İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME SANAYİ BACALARININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İlbay ŞENGÜN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME SANAYİ BACALARININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İlbay ŞENGÜN
(501971041)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin AYDOĞAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Necmettin GÜNDÜZ (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Canan GİRGİN (YTÜ)

OCAK 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

Tüm yüksek lisans eğitimim boyunca, büyük bir sabırla benimle ilgilenen, yoluma ışık tutan ve hiçbir konuda yardımını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Metin Aydoğan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, sevgileriyle, özveriyle ve hayata bakışlarıyla bana sürekli huzur ve güven veren aileme, Latif Şengün, Hediye Şengün ve İnciser Şengün'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2010

İlbay Şengün

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
2. TANIMLAR VE NOTASYON **3**
2.1. Baca Konstrüksiyonu 3
3. BACA TASARIMININ TEMEL İLKELERİ **5**
3.1. Limit Durumlar 5
3.1.1. Sınır limit durumu 5
3.1.2. Kullanım limit durumu 5
3.1.3. Tasarım yük değerleri 6
3.2. Yük Birleşimleri 6
3.3. Güvenlik Katsayıları 7
3.3.1. Baca önem sınıfı 7
3.4. Malzeme Özellikleri 7
3.5. Yükler 7
3.6. Modelleme 8
3.6.1. Genel 8
3.7. Radyal Rüzgar Basıncı 8
4. MALZEME **9**
4.1. Beton 9
4.1.1. Genel 9
4.1.2. Beton gerilme - şekil değiştirme eğrisi 9
4.2. Donatı 10
4.2.1. Genel 10
4.2.2. Geometri 10
4.2.3. Çekme özellikleri 10
4.2.4. Çelik sınıfları 10
4.2.5. Süneklik 10
4.2.6. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme eğrisi 11
5. BACAYA GELEN DIŞ YÜK ETKİLERİ VE KESİT ZORLARI **13**
5.1. Sabit Yükler 13
5.1.1. Simpson değişkenleri 14
5.2. Rüzgar Yükleri 15
5.2.1. Genel 15
5.2.2. Rüzgar hızı 15
5.2.2.1. Ana rüzgar hızı 15
5.2.2.2. Bacaya etkiyen rüzgar hızı 15
Topografik çarpan 16
Engel katsayısı 17

5.2.3. Rüzgar yükü 17
5.2.3.1. İlkeler 17
5.2.3.2. Saatlik rüzgar yükü 18
Hava yoğunluğu 18
Şekil faktörü 18
5.2.3.3. Fırtına dolayısıyla oluşan rüzgar yüküne eşdeğer sabit rüzgar yükü 19
Fırtına faktörü 19
5.2.4. Ovalleşme (Rüzgarın radyal etkisi) 20
5.2.5. Merdivenler ve diğer konsollardaki rüzgar yükleri 21
5.2.6. Yapım sırasında rüzgar yükleri 21
5.2.7. Girdap kopmaları (Vortex shedding) 21
5.3. Sıcaklık Etkileri (ACI 307-98) 21
5.3.1. Düşey sıcaklık gerilmeleri 21
5.3.2. Çevresel sıcaklık gerilmeleri 25
5.4. Deprem Yükleri 25
5.4.1. Genel 25
5.4.1.1. Eşdeğer toplam deprem yükü 26
5.4.2. Spektrum katsayısı 26
5.4.3. Zayıf zemin katmanlarının etkisi 26
5.4.4. Zemin ivmesi 27
5.4.5. Tepki spektrumu yöntemi 28
5.4.6. Elastisite modülü 29
5.4.7. İkinci mertebe etkileri 29
5.4.8. Sismik tasarım etkileri 29
5.4.9. Önem katsayısı 29
5.4.10. Yapısal tepki faktörü 29
5.4.11. Süneklik düzeyi yüksek baca tasarımı 29
6. İKİNCİ MERTEBE ETKİLERİ 31
6.1. Malzeme Özellikleri 31
6.1.1. Basınç bölgesi 31
6.1.2. Çekme bölgesi 32
6.1.2.1. Dayanım artma etkisi (Stiffening Effect) 32
6.2. İkinci Mertebe Momentlerin Hesaplanması 34
6.3. Baca Temelinin Dönmesi 37
6.4. İkinci Mertebe Momentlerin Yaklaşık Hesabı 37
6.5. Yaklaşık Yöntemin Doğruluğu 38
7. BACA KABUĞUNDA AÇIKLIKLAR 41
7.1. Boyutlandırma 41
7.1.1. Genel 41
7.1.2. Açıklık kesitinin alt ve üstündeki çekme kuvvetleri 41
7.1.3. Açıklık kesitinin alt ve üstündeki eğilme momentleri 42
8. BACA ENKESİTİNİN ÇÖZÜMÜ (ACI 307-98) 43
8.1. Baca Enkesiti Normal Kuvvet ve Moment Formülleri 43
8.2. Hesap Adımları 46
8.3. Enkesit Denge Denklemlerinin Çıkartılması 46
8.4. Normal Kuvvetler 46
8.4.1. Birinci bölgede çelik normal kuvveti (S_1) 46
8.4.2. İkinci bölgede normal kuvveti (S_2) 47
8.4.3. Üçüncü bölgede çelik normal kuvveti (S_3) 48
8.4.4. Dördüncü bölgede çeliğin aldığı normal kuvvet (S_4) 48
8.4.5. Basınç bölgesinde, beton basınç kuvveti (P) 49
8.4.6. Normal kuvvet denge denklemi 49
8.5. Momentler 50
8.5.1. Birinci bölgede S_1 kuvvetinin oluşturduğu M_1 momenti: 50

8.5.2. İkinci bölgede S_2 kuvvetinin oluşturduğu M_2 momenti: 51
8.5.3. Üçüncü bölgede S_3 kuvvetinin oluşturduğu M_3 momenti: 52
8.5.4. Dördüncü bölgede S_4 kuvvetinin oluşturduğu M_4 momenti:..... 53
8.5.5. Beton basınç bölgesine ait momentler..... 53
8.5.5.1. Basınç bölgesinde 1 adet boşluk olması durumunda M_P momenti. 53
8.5.5.2. Basınç bölgesinde 2 adet boşluk olması durumunda M_P momenti. 54
8.5.5.3. Açıklık sayısına göre genelleştirilmiş M_P momenti 54
8.5.6. Moment denge denklemi..... 55
9. SICAKLIK FARKI KUVVETLERİNİN SÜPERPOZİSYONU..... 57
9.1. Hesapta İzlenecek Yol..... 57
9.1.1. Sıcaklık farkının donatı gerilmesi üzerindeki etkisi..... 58
9.1.2. Sıcaklık farkının beton gerilmesi üzerindeki etkisi..... 59
10. BACA TEMELİ 61
10.1. Yüzeysel Baca Temelinin Sağlaması Gereken Koşullar 61
10.2. Dairesel Bir Plağın Statik Hesabı..... 63
11. BACA HESABI BİLGİSAYAR PROGRAMI..... 67
11.1. Genel Akış Şeması:..... 67
11.2. Donatı Hesabı Akış Şeması 68
11.3. Program Ana Ekranı..... 69
11.4. Baca Programında Kullanılan Değişkenler 71
11.5. Bilgisayar Programı kodları 75
11.6. Visual Basic'te Class Modülü ile Birim Dönüşümü Yapabilen Değişken Tanımlama 75
12. ÖRNEK BACA HESAPLARI 77
12.1. 75 m Yüksekliğinde Betonarme Baca Çözümü..... 77
12.1.1. Donatı Hesabı 78
12.1.2. Temel Hesabı..... 81
12.1.2.1. Temel plağının statik hesabı:..... 82
12.1.2.2. Temel plağının betonarme hesabı 83
12.2. 250 m Yüksekliğinde Betonarme Baca Çözümü..... 85
13. SONUÇ..... 89
KAYNAKLAR..... 91
EKLER 93

KISALTMALAR

CICIND	: Comité International des Cheminées Industrielles Uluslararası Endüstriyel Bacalar Komitesi
ACI	: American Concrete Institute Amerikan Beton Enstitüsü
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
CEB	Comité Euro-International du Beton Avrupa Uluslararası Beton Komitesi
EN	: Norme Européene Avrupa Standardı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Yük birleşimleri ve yük artırma katsayıları 6
Çizelge 5.1 : Baca diliminin Simpson katsayıları 14
Çizelge 5.2 : Zemin sınıfının zemin sıklığı ve kaya derinliğine bağlı olarak belirlenmesi 27
Çizelge 5.3 : Zemin sıklığı 27
Çizelge 5.4 : Zemin katsayısı ve zemin çarpanı 27
Çizelge 5.5 : Zemin ivmesi 28
Çizelge 5.6 : Deprem önem katsayısı 29
Çizelge 6.1 : Şekil değiştirmeler hesabında kullanılacak beton malzeme özellikleri 32
Çizelge 12.1 : Baca Düşey Kuvvetleri 78
Çizelge 12.2 : Bacaya Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri 78
Çizelge 12.3 : Bacaya etkiyen Deprem kuvvetleri 79
Çizelge 12.4 : Baca için gerekli Donatı Oranları ve Seçilen Donatılar 79
Çizelge 12.5 : Radyal Momenter (R/a=3.71) 82
Çizelge 12.6 : Teğetsel Momentler (R/a=3.71) 83
Çizelge 12.7 : Radyal Doğrultu (BS 35 / BÇIII) 83
Çizelge 12.8 : Teğetsel Doğrultu (BS 35 / BÇIII) 83
Çizelge 12.9 : Bacaya etkiyen kuvvetler Düşey Kuvvetleri 86
Çizelge 12.10 : Baca için gerekli Donatı Oranları ve Seçilen Donatılar 87
Çizelge A.1 : 75 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen rüzgar hızları (m/sn) .. 96
Çizelge A.2 : 75 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen kuvvetler (kN) 97
Çizelge A.3 : 75 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen momentler (kNm) 97
Çizelge A.4 : 250 m yüksekliğindeki bacaya etkiyen rüzgar hızları (m/sn) 100
Çizelge A.5 : 250 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen kuvvetler (kN) 101
Çizelge A.6 : 250 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen momentler (kNm) ... 102
Çizelge B.1 : CICIND ve DBYBHY 2007 ye göre etkin yer ivmesi 106
Çizelge B.2 : 75 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri 106
Çizelge B.3 : 250 m. yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen deprem kuvvetleri . 109
Çizelge D.1 : Örnek 1 için rüzgar kuvvetleri 116
Çizelge D.2 : Örnek 1 için rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 116
Çizelge D.3 : Örnek 1 için deprem kuvvetleri 127
Çizelge D.4 : Örnek 1 için deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 127
Çizelge D.5 : Örnek 1 için hesap yükleri 132
Çizelge D.6 : Örnek 1 için seçilen donatılar 132
Çizelge D.7 : Örnek 2 için rüzgar kuvvetleri 134
Çizelge D.8 : Örnek 2 için rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 135
Çizelge D.9 : Örnek 2 için deprem kuvvetleri 143
Çizelge D.10 : Örnek 2 için deprem kuvvetlerinin oluşturduğu deprem momentleri 144
Çizelge D.11 : Örnek 2 için hesap yükleri 149
Çizelge D.12 : Örnek 2 için donatı seçimi 150

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Baca elemanları ve bacaya etkiyen kuvvetler 3
Şekil 2.2 : Kesit üzerindeki etkiler, ölçüler, yüklemeler ve gerilmeler 4
Şekil 4.1 : Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi 9
Şekil 4.2 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme hesap eğrisi 11
Şekil 5.1 : Yukarı doğru doğrusal azalan bir baca dilimi 13
Şekil 5.2 : Topografik çarpan (k_t) hesabı için kullanılan değişkenler 17
Şekil 5.3 : Rüzgarın radyal etkisinin şematik gösterimi 20
Şekil 5.4 : Akıcı gaz film değişkeni 24
Şekil 6.1 : Dayanım artması etkisinin açıklaması 32
Şekil 6.2 : Dayanım artma etkisine göre gerilme-şekil değiştirme grafiği 33
Şekil 6.3 : Şekil değiştirmelerin hesaplanması için sayısal yöntem 36
Şekil 6.4 : İkinci mertebe momentlerin M_2 hesap yöntemi 35
Şekil 7.1 : Bacadaki açıklığın hesaplarda kullanılan büyütülmüş hali 42
Şekil 8.1 : Baca kesitinin eğilme momenti altında davranışı 45
Şekil 8.2 : Baca enkesitinde iki açıklık 54
Şekil 9.1 : Baca boy kesitinde sıcaklık farkı yükünün etkisi 57
Şekil 9.2 : Sıcaklık etkilerinin çıkartılması için gerilme diyagramı 58
Şekil 10.1 : Temel altındaki gerilme dağılımı (η yardımcı değerleri) 62
Şekil 10.2 : Temel plağı statik sistemi, simetrik ve antimetrik yüklemeler 63
Şekil 10.3 : Simetrik yüklü dairesel plakta radyal moment (M_r) için X yardımcı değerleri 64
Şekil 10.4 : Simetrik yüklü dairesel plakta çembersel moment (M_t) için X' 64
Şekil 10.5 : Antimetrik yüklü dairesel plakta radyal moment (M_r) için Y yardımcı değerleri 65
Şekil 10.6 : Antimetrik yüklü dairesel plakta çembersel moment (M_t) için Y' 65
Şekil 11.1 : Programın ana ekran görüntüsü 69
Şekil 11.2 : Baca bilgileri giriş ekranı 70
Şekil 11.3 : Donatı oranlarına göre donatı seçme ekranı 70
Şekil 12.1 : Örnek 1 baca ölçüleri 77
Şekil 12.2 : Kesit 7 için şematik gösterim 80
Şekil 12.3 : Kesit 1 için şematik gösterim 80
Şekil 12.4 : Temel ölçüleri 81
Şekil 12.5 : Temel donatı yerleşimi 84
Şekil 12.6 : Örnek 2 baca ölçüleri 85
Şekil 12.7 : Kesit 24 için şematik gösterim 88
Şekil 12.8 : Kesit 1 için şematik gösterim 88
Şekil A.1 : 75 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen rüzgar yükleri 98
Şekil A.2 : 75 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen momentler 99
Şekil A.3 : 250 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen rüzgar yükleri 103
Şekil A.4 : 250 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen momentler 104

Şekil B.1 : Zemin sınıflarına göre spektrum karakteristik periyotları 105
Şekil B.2 : 75 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri..... 107
Şekil B.3 : 75 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri..... 108
Şekil B.4 : 250 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri..... 110
Şekil B.5 : 250 m. lik bacaya etkiyen deprem momentleri 111
Şekil D.1 : Örnek 1 için giriş bilgileri 115
Şekil D.2 : Örnek 1 için CICIND rüzgar kuvvetleri..... 117
Şekil D.3 : Örnek 1 için CICIND rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler... 118
Şekil D.4 : Örnek 1 için ACI-307 rüzgar kuvvetleri..... 119
Şekil D.5 : Örnek 1 için ACI-307 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.. 120
Şekil D.6 : Örnek 1 için TS-498 rüzgar kuvvetleri 121
Şekil D.7 : Örnek 1 için TS*498 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler ... 122
Şekil D.8 : Örnek 1 için Rüzgar kuvvetlerinin karşılaştırılması 123
Şekil D.9 : Örnek 1 için 1. mod şekli..... 124
Şekil D.10 : Örnek 1 için 2. mod şekli..... 125
Şekil D.11 : Örnek 1 için 3. mod şekli..... 126
Şekil D.12 : Örnek 1 için CICIND deprem kuvvetleri..... 128
Şekil D.13 : Örnek 1 için CICIND deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 129
Şekil D.14 : Örnek 1 için DBYBHY-2007 deprem kuvvetleri 130
Şekil D.15 : Örnek 1 için DBYBHY-2007 deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 131
Şekil D.16 : Örnek 2 baca giriş bilgileri..... 133
Şekil D.17 : Örnek 2 için CICIND rüzgar kuvvetleri..... 136
Şekil D.18 : Örnek 2 için CICIND rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler. 137
Şekil D.19 : Örnek 2 için ACI-307 rüzgar kuvvetleri..... 138
Şekil D.20 : Örnek 2 için ACI 307 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 139
Şekil D.21 : Örnek 2 için ACI 307 rüzgar kuvvetleri 140
Şekil D.22 : Örnek 2 için ACI 307 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 141
Şekil D.23 : Örnek 2 için 1. mod şekli..... 142
Şekil D.24 : Örnek 2 için CICIND deprem kuvvetleri..... 145
Şekil D.25 : Örnek 2 için deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 146
Şekil D.26 : Örnek 2 için DBYBHY 2007 deprem kuvvetleri 147
Şekil D.27 : Örnek 2 DBYBHY 2007 deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler 148

SEMBOL LİSTESİ

F_r	dış yüklerden dolayı oluşan etki
γ_f	yük artırma katsayısı
f_k	malzeme karakteristik dayanım değeri
γ_m	malzeme güvenlik katsayısı
η	ilave çarpan
$V(z)$	z yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
z	zemin seviyesine göre baca yüksekliği (m)
V_b	ana rüzgar hızı (m/s)
$k(z)$	rüzgara maruz kalma faktörü
k_s	ölçek faktörü
α	arazi faktörü (rüzgar hesabı)
k_t	topoğrafik çarpanı
k_i	engel katsayısı
U	rüzgar esiş yönündeki tepeye olan yatay uzaklık
x	bacanın tepe noktasına olan uzaklığı
$w_m(z)$	Rüzgar hızından dolayı oluşan birim yükseklikteki saatlik rüzgar yükü
$w_g(z)$	Fırtına dolayısı ile oluşan rüzgar yüküne eşdeğer birim yükseklikteki saatlik sabit rüzgar yükü
ρ_a	hava yoğunluğu
$v(z)$	z yüksekliğindeki rüzgar hızı
C_D	şekil faktörü
$d(z)$	z yüksekliğindeki baca dış çapı
h	baca yüksekliği
d	0.75 h yüksekliğindeki baca çapı (rüzgar hesabı)
G	Fırtına Faktörü (Gust Factor)
g	pik çarpanı
i	türbülans şiddeti
B	Arka taraf türbülansı
E	Enerji yoğunluk spektrumu
S	Şekil azaltma faktörü
ζ	Sönüm.
f_1	bacanın birinci doğal periyodu (Hz)
T	Peryod
υ	efektif dönüş oranı
α_{te}	beton ve çelik için sıcaklık katsayısı
E_c	beton elastisite modülü
ρ	dış yüzeydeki donatın toplam baca kesitine olan oranı
γ_1	iç yüzeydeki donatı oranının dış yüzeydeki donatı oranı

γ_2 baca kabuğu iç yüzeyi ile dış donatı arasındaki mesafenin toplam baca kalınlığına oranı

r_q baca kabuğu ile kaplama arasında havalandırmalı hava boşluğu olması durumunda sıcaklık geçirgenlik oranı

t baca kabuğu kalınlığı, m.

t_b izolasyonsuz kaplama veya çelik kaplama etrafındaki izolasyon kalınlığı, m.

t_s hava boşluğu veya baca kabuğu ile kaplama arasındaki izolasyon kalınlığı, m.

T_i Baca içindeki gazın maksimum tasarım sıcaklığı, C.

T_o Baca dışındaki havanın minimum sıcaklığı, C.

C_b Baca etrafında izolasyonsuz kaplama veya çelik kaplama etrafındaki izolasyonun sıcaklık geçirgenlik katsayısı, Watt / (metre x Kelvin).

C_c Beton sıcaklık geçirgenlik katsayısı, Watt / (metre x Kelvin).

C_s Baca kabuğu ile kaplama arasındaki hava boşluğunun sıcaklık geçirgenlik katsayısı Watt / (metre x Kelvin)

K_i Kaplamalı bacalarda baca içi gazın kaplama yüzeyine, kaplamasız bacalarda ise baca kabuğu iç yüzeyine olan sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m2 x Kelvin).

K_o Baca dış yüzeyi ile çevreleyen hava arasındaki sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m2 x Kelvin)

K_r Baca kabuğu iç yüzeyi ile kalama dış yüzeyi arasında radyasyon etkisi ile meydana gelen sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m2 x Kelvin).

K_s baca kabuğu ile kaplama arasında hava sirkülasyonu bulunması durumunda sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m2 x Kelvin).

d_{bi} izolasyonsuz kaplama veya kaplama etrafındaki izolasyon iç çapı, m.

d_b izolasyonsuz kaplama veya kaplama etrafındaki izolasyonun ortalama çapı, m.

d_s kaplama ile baca kabuğu arasındaki boşluğun ortalama çapı, m.

d_c baca kabuğu ortalama çapı, m.

d_{ci} baca kabuğu iç çapı, m.

d_{co} baca kabuğu dış çapı, m.

T_x düşey sıcaklık gerilmesi için belirlenen değer

ρ' Birim yükseklikte baca dış yüzeyinde yer alan donatı alanının birim yükseklikteki baca kesitine oranı

γ_1' Birim yükseklikte yer alan baca iç yüzey donatısının baca dış yüzey donatısına oranı

γ_2' baca dış yüzeyinde yer alan donatının baca iç yüzeyine olan mesafenin toplam t kalınlığına oranı

a bacanın bulunduğu bölgede oluşan maksimum etkin yer ivmesi

S Zemin katsayısı

β zemin çarpanı

N_i modal ölçek faktörü

P_i modal katılım faktörü

R Yapısal tepki faktörü

f_{sk} çelik donatının karakteristik akma dayanımı

f_{ct} beton çekme dayanımı

f_{ck} beton karakteristik dayanımı

E_s çelik donatı elastisite modülü

γ_{cu} beton güvenlik katsayısı

γ_{su} çelik güvenlik katsayısı

ρ_v düşey donatı oranı

M_w Rüzgar yükü nedeniyle baca temeline etkiyen moment

E_t Zemin dinamik elastisite modülü

r_f Baca temelinin dış çapı

x_p kazığın dönme eksenine olan uzaklığı

K_p Temel kenarındaki kazığın yay katsayısı

b_p kazık etki faktörü

d_p kazık çapı

s_p kazıklar arası mesafe

$M_2(z)$ z yükseklikte 2nci mertebe momenti

N Baca temelindeki normal kuvvet

d_m baca temelindeki ortalama baca çapı

t baca temelindeki teorik kabuk kalınlığı

M_w Rüzgar yükü nedeniyle baca temeline etkiyen moment

γ_w sınır limit durumu için rüzgar yük faktörü

b açıklığın genişliği

t baca duvar kalınlığı

α tarafsız ekseninin kesiti kestiği noktaların kesit merkezi ile yapığı açının yarısı

β açıklık açısının yarısı

ρ_t toplam donatı oranı

n_1 basınç bölgesindeki açıklık miktarı

f_{STV} dış yüzeydeki donatıda sıcaklık çekme gerilmesi

f''_{STV} iç yüzeydeki donatıda sıcaklık basınç gerilmesi

$F_t(\nu)$ yükleme durumuna göre sıcaklık yük artırma çarpanı

w_i i . zemin tabakasının çökmesi,

h_i i . zemin tabakasının yüksekliği,

$\sigma_{z,i}$ i . zemin tabakasındaki gerilme,

E_i i . zemin tabakasının elastisite modülü,

BETONARME SANAYİ BACALARININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

ÖZET

Sanayi bacaları sıcak zehirli gazların atmosfere verilmesine yarayan düşey yapılardır. Endüstriyel Sanayi Bacaları 18 yy. sonlarında yapılmaya başlanmıştır. Başlangıçta tuğladan yapılan bacalar, inşaat malzemelerinde yaşanan gelişim ile çelik ve nihayetinde betonarme olarak üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde betonarme bacalar 420 m yüksekliğe kadar yükselmektedir. Betonarme bacaların içerisinde sıcak gazların bacaya olan etkilerini azaltmak için baca iç yüzeyinde yüksek yalıtımlı ateş tuğlaları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Betonarme Sanayi Bacalarının bilgisayar destekli tasarımı yapılmıştır. Baca tasarımında günümüzde CICIND (Uluslararası Endüstriyel Bacalar Komitesi), ACI 307 (Amerikan Beton Enstitüsü) ve EN 13084 (Avrupa Standardı) gibi standartlara göre tasarım yapılmaktadır. Baca gibi yüksek yapılara etkiyen yükler; sabit düşey yüklerin yanında, rüzgar, deprem ve sıcaklık yükleridir. Yukarıda verilen standartlara ilaveten bacaya etkiyen rüzgar yükleri için TS 498 (Türk Standardı), deprem yükleri için de DBYBHY 2007 (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) gibi yerel standartlar da kullanılmıştır.

Baca tasarımında günümüzde tüm standartlara göre taşıma gücü yöntemi kullanılmaktadır. Baca yapısının ince ve uzun bir yapı olması yanında yük dağılımının da lineer olması nedeniyle hesap yönteminde temelden ankastre bir konsol olarak hesaplanabileceği varsayılmaktadır. Bu hesap yöntemi baca hesabını kolaylaştırmakla birlikte, sıcaklık hesabı için farklı bir hesap yöntemi gerektirmektedir. CICIND sıcaklık yüklerini tablo ve abaklar yardımıyla vermektedir. ACI da ise hesap yöntemleri açık olarak sunulmuştur

Bu çalışmada yazılan bilgisayar programında genel olarak CICIND temel alınmakla birlikte, sıcaklık farkı yükleri için ACI 307, deprem yükleri için de DBYBHY 2007 kullanılmaktadır. Program ana hesaplamalar dışında farklı standartların yük bileşenlerini karşılaştırmalı olarak da vermektedir.

Günümüzde bilgisayarların daha büyük kapasite gerektiren işlemleri daha hızlı çözmesi nedeniyle sayısal hesaplamalar daha doğru ve hızla çözüme kavuşmaktadır. Mühendislik programlarının yazıldığı FORTRAN program dili için yeni görsel tabanlı derleyicilerin yapılmaması nedeniyle bu çalışmadaki bilgisayar programı Visual Basic dili kullanılarak oluşturulmuştur. Visual Basic programlama dilinde olmayan fakat bu programda kullanılan matematiksel fonksiyonlar için de çalışma ekinde gerekli alt program kodları verilmiştir.

Çalışmanın sonunda program yardımıyla çözülen 2 adet örnek ayrıntılı olarak verilmiştir.

COMPUTER AIDED DESIGN (CAD) OF INDUSTRIAL REINFORCED CONCRETE CHIMNEYS

SUMMARY

An industrial chimney is a vertical structure used for venting hot flue gases into atmosphere. Industrial chimneys became common in the late 18th century. At first, bricks were used to build chimneys, but depending on the developments in the construction materials, chimneys were started to be built from steel and eventually from reinforced concrete. Today, reinforced concrete chimneys are built up to a height of 420 m [1]. To reduce the impact of hot gases on the surface of the reinforced concrete chimneys, fire bricks with high insulation are used in the inner surface of chimneys.

In this study, computer-aided design of industrial reinforced concrete chimneys is prepared. Chimneys are designed according to standards such as CICIND (Comité International des Cheminées Industrielles), ACI 307 (American Concrete Institute), and EN 13084 (Norme Européene). Load effects of high structures, such as chimneys, are dead loads, wind loads, earthquake loads and temperature loads. In addition to the above standards local standards as TS 498 (Turkish Standard) for the wind loads and DBYBHY (Turkish Standard) for earthquake loads are also used.

Today, according to all chimney standards, a precast chimney shell is defined as a shell wholly constructed from precast reinforced concrete sections, assembled one atop another, to form a freestanding, self-supporting cantilever. Thus makes the calculating of for wind and earthquake easier whereas a different calculation is needed for temperature effects. CICIND uses tables and charts for superpositing the temperature loads. ACI 307 gives the calculation method.

The computer software written for this study is based on CICIND standard, while ACI-307 is used for the temperature difference and DBYBHY is used for earthquake loads. Other than the main calculations, the software can compare the loads from different standards.

As computers can solve complicated problems very rapidly, numerical calculations can be faster solved with more accuracy. In this study, the Visual Basic programming language is used since no graphical interfaced compilers for FORTRAN, which is the programming language of most engineering software, are developed any more. An appendix is also given for the mathematical functions created for this software, which is not present in the visual basic programming language.

Two different examples solved by this software are given at the end of this study.

1. GİRİŞ

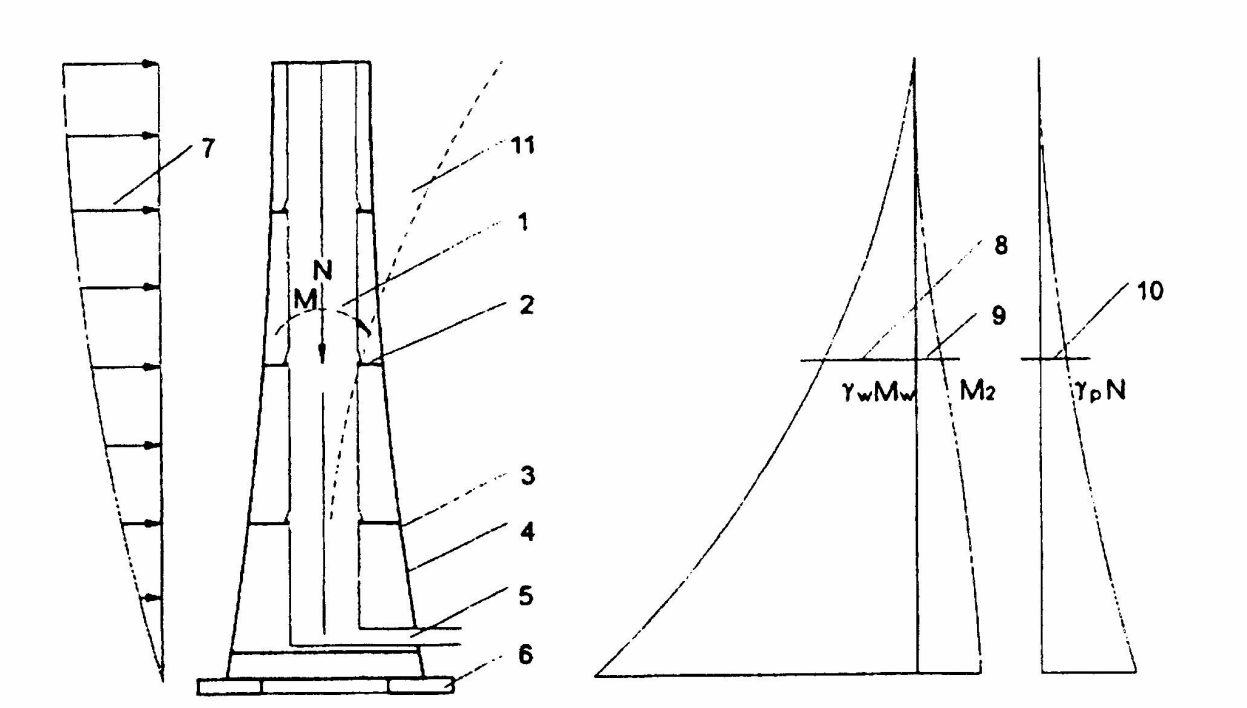
Sanayi bacaları sıcak ve zararlı gazları çeken ve daha yüksek bir seviyede atmosfere bırakan yapılardır. Sanayide kullanılan yüksek sıcaklıklar ve ortaya çıkan zararlı gazları atmosfere bırakmak için ince ve yüksek baca yapımı gereklidir.

Yüksek bacalar sanayi devrimini takiben yapılmaya başlanmıştır. Başlangıçta tuğla yapımı olan bacalar daha sonra betonarme ve çelik olarak imal edilmişlerdir. Bacalar en yüksek yapı rekorlarını hiçbir zaman kıramasalar da yüksek yapılar arasındadırlar. Bazı bacalar bulundukları coğrafyadaki en yüksek yapı olma özelliğini taşırlar. Günümüzde Kazakistan'da Ekubastuz da bulunan GRES-2 bacası 419,7 m dünyanın en yüksek bacasıdır.

2. TANIMLAR VE NOTASYON

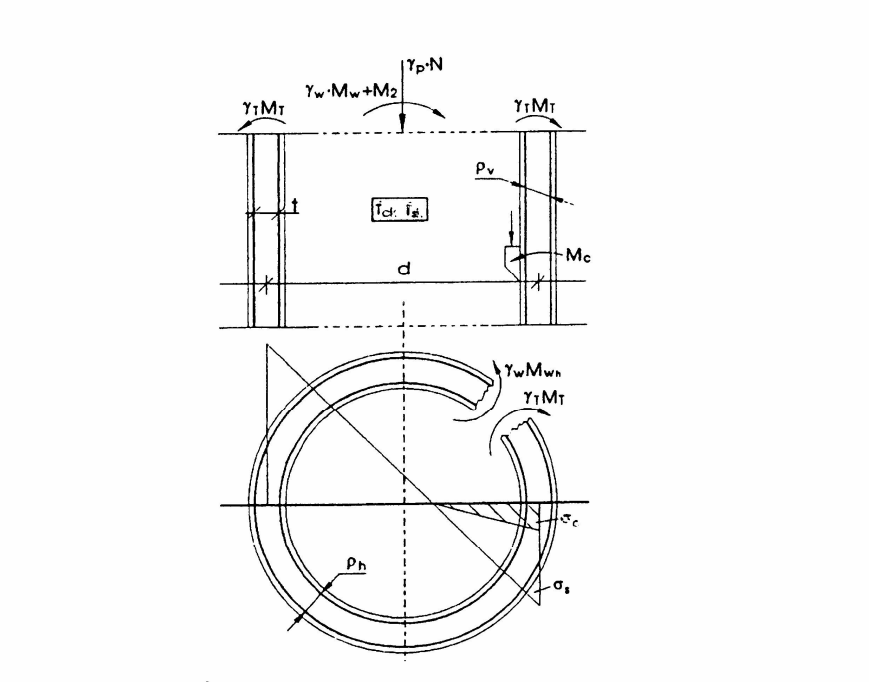
Baca elemanları ve bacaya etkiyen kuvvetler Şekil 2.1 de, baca kesiti ve kesit üzerindeki yükleme, gerilme ve ölçüler ise Şekil 2.2 de gösterilmiştir.

2.1. Baca Konstrüksiyonu



Şekil 2.1 : Baca elemanları ve bacaya etkiyen kuvvetler.

1. İç kaplama
2. Destek
3. Sahanlık
4. Baca kabuğu
5. Baca kabuğunda boşluklar
6. Baca temeli
7. Rüzgar yükü
8. Rüzgardan dolayı oluşan eğilme momenti
9. İkinci mertebe etkilerinden gelen eğilme momenti
10. Baca ağırlığından gelen kuvvetler
11. Sehim



Şekil 2.2 : Kesit üzerindeki etkiler, ölçüler, yüklemeler ve gerilmeler.

f_{ck} Beton karakteristik dayanımı

f_{sk} Çelik karakteristik dayanımı

d Ortalama çap

t Duvar kalınlığı

ρ_v Düşey donatı oranı

ρ_h Yatay donatı oranı

γ_w Rüzgar güvenlik katsayısı

γ_p Kalıcı yük güvenlik katsayısı

γ_T Sıcaklık yükleri güvenlik katsayısı

N Baca ağırlığı dolayısı ile oluşan normal kuvvet

M_w Rüzgar dolayısıyla oluşan eğilme momenti

M_2 İkinci mertebe etkisinden dolayı oluşan moment

M_T Sıcaklık dolayısıyla oluşan yerel moment

M_c Korbel dolayısıyla oluşan yerel moment

M_{wh} Rüzgar dolayısıyla oluşan yatay moment

σ_c Beton gerilmesi

σ_s Çelik gerilmesi

3. BACA TASARIMININ TEMEL İLKELERİ

Bu bölümde verilecek ilkeler CICIND'den alınmıştır.

3.1. Limit Durumlar

CICIND'e göre baca kabuğunun tamamının veya belirli bölgelerinin yapısal performansı, istenilen ve istenilmeyen durumları birbirinden ayıran limit yüklere göre tanımlanmıştır. Limit yükler iki kategoriye ayrılmıştır.

- Sınır limit durumu : Maksimum taşıma kapasitesinin oluştuğu yük durumu
- Kullanım limit durumu : Normal şartlar altında oluşan yükler

Sınır durumların aşılması durumunda oluşacak hasar, kalıcı veya geçici olabilir. Kalıcı hasar, hasarın tamirini gerektirecek durumlardır. Geçici hasarlar, hasarı oluşturan etkenlerin ortadan kalkması ile yok olacaktır.

3.1.1. Sınır limit durumu

- yapının devrilmesi
- kesitlerin maksimum taşıma kapasitelerinin aşılması

durumlarını içerir.

Sınır limit durumların geçilmesi durumunda oluşacak hasar, büyük bir olasılıkla kalıcı bir hasar olacaktır. Yapıyı kullanılamayacak hale getirecek durumlar, sınır limit durumu olarak algılanmalıdır.

3.1.2. Kullanım limit durumu

Yerel hasarların oluştuğu durumlardır. Buna, yapının dayanımı veya görünümünü etkileyecek yerel büyük kırılmalar da dâhil edilebilir. Keza yapının kullanımı veya yapı elemanların görünümünü etkileyen şekil değiştirme durumlarını da içerir.

Yerel hasarların oluşmasını müteakip, kullanım limit durumunun aşılması kalıcı hasar oluşmasına neden olabilir.

3.1.3. Tasarım yük değerleri

Tasarım yükleri aşağıda verilen bağıntıya göre bulunmalıdır:

$$F_D = \gamma_f F_r \qquad \textbf{(3.1)}$$

burada

F_r dış yüklerden dolayı oluşan etki

γ_f yük artırma katsayısıdır.

Tasarımda kullanılan malzeme dayanım özellikleri aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir:

$$f_d = \eta f_k / \gamma_m \qquad \textbf{(3.2)}$$

burada

f_k malzeme karakteristik dayanım değeri

γ_m malzeme güvenlik katsayısı

η ilave çarpandır.

3.2. Yük Birleşimleri

CICIND'e göre yük birleşimleri Çizelge 3.1 deki gibi olmalıdır.

Çizelge 3.1 : Yük birleşimleri ve yük artırma katsayıları.

	Sınır Limit Durumu					Kullanım Limit Durumu		
	Yatay kesitler				Düşey kesitler			
Yük	Simge	Statik Rüzgar	Dinamik Rüzgar	Deprem	Rüzgar	Rüzgar	Deprem	Çatlak
Kalıcı	G	1,0	1,0	1,0	--	1,0	1,0	--
Normal Rüzgar Yükü	W	1,6[1)]	1,2[3)]	--	1,4	1,3	--	--
Fırtına Rüzgar Yükü	W	1,8[2)]	1,2[3)]	--	1,6	1,3	--	--
Dinamik Rüzgar	X	--	1,2	--	--	--	--	--
Gaz sıcaklığı[4)]	T_g	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Dış sıcaklık[4)]	T_a	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Deprem	E	--	--	1,4[5)]	--	--	1,0	--

1) Baca önem katsayısının 2 olması durumunda 1,8

2) Baca önem katsayısının 2 olması durumunda 2,0

3) Statik rüzgar etkilerine girdap etkileri eklenmelidir

4) Baca içi ve dış ortamdaki sıcaklık farkından dolayı oluşan etkiler

5) Sismik tasarım içerisine önem katsayısı katılmıştır (Bölüm 5.4.9)

3.3. Güvenlik Katsayıları

3.3.1. Baca önem sınıfı

Bacalar için iki önem sınıfı tanımlanmıştır. Önem sınıfı 2 olan bacalar, bacanın yıkılması durumunda çok sayıda ölüm olması veya oluşacak hasarın giderilmesi için gereken bedelin baca inşaat masrafının 100 katından fazla olması durumu için tanımlanmıştır. Diğer tüm bacaların önem sınıfı 1 olarak tanımlanmaktadır. Önem sınıfı 2 olan bir bacanın 50 yıllık bir sürede yıkılma olasılığı 10^{-5}; önem sınıfı 1 olan bir bacanın 50 yıllık bir sürede yıkılma olasılığı 10^{-4} olarak verilmiştir.

3.4. Malzeme Özellikleri

Betonun basınç bölgesindeki tasarım dayanımı aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$f_{cu} = \eta f_{ck} / \gamma_{cu} \qquad \textbf{(3.3)}$$

burada, $\eta = 0{,}85$, $\gamma_{cu} = 1{,}5$ ve f_{ck} beton silindir karakteristik dayanımıdır.

Betonun çekme dayanımı veya elastisite modülü gibi diğer tasarım özellikleri, ilgili bölümlerde verilmiştir.

Çelik tasarım dayanımı

$$f_{su} = f_{sk} / \gamma_{su} \qquad \textbf{(3.4)}$$

olup, burada hem çekme hem de basınç bölgesinde $\gamma_{su} = 1{,}15$ tir.

3.5. Yükler

Yükler için Çizelge 3.1 de verilen yük artırma katsayıları kullanılır.

Çizelgede verilmemiş yükler için kullanılacak yük artırma katsayısı 1,5 den az olmamalıdır. Baca iç kaplaması ve baca dışında yer alan konsollar için yük artırma katsayıları 1,4 olmalıdır.

3.6. Modelleme

3.6.1. Genel

Baca yatay yükler ve yerçekimi yüklerine göre temelden ankastre bir konsol olarak hesaplanabilir. Yük modellemeleri kiriş teorisinin kullanımına uygun olmalıdır. Baca yüzeyindeki boşluklar gibi yerel farklılıklar ilgili kesit hesabında dikkate alınmalıdır.

İkinci mertebe etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bacanın dinamik karakteristikleri eşdeğer sistem çözümünden alınabilir. Alınacak kütle sayıları sistemi tanımlayacak yeterli sayıda olmalıdır.

3.7. Radyal Rüzgar Basıncı

Radyal rüzgar basınçları baca açıklık bölgeleri haricinde birim boy için birbirinden bağımsız olarak düşünülür.

4. MALZEME

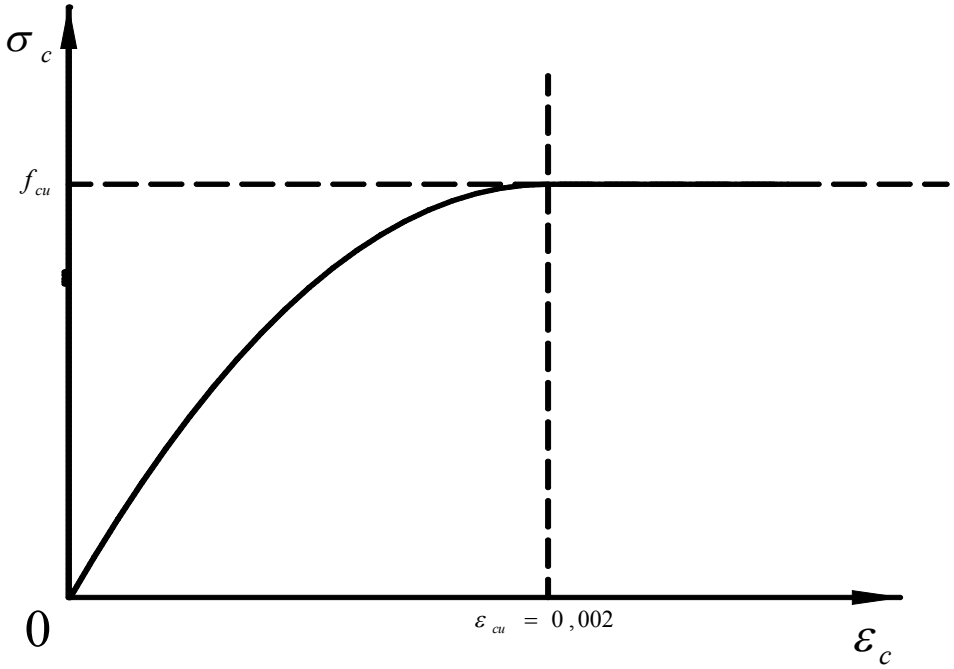
4.1. Beton

4.1.1. Genel

Baca yapımında kullanılacak betonun karakteristik silindir basınç dayanımı (f_{ck}) 25 MPa (C25) dan küçük olmamalıdır.

4.1.2. Beton gerilme - şekil değiştirme eğrisi

Kesit hesaplarında kullanılacak beton gerilme - şekil değiştirme hesap eğrisi Şekil 4.1 deki gibidir.



Şekil 4.1 : Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi aşağıdaki bağıntılar kullanılarak oluşturulur:

$$\varepsilon \le 0{,}002 \qquad \sigma = 1000\varepsilon(1-250\varepsilon) f_{cu}$$
$$\varepsilon_{cu} \le \varepsilon \qquad \sigma = f_{cu} \qquad \textbf{(4.1)}$$

burada f_{cu} (3.3) de verilmiştir.

Beton sınır kısalma şekil değiştirmesi ε_{cu}, baca kabuğu ekseninde 0,0030, baca kabuğu dış lifinde 0,0035 olarak tanımlanmıştır.

4.2. Donatı

4.2.1. Genel

Donatı olarak geometrik, mekanik ve teknik özellikleri malzeme standartlarında tanımlı çelik çubuklar kullanılacaktır.

4.2.2. Geometri

Geometrik özellikler şekil ve yüzey özellikleridir. Bu özellikler ulusal ve uluslararası standartlarda tanımlanan özelliklere uygun olmalıdır. Ana donatı olarak nervürlü yüksek dayanımlı çelikler kullanılmalıdır.

4.2.3. Çekme özellikleri

Çelik ile ilgili standartlarda tanımlı

- çelik akma dayanımı f_{sk}
- çekme dayanımı f_{tk}
- maksimum yükte oluşan toplam uzama ε_{uk}

değerleri baca hesabında da kullanılabilir.

4.2.4. Çelik sınıfları

Çelik sınıfları, MPa cinsinden çeliğin akma dayanımına göre tanımlanmaktadır. Bacalarda S500 den büyük çelik sınıfları kullanılmamalıdır.

4.2.5. Süneklik

İki tip süneklik tanımlanmıştır.

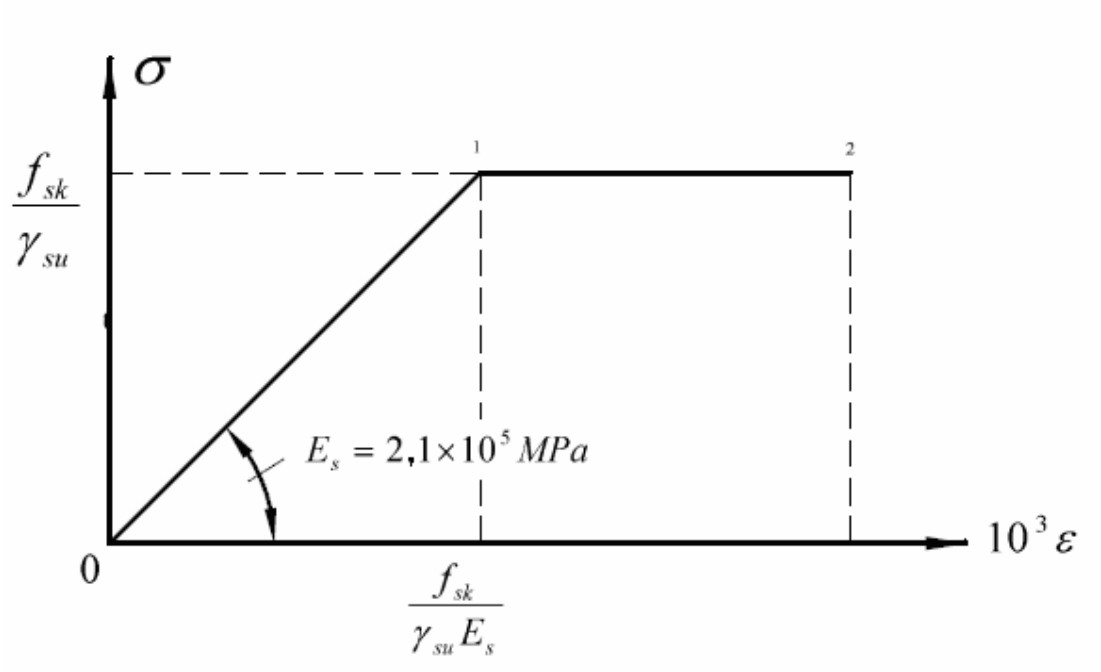
- A normal süneklik $(f_{tk} / f_{sk})_k \geq 1{,}08$ ve $\varepsilon_{uk} \geq 0{,}05$
- S yüksek süneklik $(f_{tk} / f_{sk})_k \geq 1{,}15$ ve $\varepsilon_{uk} \geq 0{,}15$

burada $(f_{tk} / f_{sk})_k$ süneklik oranının karakteristik minimum değeridir.

