | 1233.7                    | 385.7                   | 1222.7                    | 376.6                   | 1177.1                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 139.9                   | 224.5                     | 123.9                   | 201.5                     | 112.7                   | 199.5                     | 103.8                   | 175.6                     | 94.1                    | 145.8                     | 94.1                    | 145.8                     |
| 5        | 205.7                   | 413.3                     | 189.1                   | 377.9                     | 176.7                   | 363.4                     | 166.4                   | 355.7                     | 149.5                   | 301.0                     | 147.0                   | 284.8                     |
| 6        | 281.3                   | 679.3                     | 265.3                   | 629.2                     | 252.4                   | 609.2                     | 241.3                   | 624.8                     | 222.6                   | 549.0                     | 211.7                   | 492.2                     |
| 7        | 366.3                   | 1034.5                    | 351.7                   | 971.8                     | 339.3                   | 946.2                     | 328.4                   | 940.9                     | 308.6                   | 889.9                     | 290.2                   | 805.5                     |
| 8        | 460.5                   | 1492.2                    | 448.2                   | 1407.4                    | 437.0                   | 1378.1                    | 426.3                   | 1370.3                    | 406.6                   | 1349.5                    | 387.6                   | 1244.9                    |



$$\phi=32.5^\circ, i=22^\circ, A_o=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

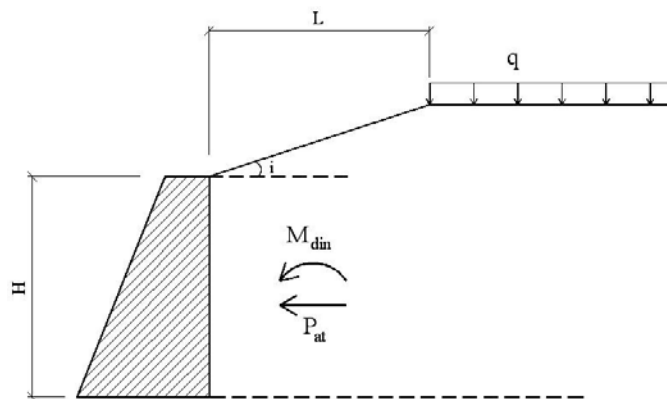
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 88.6                    | 137.7                     | 90.2                    | 145.6                     | 88.9                    | 140.6                     | 87.2                    | 135.6                     | 87.2                    | 135.6                     | 87.2                    | 135.6                     |
| 5        | 132.9                   | 257.8                     | 138.1                   | 269.4                     | 139.1                   | 276.3                     | 137.5                   | 270.4                     | 136.3                   | 264.8                     | 136.3                   | 264.8                     |
| 6        | 184.6                   | 430.8                     | 194.5                   | 452.3                     | 198.5                   | 472.5                     | 198.9                   | 470.5                     | 196.3                   | 457.6                     | 196.3                   | 457.6                     |
| 7        | 243.8                   | 664.4                     | 258.8                   | 698.8                     | 266.6                   | 727.7                     | 269.7                   | 744.0                     | 267.4                   | 730.0                     | 267.2                   | 726.7                     |
| 8        | 310.2                   | 966.3                     | 331.0                   | 1019.0                    | 343.1                   | 1064.6                    | 349.3                   | 1100.6                    | 351.0                   | 1096.6                    | 349.0                   | 1084.7                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 101.1                   | 159.1                     | 96.9                    | 155.8                     | 92.4                    | 151.7                     | 87.9                    | 139.6                     | 87.2                    | 135.6                     | 87.2                    | 135.6                     |
| 5        | 150.3                   | 295.5                     | 148.5                   | 293.8                     | 145.1                   | 297.5                     | 140.9                   | 283.3                     | 136.3                   | 264.8                     | 136.3                   | 264.8                     |
| 6        | 207.3                   | 489.5                     | 209.0                   | 489.6                     | 207.6                   | 497.0                     | 204.5                   | 495.2                     | 196.3                   | 457.6                     | 196.3                   | 457.6                     |
| 7        | 271.9                   | 750.5                     | 277.7                   | 756.6                     | 279.2                   | 772.0                     | 277.9                   | 784.8                     | 270.1                   | 746.7                     | 267.2                   | 726.7                     |
| 8        | 343.9                   | 1085.5                    | 354.5                   | 1102.0                    | 359.4                   | 1121.6                    | 360.6                   | 1164.9                    | 355.7                   | 1124.8                    | 349.0                   | 1084.7                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 127.3                   | 204.1                     | 112.5                   | 184.1                     | 101.8                   | 178.2                     | 93.2                    | 155.5                     | 87.2                    | 135.6                     | 87.2                    | 135.6                     |
| 5        | 187.8                   | 376.5                     | 172.6                   | 346.4                     | 160.8                   | 353.7                     | 150.9                   | 319.2                     | 136.3                   | 264.8                     | 136.3                   | 264.8                     |
| 6        | 257.1                   | 622.6                     | 242.7                   | 577.5                     | 230.8                   | 560.6                     | 220.1                   | 561.0                     | 201.5                   | 491.6                     | 196.3                   | 457.6                     |
| 7        | 335.1                   | 950.3                     | 322.4                   | 891.6                     | 311.1                   | 872.2                     | 300.7                   | 899.8                     | 281.1                   | 803.6                     | 267.2                   | 726.7                     |
| 8        | 421.6                   | 1369.0                    | 411.2                   | 1298.5                    | 401.3                   | 1268.1                    | 391.3                   | 1267.7                    | 371.9                   | 1225.6                    | 352.5                   | 1122.4                    |



$$\phi=35^{\circ}, i=25^{\circ}, A_0=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

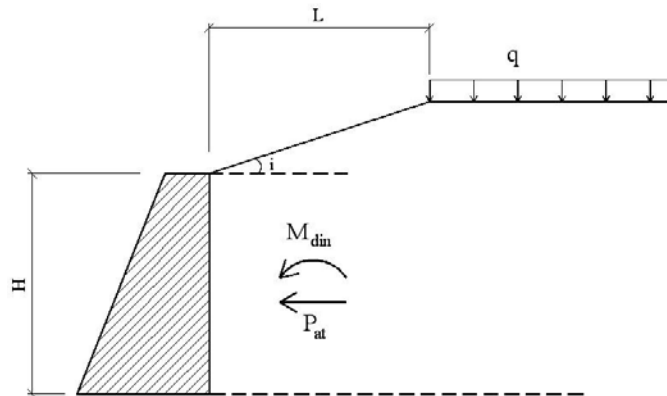
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 83.1                    | 129.7                     | 85.9                    | 139.1                     | 85.5                    | 136.1                     | 83.9                    | 131.6                     | 83.9                    | 131.6                     | 83.9                    | 131.6                     |
| 5        | 124.2                   | 242.3                     | 131.0                   | 257.8                     | 133.1                   | 265.6                     | 132.5                   | 262.7                     | 131.2                   | 257.0                     | 131.2                   | 257.0                     |
| 6        | 172.2                   | 404.0                     | 183.9                   | 429.6                     | 189.2                   | 452.1                     | 190.8                   | 454.4                     | 188.9                   | 444.0                     | 188.9                   | 444.0                     |
| 7        | 226.9                   | 621.6                     | 244.1                   | 662.8                     | 253.4                   | 697.8                     | 257.8                   | 715.0                     | 258.0                   | 710.8                     | 257.1                   | 705.1                     |
| 8        | 288.3                   | 903.5                     | 311.4                   | 964.8                     | 325.3                   | 1014.7                    | 333.2                   | 1054.9                    | 337.5                   | 1065.4                    | 335.8                   | 1052.5                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 94.3                    | 149.3                     | 91.8                    | 148.8                     | 88.6                    | 146.2                     | 85.1                    | 136.6                     | 83.9                    | 131.6                     | 83.9                    | 131.6                     |
| 5        | 139.9                   | 276.4                     | 140.3                   | 278.2                     | 138.5                   | 284.7                     | 135.6                   | 274.5                     | 131.2                   | 257.0                     | 131.2                   | 257.0                     |
| 6        | 192.6                   | 457.1                     | 196.7                   | 463.2                     | 197.3                   | 478.0                     | 195.9                   | 476.7                     | 189.1                   | 447.7                     | 188.9                   | 444.0                     |
| 7        | 252.2                   | 700.7                     | 261.0                   | 714.7                     | 264.8                   | 733.8                     | 265.3                   | 751.8                     | 260.7                   | 726.7                     | 257.1                   | 705.1                     |
| 8        | 318.7                   | 1012.2                    | 332.6                   | 1037.8                    | 340.0                   | 1070.6                    | 343.4                   | 1112.4                    | 341.9                   | 1088.8                    | 335.8                   | 1052.5                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 117.9                   | 190.4                     | 105.8                   | 174.4                     | 97.1                    | 170.3                     | 90.1                    | 151.5                     | 83.9                    | 131.6                     | 83.9                    | 131.6                     |
| 5        | 173.6                   | 350.3                     | 161.8                   | 326.3                     | 152.5                   | 335.2                     | 144.6                   | 307.2                     | 131.2                   | 257.0                     | 131.2                   | 257.0                     |
| 6        | 237.5                   | 575.7                     | 227.0                   | 542.8                     | 218.1                   | 533.7                     | 209.9                   | 536.0                     | 195.0                   | 475.1                     | 188.9                   | 444.0                     |
| 7        | 309.3                   | 877.7                     | 301.0                   | 836.3                     | 293.2                   | 828.1                     | 285.7                   | 855.3                     | 270.7                   | 779.2                     | 257.1                   | 705.1                     |
| 8        | 388.8                   | 1263.2                    | 383.4                   | 1215.2                    | 377.4                   | 1199.6                    | 370.8                   | 1210.6                    | 356.7                   | 1181.0                    | 341.6                   | 1099.0                    |



$$q=15\text{kN/m}^2$$

$$q=30\text{kN/m}^2$$
$$q=60\text{kN/m}^2$$

The diagram illustrates a retaining wall cross-section. The wall has a total height  $H$  and a top width  $L$ . The wall face is inclined at an angle  $\alpha$  to the vertical. A horizontal dashed line extends from the top of the wall. A uniformly distributed load  $q$  is applied horizontally to the wall face. The resultant force  $P_{at}$  acts horizontally at a distance  $M_{din}$  from the base. The wall is shown with a hatched pattern on the left side.

$$\phi=40^{\circ}, i=29^{\circ}, A_0=0.3$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