Deprem bölgelerinde yapılacak bacalarda süneklik düzeyi yüksek bacalar yapılmalıdır.

4.2.6. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Kesit hesaplarında kullanılacak çelik gerilme-şekil değiştirme hesap eğrisi Şekil 4.2 deki gibidir.



Şekil 4.2 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme hesap eğrisi.

Çeliğin gerilme-şekil değiştirme eğrisi aşağıdaki bağıntılar kullanılarak oluşturulur:

$$\varepsilon < \frac{f_{sk}}{\gamma_{su}E_s} \quad \text{için} \quad \sigma = E_s\varepsilon$$

$$\varepsilon \geq \frac{f_{sk}}{\gamma_{su}E_s} \quad \text{için} \quad \sigma = \frac{f_{sk}}{\gamma_{su}} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Yukarıda çelik için verilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı hem çekme hem de basınç durumu için kullanılabilir.

Çelik elastisite modülü olarak 210 GPa alınabilir.

Deprem analizinde çelik uzaması baca kabuğunda önemli bir boşluk olmaması durumunda $\varepsilon_{su} = 0{,}04$ olarak alınabilir. Diğer tüm durumlar için limit uzama $\varepsilon_{su} = 0{,}01$ dir.

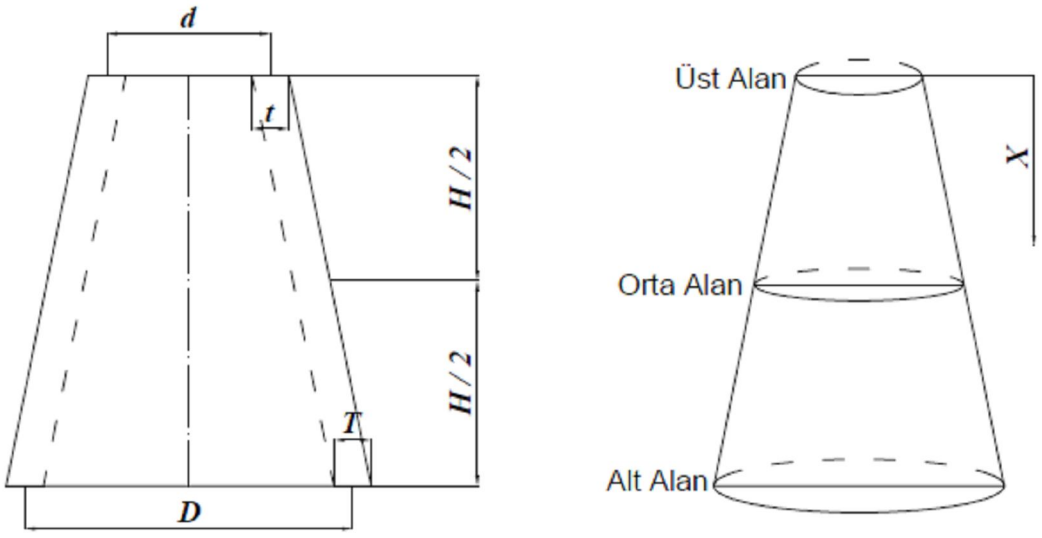
5. BACAYA GELEN DIŞ YÜK ETKİLERİ VE KESİT ZORLARI

5.1. Sabit Yükler

Limit durumlar için minimum ve maksimum sabit yükler hesaplanmalıdır. Maksimum yük yapı üzerindeki tüm kalıcı yapıları ve yapı elemanlarını, aksesuarları, yalıtımları, toz yükleri, kül tutucuları, mevcut ve sonradan yapılacak kaplamaları içermelidir.

Bacanın tepesine doğru baca çapı ve yatay yüklerden oluşan etkiler azalır. Dolayısıyla baca betonarme gövde kalınlığı yukarıya doğru doğrusal veya kademeli olarak azaltılır. Keza kendini taşıyan tuğla kaplama da yukarıya doğru azalır.

Bacaya gelen yükleri hesaplamak için baca yüksekliği boyunca dilimler alınır. Alınacak dilim sayısı arttıkça hesap yoğunluğu ile birlikte hesabın doğruluğu ve hassasiyeti de artacaktır. Çokça rastlanan kalınlıkların doğrusal olarak değişmesi durumu için sembolleri içeren bir çizim aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.1 : Yukarı doğru doğrusal azalan bir baca dilimi.

x kesitindeki ortalama çap ve kalınlık:

$$D_x = d + \frac{x}{H}(D-d) \quad , \quad t_x = t + \frac{x}{H}(T-t) \tag{5.1}$$

Dilim hacmi

$$V = \int_0^H \pi D_x t_x dx = \frac{1}{6}\pi H\left[2(dt + DT) + dT + Dt\right] \quad \textbf{(5.2)}$$

Dilim ağırlığı

$$G = \gamma V \quad \textbf{(5.3)}$$

Dilimin tepeye göre statik momenti

$$M_u = \int_0^H \pi D_x t_x x dx = \frac{1}{12}\pi H^2\left[dt + dT + Dt + 3DT\right] \quad \textbf{(5.4)}$$

Dilimin ağırlık merkezinin taban kesitine uzaklığı

$$l_g = H - \frac{M_u}{V} = \frac{H}{2} \cdot \frac{(3dt + DT + Dt + dT)}{\left[2(dT + DT) + dT + Dt\right]} \quad \textbf{(5.5)}$$

bağıntıları kullanılarak bulunabilir.

5.1.1. Simpson değişkenleri

Baca geometrisinin değişken olması nedeniyle baca kesiti hesaplanırken Simpson kuralını uygulamak kolaylık sağlar. Simpson çarpanları Çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Baca diliminin Simpson katsayıları.

KESİT	A/π	Simpson Çarpanı	V/π	h	Vh/π
1. Üst Alan	dt	1	dt	H	dtH
2. Orta Alan	$d_m t_m$	4	$4d_m t_m$	$H/2$	$2d_m t_m H$
3. Alt Alan	DT	1	$\frac{DT}{dt + DT + 4d_m t_m}$	0	$\frac{H}{H(dt + 2d_m t_m)}$

1 ve 3 kesitleri arasındaki baca diliminin hacmi

$$V = \frac{1}{6}\pi H(dt + DT + 4d_m t_m) \quad \textbf{(5.6)}$$

3 kesitine göre ağırlık merkezi

$$l_g = \frac{1}{6}\pi H(dt + 2d_m t_m)/V = (dt + 2d_m t_m)/(dt + DT + 4d_m t_m) \quad \textbf{(5.7)}$$

olur.

Simpson kuralı uygulandığında bulunan sonuçlar daha önce verilmiş olan kesin çözümle üst üste düşmektedir.

5.2. Rüzgar Yükleri

5.2.1. Genel

Rüzgar yükü öncelikle bacanın yapıldığı bölgenin rüzgar hızlarına ve bacanın yüksekliğine bağlıdır. Bunun dışında aşağıda belirtilen özellikler de bacaya etkiyen rüzgar yükü hesabında önem arz ederler.

a) yerel topoğrafya
b) türbülans derecesi
c) yakın binaların olması
d) hava yoğunluğu
e) direnç katsayısı (şekil faktörü)
f) bacanın doğal titreşim periyotları
g) yapı sönümü
h) titreşimin ilk birkaç modu

5.2.2. Rüzgar hızı

5.2.2.1. Ana rüzgar hızı

Etkin rüzgar basıncı, rüzgar hızı V_b ye bağlı olarak hesaplanır.

Bacaya etkiyen ana rüzgar hızı; yerden 10m. yükseklikte 1 yılda 0.02 olasılıkla aşılma olasılığı olan hızdır. Yerel rüzgar hızları meteorolojik ölçümlerle belirlenmelidir.

Rüzgar hızı ölçümü mutlaka açık ve düz bir alanda yapılmalıdır. Bacanın inşa edileceği bölgede bu tip bir alan olmaması durumunda yukarıdaki tanıma uyan en yakın yerde ölçüm yapılmalıdır.

5.2.2.2. Bacaya etkiyen rüzgar hızı

Ana rüzgar hızı ile bacaya etki eden rüzgar hızı bölgesel nedenlerden dolayı farklıdır.

Bölgede bulunan tepe ve dağlar ölçümlerle belirlenmelidir.

Etkin rüzgar hızı ana rüzgar hızının 3 farklı katsayı ile düzeltilmesi ile oluşturulur. Bu katsayılar k(z) yükseklik katsayısı, k_t topografik çarpanı, k_i engel katsayısıdır. Bacaya etkiyen rüzgar hızı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır:

$$V(z) = V_b k(z) k_t k_i \qquad \textbf{(5.8)}$$

burada

$V(z)$ z yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)

z zemin seviyesine göre baca yüksekliği (m)

V_b ana rüzgar hızı (m/s)

$k(z)$ $= k_s (z/10)^{\alpha}$ rüzgara maruz kalma faktörü

k_s ölçek faktörü, açık alanlarda 1,0 olarak alınmalıdır

α arazi faktörü

arazi faktörü α =0,14 olarak alınabilir.

k_t topografik çarpanının ve k_i engel katsayısının bulunması için gerekli bağıntılar verilmiştir.

Topografik çarpan

Topografik çarpan Şekil 5.2 de görülen üç değişkene göre tanımlanmıştır. Buna göre topografik çarpan k_t aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunabilir:

$$\begin{aligned} k_t &= \left(1 + 1{,}2 \cdot \psi_E \cdot \left(1 - x/U_E - z/U_E\right)\right) && \psi_D \geq 0{,}05 \\ k_t &= \left(1 + 1{,}2 \cdot \psi_E \cdot \left(1 - x/4U_E - z/U_E\right)\right) && \psi_D < 0{,}05 \end{aligned} \qquad \textbf{(5.9)}$$

burada

$$\psi_E = \begin{cases} \psi_U & \psi_U \leq 0{,}3 \\ 0{,}3 & \psi_U > 0{,}3 \end{cases}$$

$$U_E = \begin{cases} U & \psi_U \leq 0{,}3 \\ 3{,}3 \cdot h & \psi_U > 0{,}3 \end{cases} \qquad \textbf{(5.10)}$$

burada

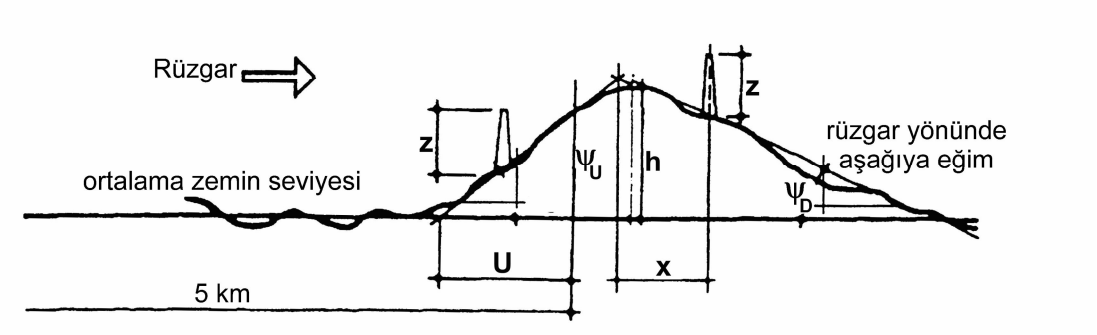
h Şekil 5.2 de görülen tepe noktası rakımı

U rüzgar esiş yönündeki tepeye olan yatay uzaklık

x bacanın tepe noktasına olan uzaklığı

z bacanın kendi yüksekliği

not : k_t değeri 1 den küçük bulunursa k_t =1 olarak alınmalıdır.



Şekil 5.2 : Topografik çarpan (k_t) hesabı için kullanılan değişkenler.

Engel katsayısı

Baca etrafında rüzgar hızı ve etkisini değiştirecek yapı ve engellerin olması durumunda oluşacak rüzgar yükleri, rüzgar tüneli deneyleri ile saptanmalıdır. Bazı durumlar için aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir:

a) Eğer engel teşkil eden yapı, baca yüksekliğinin yarısından az ise k_i =1 alınabilir.

b) Eğer engel teşkil eden yapı, silindirik bir yapı ise:

$$k_i = 1{,}25 - \left(\frac{0{,}15}{9d}\right) \cdot a \qquad 6d < a < 15d$$

$$k_i = 1{,}0 \qquad a > 15d \qquad \textbf{(5.11)}$$

Bağıntıları ile bulunabilir, burada

a engel teşkil eden yapı ile baca arasındaki mesafe

d engel teşkil eden yapının çapı

c) $a < 6d$ olması durumunda, k_i rüzgar tüneli deneylerinden elde edilmelidir.

5.2.3. Rüzgar yükü

5.2.3.1. İlkeler

z yükseklikte oluşan w(z) rüzgar yükü, aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$w(z) = w_m(z) + w_g(z) \qquad \textbf{(5.12)}$$

burada

$w_m(z)$ Rüzgar hızından dolayı oluşan birim yükseklikteki saatlik rüzgar yüküdür.

$w_g(z)$ Fırtına dolayısı ile oluşan rüzgar yüküne eşdeğer birim yükseklikteki saatlik statik rüzgar yüküdür

5.2.3.2. Saatlik rüzgar yükü

Birim yükseklikteki saatlik rüzgar yükü aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$w_m(z) = 0{,}5\rho_a v(z)^2 C_D d(z) \qquad \textbf{(5.13)}$$

burada

ρ_a hava yoğunluğu

$v(z)$ z yüksekliğindeki rüzgar hızı

C_D şekil faktörü

$d(z)$ z yüksekliğindeki baca dış çapıdır

Hava yoğunluğu

Deniz seviyesindeki hava yoğunluğu

$$\rho_a = 1{,}25 kg/m^3 \qquad \textbf{(5.14)}$$

olarak alınabilir. Deniz seviyesinden h_1 (m) yükseklikte inşa edilmiş bacalar için hava yoğunluğu

$$\rho_a = 1{,}25 - \frac{h_1}{8000} kg/m^3 \qquad \textbf{(5.15)}$$

bağıntısından hesaplanabilir.

Şekil faktörü

Şekil faktörü C_D bacanın narinliğine bağlıdır. Daire kesitli bir baca için C_D aşağıdaki bağıntılar yardımı ile bulunabilir:

$$\begin{aligned} h/d < 5 \qquad & C_D = 0{,}6 \\ 5 \le h/d < 25 \qquad & C_D = 0{,}1\frac{\log_{10}(h/d)}{\log_{10}(5)} + 0{,}5 \\ h/d \ge 25 \qquad & C_D = 0{,}7 \end{aligned} \qquad \textbf{(5.16)}$$

burada

h baca yüksekliği

d bacanın 0,75 h yüksekliğindeki çapıdır

5.2.3.3. Fırtına dolayısıyla oluşan rüzgar yüküne eşdeğer sabit rüzgar yükü

Fırtına dolayısı ile oluşan rüzgar dinamik karakterlidir. Statik eşdeğeri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$w_g(z) = \frac{3(G-1)}{h^2}\frac{z}{h}\int_0^h w_m(z)zdz \qquad \textbf{(5.17)}$$

burada

G Fırtına Faktörü (Gust Factor)

h baca yüksekliği

z zeminden yükseklik

$w_m(z)$ Birim yükseklikteki saatlik rüzgar yüküdür

Fırtına faktörü

Fırtına faktörü aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilir.

$$G = 1 + 2gi\sqrt{B + \frac{ES}{\zeta}} \qquad \textbf{(5.18)}$$

burada

g pik çarpanı

$$g = \sqrt{2\log_e \upsilon T} + \frac{0,577}{\sqrt{2\log_e \upsilon T}} \qquad \textbf{(5.19)}$$

$$\upsilon T = \frac{3600 f_1}{\left(1 + \frac{B\zeta}{SE}\right)^{1/2}} \quad \text{olmak üzere} \qquad \textbf{(5.20)}$$

i türbülans şiddeti

$$i = 0,311 - 0,089\log_{10} h \qquad \textbf{(5.21)}$$

B Arka taraf türbülansı

$$B = \left[1 + \left(\frac{h}{265}\right)^{0,63}\right]^{-0,88} \quad \textbf{(5.22)}$$

E Enerji yoğunluk spektrumu

$$E = \frac{123\left(\frac{f_1}{V_b}\right)h^{0,21}}{\left[1 + \left(\frac{330 f_1}{V_b}\right)^2 h^{0,42}\right]^{0,83}} \quad \textbf{(5.23)}$$

S Şekil azaltma faktörü

$$S = \left(1 + 5,78\left(\frac{f_1}{V_b}\right)^{1,14} h^{0,98}\right)^{-0,88} \quad \textbf{(5.24)}$$

ζ Sönüm. Kritik sönümün bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Rüzgar esiş yönündeki rüzgar yükleri için ζ =0,016 olarak alınmalıdır

f_1 bacanın birinci doğal periyodu (Hz)

h bacanın yüksekliği (m)

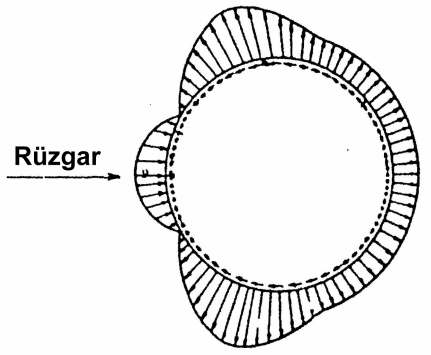
V_b rüzgar hızı (m/sn)

T Periyot

υ efektif dönüş oranıdır

5.2.4. Ovalleşme (Rüzgarın radyal etkisi)

Rüzgar basıncının dengesiz dağılımı yatay kesitlerde eğilme momentleri oluşturur.



Şekil 5.3 : Rüzgarın radyal etkisinin şematik gösterimi.

Rüzgar basıncının yatay kesitlerde oluşturduğu eğilme momenti aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$M_{wh} = 0{,}09 k_t \frac{w_m(z)}{C_D} d(z) \qquad \textbf{(5.25)}$$

burada,

k_t =2,2 Saatlik rüzgar yükünü 5 saniyelik yüke çevirmek için gerekli düzeltme çarpanı

$w_m(z)$ denklem (5.13) te tanımlanan saatlik rüzgar yükü

$d(z)$ z yüksekliğindeki baca çapı

C_D şekil çarpanıdır

5.2.5. Merdivenler ve diğer konsollardaki rüzgar yükleri

Baca dışında yer alan platform, merdiven ve diğer yapıların baca dışındaki rüzgar akışını ve dolayısıyla rüzgar yükünü fazla değiştirmediği varsayılmıştır.

Eğer bu yapılar baca yüzeyinde geniş bir yüzeye yayılmışsa baca şekil faktörünün artacağı varsayılmalıdır.

5.2.6. Yapım sırasında rüzgar yükleri

Yapım sırasında veya 2 yılı geçmeyecek geçici durumlarda rüzgar yükleri Bölüm 5.2.3 - 5.2.5 te verilen rüzgar yüklerinin %80'i oranında alınmalıdır.

5.2.7. Girdap kopmaları (Vortex shedding)

Özel durumlar için hesaplanması gereken girdap kopmaları ACI 307 den alınabilir. Bu çalışma kapsamında bu özel durum dikkate alınmamıştır.

5.3. Sıcaklık Etkileri (ACI 307-98)

Sıcaklık etkisi bağıntıları ACI 307 dan alınmıştır.

5.3.1. Düşey sıcaklık gerilmeleri

Sıcaklık etkisinden dolayı bacaya etkiyen kuvvetlerin düşey etkisi aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$f''_{CTV} = \alpha_{te} c T_x E_c \qquad \textbf{(5.26)}$$

$$f''_{STV} = \alpha_{te} (c - 1 + \gamma_2) T_x n E_c \qquad \textbf{(5.27)}$$

burada

α_{te} beton ve çelik için sıcaklık katsayısı, °C başına 0,0000117 olarak alınmalıdır.

E_c beton elastisite modülü (MPa)

c $c = -\rho n(\gamma_1 + 1) + \sqrt{[\rho n(\gamma_1 + 1)]^2 + 2\rho n[\gamma_2 + \gamma_1(1 - \gamma_2)]}$

ρ dış yüzeydeki donatın toplam baca kesitine olan oranı

γ_1 iç yüzeydeki donatı oranının dış yüzeydeki donatı oranı

γ_2 baca kabuğu iç yüzeyi ile dış donatı arasındaki mesafenin toplam baca kalınlığına oranı

n E_s / E_c

Baca kabuğundaki sıcaklık derecesi, baca yapısı dikkate alınarak aşağıdaki bağıntılarından uygun olanı ile hesaplanmalıdır

a) Kaplaması olmayan bacalar için

$$T_x = \frac{td_{ci}}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{td_{ci}}{C_c d_c} + \frac{d_{ci}}{K_o d_{co}}}\right) \quad \textbf{(5.28)}$$

b) Kaplamalı bacalar.

- İzolasyon malzemesi ile baca kabuğu arasında hava boşluğu bulunmayan bacalar için

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{t_b d_{bi}}{C_b d_b} + \frac{t_s d_{bi}}{C_s d_s} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}}\right) \quad \textbf{(5.29)}$$

- İzolasyon malzemesi ile baca kabuğu arasında hava boşluğu bulunan bacalar

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{t_b d_{bi}}{C_b d_b} + \frac{d_{bi}}{K_r d_b} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}}\right) \quad \textbf{(5.30)}$$

- İzolasyon malzemesi ile baca kabuğu arasında sirkülasyonlu hava boşluğu bulunan bacalar

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{r_q K_i} + \frac{t_b d_{bi}}{r_q C_b d_b} + \frac{d_{bi}}{K_s d_s} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}}\right) \quad \textbf{(5.31)}$$

burada

r_q baca kabuğu ile kaplama arasında havalandırmalı hava boşluğu olması durumunda sıcaklık geçirgenlik oranı

t baca kabuğu kalınlığı, m.

t_b izolasyonsuz kaplama veya çelik kaplama etrafındaki izolasyon kalınlığı, m.

t_s hava boşluğu veya baca kabuğu ile kaplama arasındaki izolasyon kalınlığı, m.

T_i Baca içindeki gazın maksimum tasarım sıcaklığı, C.

T_o Baca dışındaki havanın minimum sıcaklığı, C.

C_b Baca etrafında izolasyonsuz kaplama veya çelik kaplama etrafındaki izolasyonun sıcaklık geçirgenlik katsayısı, Watt / (metre x Kelvin).

C_c Beton sıcaklık geçirgenlik katsayısı, 1,73 Watt / (metre x Kelvin)

C_s Baca kabuğu ile kaplama arasındaki hava boşluğunun sıcaklık geçirgenlik katsayısı Watt / (metre x Kelvin)

K_i Kaplamalı bacalarda baca içi gazın kaplama yüzeyine, kaplamasız bacalarda ise baca kabuğu iç yüzeyine olan sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m^2 x Kelvin).

K_o Baca dış yüzeyi ile çevreleyen hava arasındaki sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m^2 x Kelvin)

K_r Baca kabuğu iç yüzeyi ile kalama dış yüzeyi arasında radyasyon etkisi ile meydana gelen sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m^2 x Kelvin).

K_s baca kabuğu ile kaplama arasında hava sirkülasyonu bulunması durumunda sıcaklık iletim katsayısı, Watt / (m^2 x Kelvin).

d_{bi} izolasyonsuz kaplama veya kaplama etrafındaki izolasyon iç çapı, m.

d_b izolasyonsuz kaplama veya kaplama etrafındaki izolasyonun ortalama çapı, m.

d_s kaplama ile baca kabuğu arasındaki boşluğun ortalama çapı, m.

d_c baca kabuğu ortalama çapı, m.

d_{ci} baca kabuğu iç çapı, m.

d_{co} baca kabuğu dış çapı, m.

Baca ile ilgili özel ısı çalışmaları yapılmadığı sürece yukarıda verilen katsayıların aşağıdaki gibi kullanılması tavsiye edilir:

r_q 0,5

C_c 1,73 Watt / (metre x Kelvin)

C_b Kullanılan malzemenin üreticisi tarafından tavsiye edilen değer.

C_s Kullanılan malzemenin üreticisi tarafından tavsiye edilen değer.

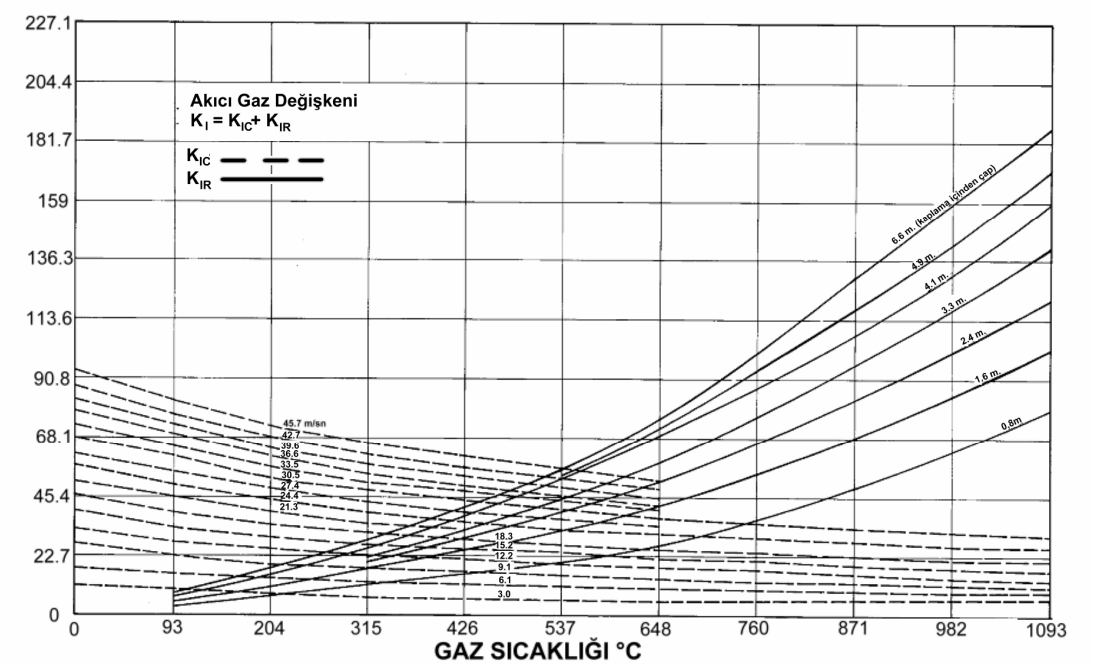
K_i Şekil 5.4 den bulunmalıdır.

K_o 68 Watt / (m^2 x Kelvin)

K_r Ti / 9,75, Watt / (m^2 x Kelvin).

K_s Ti / 9,75, Watt / (m^2 x Kelvin).

r_q = 0,5 değeri baca kabuğu ile kaplama arasındaki mesafenin tüm baca yüksekliği boyunca 10 cm den az olmaması durumunda kullanılabilir. Ayrıca baca üst ve altında hava giriş ve çıkış boşlukları bulunmalıdır.



Şekil 5.4 : Akıcı gaz film değişkeni.

Sıcaklık farkından dolayı baca kabuğu dış yüzeyindeki yatay donatıdaki gerilme aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesaplanmalıdır.

$$f_{STV} = \alpha_{te}(\gamma_2 - c)T_x E_s \quad \textbf{(5.32)}$$

burada

E_s donatı elastisite modül, MPa

5.3.2. Çevresel sıcaklık gerilmeleri

Baca kabuğunda sıcaklık nedeniyle meydana gelen çevresel gerilmeler aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunabilir:

$$f''_{CTC} = \alpha_{te} c' T_x E_c \quad \textbf{(5.33)}$$

burada

c' $-\rho' n(\gamma'_1 + 1) + \sqrt{[\rho' n(\gamma'_1 + 1)]^2 + 2\rho' n[\gamma'_2 + \gamma'_1(1 - \gamma'_2)]}$

T_x düşey sıcaklık gerilmesi için belirlenen değer

ρ' Birim yükseklikte baca dış yüzeyinde yer alan donatı alanının, birim yükseklikteki baca kesitine oranı

γ'_1 Birim yükseklikte yer alan baca iç yüzey donatısının baca dış yüzey donatısına oranı

γ'_2 baca dış yüzeyinde yer alan donatının baca iç yüzeyine olan mesafenin toplam t kalınlığına oranıdır.

Diğer değişkenler düşey hesabında kullanılanlara aynıdır.

Baca dış yüzeyinde yer alan çevresel donatının sıcaklık etkisinden oluşan gerilmeleri ise aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesaplanabilir.

$$f_{STC} = \alpha_{TE}(\gamma'_2 - c')T_x E_s \quad \textbf{(5.34)}$$

5.4. Deprem Yükleri

5.4.1. Genel

Deprem yükleri için yapılacak dinamik analizde baca zemine ankastre bir konsol olarak hesap edilebilir.

5.4.1.1. Eşdeğer toplam deprem yükü

Eşdeğer toplam deprem yükü aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$V_t = \frac{W a_s(T) IF}{R} \qquad \textbf{(5.35)}$$

Burada

V_t eşdeğer toplam deprem yükü

W toplam baca ağırlığı

R yapısal tepki faktörü

$a_s(T)$ spektrum katsayısı

IF baca önem katsayısı

5.4.2. Spektrum katsayısı

CICIND'e göre spektrum katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna bağlı olarak aşağıdaki denklemlerden hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} a_s(T) &= a(1+20T) && (0 \le T \le 0{,}1s) \\ a_s(T) &= 3a && (0{,}1s < T \le 0{,}4s) \\ a_s(T) &= 3aS(T/0{,}4)^{\beta} \le 3a && (0{,}4s < T) \end{aligned} \qquad \textbf{(5.36)}$$

burada

T saniye cinsinden bacanın periyodu

a bacanın bulunduğu bölgede oluşan maksimum etkin yer ivmesi

S Zemin katsayısı

β zemin çarpanı

5.4.3. Zayıf zemin katmanlarının etkisi

Zemin sınıfları Çizelge 5.2'de verildiği gibi 3 farklı sınıfa göre tanımlanmıştır. Bunlar S1, S2 ve S3 olarak adlandırılmışlardır.

S1 0-10 m arasında sert zemin veya kaya olması hali

S2 1-60 m arasında sert zemin veya kaya olması hali

S3 sert zemin veya kayanın 60 m den daha derinde olması durumu için verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Zemin sınıfının zemin sıklığı ve kaya derinliğine bağlı olarak belirlenmesi**.**

Kayaya olan zemin derinliği (m)	Zemin Durumu	
	Sert	Yumuşak veya orta
0 -10	S1	S1
10-60	S1	S2
>60	S1	S3

Zemin sertliği Çizelge 5.3'ten belirlenir.

Çizelge 5.3 : Zemin sıklığı.

Zemin Karakteri		Zemin Durumu
Kohezyonsuz zemin	Kohezyonlu zemin	
bağıl yoğunluk	Hassasiyet	
<0,3	<8	sert
0,3 - 0,8	8-30	orta
>0,8	>30	yumuşak
Bağıl yoğunluk: toprağın tortu biriktirmesinin bir ölçümüdür. Hassasiyet: bozulmamış zeminin ile örselenmemiş zeminin drenajsız çekme gerilmeleri arasındaki orandır.		

Zemin sınıfına göre Zemin katsayısı (S) ve Zemin çarpanı (β) Çizelge 5.4'ten alınabilir.

Çizelge 5.4 : Zemin katsayısı ve zemin çarpanı.

Zemin Tipi	Zemin katsayısı S	Zemin çarpanı β
S1	1,0	-0,8
S2	1,2	-0,67
S3	1,5	-0,67

5.4.4. Zemin ivmesi

Zemin hareketi değiştirilmiş Mercalli ölçeğine göre düzenlenmiştir. Zemin ivmesi Çizelge 5.5'ten alınır.

Çizelge 5.5 : Zemin ivmesi.

Mercalli Ölçeği	Zemin ivmesi (a)
VI	0,07 g
VII	0,15 g
VIII	0,30 g
IX	0,50 g
X	0,70 g

5.4.5. Tepki spektrumu yöntemi

Mod şekilleri, normalize edilmiş yer değiştirmeler $\overline{u}_i$, kesme kuvvetleri $\overline{Q}_i$, ve momentler $\overline{M}_i$, modal analiz ile bulunur. Bacanın her bir mod için tepkisi u_i aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunur:

$$u_i = \overline{u}_i N_i \qquad \textbf{(5.37)}$$

burada

N_i = modal ölçek faktörü

$$N_i = \frac{P_i T_i^{\,2}}{4\pi^2} a_s(T_i) \qquad \textbf{(5.38)}$$

P_i = modal katılım faktörü

$$P_i = \frac{\int_0^h \overline{u}_i(z) m(z) dz}{\int_0^h \overline{u}_i^{\,2}(z) m(z) dz} \qquad \textbf{(5.39)}$$

mod şekleri için kullanılan N_i modal ölçek faktörü, moment ve kesme kuvvetleri için de kullanılacaktır.

5.4.6. Elastisite modülü

Baca dayanımı artırıldığında, rezonans frekansları ve dolayısı ile tesir kuvvetleri de artar. Kısa süreli yüklemeler için beton elastisite modülü CEB (Comité Euro-International du Beton, Avrupa Uluslararası Beton Komitesi) tarafından aşağıdaki denklemle tanımlamıştır.

$E_c = 9500(f_{ck} + 8)^{0,33}$ (E_c ve f_{ck} ,MPa cinsinden) **(5.40)**

5.4.7. İkinci mertebe etkileri

Deprem kuvvetleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri ihmal edilebilir mertebededir.

5.4.8. Sismik tasarım etkileri

Sismik etkiler elastik tepkiden bulunur. Bulunan bu değerler "Önem Katsayısı" (IF) ile çarpılır ve "Yapısal Tepki Faktörüne" (R) ye bölünür.

5.4.9. Önem katsayısı

CICIND e göre Deprem hesabında esas alınacak Önem Katsayısı Bacanın Önem sınıfına bağlıdır. Baca önem katsayısı bölüm 3.3.1'de tanımlanmıştır.

Çizelge 5.6 : Deprem önem katsayısı.

Baca Önem Sınıfı	Önem Katsayısı (IF)
Sınıf 1	1,2 (R=1) veya 1,0 (R=2)
Sınıf 2	1,4

5.4.10. Yapısal tepki faktörü

Yapısal tepki faktörü bacanın süneklik düzeyine bağlıdır.

R = 1 Özel bir sismik tasarım mevcut değil, bacanın süneklik düzeyi normal
R = 2 Özel sismik tasarım mevcut, bacanın süneklik düzeyi yüksek.

5.4.11. Süneklik düzeyi yüksek baca tasarımı

Bacanın sünek tasarımında aşağıdaki ilkelere uyulmalıdır:

- Donatı olarak, kopma gerilmesi çekme gerilmesinden %15 fazla olan yüksek sınıf akma kapasitesi yüksek nervürlü çelik kullanılmalıdır.

- Çevresel donatılar arası mesafe $10d_b$ yi geçmemelidir. (d_b boyuna donatı çapıdır)
- Donatı bindirme boyları, gerekli aderans boyundan %30 fazla olmalıdır.
- Bacanın sınır yüklemeleri durumunda oluşan moment kapasitesinin nominal kırılma kapasitesinden büyük olması gereklidir. Bunu sağlamak için betonun çekme gerilmesi $f_{cte} = \sqrt{0,6 f_{ck}'}$ olarak alınabilir.
- Boyuna donatı oranı $0,024 - 0,14 \frac{N}{\pi d t f_{ck}}$ oranını aşmamalıdır.

6. İKİNCİ MERTEBE ETKİLERİ

6.1. Malzeme Özellikleri

İkinci mertebe momentlerin hesabı için yer değiştirmelerinin bilinmesi gereklidir. Yer değiştirmeleri hesaplarken kullanılacak malzeme özellikleri, normal hesaplamalarda kullanılan minimum değerler yerine ortalama değerler alınarak hesaplanır. Buna göre kullanılacak malzeme güvenlik katsayıları:

Beton γ_{cu} =1,20 **(6.1)**

Çelik γ_{su} =1,15 **(6.2)**

Yükler için güvenlik katsayıları:

Sabit Yük γ_{p} =1,00 **(6.3)**

Rüzgar γ_{w} =1,60 **(6.4)**

olmalıdır.

6.1.1. Basınç bölgesi

Beton basınç bölgesinde şekil değiştirmeler, ortalama beton elastisite modülüne E_c bağlıdır.

$$\sigma_c = \frac{E_c}{\gamma_{cu}} \varepsilon \qquad \textbf{(6.5)}$$

Beton elastisite modülü (5.40) denkleminden alınmalıdır.

Beton çekme gerilmesi de CEB tarafından

$$f_{ct} = 0{,}3(f_{ck})^{0{,}66} \qquad \textbf{(6.6)}$$

olarak verilmiştir.

Beton sınıfları için, yukarıdaki bağıntılara göre hesaplanmış E_c ve f_{ct} değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Yer değiştirmelerin hesaplanması sırasında bu değerler γ_{cu} =1,20 güvenlik katsayısına bölünmelidir.

Çizelge 6.1 : Şekil değiştirmeler hesabında kullanılacak beton malzeme özellikleri.

Beton Sınıfı	Elastisite modülü E_c (MPa)	Çekme Gerilmesi f_{ct} (MPa)
BS25	30000	2,6
BS30	31500	2,9
BS35	33000	3,2
BS40	34000	3,5
BS45	35000	3,8
BS50	36000	4,1

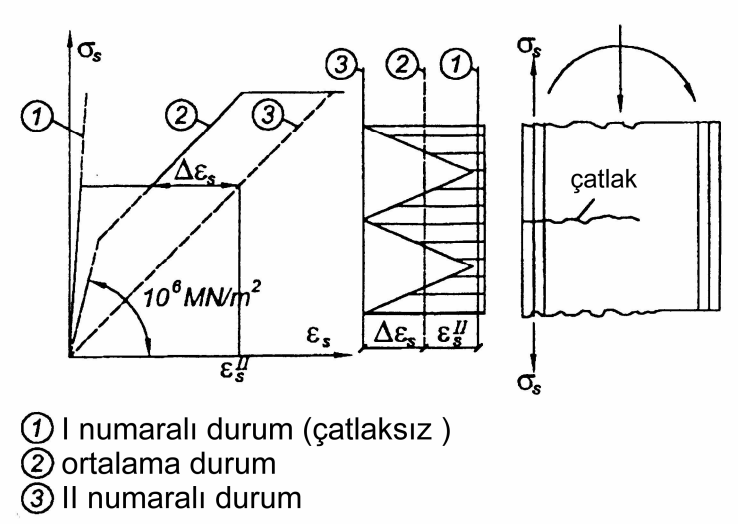
6.1.2. Çekme bölgesi

CICIND'e göre ikinci mertebe etkilerinde donatıdaki dayanım artma etkisi kullanılabilir.

6.1.2.1. Dayanım artma etkisi (Stiffening Effect)

Çekme bölgesinde donatı ile beton arasındaki aderans kuvvetleri nedeniyle, beton ç çatlayana kadar, donatının gerilme-şekil değiştirme grafiğine etki eder. Bu nedenle beton çatlayana kadar donatı elastisite modülü daha büyük bir değer alınabilir.

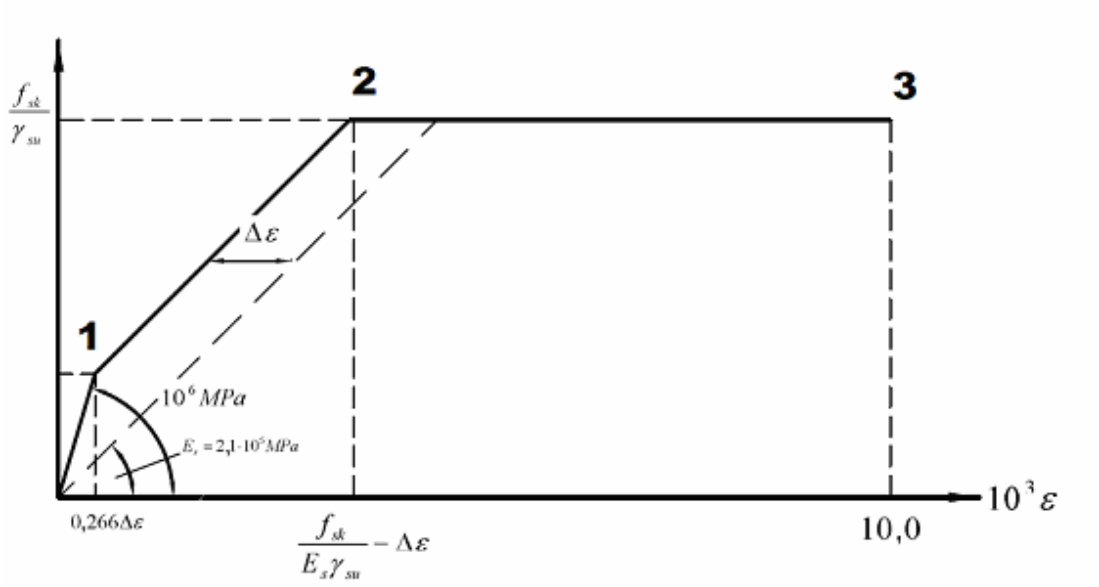
Dayanım artması durumunda donatıdaki gerilme-şekil değiştirme Şekil 6.1'de gösterilmiştir:



① I numaralı durum (çatlaksız)
② ortalama durum
③ II numaralı durum

Şekil 6.1 : Dayanım artması etkisinin açıklaması.

Aşağıda dairesel kesitli bir bacanın çekme bölgesinde fiktif bir donatı ele alınmıştır. Şekil 6.1'deki 1 numaralı çizgi betonda hiç çatlak olmaması durumunu göstermektedir. 3 numaralı çizgi tüm standartlarda tanımlanan durumu göstermektedir. 2 numaralı çizgi ise dayanım artma etkisi dikkate alındığında hesaplarda kullanılacak donatı gerilme-şekil değiştirme grafiğini göstermektedir. Dayanım artma etkisi 2 numaralı çizginin σ_s ye $\Delta\varepsilon_s$ kadar yaklaşmasını sağlar.



Şekil 6.2 : Dayanım artma etkisine göre gerilme-şekil değiştirme grafiği.

0–1 arası $\sigma = 10^6 \varepsilon$ (MPa)

1–2 arası $\sigma = E_s(\varepsilon + \Delta\varepsilon)$ (MPa)

2–3 arası $\sigma = \dfrac{f_{sk}}{\gamma_{su}}$ (MPa)

burada

$\Delta\varepsilon$ dayanım artma etkisinin ölçülen değeri

$$\Delta\varepsilon = \frac{0{,}5}{E_s \rho_v} \frac{f_{ct}}{\gamma_{cu}}$$

f_{sk} çelik donatının karakteristik akma dayanımı

f_{ct} beton çekme dayanımı $= 0{,}3\left(f_{ck}\right)^{0{,}66}$

f_{ck} beton karakteristik dayanımı

E_s çelik donatı elastisite modülü

γ_{cu} beton güvenlik katsayısı

γ_{su} çelik güvenlik katsayısı

ρ_v boyuna donatı oranı

Dayanım artma etkisinin yarattığı $\Delta\varepsilon_s$ büyüklüğü aşağıdaki hesaplardan çıkartılabilir.

Kırılmadan hemen sonraki çelik gerilmesi

$$\frac{f_{ct}}{\gamma_{cu}} = A_c = \sigma_s'' A_s \rightarrow \sigma_s'' = \frac{f_{ct}}{\rho\gamma_{cu}} \quad \textbf{(6.15)}$$

$\Delta\varepsilon_s$ çelik birim şekil değiştirme ile ε_s arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$\Delta\varepsilon = 0{,}5\varepsilon_s'' \quad \textbf{(6.16)}$$

burada

$$\varepsilon_s'' = \frac{0{,}5 f_{ct}}{E_s \rho\gamma_{cu}} \quad \textbf{(6.17)}$$

Yukarıdakilerin ışığında basitleştirilmiş dayanım artma etkisi aşağıdaki gibi uygulanabilir

- İlk bölge, beton çekme gerilmesinin betona etkiyen çekme kuvvetinden küçük kaldığı ve çatlama oluşumunun başlangıç noktasını orijine birleştiren 10^6 MPa eğiminde olan bir doğrudur.
- Bu noktadan sonra, çelik donatının akmaya başladığı noktaya kadar, $\Delta\varepsilon_s$ farkı dayanım artma etkisini ifade eder.
- Akmadan sonra çelik gerilmesi sabittir.

Çekme bölgesinde dayanım artma etkisi önemlidir.

Donatıdaki etkin gerilme aşağıdaki yaklaşımla hesaplanabilir. Şekil 6.2'de gösterilen gerilme-yer değiştirme grafiği (Noakowski, P., "Stiffening Effect of Concrete in the Tension Area of Tower Structures") kaynağı esas alınarak hazırlanmıştır. Dayanım artma etkisi bu kaynakta yer alan örneğe göre, her zaman daha güvenli bölgede kalacak şekilde basitleştirilmiştir.

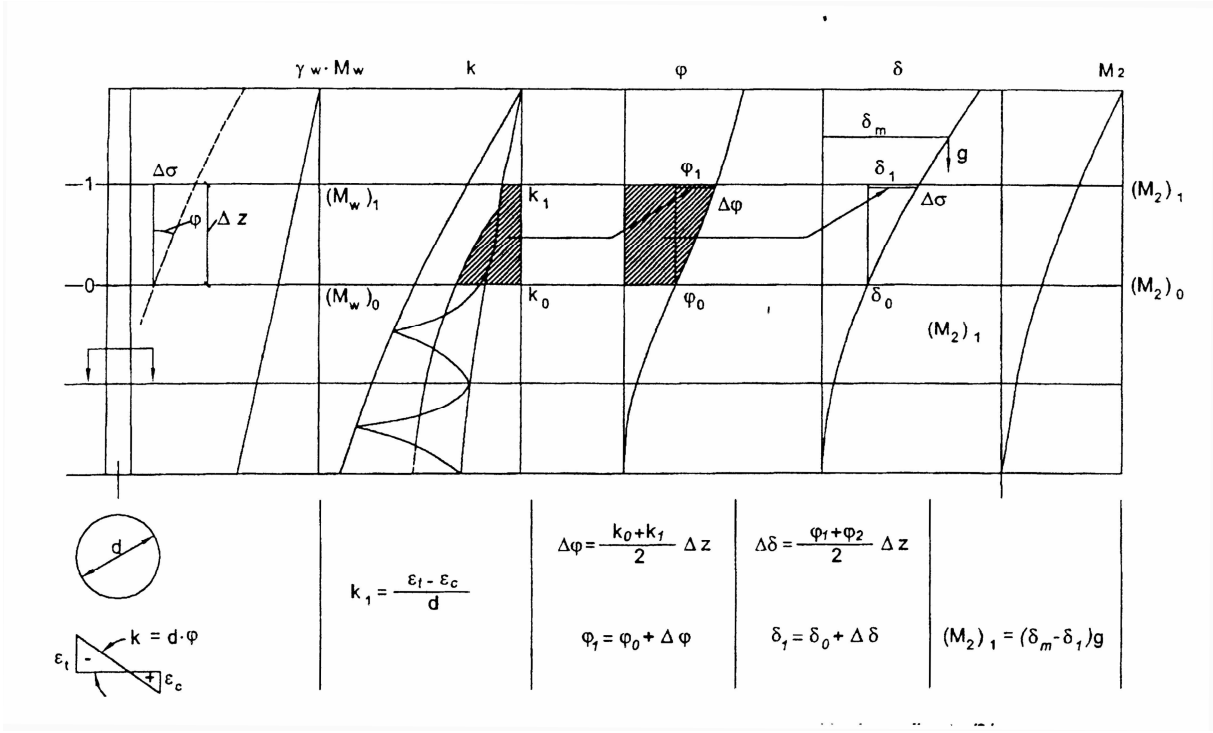
6.2. İkinci Mertebe Momentlerin Hesaplanması

2nci mertebe momentler, yer değiştirmeler kullanılarak sayısal olarak hesaplanır. 2nci mertebe momentlerin hesabı için basınç ve çekme bölgesinin kenarındaki ε_c

ve ε_t ortalama şekil değiştirmeyi bilmek gerekir. Şekil 6.4 şekil değiştirmeleri hesaplamak için gerekli bağıntıları vermektedir. Bu bağıntılarda beton elastisite modülü E_c (5.40) denkleminden alınmalıdır. İkinci mertebe momentleri Şekil 6.2'de verilen dayanım artma etkisi ile aşağıda verilen bağıntıları esas alarak hesaplanmalıdır.

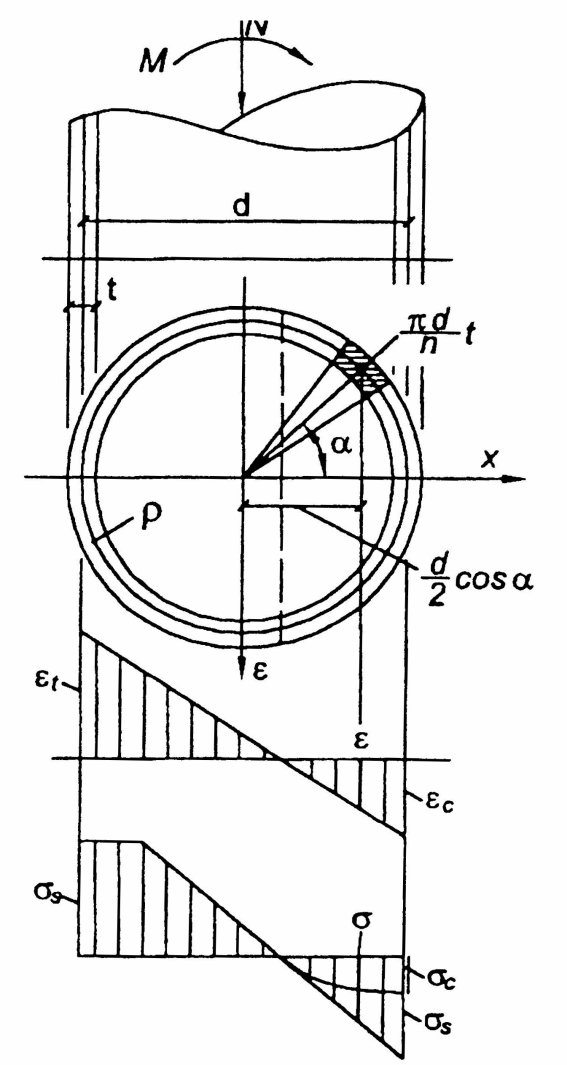
$$N = \sum_{1}^{n} \left(\sigma_c \frac{\pi d}{n} t + \sigma_s \frac{\pi d}{n} t\rho \right) \qquad \textbf{(6.18)}$$

$$M = \sum_{1}^{n} \left(\sigma_c \frac{\pi d}{n} t + \sigma_s \frac{\pi d}{n} t\rho \right) \frac{d}{2} \cos\alpha \qquad \textbf{(6.19)}$$



Şekil 6.3 : İkinci mertebe momentlerin M_2 hesap yöntemi.

Şekil 6.3, 6.1.2 de verilen metodun tüm yapıya nasıl uygulanacağını göstermektedir.



Şekil 6.4 : Şekil değiştirmelerin hesaplanması için sayısal yöntem.

Hesap yöntemi aşağıda tarif edilmektedir.

Φ dönmesi k eğrisinin sayısal integrallerden hesaplanır. Φ dönmesinin integrali alınırsa δ yer değiştirmesini verir. Baca ağırlığının yer değiştirmeye göre oluşturduğu momentler ikinci derece momentler M_2 olur.

Bir sonraki adımda, bu momentlere sınır limit durumunda bacaya etkiyen rüzgar momentleri eklenir. Hesap yaklaşık 4-5 yaklaşımdan sonra tamamlanır.

Rüzgar momentleri ile ikinci mertebe momentlerinin toplamı nihai hesap momentini oluşturur.

6.3. Baca Temelinin Dönmesi

Baca temelinin dönmesi bacada ikinci mertebe momentlerin ortaya çıkmasına neden olur.

Baca temelinin Θ dönmesi aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunabilir.

Rüzgar yükleri karşısında herhangi bir iyileştirme gerektirmeyen, sığ temeller:

$$\Theta = \frac{\gamma_w M_w}{1{,}5 E_t r_f{}^3} \qquad \textbf{(6.20)}$$

Kazıklar üzerine oturtulmuş temeller:

$$\Theta = \frac{\gamma_w M_w}{b_p \sum x_p{}^2 K_p} \qquad \textbf{(6.21)}$$

burada

M_w rüzgar yükü nedeniyle baca temeline etkiyen moment

E_t zemin dinamik elastisite modülü

r_f baca temelinin dış çapı

x_p kazığın dönme eksenine olan uzaklığı

K_p temel kenarındaki kazığın yay katsayısı

b_p kazık etki faktörü $\quad b_p = \dfrac{1}{1 + 6\left[d_p / s_p \right]}$

d_p kazık çapı

s_p kazıklar arası mesafe

6.4. İkinci Mertebe Momentlerin Yaklaşık Hesabı

Hesapta kesitin taşıma kapasitesinin tamamının kullanıldığı ve dayanım artma etkisinin de devreye girdiği varsayımı yapılmaktadır.

Yaklaşım aşağıdaki değişkenlerin tüm kombinasyonları için geçerlidir.

- beton kalitesi
- donatı kalitesi

- baca ölçüleri: yükseklik, çap, şekil ve baca kabuğu donatı oranı
- yüklemeler: kaplama ağırlığı ve rüzgar yükleri

2nci mertebe momentlerinin yaklaşık hesabı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir

$$M_2(z) = \gamma_w M_w \frac{85 - 0{,}14h}{100} \frac{h^2 N}{(E_c / \gamma_{cu}) \cdot l} \left(1 + 2{,}4\frac{z}{h}\right)\left(1 - \frac{z}{h}\right)^{2,4} \qquad \textbf{(6.22)}$$

burada

M_w Rüzgar yükü nedeniyle baca temeline etkiyen moment

γ_w sınır limit durumu için rüzgar yük faktörü

h baca yüksekliği

z hesabı yapılan kesitin yüksekliği

$M_2(z)$ z yükseklikte 2nci mertebe momenti

N baca temelindeki normal kuvvet

E_c 5.40 denklemine göre elastisite modülü

γ_{cu} =1,0 (beton için güvenlik katsayısı)

l $= \pi d_m^{\,3} t / 8$ baca temelinde donatı yok sayılarak kırılmamış bölgenin 2nci mertebe momenti

d_m baca temelindeki ortalama baca çapı

t baca temelindeki teorik kabuk kalınlığı (gerçek baca kabuğu kalınlığı yerine bacada herhangi bir açıklık olmaması durumunda gerekli olan kabuk kalınlığı).

Bu yaklaşık yöntemde baca temelinin dönmesi nedeniyle oluşan yer değiştirmelerin oluşturduğu 2nci mertebe momentleri dikkate alınmamıştır.

Yaklaşık yöntem başlangıçta bacaya etkiyecek 2nci mertebe momentlerin büyüklüklerinin ön hesabı için kullanılmalıdır. Nihai hesaplarda daha önce anlatılan kesin yöntem kullanılmalıdır.

6.5. Yaklaşık Yöntemin Doğruluğu

Yaklaşım yöntemi, gerçek 2nci mertebe momentleri hesaplanan 60 adet baca için kontrol edilmiştir. 60 adet baca seçiminde aşağıdaki kriterler gözetilmiştir:

beton kalitesi f_{ck} = 20, 25, 30, 35, 40 MPa

donatı kalitesi f_{sk} = 300, 400, 500 MPa

- Ölçüler

yükseklik h = 100, 200, 300 m

narinlik h/d_b = 15,0, 17,5, 20,0

koniklik oranı d_b/d_t = 1,66, 2,0

incelik faktörü w = 2,0, 3,0

(w bacanın dış görünüşünü ifade eden üssel bir sayıdır)

donatı oranı ρ = 0,0035 den 0,006 ya kadar

- Yükler:

rüzgar hızı V_b = 16 m/s den 30 m/s ye ye kadar

kaplama kalınlığı t_L = 0,11 m

platform kalınlıkları t_{PL} = 05, 1,0, 1,5 m

Bu parametrelerin farklı kombinasyonlarda kullanımı pek çok bacayı kapsayacak bir örnekleme oluşturur.

k değişkeni gerçek ikinci mertebe momentinin, yaklaşık ikinci mertebe momentine oranı olarak düşünülürse

$$k = \frac{M_2 gerçek}{M_2 yaklaşak} \qquad \textbf{(6.23)}$$

k değeri yukarıda sözü edilen 60 adet baca için, her birinde 5 kesit olmak üzere toplam 300 kesit için hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Şekil 5. de gösterilmiş olup yaklaşık hesap yönteminin aşağıdaki nedenlerden dolayı yeterli olduğunu söylenebilir:

- k oranı pek çok örnekte 1'den küçüktür
- Değerler çoğunlukla % 35'den daha az aşılmıştır.

Çok az sayıdaki yaklaşık hesaplanan değerlerin gerçek değerden küçük kaldığı (k oranının 1'den büyük olduğu) durumlar aşağıdaki nedenlerden dolayı ihmal edilebilir:

- CICIND olasılıklı güvenlik kavramını kullanmaktadır. Az sayıdaki gerçek değerin altında kalma durumu, gerçek değerin üstünde kalan pek çok durumun yanında ihmal edilebilir.
- Sınır limit durumunda rüzgar dolayısıyla oluşan momentler, toplam yüklerin oluşturduğu yüklemenin %10 – 20'sine tekabül eder. Bu yüzden, %35'lik bir

ikinci mertebe momenti hatası, toplam yüklemenin ortalama %5'ine denk gelmektedir.

7. BACA KABUĞUNDA AÇIKLIKLAR

Baca kabuğunda açıklıkların bulunduğu bölgeler Navier Kiriş Teorisine uygun davranış göstermez. CICIND model kodundaki baca çözümüne ait varsayımlar açıklıkların hesaplarda Şekil 7.1'deki gibi büyütüldükleri ve aşağıdaki şartların yerine getirildiği durumlarda kullanılabilir.

a) Hiçbir açıklığın genişliği baca iç yarıçapının 1,2 katından daha büyük olmamalıdır.

b) 1 den fazla açıklık olan kesitlerde, birbirini takip eden ve genişlikleri b_1 ve b_2 olan açıklıklar arasındaki çevresel a mesafesi aşağıdaki şartı sağlamalıdır

$$a \geq 0{,}25(b_1 + b_2) \qquad \textbf{(7.1)}$$

Burada a: b_1 ve b_2 ortalama yarıçaptan hesaplanır.

c) Baca kabuğu kenarından 0,5 b mesafedeki düşey basınç donatısı hesaplarda gerçek toplam değerinden 0,05 daha az alınmalıdır

7.1. Boyutlandırma

7.1.1. Genel

Rüzgar yükleri nedeniyle oluşan ovalleştirme momenti açıklık üstünde ve altında ilave yatay donatı gerektirir.

CICIND model kodu açıklıklar etrafında yüklerin akışlarını dikkate almaz. İlave donatıların sadece lokal olarak konulması gereklidir. Aşağıdaki iki durum özellikle önem arz ederler.

7.1.2. Açıklık kesitinin alt ve üstündeki çekme kuvvetleri

Açıklık kesitinin alt ve üstündeki toplam çekme kuvveti aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmalıdır.

$$F_1 = 0{,}1bt\left(\frac{f_{ck}}{\gamma_{cu}} + \rho_v \frac{f_{sk}}{\gamma_{su}}\right) \qquad \textbf{(7.2)}$$

burada

b açıklığın genişliği

t baca duvar kalınlığı

ρ_v düşey donatı oranı

7.1.3. Açıklık kesitinin alt ve üstündeki eğilme momentleri

Açıklık kesitinin alt ve üstünde (7.3) denkleminde verilen momentin mevcut yüklere ilave olarak eğilme etkisi yarattığı varsayılmalıdır.

$$m = 0{,}002 b^3 \frac{t}{d}\left(\frac{f_{ck}}{\gamma_{cu}} + \rho_v \frac{f_{sk}}{\gamma_{su}}\right) \qquad \textbf{(7.3)}$$

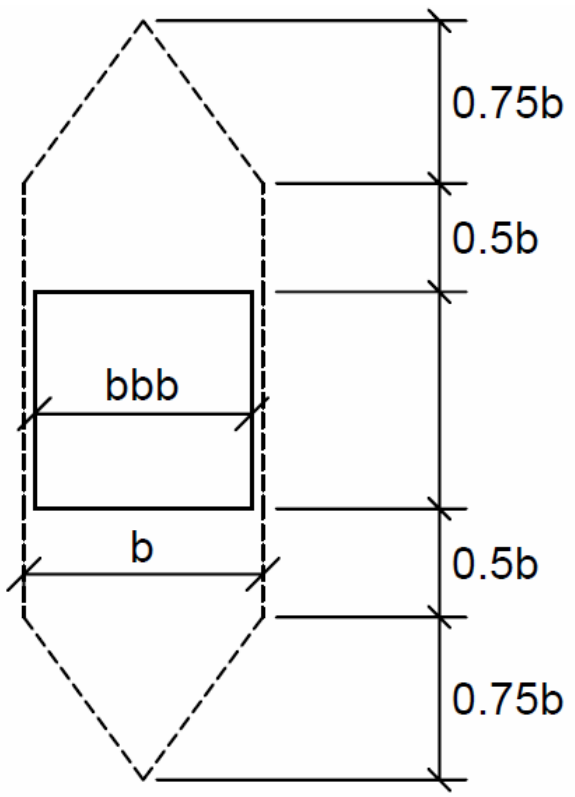
burada

d baca kabuğunun ortalama çapı

b açıklığın genişliği

t baca duvar kalınlığı

ρ_v düşey donatı oranı



Şekil 7.1 : Bacadaki açıklığın hesaplarda kullanılan büyütülmüş hali.

8. BACA ENKESİTİNİN ÇÖZÜMÜ (ACI 307-98)

8.1. Baca Enkesiti Normal Kuvvet ve Moment Formülleri

Baca enkesiti hesabı aşağıdaki denge denklemi formüllerine göre yapılır:

$$P_u / rtf_c' = K_1 = 1{,}7Q\lambda + 2\varepsilon_m K_e \omega_t Q_1 + 2\omega_t \lambda_1 \quad \textbf{(8.1)}$$

ve

$$M_n / P_u r = K_3 = \cos\alpha + K_2 / K_1, M_n = P_u r K_3 \quad \textbf{(8.2)}$$

Burada P_u kesitin normal kuvveti, M_n kesitin momentidir. Dış kuvvetlerin oluşturduğu normal kuvvet ve momentin kesitin oluşturdukları ile eşit olması gerekir.

(8.1) ve (8.2) denklemlerindeki değişkenler aşağıda çıkartılmıştır:

$$\lambda = \tau - n_1\beta \text{ (radyan)} \quad \textbf{(8.3)}$$

$$Q_1 = \frac{\sin\psi - \sin\mu - (\psi - \mu)\cos\alpha}{1 - \cos\alpha} \quad \textbf{(8.4)}$$

$$\lambda_1 = \mu + \psi - \pi \text{ (radyan)} \quad \textbf{(8.5)}$$

μ, τ, ψ Şekil 8.1'de gösterilen açılar olmak üzere

$$\cos\tau = 1 - \beta_1(1 - \cos\alpha) \quad \textbf{(8.6)}$$

$$\cos\psi = \cos\alpha - \left(\frac{1-\cos\alpha}{\varepsilon_m}\right)\left(\frac{f_y}{E_s}\right) \geq -1.0 \quad \textbf{(8.7)}$$

$$\cos\mu = \cos\alpha - \left(\frac{1-\cos\alpha}{\varepsilon_m}\right)\left(\frac{f_y}{E_s}\right) \leq 1.0 \quad \textbf{(8.8)}$$

α tarafsız ekseninin kesiti kestiği noktaların kesit merkezi ile yapığı açının yarısı

β açıklık açısının yarısı

β_1 $0{,}85 - 0{,}05(f_c' - 27{,}6)/6{,}9 \geq 0{,}65$, f_c' >27,6 MPa

K_e E_s / f_y

ω_t $\rho_t f_y / f_c'$

ρ_t toplam donatı oranı

n_1 basınç bölgesindeki açıklık miktarı (maksimum 2 adet)

$$\varepsilon_m = 0{,}07(1-\cos\alpha)/(1+\cos\alpha) \le 0{,}003 \quad \textbf{(8.9)}$$

$$K_2 = 1{,}7QR + \varepsilon_m K_e \omega_t Q_2 + 2\omega_t K \quad \textbf{(8.10)}$$

$$Q_2 = \frac{\left[\begin{array}{c}(\psi-\mu)(1+2\cos^2\alpha)\\ +(1/2)(4\sin 2\alpha+\sin 2\psi-\sin 2\mu)\\ -4\cos\alpha(\sin\alpha+\sin\psi-\sin\mu)\end{array}\right]}{(1-\cos\alpha)} \quad \textbf{(8.11)}$$

$$K = \sin\psi + \sin\mu + (\pi-\psi-\mu)\cos\alpha \quad \textbf{(8.12)}$$

$$R = \sin\tau - (\tau - n_1\beta)\cos\alpha - (n_1/2)\left[\sin(\gamma+\beta) - \sin(\gamma-\beta)\right] \quad \textbf{(8.13a)}$$

$$R = \sin\delta - \delta\cos\alpha \quad \text{(basınç bölgesinde simetrik iki açıklık)} \quad \textbf{(8.13b)}$$

Q basınç bölgesinde beton normal kuvveti için düzeltme katsayısı olmak üzere,

$\alpha \le 5°$ için

$$Q = (-0{,}523 + 0{,}181\alpha - 0{,}0154\alpha^2) + (41{,}3 - 13{,}2\alpha + 1{,}32\alpha^2)(t/r) \quad \textbf{(8.14a)}$$

$5° < \alpha \le 10°$ için

$$Q = (-0{,}154 + 0{,}01773\alpha - 0{,}00249\alpha^2) + (16{,}42 - 1{,}980\alpha + 0{,}0674\alpha^2)(t/r) \quad \textbf{(8.14b)}$$

$10° < \alpha \le 17°$ için

$$Q = (-0{,}488 + 0{,}076\alpha) + (9{,}758 - 0{,}640\alpha)(t/r) \quad \textbf{(8.14c)}$$

$17° < \alpha \le 25°$ için

$$Q = (-1{,}345 + 0{,}2018\alpha - 0{,}004434\alpha^2) + (15{,}83 - 1{,}676\alpha + 0{,}03994\alpha^2)(t/r) \quad \textbf{(8.14d)}$$

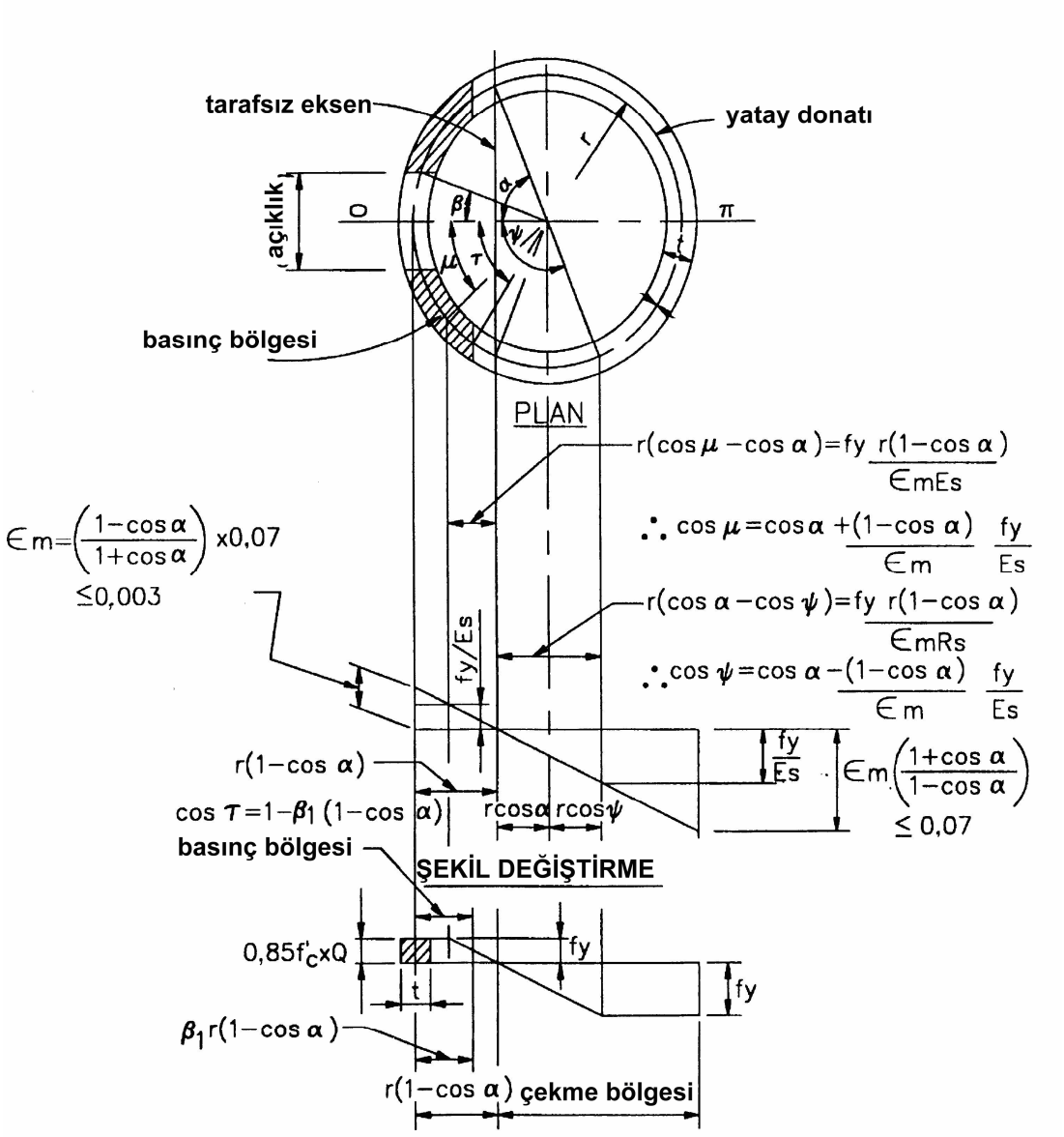
$25° < \alpha \le 35°$ için

$$Q = (0{,}993 - 0{,}00258\alpha) + (-3{,}27 + 0{,}0862\alpha)(t/r) \quad \textbf{(8.14e)}$$

$\alpha > 35°$ için

$$Q = 0{,}89 \quad \textbf{(8.14f)}$$

olarak alınmalıdır.



Şekil 8.1 : Baca kesitinin eğilme momenti altında davranışı.

8.2. Hesap Adımları

Bir baca kesiti için $r, t, f_c^{'}, \beta, \gamma, P_u, M_u$ ve açıklık bilgileri bilinmektedir. Bilinen bu değerlere göre kesit çözümü aşağıdaki gibi yapılır:

Adım 1 Donatı oranı ρ_t için uygun bir değer belirlenir.

Adım 2 Deneme yanılma yoluyla denklem (8.1) den α değeri bulunur.

Adım 3 Bulunan α değerini denklem (8.2) de yerine koyarak M_n değeri bulunur

Adım 4 $M_n < M_u$ ise ρ_t büyütülür; $M_n > M_u$ ise ρ_t küçültülür

Adım 5 Adım 2 - adım 4 $M_n = M_u$ değeri sağlanıncaya kadar devam ettirilmelidir.

8.3. Enkesit Denge Denklemlerinin Çıkartılması

Şekil 8.1 de görülen baca kesitinin kesit zorları aşağıdaki 5 farklı bölgeye göre hesaplanmaktadır:

1. Çekme bölgesinde çeliğin akma sınırının altında olması durumu (S_1,M_1)
2. Çekme bölgesinde çeliğin akma sınırına ulaştığı bölge (S_2,M_2)
3. Basınç Bölgesinde çeliğin akma sınırı altında olduğu bölge (S_3,M_3)
4. Basınç Bölgesinde çeliğin akma sınırına ulaştığı bölge (S_4,M_4)
5. Basınç Bölgesinde betonun basıncından oluşan etkiler (P,M_P)

(S Kuvvet değerlerini, M moment değerlerini göstermek üzere.)

8.4. Normal Kuvvetler

8.4.1. Birinci bölgede çelik normal kuvveti (S_1)

Çekme bölgesinde çeliğin akma sınırının altında olduğu 1. bölgede S_1 normal kuvveti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$S_1 = 2\int_{\alpha}^{\psi} \frac{r(\cos\alpha - \cos\theta)}{r(1-\cos\alpha)} \varepsilon_m E_s \rho_t r t d\theta \qquad \textbf{(8.15)}$$

Bağıntı açılırsa:

$$S_1 = \frac{2\varepsilon_m E_s \rho_t r t}{(1-\cos\alpha)} (\theta\cos\alpha - \sin\theta)\Big|_{\alpha}^{\psi} \qquad \textbf{(8.16)}$$

$$S_1 = 2\varepsilon_m E_s \rho_t rt \frac{[(\psi - \alpha)\cos\alpha - \sin\psi + \sin\alpha]}{(1 - \cos\alpha)} \quad \textbf{(8.17)}$$

denklemi daha sade ifade etmek için sağdaki ifadeye Q′ denilirse:

$$Q' = \frac{[(\psi - \alpha)\cos\alpha - \sin\psi + \sin\alpha]}{(1 - \cos\alpha)} \quad \textbf{(8.18)}$$

Q' (8.17) denkleminde yerine konulursa:

$$S_1 = 2\varepsilon_m E_s \rho_t rtQ' \quad \textbf{(8.19)}$$

Donatı oranı ve beton dayanımları arasında;

$$\omega_t = \rho_t \frac{f_y}{f_c'} \quad \textbf{(8.20)}$$

bağıntısı yazılır ve (8.19) bağıntısında yerine konulursa:

$$S_1 = 2\varepsilon_m E_s \omega_t \frac{f_c'}{f_y} rtQ' \quad \textbf{(8.21)}$$

ayrıca

$$K_e = \frac{E_s}{f_y} \quad \textbf{(8.22)}$$

yazılır ve (8.21) denkleminde yerine konulursa

$$S_1 = 2\varepsilon_m K_e \omega_t f_c' rtQ' \quad \textbf{(8.23)}$$

bulunur.

8.4.2. İkinci bölgede normal kuvveti (S_2)

Çekme bölgesinde çeliğin akma sınırına ulaştığı 2. bölgede S_2 normal kuvveti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$S_2 = 2(\pi - \psi)\rho_t rtf_y \quad \textbf{(8.24)}$$

(8.20) denkleminden donatı oranını çekilir burada yerine konursa,

$$S_2 = 2\omega_t \frac{f_c'}{f_y} rtf_y(\pi - \psi) \quad \textbf{(8.25)}$$

ayrıca

$$\lambda_2 = (\pi - \psi) \quad \textbf{(8.26)}$$

olmak üzere

$$S_2 = 2\omega_t f_c' rt\lambda_2 \quad \textbf{(8.27)}$$

elde edilir.

8.4.3. Üçüncü bölgede çelik normal kuvveti (S_3)

Basınç bölgesinde çeliğin akma sınırının altında olduğu 3. bölgede S_3 normal kuvveti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$S_3 = 2\int_{\mu}^{\alpha} \frac{r(\cos\theta - \cos\alpha)}{r(1-\cos\alpha)} \varepsilon_m E_s \rho_t rtd\theta \quad \textbf{(8.28)}$$

Bağıntının integrali alınırsa,

$$S_3 = \frac{2\varepsilon_m E_s \rho_t rt}{(1-\cos\alpha)} (\sin\theta - \theta\cos\alpha)\Big|_{\mu}^{\alpha} \quad \textbf{(8.29)}$$

$$S_3 = 2\varepsilon_m E_s \rho_t rt \frac{[\sin\alpha - \sin\mu - (\alpha - \mu)\cos\alpha]}{(1-\cos\alpha)} \quad \textbf{(8.30)}$$

olur. Sağ tarafa Q_4 denilirse

$$Q_4 = \frac{[\sin\alpha - \sin\mu - (\alpha - \mu)\cos\alpha]}{(1-\cos\alpha)} \quad \textbf{(8.31)}$$

olmak üzere

$$S_3 = 2\varepsilon_m K_e \omega_t f_c' rtQ_4 \quad \textbf{(8.32)}$$

elde edilir.

8.4.4. Dördüncü bölgede çeliğin aldığı normal kuvvet (S_4)

Basınç bölgesinde çeliğin akma sınırına ulaştığı 4. bölgede S_4 normal kuvveti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$S_4 = 2\mu\rho_t rtf_y \quad \textbf{(8.33)}$$

(8.20) denkleminden donatı oranını çeker yerine konulursa

$$S_4 = 2\mu\rho_t \frac{f_c'}{f_y} rtf_y \quad \textbf{(8.34)}$$

$$S_4 = 2\mu\rho_t f_c' rt \quad \textbf{(8.35)}$$

elde edilir.

8.4.5. Basınç bölgesinde, beton basınç kuvveti (P)

Beton basıncından oluşan normal kuvvet (P) aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$P = 2(\tau - n_1\beta) rt \cdot 0{,}85 f_c' \quad \textbf{(8.36)}$$

Bağıntı düzenlenirse:

$$P = 1{,}7(\tau - n_1\beta) rtf_c' \quad \textbf{(8.37)}$$

8.4.6. Normal kuvvet denge denklemi

Kesitin oluşturduğu S_1, S_2, S_3, S_4 ve P normal kuvvetlerin bileşkesi kesite etkiyen dış kuvvete eşit olmalıdır. Buradan, P_u dış kuvvet

$$P_u = P + S_3 + S_4 - S_1 - S_2 \quad \textbf{(8.38)}$$

olur. Denklemin sağ tarafındaki büyüklükler yerine konulursa:

$$P_u = 1{,}70 rtf_c'\lambda + 2\varepsilon_m K_e \omega_t rtf_c' Q_3 + 2\omega_t rtf_c'\mu - 2\varepsilon_m K_e \omega_t rtf_c' Q' - 2\omega_t rtf_c'(\pi - \psi) \quad \textbf{(8.39)}$$

ve denklemin her iki tarafı rtf_c' ye bölünürse:

$$\frac{P_u}{rtf_c'} = K_1 = 1{,}70\lambda + 2\varepsilon_m K_e \omega_t (Q_3 - Q') + 2\omega_t \left[\mu - (\pi - \psi)\right] \quad \textbf{(8.40)}$$

$$\frac{P_u}{rtf_c'} = K_1 = 1{,}70\lambda + 2\varepsilon_m K_e \omega_t Q_1 + 2\omega_t \lambda_1 \quad \textbf{(8.41)}$$

elde edilir. (8.41) denklemindeki λ, Q_1, λ_1, K_e ve ω_t değişkenlerinin açık halleri aşağıda verilmiştir:

$$\lambda = \tau - n_1\beta \tag{8.42}$$

$$Q_1 = \frac{\sin\psi - \sin\mu - (\psi - \mu)\cos\alpha}{(1-\cos\alpha)} \tag{8.43}$$

$$\lambda_1 = \mu + \psi - \pi \tag{8.44}$$

$$K_e = \frac{E_s}{f_y} \tag{8.45}$$

$$\omega_t = \rho_t \frac{f_y}{f_c'} \tag{8.46}$$

8.5. Momentler

S_1, S_2, S_3, S_4, P_u kuvvetlerinin oluşturduğu momentler: M_1, M_2, M_3, M_4, ve M_u olsun. Moment değerleri için aşağıdaki denklemler yazılabilir:

8.5.1. Birinci bölgede S_1 kuvvetinin oluşturduğu M_1 momenti:

Çekme bölgesinde çeliğin akma sınırının altında olduğu 1. bölgede S_1 normal kuvvetinin oluşturduğu M_1 momenti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$M_1 = 2\int_{\alpha}^{\psi} \frac{r^2(\cos\alpha - \cos\theta)^2}{r(1-\cos\alpha)} \varepsilon_m E_s \rho_t r t d\theta \tag{8.47}$$

bağıntı düzenlenir ve integrali alınırsa,

$$M_1 = \frac{2\varepsilon_m E_s r^2 \rho_t t}{(1-\cos\alpha)} \int_{\alpha}^{\psi} (\cos^2\alpha - 2\cos\alpha\cos\theta + \cos^2\theta) d\theta \tag{8.48}$$

$$M_1 = \frac{2\varepsilon_m K_e \omega_t r^2 t f_c'}{(1-\cos\alpha)} \left(\theta\cos^2\alpha - 2\cos\alpha\sin\theta + \frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right)_{\alpha}^{\psi} \tag{8.49}$$

$$M_1 = \frac{2\varepsilon_m K_e \omega_t r^2 t f_c'}{(1-\cos\alpha)} \left[(\psi - \alpha)\cos^2\alpha - 2\cos\alpha(\sin\psi - \sin\alpha) + \frac{1}{2}(\psi - \alpha) + \frac{1}{4}(\sin 2\psi - \sin 2\alpha) \right] \tag{8.50}$$

denklemin sağ tarafında parantez içindeki ifadeye J denilirse,

$$J = (\psi - \alpha)\cos^2\alpha + 2\sin\alpha\cos\alpha - 2\cos\alpha\sin\psi + \frac{1}{2}\sin\psi\cos\psi - \frac{1}{2}\sin\alpha\cos\alpha + \frac{1}{2}(\psi - \alpha) \quad \textbf{(8.51)}$$

veya

$$2J = 2(\psi - \alpha)\cos^2\alpha + 3\sin\alpha\cos\alpha - 4\cos\alpha\sin\psi + \sin\psi\cos\psi + (\psi - \alpha) \quad \textbf{(8.52)}$$

elde edilir. J_1 aşağıdaki gibi tanımlanırsa

$$J_1 = \frac{2J}{(1-\cos\alpha)} \quad \textbf{(8.53)}$$

ve J_1 (8.51) denkleminde yerine konulursa

$$M_1 = 2\varepsilon_m K_e \omega_t r^2 t f' J_1 \quad \textbf{(8.54)}$$

bağıntısı çıkartılır.

8.5.2. İkinci bölgede S_2 kuvvetinin oluşturduğu M_2 momenti:

Çekme bölgesinde çeliğin akma sınırına ulaştığı 2. bölgede S_2 normal kuvvetinin oluşturduğu M_2 momenti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$M_2 = 2\int_{\psi}^{\pi} \rho_t r t f_y r(\cos\alpha - \cos\theta) d\theta \quad \textbf{(8.55)}$$

Bağıntı düzenlenir ve integrali alınırsa,

$$M_2 = 2r^2 \rho_t r f_y (\theta\cos\alpha - \sin\theta)_{\psi}^{\pi} \quad \textbf{(8.56)}$$

$$M_2 = 2r^2 \rho_t r f_y [(\pi - \psi)\cos\alpha + \sin\psi] \quad \textbf{(8.57)}$$

Ayrıca (8.20) denkleminden aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\rho_t f_y = \omega_t f_c' \quad \textbf{(8.58)}$$

(8.58) denklemindeki ifade denklem (8.57) te yerine konulursa

$$M_2 = 2r^2 t f_c' \omega_t (\pi - \psi)\cos\alpha + \sin\psi \quad \textbf{(8.59)}$$

(8.59) denkleminin sağ tarafındaki ifadeye J_2 denilirse

$$J_2 = (\pi - \psi)\cos\alpha + \sin\psi \quad \textbf{(8.60)}$$

olmak üzere

$$M_2 = 2r^2 tf_c' \omega_t J_2 \qquad \textbf{(8.61)}$$

bağıntısı bulunmuş olur.

8.5.3. Üçüncü bölgede S_3 kuvvetinin oluşturduğu M_3 momenti:

Basınç bölgesinde çeliğin akma sınırının altında olduğu 3. bölgede S_3 normal kuvvetinin oluşturduğu M_3 momenti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir

$$M_3 = 2\int_{\mu}^{\alpha} \frac{r^2(\cos\theta - \cos\alpha)^2}{r(1-\cos\alpha)} \varepsilon_m E_s \rho_t r t d\theta \qquad \textbf{(8.62)}$$

denklemin integrali alınır ve düzenlenirse

$$M_3 = \frac{2\varepsilon_m K_e \omega_t r^2 tf_c'}{(1-\cos\alpha)} \int_{\mu}^{\alpha} (\cos^2\theta - 2\cos\theta\sin\alpha + \cos^2\alpha) d\theta \qquad \textbf{(8.63)}$$

$$M_3 = \frac{2\varepsilon_m K_e \omega_t r^2 tf_c'}{(1-\cos\alpha)} \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} - 2\cos\alpha\sin\theta + \theta\cos^2\alpha \right)_{\mu}^{\alpha} \qquad \textbf{(8.64)}$$

$$M_3 = \frac{2\varepsilon_m K_e \omega_t r^2 tf_c'}{(1-\cos\alpha)} \left[\left(\frac{1}{2}\right)(\alpha-\mu) + \left(\frac{1}{4}\right)(\sin 2\alpha - \sin 2\mu) - 2\cos\alpha(\sin\alpha - \sin\mu) + (\alpha-\mu)\cos^2\alpha \right] \qquad \textbf{(8.65)}$$

Elde edilir. J_3 aşağıdaki gibi tanımlanırsa

$$J_3 = 2[\ ]/(1-\cos\alpha) \qquad \textbf{(8.66)}$$

yani J_3 aşağıdaki gibi olmak üzere,

$$J_3 = \frac{\left[\alpha - \mu + \sin\alpha\cos\alpha - \sin\mu\cos\mu - 4\cos\alpha(\sin\alpha - \sin\mu) + 2(\alpha-\mu)\cos^2\alpha\right]}{(1-\cos^2\alpha)} \qquad \textbf{(8.67)}$$

(8.67) ifadesi (8.65) de yerine konursa,

$$M_3 = \varepsilon_m r^2 tf_c' K_e \omega_t J_3 \qquad \textbf{(8.68)}$$

elde edilir.

8.5.4. Dördüncü bölgede S_4 kuvvetinin oluşturduğu M_4 momenti:

Basınç bölgesinde çeliğin akma sınırına ulaştığı 4. bölgede S_4 normal kuvvetinin oluşturduğu M_4 momenti aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir

$$M_4 = 2\int_0^{\mu} \rho_t r t f_y r(\cos\theta - \cos\alpha) d\theta \qquad \textbf{(8.69)}$$

denklemin integrali alınır ve düzenlenirse

$$M_4 = 2r^2 \rho_t t f_y (\sin\theta - \theta\cos\alpha)\Big|_0^{\mu} \qquad \textbf{(8.70)}$$

$$M_4 = 2r^2 \rho_t t f_y (\sin\mu - \mu\cos\alpha) \qquad \textbf{(8.71)}$$

elde edilir. J_4 aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$J_4 = \sin\mu - \mu\cos\alpha \qquad \textbf{(8.72)}$$

ve (8.71) denkleminde yerine konulursa

$$M_4 = 2r^2 \rho_t t f_y J_4 \qquad \textbf{(8.73)}$$

Bağıntısı elde edilir.

8.5.5. Beton basınç bölgesine ait momentler

8.5.5.1. Basınç bölgesinde 1 adet boşluk olması durumunda M_P momenti

Basınç bölgesinde 1 adet boşluk olması durumunda oluşacak M_P momenti **Şekil 8.1** den aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$M_P = 2\pi \cdot 0{,}85 f_c' \left[\tau \left(\frac{r\sin\tau}{\tau} - r\cos\alpha \right) - \int_0^{\beta} r(\cos\theta - \cos\alpha) d\theta \right] \qquad \textbf{(8.74)}$$

bağıntı çözülür ve düzenlenirse,

$$M_p = 1{,}70 r^2 t f_c' (\sin\tau - \tau\cos\alpha - \sin\beta + \beta\cos\alpha) \qquad \textbf{(8.75)}$$

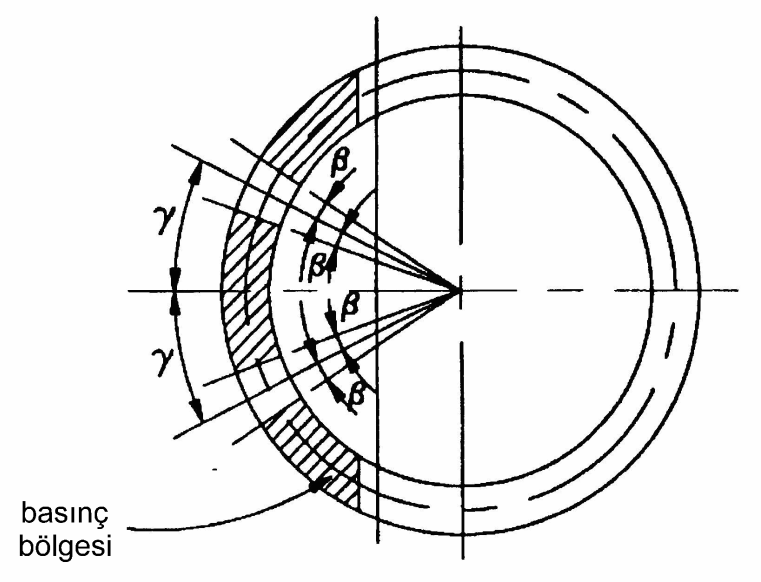
bulunur. Buradan 1 açıklık olması durumu için

$$M_P = 1{,}70 r^2 t f_c' \left[\sin\tau - (\tau - \beta)\cos\alpha - \sin\beta \right] \qquad \textbf{(8.76)}$$

bağıntısı çıkartılır.

8.5.5.2. Basınç bölgesinde 2 adet boşluk olması durumunda M_P momenti

Basınç bölgesinde 2 adet boşluk olması durumunda oluşacak M_P momenti Şekil 8.2 den aşağıdaki gibi yazılabilir:



Şekil 8.2 : Baca enkesitinde iki açıklık.

$$M_P = 2\pi \cdot 0{,}85 f_c' \left[\tau \left(\frac{r \sin \tau}{\tau} - r \cos \alpha \right) - \int_{\gamma-\beta}^{\gamma+\beta} r(\cos\theta - \cos\alpha) d\theta \right] \qquad \textbf{(8.77)}$$

Denklemin integrali alınır ve düzenlenirse

$$M_P = 1{,}70 r^2 t f_c' (\sin\tau - \tau\cos\alpha - \sin(\gamma+\beta) + \sin(\gamma-\beta) + 2\beta\cos\alpha) \qquad \textbf{(8.78)}$$

$$M_P = 1{,}70 r^2 t f_c' \left[\sin\tau - (\tau - 2\beta)\cos\alpha - \sin(\gamma+\beta) + \sin(\gamma-\beta) \right] \qquad \textbf{(8.79)}$$

bulunur.

8.5.5.3. Açıklık sayısına göre genelleştirilmiş M_P momenti

Basınç bölgesinde farklı açıklıklar için bulunan bağıntılar tek bir bağıntı olarak yazmak istenirse:

$$M_P = 1{,}70 r^2 t f_c' R \qquad \textbf{(8.80)}$$

burada

$$R = \sin\tau - (\tau - n_1\beta)\cos\alpha - \left(\frac{n_1}{2} \right) \left[\sin(\gamma+\beta) - \sin(\gamma-\beta) \right] \qquad \textbf{(8.81)}$$

Basınç bölgesinde açıklık olmaması durumunda

$$n_1 = \gamma = \beta = 0 \qquad \textbf{(8.82)}$$

Basınç bölgesinde 1 adet açıklık olması durumunda

$$n_1 = 1 \quad , \quad \gamma = 0 \qquad \textbf{(8.83)}$$

Basınç bölgesinde 2 adet açıklık olması durumunda

$$n_1 = 2 \qquad \textbf{(8.84)}$$

alınmalıdır.

8.5.6. Moment denge denklemi

Tarafsız eksene göre moment denge denklemi eşitliğinden aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$M_n = P_u r\cos\alpha + M_p + M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \qquad \textbf{(8.85)}$$

Bağıntının sağ tarafı açılırsa,

$$M_n = P_u r\cos\alpha + 1{,}70 r^2 t f_c' R + \varepsilon_m r^2 t f_c' K_e \omega_t J_1 + 2r^2 t f_c' \omega_t J_2 + \varepsilon_m r^2 t f_c' K_e \omega_t J_3 + 2r^2 t f_c' \omega_t J_4 \qquad \textbf{(8.86)}$$

$$M_n = P_u r\cos\alpha + 1{,}70 r^2 t f_c' R + \varepsilon_m r^2 t f_c' K_e \omega_t (J_1 + J_3) + 2r^2 t f_c' \omega_t (J_2 + J_4) \qquad \textbf{(8.87)}$$

Bağıntıyı daha sade ifade etmek için,

$$\frac{M_n}{r^2 t f_c'} = \frac{P_u \cos\alpha}{r^2 t f_c'} + K_2 \qquad \textbf{(8.88)}$$

(8.88) bağıntısında verilen K_2 aşağıda verilmiştir:

$$K_2 = 1{,}70R + \varepsilon_m K_e \omega_t (J_1 + J_3) + 2\omega_t (J_2 + J_4) \qquad \textbf{(8.89)}$$

veya

$$K_2 = 1{,}70R + \varepsilon_m K_e \omega_t Q_2 + 2\omega_t K \qquad \textbf{(8.90)}$$

(8.90) bağıntısında Q_2 ve K değişkenleri aşağıda verilmiştir:

$$Q_2 = \frac{\left[(\psi-\mu)(1+2\cos^2\alpha)+\left(\frac{1}{2}\right)(4\sin 2\alpha+\sin 2\psi-\sin 2\mu)-4\cos\alpha(\sin\alpha+\sin\psi-\sin\mu)\right]}{(1-\cos\alpha)} \quad \textbf{(8.91)}$$

$$K = \sin\psi + \sin\mu + (\pi-\psi-\mu)\cos\alpha \quad \textbf{(8.92)}$$

(8.88) bağıntısının her iki tarafını $1/K_1 = rtf_c'/P_u$ ile çarpılırsa,

$$rtf_c'/P_u * M_n/r^2 tf_c' = rtf_c'/P_u * P_u\cos\alpha/rtf_c' + 1/K_1 * K_2 \quad \textbf{(8.93)}$$

Bulunur. Buradan

$$K_3 = M_n/P_u r = \cos\alpha + K_2/K_1 \quad \textbf{(8.94)}$$

veya

$$M_n = K_3 P_u r \quad \textbf{(8.95)}$$

elde edilir. Burada gerekli olan bir koşul

$$M_{DS} = \phi M_n \geq M_u \quad \textbf{(8.96)}$$

Basınç bölgesinde simetrik iki boşluk olması durumunda gerek koşullardan biri

$$\gamma+\beta > \tau \quad \text{ve} \quad \gamma-\beta < \tau \quad \textbf{(8.97)}$$

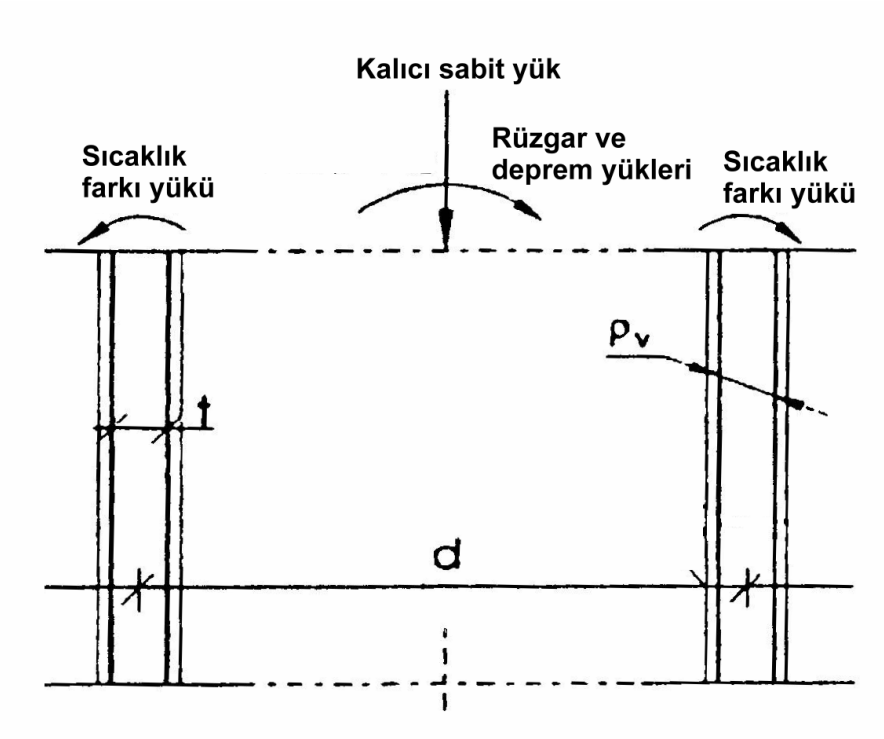
Basınç bölgesinde boşluk olmaması durumunda

$$\tau = \delta \ , \ \lambda = \delta \ , \ R = \sin\delta - \delta\cos\alpha \quad \textbf{(8.98)}$$

olmalıdır.