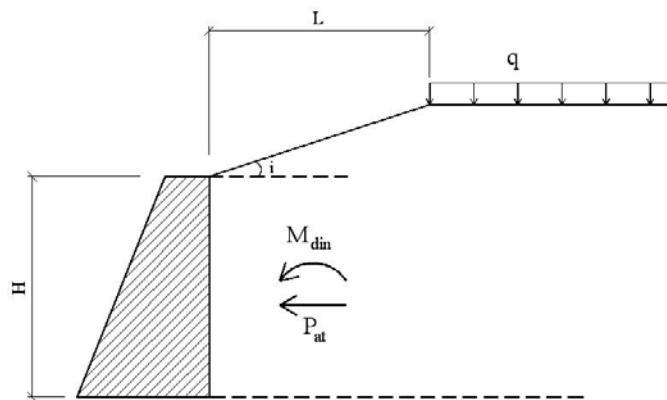
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 69.9                    | 110.1                     | 72.0                    | 116.7                     | 70.8                    | 112.7                     | 70.4                    | 110.9                     | 70.4                    | 110.9                     | 70.4                    | 110.9                     |
| 5        | 104.6                   | 205.2                     | 110.5                   | 220.6                     | 111.5                   | 222.9                     | 109.9                   | 216.6                     | 109.9                   | 216.6                     | 109.9                   | 216.6                     |
| 6        | 145.0                   | 341.8                     | 155.6                   | 367.1                     | 159.5                   | 382.7                     | 159.5                   | 379.4                     | 158.3                   | 374.2                     | 158.3                   | 374.2                     |
| 7        | 190.9                   | 525.4                     | 206.8                   | 566.5                     | 214.3                   | 599.3                     | 217.0                   | 604.3                     | 215.5                   | 594.3                     | 215.5                   | 594.3                     |
| 8        | 242.4                   | 765.4                     | 263.9                   | 824.7                     | 275.8                   | 869.4                     | 281.5                   | 895.8                     | 281.5                   | 888.7                     | 281.4                   | 887.1                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 78.4                    | 124.7                     | 76.0                    | 128.2                     | 72.5                    | 118.0                     | 70.4                    | 110.9                     | 70.4                    | 110.9                     | 70.4                    | 110.9                     |
| 5        | 116.6                   | 231.1                     | 117.0                   | 235.5                     | 114.8                   | 235.2                     | 111.1                   | 222.3                     | 109.9                   | 216.6                     | 109.9                   | 216.6                     |
| 6        | 160.9                   | 383.4                     | 165.0                   | 392.9                     | 164.9                   | 405.6                     | 162.3                   | 391.9                     | 158.3                   | 374.2                     | 158.3                   | 374.2                     |
| 7        | 210.8                   | 586.8                     | 219.3                   | 605.8                     | 222.1                   | 629.3                     | 221.5                   | 627.6                     | 215.5                   | 594.3                     | 215.5                   | 594.3                     |
| 8        | 266.3                   | 849.0                     | 279.8                   | 880.8                     | 286.1                   | 910.4                     | 287.9                   | 933.8                     | 283.4                   | 901.9                     | 281.4                   | 887.1                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 96.3                    | 156.7                     | 85.6                    | 144.5                     | 77.5                    | 132.6                     | 70.6                    | 115.1                     | 70.4                    | 110.9                     | 70.4                    | 110.9                     |
| 5        | 142.7                   | 289.3                     | 132.4                   | 270.7                     | 123.8                   | 267.2                     | 116.0                   | 240.8                     | 109.9                   | 216.6                     | 109.9                   | 216.6                     |
| 6        | 195.9                   | 476.2                     | 187.1                   | 452.9                     | 178.7                   | 466.4                     | 170.7                   | 432.1                     | 158.3                   | 374.2                     | 158.3                   | 374.2                     |
| 7        | 255.6                   | 726.9                     | 249.1                   | 696.1                     | 242.1                   | 692.1                     | 234.5                   | 692.5                     | 218.5                   | 617.2                     | 215.5                   | 594.3                     |
| 8        | 321.7                   | 1052.0                    | 318.2                   | 1012.9                    | 313.0                   | 1009.4                    | 306.5                   | 1038.5                    | 291.1                   | 949.9                     | 281.4                   | 887.1                     |



$$\phi=25^{\circ}, i=13^{\circ}, A_0=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

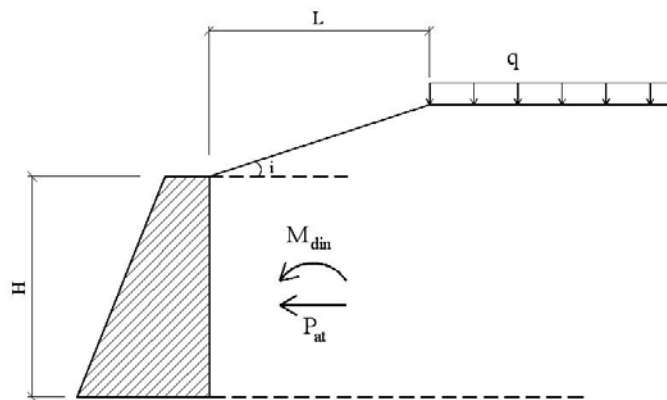
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 117.2                   | 186.3                     | 115.8                   | 192.2                     | 113.0                   | 183.6                     | 109.5                   | 174.8                     | 109.0                   | 171.3                     | 109.0                   | 171.3                     |
| 5        | 176.4                   | 349.3                     | 177.9                   | 356.9                     | 176.6                   | 358.8                     | 174.0                   | 348.8                     | 170.3                   | 334.6                     | 170.3                   | 334.6                     |
| 6        | 246.2                   | 584.9                     | 251.3                   | 597.6                     | 252.5                   | 615.0                     | 251.3                   | 606.4                     | 245.2                   | 578.2                     | 245.2                   | 578.2                     |
| 7        | 326.5                   | 904.6                     | 335.6                   | 925.8                     | 339.9                   | 952.2                     | 340.9                   | 959.3                     | 336.5                   | 933.8                     | 333.7                   | 918.1                     |
| 8        | 417.1                   | 1320.6                    | 430.8                   | 1352.1                    | 438.7                   | 1391.4                    | 442.2                   | 1422.3                    | 441.1                   | 1404.8                    | 435.9                   | 1370.5                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 137.1                   | 222.9                     | 128.0                   | 213.7                     | 120.6                   | 205.8                     | 113.9                   | 187.7                     | 109.0                   | 171.3                     | 109.0                   | 171.3                     |
| 5        | 203.7                   | 411.6                     | 195.8                   | 398.7                     | 188.5                   | 400.9                     | 181.6                   | 377.9                     | 170.3                   | 334.6                     | 170.3                   | 334.6                     |
| 6        | 281.2                   | 682.1                     | 275.5                   | 665.4                     | 269.3                   | 685.8                     | 262.8                   | 657.4                     | 249.1                   | 600.8                     | 245.2                   | 578.2                     |
| 7        | 369.3                   | 1045.1                    | 366.5                   | 1023.5                    | 362.2                   | 1027.7                    | 356.8                   | 1040.0                    | 343.9                   | 977.1                     | 333.7                   | 918.1                     |
| 8        | 467.9                   | 1512.3                    | 468.8                   | 1490.7                    | 466.9                   | 1501.3                    | 463.1                   | 1537.7                    | 452.2                   | 1469.1                    | 438.2                   | 1398.7                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 178.6                   | 299.3                     | 155.5                   | 267.2                     | 139.3                   | 259.0                     | 126.8                   | 225.8                     | 111.8                   | 190.4                     | 109.0                   | 171.3                     |
| 5        | 261.9                   | 547.3                     | 236.5                   | 493.9                     | 217.7                   | 505.1                     | 202.7                   | 454.1                     | 178.9                   | 377.6                     | 170.3                   | 334.6                     |
| 6        | 357.5                   | 895.9                     | 331.2                   | 818.2                     | 310.7                   | 787.8                     | 293.9                   | 789.8                     | 266.3                   | 679.4                     | 245.2                   | 578.2                     |
| 7        | 465.3                   | 1355.9                    | 439.0                   | 1257.4                    | 417.7                   | 1212.8                    | 399.5                   | 1248.9                    | 368.9                   | 1108.9                    | 343.5                   | 993.2                     |
| 8        | 584.9                   | 1949.4                    | 559.3                   | 1821.0                    | 537.8                   | 1761.4                    | 519.1                   | 1738.0                    | 486.8                   | 1670.2                    | 458.3                   | 1529.4                    |



$$\phi=27.5^\circ, i=15^\circ, A_0=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

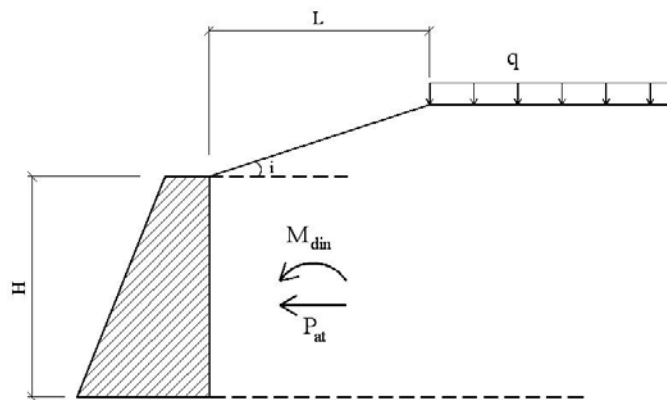
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 108.9                   | 173.6                     | 108.0                   | 179.0                     | 105.4                   | 170.9                     | 102.4                   | 161.6                     | 102.4                   | 161.6                     | 102.4                   | 161.6                     |
| 5        | 163.8                   | 325.3                     | 166.1                   | 334.0                     | 165.2                   | 335.2                     | 162.4                   | 325.4                     | 160.0                   | 315.6                     | 160.0                   | 315.6                     |
| 6        | 228.5                   | 544.6                     | 234.7                   | 559.6                     | 236.4                   | 575.6                     | 235.2                   | 567.5                     | 230.4                   | 545.4                     | 230.4                   | 545.4                     |
| 7        | 302.8                   | 841.7                     | 313.4                   | 867.0                     | 318.3                   | 897.4                     | 319.5                   | 899.6                     | 314.6                   | 873.4                     | 313.7                   | 866.1                     |
| 8        | 386.5                   | 1227.9                    | 402.0                   | 1265.4                    | 410.8                   | 1306.1                    | 414.7                   | 1335.0                    | 413.3                   | 1317.2                    | 409.7                   | 1292.8                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 126.5                   | 205.7                     | 118.3                   | 197.8                     | 111.3                   | 188.7                     | 104.9                   | 171.6                     | 102.4                   | 161.6                     | 102.4                   | 161.6                     |
| 5        | 188.1                   | 381.0                     | 181.5                   | 371.2                     | 174.9                   | 370.2                     | 168.2                   | 348.2                     | 160.0                   | 315.6                     | 160.0                   | 315.6                     |
| 6        | 259.8                   | 630.3                     | 255.7                   | 618.8                     | 250.4                   | 635.5                     | 244.3                   | 608.8                     | 230.9                   | 554.3                     | 230.4                   | 545.4                     |
| 7        | 341.2                   | 966.0                     | 340.5                   | 953.1                     | 337.3                   | 962.8                     | 332.5                   | 966.4                     | 319.7                   | 900.8                     | 313.7                   | 866.1                     |
| 8        | 432.3                   | 1398.0                    | 435.5                   | 1388.4                    | 435.1                   | 1401.1                    | 432.2                   | 1431.9                    | 421.6                   | 1367.0                    | 409.7                   | 1292.8                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 163.3                   | 273.3                     | 141.8                   | 243.4                     | 126.5                   | 232.5                     | 114.6                   | 201.4                     | 102.4                   | 161.6                     | 102.4                   | 161.6                     |
| 5        | 240.0                   | 500.9                     | 216.8                   | 454.1                     | 199.2                   | 455.7                     | 184.8                   | 409.8                     | 161.9                   | 337.1                     | 160.0                   | 315.6                     |
| 6        | 328.2                   | 819.7                     | 304.4                   | 753.5                     | 285.6                   | 724.3                     | 269.6                   | 718.6                     | 243.4                   | 614.5                     | 230.4                   | 545.4                     |
| 7        | 427.5                   | 1248.3                    | 404.1                   | 1160.0                    | 384.7                   | 1121.7                    | 368.1                   | 1142.4                    | 339.1                   | 1002.9                    | 313.7                   | 898.2                     |
| 8        | 537.7                   | 1795.6                    | 515.6                   | 1679.6                    | 496.5                   | 1632.1                    | 479.1                   | 1606.0                    | 448.9                   | 1529.4                    | 421.5                   | 1383.7                    |



$$\phi=30^{\circ}, i=18^{\circ}, A_o=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