9. SICAKLIK FARKI KUVVETLERİNİN SÜPERPOZİSYONU

Baca modellemesinde bacanın yatay ve düşey yüklere göre temelden ankastre bir konsol olarak hesaplanabileceği belirtilmişti. Bu kabul sabit yük, rüzgar ve deprem kuvvetleri için 8.nci bölümde çıkartılan bağıntıların kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Sıcaklık farkı yükleri ise baca kabuğuna çevresi boyunca etkimektedir. Diğer kuvvet etkimelerinde baca kabuğu kalınlığı içindeki tüm malzemeler basınç veya çekmeye çalışırken, sıcaklık farkı yüklerinde baca kabuğu kalınlığı içinde hem basınç hem de çekme ortaya çıkmaktadır. Şekil 9.1'de yükler arasındaki fark boy kesitte gösterilmiştir.

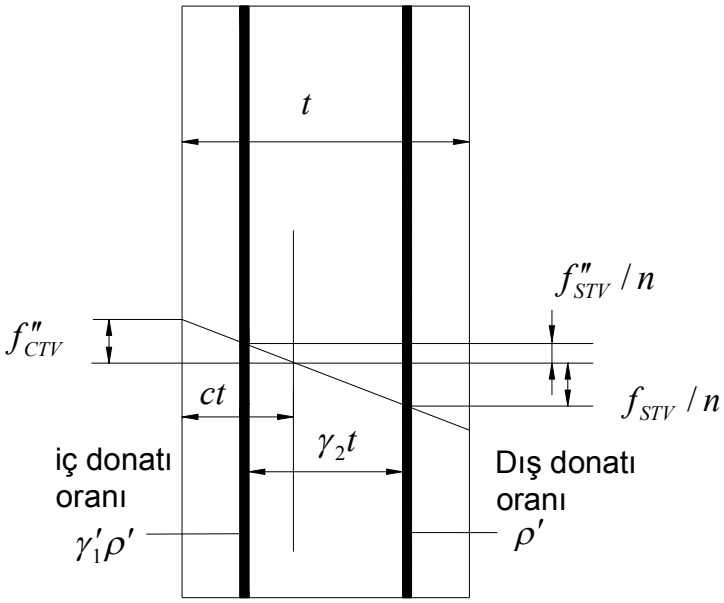


Şekil 9.1 : Baca boy kesitinde sıcaklık farkı yükünün etkisi.

9.1. Hesapta İzlenecek Yol

Baca bu bölümde anlatılan yöntem ile öncelikle sıcaklık farkı yükleri için çözülmelidir. Çözüm sonucunda çelik ve beton hesap dayanımları bu bölümde

bulunan değerler kadar azaltılmalı ve yeni hesap değerleri bölüm 8 de kalıcı yükler ile rüzgar ve deprem kuvvetlerine göre yapılan çözümde kullanılmalıdır.



Şekil 9.2 : Sıcaklık etkilerinin çıkartılması için gerilme diyagramı.

Dış donatı oranının toplam donatıya oranı aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{\rho'}{\rho'(1+\gamma_1)} = \frac{1}{(1+\gamma_1)} \qquad \textbf{(9.1)}$$

İç donatı oranının toplam donatıya oranı aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

$$\frac{\gamma_1\rho'}{\rho} = \frac{\gamma_1\rho'}{\rho'(1+\gamma_1)} = \frac{\gamma_1}{(1+\gamma_1)} \qquad \textbf{(9.2)}$$

Donatı ve beton gerilmelerinden sıcaklık farkı gerilmeleri çıkartılarak 8. bölümde kullanılacak hesap gerilme dayanımı bulunabilir. Bu bağıntılar aşağıda verilmiştir:

9.1.1. Sıcaklık farkının donatı gerilmesi üzerindeki etkisi

Rüzgar kuvvetinin etkidiği baca kabuğunda hesaplarda kullanılacak çekme gerilmesi, gerçek gerilmeden çekme gerilmesinin çıkartılması ve basınç gerilmesinin toplanması ile bulunabilir.

$$f_y'(v) = f_y - \frac{F_t(v)\dfrac{1}{1+\gamma_1}\cdot A_s \cdot f_{STV}}{A_s} + \frac{F_t(v)\dfrac{\gamma_1}{1+\gamma_1}\cdot A_s \cdot f''_{STV}}{A_s} \qquad \textbf{(9.3)}$$

(9.3) denklemi sadeleştirilirse

$$f_y{}'(\nu) = f_y - \frac{F_t(\nu)}{1+\gamma_1}\left(f_{STV} - \gamma_1 f''_{STV}\right) \quad \textbf{(9.4)}$$

burada

f_{STV} dış yüzeydeki donatıda sıcaklık çekme gerilmesi

f''_{STV} iç yüzeydeki donatıda sıcaklık basınç gerilmesi

$F_t(\nu)$ yükleme durumuna göre sıcaklık yük artırma çarpanı

9.1.2. Sıcaklık farkının beton gerilmesi üzerindeki etkisi

Sıcaklık farkı etkisi beton için de aynı şekilde hesaplanabilir:

$$f_c{}''(\nu) = f'_c - F_t(\nu)\cdot f''_{CTV} \quad \textbf{(9.5)}$$

10. BACA TEMELİ

Baca temeli genellikle monolotik betonarme dairsel plaktır. Plak çapının büyük olması halinde radyal doğrultuda nervürler veya kesik koni şeklinde temel yapılır. Zemin gerilmesinin 12 kN/m^2 den yüksek olması durumunda yüzeysel temel, düşük olması durumunda ise kazıklı temel inşasına gidilmesi genellikle uygun olmaktadır. Temel projelendirilmesi öncesinde temel çapı üzerinde en az 3 bölgede ve yine temel çapı çevresinde eşit derinlikte açılmış çukurlarda geoteknik inceleme yapılmalıdır.

10.1. Yüzeysel Baca Temelinin Sağlaması Gereken Koşullar

Yüzeysel olarak teşkil edilmiş bir baca temelinde aşağıdaki koşullar sağlanmış olmalıdır.

- En büyük zemin gerilmesi, zemin emniyet gerilmesinden büyük olmalıdır.

$$\sigma_{z,maks} \leq \sigma_{z,em} \qquad \textbf{(10.1)}$$

- Temel plağı bütün elverişsiz yükleme durumlarında zeminden ayrılmamalı, yani tabanda çekme gerilmesi oluşmamalıdır.

$$\sigma_{z,eksr.} = \frac{\sum N_1}{A_t} \pm \frac{\sum M_1}{W_t} \geq 0 \qquad \textbf{(10.2)}$$

burada $\sum N_i$ ve $\sum M_i$ sırasıyla en elverişsiz duruma karşı gelen normal kuvvet ve temel tabanına göre alınmış momentler toplamı, A_t temel tabanın alanını ve W_t de temel tabanı mukavemet momentini göstermektedir.

-En elverişsiz durumlarda en büyük ve en küçük zemin gerilmelerinin oranı 4'ü aşmamalıdır.

$$\frac{\sigma_{z,maks}}{\sigma_{z,\min}} \leq 4{,}0 \qquad \textbf{(10.3)}$$

- Maksimum taban oturması verilmiş standart değerlerini aşmamalıdır.

$$w_{maks} < w_{em} \qquad \textbf{(10.4)}$$

w taban oturması değeri

$$w = \sum_i w_i = \sum_i \frac{\sigma_{zi} h_i}{E_i} \qquad (i = 1 \text{, yükleme durumu sayısı}) \qquad \textbf{(10.5)}$$

bağlantısı ile hesaplanabilir.

burada:

w_i i **.** zemin tabakasının çökmesi,

h_i i **.** zemin tabakasının yüksekliği,

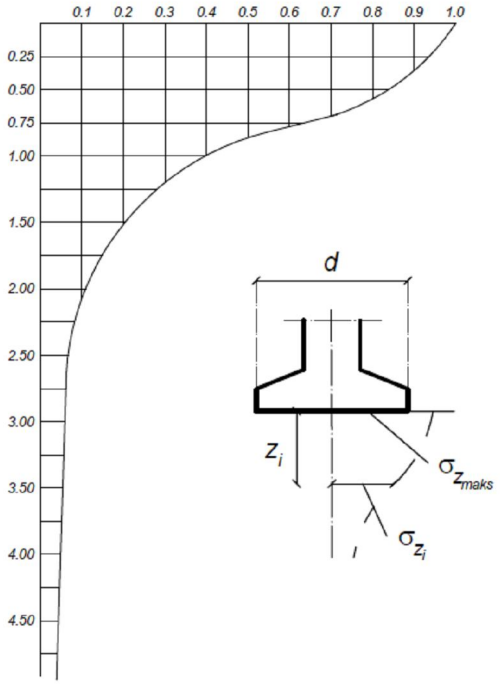
$\sigma_{z,i}$ i **.** zemin tabakasındaki gerilme,

E_i i . zemin tabakasının elastisite modülüdür.

Baca temellerinin çökme hesabında genellikle çaptan daha derinlikteki zemin tabakaları dikkate alınmaz. Dairesel temellerin altındaki herhangi bir i tabakadaki gerilme

$$\sigma_{z,i} = \eta \sigma_{z,maks}$$

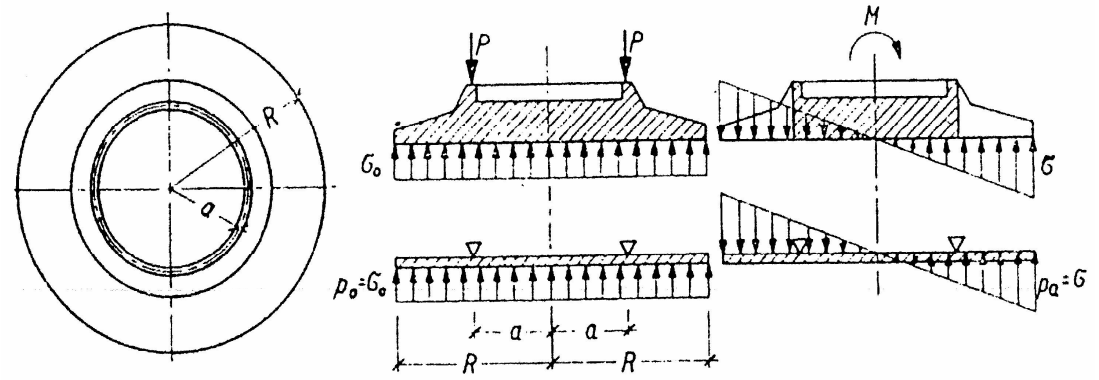
bağlantısı ile verilebilir. $\sigma_{z,maks}$ temel tabanındaki en büyük gerilme olup η yardımcı değeri Şekil 10.1 dekine benzer diyagramlardan alınabilir.



Şekil 10.1 : Temel altındaki gerilme dağılımı (η yardımcı değerleri).

10.2. Dairesel Bir Plağın Statik Hesabı

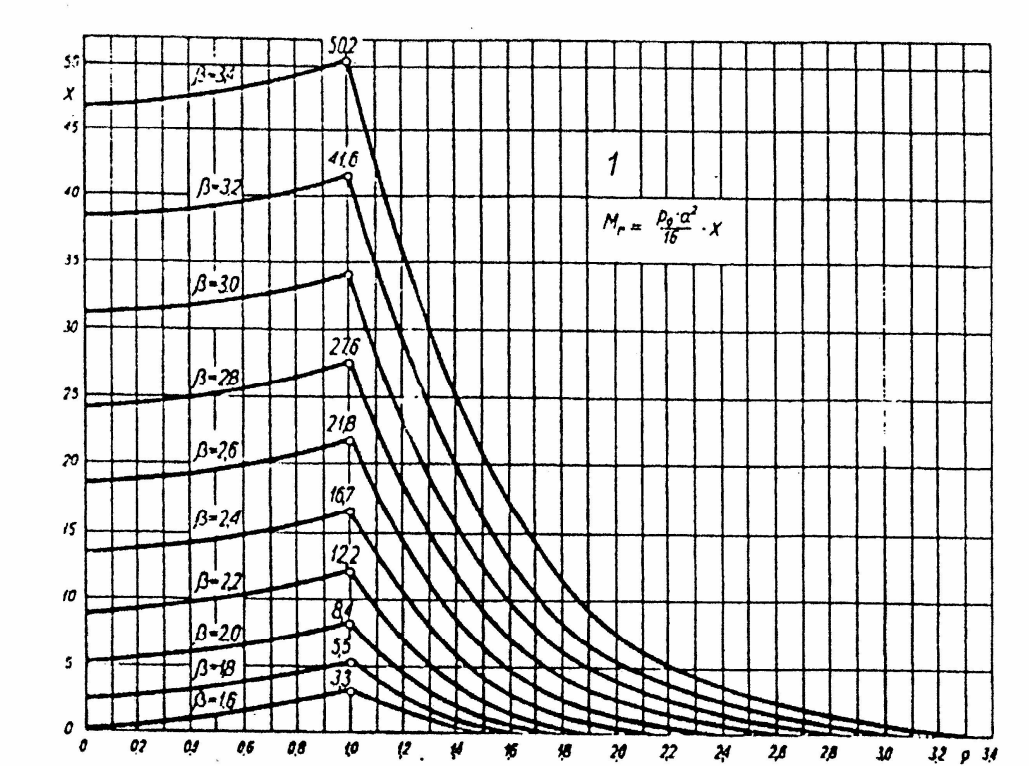
Temel plağı zemin gerilmesi ile alttan yüklenmiş ve baca gövdesine çevresi boyunca mesnetli dairesel bir plaktan ibarettir. Düşey etkiler altında simetrik, yatay etkiler altında antimetrik yüklenmiş olup sistem yükleme şemaları Şekil 10.2 de gösterilmiştir.



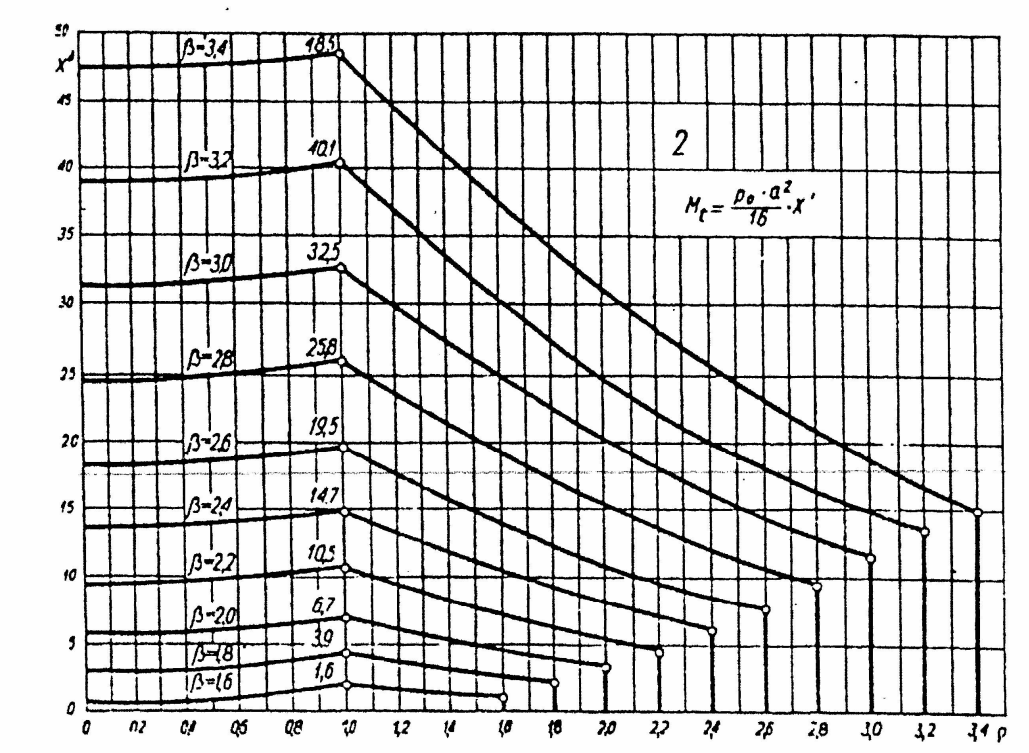
Şekil 10.2 : Temel plağı statik sistemi, simetrik ve antimetrik yüklemeler.

Baca temeli gövde altında sabit, dışında ise değişken olarak yapılmaktadır. Temel kalınlığı 1-3 m mertebesindedir. Çap büyüdükçe beton tasarrufu için dolu yerine nervürlü temel plağı yapılabilir.

Temel plağına ait diferansiyel denklemlerin çıkarılması pek çok standart mühendislik yayınında verildiğinden burada verilmemiş, sadece simetrik (Şekil 10.3, Şekil 10.4) ve antimetrik (Şekil 10.5, Şekil 10.6) yükleme durumları için radyal ve çembersel momentlerin hesabına yarayan diyagramlar verilmiştir [2].

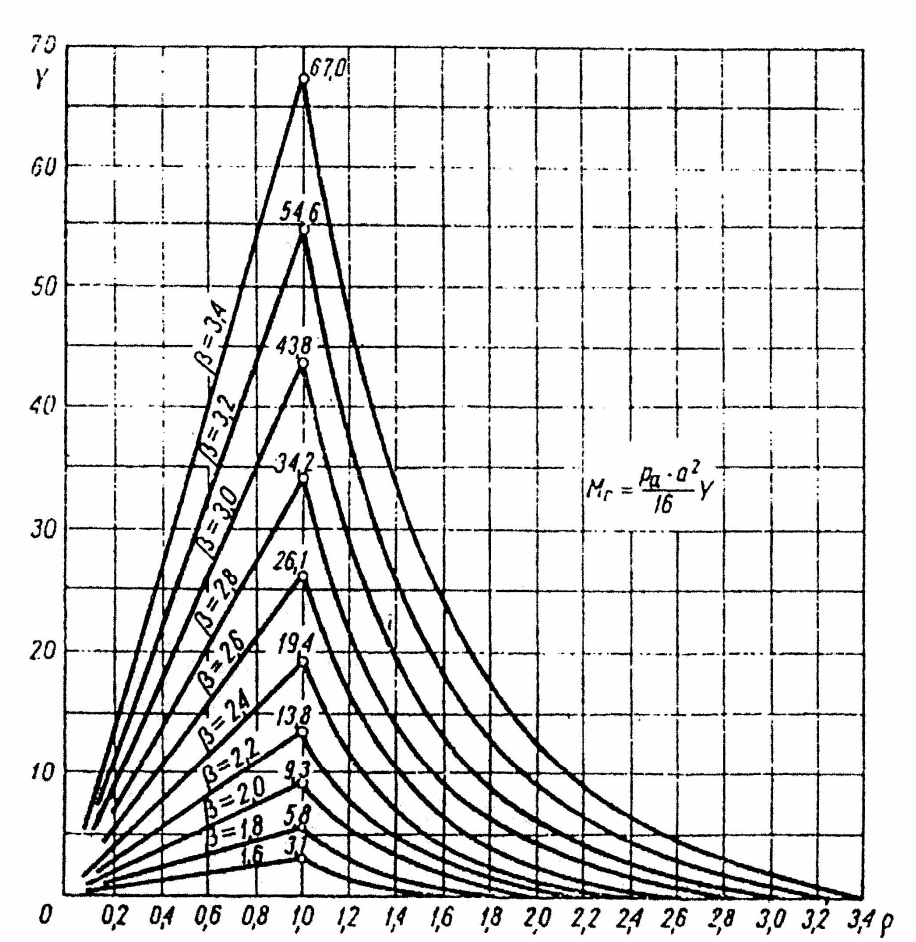


Şekil 10.3 : Simetrik yüklü dairesel plakta radyal moment (M_r) için X yardımcı değerleri.

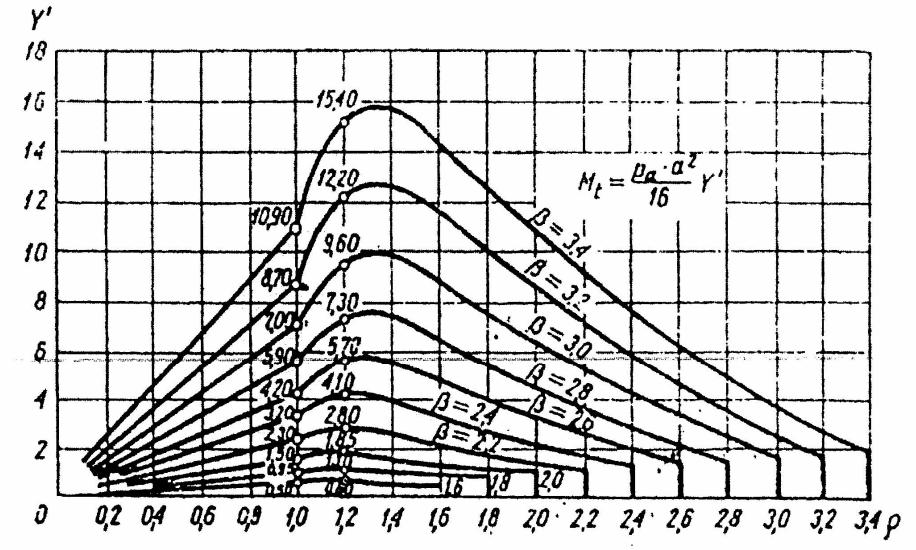


Şekil 10.4 : Simetrik yüklü dairesel plakta çembersel moment (M_t) için X' yardımcı değerleri.

$$(\beta = R/a \quad , \quad \rho = r/a)$$



Şekil 10.5 : Antimetrik yüklü dairesel plakta radyal moment (M_r) için Y yardımcı değerleri.

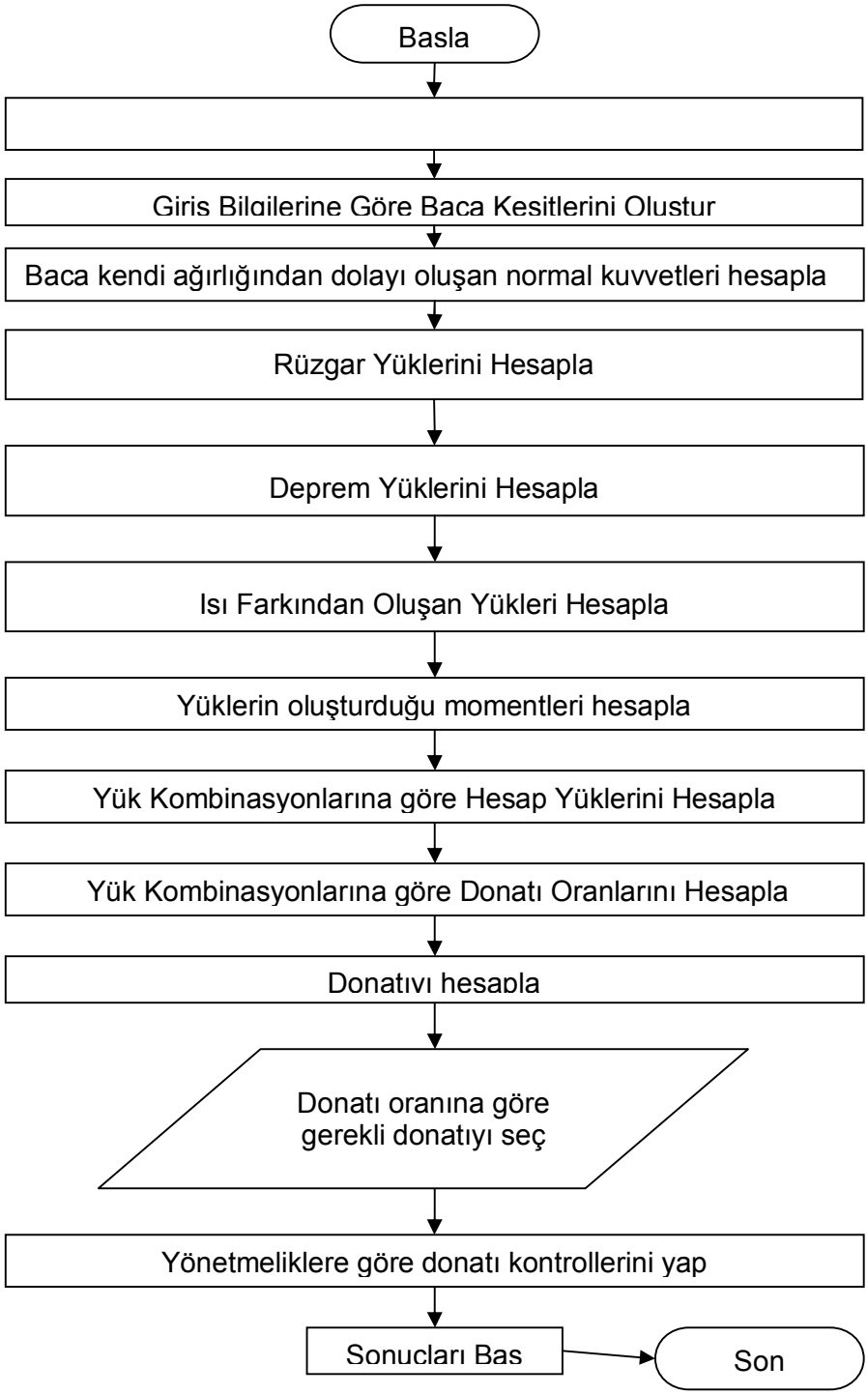


Şekil 10.6 : Antimetrik yüklü dairesel plakta çembersel moment (M_t) için Y' yardımcı değerleri.

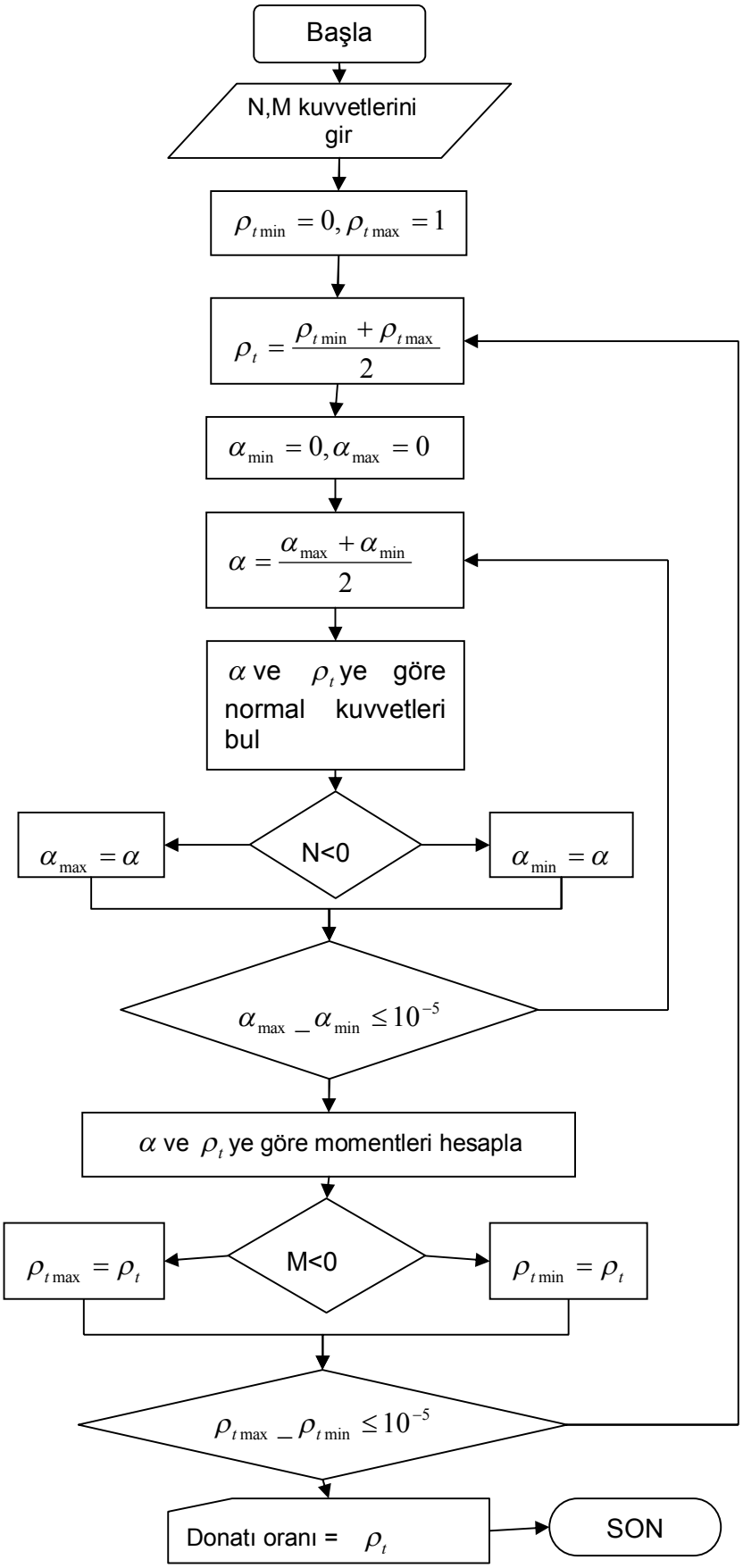
$$(\beta = R/a \quad , \quad \rho = r/a)$$

11. BACA HESABI BİLGİSAYAR PROGRAMI

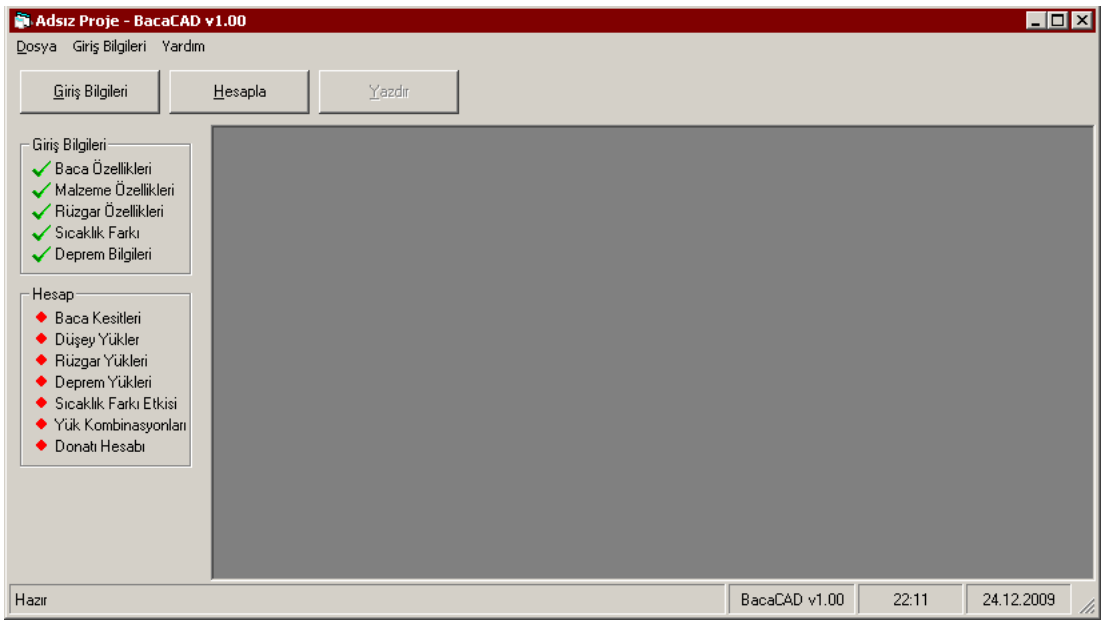
11.1. Genel Akış Şeması:



11.2. Donatı Hesabı Akış Şeması

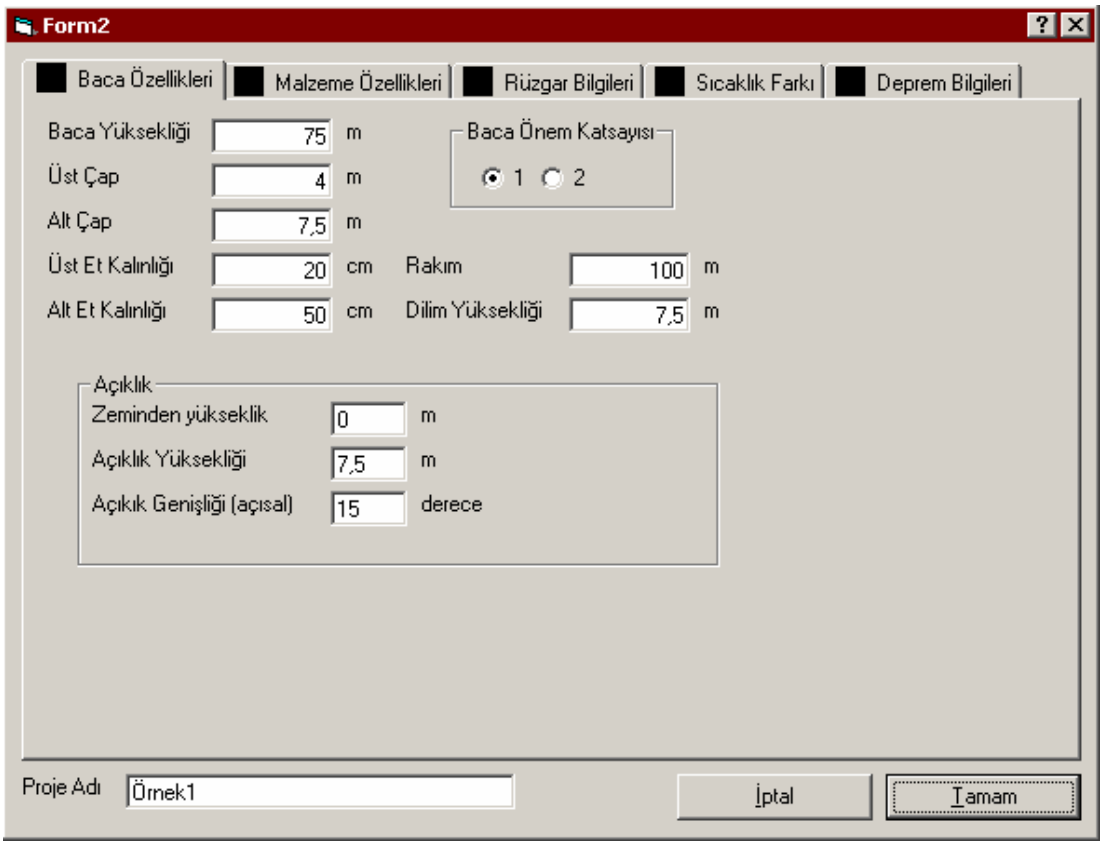


11.3. Program Ana Ekranı



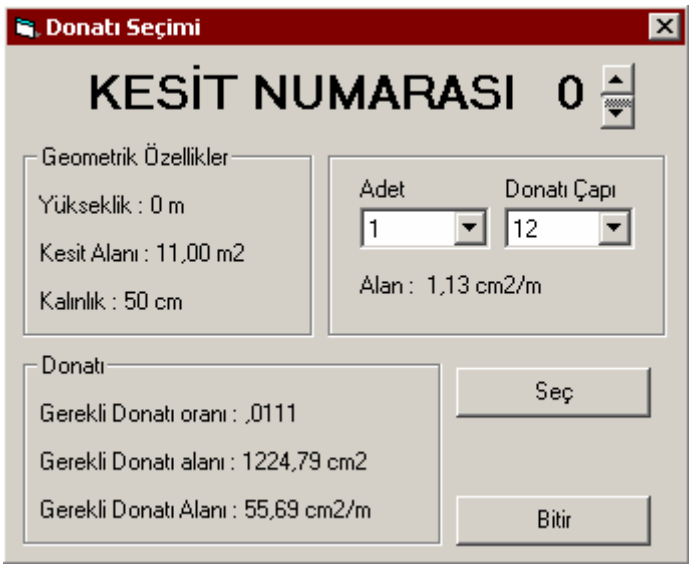
Şekil 11.1 : Programın ana ekran görüntüsü.

Program ana ekranında 3 farklı düğme bulunmaktadır. Bunlardan biri giriş bilgilerini girmek, biri hesapları yapmak diğeri ise sonuçları yazdırmak içindir. Giriş bilgileri henüz girilmemişse hesapla düğmesi aktif değildir. Aynı şekilde Şekil 11.1 de de görüleceği gibi henüz hesaplamaları yapılmamış baca için yazdır düğmesi de aktif değildir.



Şekil 11.2 : Baca bilgileri giriş ekranı.

Programın bilgi giriş ekranında, yukarıda bulunan sekmeler yardımıyla istenilen bilgilerin girişi yapılabilmektedir.



Şekil 11.3 : Donatı oranlarına göre donatı seçme ekranı.

Donatı seçme ekranında gerekli donatı oranı verilmekte ve donatı seçimi kullanıcıya bırakılmaktadır.

11.4. Baca Programında Kullanılan Değişkenler

ProjeAdı	projenin adı
ProgramAdı	program adı
ProjeTarihi	projenin tarihi
katsayısı	toplam dilim sayısı
BacaÖnemKatsayısı	CICIND'e göre baca önem katsayısı
Sünek	süneklik düzeyi
altitude	baca rakımı
BacaYüksekliği	baca toplam yüksekliği
Dışçapüst	baca tepesinin çapı
Dışçapalt	baca alt çapı
ÜstKalınlık	baca tepesinin kalınlığı
AltKalınlık	baca alt kalınlığı
artan	dilim yüksekliği
distance_from_interfering_object	engel yapıya olan mesafe
diameter_of_interfereing_object	engel yapının çapı
chimney_diameter_at_0_75_h	bacanın 0,75 h deki çapı
Rüzgarhızı	10 m de ölçülen rüzgar hızı
modsayısı	hesaplanacak mod sayısı
çizilecekmodsayısı	çizilecek mod sayısı
Ti	Baca iç sıcaklığı
Tout	Baca dış sıcaklığı
YalıtımKalınlık	Yalıtım kalınlığı
YalıtımIsıKatsayısı	Yalıtım ısı iletim katsayısı
YalıtımYoğunluk	Yalıtım malzemesi yoğunluğu
TuğlaKalınlık	Ateş tuğlası kalınlığı
TuğlaIsıİletimKatsayısı	Tuğla ısı iletim katsayısı
TuğlaYoğunluk	Ateş tuğlası yoğunluğu

BetonIsıİletimKatsayısı	Beton ısı iletim katsayısı
Ki	Akışkan gaz film ısı katsayısı
SoilFactor	CICIND'e göre zemin çarpanı
SoilExponent	CICIND'e göre zemin çarpanı
CICINDa	CICIND'e göre etkin yer ivmesi
açıklıkzyük	bacadaki açıklığın alt kotu
açıklıkyük	bacadaki açıklığın üst kotu
açıklıkaçı	bacadaki açıklığın enkesit merkezine göre açısı
ÇelikMalzemeKatsayısı	Çelik güvenlik katsayısı
BetonMalzemeKatsayısı	Beton güvenlik katsayısı
BacaBetonSınıfı	Beton sınıfı
BacaÇelikSınıfı	Çelik sınıfı
BacaZeminSınıfı	DBYBHY ye göre Zemin sınıfı
BacaDepremBölgesi	DBYBHY ye göre deprem bölgesi
Peryod()	Baca periyotları
Aerodinamik	Rüzgar için aerodinamik katsayısı
BacaGiriş	Baca giriş bilgileri giriş ekranındaki verilerin tamamını girildiğini kontrol eder
RüzgarGiriş	Rüzgar giriş bilgileri giriş ekranındaki verilerin tamamını girildiğini kontrol eder
SıcaklıkGiriş	Sıcaklık farkı bilgileri giriş ekranındaki verilerin tamamını girildiğini kontrol eder
DepremGiriş	Deprem bilgileri giriş ekranındaki verilerin tamamını girildiğini kontrol eder
MalzemeGiriş	Malzeme bilgilerinin giriş ekranındaki verilerin tamamını girildiğini kontrol eder

Beton değişkeni alt değişkenleri

Sınıfı	beton sınıfı

Basınç	beton basınç dayanımı
BasınçH	beton basınç hesap dayanımı
K1	beton şekil değiştirme çarpanı
ElastisiteModülü	Elastisite modülü

Çelik değişkeni alt değişkenleri

Sınıfı	çelik sınıfı
Çekme	çelik çekme dayanımı
ÇekmeH	çelik çekme hesap dayanımı
Basınç	çelik basınç dayanımı
BasınçH	çelik basınç hesap dayanımı
ElastisiteModülü	çelik elastisite modülü

Yük değişkeni alt değişkenleri

moment	kesite etkiyen hesap moment değeri
kuvvet	kesite etkiyen hesap normal kuvvet değeri
donatıoranı	kesit donatı oranı
fctv	kesit sıcaklık farkı nedeniyle beton dayanımı azaltma katsayısı
fstv	kesit sıcaklık farkı nedeniyle beton dayanımı azaltma katsayısı
fcth	kesit sıcaklık farkı nedeniyle beton dayanımı azaltma katsayısı
fsth	kesit sıcaklık farkı nedeniyle beton dayanımı azaltma katsayısı

Baca değişkeni alt değişkenleri

Dışçap	dilimin dış çapı
kalınlık	dilimin kalınlığı

yukseklik	dilimin yüksekliği
boslukacısı	dilimdeki boşluğun açısı
Rüzgarhızı	CICIND'e göre dilime etkiyen rüzgar hızı
TS498rüzgarhızı	TS498'e göre dilime etkiyen rüzgar hızı
AClrüzgarhızı	dilimin ağırlığı
ağırlıkmerkezi	dilimin ağırlık merkezi
RüzgarYüküwmz	CICIND 'e göre dilime etkiyen rüzgar yükü
RüzgarYüküwmz	CICIND 'e göre dilime etkiyen toplam rüzgar yükü
RüzgarYüküwmzM	CICIND 'e göre dilime etkiyen toplam rüzgar yükünün oluşturduğu moment
RüzgarYüküwgz	CICIND 'e göre dilime etkiyen fırtına rüzgar yükü
RüzgarYüküwgzT	CICIND 'e göre dilime etkiyen toplam fırtına rüzgar yükü
RüzgarYüküwgzM	CICIND 'e göre dilime etkiyen toplam fırtına rüzgar yükünün oluşturduğu moment
RüzgarYüküwz	RüzgarYüküwz + RüzgarYüküwgz
RüzgarYüküwzT	RüzgarYüküwzT + RüzgarYüküwgzT
RüzgarYüküwzM	RüzgarYüküwzM + RüzgarYüküwgzM
YalıtımAğırlığı	dilimdeki yalıtımın ağırlığı
TuğlaAğırlığı	dilimdeki tuğla ağırlığı
BetonAğırlığı	dilimdeki beton ağırlığı
DüşeyKuvvet	dilimdeki normal kuvvet
DepremYüküDBYYHY	DBYBHY'e göre kesite etkiyen kesme kuvveti
DepremYüküTDBYYHY	DBYBHY'e göre kesite etkiyen toplam kesme kuvveti
DepremYüküMDBYYHY	DBYBHY'e göre kesite etkiyen toplam kesme kuvvetinin oluşturduğu moment
DepremYükü	CICIND'e göre kesite etkiyen kesme kuvveti
DepremYüküT	CICIND'e göre kesite etkiyen toplam kesme kuvveti

DepremYüküM	CICIND'e göre kesite etkiyen toplam kesme kuvvetinin oluşturduğu moment
donatıadeti	kesitte metre başına donatı adeti
donatıçapı	kullanılan donatı çapı
wz	ACI'e göre dilime etkiyen rüzgar yükü
wzT	ACI'e göre dilime etkiyen toplam rüzgar yükü
wzM	ACI'e göre dilime etkiyen toplam rüzgar yükünün oluşturduğu moment
wuz	ACI'e göre dilime etkiyen fırtına rüzgar yükü
wuzT	ACI'e göre dilime etkiyen toplam fırtına rüzgar yükü
wuzM	ACI'e göre dilime etkiyen toplam fırtına rüzgar yükünün oluşturduğu moment
TS498	TS498 'e göre dilime etkiyen rüzgar yükü
TS498T	TS498'e göre dilime etkiyen toplam rüzgar yükü
TS498M	TS498'e göre dilime etkiyen toplam rüzgar yükünün oluşturduğu moment
donatıoranı	gerekli donatı oranı
donatıalanı	gerekli donatı alanı

11.5. Bilgisayar Programı kodları

Bilgisayar programı açık kodları EK.E içerisinde verilmiştir.

11.6. Visual Basic'te Class Modülü ile Birim Dönüşümü Yapabilen Değişken Tanımlama

Yazılan programda aşağıdaki gibi değişkenler kullanılmıştır:

Baca(i).yükseklik.m

buradaki değişken bacanın i inci diliminin metre cinsinden yüksekliğini ifade etmektedir.

Program kodumuzun aşağıdaki gibi olduğunu varsayalım:

Baca(2).yukseklik.m =5 '

‘ 2 nolu baca diliminin yüksekliğini 5 m olarak veriyoruz

Debug.Print Baca(2).yukseklik.cm

‘ kontrol penceresinden 2 nolu baca diliminin yüksekliğini

‘ cm cinciden görmek istiyoruz

Yukarıdaki kod ile birlikte kontrol penceresinde “500” yazdığını görmekteyiz. Program değişkenin farklı birimlere göre değerlerini bize vermektedir. Aşağıda açı değerleri için derece ve radyan değerlerini hafızaya alan bir örnek kod verilmiştir.

```
Dim Degree As Double, Radyan As Double, Gradyan As Double

Public Property Get Deg() As Variant
   Deg = Degree
End Property

Public Property Let Deg(ByVal vNewValue As Variant)
   Degree = vNewValue
   Radyan = vNewValue * (2 * pi / 360)
End Property

Public Property Get Rad() As Variant
   Rad = Radyan
End Property

Public Property Let Rad(ByVal vNewValue As Variant)
   Degree = vNewValue * (360 / (2 * pi))
   Radyan = vNewValue
End Property
```

Class modülü içine yazılacak yukarıdaki kod ile program içerisinde aşağıdaki gibi bir değişken tanımı yapıldığında

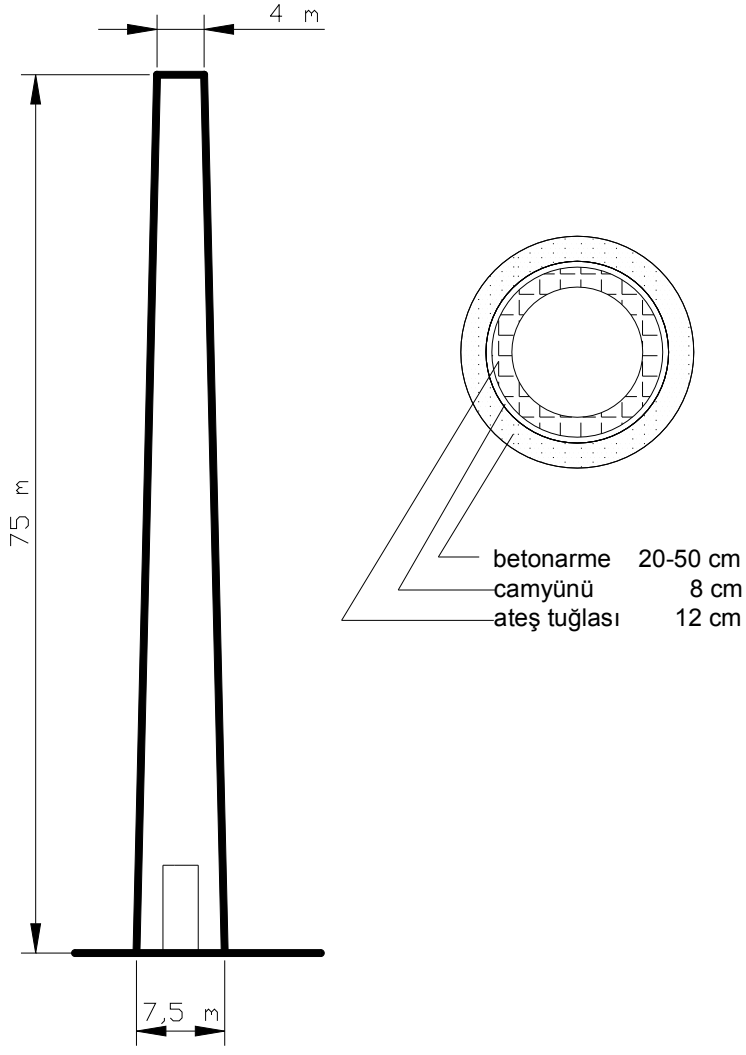
Dim alfa as New Açı ‘ Açı class modülümüzün adı

alfa değişkeninin hem derece hem de radyan değerlerini herhangi bir ek işlem yapmadan kullanmaktadır.

12. ÖRNEK BACA HESAPLARI

12.1. 75 m Yüksekliğinde Betonarme Baca Çözümü

75 m yüksekliğinde, dış çapı doğrusal olarak değişen, kaplaması 12 cm kalınlığında ateş tuğlası, yalıtım malzemesi 8 cm kalınlığında cam yünü olan bacanın hesabı aşağıda yapılmıştır. Baca betonarme betonu BS25, donatı çeliği BÇIII tür. Baca değiştirilmiş Mercalli ölçeğine göre VIII olan deprem bölgesindedir. Baca içi atık gaz sıcaklığı 200^{o}C, dış atmosfer sıcaklığı -10^{o}C dir. Baca 0 kotunda 7,5m yüksekliğinde kesit merkeziyle 15 derecelik açı yapan bir boşluk mevcuttur



Şekil 12.1 : Örnek 1 baca ölçüleri.

12.1.1. Donatı Hesabı

Baca Programının sonuçları Ek D de verilmiştir.Burada yükler, donatı oranları ve seçilen donatılar verilmiştir.

Çizelge 12.1 : Baca Düşey Kuvvetleri.

Dilim No	Yükseklik m	Beton Ağırlığı kN	Tuğla Ağırlığı kN	Yalıtım A.lığı kN	Dilim Ağırlığı kN	Toplam Düşey Ağırlık kN
10	75	501,987	195,941	20,725	718,653	718,653
9	67,5	618,148	212,34	22,365	852,853	1571,506
8	60	745,618	228,739	24,005	998,362	2569,868
7	52,5	884,398	245,138	25,645	1155,181	3725,049
6	45	1034,487	261,538	27,285	1323,31	5048,359
5	37,5	1195,887	277,937	28,925	1502,748	6551,107
4	30	1368,596	294,336	30,565	1693,496	8244,603
3	22,5	1552,614	310,735	32,204	1895,554	10140,16
2	15	1747,943	327,134	33,844	2108,921	12249,08
1	7,5	1954,581	343,533	35,484	2333,599	14582,68

Çizelge 12.2 : Bacaya Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri.

Dilim No	Yükseklik m	Rüzgar Yükleri (kN)		Moment (kNm)		
		Normal	Fırtına farkı	Normal	Fırtına farkı	Toplam
10	75	20,6	6,08	78,34	45,59	123,93
9	67,5	21,68	5,47	315,21	91,18	406,39
8	60	22,6	4,86	718,11	177,8	895,91
7	52,5	23,33	4,25	1293,22	300,89	1594,11
6	45	23,85	3,65	2045,21	455,89	2501,1
5	37,5	24,08	3,04	2976,88	638,25	3615,13
4	30	23,96	2,43	4088,64	843,4	4932,04
3	22,5	23,34	1,82	5377,7	1066,78	6444,48
2	15	21,93	1,22	6836,44	1303,84	8140,28
1	7,5	18,97	0,61	8448,45	1550,03	9998,48

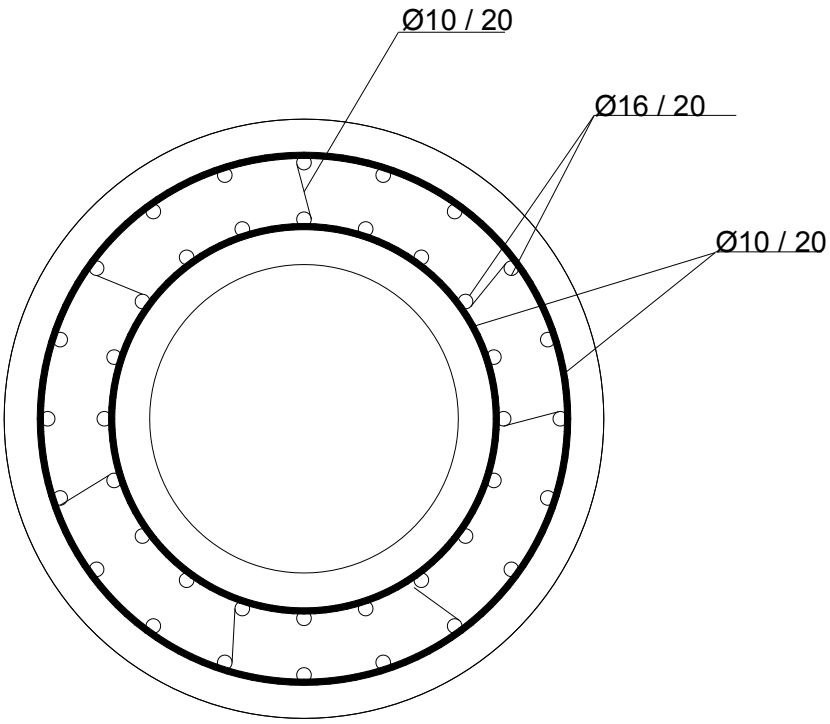
Çizelge 12.3 : Bacaya etkiyen Deprem kuvvetleri.

Dilim no: No	Yükseklik m	Deprem Yükü (kN)	Deprem momenti (kNm)
10	75,0	808	0
9	67,5	331	6059
8	60,0	345	14602
7	52,5	349	25729
6	45,0	343	39472
5	37,5	324	55784
4	30,0	292	74527
3	22,5	245	95461
2	15,0	182	118236
1	7,5	101	142375
0	0,0	0	167269

Çizelge 12.4 : Baca için gerekli Donatı Oranları ve Seçilen Donatılar.

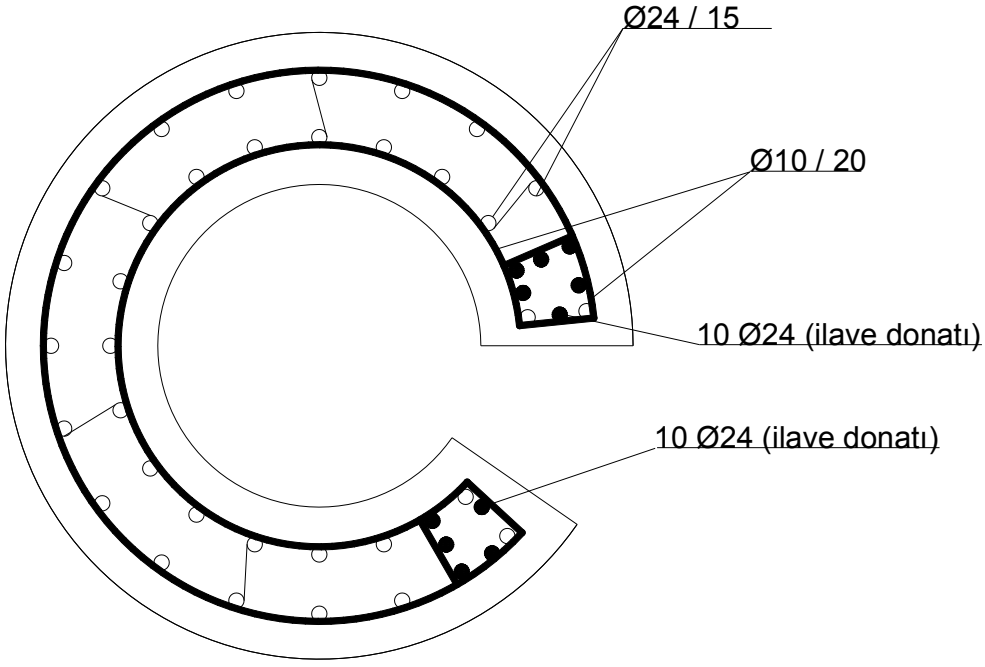
Dilim No	Yükseklik m	Gerekli Donatı Alanı (cm^2/m)	Seçilen Donatı Alanı (cm^2/m)	Donatı Adeti	Donatı Çapı
0	0	55,69	58,81	13	ϕ24
1	7,5	53,1	58,81	13	ϕ24
2	15,0	49,44	54,29	12	ϕ24
3	22,5	44,92	45,24	10	ϕ24
4	30,0	39,54	40,72	9	ϕ24
5	37,5	33,56	40,72	9	ϕ24
6	45,0	27,05	31,67	7	ϕ24
7	52,5	20,2	20,11	10	ϕ16
8	60,0	13,22	20,11	10	ϕ16
9	67,5	6,39	24,13	12	ϕ16
10	75,0	5	24,13	12	ϕ16

Seçilen donatılar 1m baca kabuğunun iç ve dış yüzeyindeki toplam donatıdır.



Şekil 12.2 : Kesit 7 için şematik gösterim.

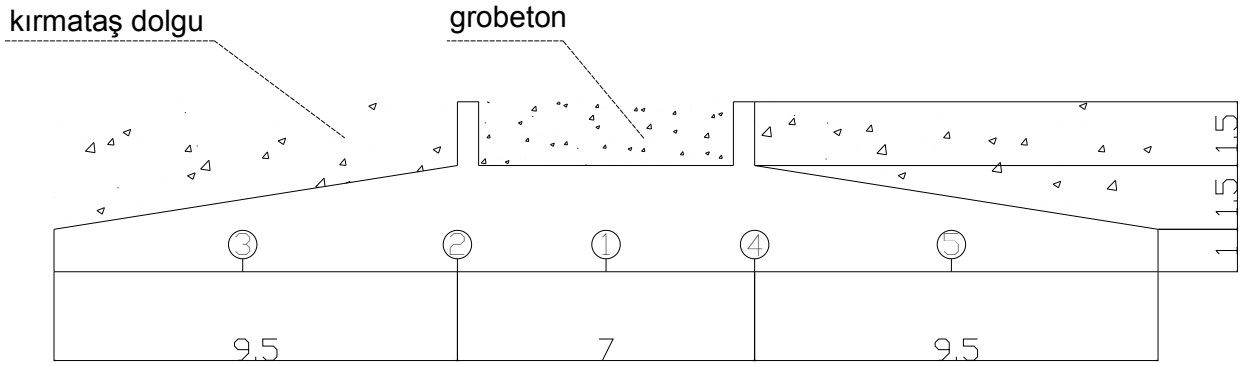
10 adet 16 lık donatı 5 dış yüzeye, 5 de iç yüzeye olmak üzere paylaştırılmıştır.



Şekil 12.3 : Kesit 1 için şematik gösterim.

13 adet olan 24 lük donatı hem dış yüzeyde hem içi yüzeyde 15 cm de bir olacak şekilde yerleştirilmiştir.

12.1.2. Temel Hesabı



Şekil 12.4 : Temel ölçüleri.

Temel üst kotundaki kesit zorları:

M (Moment) = 167268 kNm

V (Kesme) = 3319 kNm

N (Normal) = 14582 kN

Temel alt kotunda moment:

M_0 = 167268 + 3319 x 4 = 180544 kNm

Temel ağırlığı:

$$N_{gt} = \left(\pi \cdot 13^2 \cdot 1 + \frac{1.5}{3} \pi \cdot \left(13^2 + 3.75^2 + 37.5\right) + \pi \cdot 7 \cdot 0.5 \cdot 1.5 \right) \cdot 25 = 22347 kN$$

Grobeton ve kırmataş ağırlığı:

$$N_{gz} = \left(\frac{6.5^2}{4} \cdot 1.5 \cdot \pi \cdot 2.2 + \left(13^2 - 3.75^2\right) \cdot 1.5 \cdot \pi \cdot 18 + \left(13^2 - 50.52\right) \cdot 1.5\pi \cdot 18 \right) = 24287 kN$$

Temel alt kotundaki normal kuvvet:

$$N_g = 14582 + 22347 + 24287 = 61216kN$$

Zemin gerilmesi kontrolü:

$$\sigma_{maks} = \frac{61216}{\frac{\pi \cdot 26^2}{4}} + \frac{180544}{\frac{\pi \cdot 26^3}{32}} = 219.93 \, kN/m^3$$

$$\sigma_{\min} = \frac{61216}{\frac{\pi \cdot 26^2}{4}} - \frac{180544}{\frac{\pi \cdot 26^3}{32}} = 10.66 \, kN/m^3$$

seçilen temel ölçüleri uygundur.

12.1.2.1. Temel plağının statik hesabı:

$$\sigma_{\frac{maks}{\min}} = \frac{14582}{\frac{\pi \cdot 26^2}{4}} - \frac{180544}{\frac{\pi \cdot 26^3}{32}} = \begin{matrix} 132.10 \\ -77.16 \end{matrix} kN/m^3$$

Çizelge 12.5 : Radyal momenter (R/a=3.71).

Kesit no	r (m)	ρ =r/a	X'	$p_0a^2/16$	M	Y'	$p_aa^2/16$	M	M_{toplam} (kN/m)
1	0	0	50		2947	0		0	2947
2	3.5	1	51.2		3018	69		6969	9987
3	8.25	2.36	4	58.9	235	9	101	909	1144
4	3.5	1	51.2		3018	-69		-6969	-3951
5	8.25	2.36	4		235	-9		-909	-674

Çizelge 12.6 : Teğetsel momentler (R/a=3.71).

Kesit no	r (m)	ρ =r/a	X'	$P_0a^2/16$	M	Y'	$p_aa^2/16$	M	M_{toplam} (kN/m)
1	0	0	48.5	58.9	2861	0	101	0	2861
2	3.5	1	49.5		2920	11		1111	4031
3	8.25	2.36	28		1652	9		909	2561
4	3.5	1	49.5		2920	-11		-1111	1809
5	8.25	2.36	28		1652	-9		-909	743

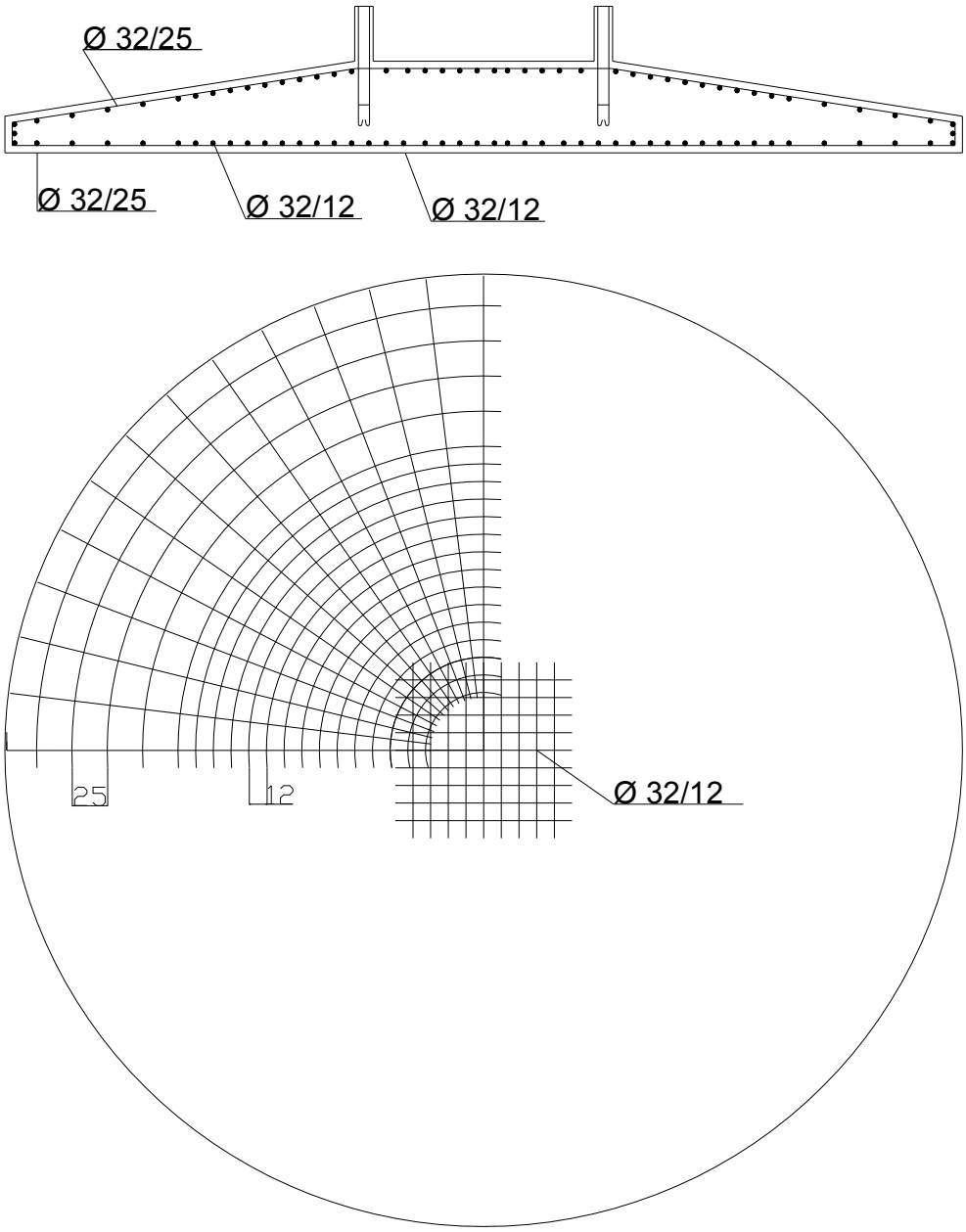
12.1.2.2. Temel plağının betonarme hesabı

Çizelge 12.7 : Radyal doğrultu (BS 35 / BÇIII).

Kesit no	M(kNm)	d(cm)	K (x10^5)	ks	As (cm^2)	Seçilen Donatı
1	2947	245	203	2.83	34.0	Φ32/12
2	9987	245	60	2.93	119.4	Φ32/12 (iki sıra)
3	1144	170	252	2.82	19.0	mevcut Φ32/25
4	-3951	245	151	2.85	46.0	üstte Φ32/12
5	-674	170	428	2.79	11.1	üstte Φ32/25

Çizelge 12.8 : Teğetsel doğrultu (BS 35 / BÇIII).

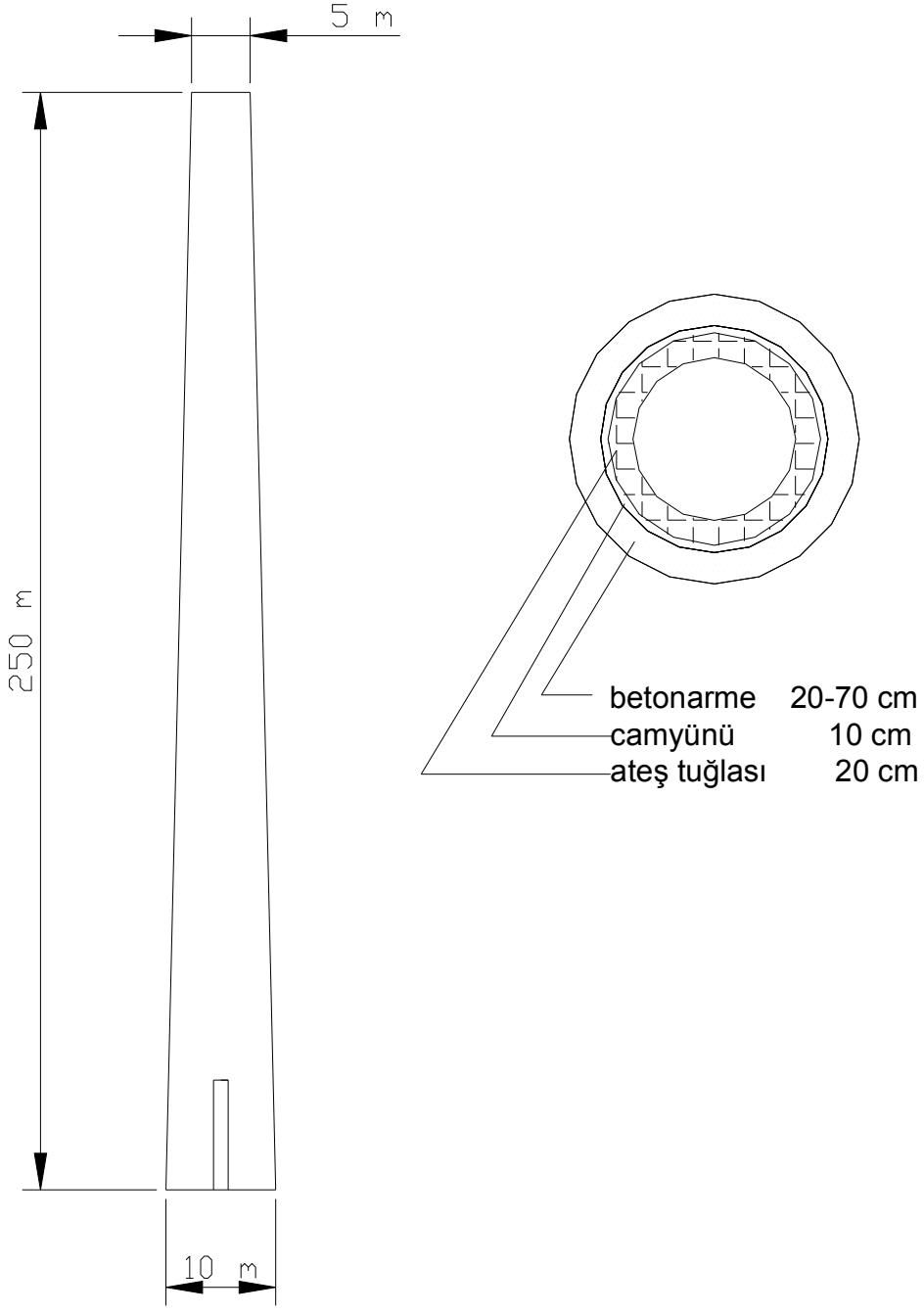
Kesit no	M(kNm)	d(cm)	K (x10^5)	ks	As (cm^2)	Seçilen Donatı
1	2861	243	206	2.83	33.3	Φ32/12
2	4031	240	142	2.85	47.9	Φ32/12 (iki sıra)
3	2561	167	108	2.86	43.9	Mevcut Φ32/25 Ek Φ 16/25
4	1809	242	323	2.80	20.9	mevcut Φ32/12
5	743	167	357	2.80	12.5	mevcut Φ32/25



Şekil 12.5 : Temel donatı yerleşimi.

12.2. 250 m Yüksekliğinde Betonarme Baca Çözümü

250 m yüksekliğinde, dış çapı doğrusal olarak değişen, kaplaması 20 cm kalınlığında ateş tuğlası, yalıtım malzemesi 10 cm kalınlığında cam yünü olan bacanın hesabı aşağıda yapılmıştır. Baca betonarme betonu BS35, donatı çeliği BÇIII tür. Baca değiştirilmiş Mercalli ölçeğine göre VII olan deprem bölgesindedir. Baca içi atık gaz sıcaklığı 160^{o}C, dış atmosfer sıcaklığı -10^{o}C dir. Baca 0 kotunda 7,5m yüksekliğinde kesit merkeziyle 15 derecelik açı yapan bir boşluk mevcuttur



Şekil 12.6 : Örnek 2 baca ölçüleri.

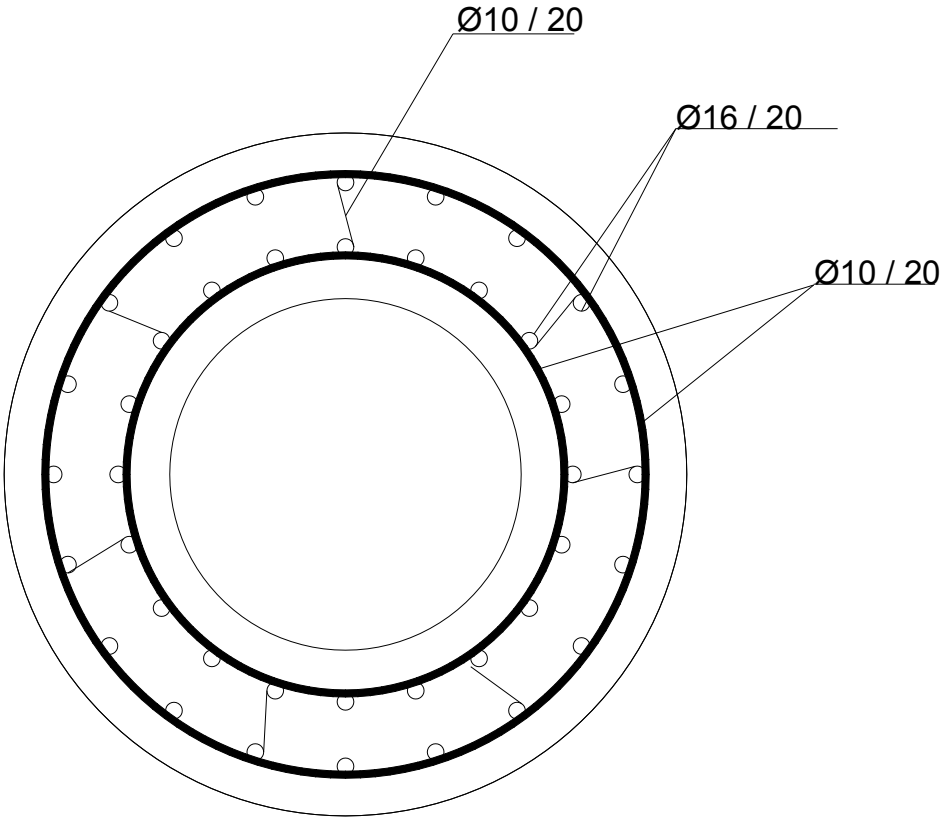
Çizelge 12.9 : Bacaya etkiyen kuvvetler Düşey Kuvvetleri.

Dilim No	Yükseklik m	Toplam Düşey Ağırlık kN	Rüzgar Yükleri (kN)		Rüzgarın oluşturduğu momentler (kNm)	Deprem Yükü (N)	Deprem dolayısıyla oluşan momentleri (kNm)
			Normal	Fırtına farkı			
25	250	1434	51	8	0	2540	0
24	240	3094	56	8	344	403	25402
23	230	4992	61	8	1227	441	54833
22	220	7138	66	7	2780	477	88677
21	210	9544	71	7	5047	511	127296
20	200	12222	75	7	8074	541	171024
19	190	15180	80	6	11902	568	220165
18	180	18432	84	6	16573	592	274991
17	170	21988	88	6	22126	611	335736
16	160	25860	91	5	28596	626	402592
15	150	30057	95	5	36018	637	475711
14	140	34592	98	5	44424	642	555197
13	130	39475	101	4	53843	642	641101
12	120	44718	103	4	64302	636	733424
11	110	50331	105	4	75823	624	832108
10	100	56326	107	3	88428	606	937035
9	90	62714	108	3	102131	581	1048023
8	80	69505	109	3	116944	549	1164824
7	70	76712	109	2	132874	510	1287119
6	60	84344	108	2	149921	463	1414514
5	50	92414	107	2	168078	408	1546539
4	40	100931	104	1	187330	344	1682644
3	30	109908	99	1	207651	272	1822193
2	20	119356	91	1	228998	191	1964466
1	10	129284	77	0	251304	100	2108649
0	0		0	0	274460	0	2253836

Çizelge 12.10 : Baca için gerekli Donatı Oranları ve Seçilen Donatılar.

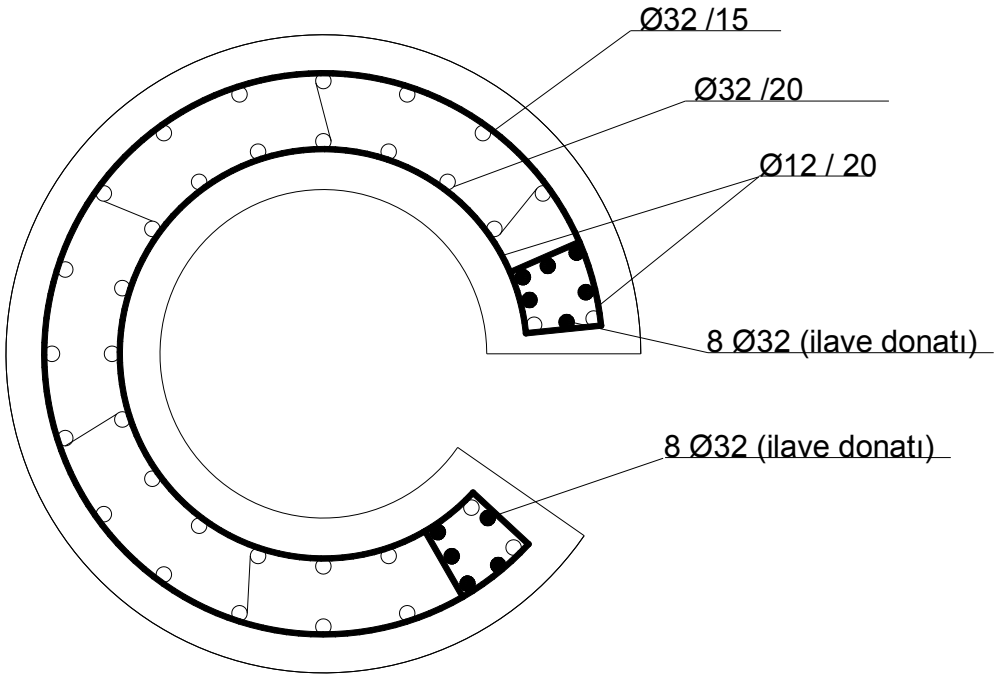
Dilim No	Yükseklik (m)	Gerekli Donatı Alanı	Seçilen Donatı Alanı	Donatı Adeti	Donatı Çapı
25	250	5,00	16,08	8	ϕ16
24	240	17,56	25,13	8	ϕ20
23	230	30,47	40,72	9	ϕ24
22	220	40,43	45,24	10	ϕ24
21	210	48,36	54,29	12	ϕ24
20	200	54,86	64,34	8	ϕ32
19	190	60,31	64,34	8	ϕ32
18	180	64,95	64,34	8	ϕ32
17	170	69,00	80,42	10	ϕ32
16	160	72,47	80,42	10	ϕ32
15	150	75,53	80,42	10	ϕ32
14	140	78,2	80,42	10	ϕ32
13	130	80,48	88,47	11	ϕ32
12	120	82,46	88,47	11	ϕ32
11	110	84,07	88,47	11	ϕ32
10	100	85,42	88,47	11	ϕ32
9	90	86,44	88,47	11	ϕ32
8	80	87,17	88,47	11	ϕ32
7	70	87,57	88,47	11	ϕ32
6	60	87,7	88,47	11	ϕ32
5	50	87,47	88,47	11	ϕ32
4	40	86,93	88,47	11	ϕ32
3	30	86,01	88,47	11	ϕ32
2	20	84,8	88,47	11	ϕ32
1	10	83,25	88,47	11	ϕ32
0	0	81,27	88,47	11	ϕ32

Seçilen donatılar 1m baca kabuğunun iç ve dış yüzeyindeki toplam donatıdır.



Şekil 12.7 : Kesit 24 için şematik gösterim.

(8 adet 16 lık donatı hem iç yüzeyde hem de dış yüzeyde 20 cm de bir konulmuştur.



Şekil 12.8 : Kesit 1 için şematik gösterim.

1m de 11 adet 32 lik donatının 6 adeti dış yüzey, 5 adeti iç yüzeye yerleştirilmiştir.

13. SONUÇ

Bu çalışmada betonarme sanayi bacalarının bilgisayar destekli tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla esas olarak "Uluslararası Endüstriyel Bacalar Komitesi -Comité International des Cheminées Industrielles" (CICIND) normu kullanılmış olmakla birlikte muhtelif yükleme durumları için "American Concrete Institute / Amerikan Beton Enstitüsü" (ACI 307), "Türk Standardı" (TS 498) ve "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" (DBYBHY 2007) ile çözümler yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

Betonarme bir sanayi bacasının üst yapısını düşey yükler (baca zati yükleri , kaplama ve diğer yükler), rüzgar yükleri ve deprem yükleri altında bilgisayar destekli tasarımı amacıyla Visual Basic dilinde bir bilgisayar programı kodlanmıştır. Bu kapsamda baca yüksekliği boyunca istenilen sayıda yatay dilimlere bölünerek en elverişsiz kesit tesirleri bulunmakta ve bu etkiler altında enkesitin boşluklu veya boşluksuz olan halleri için taşıma gücü ilkeleri ile donatı hesaplayıp enkesit çizimleri yapılmaktadır. Temel tasarımı üst yapıda elde edilen en elverişsiz durumlar dikkate alınarak yapılmakta, zemin emniyet gerilmeleri ve oturma özellikleri göz önünde bulundurularak temel sistemi elastik zemine veya kazıklara oturan plak olarak çözülmektedir. Bu özüm programda kapsanmamış olup ayrıca yapılmaktadır.

Bilgisayar destekli tasarım için Visual Basic dili tercih edilmiştir. Visual Basic dili matematiksel fonksiyonlarının eksikliğine rağmen programın pencereler vasıtasıyla çalışması avantajı kullanılmıştır. Program için bir ana pencere oluşturulmuştur. Oluşturulan ana pencereye ilave olarak, sekmelerin bulunduğu bir veri girişi penceresi ve ara sonuçların yazdırıldığı bir metin penceresi daha kullanılmıştır. Programa ayrıca yüksek çözünürlüklü çıktı alma özelliği eklenmiştir.

Oluşturulan programla 75 m. ve 250 m. yükseklikli iki ayrı baca örneği yapılmış ve bu örneklere ait karşılaştırmalı sonuçlar rüzgar yükleri için Ek.B de, deprem yükleri için Ek. C de verilmiştir.

Rüzgar yükleri için yapılan karşılaştırmada 75 m. yüksekliğindeki baca için TS 498 ve CICIND sonuçları hemen hemen üst üste düşmüş, ACI 307 sonuçları diğerlerine nazaran %20 daha az bulunmuştur. 250 m. yüksekliğindeki baca hesabında ise CICIND diğer iki standarttan daha büyük yükler vermiştir. Bu örnekte CICIND

değerleri TS 498'den %8, ACI 307'den %10 daha büyük bulunmuştur. Rüzgar yükleri için aynı bağıntıları veren standartlar rüzgar hızları ve çarpanlarının farkları nedeniyle değişik sonuçlar vermektedir. TS 498 kendi şartnamesi olan yüksek bacalar için geçerli olmamasına rağmen bu çalışma ışığında yine de bacalar için kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Deprem yükleri için CICIND ve DBYBHY 2007 karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmada CICIND'in eşdeğer deprem yükü için verdiği tüm çarpanların DBYBHY 2007 ye göre daha büyük olduğu görülmüştür. Yapılan her iki örnek çözümde de, gerek CICIND gerekse DBYBHY 2007 ye göre hesaplanan deprem yükleri, rüzgar yüklerine göre daha büyük kesit zorları vermiştir. CICIND ve DBYBHY 2007 arasındaki kayda değer fark ise bu yüzden daha çok önem kazanmaktadır.

Endüstri bacalarının hesap kurallarının incelendiği bu çalışmanın ekinde verilen bilgisayar programı ile birlikte faydalanılabilecek bir kaynak olması dileğiyle.

KAYNAKLAR

ACI-307, 1998. Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys, *American Concrete Institute,* Miami, ABD

ACI-307R, 1998. Commentary on Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys, *American Concrete Institute, ,* Miami, ABD

Aydoğan, M., ve Hasgür, Z., 1998. *Betonarme Bacalar* , İTÜ İnşaat Fakültesi*,* İstanbul

CICIND, 2001(a). Model Code for Concrete Chimneys, *Comité International des Cheminées Industrielles,* Hertz, UK

CICIND, 2001(b). Commentaries for the Model Code for Concrete Chimneys, Part A: The Shell Second Edition, Revision 1, *Comité International des Cheminées Industrielles*., Hertz, UK

DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

Gürgen, V. 1997. Yüksek Sanayi Bacalarının Statik Dinamik ve Betonarme Hesabının Bilgisayar Destekli Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Karagülle, İ. ve Pala, Z., 1997. *Visual Basic Pro 5.0*, Türkmen Kitabevi*,* İstanbul

Özden, K. ve Kumbasar, N., 1988. *Betonarme Yüksek Yapılar*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

TS-498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara

Url-1 < *http://en.wikipedia.org/* >, alındığı tarih 24.11.2009.

EKLER

Sayfa

Ek.A : CICIND, ACI ve TS 498 e göre rüzgar yüklerinin karşılaştırılması.....95
Ek.B : CICIND ve DBYBHY 2007 ye göre deprem kuvvetlerinin karşılaştırması.105
Ek.C : Visual Basic için matematiksel Fonksiyonlar.....113
Ek.D : Örnekler için bilgisayar programı çıktıları.....115
Ek.E : Bilgisayar Programı kodları (CD)

EK A. : CICIND, ACI-307 VE TS-498'E GÖRE RÜZGAR YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde farklı standartların rüzgar yükleri karşılaştırılmıştır.

a) CICIND'e göre rüzgar yükü daha önce verilen denklem (5.13) e göre :

$$w_m(z) = 0{,}5\rho_a v(z)^2 C_D d(z) \qquad \textbf{(A.1)}$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada

ρ_a hava yoğunluğu (deniz seviyesinde 1,25 kg/m^3 denklem (5.14))

C_D denklem (5.16) tanımlanan şekil faktörü. (0,6-0,7) arasında değer alır.

$v(z)$ z yüksekliğindeki rüzgar hızı

$d(z)$ z yüksekliğindeki baca çapıdır.

b) ACI'e göre rüzgar yükü aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$\overline{w}(z) = C_{dr}(z) d(z) \overline{p}(z) \qquad \textbf{(A.2)}$$

Burada

$C_{dr}(z)$ şekil faktörü. $z < h - 1{,}5d(h)$ için 0,65, $z \geq h - 1{,}5d(h)$ için 1,0

$d(z)$ z yüksekliğindeki baca çapı

$\overline{p}(z)$ hava basıncı $p(z) = 0{,}67\left[\left(\overline{V}(z)\right)\right]^2$

$\overline{V}(z)$ z yüksekliğindeki rüzgar hızıdır.

TS 498'e göre rüzgar kuvveti aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$W = C_f q d(z) \qquad \textbf{(A.3)}$$

Burada

C_f Aerodinamik yük katsayısı

q rüzgar basıncı (farklı yükseklikler için tablo olarak verilmiştir.)

$d(z)$ z yükseklikte yapı çapıdır.

Yukarı her üç standardın ana formülü incelendiğinde bağıntıların:

KUVVET = ŞEKİL FAKTÖRÜ x RÜZGAR BASINCI x YÜZEY ALANI

şeklinde olduğunu görülmektedir (Rüzgar basıncı = hava yoğunluğu x rüzgar hızı karesi olduğu unutulmamalıdır).Rüzgar basıncının çarpanlarından biri olan hava yoğunluğu ve baca çapı tüm bağıntılar için aynıdır.

Şekil faktörünü, CICIND 0,6-0,7 aralığında, ACI baca tepesi için 1,0, diğer yükseklikler için 0,65 olarak vermektedir.TS 498 genel bir yük şartnamesi olduğu için bu faktörü vermemekte, rüzgar tüneli deneylerinden elde edilmesini belirtmektedir.

Rüzgar yükünün son bileşeni olan rüzgar hızları standartlarda ayrı olarak verilmiştir. Rüzgar hızları standartlara göre aşağıdaki gibidir:

CICIND $V(z) = V_b k(z) k_t k_i$

ACI $\overline{V}(z) = 0{,}2784 V_R \left(\frac{z}{10}\right)^{0{,}154} (0{,}65)$ **(A.4)**

TS 498 Hazır rakamlar çizelgelerde verilmiştir.

Burada k(z), k_t ,k_i sırasıyla rüzgara maruz kalma katsayısı, topografik çarpanı ve engel katsayılarıdır. Bu katsayılar 1 ~1,2 mertebesindedir.

V_R (km/h) ve V_b (m/sn) 10 m yükseklikte ölçülen ana rüzgar hızlarıdır. ACI rüzgar hızı bağıntısında 0,2784 çarpanı km/h hızını m/sn ye dönüştürmek için gereken çarpandır. Aşağıda 12. Bölümde örnek olarak çözülen 75 m yüksekliğindeki bacaya ait rüzgar hızları gösterilmiştir:

Çizelge A.1 : 75 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen rüzgar hızları (m/sn).

Yükseklik (m)	TS 498 Rüzgar Hızı (m/sn)	CICIND Rüzgar Hızı (m/sn)	ACI 307 Rüzgar hızı (m/sn)
75.0	42	39,78	26,65
67.5	42	39,19	26,23
60.0	42	38,55	25,75
52.5	42	37,84	25,23
45.0	42	37,03	24,64
37.5	42	36,10	23,96
30.0	42	34,99	23,15
22.5	42	33,61	22,14
15.0	36	31,75	20,80
7.5	28	28,82	18,70

CICIND ve ACI rüzgar yükleri için ayrıca fırtınadan dolayı oluşan rüzgar yüklerini de katmaktadır. Aşağıda Çizelge A.2 de yukarıda bulunan rüzgar hızlarına göre hesaplanan normal ve fırtına rüzgar yükleri verilmiştir.

Çizelge A.2 : 75 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen kuvvetler (kN).

Yükseklik	TS 498	CICIND kuvvet			ACI 307 kuvvet		
			Fırtına			Fırtına	
m	Kuvvet	Normal	farkı	Toplam	Normal	farkı	Toplam
75,0	22,39	20,60	6,08	26,68	14,90	14,71	29,61
67.5	24,27	21,68	5,47	27,15	10,17	13,16	23,32
60,0	26,14	22,60	4,86	27,46	10,56	11,61	22,17
52.5	28,02	23,33	4,26	27,59	10,86	10,06	20,93
45,0	29,90	23,85	3,65	27,49	11,05	8,51	19,57
37.5	31,77	24,08	3,04	27,12	11,11	6,97	18,07
30,0	33,65	23,96	2,43	26,39	10,98	5,42	16,40
22.5	35,53	23,34	1,82	25,16	10,61	3,87	14,48
15,0	27,20	21,93	1,22	23,15	9,86	2,32	12,18
7.5	17,85	18,97	0,61	19,58	8,36	0,77	9,14

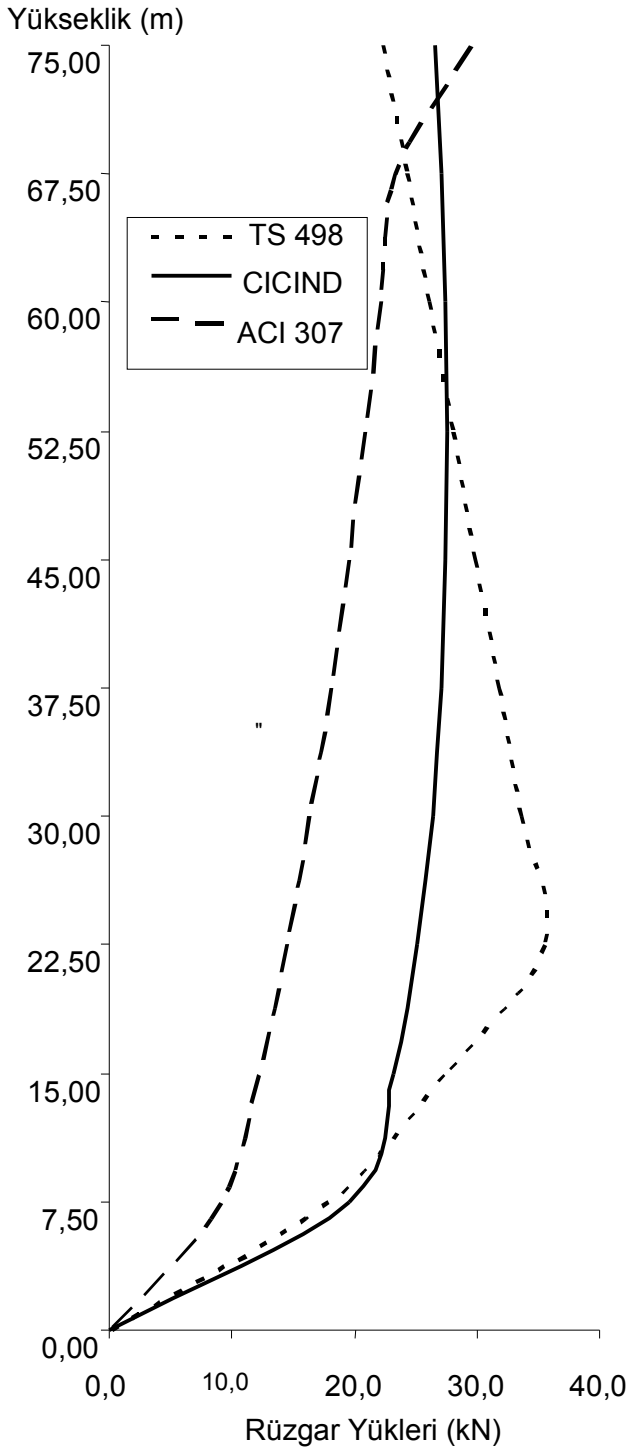
Çizelge A.2 den de görüleceği üzere ACI rüzgar yükünü azaltmakla birlikte fırtına faktörünü yüksek tutmaktadır. Ayrıca normal kuvvet hesabında baca tepesinde şekil faktörünü 1,0 alarak baca tepesine etkiyen rüzgar kuvvetini de artırmaktadır.

Aşağıda Çizelge A.3 te rüzgar yüklerinin baca dilimlerinde meydana getirdiği rüzgar momentleri yer almaktadır:

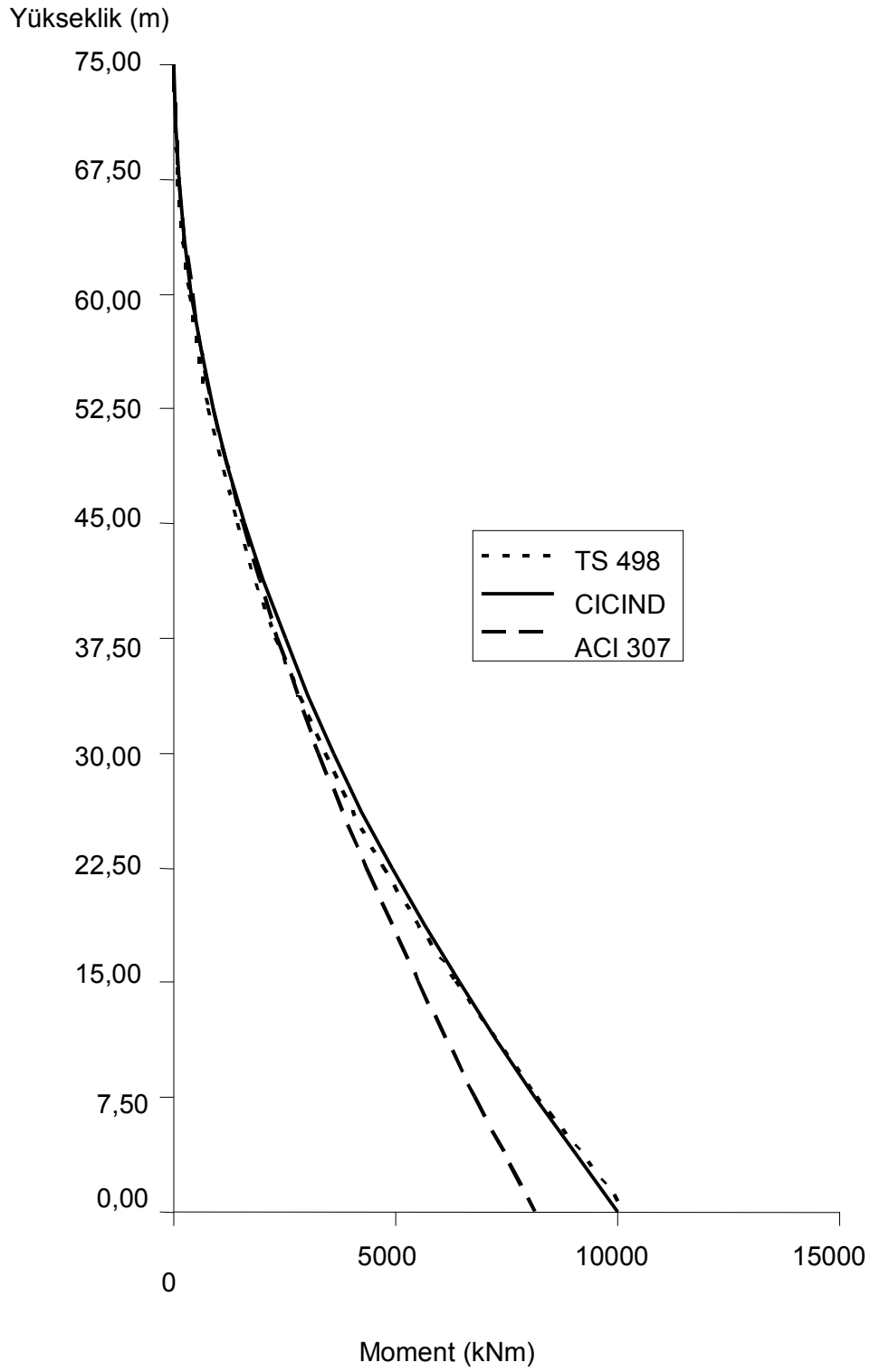
Çizelge A.3 : 75 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen momentler (kNm).