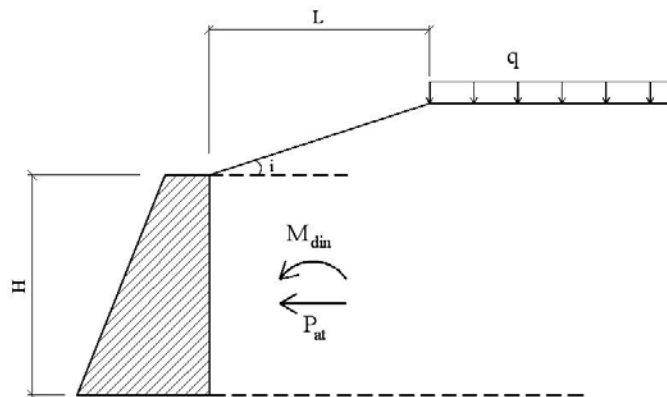
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 102.7                   | 164.4                     | 103.7                   | 172.3                     | 102.4                   | 167.2                     | 99.7                    | 159.7                     | 99.6                    | 158.5                     | 99.6                    | 158.5                     |
| 5        | 154.0                   | 307.0                     | 158.7                   | 320.9                     | 159.5                   | 325.4                     | 158.2                   | 319.5                     | 155.6                   | 309.5                     | 155.6                   | 309.5                     |
| 6        | 214.3                   | 512.5                     | 223.5                   | 535.4                     | 227.3                   | 555.7                     | 227.9                   | 553.6                     | 224.0                   | 534.9                     | 224.0                   | 534.9                     |
| 7        | 283.3                   | 790.3                     | 297.5                   | 826.6                     | 305.1                   | 861.6                     | 308.3                   | 873.0                     | 306.9                   | 860.2                     | 304.9                   | 849.4                     |
| 8        | 361.1                   | 1153.1                    | 380.7                   | 1205.4                    | 392.6                   | 1252.1                    | 399.1                   | 1290.9                    | 401.8                   | 1291.2                    | 398.3                   | 1267.9                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 118.6                   | 193.6                     | 112.9                   | 189.8                     | 107.6                   | 182.1                     | 102.6                   | 169.6                     | 99.6                    | 158.5                     | 99.6                    | 158.5                     |
| 5        | 176.0                   | 357.5                     | 172.5                   | 354.7                     | 168.2                   | 357.1                     | 163.3                   | 338.3                     | 155.6                   | 309.5                     | 155.6                   | 309.5                     |
| 6        | 242.6                   | 591.6                     | 242.3                   | 589.2                     | 239.9                   | 609.8                     | 236.1                   | 588.4                     | 226.3                   | 549.7                     | 224.0                   | 534.9                     |
| 7        | 318.2                   | 905.2                     | 321.9                   | 905.0                     | 322.1                   | 920.2                     | 320.1                   | 933.6                     | 311.9                   | 886.7                     | 304.9                   | 849.4                     |
| 8        | 402.6                   | 1308.2                    | 410.9                   | 1315.2                    | 414.5                   | 1342.0                    | 414.9                   | 1378.2                    | 409.5                   | 1337.4                    | 398.9                   | 1277.6                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 151.7                   | 254.7                     | 133.9                   | 231.1                     | 121.3                   | 221.3                     | 111.3                   | 194.8                     | 100.0                   | 168.0                     | 99.6                    | 158.5                     |
| 5        | 222.9                   | 466.0                     | 204.1                   | 429.8                     | 190.0                   | 433.9                     | 178.4                   | 393.5                     | 159.5                   | 332.5                     | 155.6                   | 309.5                     |
| 6        | 304.5                   | 764.7                     | 286.1                   | 711.3                     | 271.4                   | 691.9                     | 258.8                   | 685.9                     | 237.4                   | 598.4                     | 224.0                   | 534.9                     |
| 7        | 396.4                   | 1158.8                    | 379.1                   | 1089.3                    | 364.6                   | 1064.1                    | 351.8                   | 1091.7                    | 329.3                   | 980.1                     | 309.0                   | 887.0                     |
| 8        | 498.2                   | 1665.6                    | 483.0                   | 1579.1                    | 469.5                   | 1548.0                    | 457.0                   | 1540.1                    | 433.8                   | 1483.9                    | 412.5                   | 1368.0                    |



$$\phi=32.5^\circ, i=20^\circ, A_0=0.4$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

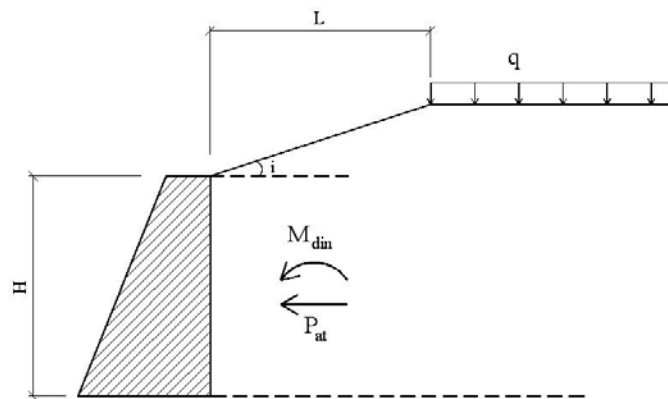
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 95.1                    | 152.7                     | 96.2                    | 159.7                     | 94.8                    | 154.5                     | 92.7                    | 148.1                     | 92.7                    | 148.1                     | 92.7                    | 148.1                     |
| 5        | 142.6                   | 285.4                     | 147.5                   | 299.1                     | 148.2                   | 302.1                     | 146.5                   | 295.7                     | 144.9                   | 289.2                     | 144.9                   | 289.2                     |
| 6        | 198.3                   | 475.7                     | 207.8                   | 499.4                     | 211.5                   | 517.2                     | 211.8                   | 514.5                     | 208.6                   | 499.8                     | 208.6                   | 499.8                     |
| 7        | 262.0                   | 733.9                     | 276.7                   | 771.6                     | 284.2                   | 810.3                     | 287.0                   | 813.3                     | 284.4                   | 797.1                     | 284.0                   | 793.7                     |
| 8        | 333.7                   | 1067.6                    | 353.9                   | 1123.9                    | 365.8                   | 1175.2                    | 372.0                   | 1205.0                    | 373.5                   | 1201.2                    | 370.9                   | 1184.7                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 109.1                   | 178.6                     | 104.0                   | 181.7                     | 98.9                    | 166.3                     | 93.7                    | 153.9                     | 92.7                    | 148.1                     | 92.7                    | 148.1                     |
| 5        | 162.1                   | 330.2                     | 159.3                   | 328.3                     | 155.3                   | 328.3                     | 150.4                   | 309.9                     | 144.9                   | 289.2                     | 144.9                   | 289.2                     |
| 6        | 223.6                   | 545.5                     | 224.2                   | 546.6                     | 222.1                   | 562.9                     | 218.2                   | 542.1                     | 208.6                   | 499.8                     | 208.6                   | 499.8                     |
| 7        | 293.2                   | 834.7                     | 297.9                   | 840.1                     | 298.6                   | 859.2                     | 296.6                   | 863.5                     | 287.8                   | 815.9                     | 284.0                   | 793.7                     |
| 8        | 371.0                   | 1206.2                    | 380.4                   | 1221.3                    | 384.6                   | 1248.5                    | 385.0                   | 1277.3                    | 379.1                   | 1235.9                    | 370.9                   | 1184.7                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 138.4                   | 233.1                     | 121.8                   | 211.9                     | 109.9                   | 198.4                     | 100.3                   | 173.3                     | 92.7                    | 148.1                     | 92.7                    | 148.1                     |
| 5        | 203.8                   | 425.8                     | 186.5                   | 393.8                     | 173.3                   | 392.6                     | 162.2                   | 354.5                     | 144.9                   | 289.2                     | 144.9                   | 289.2                     |
| 6        | 278.8                   | 699.3                     | 262.2                   | 653.9                     | 248.6                   | 639.0                     | 236.7                   | 622.5                     | 215.7                   | 538.7                     | 208.6                   | 499.8                     |
| 7        | 363.3                   | 1064.6                    | 348.1                   | 1002.3                    | 334.9                   | 984.2                     | 322.8                   | 995.5                     | 300.9                   | 888.7                     | 284.0                   | 793.7                     |
| 8        | 456.8                   | 1530.6                    | 444.0                   | 1455.7                    | 432.0                   | 1430.9                    | 420.4                   | 1476.9                    | 397.8                   | 1343.0                    | 376.4                   | 1239.2                    |



$\phi=35^\circ, i=22^\circ, A_0=0.4$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

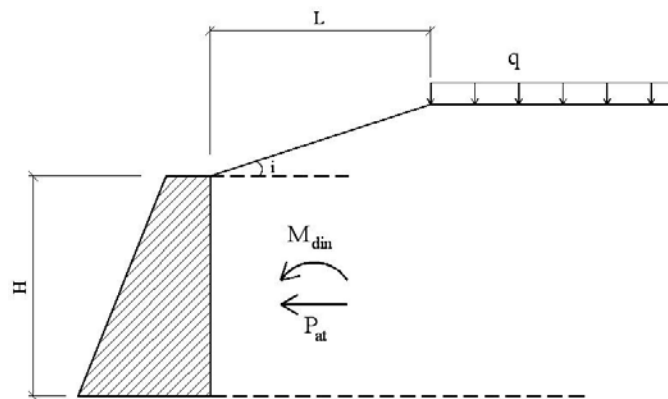
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 87.8                    | 141.4                     | 89.0                    | 147.4                     | 87.3                    | 142.1                     | 86.0                    | 137.8                     | 86.0                    | 137.8                     | 86.0                    | 137.8                     |
| 5        | 131.8                   | 264.6                     | 136.7                   | 279.3                     | 137.1                   | 280.4                     | 135.0                   | 272.1                     | 134.3                   | 269.1                     | 134.3                   | 269.1                     |
| 6        | 183.1                   | 441.4                     | 192.6                   | 466.6                     | 196.1                   | 481.3                     | 195.9                   | 476.0                     | 193.4                   | 465.0                     | 193.4                   | 465.0                     |
| 7        | 241.8                   | 679.8                     | 256.6                   | 718.1                     | 263.9                   | 753.2                     | 266.2                   | 756.8                     | 263.3                   | 738.4                     | 263.3                   | 738.4                     |
| 8        | 307.8                   | 988.0                     | 328.2                   | 1045.8                    | 339.8                   | 1096.1                    | 345.4                   | 1120.4                    | 345.3                   | 1111.6                    | 343.9                   | 1102.2                    |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 100.1                   | 164.2                     | 95.5                    | 165.9                     | 90.4                    | 151.1                     | 86.0                    | 137.8                     | 86.0                    | 137.8                     | 86.0                    | 137.8                     |
| 5        | 149.0                   | 303.7                     | 146.8                   | 304.6                     | 142.8                   | 300.7                     | 137.7                   | 282.5                     | 134.3                   | 269.1                     | 134.3                   | 269.1                     |
| 6        | 205.6                   | 503.2                     | 206.8                   | 506.9                     | 204.8                   | 517.8                     | 200.8                   | 497.2                     | 193.4                   | 465.0                     | 193.4                   | 465.0                     |
| 7        | 269.7                   | 770.0                     | 275.1                   | 780.2                     | 275.9                   | 813.9                     | 273.9                   | 795.7                     | 264.1                   | 746.3                     | 263.3                   | 738.4                     |
| 8        | 341.1                   | 1112.4                    | 351.3                   | 1131.2                    | 355.8                   | 1162.9                    | 355.9                   | 1179.4                    | 349.2                   | 1136.6                    | 343.9                   | 1102.2                    |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 125.9                   | 212.3                     | 110.5                   | 194.2                     | 99.1                    | 177.1                     | 89.9                    | 153.2                     | 86.0                    | 137.8                     | 86.0                    | 137.8                     |
| 5        | 186.0                   | 389.8                     | 170.1                   | 361.3                     | 157.5                   | 354.1                     | 146.9                   | 317.8                     | 134.3                   | 269.1                     | 134.3                   | 269.1                     |
| 6        | 254.8                   | 639.8                     | 239.8                   | 600.6                     | 227.0                   | 612.2                     | 215.6                   | 562.8                     | 194.9                   | 481.9                     | 193.4                   | 465.0                     |
| 7        | 332.2                   | 974.3                     | 318.9                   | 921.2                     | 306.8                   | 903.3                     | 295.2                   | 905.0                     | 273.6                   | 801.9                     | 263.3                   | 738.4                     |
| 8        | 418.1                   | 1401.8                    | 407.2                   | 1337.7                    | 396.5                   | 1321.7                    | 385.5                   | 1347.2                    | 363.3                   | 1218.4                    | 343.9                   | 1102.2                    |



$$q=15\text{kN/m}^2$$

$$q=30\text{kN/m}^2$$
$$q=60\text{kN/m}^2$$

The diagram illustrates a retaining wall cross-section. The wall has a total height  $H$  and a top width  $L$ . The wall face is inclined at an angle  $\alpha$  to the vertical. A horizontal dashed line indicates the top of the wall. A uniformly distributed load  $q$  is applied horizontally to the wall face. The resultant force  $P_{at}$  acts at a distance  $H/3$  from the base. The moment  $M_{din}$  is shown acting on the wall face.

$$q=15\text{kN/m}^2$$

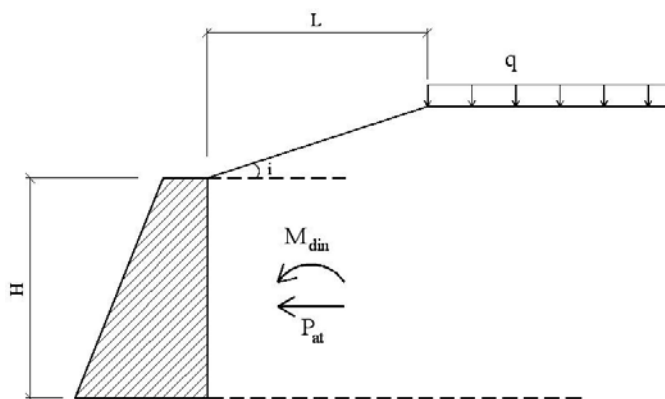
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 75.7                    | 123.1                     | 77.7                    | 129.6                     | 76.4                    | 125.0                     | 75.7                    | 122.8                     | 75.7                    | 122.8                     | 75.7                    | 122.8                     |
| 5        | 113.2                   | 229.3                     | 119.2                   | 247.9                     | 120.1                   | 247.1                     | 118.3                   | 239.8                     | 118.3                   | 239.8                     | 118.3                   | 239.8                     |
| 6        | 156.9                   | 381.2                     | 167.7                   | 409.6                     | 171.8                   | 423.9                     | 171.9                   | 422.0                     | 170.3                   | 414.4                     | 170.3                   | 414.4                     |
| 7        | 206.7                   | 585.7                     | 222.9                   | 631.1                     | 230.9                   | 664.5                     | 233.6                   | 669.1                     | 231.8                   | 658.0                     | 231.8                   | 658.0                     |
| 8        | 262.5                   | 851.3                     | 284.6                   | 916.2                     | 296.9                   | 974.3                     | 303.0                   | 992.4                     | 303.1                   | 986.6                     | 302.8                   | 982.2                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 85.2                    | 141.4                     | 82.4                    | 142.6                     | 78.4                    | 131.0                     | 75.7                    | 122.8                     | 75.7                    | 122.8                     | 75.7                    | 122.8                     |
| 5        | 126.8                   | 260.9                     | 126.7                   | 266.0                     | 124.1                   | 261.3                     | 119.9                   | 248.2                     | 118.3                   | 239.8                     | 118.3                   | 239.8                     |
| 6        | 174.7                   | 431.0                     | 178.4                   | 443.3                     | 178.0                   | 450.0                     | 175.2                   | 437.5                     | 170.3                   | 414.4                     | 170.3                   | 414.4                     |
| 7        | 229.0                   | 658.5                     | 237.2                   | 679.0                     | 239.9                   | 708.5                     | 239.0                   | 696.2                     | 231.8                   | 658.0                     | 231.8                   | 658.0                     |
| 8        | 289.3                   | 950.0                     | 302.6                   | 985.1                     | 309.0                   | 1025.3                    | 310.7                   | 1036.6                    | 305.6                   | 999.9                     | 302.8                   | 982.2                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           | L=20m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) | P <sub>at</sub><br>(kN) | M <sub>din</sub><br>(kNm) |
| 4        | 105.4                   | 179.3                     | 93.5                    | 174.3                     | 84.4                    | 149.5                     | 77.2                    | 132.9                     | 75.7                    | 122.8                     | 75.7                    | 122.8                     |
| 5        | 156.0                   | 329.0                     | 144.3                   | 312.5                     | 134.6                   | 300.3                     | 125.9                   | 271.2                     | 118.3                   | 239.8                     | 118.3                   | 239.8                     |
| 6        | 214.0                   | 540.2                     | 203.7                   | 515.8                     | 194.4                   | 520.5                     | 185.4                   | 481.6                     | 170.3                   | 414.4                     | 170.3                   | 414.4                     |
| 7        | 279.1                   | 822.2                     | 271.1                   | 793.9                     | 262.8                   | 792.8                     | 254.3                   | 776.1                     | 236.6                   | 693.0                     | 231.8                   | 658.0                     |
| 8        | 351.0                   | 1186.1                    | 346.2                   | 1150.5                    | 339.7                   | 1145.0                    | 332.0                   | 1155.0                    | 314.7                   | 1062.7                    | 302.8                   | 982.2                     |



$$\phi=25^{\circ}, i=13^{\circ}, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

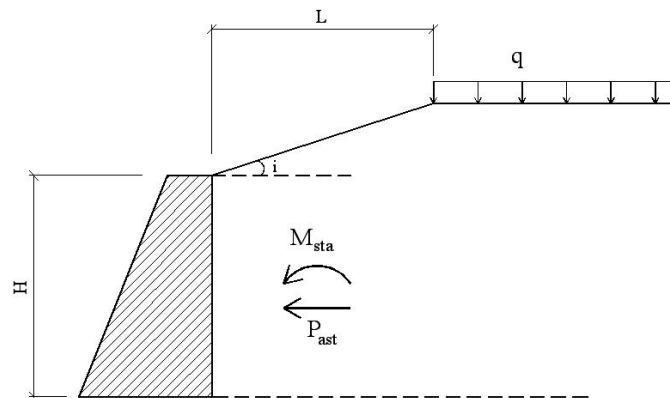
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 77.1                    | 99.5                      | 70.0                    | 93.3                      | 70.0                    | 93.3                      | 70.0                    | 93.3                      | 70.0                    | 93.3                      |
| 5        | 119.0                   | 195.5                     | 111.9                   | 181.7                     | 109.3                   | 182.2                     | 109.3                   | 182.2                     | 109.3                   | 182.2                     |
| 6        | 168.7                   | 337.5                     | 163.3                   | 318.7                     | 157.4                   | 314.8                     | 157.4                   | 314.8                     | 157.4                   | 314.8                     |
| 7        | 225.9                   | 532.4                     | 222.8                   | 510.5                     | 215.2                   | 495.3                     | 214.2                   | 499.9                     | 214.2                   | 499.9                     |
| 8        | 290.5                   | 787.3                     | 290.2                   | 763.2                     | 284.2                   | 746.9                     | 279.8                   | 746.1                     | 279.8                   | 746.1                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 87.2                    | 110.4                     | 72.0                    | 89.3                      | 70.0                    | 93.3                      | 70.0                    | 93.3                      | 70.0                    | 93.3                      |
| 5        | 134.0                   | 216.6                     | 117.8                   | 184.3                     | 109.3                   | 182.2                     | 109.3                   | 182.2                     | 109.3                   | 182.2                     |
| 6        | 188.8                   | 375.4                     | 172.8                   | 327.5                     | 157.4                   | 314.8                     | 157.4                   | 314.8                     | 157.4                   | 314.8                     |
| 7        | 251.4                   | 592.1                     | 236.5                   | 530.0                     | 220.6                   | 494.6                     | 214.2                   | 499.9                     | 214.2                   | 499.9                     |
| 8        | 321.6                   | 874.5                     | 308.4                   | 796.1                     | 293.0                   | 752.1                     | 279.8                   | 746.1                     | 279.8                   | 746.1                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 109.3                   | 135.0                     | 81.1                    | 93.5                      | 70.0                    | 93.3                      | 70.0                    | 93.3                      | 70.0                    | 93.3                      |
| 5        | 166.8                   | 268.9                     | 134.1                   | 197.9                     | 109.3                   | 182.2                     | 109.3                   | 182.2                     | 109.3                   | 182.2                     |
| 6        | 233.7                   | 463.3                     | 197.8                   | 359.2                     | 169.0                   | 304.9                     | 157.4                   | 314.8                     | 157.4                   | 314.8                     |
| 7        | 309.5                   | 726.0                     | 271.4                   | 585.9                     | 239.6                   | 509.0                     | 214.2                   | 499.9                     | 214.2                   | 499.9                     |
| 8        | 394.0                   | 1073.5                    | 354.6                   | 894.0                     | 320.5                   | 785.2                     | 290.0                   | 715.9                     | 279.8                   | 746.1                     |



$$\phi=25^{\circ}, i=15^{\circ}, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

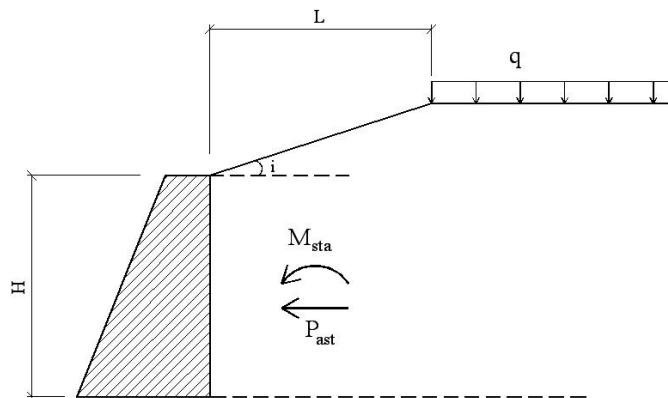
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 79.7                    | 103.7                     | 73.5                    | 95.4                      | 72.7                    | 96.9                      | 72.7                    | 96.9                      | 72.7                    | 96.9                      |
| 5        | 122.2                   | 202.3                     | 117.5                   | 190.7                     | 113.6                   | 189.3                     | 113.6                   | 189.3                     | 113.6                   | 189.3                     |
| 6        | 172.6                   | 347.6                     | 170.0                   | 332.9                     | 163.6                   | 322.8                     | 163.5                   | 327.1                     | 163.5                   | 327.1                     |
| 7        | 230.4                   | 546.5                     | 230.8                   | 531.4                     | 225.9                   | 519.1                     | 222.6                   | 519.4                     | 222.6                   | 519.4                     |
| 8        | 295.7                   | 806.1                     | 299.4                   | 794.0                     | 296.7                   | 780.1                     | 290.7                   | 775.3                     | 290.7                   | 775.3                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 90.3                    | 115.8                     | 77.2                    | 96.1                      | 72.7                    | 96.9                      | 72.7                    | 96.9                      | 72.7                    | 96.9                      |
| 5        | 137.8                   | 225.1                     | 124.4                   | 195.9                     | 113.6                   | 189.3                     | 113.6                   | 189.3                     | 113.6                   | 189.3                     |
| 6        | 193.2                   | 387.8                     | 180.7                   | 344.7                     | 167.7                   | 321.8                     | 163.5                   | 327.1                     | 163.5                   | 327.1                     |
| 7        | 256.5                   | 609.2                     | 245.6                   | 555.0                     | 233.0                   | 522.7                     | 222.6                   | 519.4                     | 222.6                   | 519.4                     |
| 8        | 327.4                   | 896.7                     | 318.8                   | 829.3                     | 307.2                   | 790.5                     | 293.9                   | 763.2                     | 290.7                   | 775.3                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 113.3                   | 142.8                     | 87.8                    | 102.8                     | 72.7                    | 96.9                      | 72.7                    | 96.9                      | 72.7                    | 96.9                      |
| 5        | 171.6                   | 277.7                     | 142.5                   | 213.6                     | 120.1                   | 179.9                     | 113.6                   | 189.3                     | 113.6                   | 189.3                     |
| 6        | 239.3                   | 480.4                     | 207.6                   | 383.0                     | 182.0                   | 330.2                     | 163.5                   | 327.1                     | 163.5                   | 327.1                     |
| 7        | 315.8                   | 748.7                     | 282.7                   | 619.1                     | 254.9                   | 546.9                     | 230.6                   | 498.5                     | 222.6                   | 519.4                     |
| 8        | 401.0                   | 1102.8                    | 367.3                   | 938.5                     | 338.0                   | 836.7                     | 311.4                   | 770.6                     | 290.7                   | 775.3                     |



$$q=15\text{kN/m}^2$$

$$q=30\text{kN/m}^2$$
$$q=60\text{kN/m}^2$$

The diagram illustrates a retaining wall cross-section. The wall has a total height  $H$  and a top width  $L$ . The wall face is inclined at an angle  $i$  to the horizontal. A uniform surcharge load  $q$  is applied to the ground surface behind the wall. The active earth pressure is represented by a horizontal arrow  $P_{\text{ast}}$  acting at a height  $M_{\text{sta}}$  from the base. The wall is shown with a hatched pattern on its left side.