Yükseklik	TS 498	CICIND moment			ACI 307 moment		
			Fırtına			Fırtına	
m	moment	Normal	farkı	Toplam	Normal	farkı	Toplam
75,0	83	78	46	124	55	54	109
67.5	341	315	91	406	205	213	417
60,0	787	718	178	896	432	464	896
52.5	1437	1293	301	1594	739	797	1536
45,0	2304	2045	456	2501	1129	1200	2329
37.5	3403	2977	638	3615	1602	1660	3262
30,0	4746	4089	843	4932	2157	2167	4325
22.5	6349	5378	1067	6444	2794	2709	5503
15,0	8188	6836	1304	8140	3508	3274	6782
7.5	10196	8448	1550	9998	4290	3851	8140

Hesaplanan momentlere göre TS 498 ve CICIND momentleri yaklaşık aynı değerde olmasına rağmen ACI 307 nin rüzgar momentinin yaklaşık %20 daha az olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil A.1 : 75 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen rüzgar yükleri.



Şekil A.2 : 75 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen momentler.

İkinci örnek olarak çözülen 250 m yüksekliğindeki baca için bulunan rüzgar hızları ve yükleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir:

Çizelge A.4 : 250 m yüksekliğindeki bacaya etkiyen rüzgar hızları (m/sn).

Yükseklik (m)	TS 498 Rüzgar Hızı (m/sn)	CICIND Rüzgar Hızı (m/sn)	ACI 307 Rüzgar hızı (m/sn)
250	46,00	47,08	32,08
240	46,00	46,81	31,88
230	46,00	46,53	31,67
220	46,00	46,24	31,46
210	46,00	45,94	31,23
200	46,00	45,63	31,00
190	46,00	45,31	30,76
180	46,00	44,96	30,50
170	46,00	44,61	30,23
160	46,00	44,23	29,95
150	46,00	43,83	29,66
140	46,00	43,41	29,34
130	46,00	42,96	29,01
120	46,00	42,48	28,66
110	46,00	41,97	28,27
100	42,00	41,41	27,86
90	42,00	40,81	27,41
80	42,00	40,14	26,92
70	42,00	39,39	26,37
60	42,00	38,55	25,75
50	42,00	37,58	25,04
40	42,00	36,43	24,19
30	42,00	34,99	23,15
20	36,00	33,06	21,75
10	36,00	30,00	19,54

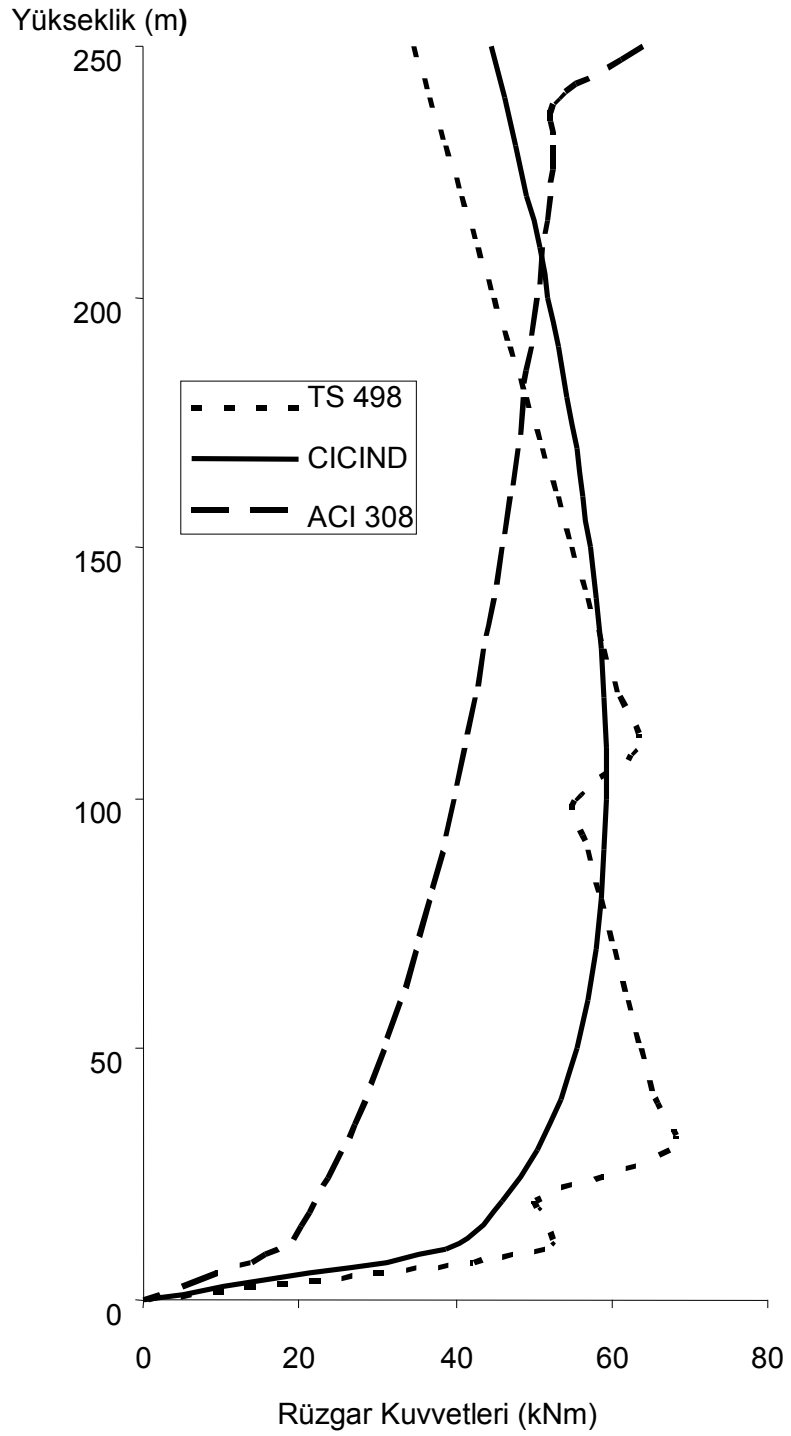
Çizelge A.5 :250 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen kuvvetler (kN).

Yükseklik	TS 498	CICIND kuvvet			ACI 307 kuvvet		
m	Kuvvet	Normal	Fırtına farkı	Toplam	Normal	Fırtına farkı	Toplam
250	34,81	39,55	5,01	44,57	28,42	35,50	63,92
240	36,84	41,38	4,81	46,19	19,30	34,06	53,36
230	38,87	43,14	4,61	47,75	20,10	32,61	52,70
220	40,90	44,83	4,41	49,24	20,86	31,16	52,02
210	42,93	46,45	4,21	50,66	21,58	29,71	51,29
200	44,95	47,98	4,01	51,99	22,27	28,26	50,52
190	46,98	49,43	3,81	53,24	22,91	26,81	49,71
180	49,01	50,79	3,61	54,40	23,50	25,36	48,86
170	51,04	52,05	3,41	55,46	24,04	23,91	47,96
160	53,07	53,21	3,21	56,42	24,54	22,46	47,00
150	55,09	54,25	3,01	57,26	24,97	21,01	45,99
140	57,12	55,17	2,81	57,98	25,35	19,56	44,91
130	59,15	55,96	2,61	58,56	25,66	18,11	43,77
120	61,18	56,59	2,41	59,00	25,89	16,67	42,56
110	63,21	57,06	2,21	59,27	26,04	15,22	41,26
100	55,20	57,34	2,01	59,35	26,10	13,77	39,87
90	56,91	57,41	1,80	59,21	26,05	12,32	38,37
80	58,63	57,22	1,60	58,82	25,88	10,87	36,75
70	60,35	56,73	1,40	58,14	25,56	9,42	34,98
60	62,06	55,88	1,20	57,08	25,07	7,97	33,04
50	63,78	54,57	1,00	55,57	24,36	6,52	30,88
40	65,49	52,64	0,80	53,44	23,35	5,07	28,42
30	67,21	49,84	0,60	50,44	21,93	3,62	25,56
20	50,13	45,63	0,40	46,03	19,85	2,17	22,03
10	51,38	38,51	0,20	38,71	16,43	0,72	17,16

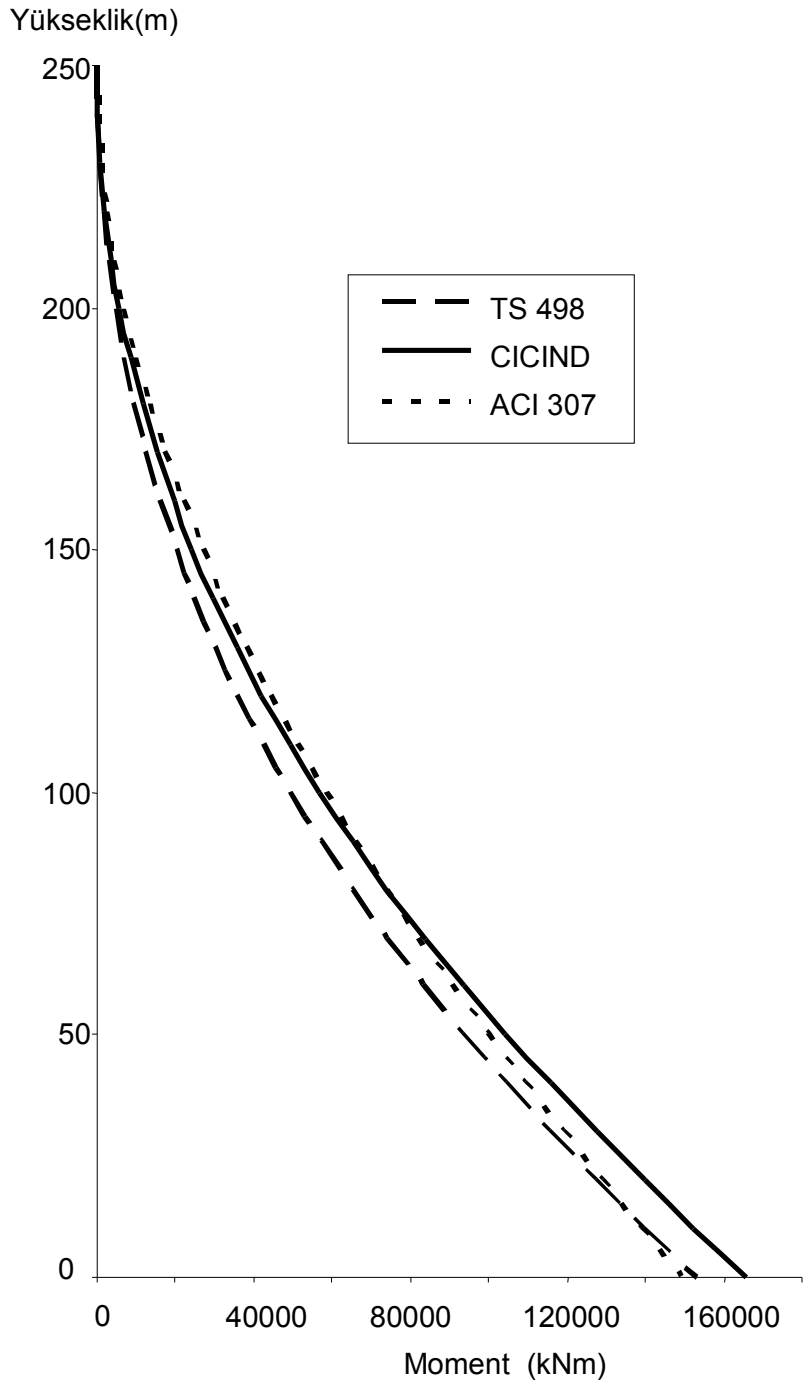
250 m yükseklikteki baca için bulunan rüzgara ait değerler karşılaştırdığında ilk fark edilen bacanın en alt dilimine etkiyen moment değerleridir. Burada ACI 307 nin momenti CICIND momentinin % 90'ına denk gelmektedir. Yani baca yüksekliği artıkça ACI 307 nin değerlerinin de diğer standartlara oranla daha fazla arttığı gözlenmektedir. Burada tespit edilen bir diğer nokta da yüksek bacalar için rüzgar yükleri geçerli olmaya TS 498 in 250 m yükseklikteki baca için baca standartları ile neredeyse aynı değerleri vermesidir.

Çizelge A.6 : 250 m yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen momentler (kNm).

Yükseklik	TS 498	CICIND moment			ACI 307 moment		
m	moment	Normal	Fırtına farkı	Toplam	Normal	Fırtına farkı	Toplam
250	172	200	50	250	141	176	317
240	703	804	100	904	520	700	1221
230	1612	1831	199	2029	1097	1558	2655
220	2920	3298	343	3641	1879	2734	4613
210	4648	5221	531	5752	2873	4215	7087
200	6814	7616	762	8378	4086	5985	10071
190	9440	10498	1033	11531	5525	8031	13555
180	12547	13882	1342	15223	7196	10337	17533
170	16153	17779	1686	19465	9104	12890	21995
160	20280	22203	2065	24268	11256	15675	26931
150	24948	27164	2477	29640	13655	18677	32332
140	30177	32672	2918	35589	16306	21882	38188
130	35987	38735	3387	42122	19212	25276	44488
120	42399	45362	3882	49244	22376	28843	51218
110	49433	52556	4402	56958	25799	32570	58369
100	57059	60323	4943	65266	29483	36441	65924
90	65245	68663	5505	74168	33428	40443	73871
80	74010	77577	6084	83661	37632	44561	82194
70	83369	87060	6680	93739	42094	48781	90875
60	93340	97106	7289	104395	46809	53087	99896
50	103940	107704	7911	115615	51771	57466	109237
40	115187	118838	8543	127381	56971	61903	118874
30	127098	130485	9182	139667	62399	66383	128782
20	139595	142609	9828	152436	68035	70893	138927
10	152600	155153	10478	165631	73852	75416	149269



Şekil A.3 : 250 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen rüzgar yükleri.



Şekil A.4 : 250 m lik bacaya CICIND, TS 498 ve ACI 307 ye göre etkiyen momentler.

EK B. : DEPREM YÜKLERİNİN CICIND VE DBYBHY 2007 YE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI

Eşdeğer deprem yükü hesabı için CICIND aşağıdaki bağıntıyı vermiştir

$$V_t = \frac{Wa_s(T)IF}{R} \qquad \textbf{(B.1)}$$

DBYBHY 2007 de ise bu bağıntı

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \qquad \textbf{(B.2)}$$

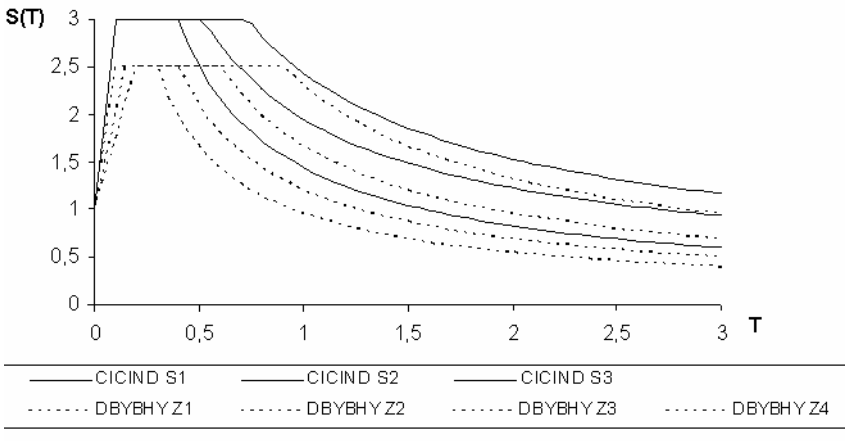
olarak verilmiştir. Her iki bağıntı da aynı yapıdadır. Fakat bu bağıntılarda kullanılan çarpanlar kendi tablolarından alınacakları için farklı sonuçlar vermektedirler.

Davranış katsayısı ele alındığında;

CICIND bacalar için davranış katsayısını 1 veya 2 olarak verirken, DBYBHY 2007 "kütlesi yüksekliği boyunca yayılı, yerinde dökülmüş betonarme silo, endüstri bacaları ve benzeri taşıyıcı sistemler için davranış katsayısını 3 olarak vermektedir.

Baca Önem katsayısı incelendiğinde;

CICIND baca önem katsayısını 1,0, 1,2 ve 1,4 olarak tanımlarken, DBYBHY 2007 binanın kullanım amacı ve türüne göre baca önem katsayısını 1,0, 1,2, 1,4 ve 1,5 olarak vermektedir.



Şekil B.1 : Zemin sınıflarına göre spektrum karakteristik periyotları.

Spektrum Karakteristik periyotları incelendiğinde Şekil C.1 de de görülebileceği gibi CICIND in verdiği spektrum değerleri maksimum 3 iken DBYBHY 2007 nin değerleri maksimum 2,5 tir.

Etkin yer ivmesi CICIND'de değiştirilmiş Mercalli Ölçeğine göre verilirken, DBYBHY 2007 Türkiye haritası üzerinde tanımlanmış deprem bölgelerine göre etkin yer ivmelerini vermektedir.

CICIND	
Değiştirilmiş Mercalli Ölçeği	Etkin Yer İvmesi
X	0,70
IX	0,50
VIII	0,30
VII	0,15
VI	0,07

DBYBHY 2007	
Deprem Bölgesi	Etkin Yer İvmesi
1	0,4
2	0,30
3	0,20
4	0,10

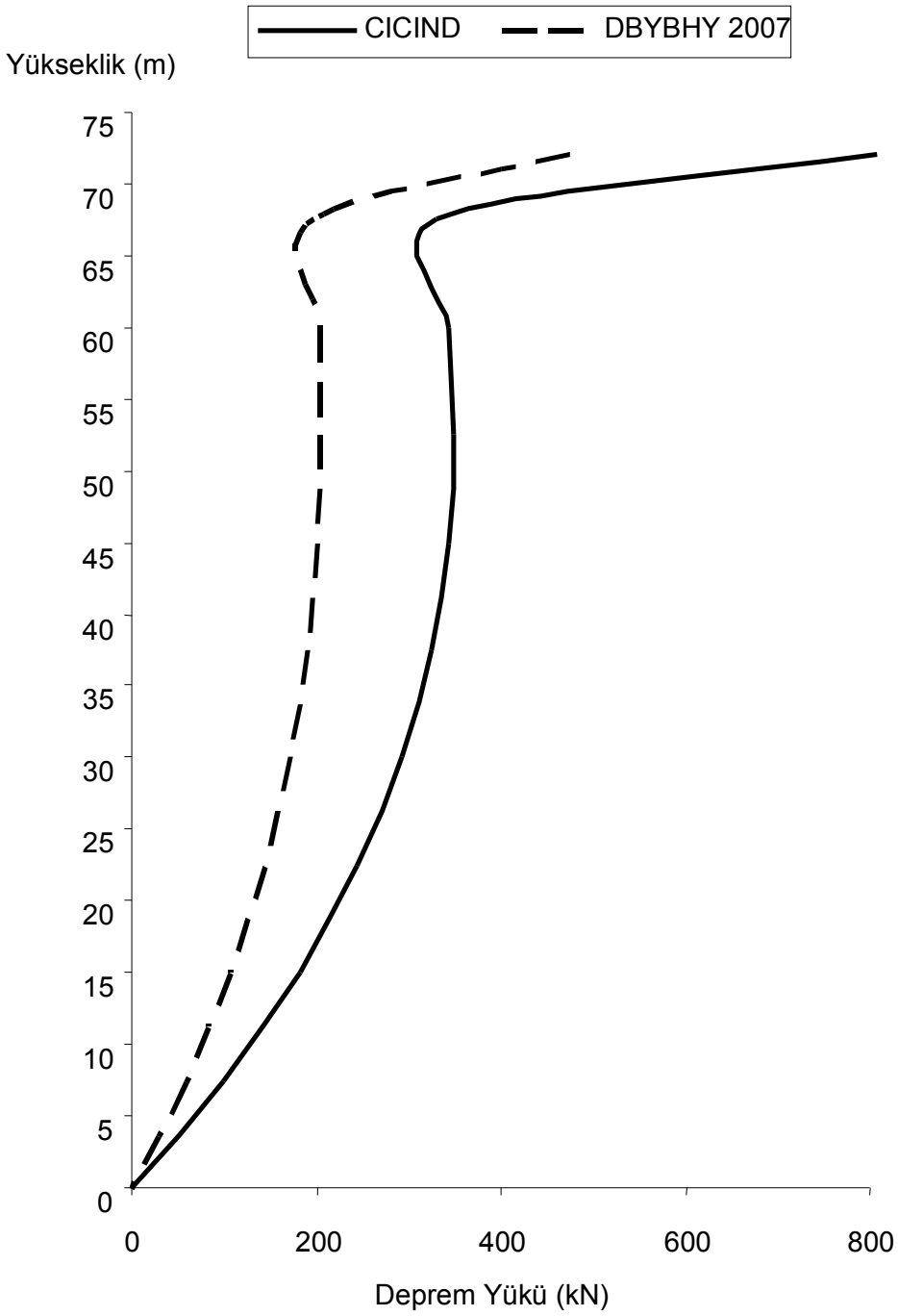
Çizelge B.1 : CICIND ve DBYBHY 2007 ye göre etkin yer ivmesi.

Yukarıda da görüldüğü gibi CICIND deprem hesabında kullanılacak eşdeğer deprem yükü için tüm katsayıları büyük tutmaktadır.

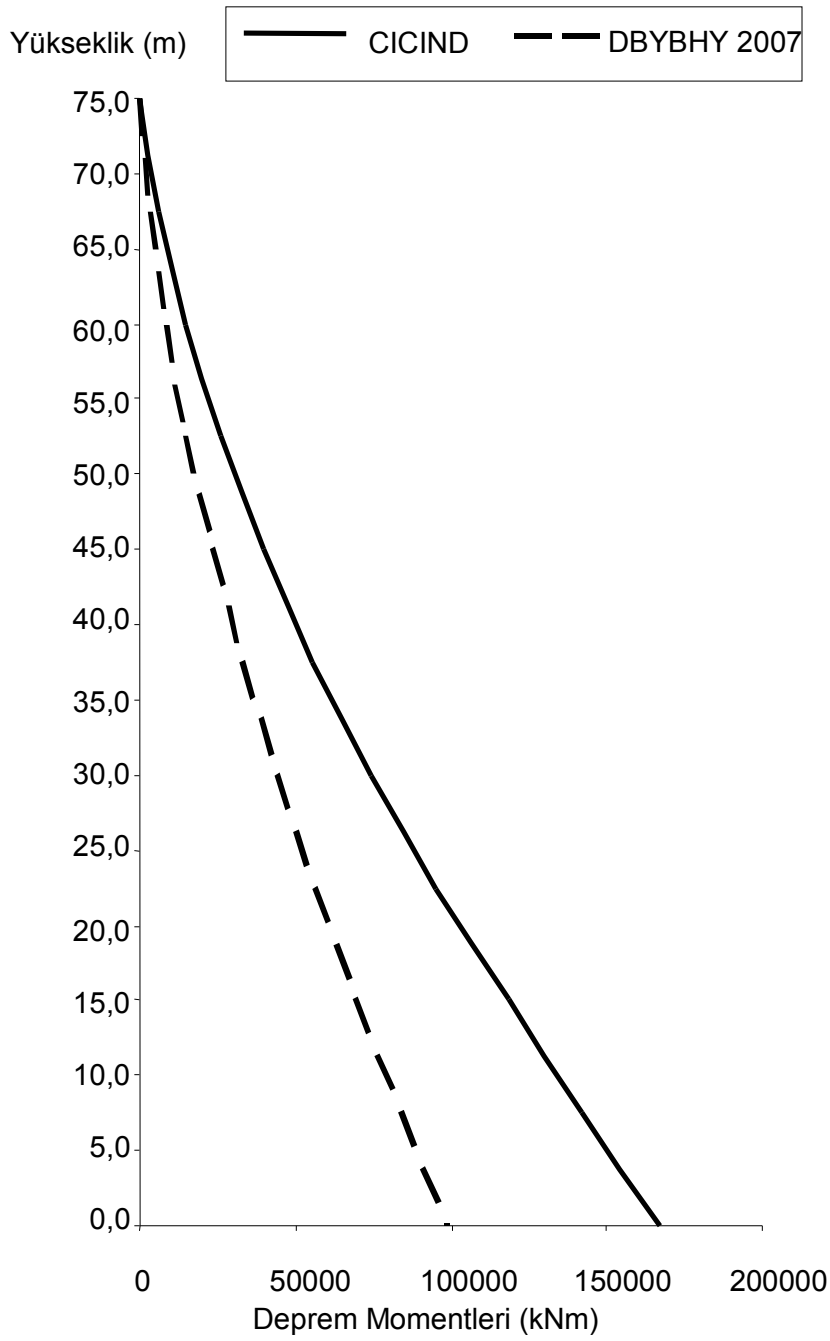
Örnek olarak çözülen 75 m. lik bacada bulunan deprem kuvvetleri aşağıda verilmiştir.

Yükseklik	Deprem Yükü (kN)	
(m)	CICIND	DBYBHY 2007
75,0	808	475
67,5	331	195
60,0	345	203
52,5	349	205
45,0	343	202
37,5	324	191
30,0	292	172
22,5	245	144
15,0	182	107
7,5	101	59

Çizelge B.2 : 75 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri .



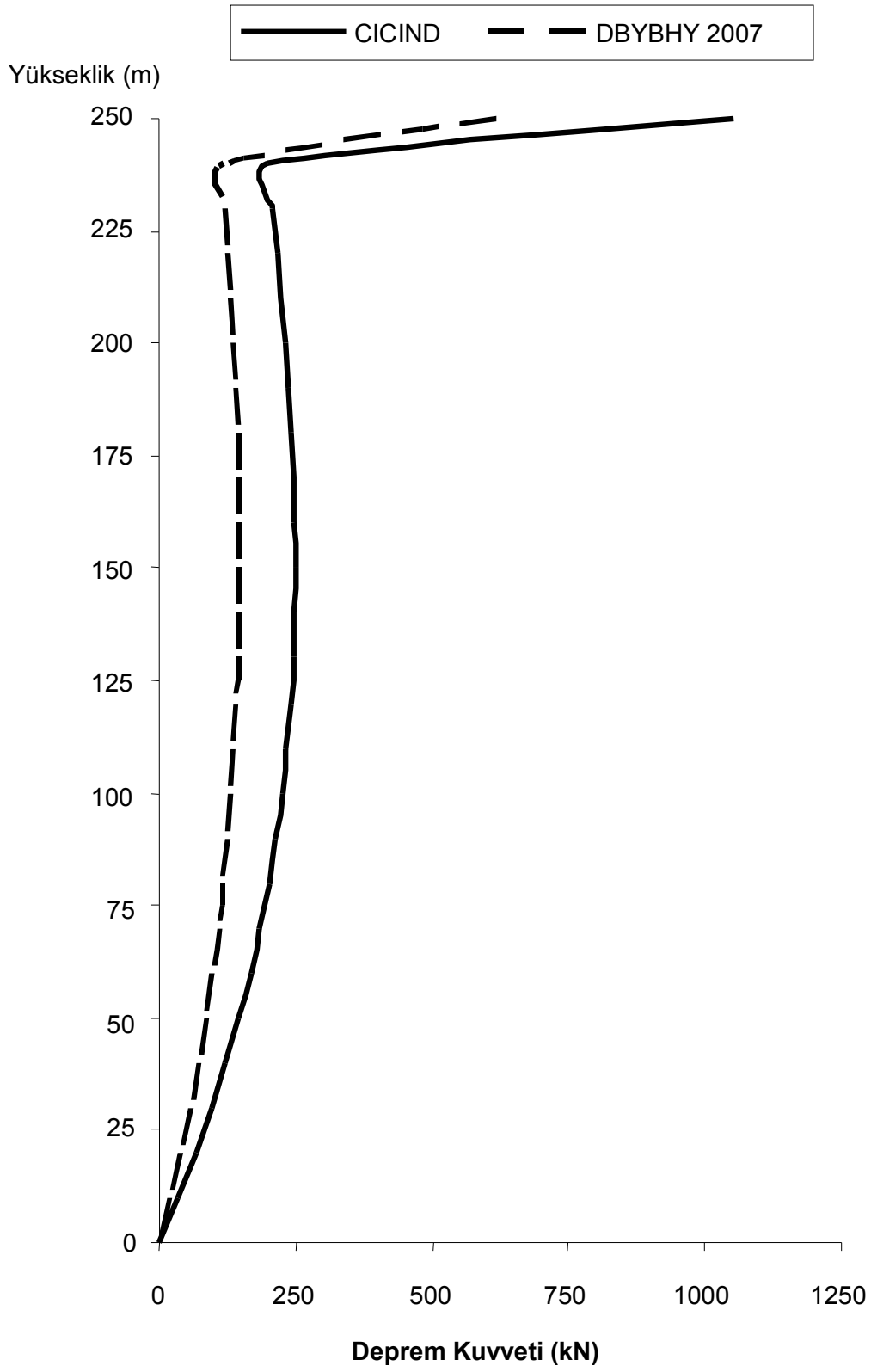
Şekil B.2 : 75 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri.



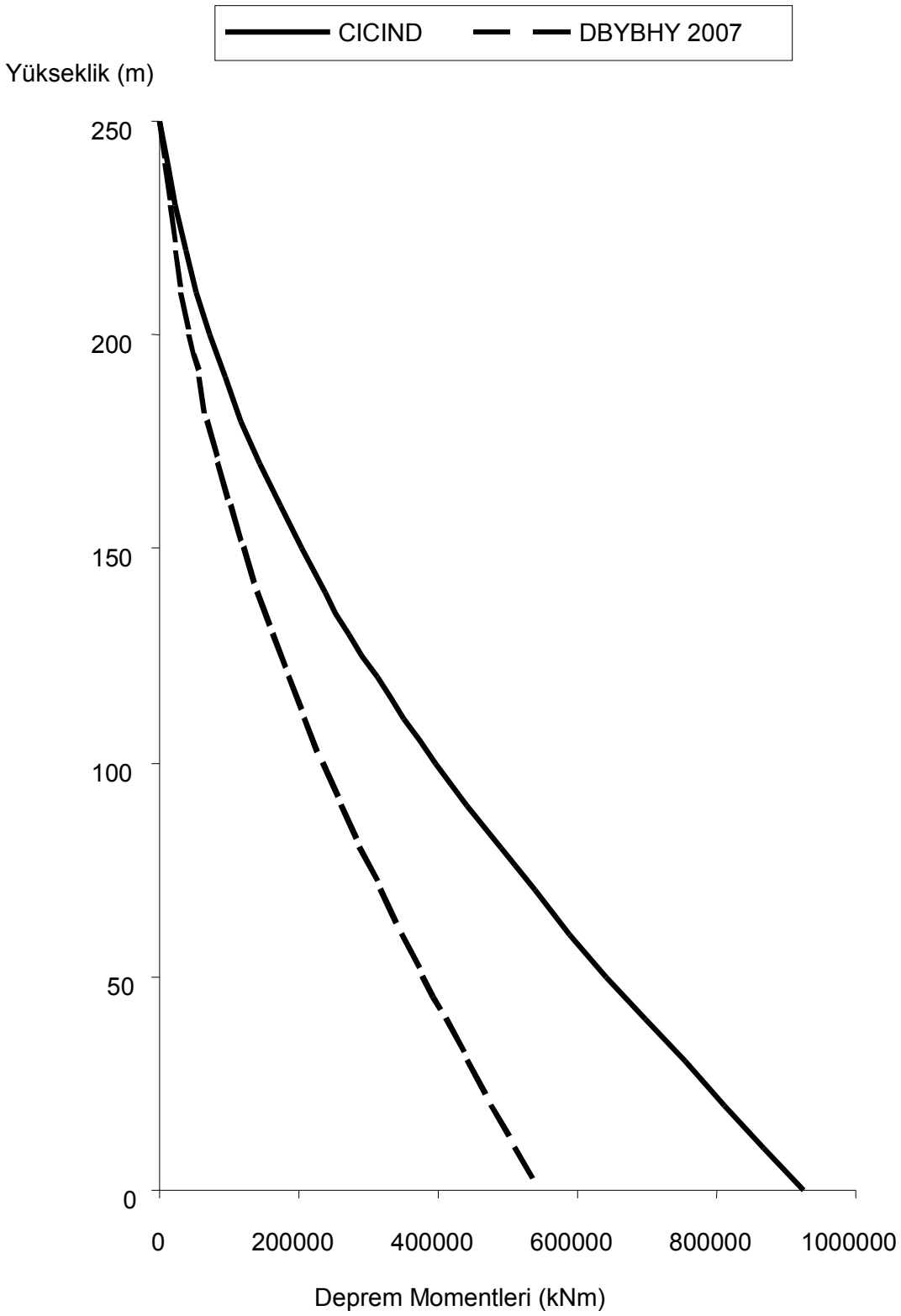
Şekil B.3 : 75 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri.

Çizelge B.3 : 250 m. yüksekliğindeki baca dilimlerine etkiyen deprem kuvvetleri.

Yükseklik	Deprem Yükü (kN)		Deprem Momenti	
(m)	CICIND	DBYBHY 2007	CICIND	DBYBHY 2007
250	1052	619	0	0
240	197	116	10523	6192
230	207	122	23012	13542
220	216	127	37569	22108
210	224	132	54285	31944
200	232	136	73244	43101
190	238	140	94519	55620
180	243	143	118170	69538
170	246	145	144248	84884
160	248	146	172788	101678
150	249	146	203810	119933
140	248	146	237321	139653
130	245	144	273309	160831
120	240	141	311746	183449
110	233	137	352585	207481
100	225	132	395758	232887
90	214	126	441179	259615
80	201	118	488737	287601
70	185	109	538300	316767
60	167	98	589713	347021
50	146	86	642793	378257
40	123	72	697335	410352
30	96	57	753104	443170
20	67	40	809837	476555
10	35	21	867244	510337
0	0	0	925004	544326



Şekil B.4 : 250 m. lik bacaya etkiyen deprem yükleri.



Şekil B.5 : 250 m. lik bacaya etkiyen deprem momentleri.

EK C. : VISUAL BASIC İÇİN MATEMATİKSEL FONKSİYONLAR

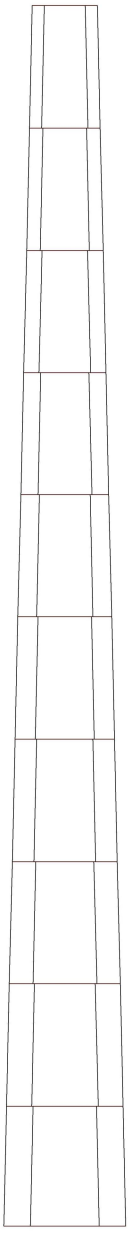
Visual Basic programlama dili mühendislik çözümleri için bazı matematiksel fonksiyonları içermez. Bu çalışmada kullanılan matematiksel fonksiyonlar verilmiştir. Buradaki kodları programımızda ayrı bir modül içerisinde koyabiliriz.

```
' pi sayısını tanımlıyoruz.
Global Const pi = 3.141592654


Function Log10(sayı As Double) As Double
 ' 10 tabanına göre logaritmayı hesaplar
 Log10 = Log(sayı) / Log(10)
End Function


Function Arccos(X As Double) As Double
 ' arccos fonksiyonu
 If X > 1 Or X < -1 Then
  ' arccos değeri alınacak sayı 1 den büyük, -1 den küçükse
  ' Hata mesajı gönder.
  MsgBox "Hata ArcCos fonksiyonuna " & X & " değeri yollandı"
  ' End komutu ile tüm programı sonlandırır.
  End
 Else
  Arccos = Atn(-X / Sqr(-X * X + 1)) + 2 * Atn(1)
 End If
End Function
```

EK D. : ÖRNEK BACA ÇÖZÜMLERİNDE BİLGİSAYAR PROGRAMI ÇIKTILARI



Baca Giriş Bilgileri

Genel Bilgiler

Baca Yüksekliği	:	75 m
Baca Alt Çapı	:	7,5 m
Baca Üst Çapı	:	4 m
Baca Alt Kalınlığı	:	50 cm
Baca Üst Kalınlığı	:	20

Malzeme Bilgisi

Beton Sınıfı	:	BS25 25MPa
Çelik Sınıfı	:	BÇIII 420MPa

Rüzgar Hesabında Kullanılan Bilgiler

Rüzgar Hızı	:	30 m/sn (10 m yükseklikte ölçülen
Baca Rakımı	:	100 m

Deprem Hesabında Kullanılan Bilgiler

Beprem Bölgesi	:	1. derece
Zemin Sınıfı	:	Z1
Süneklilik Düzeyi	:	Yüksek

Şekil D.1 : Örnek 1 için giriş bilgileri.

Çizelge D.1 : Örnek 1 için rüzgar kuvvetleri.

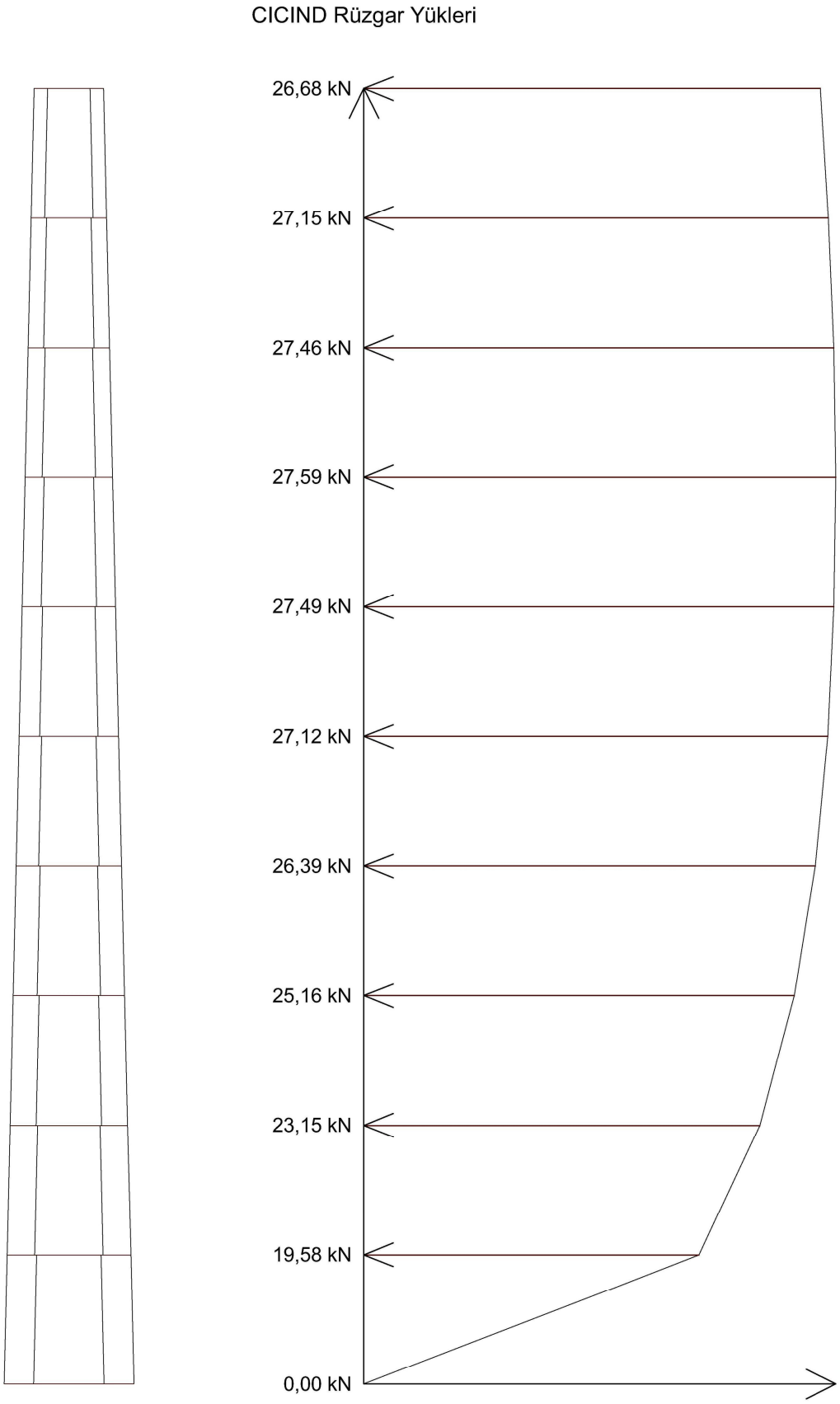
Rüzgar Yükleri

Dilim No	Yükseklik m.	TS498 kN	CICIND kN	ACI 307 kN
10	75,00	22,39	26,68	29,61
9	67,50	24,27	27,15	23,32
8	60,00	26,14	27,46	22,17
7	52,50	28,02	27,59	20,93
6	45,00	29,90	27,49	19,57
5	37,50	31,77	27,12	18,07
4	30,00	33,65	26,39	16,40
3	22,50	35,53	25,16	14,48
2	15,00	27,20	23,15	12,18
1	7,50	17,85	19,58	9,14
0	0,00	0,00	0,00	0,00

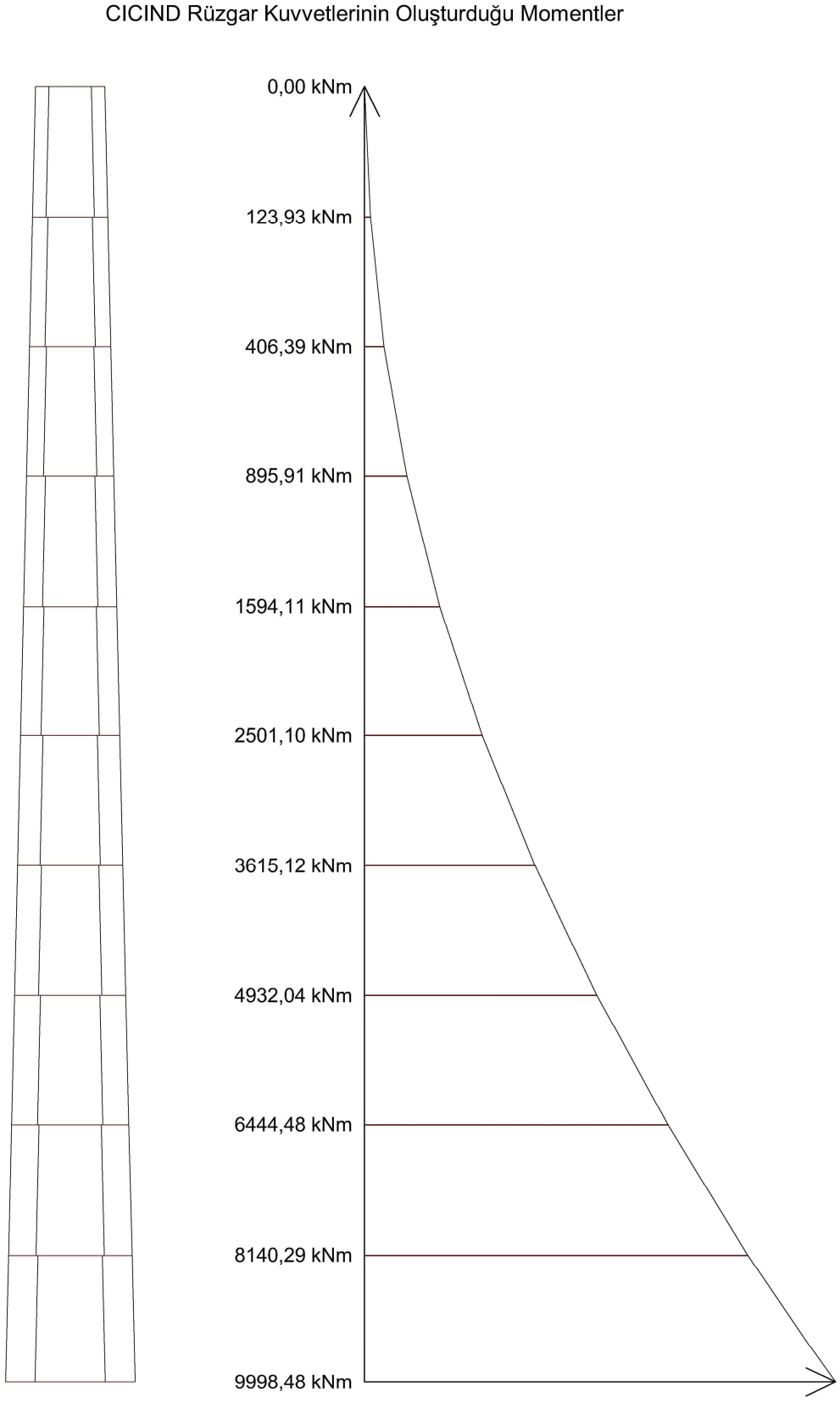
Çizelge D.2 : Örnek 1 için rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.