$$\phi=27.5^\circ, i=18^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

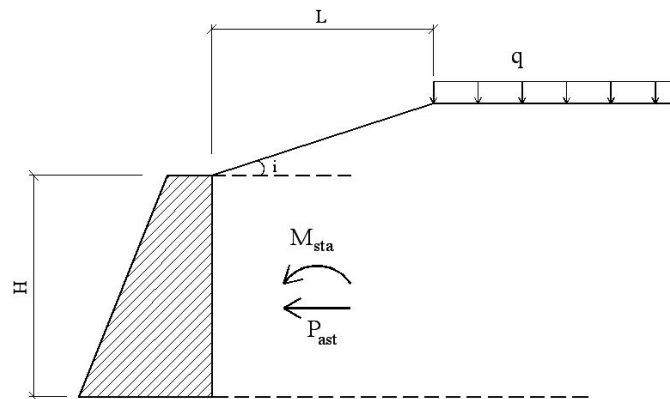
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 74.6                    | 97.7                      | 69.7                    | 90.8                      | 68.8                    | 91.7                      | 68.8                    | 91.7                      | 68.8                    | 91.7                      |
| 5        | 114.0                   | 189.8                     | 111.0                   | 180.8                     | 107.5                   | 179.2                     | 107.5                   | 179.2                     | 107.5                   | 179.2                     |
| 6        | 160.5                   | 325.3                     | 160.3                   | 315.1                     | 155.3                   | 307.4                     | 154.8                   | 309.6                     | 154.8                   | 309.6                     |
| 7        | 213.9                   | 510.2                     | 216.9                   | 500.2                     | 213.9                   | 492.2                     | 210.7                   | 491.7                     | 210.7                   | 491.7                     |
| 8        | 274.1                   | 751.0                     | 280.9                   | 745.8                     | 280.4                   | 738.5                     | 275.2                   | 734.0                     | 275.2                   | 734.0                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 84.1                    | 107.9                     | 73.0                    | 91.4                      | 68.8                    | 91.7                      | 68.8                    | 91.7                      | 68.8                    | 91.7                      |
| 5        | 127.9                   | 210.8                     | 117.2                   | 185.4                     | 107.5                   | 179.2                     | 107.5                   | 179.2                     | 107.5                   | 179.2                     |
| 6        | 179.1                   | 359.3                     | 169.7                   | 326.3                     | 159.0                   | 306.4                     | 154.8                   | 309.6                     | 154.8                   | 309.6                     |
| 7        | 237.4                   | 563.7                     | 230.2                   | 521.3                     | 220.2                   | 496.0                     | 210.7                   | 491.7                     | 210.7                   | 491.7                     |
| 8        | 302.6                   | 828.6                     | 298.2                   | 781.3                     | 289.8                   | 749.4                     | 278.8                   | 726.8                     | 275.2                   | 734.0                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 104.6                   | 131.8                     | 82.3                    | 97.2                      | 68.8                    | 91.7                      | 68.8                    | 91.7                      | 68.8                    | 91.7                      |
| 5        | 158.2                   | 258.8                     | 133.1                   | 200.8                     | 113.5                   | 171.5                     | 107.5                   | 179.2                     | 107.5                   | 179.2                     |
| 6        | 220.4                   | 441.6                     | 193.6                   | 358.6                     | 171.5                   | 313.5                     | 154.8                   | 309.6                     | 154.8                   | 309.6                     |
| 7        | 290.7                   | 694.0                     | 263.2                   | 577.6                     | 239.5                   | 517.3                     | 218.4                   | 475.5                     | 210.7                   | 491.7                     |
| 8        | 368.9                   | 1020.3                    | 341.5                   | 873.8                     | 317.0                   | 788.5                     | 294.2                   | 732.9                     | 275.2                   | 734.0                     |



$$\phi=30^{\circ}, i=18^{\circ}, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

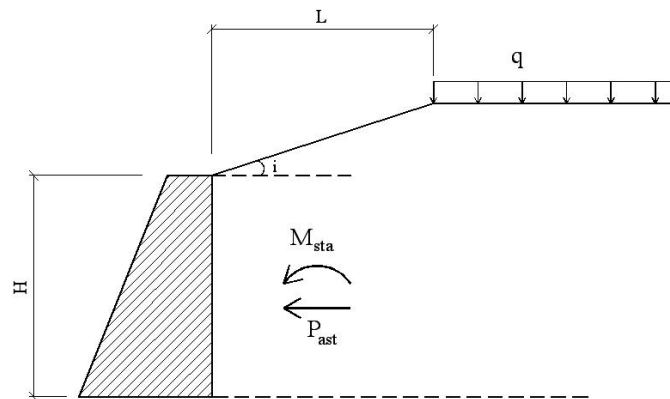
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 66.1                    | 85.6                      | 61.0                    | 81.3                      | 61.0                    | 81.3                      | 61.0                    | 81.3                      | 61.0                    | 81.3                      |
| 5        | 101.7                   | 167.6                     | 97.1                    | 158.4                     | 95.3                    | 158.8                     | 95.3                    | 158.8                     | 95.3                    | 158.8                     |
| 6        | 143.8                   | 288.5                     | 141.4                   | 277.1                     | 137.2                   | 274.5                     | 137.2                   | 274.5                     | 137.2                   | 274.5                     |
| 7        | 192.1                   | 454.0                     | 192.6                   | 442.9                     | 187.2                   | 432.6                     | 186.8                   | 435.9                     | 186.8                   | 435.9                     |
| 8        | 246.6                   | 672.8                     | 250.4                   | 662.5                     | 247.1                   | 650.6                     | 244.0                   | 650.6                     | 244.0                   | 650.6                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 73.9                    | 93.2                      | 61.7                    | 77.7                      | 61.0                    | 81.3                      | 61.0                    | 81.3                      | 61.0                    | 81.3                      |
| 5        | 113.4                   | 183.9                     | 101.2                   | 159.7                     | 95.3                    | 158.8                     | 95.3                    | 158.8                     | 95.3                    | 158.8                     |
| 6        | 159.7                   | 318.0                     | 148.4                   | 283.2                     | 137.2                   | 274.5                     | 137.2                   | 274.5                     | 137.2                   | 274.5                     |
| 7        | 212.4                   | 501.0                     | 202.9                   | 457.2                     | 190.8                   | 430.4                     | 186.8                   | 435.9                     | 186.8                   | 435.9                     |
| 8        | 271.4                   | 738.9                     | 264.3                   | 685.2                     | 253.3                   | 654.1                     | 244.0                   | 650.6                     | 244.0                   | 650.6                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 90.9                    | 111.2                     | 67.9                    | 79.5                      | 61.0                    | 81.3                      | 61.0                    | 81.3                      | 61.0                    | 81.3                      |
| 5        | 139.2                   | 221.9                     | 112.8                   | 167.9                     | 95.3                    | 158.8                     | 95.3                    | 158.8                     | 95.3                    | 158.8                     |
| 6        | 195.2                   | 386.6                     | 166.9                   | 303.7                     | 143.5                   | 262.9                     | 137.2                   | 274.5                     | 137.2                   | 274.5                     |
| 7        | 258.6                   | 605.4                     | 229.4                   | 498.7                     | 203.9                   | 437.8                     | 186.8                   | 435.9                     | 186.8                   | 435.9                     |
| 8        | 329.2                   | 894.8                     | 299.7                   | 752.7                     | 272.9                   | 675.5                     | 248.2                   | 622.3                     | 244.0                   | 650.6                     |



$$\phi=30^{\circ}, i=20^{\circ}, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

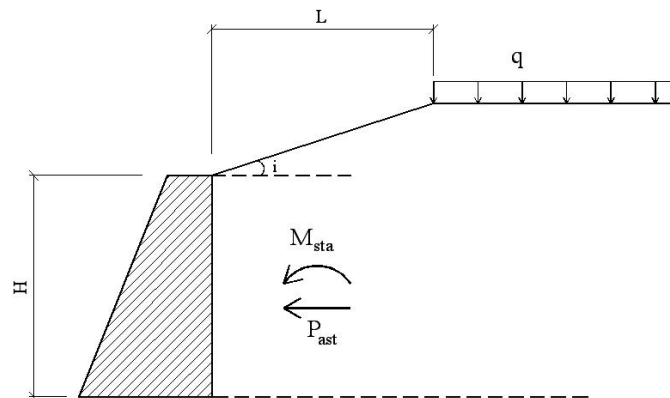
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 68.3                    | 89.2                      | 63.8                    | 83.3                      | 63.5                    | 84.7                      | 63.5                    | 84.7                      | 63.5                    | 84.7                      |
| 5        | 104.5                   | 173.4                     | 102.0                   | 166.3                     | 99.2                    | 165.4                     | 99.2                    | 165.4                     | 99.2                    | 165.4                     |
| 6        | 147.2                   | 297.3                     | 147.4                   | 289.5                     | 142.9                   | 285.8                     | 142.9                   | 285.8                     | 142.9                   | 285.8                     |
| 7        | 196.0                   | 466.2                     | 199.7                   | 461.2                     | 196.8                   | 453.7                     | 194.5                   | 453.9                     | 194.5                   | 453.9                     |
| 8        | 251.1                   | 689.3                     | 258.5                   | 687.6                     | 258.2                   | 680.8                     | 254.1                   | 677.5                     | 254.1                   | 677.5                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 76.6                    | 97.8                      | 66.3                    | 83.3                      | 63.5                    | 84.7                      | 63.5                    | 84.7                      | 63.5                    | 84.7                      |
| 5        | 116.7                   | 191.2                     | 107.0                   | 169.4                     | 99.2                    | 165.4                     | 99.2                    | 165.4                     | 99.2                    | 165.4                     |
| 6        | 163.6                   | 328.8                     | 155.3                   | 298.2                     | 145.1                   | 280.1                     | 142.9                   | 285.8                     | 142.9                   | 285.8                     |
| 7        | 216.8                   | 515.7                     | 210.9                   | 478.9                     | 201.7                   | 455.2                     | 194.5                   | 453.9                     | 194.5                   | 453.9                     |
| 8        | 276.4                   | 758.1                     | 273.4                   | 713.9                     | 265.8                   | 687.8                     | 255.3                   | 666.2                     | 254.1                   | 677.5                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 94.4                    | 117.7                     | 73.8                    | 87.2                      | 63.5                    | 84.7                      | 63.5                    | 84.7                      | 63.5                    | 84.7                      |
| 5        | 143.4                   | 232.1                     | 120.2                   | 180.9                     | 101.8                   | 155.0                     | 99.2                    | 165.4                     | 99.2                    | 165.4                     |
| 6        | 200.0                   | 396.8                     | 175.5                   | 323.6                     | 154.9                   | 284.7                     | 142.9                   | 285.8                     | 142.9                   | 285.8                     |
| 7        | 264.1                   | 624.9                     | 239.2                   | 527.3                     | 217.3                   | 469.6                     | 197.4                   | 433.8                     | 194.5                   | 453.9                     |
| 8        | 335.3                   | 919.9                     | 310.9                   | 790.3                     | 288.2                   | 716.4                     | 267.1                   | 668.1                     | 254.1                   | 677.5                     |



$$\phi=32.5^\circ, i=20^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

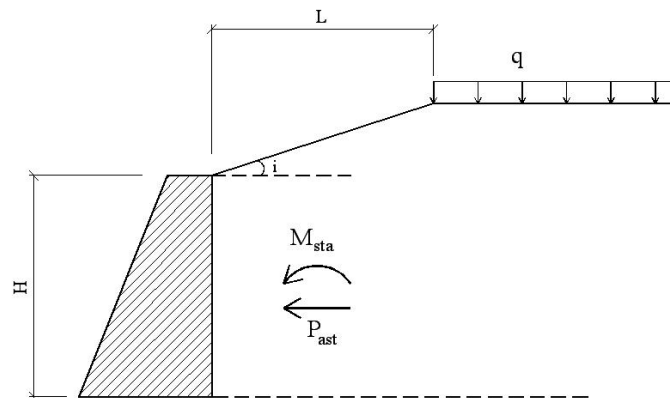
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 60.3                    | 78.4                      | 56.0                    | 74.7                      | 56.0                    | 74.7                      | 56.0                    | 74.7                      |
| 5        | 93.0                    | 153.4                     | 88.6                    | 144.8                     | 87.6                    | 146.0                     | 87.6                    | 146.0                     |
| 6        | 131.4                   | 264.0                     | 129.4                   | 254.0                     | 126.1                   | 252.2                     | 126.1                   | 252.2                     |
| 7        | 175.5                   | 415.4                     | 176.4                   | 405.2                     | 171.7                   | 400.5                     | 171.7                   | 400.5                     |
| 8        | 225.2                   | 612.7                     | 229.5                   | 605.8                     | 226.3                   | 597.4                     | 224.2                   | 597.9                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 67.0                    | 84.7                      | 56.0                    | 74.7                      | 56.0                    | 74.7                      | 56.0                    | 74.7                      |
| 5        | 103.1                   | 167.4                     | 91.8                    | 145.2                     | 87.6                    | 146.0                     | 87.6                    | 146.0                     |
| 6        | 145.3                   | 287.6                     | 135.1                   | 258.4                     | 126.1                   | 252.2                     | 126.1                   | 252.2                     |
| 7        | 193.4                   | 453.6                     | 185.1                   | 416.3                     | 173.6                   | 394.3                     | 171.7                   | 400.5                     |
| 8        | 247.1                   | 669.2                     | 241.3                   | 626.9                     | 231.0                   | 597.8                     | 224.2                   | 597.9                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 81.6                    | 100.2                     | 60.3                    | 71.2                      | 56.0                    | 74.7                      | 56.0                    | 74.7                      |
| 5        | 125.5                   | 197.8                     | 101.2                   | 151.4                     | 87.6                    | 146.0                     | 87.6                    | 146.0                     |
| 6        | 176.5                   | 346.0                     | 150.5                   | 275.1                     | 128.6                   | 238.0                     | 126.1                   | 252.2                     |
| 7        | 234.1                   | 548.2                     | 207.4                   | 448.8                     | 183.7                   | 396.6                     | 171.7                   | 400.5                     |
| 8        | 298.3                   | 810.8                     | 271.7                   | 684.2                     | 246.9                   | 611.7                     | 224.2                   | 597.9                     |



$$\phi=32.5^\circ, i=22^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

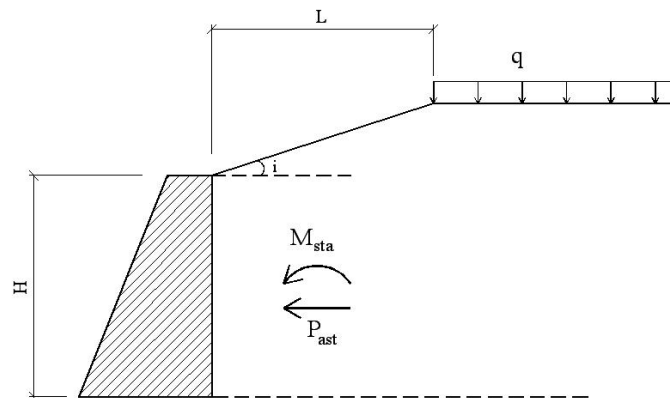
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 62.4                    | 81.7                      | 58.3                    | 77.8                      | 58.3                    | 77.8                      | 58.3                    | 77.8                      | 58.3                    | 77.8                      |
| 5        | 95.6                    | 158.8                     | 93.2                    | 152.2                     | 91.1                    | 151.9                     | 91.1                    | 151.9                     | 91.1                    | 151.9                     |
| 6        | 134.6                   | 272.2                     | 135.0                   | 265.6                     | 131.3                   | 262.5                     | 131.3                   | 262.5                     | 131.3                   | 262.5                     |
| 7        | 179.2                   | 426.7                     | 182.9                   | 423.2                     | 180.0                   | 415.4                     | 178.7                   | 416.9                     | 178.7                   | 416.9                     |
| 8        | 229.3                   | 627.7                     | 237.0                   | 628.3                     | 236.6                   | 624.2                     | 233.3                   | 622.2                     | 233.3                   | 622.2                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 69.5                    | 89.0                      | 59.9                    | 75.7                      | 58.3                    | 77.8                      | 58.3                    | 77.8                      | 58.3                    | 77.8                      |
| 5        | 106.1                   | 174.2                     | 97.1                    | 154.1                     | 91.1                    | 151.9                     | 91.1                    | 151.9                     | 91.1                    | 151.9                     |
| 6        | 148.9                   | 297.4                     | 141.4                   | 272.3                     | 131.8                   | 256.0                     | 131.3                   | 262.5                     | 131.3                   | 262.5                     |
| 7        | 197.5                   | 467.0                     | 192.5                   | 435.8                     | 183.7                   | 416.1                     | 178.7                   | 416.9                     | 178.7                   | 416.9                     |
| 8        | 251.7                   | 686.6                     | 249.7                   | 653.5                     | 242.6                   | 629.1                     | 233.3                   | 622.2                     | 233.3                   | 622.2                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 84.9                    | 104.6                     | 65.7                    | 77.9                      | 58.3                    | 77.8                      | 58.3                    | 77.8                      | 58.3                    | 77.8                      |
| 5        | 129.4                   | 207.0                     | 107.9                   | 162.2                     | 91.1                    | 151.9                     | 91.1                    | 151.9                     | 91.1                    | 151.9                     |
| 6        | 181.0                   | 359.3                     | 158.3                   | 293.4                     | 139.2                   | 256.9                     | 131.3                   | 262.5                     | 131.3                   | 262.5                     |
| 7        | 239.2                   | 566.2                     | 216.6                   | 474.4                     | 196.1                   | 424.5                     | 178.7                   | 416.9                     | 178.7                   | 416.9                     |
| 8        | 304.0                   | 834.1                     | 281.9                   | 718.9                     | 261.0                   | 651.4                     | 240.9                   | 606.7                     | 233.3                   | 622.2                     |



$$\phi=35^{\circ}, i=22^{\circ}, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

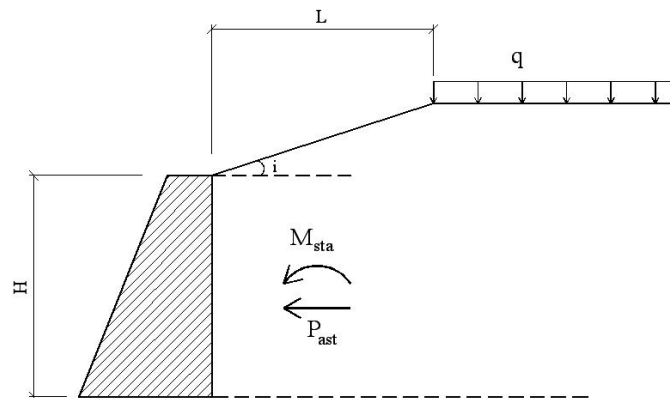
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 54.8                    | 71.0                      | 51.3                    | 68.3                      | 51.3                    | 68.3                      | 51.3                    | 68.3                      |
| 5        | 84.6                    | 139.8                     | 80.5                    | 132.3                     | 80.1                    | 133.5                     | 80.1                    | 133.5                     |
| 6        | 119.6                   | 240.6                     | 117.8                   | 231.6                     | 115.3                   | 230.6                     | 115.3                   | 230.6                     |
| 7        | 159.8                   | 378.6                     | 160.9                   | 370.0                     | 157.0                   | 366.2                     | 157.0                   | 366.2                     |
| 8        | 205.0                   | 558.4                     | 209.5                   | 553.5                     | 206.2                   | 544.8                     | 205.0                   | 546.7                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 60.5                    | 76.0                      | 51.3                    | 68.3                      | 51.3                    | 68.3                      | 51.3                    | 68.3                      |
| 5        | 93.3                    | 150.5                     | 82.8                    | 131.7                     | 80.1                    | 133.5                     | 80.1                    | 133.5                     |
| 6        | 131.7                   | 261.0                     | 122.4                   | 234.3                     | 115.3                   | 230.6                     | 115.3                   | 230.6                     |
| 7        | 175.4                   | 411.7                     | 167.9                   | 378.5                     | 157.0                   | 366.2                     | 157.0                   | 366.2                     |
| 8        | 224.3                   | 607.7                     | 219.3                   | 567.9                     | 209.6                   | 544.6                     | 205.0                   | 546.7                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 73.0                    | 88.5                      | 53.2                    | 63.5                      | 51.3                    | 68.3                      | 51.3                    | 68.3                      |
| 5        | 112.7                   | 177.9                     | 90.2                    | 135.2                     | 80.1                    | 133.5                     | 80.1                    | 133.5                     |
| 6        | 158.8                   | 307.7                     | 134.9                   | 246.0                     | 115.3                   | 230.6                     | 115.3                   | 230.6                     |
| 7        | 211.1                   | 488.9                     | 186.6                   | 404.9                     | 164.4                   | 356.2                     | 157.0                   | 366.2                     |
| 8        | 269.2                   | 724.2                     | 245.0                   | 613.1                     | 221.9                   | 551.5                     | 205.0                   | 546.7                     |



$$\phi=35^{\circ}, i=25^{\circ}, A_0=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

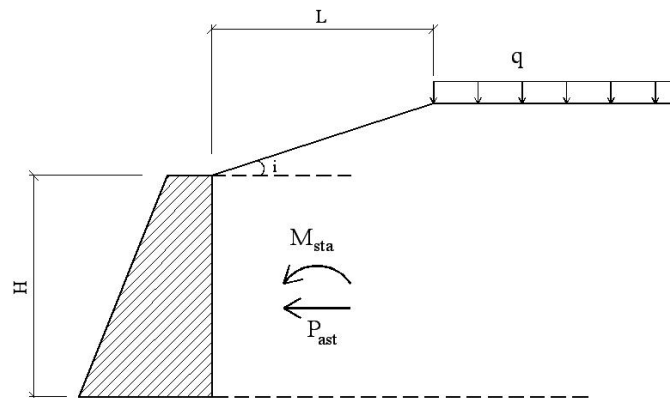
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 57.8                    | 75.6                      | 54.5                    | 72.7                      | 54.5                    | 72.7                      | 54.5                    | 72.7                      | 54.5                    | 72.7                      |
| 5        | 88.3                    | 147.4                     | 86.9                    | 142.3                     | 85.1                    | 141.9                     | 85.1                    | 141.9                     | 85.1                    | 141.9                     |
| 6        | 124.0                   | 252.1                     | 125.6                   | 247.9                     | 122.6                   | 245.2                     | 122.6                   | 245.2                     | 122.6                   | 245.2                     |
| 7        | 164.9                   | 394.5                     | 170.1                   | 393.3                     | 168.1                   | 388.9                     | 166.9                   | 389.4                     | 166.9                   | 389.4                     |
| 8        | 210.9                   | 579.4                     | 220.0                   | 585.5                     | 220.7                   | 583.1                     | 218.0                   | 581.2                     | 218.0                   | 581.2                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 64.0                    | 81.8                      | 55.8                    | 71.0                      | 54.5                    | 72.7                      | 54.5                    | 72.7                      | 54.5                    | 72.7                      |
| 5        | 97.6                    | 159.8                     | 90.3                    | 143.9                     | 85.1                    | 141.9                     | 85.1                    | 141.9                     | 85.1                    | 141.9                     |
| 6        | 136.8                   | 274.7                     | 131.3                   | 253.2                     | 123.0                   | 240.3                     | 122.6                   | 245.2                     | 122.6                   | 245.2                     |
| 7        | 181.2                   | 430.5                     | 178.3                   | 406.2                     | 171.2                   | 388.4                     | 166.9                   | 389.4                     | 166.9                   | 389.4                     |
| 8        | 230.8                   | 632.2                     | 231.1                   | 604.4                     | 225.9                   | 587.1                     | 218.0                   | 581.2                     | 218.0                   | 581.2                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 77.5                    | 96.7                      | 60.7                    | 72.5                      | 54.5                    | 72.7                      | 54.5                    | 72.7                      | 54.5                    | 72.7                      |
| 5        | 118.1                   | 190.8                     | 99.6                    | 151.4                     | 85.1                    | 141.9                     | 85.1                    | 141.9                     | 85.1                    | 141.9                     |
| 6        | 165.1                   | 326.1                     | 146.0                   | 271.0                     | 129.3                   | 240.3                     | 122.6                   | 245.2                     | 122.6                   | 245.2                     |
| 7        | 218.2                   | 513.7                     | 199.4                   | 436.7                     | 181.8                   | 395.6                     | 166.9                   | 389.4                     | 166.9                   | 389.4                     |
| 8        | 277.1                   | 756.3                     | 259.4                   | 660.6                     | 241.8                   | 605.5                     | 224.2                   | 568.5                     | 218.0                   | 581.2                     |