Rüzgar Kuvvetlerinin Oluşturduğu Momentler

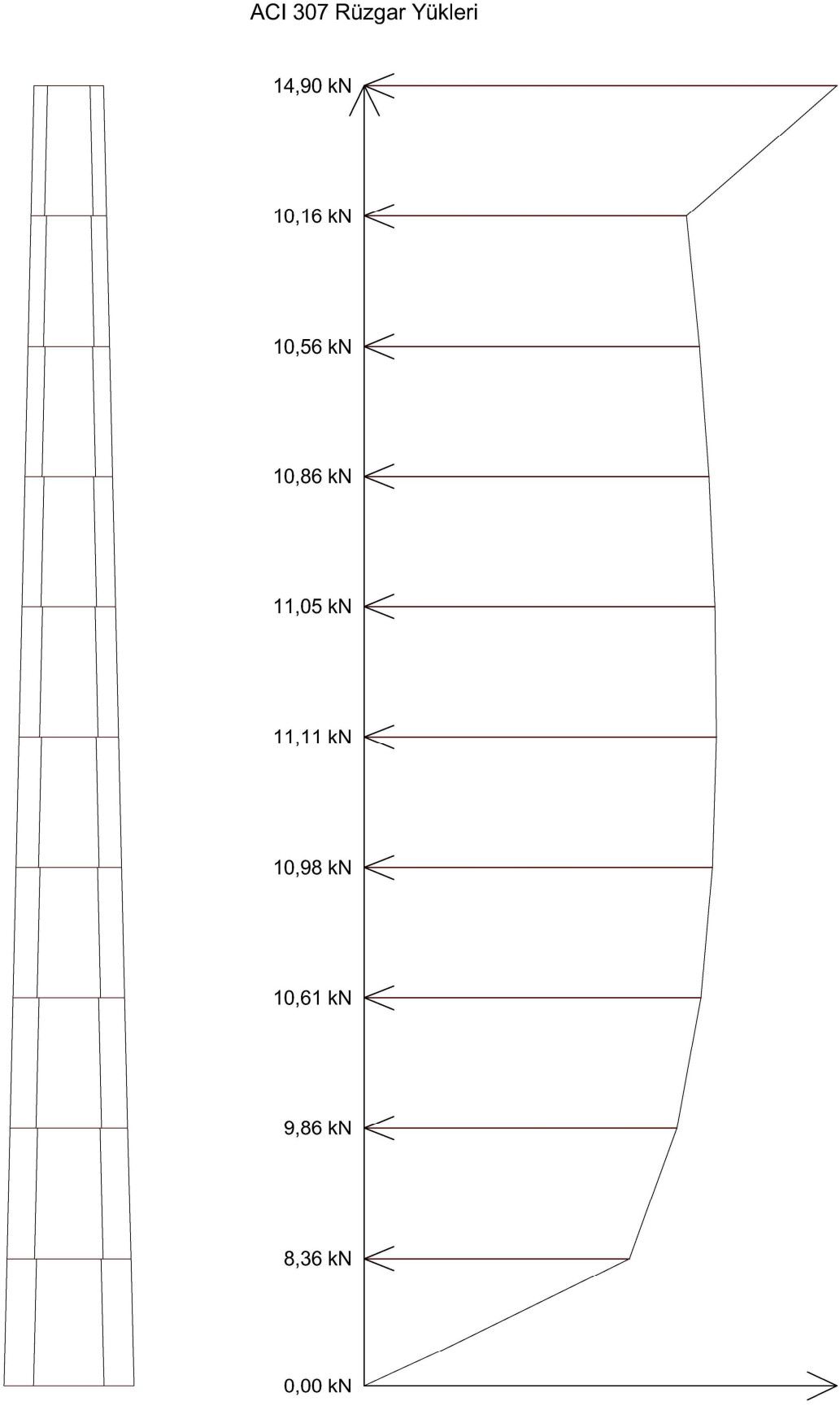
Dilim No	Yükseklik m.	TS498 kNm	CICIND kNm	ACI 307 kNm
10	75,00	0,00	0,00	0,00
9	67,50	82,78	123,93	109,30
8	60,00	340,52	406,39	417,39
7	52,50	787,28	895,91	896,11
6	45,00	1437,15	1594,11	1536,47
5	37,50	2304,20	2501,10	2328,70
4	30,00	3402,51	3615,12	3262,10
3	22,50	4746,15	4932,04	4324,80
2	15,00	6349,20	6444,48	5503,33
1	7,50	8187,81	8140,29	6781,89
0	0,00	10195,70	9998,48	8140,45



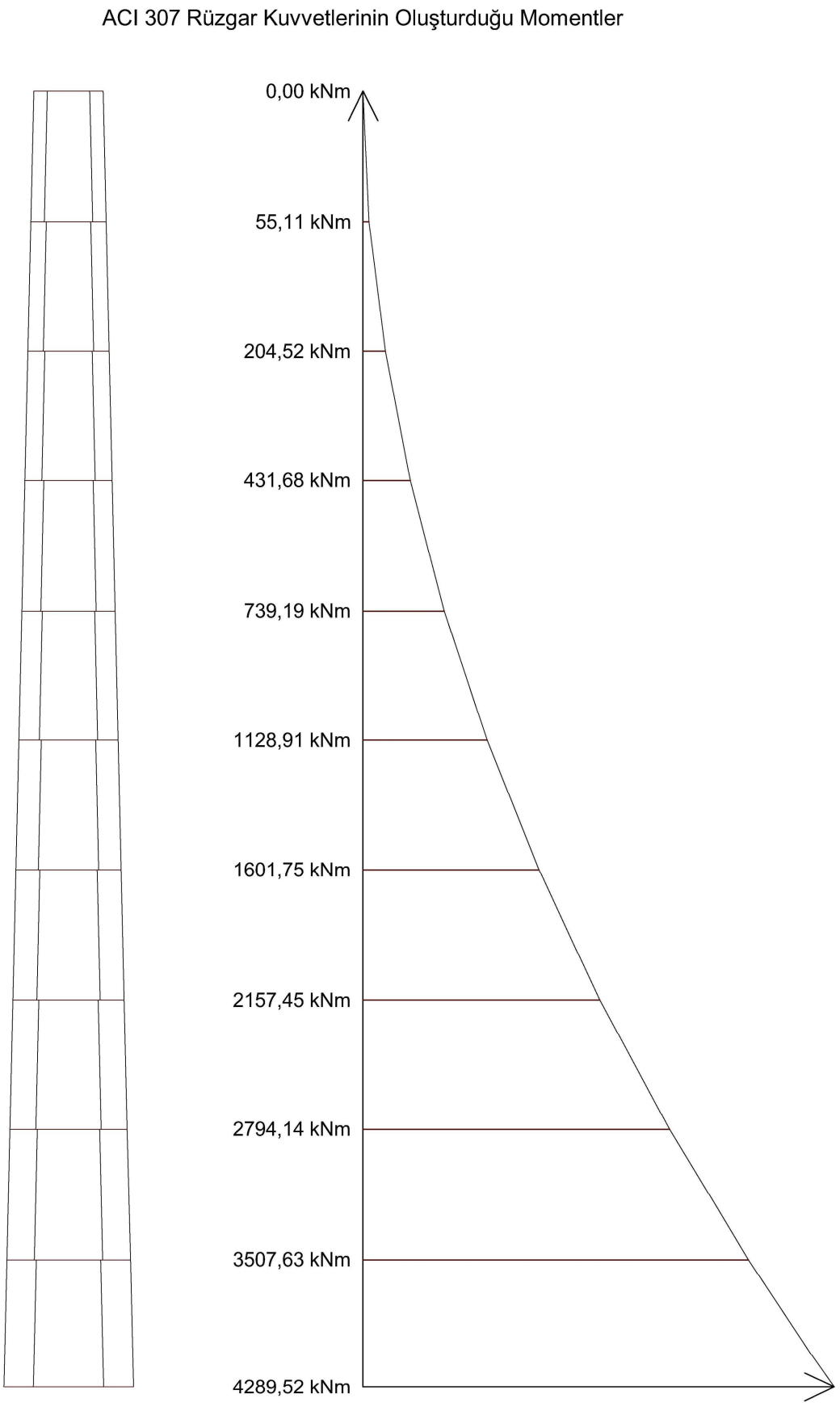
Şekil D.2 : Örnek 1 için CICIND rüzgar kuvvetleri.



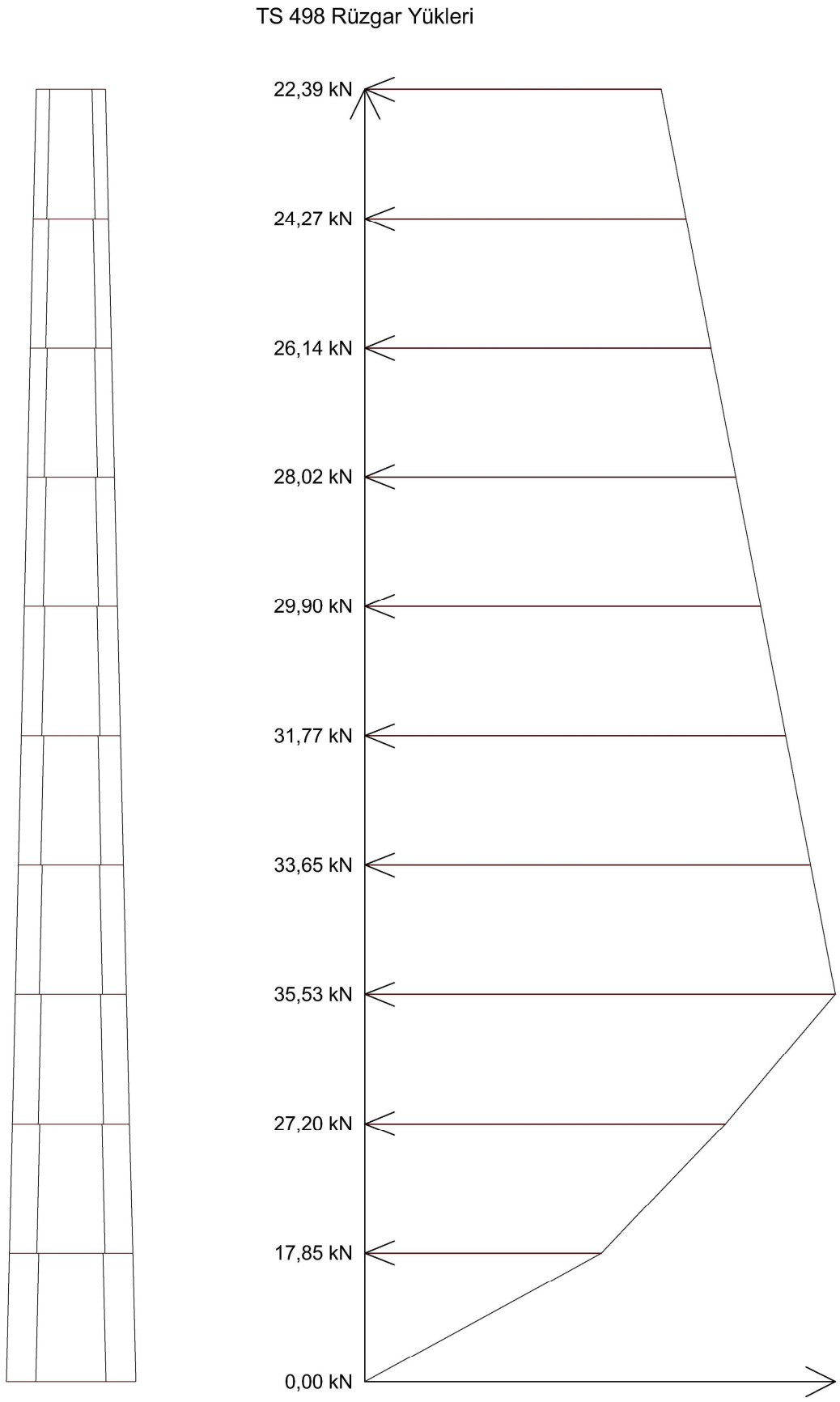
Şekil D.3 : Örnek 1 için CICIND rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.



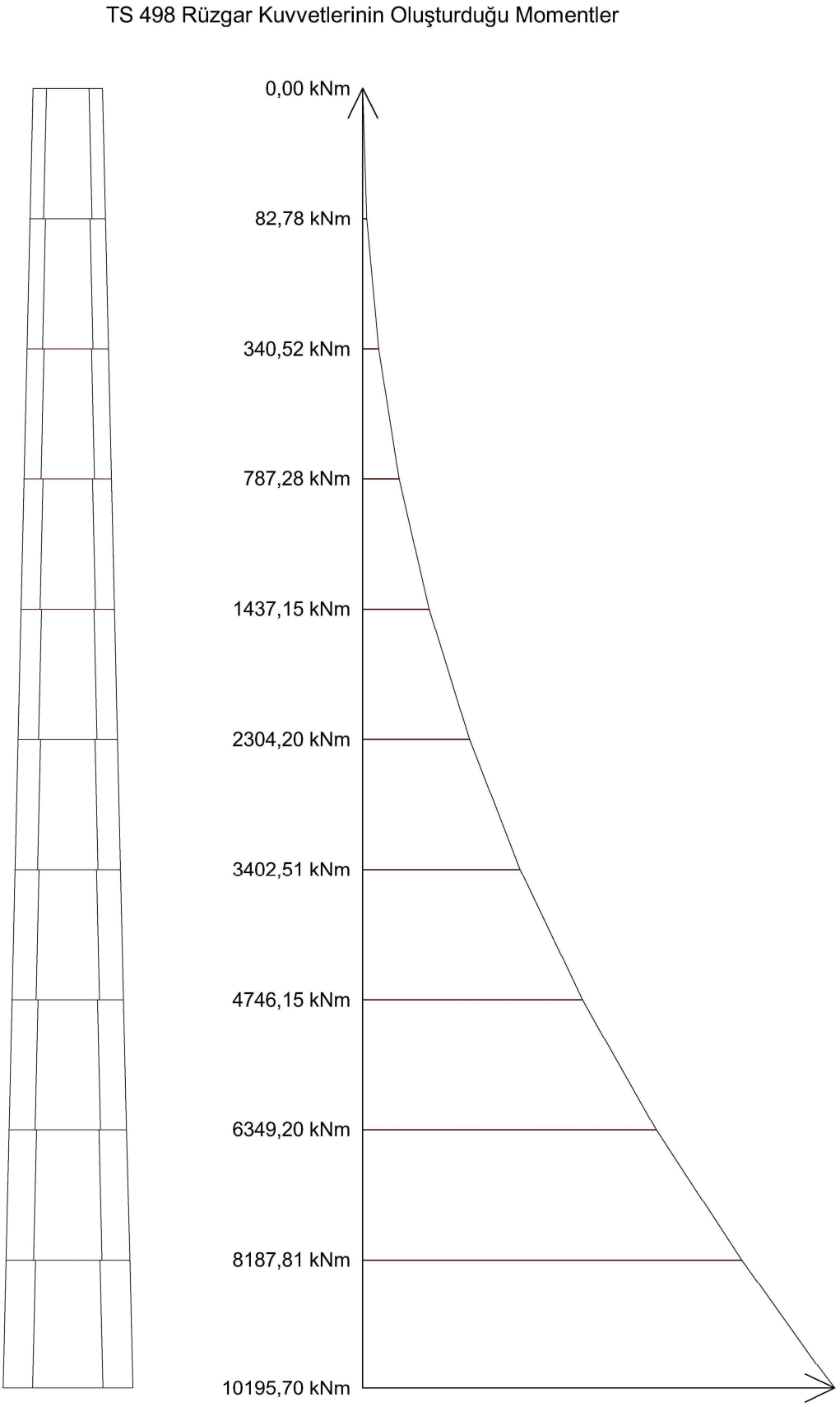
Şekil D.4 : Örnek 1 için ACI-307 rüzgar kuvvetleri.



Şekil D.5 : Örnek 1 için ACI-307 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.

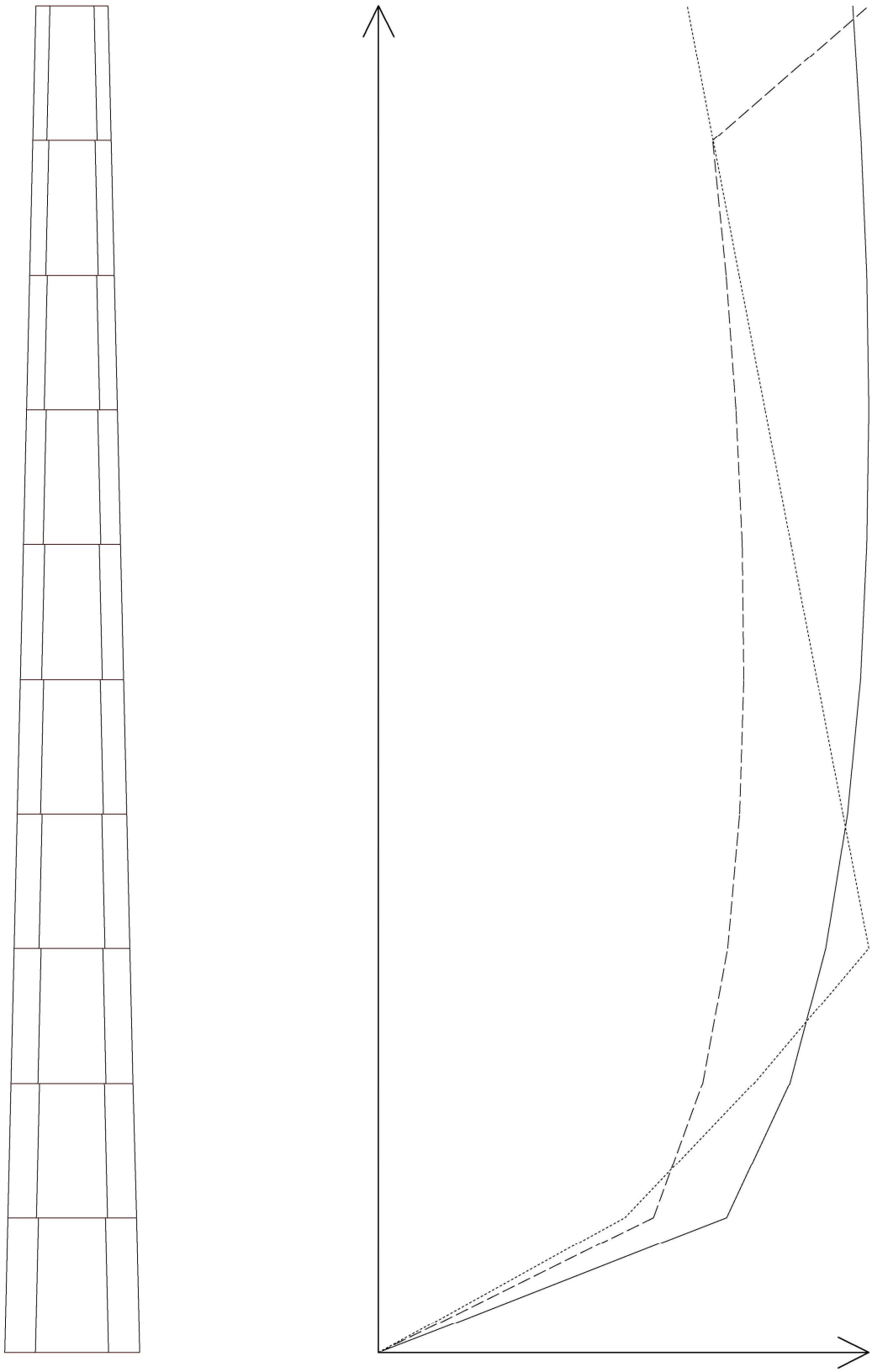


Şekil D.6 : Örnek 1 için TS-498 rüzgar kuvvetleri.

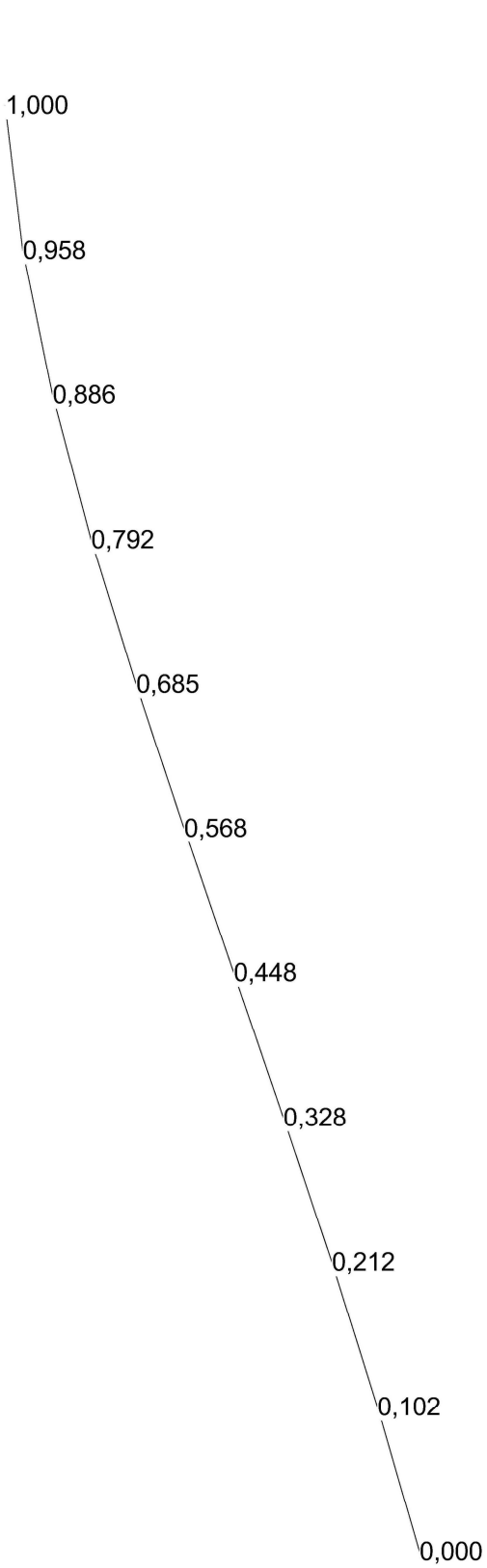


Şekil D.7 : Örnek 1 için TS*498 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.

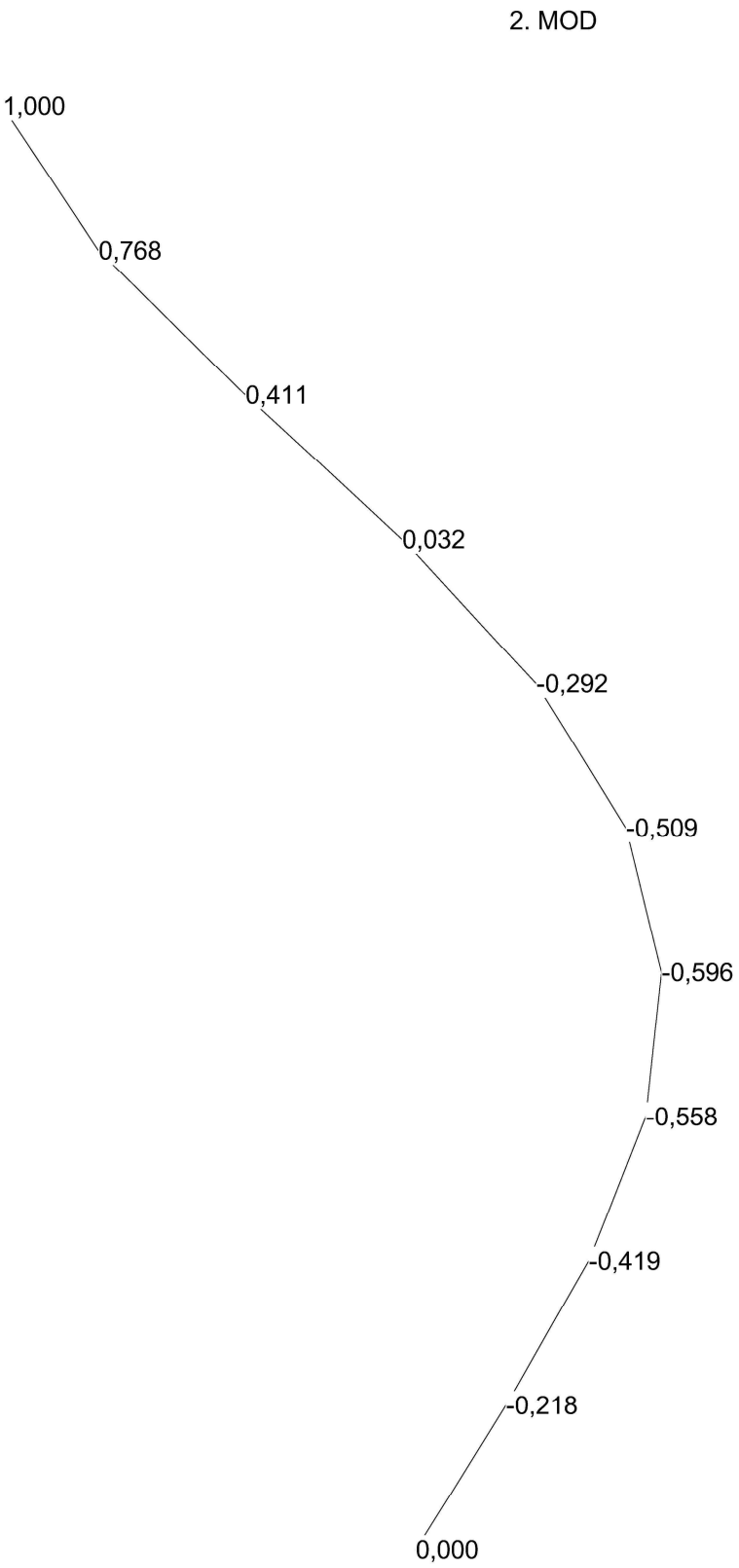
Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırması



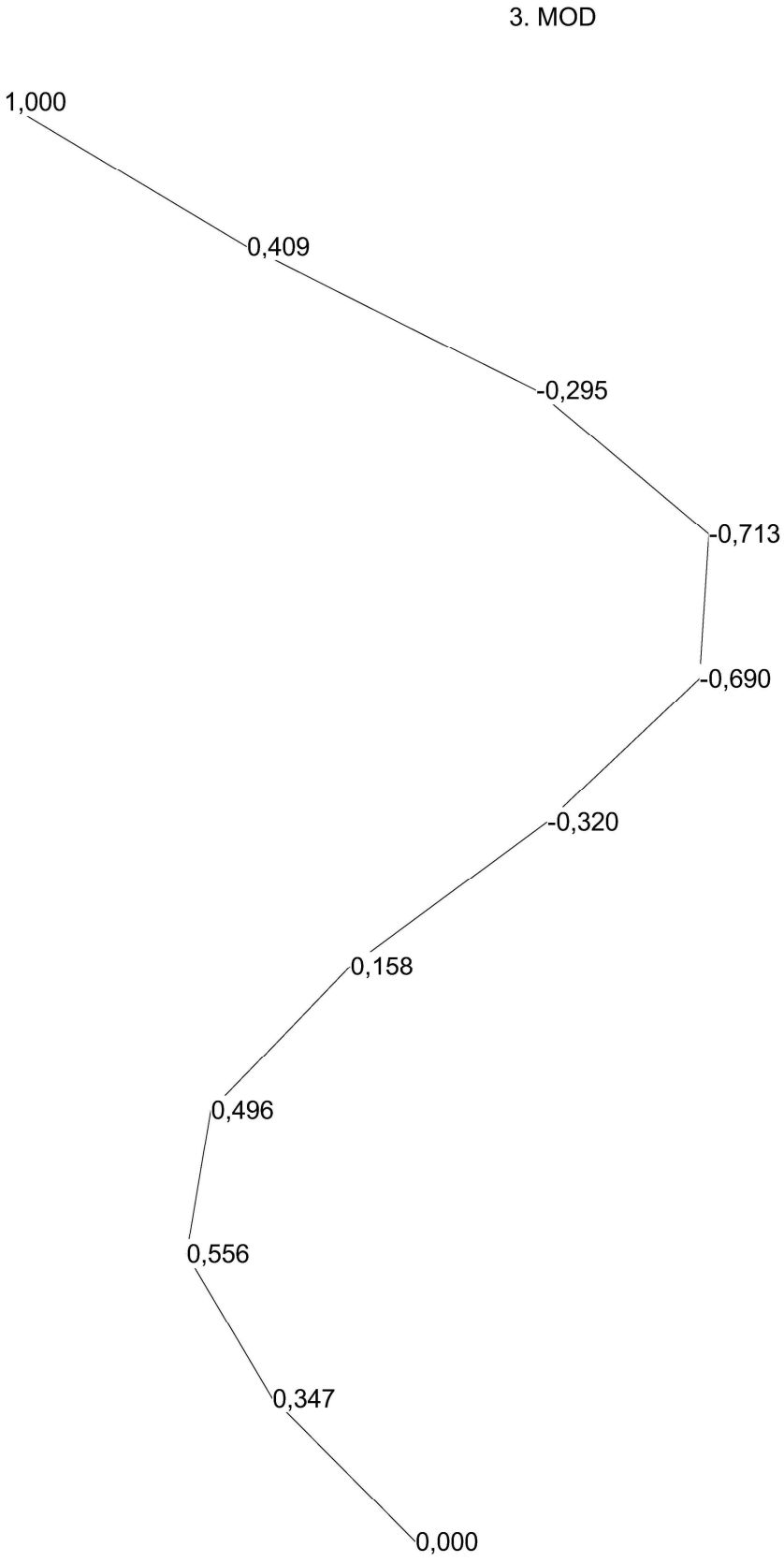
Şekil D.8 : Örnek 1 için Rüzgar kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil D.9 : Örnek 1 için 1. mod şekli.



Şekil D.10 : Örnek 1 için 2. mod şekli.



Şekil D.11 : Örnek 1 için 3. mod şekli.

Çizelge D.3 : Örnek 1 için deprem kuvvetleri

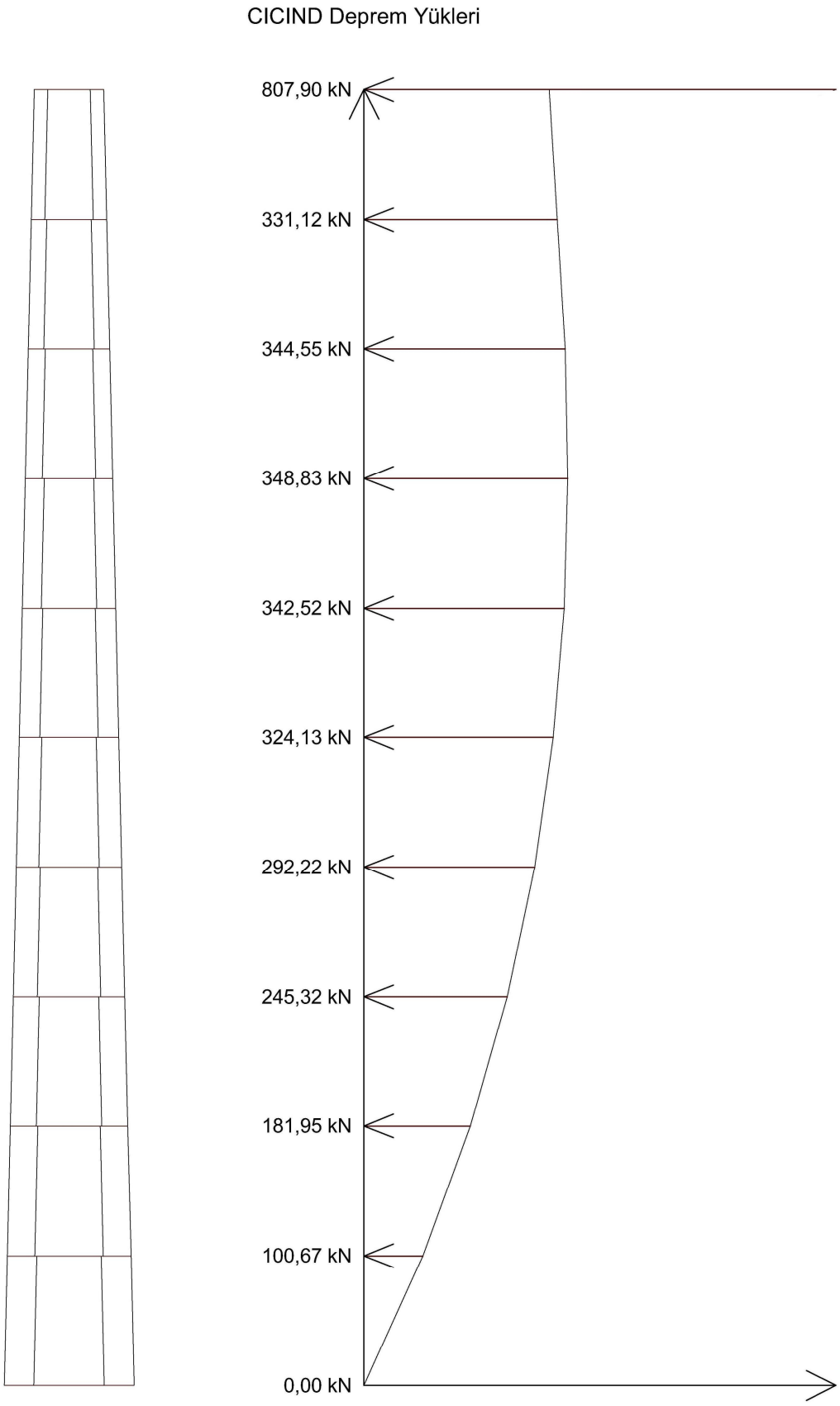
Deprem Kuvvetleri

Dilim No	Yükseklik m.	CICIND kN	DBYYHY 2007 kN
10	75,00	807,90	475,42
9	67,50	331,12	194,85
8	60,00	344,55	202,75
7	52,50	348,83	205,27
6	45,00	342,52	201,56
5	37,50	324,13	190,74
4	30,00	292,22	171,96
3	22,50	245,32	144,36
2	15,00	181,95	107,07
1	7,50	100,67	59,24
0	0,00	0,00	0,00

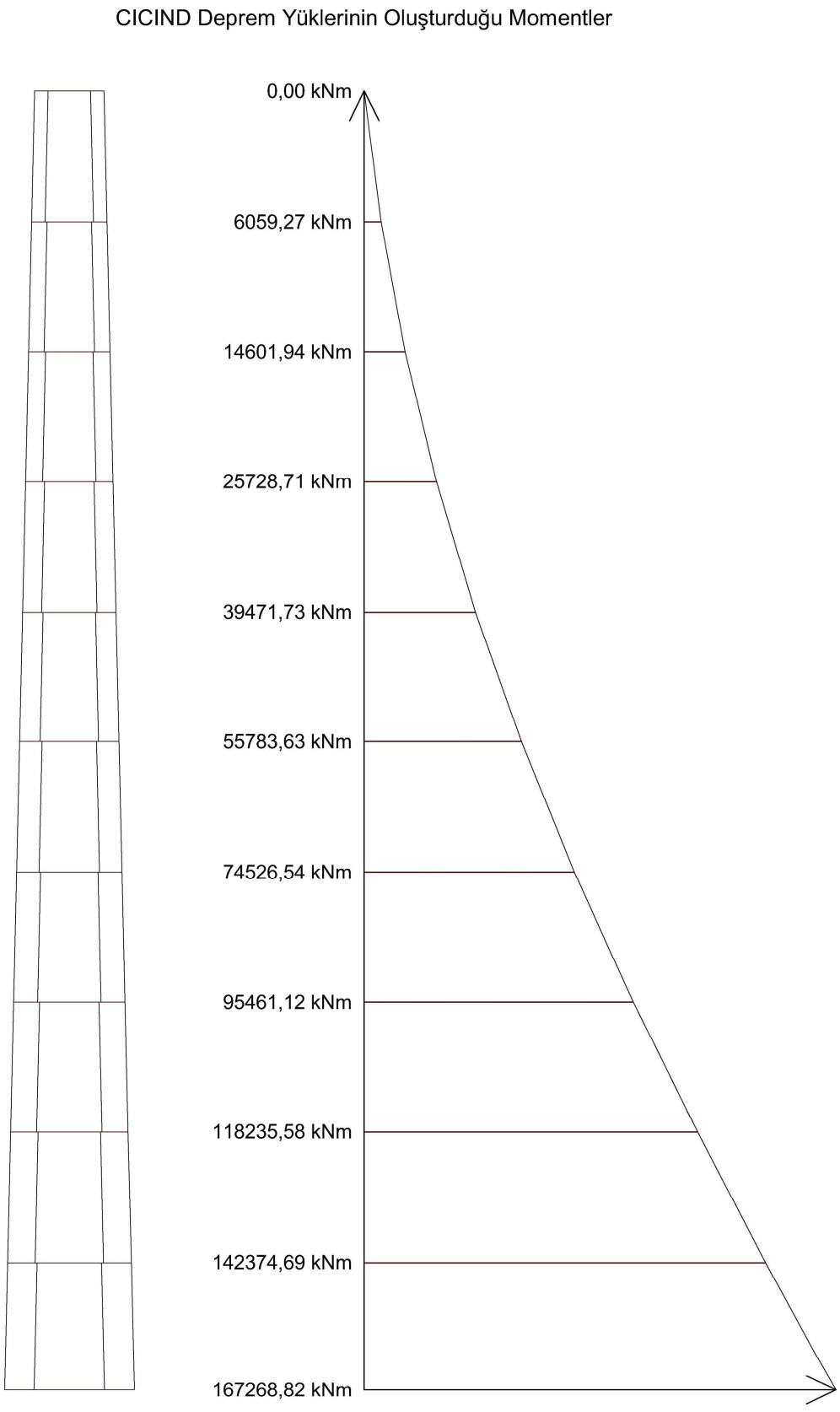
Çizelge D.4 : Örnek 1 için deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.

Deprem Yüklerinin Oluşturduğu Momentler

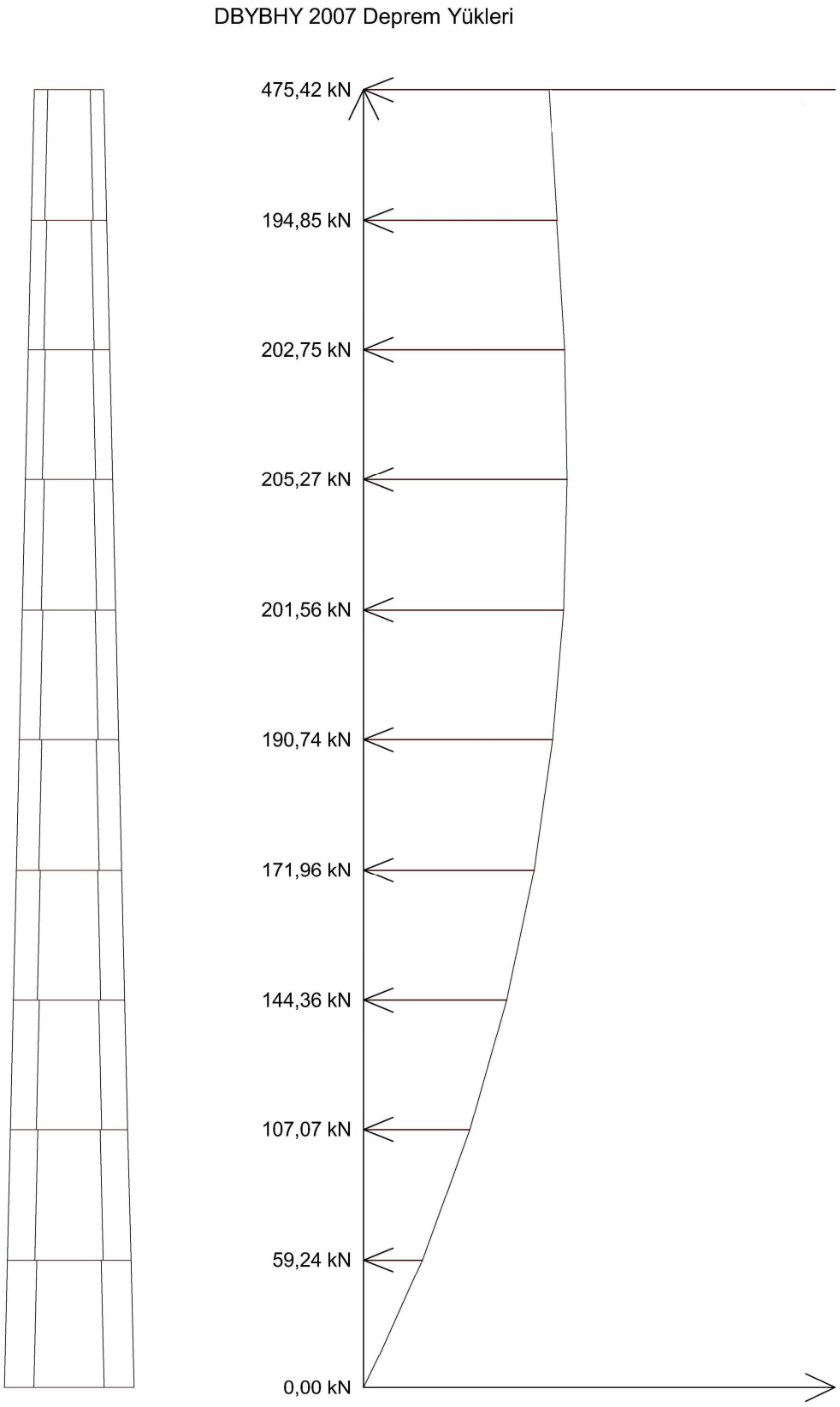
Dilim No	Yükseklik m.	CICIND kNm	DBYBHY 2007 kNm
10	75,00	0,00	0,00
9	67,50	6059,27	3565,62
8	60,00	14601,94	8592,62
7	52,50	25728,71	15140,26
6	45,00	39471,73	23227,44
5	37,50	55783,63	32826,31
4	30,00	74526,54	43855,72
3	22,50	95461,12	56174,83
2	15,00	118235,58	69576,64
1	7,50	142374,69	83781,48
0	0,00	167268,82	98430,62



Şekil D.12 : Örnek 1 için CICIND deprem kuvvetleri.

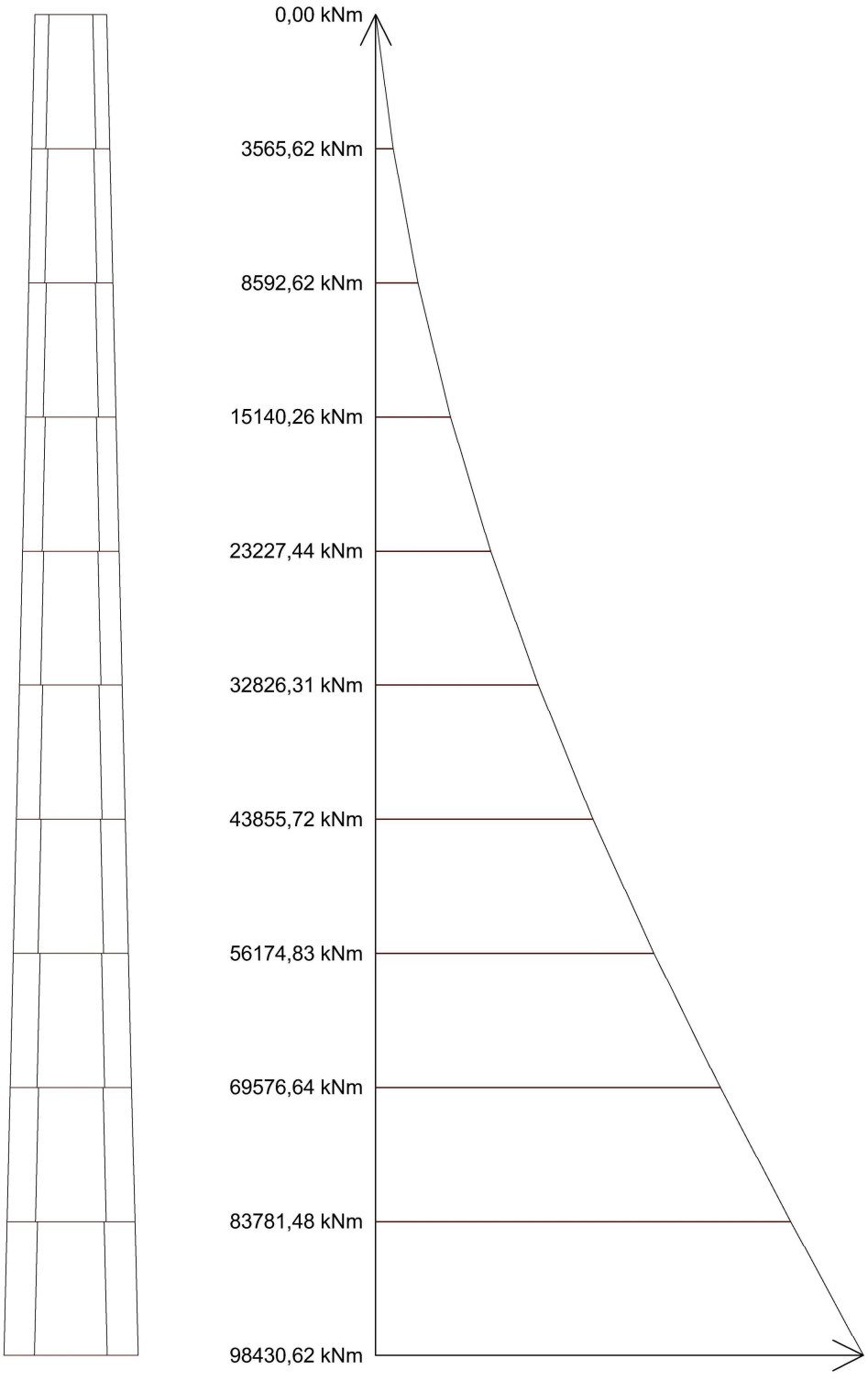


Şekil D.13 : Örnek 1 için CICIND deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.



Şekil D.14 : Örnek 1 için DBYBHY-2007 deprem kuvvetleri.

DBYBHY 2007 Deprem Yüklerinin Oluşturduğu Momentler



Şekil D.15 : Örnek 1 için DBYBHY-2007 deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.

Çizelge D.5 : Örnek 1 için hesap yükleri.

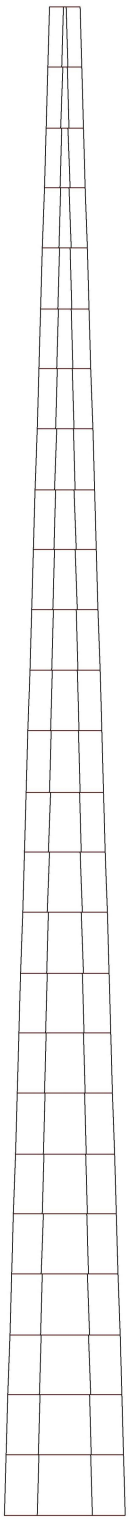
Hesap Yükleri

Dilim No	Yükseklik m.	Düşey Yük kN	Rüzgar Yükü kNm	Deprem Yükü kNm
10	75,00	,00	0,00	0,00
9	67,50	718,65	123,93	6059,27
8	60,00	1571,51	406,39	14601,94
7	52,50	2569,87	895,91	25728,71
6	45,00	3725,05	1594,11	39471,73
5	37,50	5048,36	2501,10	55783,63
4	30,00	6551,11	3615,12	74526,54
3	22,50	8244,60	4932,04	95461,12
2	15,00	10140,16	6444,48	118235,58
1	7,50	12249,08	8140,29	142374,69
0	0,00	14582,68	9998,48	167268,82

Çizelge D.6 : Örnek 1 için seçilen donatılar.

Donatı Seçimi

Dilim No	Yükseklik m.	Gerekli D. Alanı cm²/m	Seçilen D. Alanı cm²/m	Adet	Donatı Çapı
10	75,00	5,00	20,11	10	16
9	67,50	6,39	20,11	10	16
8	60,00	13,22	20,11	10	16
7	52,50	20,20	20,11	10	16
6	45,00	27,05	31,67	7	24
5	37,50	33,56	40,72	9	24
4	30,00	39,54	40,72	9	24
3	22,50	44,92	45,24	10	24
2	15,00	49,44	54,29	12	24
1	7,50	53,10	58,81	13	24
0	0,00	55,69	58,81	13	24



Baca Giriş Bilgileri

Genel Bilgiler

Baca Yüksekliği	: 250 m
Baca Alt Çapı	: 20 m
Baca Üst Çapı	: 5 m
Baca Alt Kalınlığı	: 50 cm
Baca Üst Kalınlığı	: 20

Malzeme Bilgisi

Beton Sınıfı	: BS35 35MPa
Çelik Sınıfı	: BÇIII 420MPa

Rüzgar Hesabında Kullanılan Bilgiler

Rüzgar Hızı	: 30 m/sn (10 m yükseklikte ölçülen
Baca Rakımı	: 20 m

Deprem Hesabında Kullanılan Bilgiler

Beprem Bölgesi	: 2. derece
Zemin Sınıfı	: Z1
Süneklilik Düzeyi	: Normal

Şekil D.16 : Örnek 2 baca giriş bilgileri.

Çizelge D.7 : Örnek 2 için rüzgar kuvvetleri.