$$\phi=37.5^\circ, i=24^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

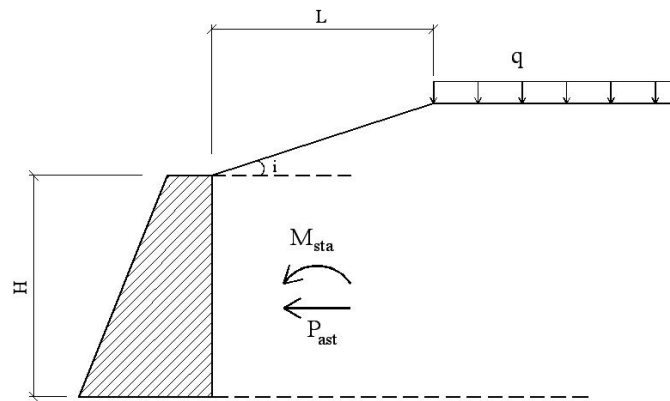
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 49.6                    | 64.3                      | 46.6                    | 62.1                      | 46.6                    | 62.1                      | 46.6                    | 62.1                      |
| 5        | 76.7                    | 126.0                     | 72.8                    | 121.4                     | 72.8                    | 121.4                     | 72.8                    | 121.4                     |
| 6        | 108.5                   | 217.1                     | 106.7                   | 210.0                     | 104.9                   | 209.7                     | 104.9                   | 209.7                     |
| 7        | 144.9                   | 341.7                     | 146.0                   | 335.9                     | 142.7                   | 333.1                     | 142.7                   | 333.1                     |
| 8        | 185.9                   | 506.7                     | 190.2                   | 502.9                     | 186.5                   | 495.5                     | 186.4                   | 497.2                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 54.3                    | 68.4                      | 46.6                    | 62.1                      | 46.6                    | 62.1                      | 46.6                    | 62.1                      |
| 5        | 84.1                    | 135.7                     | 74.1                    | 119.0                     | 72.8                    | 121.4                     | 72.8                    | 121.4                     |
| 6        | 118.9                   | 233.7                     | 110.1                   | 211.2                     | 104.9                   | 209.7                     | 104.9                   | 209.7                     |
| 7        | 158.4                   | 369.1                     | 151.7                   | 341.3                     | 142.7                   | 333.1                     | 142.7                   | 333.1                     |
| 8        | 202.7                   | 549.3                     | 198.4                   | 514.4                     | 188.8                   | 491.6                     | 186.4                   | 497.2                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 64.8                    | 77.7                      | 46.6                    | 62.1                      | 46.6                    | 62.1                      | 46.6                    | 62.1                      |
| 5        | 100.7                   | 156.8                     | 79.8                    | 120.2                     | 72.8                    | 121.4                     | 72.8                    | 121.4                     |
| 6        | 142.4                   | 275.8                     | 120.1                   | 218.9                     | 104.9                   | 209.7                     | 104.9                   | 209.7                     |
| 7        | 189.6                   | 438.7                     | 167.0                   | 360.6                     | 146.1                   | 319.5                     | 142.7                   | 333.1                     |
| 8        | 242.1                   | 650.6                     | 219.8                   | 551.2                     | 198.0                   | 493.8                     | 186.4                   | 497.2                     |



$$\phi=37.5^\circ, i=27^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

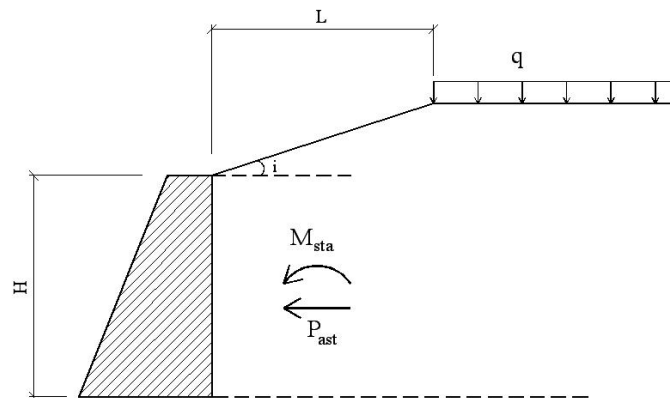
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 52.3                    | 68.5                      | 49.5                    | 66.0                      | 49.5                    | 66.0                      | 49.5                    | 66.0                      | 49.5                    | 66.0                      |
| 5        | 80.1                    | 132.9                     | 78.5                    | 128.7                     | 77.4                    | 128.9                     | 77.4                    | 128.9                     | 77.4                    | 128.9                     |
| 6        | 112.6                   | 227.5                     | 113.9                   | 224.5                     | 111.4                   | 222.8                     | 111.4                   | 222.8                     | 111.4                   | 222.8                     |
| 7        | 149.6                   | 356.1                     | 154.4                   | 357.4                     | 152.0                   | 352.0                     | 151.6                   | 353.8                     | 151.6                   | 353.8                     |
| 8        | 191.3                   | 526.2                     | 200.0                   | 532.4                     | 200.0                   | 528.7                     | 198.1                   | 528.2                     | 198.1                   | 528.2                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 57.5                    | 73.0                      | 49.7                    | 63.9                      | 49.5                    | 66.0                      | 49.5                    | 66.0                      | 49.5                    | 66.0                      |
| 5        | 88.0                    | 144.3                     | 81.1                    | 129.5                     | 77.4                    | 128.9                     | 77.4                    | 128.9                     | 77.4                    | 128.9                     |
| 6        | 123.5                   | 246.0                     | 118.3                   | 227.9                     | 111.4                   | 222.8                     | 111.4                   | 222.8                     | 111.4                   | 222.8                     |
| 7        | 163.8                   | 386.1                     | 161.3                   | 365.8                     | 154.2                   | 351.2                     | 151.6                   | 353.8                     | 151.6                   | 353.8                     |
| 8        | 208.7                   | 572.0                     | 209.3                   | 548.0                     | 203.9                   | 530.8                     | 198.1                   | 528.2                     | 198.1                   | 528.2                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           | L=15m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 69.0                    | 85.0                      | 53.4                    | 64.1                      | 49.5                    | 66.0                      | 49.5                    | 66.0                      | 49.5                    | 66.0                      |
| 5        | 105.7                   | 168.3                     | 88.4                    | 134.2                     | 77.4                    | 128.9                     | 77.4                    | 128.9                     | 77.4                    | 128.9                     |
| 6        | 148.2                   | 292.6                     | 130.4                   | 240.8                     | 114.5                   | 214.8                     | 111.4                   | 222.8                     | 111.4                   | 222.8                     |
| 7        | 196.1                   | 461.5                     | 178.7                   | 392.6                     | 162.1                   | 353.9                     | 151.6                   | 353.8                     | 151.6                   | 353.8                     |
| 8        | 249.4                   | 680.1                     | 233.0                   | 594.7                     | 216.3                   | 541.9                     | 199.5                   | 506.7                     | 198.1                   | 528.2                     |



$$\phi=40^\circ, i=27^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

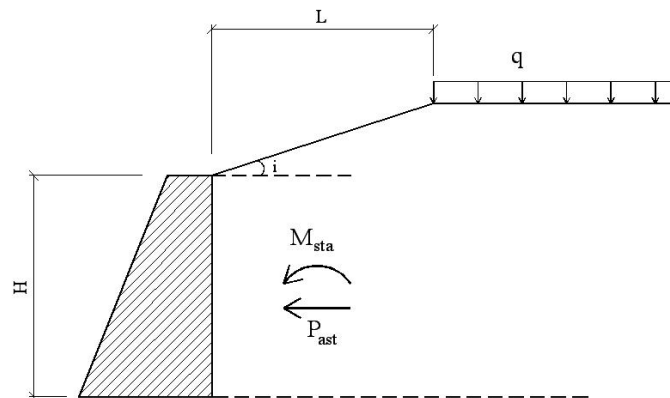
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 45.4                    | 59.1                      | 42.9                    | 57.3                      | 42.9                    | 57.3                      | 42.9                    | 57.3                      |
| 5        | 70.1                    | 115.7                     | 67.1                    | 111.8                     | 67.1                    | 111.8                     | 67.1                    | 111.8                     |
| 6        | 99.1                    | 199.0                     | 98.0                    | 193.2                     | 96.6                    | 193.2                     | 96.6                    | 193.2                     |
| 7        | 132.3                   | 312.8                     | 134.1                   | 308.7                     | 131.5                   | 306.8                     | 131.5                   | 306.8                     |
| 8        | 169.4                   | 463.4                     | 174.6                   | 461.1                     | 171.8                   | 458.0                     | 171.8                   | 458.0                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 49.4                    | 62.2                      | 42.9                    | 57.3                      | 42.9                    | 57.3                      | 42.9                    | 57.3                      |
| 5        | 76.5                    | 123.1                     | 67.9                    | 109.0                     | 67.1                    | 111.8                     | 67.1                    | 111.8                     |
| 6        | 108.2                   | 213.5                     | 100.9                   | 194.3                     | 96.6                    | 193.2                     | 96.6                    | 193.2                     |
| 7        | 144.1                   | 336.9                     | 138.8                   | 313.6                     | 131.5                   | 306.8                     | 131.5                   | 306.8                     |
| 8        | 184.2                   | 497.1                     | 181.5                   | 472.6                     | 173.4                   | 454.0                     | 171.8                   | 458.0                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 58.5                    | 70.8                      | 42.9                    | 57.3                      | 42.9                    | 57.3                      | 42.9                    | 57.3                      |
| 5        | 90.9                    | 142.7                     | 72.4                    | 110.1                     | 67.1                    | 111.8                     | 67.1                    | 111.8                     |
| 6        | 128.6                   | 247.1                     | 109.2                   | 200.5                     | 96.6                    | 193.2                     | 96.6                    | 193.2                     |
| 7        | 171.2                   | 393.2                     | 151.8                   | 328.0                     | 133.3                   | 294.5                     | 131.5                   | 306.8                     |
| 8        | 218.7                   | 589.9                     | 199.9                   | 500.5                     | 180.9                   | 453.7                     | 171.8                   | 458.0                     |



$$\phi=40^\circ, i=29^\circ, A_o=0$$

$$q=15\text{kN/m}^2$$

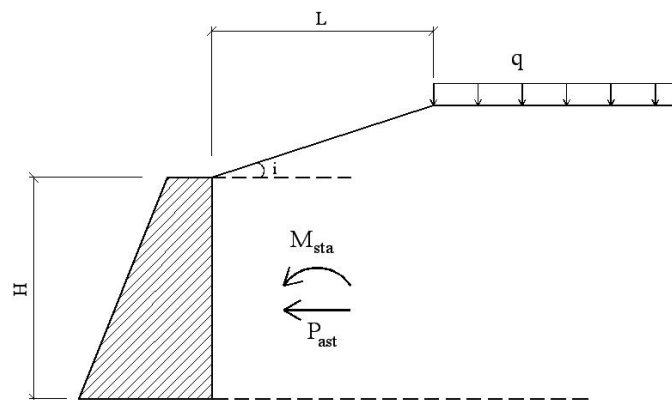
|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 47.1                    | 61.7                      | 44.7                    | 59.6                      | 44.7                    | 59.6                      | 44.7                    | 59.6                      |
| 5        | 72.3                    | 120.0                     | 70.4                    | 116.0                     | 69.9                    | 116.5                     | 69.9                    | 116.5                     |
| 6        | 101.7                   | 205.5                     | 102.5                   | 202.3                     | 100.6                   | 201.3                     | 100.6                   | 201.3                     |
| 7        | 135.2                   | 321.8                     | 139.3                   | 321.5                     | 137.0                   | 319.6                     | 137.0                   | 319.6                     |
| 8        | 172.8                   | 475.5                     | 180.7                   | 481.2                     | 180.1                   | 477.0                     | 178.9                   | 477.1                     |

$$q=30\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 51.4                    | 65.4                      | 44.7                    | 59.6                      | 44.7                    | 59.6                      | 44.7                    | 59.6                      |
| 5        | 79.0                    | 128.3                     | 72.2                    | 115.6                     | 69.9                    | 116.5                     | 69.9                    | 116.5                     |
| 6        | 111.1                   | 221.2                     | 106.1                   | 204.7                     | 100.6                   | 201.3                     | 100.6                   | 201.3                     |
| 7        | 147.4                   | 347.5                     | 144.8                   | 329.0                     | 137.5                   | 316.1                     | 137.0                   | 319.6                     |
| 8        | 187.9                   | 510.9                     | 188.4                   | 493.6                     | 182.8                   | 477.2                     | 178.9                   | 477.1                     |

$$q=60\text{kN/m}^2$$

|          | L=2.5m                  |                           | L=5m                    |                           | L=7.5m                  |                           | L=10m                   |                           |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| H<br>(m) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) | P <sub>as</sub><br>(kN) | M <sub>sta</sub><br>(kNm) |
| 4        | 61.1                    | 75.3                      | 46.4                    | 56.4                      | 44.7                    | 59.6                      | 44.7                    | 59.6                      |
| 5        | 94.0                    | 149.8                     | 77.8                    | 118.3                     | 69.9                    | 116.5                     | 69.9                    | 116.5                     |
| 6        | 132.2                   | 257.3                     | 115.6                   | 214.1                     | 100.6                   | 201.3                     | 100.6                   | 201.3                     |
| 7        | 175.3                   | 407.1                     | 159.2                   | 347.2                     | 143.3                   | 314.7                     | 137.0                   | 319.6                     |
| 8        | 223.2                   | 608.2                     | 208.2                   | 526.7                     | 192.3                   | 483.1                     | 178.9                   | 477.1                     |



**EK C:** Yazılan bilgisayar programında yer alan modüllerin Visual Basic kodları

## Modül-1

Function M1PAT(h As Variant, b As Variant, q As Variant, gamma As Variant, fi As Variant, A0 As Variant, i As Variant, beta As Variant, delta As Variant, yapionemkatsayisi As Variant)

```
ch = 0.2 * (yapionemkatsayisi + 1) * A0
cv = 2 / 3 * ch
tetaa = Atn(ch / (1 - cv)) * 180 / 3.14159
teta1 = Atn(ch / (1 + cv)) * 180 / 3.14159
teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
teta1 = 0
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P1 = wt * ((1 - cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetaa) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P2 = wt * ((1 - cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetaa) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If P2 > P1 Then
P1 = P2
```

```

Else
End If
teta1 = 0
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i *
3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) *
Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 *
3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 *
3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P3 = wt * ((1 + cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetab) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi -
90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i *
3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) *
Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 *
3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 *
3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P4 = wt * ((1 + cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetab) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi -
90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If P4 > P3 Then
P3 = P4
Else
End If
If P3 > P1 Then
M1PAT = P3
Else
M1PAT = P1
End If
End Function

```

## Modül-2

Function M2Past(h As Variant, b As Variant, q As Variant, gamma As Variant, fi As Variant, i As Variant, beta As Variant, delta As Variant)

```
teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
teta1 = 0
If teta1 <= teta2 Then
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
    y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
    y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
    w2 = 0
    wq = 0
Else
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
    w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
    wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
ST1 = wt * Sin((90 - teta1 - fi) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If teta1 <= teta2 Then
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
    y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
    y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
    w2 = 0
    wq = 0
Else
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
    w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
    wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
ST2 = wt * Sin((90 - teta1 - fi) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If ST2 > ST1 Then
    ST1 = ST2
Else
    End If
M2Past = ST1
End Function
```

### Modül-3

Function M3Pas(h As Variant, b As Variant, gamma As Variant, fi As Variant, i As Variant, beta As Variant, delta As Variant, teta1past As Variant)

```
teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
If teta1past <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1past * 3.14159 / 180)
* Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1past *
3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) / (1 -
Tan(teta1past * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) *
Tan(teta1past * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1past <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
End If
wt = w1 + w2
M3Pas = wt * Sin((90 - teta1past - fi) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1past) * 3.14159 /
180)
End Function
```

#### Modül-4

Function M4PAD(h As Variant, b As Variant, gamma As Variant, fi As Variant, A0 As Variant, i As Variant, beta As Variant, delta As Variant, yapionemkatsayisi As Variant, teta1pae As Variant)

```
ch = 0.2 * (yapionemkatsayisi + 1) * A0
cv = 2 / 3 * ch
tetaa = Atn(ch / (1 - cv)) * 180 / 3.14159
tetaab = Atn(ch / (1 + cv)) * 180 / 3.14159
teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
If teta1pae <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1pae * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1pae * 3.14159 / 180) *
Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1pae * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1pae *
3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1pae * 3.14159 / 180)) / (1 -
Tan(teta1pae * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1pae * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) *
Tan(teta1pae * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1pae <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
End If
wt = w1 + w2
PD1 = wt * ((1 - cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1pae - fi + tetaa) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta
+ fi - 90 + teta1pae) * 3.14159 / 180)
PD2 = wt * ((1 + cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1pae - fi + tetaab) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta
+ fi - 90 + teta1pae) * 3.14159 / 180)
If PD2 > PD1 Then
M4PAD = PD2
Else
M4PAD = PD1
End If
```

## Modül-5

Function M5TETADIN(h As Variant, b As Variant, q As Variant, gamma As Variant, fi As Variant, A0 As Variant, i As Variant, beta As Variant, delta As Variant, yapionemkatsayisi As Variant)

```

ch = 0.2 * (yapionemkatsayisi + 1) * A0
cv = 2 / 3 * ch
tetaa = Atn(ch / (1 - cv)) * 180 / 3.14159
teta1 = Atn(ch / (1 + cv)) * 180 / 3.14159
teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
teta1 = 0
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P1 = wt * ((1 - cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetaa) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P2 = wt * ((1 - cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetaa) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If P2 > P1 Then
P1 = P2

```

```

aci1 = teta1
Else
End If
teta1 = 0
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i *
3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) *
Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 *
3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 *
3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P3 = wt * ((1 + cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetab) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi -
90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If teta1 <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i *
3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) *
Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 *
3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 *
3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
w2 = 0
wq = 0
Else
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
P4 = wt * ((1 + cv) ^ 2 + ch ^ 2) ^ 0.5 * Sin((90 - teta1 - fi + tetab) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi -
90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If P4 > P3 Then
P3 = P4
aci2 = teta1
Else
End If
If P3 > P1 Then
M5TETADIN = aci2
Else
M5TETADIN = aci1
End If
End Function

```

## Modül-6

Function M6TETASTA(h As Variant, b As Variant, q As Variant, gamma As Variant, fi As Variant, i As Variant, beta As Variant, delta As Variant)

```

teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
teta1 = 0
If teta1 <= teta2 Then
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
    y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
    y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
    w2 = 0
    wq = 0
Else
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
    w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
    wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
ST1 = wt * Sin((90 - teta1 - fi) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If teta1 <= teta2 Then
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
    y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1 * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
Else
    x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1 * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) * Tan(teta1 * 3.14159 / 180)
    y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1 <= teta2 Then
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y3 + x3 * y1 - x2 * y1 - x3 * y2 - x1 * y3)
    w2 = 0
    wq = 0
Else
    w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
    w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
    wq = q * (x3 - x4)
End If
wt = w1 + w2 + wq
ST2 = wt * Sin((90 - teta1 - fi) * 3.14159 / 180) / Sin((90 + beta + delta + fi - 90 + teta1) * 3.14159 / 180)
If ST2 > ST1 Then
    ST1 = ST2
    aci = teta1
Else
    End If
M6TETASTA = aci
End Function

```

## Modül-7

Function M7H1(h As Variant, b As Variant, gamma As Variant, i As Variant, beta As Variant, teta1past As Variant)

```
teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1past <= teta2 Then
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) + h * Tan(teta1past * 3.14159 / 180)
* Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) / (1 - Tan(teta1past *
3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
y3 = y1 + h * Tan(i * 3.14159 / 180) * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) / (1 -
Tan(teta1past * 3.14159 / 180) * Tan(i * 3.14159 / 180))
xg = (x1 + x2 + x3) / 3
yg = (y1 + y2 + y3) / 3
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) *
Tan(teta1past * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
w1 = 0.5 * gamma * Abs(x1 * y2 + x2 * y4 + x4 * y1 - x2 * y1 - x4 * y2 - x1 * y4)
w2 = 0.5 * gamma * Abs(x4 * y2 + x2 * y3 + x3 * y4 - x2 * y4 - x3 * y2 - x4 * y3)
xg1 = (x1 + x2 + x4) / 3
yg1 = (y1 + y2 + y4) / 3
xg2 = (x2 + x3 + x4) / 3
yg2 = (y2 + y3 + y4) / 3
xg = (w1 * xg1 + w2 * xg2) / (w1 + w2)
yg = (w1 * yg1 + w2 * yg2) / (w1 + w2)
End If
M7H1 = yg - (xg + (yg - h) * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 /
180))
End Function
```

## Modül-8

Function M8H2(h As Variant, b As Variant, q As Variant, i As Variant, beta As Variant, teta1past As Variant)

```
teta2 = Atn((b - h * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (h + b * Tan(i * 3.14159 / 180))) * 180 / 3.14159
x1 = 0
y1 = h
x2 = h * Tan(beta * 3.14159 / 180)
y2 = 0
x4 = b
y4 = b * Tan(i * 3.14159 / 180) + h
If teta1past <= teta2 Then
M2H2 = 0
Else
x3 = x1 + h * (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 / 180)) + b * Tan(i * 3.14159 / 180) *
Tan(teta1past * 3.14159 / 180)
y3 = y1 + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
wq = q * (x3 - x4)
xq = (x3 + x4) / 2
yq = h + b * Tan(i * 3.14159 / 180)
End If
M8H2 = yq - (xq + (yq - h) * Tan(beta * 3.14159 / 180)) / (Tan(beta * 3.14159 / 180) + Tan(teta1past * 3.14159 /
180))
End Function
```

## **ÖZGEÇMİŞ**

Barış Özcan, 1981 yılında İstanbul ilinin Bakırköy ilçesinde doğdu. İlköğrenimini İstanbul'da Yıldıztepe İlkokulu'nda tamamladı. Lise öğrenimi Adnan Menderes Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1999 yılında İ.T.Ü İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2004 yılında, bitirme konusunu Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği alanında yaparak tamamlamıştır. 2004 yılı güz döneminde İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programına girmeye hak kazandı.

Yazar, 2005 yılında başladığı Ularte A.Ş.'de görevini halen sürdürmektedir.