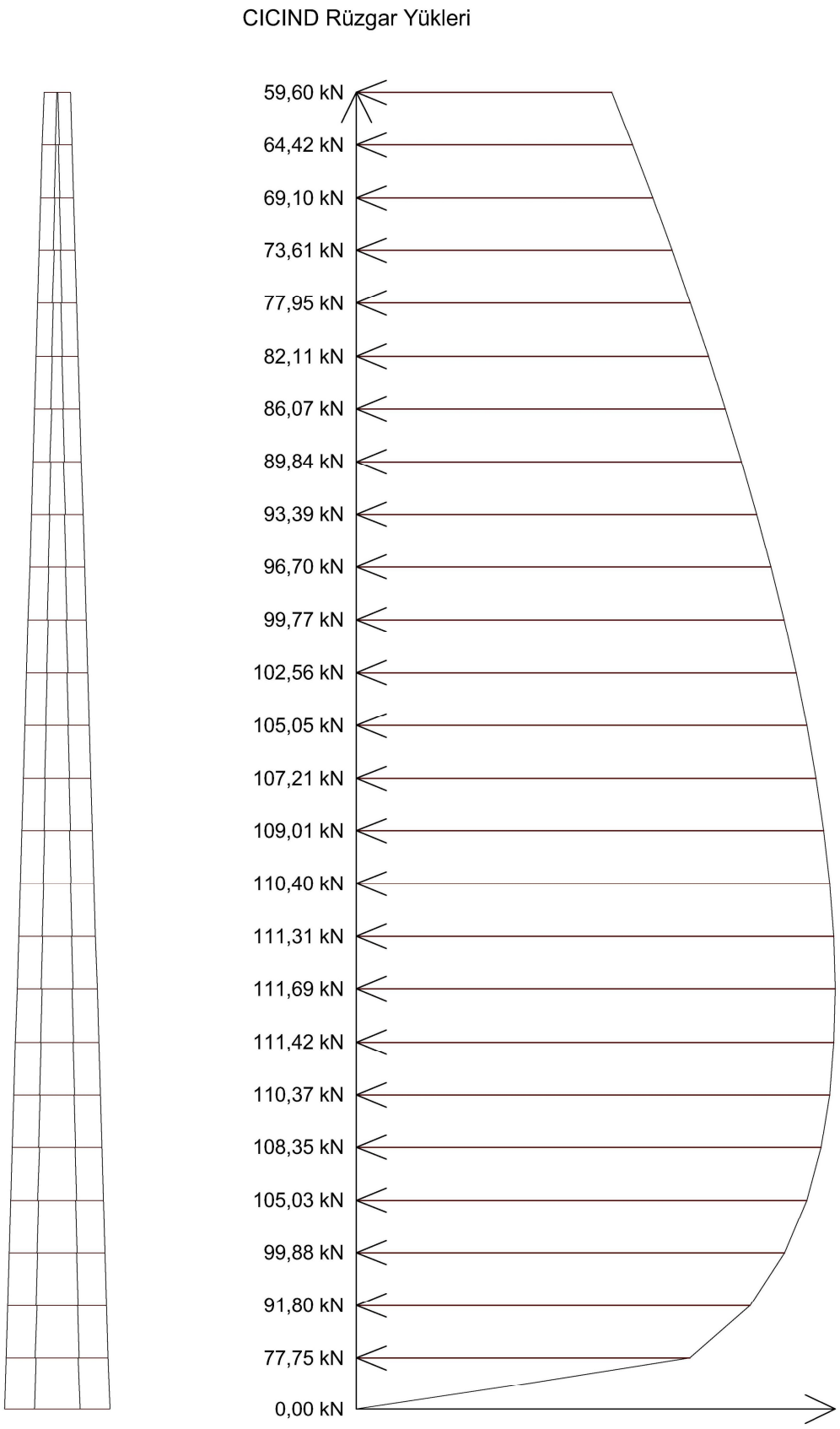
Rüzgar Yükleri

Dilim No	Yükseklik m.	TS498 kN	CICIND kN	ACI 307 kN
25	250,00	44,79	59,60	87,85
24	240,00	49,86	64,42	75,33
23	230,00	54,93	69,10	75,51
22	220,00	60,00	73,61	75,62
21	210,00	65,07	77,95	75,64
20	200,00	70,14	82,11	75,57
19	190,00	75,21	86,07	75,40
18	180,00	80,28	89,84	75,13
17	170,00	85,35	93,39	74,76
16	160,00	90,42	96,70	74,26
15	150,00	95,49	99,77	73,64
14	140,00	100,56	102,56	72,89
13	130,00	105,63	105,05	71,99
12	120,00	110,70	107,21	70,92
11	110,00	115,77	109,01	69,68
10	100,00	102,25	110,40	68,24
9	90,00	106,54	111,31	66,56
8	80,00	110,83	111,69	64,62
7	70,00	115,12	111,42	62,38
6	60,00	119,41	110,37	59,75
5	50,00	123,70	108,35	56,66
4	40,00	127,99	105,03	52,96
3	30,00	132,28	99,88	48,40
2	20,00	99,32	91,80	42,47
1	10,00	102,44	77,75	33,82
0	0,00	0,00	0,00	0,00

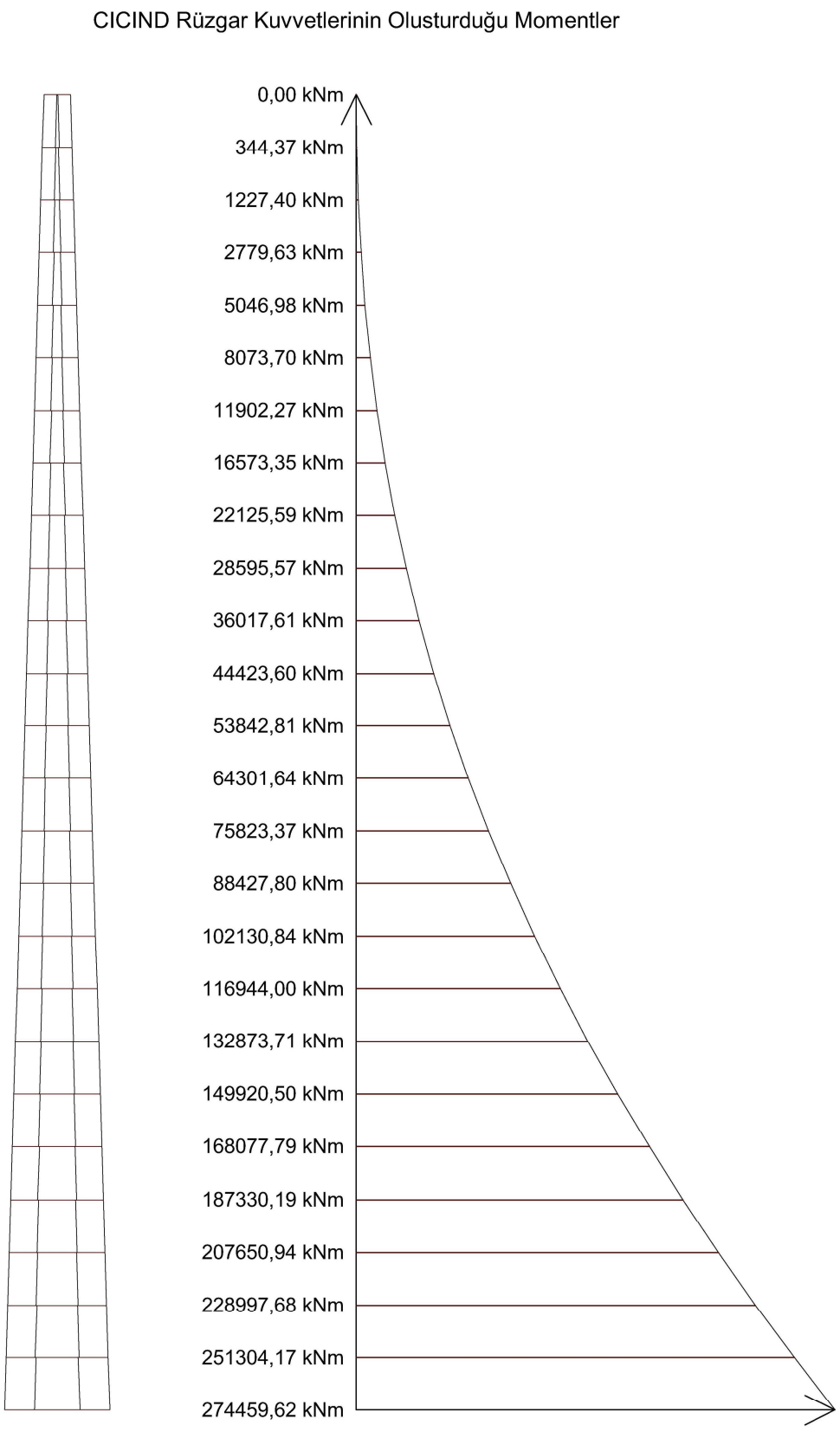
Çizelge D.8 : Örnek 2 için rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.

Rüzgar Kuvvetlerinin Oluşturduğu Momentler

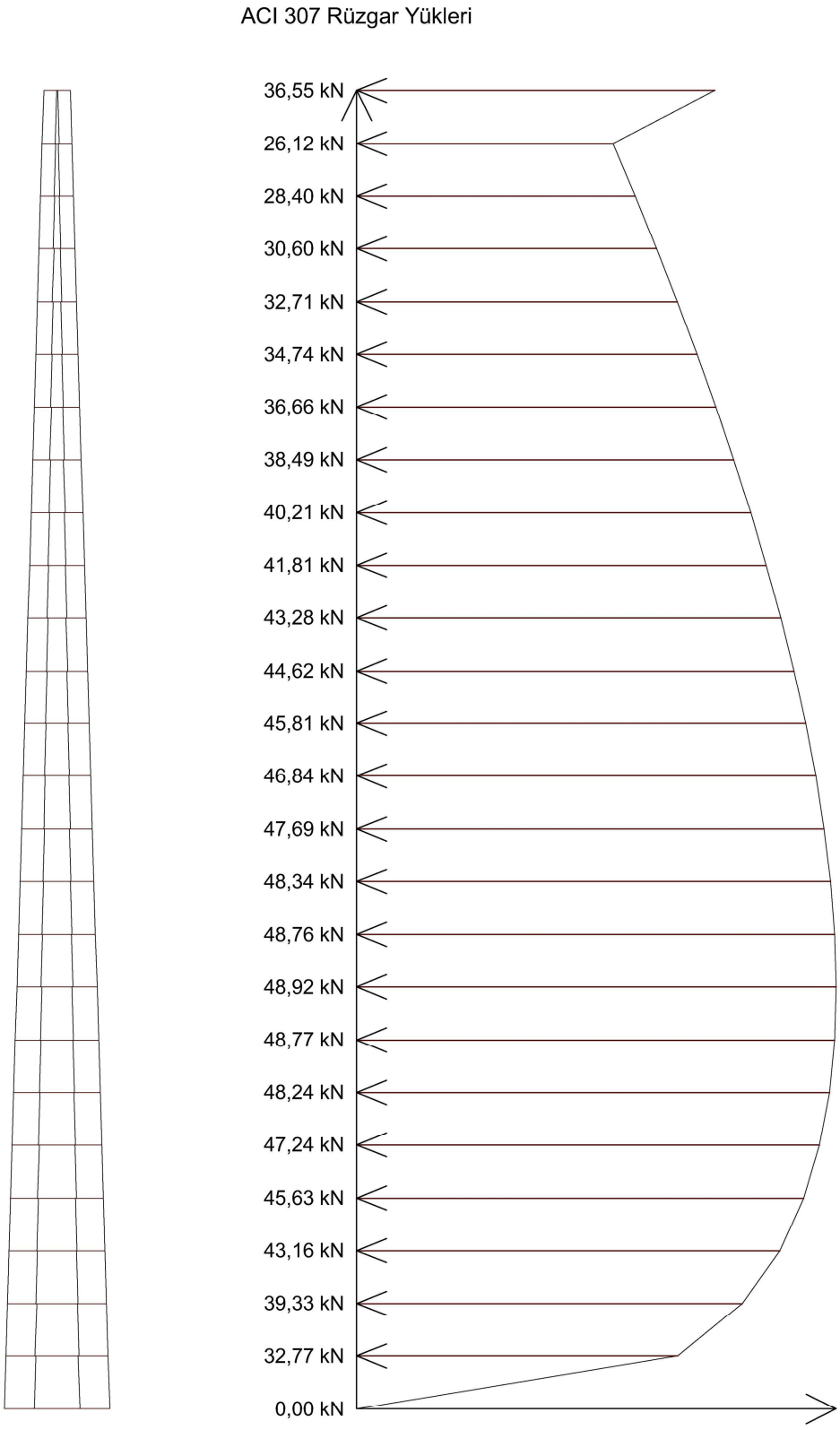
Dilim No	Yükseklik m.	TS498 kNm	CICIND kNm	ACI 307 kNm
25	250,00	0,00	0,00	0,00
24	240,00	219,70	344,37	434,08
23	230,00	912,60	1227,40	1685,29
22	220,00	2129,40	2779,63	3690,72
21	210,00	3920,80	5046,98	6451,85
20	200,00	6337,50	8073,70	9969,29
19	190,00	9430,20	11902,27	14242,81
18	180,00	13249,60	16573,35	19271,21
17	170,00	17846,40	22125,59	25052,32
16	160,00	23271,30	28595,57	31582,91
15	150,00	29575,00	36017,61	38858,63
14	140,00	36808,20	44423,60	46873,93
13	130,00	45021,60	53842,81	55621,94
12	120,00	54265,90	64301,64	65094,39
11	110,00	64591,80	75823,37	75281,45
10	100,00	76050,00	88427,80	86171,58
9	90,00	88598,90	102130,84	97751,34
8	80,00	102191,70	116944,00	110005,14
7	70,00	116871,30	132873,71	122914,93
6	60,00	132680,60	149920,50	136459,78
5	50,00	149662,50	168077,79	150615,35
4	40,00	167859,90	187330,19	165353,10
3	30,00	187315,70	207650,94	180639,08
2	20,00	208072,80	228997,68	196431,97
1	10,00	229988,85	251304,17	212679,36
0	0,00	252913,70	274459,62	229308,40



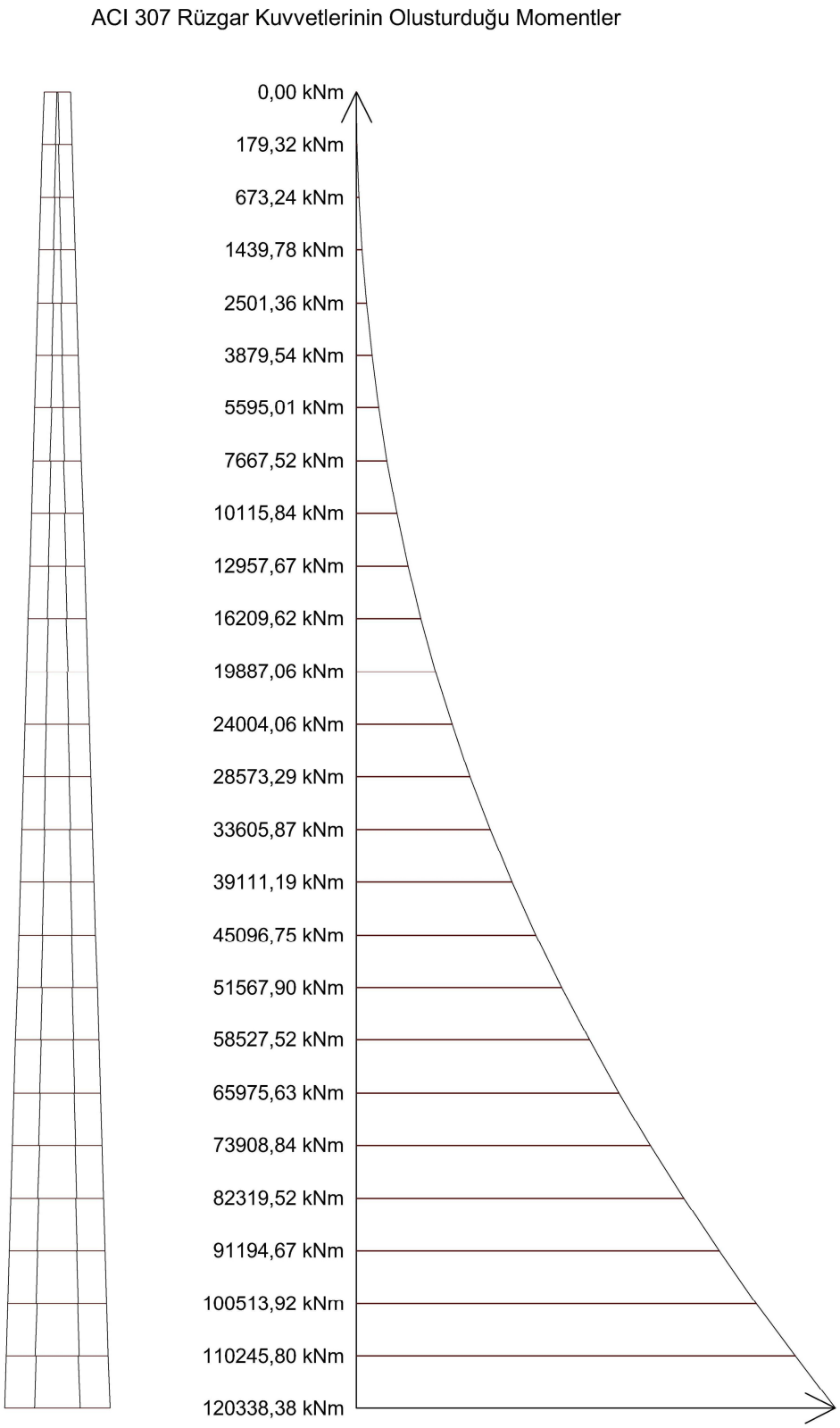
Şekil D.17 : Örnek 2 için CICIND rüzgar kuvvetleri.



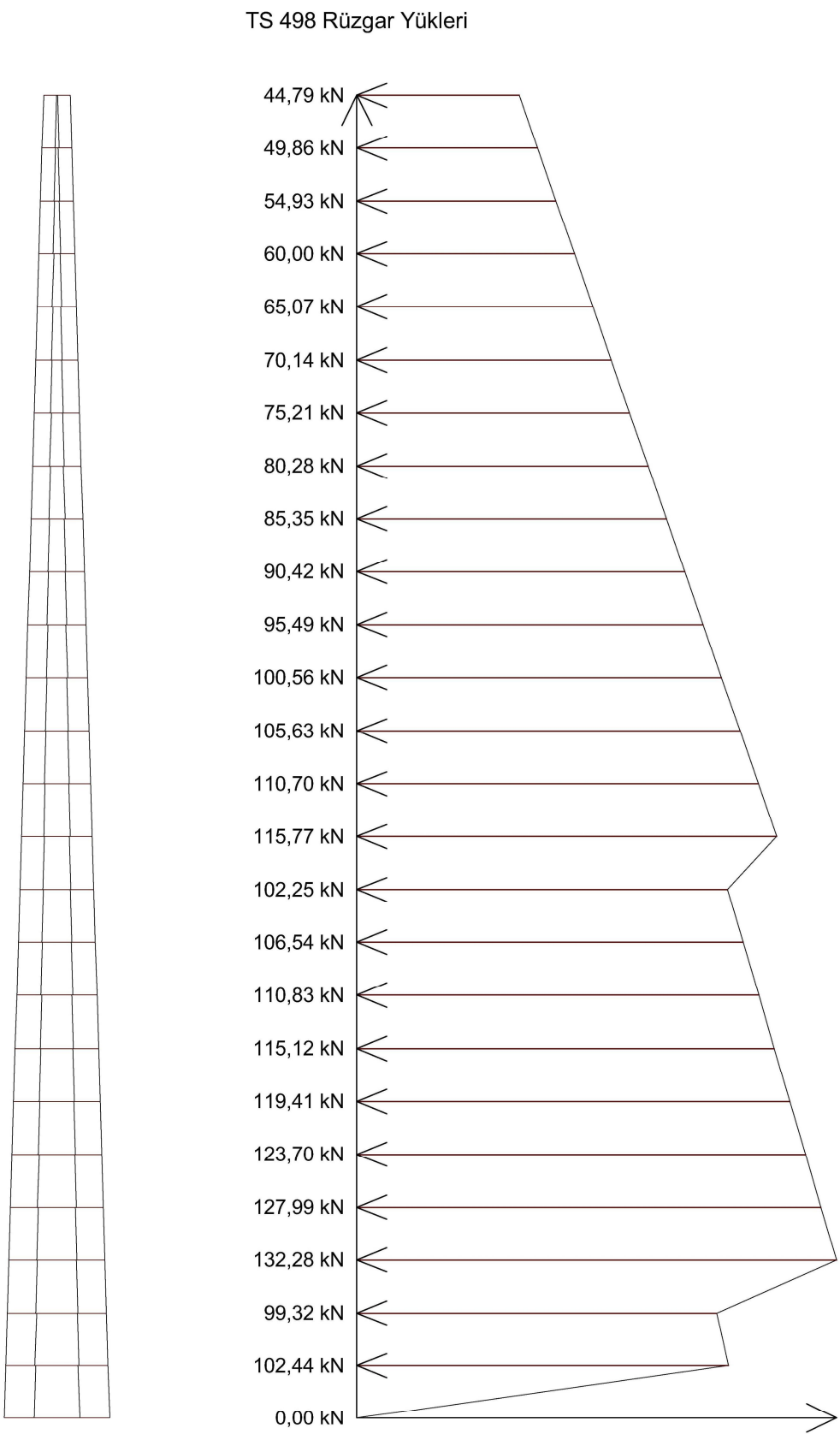
Şekil D.18 : Örnek 2 için CICIND rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.



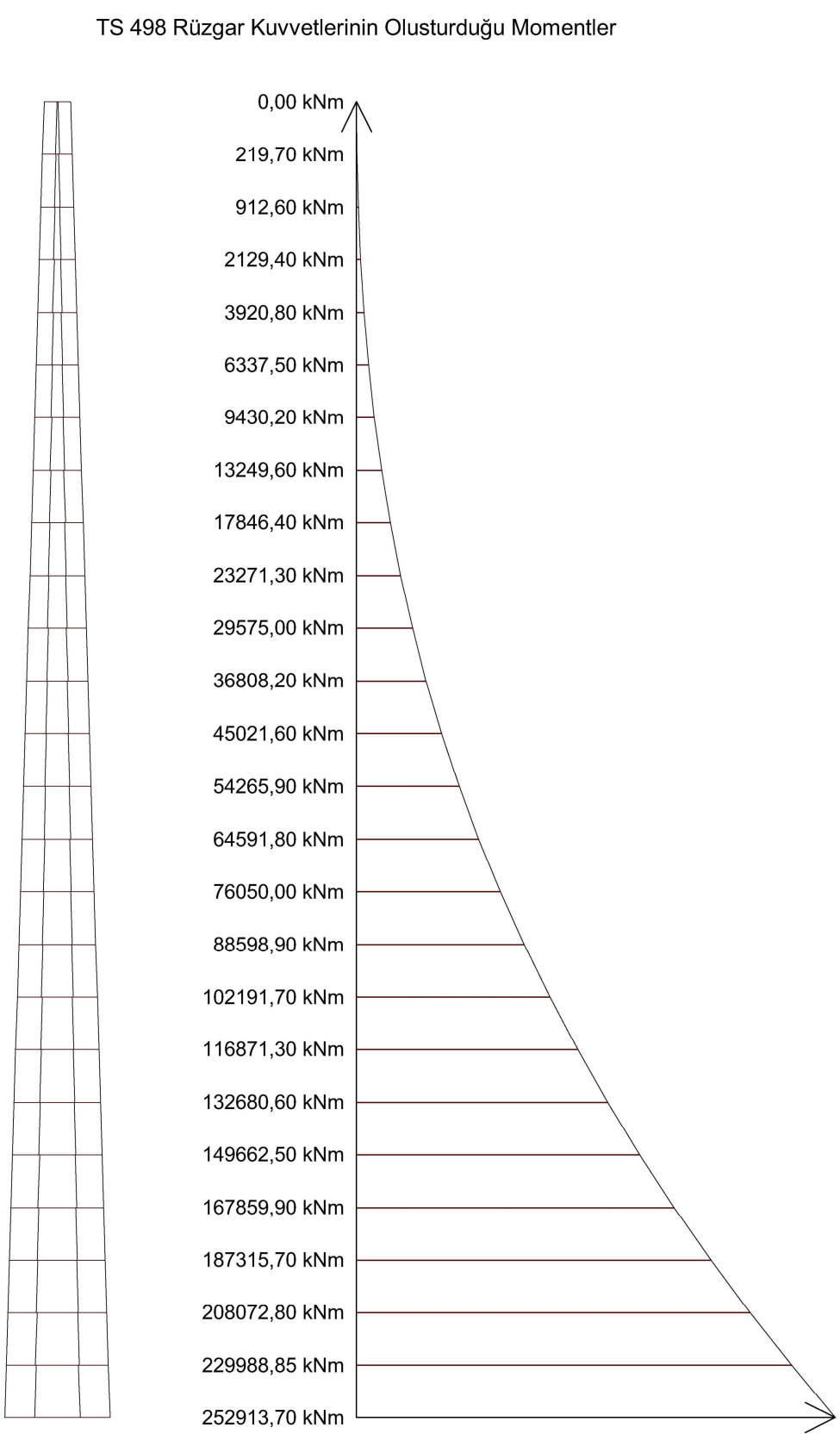
Şekil D.19 : Örnek 2 için ACI-307 rüzgar kuvvetleri.



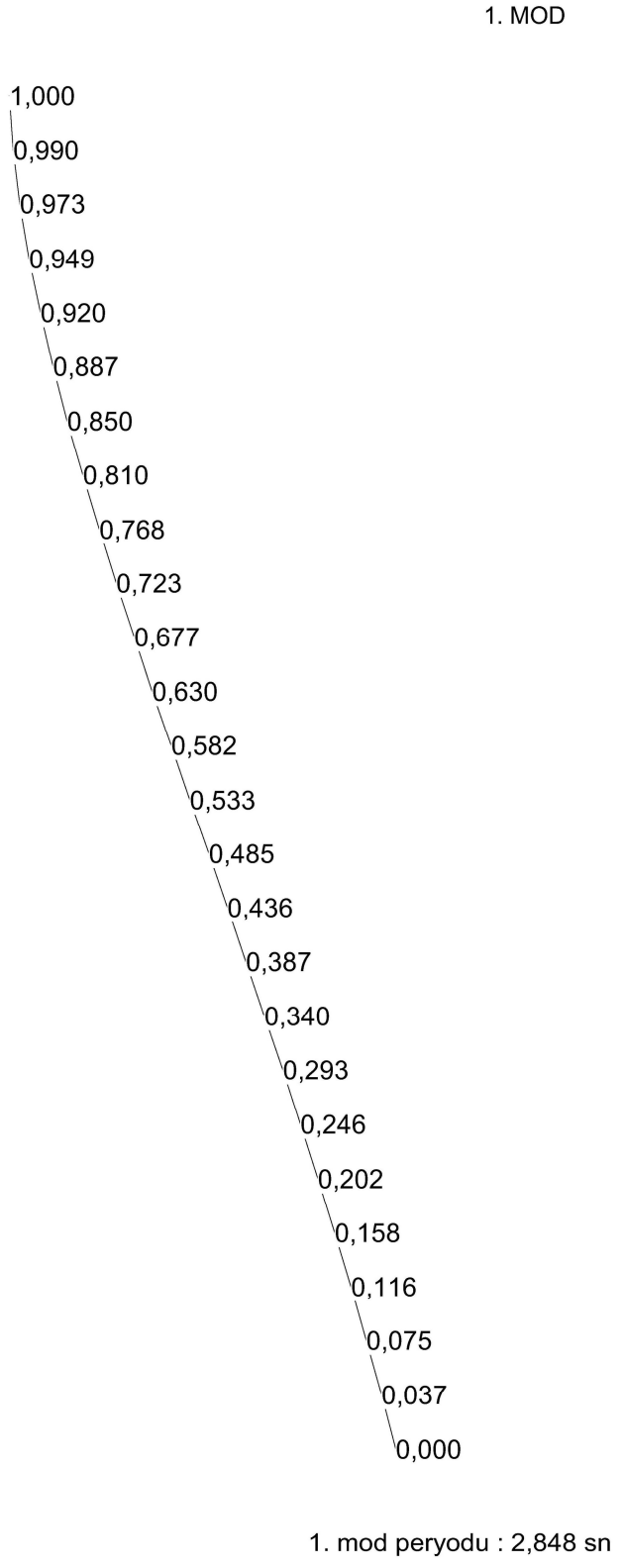
Şekil D.20 : Örnek 2 için ACI 307 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.



Şekil D.21 : Örnek 2 için ACI 307 rüzgar kuvvetleri.



Şekil D.22 : Örnek 2 için ACI 307 rüzgar kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.



Şekil D.23 : Örnek 2 için 1. mod şekli.

Çizelge D.9 : Örnek 2 için deprem kuvvetleri.

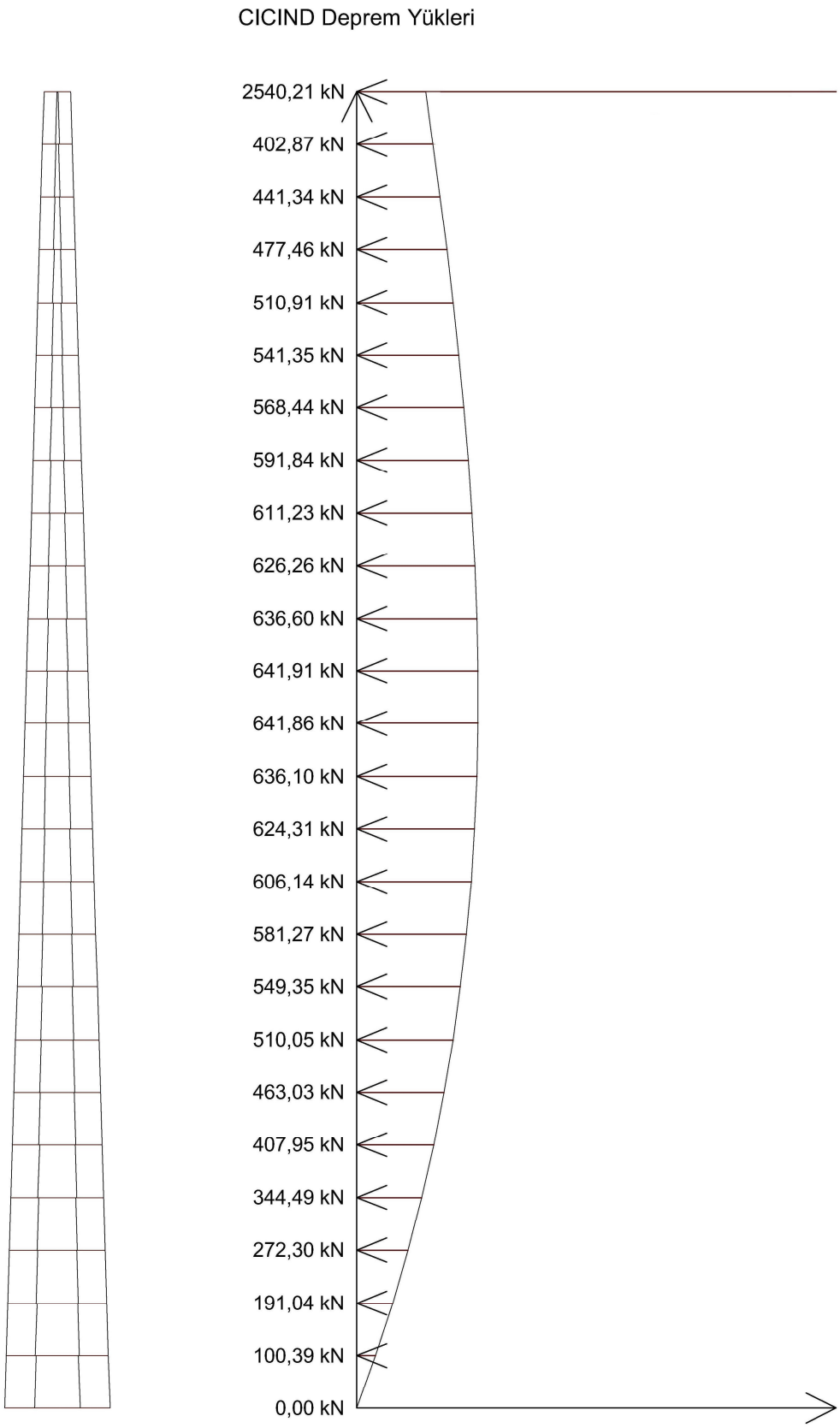
Deprem kuvvetleri

Dilim No	Yükseklik m.	CICIND kN	DBYYHY 2007 kN
25	250,00	2540,21	934,25
24	240,00	402,87	148,17
23	230,00	441,34	162,32
22	220,00	477,46	175,60
21	210,00	510,91	187,91
20	200,00	541,35	199,10
19	190,00	568,44	209,06
18	180,00	591,84	217,67
17	170,00	611,23	224,80
16	160,00	626,26	230,33
15	150,00	636,60	234,13
14	140,00	641,91	236,09
13	130,00	641,86	236,07
12	120,00	636,10	233,95
11	110,00	624,31	229,61
10	100,00	606,14	222,93
9	90,00	581,27	213,78
8	80,00	549,35	202,04
7	70,00	510,05	187,59
6	60,00	463,03	170,29
5	50,00	407,95	150,04
4	40,00	344,49	126,70
3	30,00	272,30	100,15
2	20,00	191,04	70,26
1	10,00	100,39	36,92
0	0,00	0,00	0,00

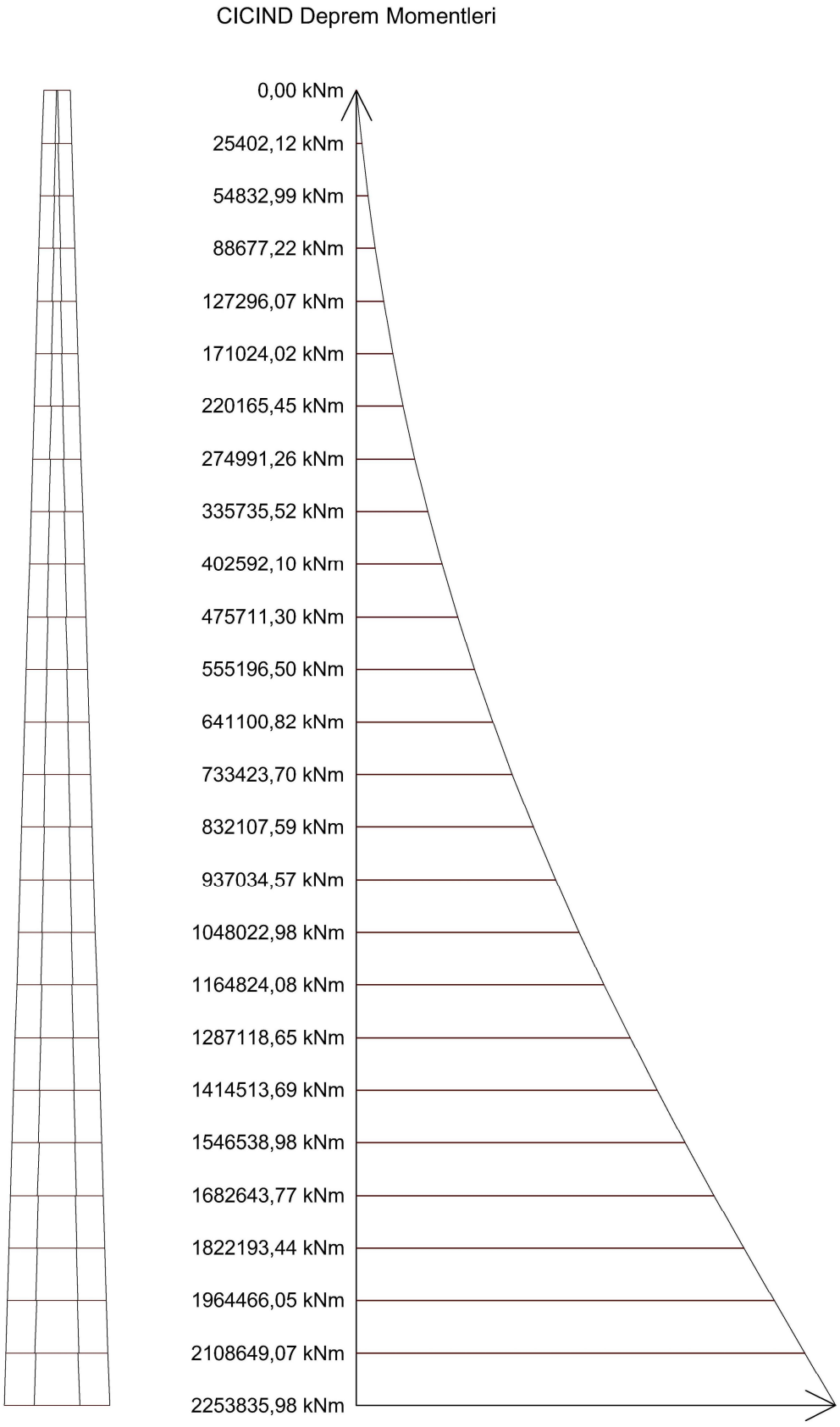
Çizelge D.10 : Örnek 2 için deprem kuvvetlerinin oluşturduğu deprem momentleri.

Deprem kuvvetleri

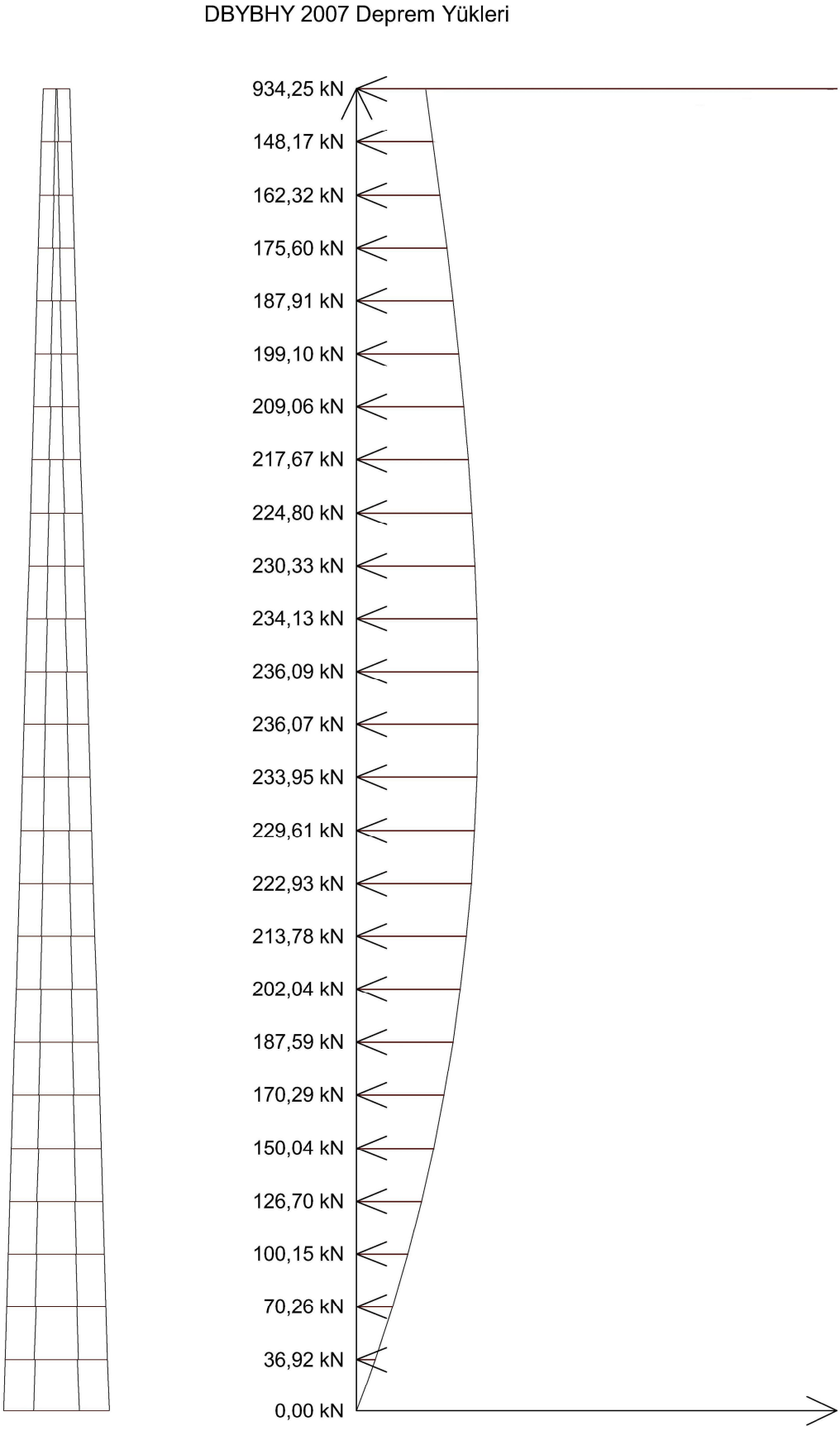
Dilim No	Yükseklik m.	CICIND kNm	DBYBHY 2007 kNm
25	250,00	0,00	0,00
24	240,00	25402,12	9342,55
23	230,00	54832,99	20166,81
22	220,00	88677,22	32614,25
21	210,00	127296,07	46817,72
20	200,00	171024,02	62900,25
19	190,00	220165,45	80973,78
18	180,00	274991,26	101137,95
17	170,00	335735,52	123478,84
16	160,00	402592,10	148067,76
15	150,00	475711,30	174959,98
14	140,00	555196,50	204193,53
13	130,00	641100,82	235787,94
12	120,00	733423,70	269743,01
11	110,00	832107,59	306037,57
10	100,00	937034,57	344628,25
9	90,00	1048022,98	385448,24
8	80,00	1164824,08	428406,05
7	70,00	1287118,65	473384,29
6	60,00	1414513,69	520238,41
5	50,00	1546538,98	568795,47
4	40,00	1682643,77	618852,92
3	30,00	1822193,44	670177,34
2	20,00	1964466,05	722503,22
1	10,00	2108649,07	775531,73
0	0,00	2253835,98	828929,44



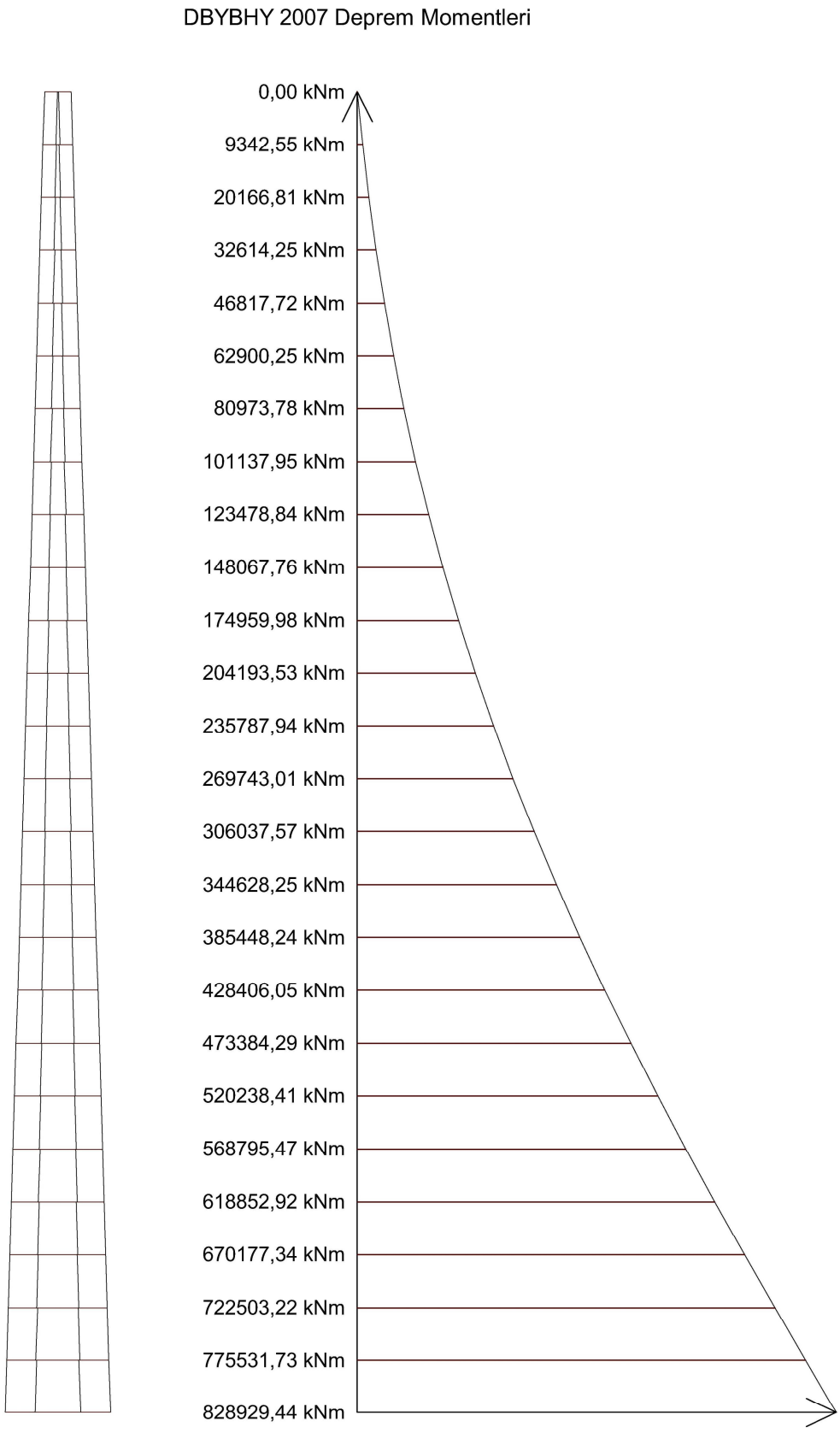
Şekil D.24 : Örnek 2 için CICIND deprem kuvvetleri.



Şekil D.25 : Örnek 2 için deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.



Şekil D.26 : Örnek 2 için DBYBHY 2007 deprem kuvvetleri.



Şekil D.27 : Örnek 2 DBYBHY 2007 deprem kuvvetlerinin oluşturduğu momentler.

Çizelge D.11 : Örnek 2 için hesap yükleri.

Hesap Yükleri

Dilim No	Yükseklik m.	Düşey Yük kN	Rüzgar Yükü kNm	Deprem Yükü kNm
25	250,00	,00	0,00	0,00
24	240,00	1433,73	344,37	25402,12
23	230,00	3093,97	1227,40	54832,99
22	220,00	4991,78	2779,63	88677,22
21	210,00	7138,25	5046,98	127296,07
20	200,00	9544,47	8073,70	171024,02
19	190,00	12221,52	11902,27	220165,45
18	180,00	15180,49	16573,35	274991,26
17	170,00	18432,45	22125,59	335735,52
16	160,00	21988,50	28595,57	402592,10
15	150,00	25859,71	36017,61	475711,30
14	140,00	30057,16	44423,60	555196,50
13	130,00	34591,95	53842,81	641100,82
12	120,00	39475,15	64301,64	733423,70
11	110,00	44717,86	75823,37	832107,59
10	100,00	50331,14	88427,80	937034,57
9	90,00	56326,09	102130,84	1048022,98
8	80,00	62713,79	116944,00	1164824,08
7	70,00	69505,32	132873,71	1287118,65
6	60,00	76711,77	149920,50	1414513,69
5	50,00	84344,22	168077,79	1546538,98
4	40,00	92413,76	187330,19	1682643,77
3	30,00	100931,46	207650,94	1822193,44
2	20,00	109908,41	228997,68	1964466,05
1	10,00	119355,69	251304,17	2108649,07
0	0,00	129284,39	274459,62	2253835,98

Çizelge D.12 : Örnek 2 için donatı seçimi.

Donatı Seçimi

Dilim No	Yükseklik m.	Gerekli D. Alanı cm²/m	Seçilen D. Alanı cm²/m	Adet Adet	Donatı Çapı
25	250,00	5,00	25,13	8	20
24	240,00	17,56	25,13	8	20
23	230,00	30,47	36,19	8	24
22	220,00	40,43	45,24	10	24
21	210,00	48,36	54,29	12	24
20	200,00	54,86	64,34	8	32
19	190,00	60,31	64,34	8	32
18	180,00	64,95	64,34	8	32
17	170,00	69,00	80,42	10	32
16	160,00	72,47	80,42	10	32
15	150,00	75,53	80,42	10	32
14	140,00	78,20	80,42	10	32
13	130,00	80,48	88,47	11	32
12	120,00	82,46	88,47	11	32
11	110,00	84,07	88,47	11	32
10	100,00	85,42	88,47	11	32
9	90,00	86,44	88,47	11	32
8	80,00	87,17	88,47	11	32
7	70,00	87,57	88,47	11	32
6	60,00	87,70	88,47	11	32
5	50,00	87,47	88,47	11	32
4	40,00	86,93	88,47	11	32
3	30,00	86,01	88,47	11	32
2	20,00	84,80	88,47	11	32
1	10,00	83,25	88,47	11	32
0	0,00	81,27	88,47	11	32

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	İlbay ŞENGÜN
Doğum Yeri ve Tarihi:	Bremen (Almanya), 11 Kasım 1973
Lisans Üniversite:	İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği