



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında  
Hatice ERDOĞMUŞ Tarafından Hazırlanan

KEMER BARAJLARDA GERİLME DAĞILIMINA SICAKLIĞIN ETKİSİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/ 06 / 2017 gün ve 1708 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Volkan KAHYA

  
.....

Üye : Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK

  
.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat GÜNAYDIN

  
.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü



## ÖNSÖZ

“Kemer Barajlarda Gerilme Dağılımına Sıcaklığın Etkisi” isimli bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Danışman değişikliğinden sonra danışman hocam olmayı kabul eden yönetici hocam, Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’a teşekkür ederim.

Baraj çeşitleri içinde kemer barajlar, projelendirilmesi, analizi ve yapım çalışmaları bakımından karmaşıktır ve çok geniş bir mühendislik bilgisi gerektirmektedir. Böyle önemli bir konuya yönelmemi sağlayan, çalışmamın her aşamasında ilgi ve alakasını hiçbir zaman eksik etmeyen, çalışmam boyunca kıymetli bilgi ve tecrübelerinden daima yararlandığım, hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE’ye minnet ve şükranlarımı sunmayı her zaman için borç bilirim. Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca bana bilgi ve emeği geçen tüm hocalarımı minnet ve saygıyla anarım.


Çalışmalarım sırasında bana büyük destek veren, Araş. Gör. Fatma ÖNALAN’a İnş. Yük. Müh. Ebru KALKAN’a, İnş.ve Harita Müh. Tekin Çağatay PARILTAN’a, Jeo. Müh. Uğur BÜKÜCÜLER’e, Ali ÇAKMAK’a ve ev arkadaşım Kübra TANSİ’ye teşekkür ederim.

Öğrenim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen babam Mustafa ERDOĞMUŞ’a, annem Şennaz ERDOĞMUŞ’a ve kardeşim Ayşe Nur ERDOĞMUŞ’a teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Hatice ERDOĞMUŞ  
TRABZON,2017

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “KEMER BARAJLARDA GERİLME DAĞILIMINA SICAKLIĞIN ETKİSİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/07/2017



Hatice ERDOĞMUŞ

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XX
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması .....	2
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği.....	4
1.4. Barajlar Hakkında Genel Bilgiler .....	4
1.4.1. Barajların Sınıflandırılması.....	4
1.4.2. Barajın Bölümleri ve Bazı Tanımlar.....	6
1.5. Kemer Barajlar Hakkında Genel Bilgiler .....	7
1.5.1. Kemer Barajlar İçin Kullanılan Bazı Terimler .....	7
1.5.2. Kemer Barajlar İçin Vadi Şekilleri .....	10
1.5.3. Kemer Baraj Geometrisi .....	13
1.5.3.1. Kemer Baraj Yüzeyini Tanımlayan Merkezler Çizgisi.....	14
1.5.4. Türkiye'deki ve Dünyadaki Kemer Barajlar.....	15
1.6. Kemer Baraj Projelendirilmesinde Göz Önüne Alınacak Hususlar.....	19
1.7. Kemer Baraj Tasarımında Göz Önüne Alınan Yükler.....	23
1.7.1. Barajın Kendi Ağırlığı .....	24
1.7.2. Sıcaklık Yükü.....	24
1.7.3. Hidrostatik Yük.....	25
1.7.4. Deprem Yükü.....	25
1.7.5. Diğer Yükler .....	25
1.8. Yükleme Grupları .....	26
1.9. Kemer Barajlarda Sıcaklık Çalışmaları.....	29

1.9.1.	İşletme Sıcaklık Çalışmaları .....	29
1.9.1.1.	Rezervuar Sıcaklığı .....	33
1.9.1.2.	Hava Sıcaklıkları .....	35
1.9.1.3.	Güneş Işığı Etkisi .....	36
1.9.1.4.	Beton Sıcaklık Yüklerinin Belirlenmesi .....	36
1.9.2.	İnşaat Sıcaklık Çalışmaları .....	41
1.9.2.1.	Sıcaklık Kontrol Problemi .....	42
1.9.2.2.	İdeal Durum .....	42
1.9.2.3.	Ön Soğutma .....	43
1.9.2.4.	Beton Dökümünden Sonraki Soğutma İşlemi .....	44
1.9.2.5.	Enjeksiyon Sıcaklık Analizi .....	47
1.10.	Kemer Baraj Projelendirme İlkeleri .....	52
1.10.1.	Proje Aşamaları .....	52
1.10.2.	Baraj Geometrisi Oluştururken Yapılan İşlemler .....	54
1.10.2.1.	Eksen Seçimi .....	54
1.10.2.2.	Anahtar Kesitin ve Referans Düzlemin Yerleştirilmesi .....	56
1.10.2.3.	Anahtar Kesit Geometrisi .....	56
1.10.2.4.	Baraj Tabanının Elde Edilişi .....	59
1.10.2.5.	Kemerlerin Yerleşim Planı .....	61
1.10.2.6.	Yerleşim Planının Gözden Geçirilmesi .....	63
1.10.3.	Başlangıç Gerilme Analizleri .....	66
1.10.4.	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilişi .....	67
1.10.5.	Tasarımın İyileştirilmesi .....	68
1.10.6.	Tasarım Planının Sunumu .....	69
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	73
2.1.	Giriş .....	73
2.2.	Artvin İli Çoruh Vadisinde Tasarlanan Çağlayan Kemer Barajının Projelendirme Aşamaları .....	73
2.2.1.	Baraj Yüksekliğine Karar Verilmesi .....	73
2.2.2.	Baraj Eksen Kemerinin Oluşturulması .....	74
2.2.3.	Anahtar Kesit Geometrisinin Ampirik Denklemlerle Elde Edilişi .....	76
2.2.4.	Memba Yüzeyi Birleşim Çizgisinin Elde Edilişi .....	77
2.2.5.	Kemerlerin Yerleşim Planı .....	79

2.2.6.	Merkezler Düzleminin Oluşturulması ve Gözden Geçirilmesi.....	82
2.2.7.	Baraj Tabanının Elde Edilişi .....	84
2.3.	Çağlayan Kemer Baraj Zemin Modelinin Oluşturulması .....	88
2.3.1.	Yapısal Modelleme .....	88
2.3.1.1.	Baraj Modeli .....	88
2.3.1.2.	Zemin Modeli.....	93
2.3.1.2.1.	Zemin Modelinin Genel Hatları ile Oluşturulması .....	94
2.3.1.2.2.	Zemin Modelin Memba ve Mansap Yüzeylerinin Sonlu Elemanlara Bölünmesi .....	96
2.3.1.2.3.	Zemin Modelin Sağ ve Sol Kıyı Yüzeylerinin Sonlu Elemanlara Bölünmesi .....	97
2.3.1.2.4.	Zemin Modelin Her Katmanda Bölünmesi .....	101
2.3.1.2.5.	Temel Zeminin Sonlu Elemanlara Bölünmesi .....	101
2.3.1.3.	AutoCAD ile Polygon Mesh Komutu .....	103
2.3.1.4.	AutoCAD Programından SAP2000 Programına Aktarma İşlemi.....	106
2.4.	Çağlayan Kemer Barajında Sıcaklık Çalışmaları.....	110
2.4.1.	Sıcaklık Değerlerinin SAP2000 Programında Tanımlanması .....	110
2.4.2.	Sıcaklık Analizlerinde Dikkate Alınan Sıcaklık Değerlerinin Hesabı.....	112
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	122
3.1.	Giriş.....	122
3.2.	Sıcaklık Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	122
3.2.1.	Yer Değiştirmeler.....	122
3.2.2.	Gerilmeler .....	131
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	246
5.	KAYNAKLAR .....	249
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KEMER BARAJLARDA GERİLME DAĞILIMINA SICAKLIĞIN ETKİSİ

Hatice ERDOĞMUŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK  
2017, 250 Sayfa

Kemer barajlar için sıcaklık çalışmaları iki ayrı kısma ayrılmıştır. Birinci bölüm, barajdaki sıcaklık yükünü belirlemek için kullanılan işletme sıcaklığı çalışmasıdır. İkinci bölüm, genellikle kabul edilebilir bir model elde edildikten sonra yapılan inşaat sıcaklığı çalışmalarını içermektedir. Isı kaynaklı çatlamların olasılığını en aza indirirken nihai tasarım sıcaklığının elde edilebildiğinden emin olmak için inşaat sıcaklığı çalışmaları gerekir.

Bu tez çalışmasında, ilk olarak Artvin Çoruh Nehri havzasında tasarım kriterlerine göre bir kemer baraj tasarlanmıştır. Ardından, kemer barajın sıcaklık tepkisine su seviyesi etkisini belirlemek için rezervuardaki su seviyelerine göre sıcaklık çalışmaları yapılmıştır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, beton barajların sıcaklık çalışmaları ile ilgili bir literatür araştırması ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu bölüm, baraj ve rezervuarındaki sıcaklığın tanımlanması ile ilgili formülasyonları da içermektedir. Buna ek olarak, kemer baraj tasarım kriterleri ayrıntılı olarak verilmektedir. İkinci bölümde, Artvin Çoruh Nehri havzasında Çağlayan Kemer Barajı olarak adlandırılan bir kemer barajın tasarımı anlatılmakta ve sıcaklık çalışmaları tartışılmaktadır. Üçüncü bölüm, sıcaklık analizlerinden elde edilen bulguları içermektedir. Analizlerden çıkarılan sonuçlar ve öneriler dördüncü bölümde verilmiştir. Bu bölümde, kemer barajlar gibi ince yapıların dinamik analizlerinde rezervuar ve barajdaki sıcaklık etkilerinin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Son olarak, kaynaklar beşinci bölümde sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kemer Baraj Tasarımı, Sıcaklık Çalışmaları, Sonlu Eleman Metodu

Master Thesis

## SUMMARY

### EFFECT OF TEMPERATURE ON STRESS DISTRIBUTION IN ARCH DAM

Hatice ERDOĞMUŞ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. D. Ahmet Can ALTUNIŞIK  
2017, 250 Pages

Temperature studies for arch dams are divided into two distinct parts. The first part is the operating temperature study to determine the temperature loading in the dam. The second part includes the construction temperature studies which are usually performed after an acceptable model has been obtained. The construction temperature studies are required to assure that the design closure temperature can be obtained while minimizing the possibility of thermally induced cracking.

In this thesis, an arch dam is first designed in basin of Artvin Çoruh River according to the design criteria. Then, temperature studies for the dam are carried out, and temperature values in reservoir and dam according to water levels in reservoir are determined to investigate the water level effects on temperature response of the arch dam.

This thesis consists of five chapters. In the first chapter, a literature survey associated with temperature studies of concrete dams is given in detail. This chapter also contains formulations associated with defining temperature in dam and its reservoir. In addition, the criteria of arch dam design are given in detail. In the second chapter, the design of an arch dam named as Çağlayan Arch Dam in basin of Artvin Çoruh River is introduced, and temperature studies are discussed. Third chapter contains the findings obtained from the temperature analyses. The conclusions and recommendations deduced from the analyses are given in chapter four. In this chapter, it is emphasized that temperature in the reservoir and dam should be considered in dynamic analyses of slender structures such as arch dams. Finally, references are presented in the fifth chapter.

**Keywords:** Arch Dam Design, Temperature Studies, Finite Element Method

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1	Simetrik bir vadide tek merkezli değişken kalınlıklı tipik bir kemer baraj 9
Şekil 1.2	Simetrik olmayan bir vadide iki merkezli değişken kalınlıklı tipik bir kemer baraj ..... 9
Şekil 1.3	Üç merkezli değişken kalınlıklı tipik bir kemer baraj ..... 10
Şekil 1.4	Çeşitli baraj vadilerinin şematik profilleri ..... 11
Şekil 1.5	Tek ve çift eğrilikli kemer barajlara örnek ..... 13
Şekil 1.6	Berke Barajı ve kesit özellikleri ..... 15
Şekil 1.7	Gezende Barajı ve kesit özellikleri ..... 15
Şekil 1.8	Gökçekaya Barajı ve kesit özellikleri ..... 16
Şekil 1.9	Karakaya Barajı ve kesit özellikleri ..... 16
Şekil 1.10	Oymapınar Barajı ve kesit özellikleri ..... 16
Şekil 1.11	Sır Barajı ve kesit özellikleri ..... 17
Şekil 1.12	Deriner Barajı ve kesit özellikleri ..... 17
Şekil 1.13	Kaya zemin eşyüksekti eğrileri ile kemer itki kuvveti arasındaki açı ..... 20
Şekil 1.14	Yarı radyal ve radyal mesnette daha büyük kemer mesnet şekilleri 22
Şekil 1.15	İnce bir kemer barajda mart ayında ölçülen sıcaklık dağılımları 30
Şekil 1.16	Kalın bir kemer barajda aralık ayında ölçülen sıcaklık dağılımları 31
Şekil 1.17	Kemer barajlar için ısı transfer mekanizması ..... 32
Şekil 1.18	Blok birleşimlerinin enjeksiyonunun yapıldığı yerde yapay olarak soğutulmuş betondaki sıcaklığın zamanla değişimi ..... 45
Şekil 1.19	Ampirik $L_1$ ve $L_2$ mesafeleri ..... 55
Şekil 1.20	Baraj ekseninin arazi üzerindeki yerleşimi ..... 56
Şekil 1.21	Anahtar kesitin şeklini elde etmek için ampirik olarak belirlenen noktalar ..... 58
Şekil 1.22	Memba ve mansap yüzeylelerinin tanımı ..... 59
Şekil 1.23	Kret ve anahtar kesitte baraj ile zemin arasındaki birleşim noktaları ..... 60
Şekil 1.24	Baraj zemin ara yüzeyinde memba yüzeyi birleşim çizgisi ..... 61
Şekil 1.25	Bir kemer kesitinin arazi üzerinde tipik yerleşimi ..... 63
Şekil 1.26	Referans düzlemi boyunca kemer merkezlerinin çizimi ..... 64
Şekil 1.27	Merkezler çizgilerinin oluşumu ..... 65



Şekil 1.28	Kabul edilebilir baraj profili.....	66
Şekil 1.29	Konsol kesitler.....	70
Şekil 1.30	Kemer kesitleri .....	71
Şekil 1.31	Geliştirilen baraj profil .....	72
Şekil 2.1	1/50 Ölçekli arazi eş yükselti haritası .....	75
Şekil 2.2	Baraj ekseninin arazi üzerindeki yerleşimi .....	76
Şekil 2.3	Ampirik denklemlerle sonucu elde edilen anahtar kesit.....	78
Şekil 2.4	Baraj zemin ara yüzeyinde memba yüzeyi birleşim çizgisi .....	79
Şekil 2.5	Örnek olarak 220 m kotu için yerleştirilen düzeltilmemiş kemer dilimi .....	80
Şekil 2.6	Örnek olarak 220 m kotu için yerleştirilen düzeltilmiş kemer dilimi .....	81
Şekil 2.7	C, D, G, H noktalarının anahtar kesit üzerinde görünümü.....	81
Şekil 2.8	Memba yüzeyi merkezler çizgisi elde edilen ilk hal .....	83
Şekil 2.9	Memba yüzeyi merkezler çizgisi elde edilen son hal.....	83
Şekil 2.10	Temel kemer diliminin merkezler çizgisinde oluşturulması .....	84
Şekil 2.11	Çağlayan Kemer Barajı merkezler çizgisinin oluşturulması.....	85
Şekil 2.12	Çağlayan Kemer Barajı'na ait kemer dilimlerinin memba tarafından görünümü .....	86
Şekil 2.13	Çağlayan Kemer Barajı'na ait merkez açılarındaki azalmalar....	87
Şekil 2.14	Çağlayan Kemer Barajı'nın SAP2000'deki üç boyutlu modeli ..	92
Şekil 2.15	Çağlayan Kemer Barajı zemin oluşturma .....	95
Şekil 2.16	Çağlayan Kemer Barajı memba ve mansap taraflarının sonlu elemanlara bölünmesi.....	98
Şekil 2.17	Çağlayan Kemer Barajı sağ ve sol yamaçların yüzey bölünmesi	99
Şekil 2.18	Çağlayan Kemer Barajı yamaçlarının sonlu elemanlara bölünmesi	100
Şekil 2.19	Çağlayan Kemer Barajı temel zemini .....	101
Şekil 2.20	Çağlayan Kemer Barajı zemin modeli .....	102
Şekil 2.21	Polygon Mesh komutunun uygulanması .....	103
Şekil 2.22	Çağlayan Kemer Barajı'nın mansaptan görünüşü.....	104
Şekil 2.23	Çağlayan Kemer Barajı'nın membadan görünüşü .....	105
Şekil 2.24	AutoCAD tan SAP2000 e dxf dosyası aktarma .....	106
Şekil 2.25	SAP2000 Import Information menüsü .....	107
Şekil 2.26	SAP2000 DXF Import menüsü .....	107

Şekil 2.27	Çağlayan Kemer Barajı AutoCAD’te yarısının membadan görünüşü .....	108
Şekil 2.28	Çağlayan Kemer Barajı SAP2000’de tamamının membadan görünüşü .....	109
Şekil 2.29	Define Load Patterns penceresi.....	110
Şekil 2.30	Assign Solid Temperature Loads penceresi .....	111
Şekil 2.31	Sıcaklıklar yüklendikten sonra baraj üzerindeki görünümü.....	112
Şekil 3.1	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi .....	124
Şekil 3.2	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi .....	125
Şekil 3.3	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi .....	126
Şekil 3.4	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi .....	127
Şekil 3.5	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi .....	128
Şekil 3.6	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi .....	129
Şekil 3.7	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi .....	130
Şekil 3.8	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	132
Şekil 3.9	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	133
Şekil 3.10	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	134
Şekil 3.11	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	135
Şekil 3.12	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	136
Şekil 3.13	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	137
Şekil 3.14	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	138
Şekil 3.15	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	139
Şekil 3.16	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	140

Şekil 3.17	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	141
Şekil 3.18	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	142
Şekil 3.19	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	143
Şekil 3.20	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	144
Şekil 3.21	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	145
Şekil 3.22	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	146
Şekil 3.23	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	147
Şekil 3.24	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	148
Şekil 3.25	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	149
Şekil 3.26	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	150
Şekil 3.27	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	151
Şekil 3.28	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	152
Şekil 3.29	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	153
Şekil 3.30	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	154
Şekil 3.31	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	155
Şekil 3.32	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	156
Şekil 3.33	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	157
Şekil 3.34	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	158
Şekil 3.35	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	159
Şekil 3.36	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	160

Şekil 3.37	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	161
Şekil 3.38	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	162
Şekil 3.39	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	163
Şekil 3.40	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	164
Şekil 3.41	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	165
Şekil 3.42	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	166
Şekil 3.43	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	167
Şekil 3.44	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	168
Şekil 3.45	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	169
Şekil 3.46	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	170
Şekil 3.47	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	171
Şekil 3.48	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	172
Şekil 3.49	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	173
Şekil 3.50	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	174
Şekil 3.51	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	175
Şekil 3.52	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	176
Şekil 3.53	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	177
Şekil 3.54	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	178
Şekil 3.55	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	179
Şekil 3.56	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	180

Şekil 3.57	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	181
Şekil 3.58	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	182
Şekil 3.59	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	183
Şekil 3.60	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	184
Şekil 3.61	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	185
Şekil 3.62	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	186
Şekil 3.63	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	187
Şekil 3.64	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	188
Şekil 3.65	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	189
Şekil 3.66	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	190
Şekil 3.67	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	191
Şekil 3.68	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	192
Şekil 3.69	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	193
Şekil 3.70	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	194
Şekil 3.71	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	195
Şekil 3.72	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	196
Şekil 3.73	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	197
Şekil 3.74	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	198
Şekil 3.75	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	199
Şekil 3.76	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	200

Şekil 3.77	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	201
Şekil 3.78	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	202
Şekil 3.79	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	203
Şekil 3.80	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	204
Şekil 3.81	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S <sub>11</sub> gerilmeleri .....	205
Şekil 3.82	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	206
Şekil 3.83	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S <sub>22</sub> gerilmeleri .....	207
Şekil 3.84	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	208
Şekil 3.85	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S <sub>33</sub> gerilmeleri .....	209
Şekil 3.86	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	210
Şekil 3.87	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S <sub>12</sub> gerilmeleri .....	211
Şekil 3.88	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	212
Şekil 3.89	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S <sub>13</sub> gerilmeleri .....	213
Şekil 3.90	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	214
Şekil 3.91	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S <sub>23</sub> gerilmeleri .....	215
Şekil 3.92	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri.....	218
Şekil 3.93	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri.....	219
Şekil 3.94	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri .....	220
Şekil 3.95	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri .....	221
Şekil 3.96	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri.....	222

Şekil 3.97	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri .....	223
Şekil 3.98	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri .....	224
Şekil 3.99	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri .....	225
Şekil 3.100	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri .....	226
Şekil 3.101	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri .....	227
Şekil 3.102	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri .....	228
Şekil 3.103	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri .....	229
Şekil 3.104	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri .....	230
Şekil 3.105	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri .....	231
Şekil 3.106	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri .....	232
Şekil 3.107	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri .....	233
Şekil 3.108	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri .....	234
Şekil 3.109	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri .....	235
Şekil 3.110	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri .....	236
Şekil 3.111	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri .....	237
Şekil 3.112	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri .....	238
Şekil 3.113	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri .....	239
Şekil 3.114	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri .....	240
Şekil 3.115	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri .....	241
Şekil 3.116	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri .....	242

Şekil 3.117	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri.....	243
Şekil 3.118	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri .....	244
Şekil 3.119	Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri .....	245





## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.1	Proje aşamasındaki kemer barajlar..... 17
Tablo 1.2	Dünyadaki kemer barajlar ..... 18
Tablo 1.3	Statik yükleme grupları ..... 27
Tablo 1.4	Dinamik yükleme grupları ..... 28
Tablo 1.5	Hava sıcaklık değerleri..... 38
Tablo 1.6	Hava sıcaklık değerlerinin elde edilmesine bir örnek ..... 39
Tablo 1.7	Devam ..... 40
Tablo 1.8	A.B.D’ deki bazı barajlarda yıllık ortalama sıcaklık ile beton döküm sıcaklıkları ..... 44
Tablo 2.1	Kemer dilimlerinin geometrik yerleri ..... 82
Tablo 2.2	En kesit geometrisine göre kemer baraj tipleri..... 91
Tablo 2.3	Meteorolijiden alınan aylık ortalama hava sıcaklık değerleri ..... 114
Tablo 2.4	Meteorolijiden alınan günlük ortalama hava sıcaklık değerleri .. 114
Tablo 2.5	Su seviyesi 180 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri..... 115
Tablo 2.6	Su seviyesi 160 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri..... 116
Tablo 2.7	Su seviyesi 140 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri..... 117
Tablo 2.8	Su seviyesi 120 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri..... 118
Tablo 2.9	Su seviyesi 100 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri..... 119
Tablo 2.10	Su seviyesi 80 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri..... 120
Tablo 2.11	Su seviyesi 60 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri..... 121
Tablo 3.1	Aylara göre sıcaklık analizinde, çeşitli su seviyeleri için kret noktasında meydana gelen yatay yer değiştirmeler..... 123
Tablo 3.2	Aylara göre sıcaklık analizinde, çeşitli su seviyeleri için barajda meydana gelen maksimum çekme gerilmeleri ..... 216
Tablo 3.3	Aylara göre sıcaklık analizinde, çeşitli su seviyeleri için barajda meydana gelen minimum basınç gerilmeleri ..... 217

## SEMBOLLER DİZİNİ

- A : Kret seviyesindeki her kemer mesnetinde zemin eşyükseleti eğrisi ile baraj ekseninin kesiştiği yer
- $A_{w,s}$  : Yüzeydeki yıllık su sıcaklık genliği
- B : Kret seviyesindeki her kemer mesnetinde zemin eşyükseleti eğrisi ile baraj ekseninin kesiştiği yer
- C : Temelde anahtar kesitin memba yüzeyini belirleyen nokta
- C : Şekil değiştirme kapasitesi
- CD : Anahtar kesitten baraj eksenini referans alınarak memba yüzeyine ölçülen kalınlık
- $c_i$  :  $t_i$  anındaki akma oranı
- $C_1$  : Kret uzunluğu
- dt : Başlangıç sıcaklık artışı
- E : 220 m kotundaki kemerin memba yüzeyinin arazi ile temas ettiği nokta
- e : Isıl genişleme katsayısı
- $E_i$  :  $t_i$  anındaki elastisite modülü
- $e_i$  :  $t_i$  anındaki düzgün ısı genişleme katsayısı
- F : 220 m kotundaki kemerin memba yüzeyinin arazi ile temas ettiği nokta
- G : Baraj ekseninin plandaki 220 m kotundaki iz düşümü
- H : Baraj yüksekliği
- $H_{dr}$  : Rezervuar yüksekliği
- HG : Anahtar kesitten baraj eksenini referans alınarak mansap yüzeyine ölçülen kalınlık
- $l_{min}$  : enjeksiyon için kabul edilebilir bir derz açıklığı meydana getiren bloğun en küçük boyutu (kalınlığı)
- $L_1$  : Kret seviyesinde yerleştirildiği kabul edilen kemerin mesnetleri arasındaki mesafe
- $L_2$  : Temelden  $0.15H$  yukarıdaki mesnetler arasındaki doğru mesafesi
- $Q_{a,i}$  : i. aydaki ortalama aylık hava sıcaklığı
- $Q_{a,y}$  : Ortalama yıllık hava sıcaklığı
- $\overline{\theta_{w,b}}$  : Rezervuar tabanındaki ortalama yıllık su sıcaklığı
- $\overline{\theta_{w,s}}$  : Rezervuar yüzeyindeki ortalama yıllık su sıcaklığı
- $Q_w(z,t)$  : Rezervuar sıcaklığı

R	: Kısıtlama derecesi (%)
R	: Kemer itki kuvveti
$R_{EKSEN}$	: Eksen yarıçapı
$S_{11}$	: x-x eksenindeki gerilme
$S_{22}$	: y-y eksenindeki gerilme
$S_{33}$	: z-z eksenindeki gerilme
$S_{12}$	: x-y eksenindeki gerilme
$S_{13}$	: x-z eksenindeki gerilme
$S_{23}$	: y-z eksenindeki gerilme
t	: Yılın günü
$T_C$	: Kret seviyesindeki kemerin kalınlığı
$T_B$	: Taban seviyesindeki kemerin kalınlığı
$T_f$	: Nihai kararlı beton sıcaklığı
$T_g$	: Derzlerin enjeksiyon yapıldığı sıcaklıktır (tasarım enjeksiyon sıcaklığı)
$T_H$	: Günlük ortalama hava sıcaklık değeri
$T_i$	: $t_i$ anındaki sıcaklık
$T_i$	: Beton döküm sıcaklığı
$T_{i-1}$	: $t_{i-1}$ anındaki sıcaklık
$T_n$	: $t_n$ anındaki beton sıcaklığı
$T'_n$	: $t_n$ anındaki yapının doğal enjeksiyon sıcaklığı
$t_0$	: Hava sıcaklığının en fazla olduğu gün
$T_{0,45}$	: Tabandan 0,45H yükseklikteki kemerin kalınlığı
$T_1$	: Beton döküm sıcaklığı
$T_2$	: Maksimum ve pik sıcaklık
$T_3$	: Doğal enjeksiyon sıcaklığı veya derzlerin açılmaya başladığı sıcaklık
$T_4$	: Tasarım enjeksiyon sıcaklığı veya büzülme derzlerinin enjeksiyonunun yapıldığı beton sıcaklığı
$T_{10}$	: Rezervuar yüksekliği 10 m de iken rezervuar sıcaklığı
$T_{30}$	: Rezervuar yüksekliği 30 m de iken rezervuar sıcaklığı
$T_{50}$	: Rezervuar yüksekliği 50 m de iken rezervuar sıcaklığı
$T_{70}$	: Rezervuar yüksekliği 70 m de iken rezervuar sıcaklığı
$T_{90}$	: Rezervuar yüksekliği 90 m de iken rezervuar sıcaklığı
$T_{110}$	: Rezervuar yüksekliği 110 m de iken rezervuar sıcaklığı

$T_{130}$	: Rezervuar yüksekliği 130 m de iken rezervuar sıcaklığı
$T_{150}$	: Rezervuar yüksekliği 150 m de iken rezervuar sıcaklığı
$T_{170}$	: Rezervuar yüksekliği 170 m de iken rezervuar sıcaklığı
$U_1$	: x-x eksenindeki yer değiştirme
$V$	: Beton hacmi
$w_{t_i}$	: $t_i$ anındaki ağırlık
$w_{t_{i-1}}$	: $t_{i-1}$ anındaki ağırlık
$x$	: Derzi enjeksiyon yapabilmek için gerekli derz açıklığı
$z$	: Rezervuar derinliği
$\alpha$	: Şekil 1.12’de kaya yüzeyi civarında yüksek kayma gerilmelerini önlemek için kullanılan aı
$\beta$	: Şekil 1.12’de baraj planının hazırlanışında kullanılan yardımcı aı
$\Delta A_r$	: Güneş işınlarına bağlı olarak genlikteki artış
$\Delta T$	: Sıcaklıktaki değişim
$\Delta Q_r$	: Güneş işınlarına bağlı sıcaklık artışı
$\Delta w_t$	: Ağırlıktaki artımsal değişim
$\epsilon_i$	: $t_i$ anındaki toplam artımsal Şekil değiştirme
$\epsilon_t$	: $t_{i-1}$ anından $t_i$ anına kadar sıcaklık değişiminden dolayı meydana gelen artımsal Şekil değiştirme
$\epsilon_{wt}$	: $t_{i-1}$ anından $t_i$ anına kadar ek ağırlıktan dolayı meydana gelen artımsal Şekil değiştirme
$\mu_i$	: $t_i$ anındaki poisson oranı
$\sigma_i$	: $t_i$ anındaki toplam artımsal gerilme
$\sigma_{i-n}$	: $t_i$ anında bir Şekil değiştirme artımından dolayı $t_n$ anındaki gerilme
$\sigma_n$	: $t_n$ anındaki toplam gerilme
$\omega_w$	: Su sıcaklık değişiminin açısal frekansı

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Su, insanlar için hava kadar önemli bir ihtiyaç maddesidir. İnsanlar hayatlarını sürdürebilmek için içme ve kullanmada ihtiyacı kadar suyu bulmak zorundadır. Dünyadaki toplam su miktarı  $1,4 \times 10^9 \text{km}^3$  (bir milyar dört yüz milyon kilometre küp) olup suyun %97'si deniz ve okyanuslarda ( $1,3 \times 10^9 \text{km}^3$ ) bulunmakta, %1'i buz ve kardan oluşmakta, %2'si akarsu, göl ve yer altı sularından ( $3,3 \times 10^7$ ) oluşmaktadır (Kızılkaya ve Yegül, 1979). Yapılan incelemelerde temiz ve kullanılabilir suyun dünyadaki toplam su miktarının ancak %1'i olduğu saptanmıştır. Bu bile insanlar için iyi değerlendirilmesi halinde fazlasıyla yeterli bir miktardır. Ne yazık ki, dünyanın su kaynaklarının gereksizce kullanılması, israf edilmesi ilerleyen yıllarda birçok ülkenin içme ve kullanma suyu sorunuyla karşı karşıya kalmasına sebep olacaktır. (Kızılkaya ve Yegül, 1979)

Su ihtiyaçlarının karşılanması mühendisliğin en önemli alanlarından birisidir. Tabiiatta bulunan su, doğrudan insan ihtiyacını karşılayamayacağı için çeşitli işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, çeşitli su yapıları inşa etmek gerekmektedir ki, bunların en önemlisi barajlardır.

Barajlar, akarsuların yaptığı taşkınları önlemek, enerji elde etmek, içme ve kullanma suyu, sulama suyu temini için akarsular üzerine çeşitli tipte inşa edilen su tutucu ve su depolayıcı mühendislik yapılarıdır (Kızılkaya ve Yegül, 1979). Barajların faydaları şu şekilde sıralanabilir (Turfan, 1996):

- Hidroelektrik enerji üretir.
- İçme, kullanma ve endüstri için gerekli suyu düzenli ve sürekli sağlar.
- Tarım alanlarının zamanında ve yeterli olarak sulanmasını sağlar.
- Su üzerinde ulaşım olarak sağlar.
- Su ürünleri üretiminde özellikle balıkçılığın gelişmesini sağlar.
- Milli güvenlik üzerinde olumlu etki yapar.
- İklim üzerinde olumlu etki yapar.
- İstihdama olumlu katkısı vardır.
- Su kalitesinin ve kirliliğinin kontrolünü sağlar.

Barajlar yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır (Turfan, 1996):

- Tabii dengenin bozulmasının önlenmesi,

- Rezervuar içinde kalan tarım alanlarının ve doğal kaynakların kullanılmaması,
- Rezervuar içinde kalan yerleşim merkezlerinin nakli,
- Kıyı erozyonunun artmasının önlenmesi,

Baraj tipi seçimine sebep olan etkenler ise şu şekilde sıralanabilir (Kızılkaya ve Yegül, 1979):

- Vadinin bulunduğu bölgenin topografik özellikleri,
- Vadinin şekli,
- İklim şartları,
- Çalışma olanakları,
- Ekonomik maliyet,

## 1.2. Literatür Araştırması

Barajlar ile ilgili ilk çalışmalar, çok basit ve yaklaşık yöntemlerle yapılmaktaydı. Deneysel ve sayısal olarak, sıcaklık yükünün barajlar üzerindeki önemli etkileri yapılan çalışmalardan da görülmektedir.

Chen vd. (2001), inşaa süresi boyunca silindire sıkıştırılmış bir beton barajda sıcaklık ve termal gerilme dağılımının simülasyon analizi için üç boyutlu sonlu eleman yer değiştirme ağ yöntemi geliştirmişlerdir. Betonun yaşı uygun olduğunda, betonun yaşı ve özgül özellikleri arasındaki ilişkiye göre bazı ağların daha büyük bir ağla veya birkaç büyük ağla birleştirilebileceğini vurguladılar. Baraj yüksekliği arttıkça, elemanlar ve düğüm noktalarının toplam sayısının önemli ölçüde düşeceğini belirtmişlerdir. Bu yöntem kullanılarak, bir silindire sıkıştırılmış beton barajda termal gerilmenin üç boyutlu simülasyon analizinin mikrobilgisayarda gerçekleştirilip, şantiye ortamında görülebileceğini vurgulamışlardır.

Sheibany ve Ghaemian (2006), Karaj Kemer Barajı'nda üç boyutlu sonlu eleman analizi ile barajın sıcaklık gerilmelerini incelediler. Bu çalışmanın sonucunda, olası çatlakların barajın mansap yüzündeki oldukça dar bölgelerde meydana geleceğini gösterdiler. Bu çalışmada, mansap yüzündeki çatlak alanları yüksek sıcaklıkların olduğu bölgelerde oluşmuştur. Bu bölgelerde de güneş ışınlarının etkisi görülmüştür. Böylece iki boyutlu kemer baraj analizinin kesin sonuçlar vermediğini ve üç boyutlu analiz gerektiğini vurgulamışlardır.

Jaafar vd. (2007), silindirle sıkıştırılmış beton barajların gövdesinde sıcaklık dağılımını belirlemek için geliştirilen sonlu eleman bilgisayar kodları ile ilgilenmişlerdir. Bu sonlu eleman kodu, barajın inşa takviminin termal tepkisinin çözümünde uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, barajın inşa takvimini değiştirmenin kritik bölgelerde çekme gerilmelerinin azalmasını sağladığını, böylelikle maksimum sıcaklık bölgelerinin yerlerinin en uygun hale getirilebileceğini vurgulamışlardır.

Léger ve Leclerc (2007), kemer baraj kesitlerinde sıcaklık değişimlerini, bir boyutlu zamana bağlı ısı transfer denklemlerinin frekans alan çözüm algoritmalarıyla tanımlanmasını incelediler. Barajın memba ve mansap yüzeylerinin sıcaklık değişimlerini belirlemekte doğrudan sorun için mekânsal dağılımı ve zaman değişimi ve baraj kesitinin içine yerleştirilen termometre ile ölçülen sıcaklıkta zıt problemler için algoritmalar geliştirdiler.

Ardebili ve Kianoush (2014), bir kemer barajın kalibrasyon işlemi ve doğrusal olmayan sismik tepkilerini incelediler. Bu çalışmanın sonucunda, termal yüklerin ince yüksek kemer barajların statik tepkileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bunun kalibrasyon işleminde dikkate alınması gerektiğini gösterdiler.

Li vd. (2014), bir kemer barajın işletme sırasında ölçülen verilere dayanarak sonlu eleman modeliyle su izolasyonundan sonra sıcaklık artışını üzerine sayısal analizi incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, su izolasyonundan sonra baraj sıcaklığı ve su izolasyon sıcaklığı arasındaki farklılıkların basınç veya çekme gerilmelerine sebep olacağını göstermişlerdir. Ölçüm yapılan barajda, barajın su izolasyon bölgelerinde sıcaklık artış olgusu bulmuşlardır. Sonlu eleman modelindeki sonuçlar, ölçülen sıcaklık ile doğrulanmış ve baraj dış sıcaklığı, su izolasyon sıcaklığından daha yüksek olması sebebiyle sıcaklık artış olgusu oluşur varsayımını doğrulamışlardır.

Mirzabozorg vd. (2014), ince ve yüksek kemer barajların ısı dağılımında güneş ışınlarının etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, güneş ışınlarının büyük ölçüde yüzey sıcaklığını değiştirdiğini ve düzgün olmayan sıcaklık dağılımına yol açtığını gözlemlemişlerdir. Bu sebeple, ince kemer barajların termal analizinde güneş ışınları etkilerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Zhang vd. (2014), barajların yapım aşamasındaki termal gelişiminin sınır yüz yöntemi ile tahmin edilmesine yönelik bir metodoloji açıkladılar. Ağırlık barajlarında ısı oluşumu ile beton hidrasyonundan dolayı sıcaklığın hesaplanmasında sınır yüz yöntemi uygulandığını vurguladılar.

Tatin vd. (2015), istatistiksel modellerle su sıcaklığını hesaplayarak beton barajların termal yer değiştirmesini incelediler. Beton baraj yer değiştirme ölçümlerinin hidrostatik yük, ısı etkisi, kayma ve şişme gibi çeşitli faktörlerden etkilendiğini vurguladılar.

Santillán vd. (2015 a), iklim değişikliğinin altyapıların yapısal davranışı üzerindeki etkisini değerlendiren bir metodoloji önerdiler. Çalışmanın sonucunda kemer barajlarda boş ve orta yükseklikteki rezervuarın maksimum çekme gerilmelerini artıracaklarını, bununla birlikte, dolu rezervuar için çekme gerilmelerinin azalması gerektiğini gösterdiler. Hidrostatik ve termal yüklerin zıt etkiler doğurduğunu vurguladılar.

Santillán vd. (2015 b), çevresel etkilere bağlı olarak beton barajların termal alanının hesaplanması için yeni bir analitik model oluşturdular. Bu çalışmanın sonucunda, spesifik sınır koşulları altında ısı difüzyon denkleminin yeni bir analitik çözümünü önerdiler. Önerilen modelin diğer programlara kolayca entegre edilebileceğini belirterek küresel ısınmanın kritik altyapılara etkisi incelemek veya yeni yapıların tasarımını yapmak gibi çok sayıda simülasyona ihtiyaç duyan olasılıkçı yaklaşımları için verimli bir araç olduğunu vurguladılar.

### **1.3. Tezin Amacı ve İçeriği**

Literatür araştırması sonucunda, sıcaklık etkilerinin barajlar üzerinde ne kadar önemli olduğu görülmüştür. Bu sebeple, kemer barajda değişen rezervuar seviyelerinde mevsimsel hava durumuna göre değişen rezervuar sıcaklığına bağlı statik analiz yapılarak, kemer barajlarda oluşan gerilme değişimler incelenmiştir. Bu amaçla, Artvin ili Çoruh nehri üzerinde bir kemer baraj tasarlanıp Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen 2014 yılına ait günlük ortalama hava sıcaklık değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu çalışmada, sıcaklık rezervuar yüzeyinden rezervuar tabanına kadar değişim gösteren rezervuar sıcaklıkları, her 20 metrede belirlenecek sıcaklığın sabitlendiği noktaya kadar uniform olarak uygulanmıştır.

### **1.4. Barajlar Hakkında Genel Bilgiler**

#### **1.4.1. Barajların Sınıflandırılması**

Barajlar çeşitli yönlerden sınıflandırılabilir.



- Büyüklüklerine Göre Sınıflandırma:

Barajlar büyüklüklerine göre büyük baraj veya küçük baraj olarak sınıflandırılabilir. Bununla beraber bu sınıflandırmayı kesin tanımlar ile vermek mümkün değildir. Uluslar arası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) büyük baraj tanımı için aşağıdaki şartları vermektedir.

-Kret ile temeli arasındaki yükseklik 15 m den fazla olan barajlar.

-Yüksekliği 10 ile 15 m arasında olan fakat buna ek olarak,

a) Kret uzunluğu  $> 500$  m,

b) Hazne hacmi  $> 1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>,

c) En büyük taşkın debisi  $> 1000$  m<sup>3</sup>/s,

d) Baraj temeli: Özel sorunlar var,

e) Baraj projesi: Alışılmıştan farklı, gibi hususlardan en az birisinin mevcut olduğu barajlar büyük baraj olarak isimlendirilir.

Küçük baraj, Türkiye’de son zamanlarda kullanılan şekli ile *gölet* ise büyük baraj tanımı dışında kalan, etüd, proje ve inşaat esasları daha basit ve çabuk sonuç alıcı kriterlere göre yapılan barajlardır.

- Yapılış Amaçlarına Göre Sınıflandırma:

Bir baraj bir veya birkaç alanda hizmet etmek için tek veya çok amaçlı olarak planlanır. Çok amaçlı barajlar esas yapılış amacına göre, içme suyu barajı, endüstri suyu barajı, sulama barajı, kabarma barajı, çevirme barajı, birikintili baraj, mesire barajı, çevre koruma barajı ve kül barajı olarak isimlendirilir (Berkün,2005).

- Gövde Malzemesine Göre Sınıflandırma:

Barajlar gövdesinde kullanılan malzemeye göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Berkün,2005);

a) Kagir Baraj:

-Taş ve tuğla baraj,

-Beton baraj,

-Betonarme baraj,

-Öngerilmeli beton baraj,

b) Dolgu Baraj:

-Toprak baraj,

-Kaya dolgu baraj,

c) Kısmen kargir, kısmen dolgu baraj,

d) Çerçeveleli Baraj:

-Çelik baraj,

-Ahşap baraj,

• Gövdenin Statik Projelendirilmesine Göre Sınıflandırma:

Barajlar gövdenin statik projelendirilmesine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Berkün,2005);

-Ağırlık barajı,

-Kemer ağırlık barajı,

-Kemer baraj,

-Payandalı baraj,

-Toprak dolgu baraj,

-Kaya dolgu baraj

Baraj tiplerinden söz edildiğinde genellikle bu son sınıflandırma şekli anlaşılır. 1980'li yıllardan sonra silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (SSB) yaygın olarak kullanılmaktadır (Berkün,2005).

#### **1.4.2. Barajların Bölümleri ve Bazı Tanımlar**

Barajların bölümleri ve bazı tanımlar aşağıda verilmiştir (Berkün,2005):

Talvegden yükseklik: Akarsu tabanından baraj kretine kadar olan yüksekliktir.

Temelden yükseklik: Baraj temelinden kretine kadar olan yüksekliktir.

Hidrolik yükseklik: Akarsu tabanından maksimum rezervuar seviyesine kadar baraj eksenindeki yüksekliktir.

Baraj gövdesi: Bütün vadiyi kapatarak yapay bir göl oluşmasını sağlar. Genellikle beton veya dolgu malzemesinden inşa edilen sabit bir yapıdır.

Baraj gölü: Baraj gövdesinin arkasında suyun depolandığı vadi kısmıdır. Baraj gölü, ölü hacim, faydalı hazne hacmi ve taşkın koruma hacminden oluşur.

Su alma yapısı: Baraj gölünde toplanan suyun alınmasını sağlayan yapıdır.

Dolu savak: Taşkın sularının mansaba aktarılarak yapının emniyetini sağlayan tesistir.

Dip savak: Gerektiğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolusavak debisini azaltmak, akarsu mansabına bırakılması gerekli miktarda suyu vermek için kullanılan tesistir. Derivasyon tesisleri: Bir derivasyon sistemi baraj inşaatının kum bir ortamda yapılmasını sağlar. Suyun inşaat alanına girmesini önleyen batardolardan ve suyun mansaba aktarılmasını sağlayan açık veya kapalı iletim tesislerinden oluşur.

Diğer tesisler: Barajın hizmet ettiği amaca uygun olarak enerji santralleri, içme suyu arıtma tesisleri, balık geçidi, tomruk geçidi gibi yapılardır.

## **1.5. Kemer Barajlar Hakkında Genel Bilgiler**

Kemer barajlar hakkında genel bilgiler Dumanoğlu ve Akköse (2001) kaynaklarından alınmıştır. Farklı kaynaklar ayrıca belirtilecektir.

### **1.5.1. Kemer Barajlar İçin Kullanılan Bazı Terimler**

Aşağıda kemer barajların projelendirme ve analizinde kullanılan bazı terimlerin tanımı yapılmış olup, aynı zamanda şekilde üzerinde gösterilmiştir.

- Kemer (veya Kemer Dilimi): Kemer (veya kemer dilimi), barajın planda iki yatay düzlem ile çevrili kısmıdır. Kemerlerin kalınlığı, üniform olarak projelendirilebildiği gibi referans düzleminin her iki yanında dereceli olarak artan şekilde de projelendirilebilir.

- Anahtar Kemer (veya Ana Kemer): Anahtar kemer (veya ana kemer), maksimum uzunluğa sahip kemer dilimini gösterir. Genellikle bu, barajın kretindeki kemerdir.

- Konsol (veya Konsol Dilimi): Konsol (veya konsol dilimi), barajın düşeyde iki radyal düzlem arasında kalan kısmıdır.

- Anahtar Kesit (veya Ana Konsol): Anahtar kesit (veya ana konsol), maksimum yüksekliğe sahip düşey konsol olarak tanımlanır ve genellikle nehir yatağında eksen merkezine radyal olarak yerleştirilir. Anahtar kesit ve anahtar kemer, simetrik kemer barajlarda aynı yerdedir. Simetrik olmayan kemer barajlarda ise, anahtar kemer barajın uzun kenarına doğru yerleştirilir. Buna göre, maksimum radyal deplasman, simetrik barajların anahtar kesitinde oluşurken simetrik olmayan kemer barajlarda genellikle

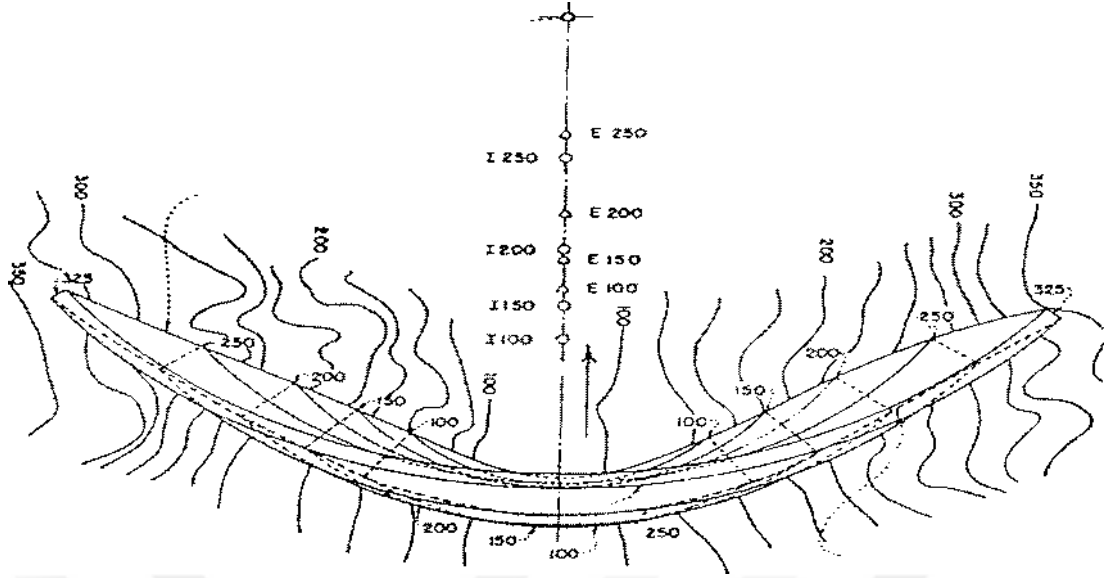
anahtar kesit ile anahtar kemer arasında meydana gelir.

- Kret: Kret, baraj gövdesinin en yüksek noktalarının geometrik yeridir.
- Kret Uzunluğu: Baraj gövdesi en yüksek kısmının sağ ve sol yamaç arasındaki uzunluğudur.

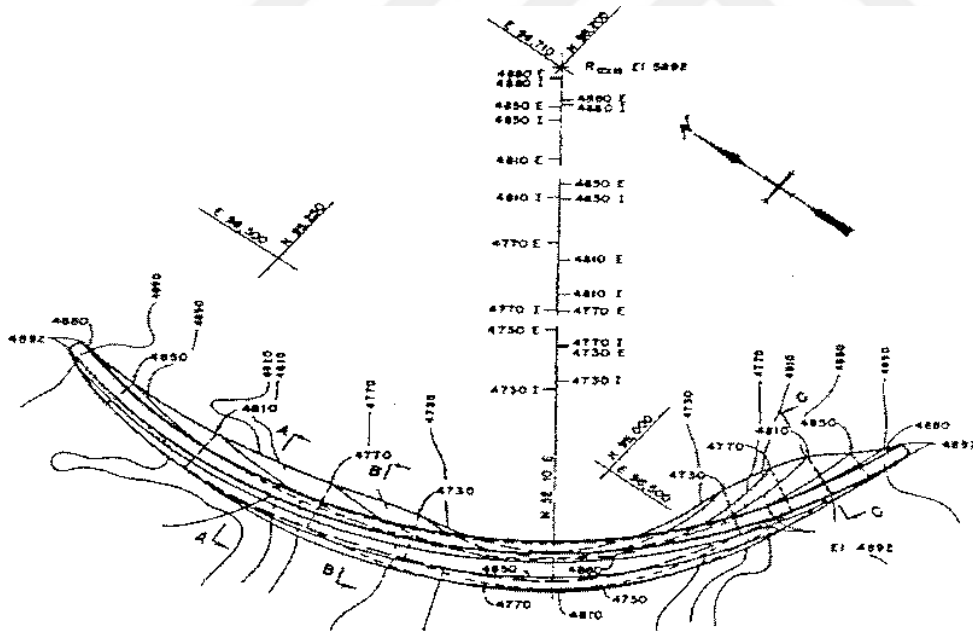
• Referans Düzlemi: Referans düzlemi, genellikle nehir yatağında tesis edilen düşey radyal bir düzlemdir. Bu düzlemin ekseni, anahtar kesitin memba yüzeyi tarafındaki kret noktasını kesen ve planda eğrilikli düşey bir yüzeydir. Bu eksen, planda eksen yarıçapı ile oluşturulup, merkezi mansapta bulunmaktadır. Referans düzlemi teorik olarak bir, iki veya üç merkezden oluşmaktadır. Bir merkezli referans düzlemi, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi simetrik bir vadide kurulan kemer baraja ait kemer dilimlerini tanımlamak için kullanılır. İki merkezli referans düzlemi, simetrik olmayan vadilerde inşa edilen kemer barajların kemer dilimlerini tanımlamak için kullanılır. Şekil 1.2, iki merkezli referans düzlemine sahip bir kemer barajı göstermektedir. Üç merkezli referans düzlemi ise, Şekil 1.3'te gösterildiği gibi üç merkezli kemer barajı tanımlamak için kullanılır.

• Sağ Yamaç (Sağ Sahil): Sağ yamaç, nehir akış yönüne göre sağ tarafta kalan yamaç olarak tanımlanmaktadır.

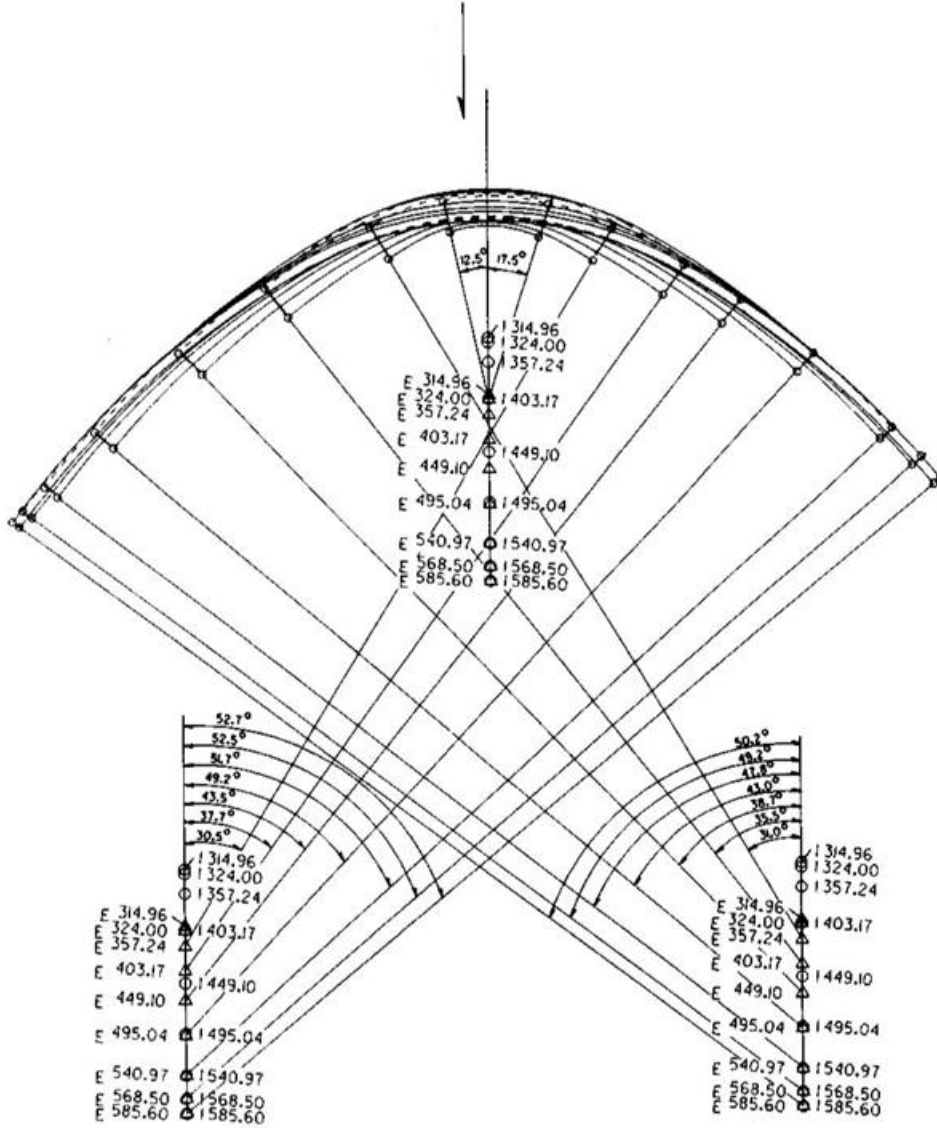
• Sol Yamaç (Sol Sahil): Sol yamaç, nehir akış yönüne göre sol tarafta kalan yamaç olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.1 Simetrik bir vadide tek merkezli değişken kalınlıklı tipik bir kemer baraj (USACE, 1994)



Şekil 1.2 Simetrik olmayan bir vadide iki merkezli değişken kalınlıklı tipik bir kemer baraj (USACE, 1994)

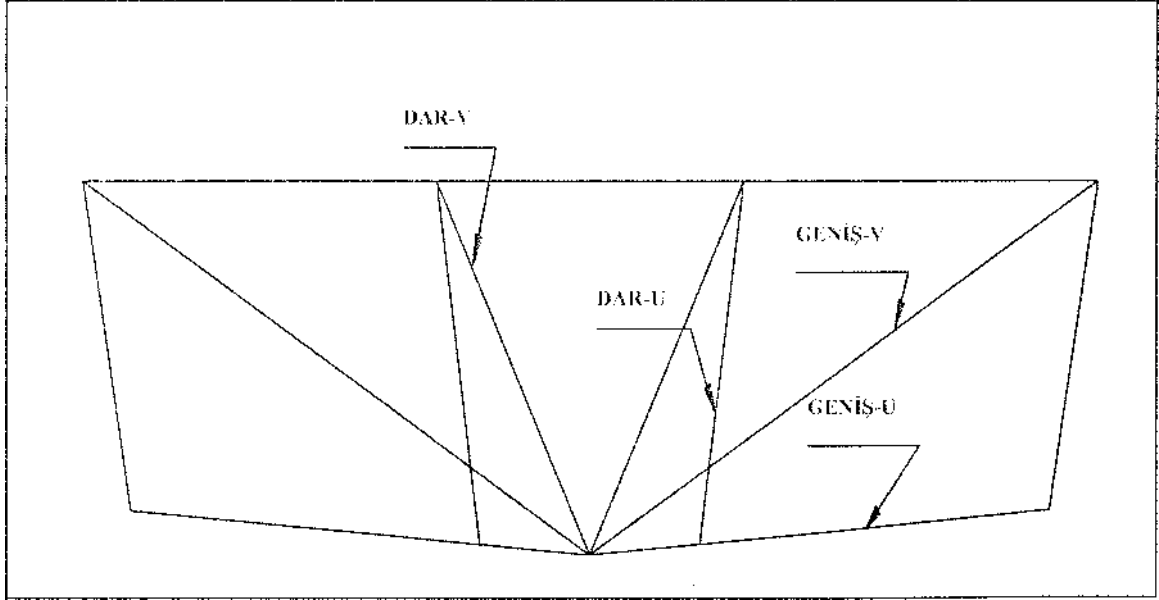


Şekil 1.3 Üç merkezli değişken kalınlıklı tipik bir kemer baraj  
(USACE, 1994)

### 1.5.2. Kemer Barajlar İçin Vadi Şekilleri

Bütün vadi şekilleri, dar-V, geniş-V, dar-U ve geniş-U tipli olarak sınıflandırılabilir. Bu vadi tipleri, Şekil 1.4'de şematik olarak gösterilmiştir. Kemer barajların inşası için düşünülen bütün vadilerde, kret uzunluğunun ( $C_1$ ) yüksekliğe, (H) oranı ( $C_1/H$ ) esastır. Baraj yüksekliği ve merkez açısı gibi faktörler karşılaştırma için eşit olduğu kabul edildiğinde, geniş vadilerde projelendirilen barajlarda oluşan kemerler, dar vadilerdeki kemerlerden konsol rijitliği bakımından eğilmeye daha yatkındır. Ayrıca, baraja gelen yükün büyük kısmı konsol etkisi ile sağ ve sol yamaçlara aktarılır. Ancak, vadinin her iki

kenarındaki kemer boyları,  $0.15H$  ile  $0.85H$  arasında %5'den daha az değişim gösterirse vadi simetrik olarak düşünülür.



Şekil 1.4 Çeşitli baraj vadilerinin şematik profilleri (USACE, 1994)

Simetrik olmayan vadiler, barajlarda anahtar kesitin bir tarafından diğer tarafına göre daha uzun kemerlerin oluşmasına sebep olur. Bu tip vadilerdeki barajlar, muhtemelen iki referans düzlemine sahiptir. Şekil 1.1'de, böyle bir vadede inşa edilmiş bir kemer barajın her kenar için bir tane referans düzlemine sahiptir. Dik vadi yamaçları, barajda kısa kenarların ve kısa yarıçapa sahip referans düzleminin oluşmasına sebep olur. Bu ise barajda kemer etkisini artırır. Halbuki uzun kenar, barajda kemer etkisini azaltır ve kemerin mesnetlere doğru rölatif olarak kalınlaşmasına yol açar. Genelde, her kemer seviyesinde en büyük deplasman anahtar kesitte değil, daha çok kemerlerin orta noktasına doğru oluşur. Simetrik olmayan vadilerde, barajın her kenar için bir eksen yarıçapı ( $R_{EKSEN}$ ) gerekli olmaktadır. Bazı durumlarda bu eksen yarıçapı her kenar için farklı uzunluğa sahip olabilir. Bu sebeple kemerler, üniform veya değişken kalınlıklı olur. Simetrik olmayan bir profile sahip bir kemer barajda, bir gerilme yığılma bölgesinin oluşması muhtemeldir. Böyle durumlarda simetrik olmayan planların iyileştirilmesi uygun yerlerde derin kazılar yaparak, suni mesnetler inşa ederek veya barajın yerleşimini veya şeklini tekrar gözden geçirerek sağlanabilir.

- Dar-V Tipi Vadi

Dar-V tipi vadi, kret uzunluğunun yüksekliğe oranı 2 veya daha az olan bir baraj yapılmasına müsaade eden vadi şeklindedir. Bu tipteki vadilerin yamaçları genellikle düzdür ve nehir yatağına doğru birbirine yaklaşır. Bu vadi tipi, barajın üzerine gelen yükü büyük oranda kemer etkisi ile yamaçlara aktarılmasına sebep olduğundan, kemer barajlar için birinci derecede tercih edilir. Dar-V tipi vadilerde, kemerler üniform kalınlıklı, konsollar ise anahtar kemerde az bir eğrilige sahip ve hemen hemen düşeydir. Kemer iç ve dış yüzü, muhtemelen planda dairesel ve baraja nispeten incedir. Kemerlerde aşırı çekme gerilmelerinin oluşması istenmediği için kemerlerde mümkün olduğu kadar fazla eğrilik meydana getiren bir plan tipi kullanılmalıdır. Bazı vadilerde, düşük seviyeli kemerlerde daha büyük eğrilik elde etmek için dairesel yay merkezlerinin yerleşimi değiştirilmek suretiyle değişken kalınlıklı kemerler kullanmak gerekebilir. Şekil 1.2, simetrik olmayan bir vadi için iki merkezli değişken kalınlıklı bir kemer baraja örnek teşkil etmektedir.

- Geniş-V Tipi Vadi

Geniş-V tipi vadi, kret uzunluğunun yüksekliğe oranı 5 veya daha fazla olan bir baraj yapılmasına müsaade eden vadi şeklindedir. Kemer barajlar için bu oranın üst sınırı, 10'dur. Vadi yamaçları çok belirgin ve dalgalı olabilir. Ancak kazı işleminden sonra nehir yatağına doğru V-tipi çıkıntılar daha az belirgin, genellikle düz hale getirilebilir. Bu tip vadilerde, kemer baraj üzerine gelen yükün büyük bir kısmı kemer etkisi ile kaya yamaçlara aktarılır. Kemerlerin kalınlığı, yamaçlara yakın kısımlarda bazen artmakla birlikte genellikle üniform olur. Anahtar kesit, aynı yükseklikli dar-V tipinden daha eğrilikli ve daha fazla temel kalınlığına sahip olabilecektir. Planda, kret büyük ihtimalle üç merkezli kemerlere sahip olacak ve nehir yatağına doğru tek merkezli dairesel kemerlere geçilecektir. Kemerler, dar-V tipi vadi şeklinden daha kalın olur.

- Dar-U Tipi Vadi

Dar-U tipi vadilerde, yamaçlar vadinin üst yarısında hemen hemen düşeydir. Nehir yatağının genişliği oldukça büyüktür (krette vadi genişliğinin hemen hemen yarısı kadar).  $0.25H$  yüksekliğinin üstünde hareketli yükün çoğu kemer etkisi ile kaya yamaca aktarılır.  $2.5H$  yüksekliğinin altında ise, bu yükler en yakın noktaya doğru konsol etkisiyle aktarılır. Bu vadilerde, kemerler daha ziyade uzun olurken konsollar kısa ve kalın olur. Kemerler üst kısımlarda üniform kalınlıklı, ancak nehir yatağına (vadi tabanına) yakın kısımlarda değişken kalınlıklı olacaktır. Anahtar kesit, aynı yüksekliğe sahip dar-V tipi vadidekinden daha eğriliklidir. Kemerlerin iç ve dış yüzü, planda genellikle dairesel olur. Kemerler vadinin dar olmasından dolayı incedir. Geniş-U tipi vadilerde inşa edilen kemer barajlarda



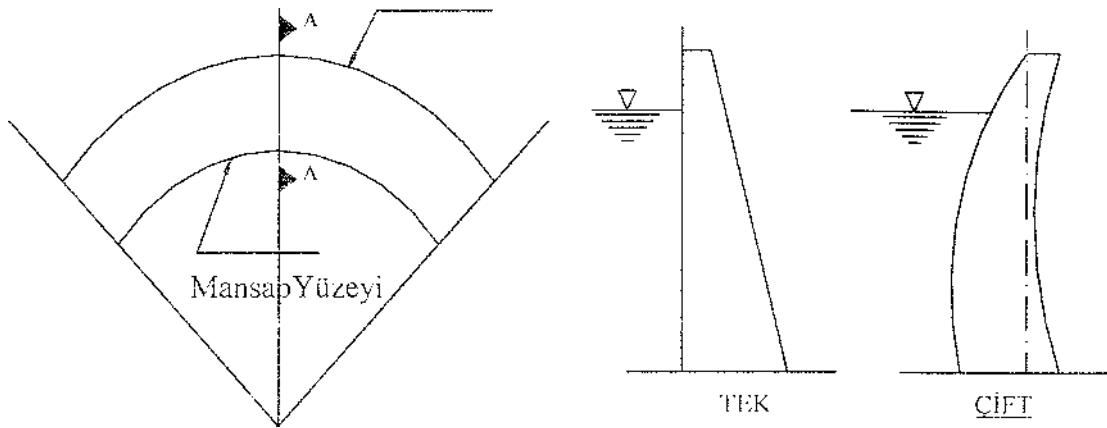
aşağı kesimlerdeki kemerler krete yaklaştıkça hemen hemen aynı uzunluktadır. Böyle durumlarda; değişken kalınlıklı bir kemer planının kullanımı doğal olarak nispeten üniform gerilme dağılımı sağlayacaktır.

- Geniş-U Tipi Vadi

Geniş-U tipi vadilerde, kemerlerin çoğu kret uzunluğuna kıyasla uzun olduğundan bir kemer baraj tasarımı için oldukça az tercih edilir.  $0.25H$  yüksekliğinin altında, hareketli yükün çoğu konsol etkisi ile taşınır. Çünkü, uzun eğilebilir kemerler rölatif olarak çok az yük taşır. Bu kesimlerde artan su basıncını karşılamak için konsol kalınlığını ani olarak artırmak yoluna gidilir. Yatay düzlemde kemer kalınlık değişimi, krette üniform, nehir yatağında değişken olacak şekilde düzenlenebilir. Üniform kalınlıktan değişken kalınlığa geçiş, muhtemelen üst üçte bir yükseklik civarında yaşanacaktır. Bu tip vadilerde anahtar kesit, herhangi bir vadi tipinin en eğrilikli olanına sahiptir.

### 1.5.3. Kemer Baraj Geometrisi

Kemer barajlar genel olarak tek ve çift eğrilikli olarak sınıflandırılır. Tek eğrilikli kemer barajlar, sadece planda eğrilığe sahiptir. Düşey kesitler (veya konsollar) düşey veya doğru eğimli yüzeylere sahiptir. Çift eğrilikli kemer barajlar ise, Şekil 1.5'te görüldüğü gibi, planda ve yükseklik boyunca eğriliklidir. Bu baraj tipi, beton miktarı bakımından tek eğrilikli kemer barajlardan daha büyük avantaj sağlar. Bu sebeple, narinliği sağlamak için ne kadar az beton gerekirse o kadar etkin baraj elde edilir.



Şekil 1.5 Tek ve çift eğrilikli kemer barajlara örnek (USACE, 1994)

### 1.5.3.1. Kemer Baraj Yüzeyini Tanımlayan Merkezler Çizgisi

Düzlemde dairesel yayların merkezlerini birleştiren çizgi, yani merkezler çizgisi, barajın bir yüzeyini tanımlamak için kullanılır. Üniform kalınlıklı kemerlerde, kemerlerin iç ve dış yüzünü tanımlamak için tek bir merkezler çizgisi yeterli olacaktır. Değişken kalınlıklı kemerlerde ise iki adet merkezler çizgisine ihtiyaç vardır. Simetrik olmayan vadiler, barajın her kenarı için bir veya iki adet merkezler çizgisi gerektirmektedir. Üç merkezli kemer barajlar, Şekil 1.3'te görüldüğü gibi üç adet merkezler çizgisine sahiptir.

Sabit merkezli bir baraj, bütün kemerlerin sabit merkezini tanımlamak için eksen merkezinde düşey bir çizgiye sahiptir. Bütün kemerler üniform kalınlıktadır ve anahtar kesit tüm düşey kesitleri temsil etmektedir.

Tek merkezli sabit kalınlıklı kemerler, kemerlerin iç ve dış yüzünü tanımlayan aynı merkeze sahiptir. Bu kemerler, kemer mesnetleri arasında üniform kalınlıklıdır. Tek merkezli değişken kalınlıklı kemerler ise, kemerlerin iç ve dış yüzünü tanımlayan farklı merkezlere sahiptir. Bununla birlikte, her iki merkez de referans düzlemi boyunca yer alır. Merkezler çizgisinin düşey olmasına gerek yoktur. Ancak, anahtar kesit ile paralel olmak zorundadır. Bu kemer şekli  $C_1/H$  oranının 3 den az olduğu dar vadilerde uygulanabilir.

İki merkezli kemerlerde, her iki düzlem de anahtar kesit ile paraleldir. Sol düzlem, anahtar kesitten kemer mesnetlerine kadar olan kemerlerin sol kenarlarına uygun bir şekil vermek için gerekli olan ve kemer iç ve dış yüzeyini tanımlayan merkezler çizgisinden oluşur. Sağ düzlem ise, sağ kenardaki kemerlerin iç ve dış yüzünü tanımlayan merkezler çizgisinden oluşur.

Üç merkezli kemerlerde, sadece merkez daire dilimi anahtar kesit ile paraleldir. Merkez ve dış daire dilimi bileşik eğriliğin yaptığı açıda paraleldir. Bu açı, referans düzleminden ölçülmüştür. Üç merkezli kemerler yaklaşık bir elips şeklindedir. Şekil 1.3'te, tipik bir üç merkezli kemer görülmektedir. Yayların yerine dış daire diliminde doğru eğimler kullanılarak bir parabol elde edilebilir. Üç merkezli veya eliptik kemerler geniş-U veya geniş-V tipli vadilerde kullanılması avantaj sağlar. Eliptik kemerler, geniş vadiler için dairesel kemerlerden daha uygundur. Bu sebeple, betonun kalınlığı boyunca daha üniform olması istenmektedir. Momentlerden doğan çok küçük etkilerden dolayı eliptik kemerlere az ihtiyaç duyulur. Aksi taktirde değişken kalınlıklı kemer yapılıdır.

#### 1.5.4. Türkiye'deki ve Dünyadaki Kemer Barajlar

Türkiye'deki mevcut kemer barajlar ve onların kesit özellikleri Şekil 1.6 ile Şekil 1.12 arasında verilmiştir (URL-1, 2016). Proje aşamasındaki kemer barajlar hakkındaki bilgiler Tablo 1.1'de verilmiştir. Dünyadaki kemer barajlar ise Tablo 1.2'de sıralanmıştır.

<b>BERKE BARAJI</b>		
Akarsuyu		Ceyhan
Havzası		Ceyhan
Yükseklik	Temelden	201
(m)	Talvegden	186
Kret Uzunluğu (m)		270
Kret Kotu (m)		346
Gövde Hacmi 10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )		836
Amaç		E
İnşa Süresi		1995-2001

Şekil 1.6 Berke Barajı ve kesit özellikleri (URL-1, 2016)

<b>GEZENDE BARAJI</b>		
Akarsuyu		Ermenek
Havzası		D.Akdeniz
Yükseklik	Temelden	75
(m)	Talvegden	71
Kret Uzunluğu (m)		172
Kret Kotu (m)		335
Gövde Hacmi 10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )		83
Amaç		E
İnşa Süresi		1979-1990

Şekil 1.7 Gezende Barajı ve kesit özellikleri (URL-1, 2016)

<b>GÖKÇEKAYA BARAJI</b>		
Akarsuyu		Sakarya
Havzası		Sakarya
Yükseklik	Temelden	158
(m)	Talvegden	115
Kret Uzunluğu (m)		380
Kret Kotu (m)		392
Gövde Hacmi $10^3$ (m <sup>3</sup> )		650
Amaç		E
İnşa Süresi		1976-1972

Şekil 1.8 Gökçekaya Barajı ve kesit özellikleri (URL-1, 2016)

<b>KARAKAYA BARAJI</b>		
Akarsuyu		Fırat
Havzası		Fırat
Yükseklik	Temelden	173
(m)	Talvegden	158
Kret Uzunluğu (m)		462
Kret Kotu (m)		498
Gövde Hacmi $10^3$ (m <sup>3</sup> )		2000
Amaç		E
İnşa Süresi		1976-1987

Şekil 1.9 Karakaya Barajı ve kesit özellikleri (URL-1, 2016)

<b>OYMAPINAR BARAJ</b>		
Akarsuyu		Manavgat
Havzası		Antalya
Yükseklik	Temelden	185
(m)	Talvegden	157
Kret Uzunluğu (m)		360
Kret Kotu (m)		185
Gövde Hacmi $10^3$ (m <sup>3</sup> )		676
Amaç		E
İnşa Süresi		1977-1987

Şekil 1.10 Oymapınar Barajı ve kesit özellikleri (URL-1, 2016)



<b>SIR BARAJI</b>		
Akarsuyu		Ceyhan
Havzası		Ceyhan
Yükseklik	Temelden	116
(m)	Talvegden	106
Kret Uzunluğu (m)		357
Kret Kotu (m)		443
Gövde Hacmi $10^3$ (m <sup>3</sup> )		494
Amaç		E
İnşa Süresi		1987-1991

Şekil 1.11 Sır Barajı ve kesit özellikleri (URL-1, 2016)

<b>DERİNER BARAJI</b>		
Akarsuyu		Çoruh
Havzası		Çoruh
Yükseklik	Temelden	247
(m)	Talvegden	209
Kret Uzunluğu (m)		720
Kret Kotu (m)		297
Gövde Hacmi $10^3$ (m <sup>3</sup> )		2037
Amaç		E
İnşa Süresi		1998-2009

Şekil 1.12 Deriner Barajı ve kesit özellikleri (URL-1, 2016)

Tablo 1.1 Proje aşamasındaki kemer barajlar (Dumanoğlu ve Akköse, 2001)

Kemer Baraj Adı	Akarsuyu	Havzası	Yükseklik(m)		Kret Uzunluğu(m)	Kret Kotu (m)	Gövde Hacmi $10^3$ m <sup>3</sup>	Amaç	İnşa Süresi
			Temelden	Talvegden					
Yusufeli	Çoruh	Çoruh	259	206	540	719	2931	E	İnşa Halinde
Düzkesme	Ceyhan	Ceyhan	83	68	194	356	103	E	Proje Hazır
Laleli	Çoruh	Çoruh	135	119	352	1485	701	E	Ön Proje
Güllübağ	Çoruh	Çoruh	94	72	80	1151	154	E	Ön Proje

Tablo 1.2 Dünyadaki kemer barajlar

Barajın Adı	Ülke	Yükseklik(m)	Yapıldığı Yıl
İnguri	Rusya	272	1985
Vaiont	İtalya	265	1961
Deriner	Türkiye	247	2009
Sayano-Shushenesk	Rusya	242	1981
Mauvosion	İsviçre	237	1957
Chirkey	Rusya	233	1977
El Caujon	Honduras	226	1985
Contra	İsviçre	220	1965
Dabaklamm	Avusturya	220	1989
Piva	Yugoslavya	220	1975
GlenCanyon	ABD	216	1964
Toktogul	Rusya	215	1987
Daniel Jhanson	Kanada	214	1968
Luzzane	İsviçre	208	1963
Dez	İran	203	1963
Almedra	İspanya	202	1970
Berke	Türkiye	201	2001
Kölnbrein	Avusturya	200	1977
Karun	İran	200	1976
New Bullards Bar	ABD	194	1968

## 1.6. Kemer Baraj Projelendirilmesinde Göz Önüne Alınacak Hususlar

- Baraj Yeri

Bütün yükü kendi ağırlığı ile taşıyan beton ağırlık barajların aksine bir kemer baraj stabilitesini, hem kendi ağırlığı hem de üzerine gelen yükleri büyük oranda kemer etkisi ile vadi yamaçlarına aktararak sağlar. Bu yüzden, baraj yeri, kemer baraj seçiminde en önemli hususlardan biridir. Genel olarak, bir kemer barajın kemer etkisini taşıyabilecek yeteri dayanıklılıkta yamaçlara sahip bir baraj yerine gereksinim duyduğu söylenebilir.

- Kret Uzunluğu-Yükseklik Oranı ( $C_1/H$ )

Barajların kret uzunluğunun yüksekliğine oranı, önerilen tasarımların karşılaştırılması için bir esas olarak kullanılabilir. Tabii ki merkez açısı, profil şekli ve plan tipi gibi diğer kontrol faktörlerinin rölatif etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca kret uzunluğu-yükseklik oranı ( $C_1/H$ ), bir ağırlık baraj tasarımına kıyasla bir kemer barajın ekonomiklik sınırı için kaba bir bilgi verir.

Bir kemer baraj için ilk göz önüne alınacak husus, kret uzunluğu-yükseklik oranının ( $C_1/H$ ) 3 veya daha az olmasıdır. Kret uzunluğu-yükseklik oranı 3 ile 6 arasında olan vadilerde, sağlam zemine ulaşmak için yapılacak zemin kazısı mesafesine bağlı olarak en uygun baraj şekli, bir kemer barajdır. Kret uzunluğu-yükseklik oranı 6'dan büyük olan baraj yerlerinin seçiminde, derivasyon ihtiyacı, inşaat malzemesinin mevcudiyeti ve boşaltma tesisi gibi faktörler daha etkin olur. Bu sebeple, bu tür vadiler için özenli bir çalışma gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre geniş vadilerde kemer baraj yapımına karar verilebilir.

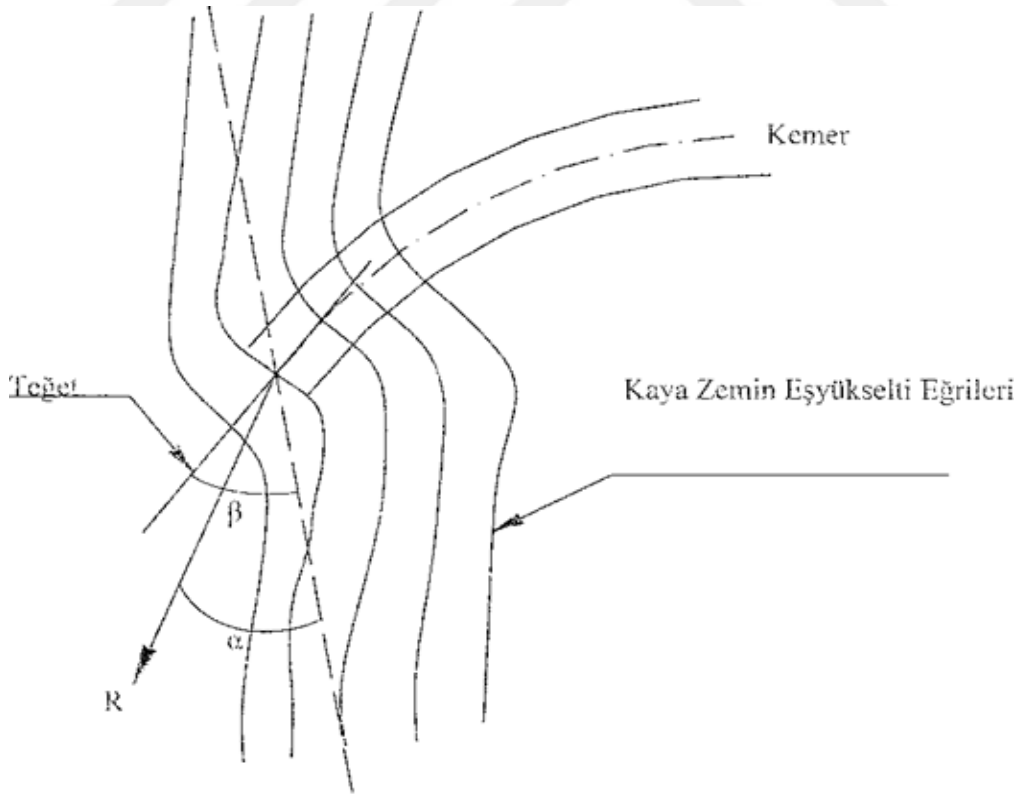
- Düzgün Kemer Mesnetleri

Bir kemer baraj profili, yapılabildiği kadar düzgün yapılmalıdır. Her kemer mesnet üzerindeki genel görünüş, bir veya iki parabol veya hiperbolden oluşan düzgün bir geometrik eğriye benzemelidir. Kemer mesnet profilinde ters yönde bir eğilme noktasının bulunması, kaya zemin ile temas halindeki yüzey boyunca düzgün bir kuvvet dağılımı sağlayacaktır. Orijinal vadi yüzeyleri genellikle kazı öncesi çok düzensiz bir profile sahiptir. Bunun için düzensizliği bozan noktalar, sert kaya zemine kadar kaldırılmalıdır. Tasarımda karşılaşılan bu tip zorluklar, yapısal verimsizliğe, dolayısıyla beton miktarının ve maliyetin artmasına yol açar.

- Kemer ve Kemer Mesneti Arasındaki Açık

Geometrik olarak uygun bir vadede bir kemer baraj için diğer önemli bir husus,

kemerlerin kaya zemin eşyüksekti eğrileri ile yaptığı açıdır. Şekil 6'deki  $\alpha$  açısı, kaya yüzeyi civarında yüksek kayma gerilmelerini önlemek için genel bir kural olarak 30 dereceden daha büyük olmalıdır. Bu açı, sadece gerilme analizlerinden sonra belirlendiği için,  $\beta$  açısı baraj planının hazırlanışı sırasında bir yardımcı bilgi olarak kullanılabilir. Kemerler barajın üst yarı yükseklikte,  $\beta$  açısı 40 dereceden daha büyük olacak şekilde düzenlenmelidir. Şekil 1.13'deki R kemer itki kuvveti, toplam kuvvetin sadece teğetsel bileşeni olduğundan yukarıda verilen iki yardımcı bilginin kullanımında özen gösterilmek zorundadır. Diğer iki bileşen (düşey ve radyal) ve yönleri ise, tasarımın daha ileri safhalarında araştırılmak zorundadır. Buna ilave olarak, araştırmalarda kemer seviyesi de göz önüne alınmalıdır. Eğer barajın üst seviyesinde yerleştirilen bir kemerin sürekliliği taşkın dolu savak ile bozulmuşsa, bu teğetsel kemer itki kuvvetini taşıyamayabilir. Uygulanan yükleri karşılayacak mansapta yeteri kadar kaya kütlelerinin olması bu kriteri (minimum açı) sağlar. Ayrıca, kaya zeminde birleşim sistemlerin yönü, tüm yükleme durumları altında kemer mesnetlerinin stabilitesini sağlamak için baraj plan yapımında dikkat edilmesi gereken bir husus olmalıdır.



Şekil 1.13 Kaya zemin eşyüksekti eğrileri ile kemer itki kuvveti arasındaki açı  
(USACE, 1994)



- Kemer Mesnetleri

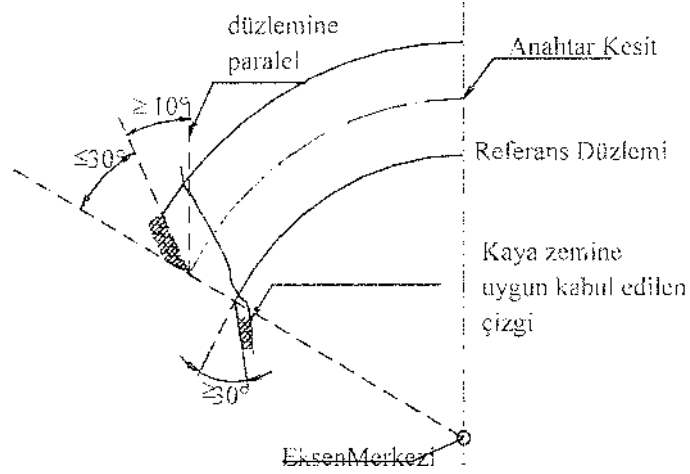
Tam radyal kemer mesnetleri (eksene dik), yük taşıma kapasitesi bakımından avantajlıdır. Bununla birlikte, mansap tarafında tam radyal kemer mesnet için aşırı kazı işleminin sonuç verdiği yerde ve gerekli mukavemet ile stabiliteye sahip kaya zeminde kemer mesnetleri, Şekil 1.14a'da görüldüğü gibi yarı radyal duruma indirgenebilir.

Memba tarafında tam radyal kemer mesneti kullanımından doğan aşırı kazı işleminin olduğu yerde, Şekil 1.14b'de görüldüğü gibi radyal kemer mesnetlinden daha büyük bir kemer mesneti kullanılabilir. Böyle durumlarda, kaya direnci dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır. Aşırı kazı işlemi, yukarıda bahsedilen iki şeklin her ikisi ile sonuçlandığı için tam radyal kemer mesnetinin kullanılmadığı durumda, minimum kazı gerektirecek muhtemel başka şekillerin belirlenmesi için özel çalışmalar yapılmalıdır.

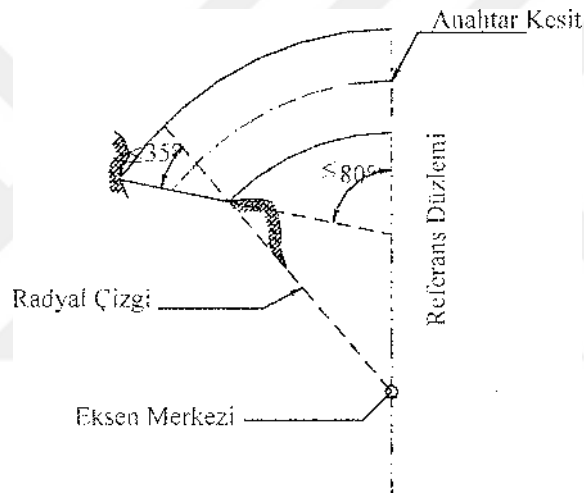
Bu çalışmalar, kemer mesnetinin tam radyal mesnetten ne kadar uzaklaştığını ve stabilite ile gerilme dağılımı için gerekli tüm gereksinimleri ne kadar yerine getirdiğininde belirler.

- Zemin

Bir kemer baraj, baraj ve rezervuardan gelen yükleri karşılamak için yeterli mukavemete sahip kaya zemine ihtiyaç duymaktadır. Bu yükler, baraj-zemin etkileşim bölgesi boyunca zemine iletildiği için, verilen kemer seviyesinde bileşke kuvvetlerin büyüklüğü ile orantılı olarak barajın en derin bölgesinde minimum zemine ihtiyaç duyulmaktadır. Baraj-zemin etkileşim bölgesinin küçük olmasından dolayı diğer baraj tiplerine kıyasla bir kemer baraj, temelde daha büyük bir basınç taşımaya çalışır. Baraj yerinin seçiminde zeminin taşıma gücü çok önemlidir. Bir ağırlık barajdan gelen yükü taşımak için yeterli basınç gerilmesine sahip bir zemin, kemer baraj için de tatminkar olacaktır. Burada şunu belirtmek gerekir ki, üniform gerilme alabilecek tek tip kayadan ibaret zeminler ile çok nadir karşılaşılır. Bunun için tüm zemin için ortalama efektif gerilme değeri kullanılır. Kemer barajlar, zayıf zemin bölgelerini geçme kabiliyetine sahiptirler. Zeminde, fay ve yarıkların varlığı, barajdaki gerilmeleri çok fazla etkilemez. Ancak bu, zayıf bölge kalınlığının, barajın temel kalınlığının yaklaşık bir katından daha fazla olmaması şartına bağlıdır.



a) Yarı radyal kemer mesneti



b) Radyal mesnetten daha büyük kemer mesneti

Şekil 1.14 Yarı radyal ve radyal mesnette daha büyük kemer mesnet Şekilleri (USACE, 1994)

- Zemin Deformasyon Modülü

Zeminin deformasyonu, barajda oluşacak gerilmeler üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Zemin deformasyon modülünün düşük değerleri (yani yumuşak zemin) baraj tabanındaki çekme gerilmelerini azaltırken, büyük değerleri ise tabandaki çekme gerilmelerini artırır. Bu yüzden, projelendirmenin ilk aşamasında, zeminin deformasyon modülünü belirlemek önemlidir. Zemin deformasyon modülünün bilinmesi, bir yamaçtaki zemin deformasyon modülünün diğerinden aşırı derecede farklılık gösterdiği durumlarda çok daha önemlidir. Projelendirmenin ilk safhalarında bu bilgiye sahip olan mühendis, aşırı gerilmelerden kaçınacak şekilde baraja uygun şekil verebilir. Bir zeminin sadece

deformasyon modüllerinin düşük değerlerinden dolayı yetersiz olduğu düşünülmemelidir. Zemine yapılacak enjeksiyon, kaya kütlelerinin deformasyon davranışını iyileştirebilir. Bu işlem, barajın projelendirilmesinde kullanılan deformasyon modüllerinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulabilir. Deformasyon modülünün  $3,45 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> değerinden daha küçük olması durumunda, ne kadar bir enjeksiyon programının zemini iyileştireceği önemli bir problem haline gelir, Bu durumda, gerilme analizi mantıklı deformasyon modülleri kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Barajdaki gerilmeler, eğer dikkate alınan tüm yükleme durumlarında müsaade edilir gerilme değerleri içinde kalırsa, yapılan proje kabul edilebilir bir durumdadır

- Taşkın Dolu Savaşın Etkisi

Eğer taşkın dolu savak kullanılır ve barajın merkezine yakın yerleştirilirse, dolu savak kretinin üzerinde, kemer etkisi görülmez. Eğer dolu savak barajın bir kenarına yakın yerleştirilirse, dolu savaşın kret seviyesinde bu kez bir miktar kemer etkisi olabilir. Her iki durumda da, dolu savak kretinin yukarısı, barajın üst kısmı, su basıncı, beton kütlesi, sıcaklık ve depremden dolayı kret dolaylarına etkiyecek yükleri karşılayacak şekilde projelendirilmek zorundadır.

### **1.7. Kemer Baraj Tasarımında Göz Önüne Alınan Yükler**

Kemer barajlar, sıcaklık yükü ile birlikte diğer barajlardaki tüm yükleme durumları dikkate alınarak projelendirilir. Sıcaklık yükü, ağırlık barajlara oranla kemer barajlarda da önemlidir. Bir kemer baraj tasarımında göz önüne alınması zorunlu olan yükleme durumları;

Barajın kendi ağırlığı,

Sıcaklık yükü,

Hidrostatik yük,

Deprem yükü,

Diğer Yükler,

şeklindedir.

### 1.7.1. Barajın Kendi Ağırlığı

Barajın kendi ağırlığı, beton ve barajdaki ek yapıların ağırlığından oluşan yükür. Betonun birim hacim ağırlığı laboratuvar deneylerinden tespit edilir. Bu sebeple, tasarım aşamasında birim ağırlık için  $2400 \text{ kg/m}^3$  değeri kullanılabilir. Barajdaki ek yapıların ağırlığı, barajın kendi ağırlığına oranla küçük değerde kalacağından ihmal edilebilir ve statik yükler için projelendirme yapılırken dikkate alınmayabilir.

### 1.7.2. Sıcaklık Yüğü

Sıcaklık yüğü, barajın yapımı sırasındaki beton sıcaklığı ile enjeksiyon sıcaklığı arasındaki farklılıklardan oluşur. Enjeksiyon sıcaklığı, büzölme derzlerinin enjeksiyonu anındaki beton sıcaklığıdır. Bu sıcaklığın etkisi, farklı yükleme grupları altında barajın gerilme analiz sonuçları ile belirlenir.

Örneğin, bir kemer barajın  $13^\circ\text{C}$ 'de enjeksiyonu yapıyorsa, barajın yapım sıcaklığı  $13^\circ\text{C}$ 'de kaldığı sürece barajda sıcaklık yüklemesinden dolayı herhangi bir gerilme olmaz. Bununla birlikte, beton sıcaklığı  $13^\circ\text{C}$ 'yi aşar aşmaz, oluşan pozitif sıcaklık yüklemesi kemerlerde basınç gerilmelerine sebep olur. Bu ise kemerlerin rezervuara doğru deplasman yapmasına sebep olur. Bu olayın tam tersi bir durum da olabilir. Kış mevsiminde beton sıcaklığı  $13^\circ\text{C}$ 'nin altına düştüğü zaman, kemerlerde çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu ise, kemerlerin mansaba doğru deplasman yapmasına yol açar. Enjeksiyon sıcaklığının seçimi, barajdaki ideal gerilme dağılımı ile gerçek durum arasında bir uyumu gerektirir. Gerçek durum, arzu edilen enjeksiyon sıcaklığını başarma imkanının araştırılmasını yansıtır. Enjeksiyon sıcaklığı, kemer barajlarda en önemli yapım parametrelerinden biridir. Çünkü blokların birleşim yerlerinin enjeksiyonu yapılırken, yapı bir bütün olarak çalıştığı kabul edilir. Bu sebeple kemer etkisi kendini göstermeye başlar. Enjeksiyon sıcaklığının belirlenmesinin ardından her blok, yapım sırasındaki çatlak oluşumunu önlemek ve enjeksiyon için tatminkar bir büzölme derz açıklığı sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

Kemer barajlarda sıcaklık yükünün önemi, aşağıdaki örnek ile daha iyi anlaşılabilir.  $18^\circ\text{C}$  üniform hava ve su sıcaklığına sahip bir vadide projelendirilecek bir kemer baraj düşünülmelidir. Yani, mevsimsel sıcaklık değişiminin hava ve su sıcaklığını etkilemediği kabul edilmelidir. Güneş ışınlarının etkisi ihmal edilirse, beton yapım sıcaklığı, hava ve su

ile aynı olur. Ayrıca, rezervuar seviyesinde herhangi bir değişimin olmadığı kabul edilmelidir. Böylece baraj, her zaman dolu bir rezervuarın etkisinde olacaktır. Bu örnekte hidrostatik yük, konsolların topuk noktaları boyunca büyük çekme gerilmeleri oluşturacağından, konsolların rezervuara doğru deplasman yapmalarına sebep olan büyük bir sıcaklık yükü oluşturularak bu çekme gerilmeleri etkisiz hale getirilir. Bu durum, olabilecek en düşük enjeksiyon sıcaklığı, yani 2°C seçilerek gerçekleştirilebilir. Böylece 16°C (18°C-2°C) sıcaklık yükü oluşur.

Bu basit örnekte de görüldüğü gibi, enjeksiyon sıcaklığı kemer barajlarda arzu edilen gerilme dağılımını başarmaya yardım etmek için seçilebilen bir tasarım parametresidir. Bu sebeple, baraj geometrisinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Barajın yatay ve düşey eğriliğini de ayrıca etkileyebilir.

### **1.7.3. Hidrostatik Yük**

Hidrostatik yük, rezervuardaki su seviyesindeki değişime bağlıdır. Rezervuardaki su seviyesinin yüksek olması bir beton ağırlık barajda kritik olabilir. Kemer barajda ise düşük rezervuar su seviyeleri mansap yüzeyinde aşırı çekme gerilmeleri oluşturacağı için daha tehlikeli olabilir.

### **1.7.4. Deprem Yüğü**

Deprem bölgelerindeki kemer barajlar için, iki tür deprem göz önüne alınmalıdır. Bunlar “İşletmede Esas Olan Deprem” ve “Maksimum Tasarım Depremi” dir. İşletmede esas olan deprem, 100 yılda oluşma ihtimali % 50 olan bir yer hareketi olarak tanımlanan depremdir. Bu deprem sırasında, barajın bir bütün olduğu kabul edilirse 'barajın lineer bir davranış sergilemesi beklenir. Maksimum tasarım depremi ise, kemer barajların analiz edilmesi gereken en büyük yer hareketidir.

### **1.7.5. Diğer Yüğüler**

Yukarıda bahsedilen yüğülere ilave olarak, buz ve silt basıncından dolayı oluşan yüğüler kemer barajın projelendirilmesinde dikkate alınabilir. Buz basıncı ile ilgili elde mevcut veriler yok ise, barajın temas ettiği noktalarda 7,44 t/m'lik bir buz yüğü alınabilir.

Silt basıncını belirlemek için, barajda sedimentasyon çalışması yapılmalıdır. Eğer bu yükler diğer yüklerle kıyasla küçük ise, mühendis tarafından ihmal edilebilir.

### **1.8. Yükleme Grupları**

Kemer barajlar, iki grup yükleme dikkate alınarak projelendirilir. İlk grup, statik yüklerden, ikinci grup ise dinamik yüklerden oluşur. Her gruptaki yüklerin oluşma ihtimallerine bağlı olarak yükleme grupları belirlenir.

Yükleme gruplarına karar verirken dikkate alınması gereken birçok faktör vardır; İklim, rezervuarın amacı, dolu savak gereksinimi, rezervuarın durumu gibi. Tablo 1.3'de statik yükleme grupları, Tablo 1.4'de dinamik yükleme grupları tanımlanmıştır.

Tablo 1.3 Statik yükleme grupları (USACE, 1994)

<b>STATİK YÜKLEME GRUPLARI</b>		
<b>OLAĞAN STATİK YÜKLEME DURUMU</b>	<b>Grup Numarası</b>	<b>Gruba Katılacak Yükler</b>
	<b>OSYD1</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Maksimum Rezervuar Yüksekliği
	<b>OSYD2</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Maksimum Rezervuar Yüksekliği Yaz Mevsim Sıcaklığı
	<b>OSYD3</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Minimum Rezervuar Yüksekliği Kış Mevsim Sıcaklığı
<b>OLAĞANDIŞI STATİK YÜKLEME DURUMU</b>	<b>Grup Numarası</b>	<b>Gruba Katılacak Yükler</b>
	<b>ODSYD1</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Minimum Rezervuar Yüksekliği Yaz Mevsim Sıcaklığı
	<b>ODSYD2</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Maksimum Rezervuar Yüksekliği Kış Mevsim Sıcaklığı
<b>AŞIRI STATİK YÜKLEME DURUMU</b>	<b>Grup Numarası</b>	<b>Gruba Katılacak Yükler</b>
	<b>ASYD1</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Muhtemel Maksimum Taşkın Yüksekliği Yaz Mevsim Sıcaklığı
	<b>ASYD2</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Muhtemel Maksimum Taşkın Yüksekliği Kış Mevsim Sıcaklığı

Tablo 1.4 Dinamik yükleme grupları (USACE, 1994)

<b>DİNAMİK YÜKLEME GRUPLARI</b>		
<b>OLAĞAN DİNAMİK YÜKLEME DURUMU</b>	<b>Grup Numarası</b>	<b>Gruba Katılacak Yükler</b>
	<b>ODYD1</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Maksimum Rezervuar Yüksekliği Yaz Mevsim Sıcaklığı İşletmede Esas Olan Deprem
	<b>ODYD2</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Minimum Rezervuar Yüksekliği Kış Mevsim Sıcaklığı İşletmede Esas Olan Deprem
<b>OLAĞAN DIŞI DİNAMİK YÜKLEME DURUMU</b>	<b>Grup Numarası</b>	<b>Gruba Katılacak Yükler</b>
	<b>ODDYD1</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Minimum Rezervuar Yüksekliği Yaz Mevsim Sıcaklığı İşletmede Esas Olan Deprem
	<b>ODDYD2</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Maksimum Rezervuar Yüksekliği Kış Mevsim Sıcaklığı İşletmede Esas Olan Deprem
<b>AŞIRI DİNAMİK YÜKLEME DURUMU</b>	<b>Grup Numarası</b>	<b>Gruba Katılacak Yükler</b>
	<b>ADYD1</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Maksimum Rezervuar Yüksekliği Yaz Mevsim Sıcaklığı Maksimum Tasarım Depremi
	<b>ADYD1</b>	Barajın Kendi Ağırlığı Minimum Rezervuar Yüksekliği Kış Mevsim Sıcaklığı Maksimum Tasarım Depremi

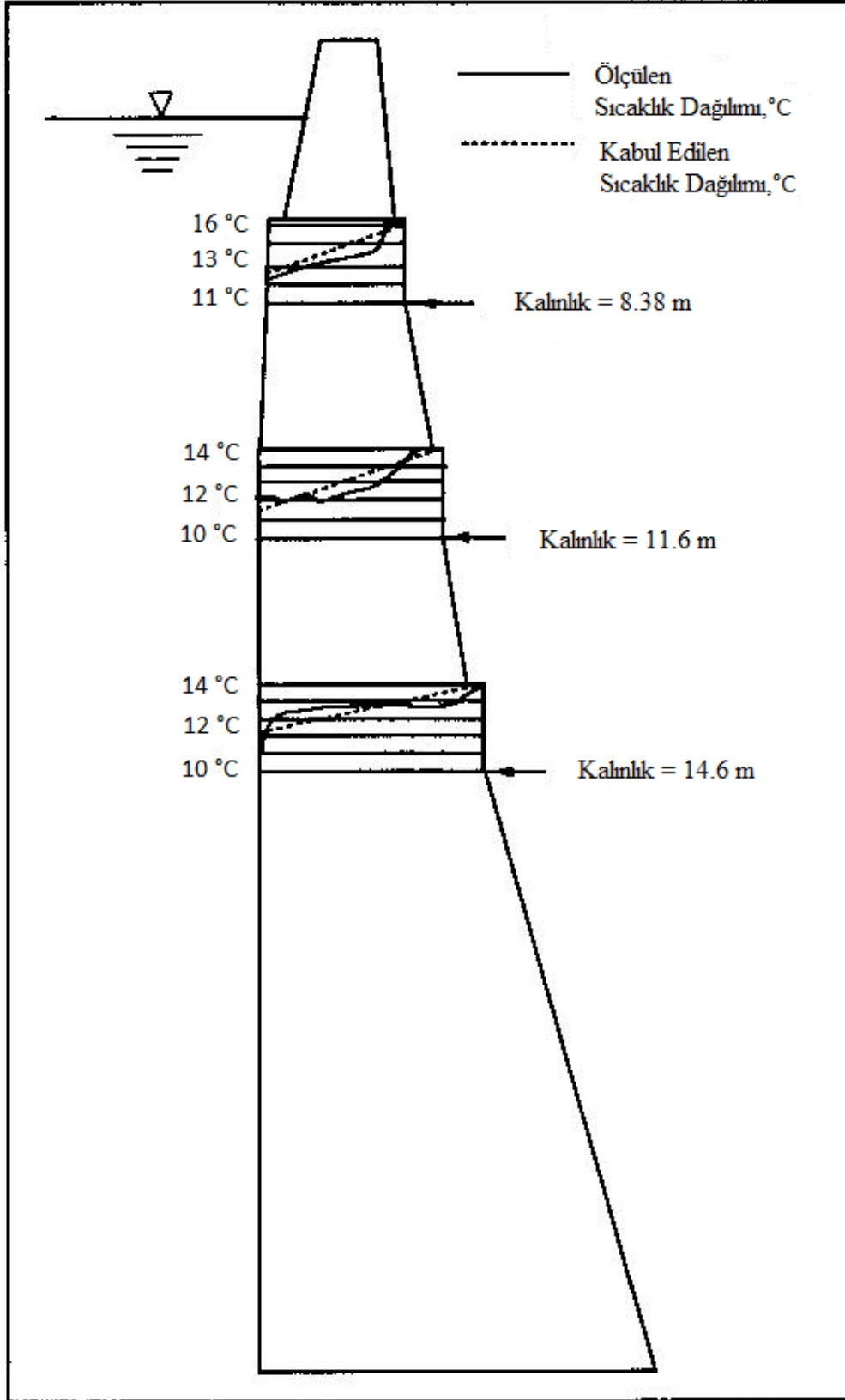


## 1.9. Kemer Barajlarda Sıcaklık Çalışmaları

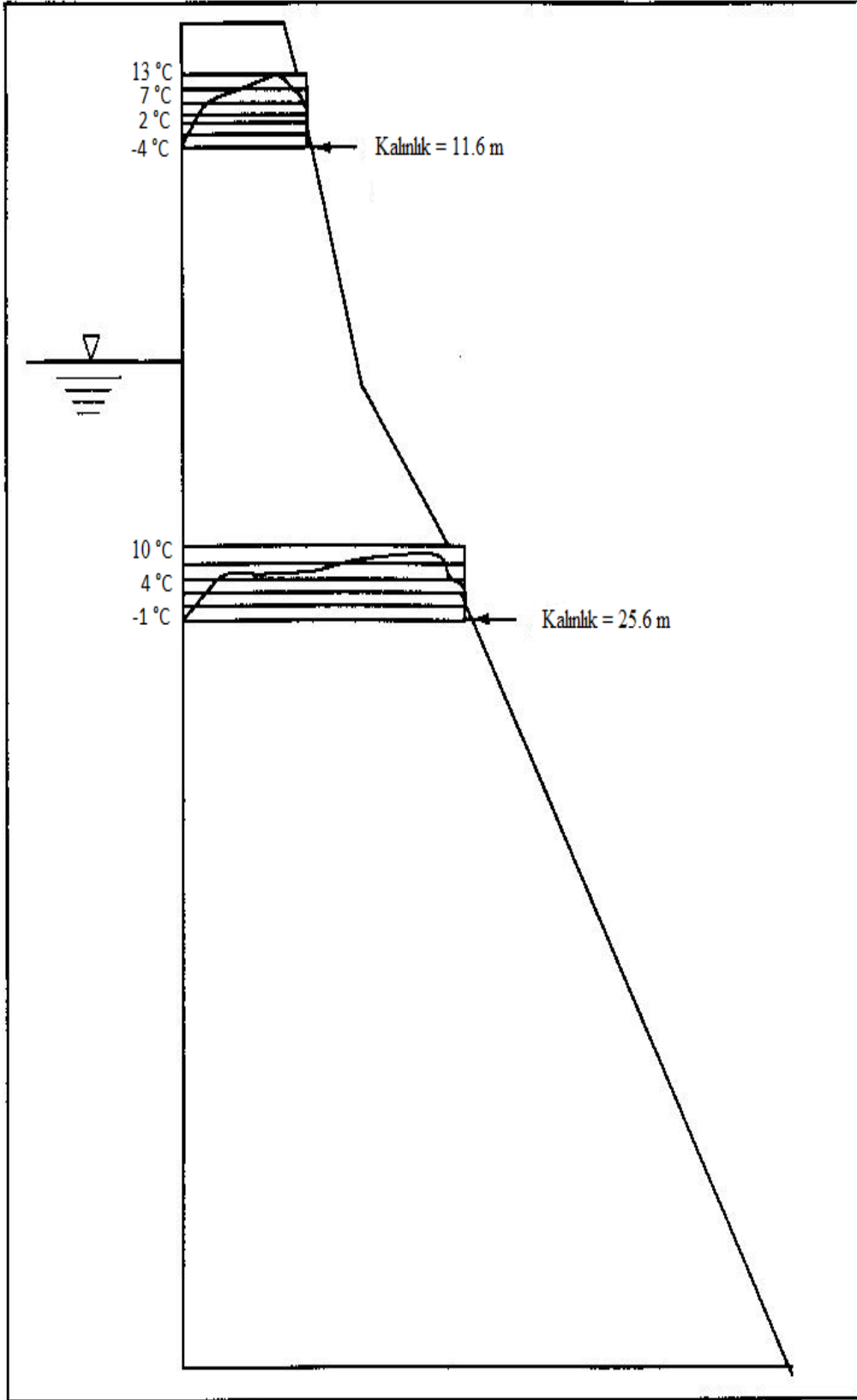
Kemer barajlar için sıcaklık çalışmaları gruba ayrılır. Birinci grup, barajdaki sıcaklık yükünü belirlemek için kullanılan işletme sıcaklık çalışmasıdır. Bu çalışma tasarım sürecinin başında gerçekleştirilmektedir. İkinci grup ise, genellikle uygun bir proje elde edildikten sonra yapılan inşaat sıcaklık çalışmalarını içerir. İnşaat sıcaklık çalışmaları ile, sıcaklıktan dolayı çatlak oluşma ihtimalini asgari seviyeye düşürecek nihai tasarım sıcaklığı elde edilmelidir. Nihai tasarım sıcaklığı, barajda gerilme oluşturmayacak beton sıcaklığı olarak ifade edilebilir. Bu bölümde sıcaklık çalışmalarının her biri ayrıntılı olarak verilmektedir (USACE, 1994).

### 1.9.1. İşletme Sıcaklık Çalışmaları

İşletme sıcaklık çalışmaları, barajın beklenen ömrü boyunca maruz kalacağı sıcaklık dağılımlarını belirlemek için yapılan çalışmalardır. Barajın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımının şekli, çoğunlukla yapının kalınlığı tarafından kontrol edilir. Nispeten ince kesitli barajlar, Şekil 1.15 de gösterildiği gibi memba yüzündeki rezervuar sıcaklığından mansap yüzündeki hava sıcaklığına düz bir çizgiye yaklaşan sıcaklık dağılımları gösterirler. Kalın kesitli barajlar ise biraz farklı sıcaklık dağılımlarına maruz kalırlar. Kalın bir kesitin merkezinde bulunan sıcaklıklar, yüzeylerdeki sıcaklıklar kadar çabuk tepki vermez. Kesitin merkezindeki sıcaklıklar değişen çevre koşullarından kaynaklanan küçük genlikte dalgalanmalar ile nihai tasarım sıcaklığında veya onun yakınında kalır. Yüzeylerin yakınında bulunan beton, hava ve su sıcaklık değişimlerine çabucak tepki verir. Bu sebeple Şekil 1.16 de gösterilen sıcaklık dağılımlarına benzer sıcaklık dağılımları ortaya çıkar (USACE, 1994).



Şekil 1.15 İnce bir kemer barajda mart ayında ölçülen sıcaklık dağılımları (Dumanoğlu ve Akköse, 2001)

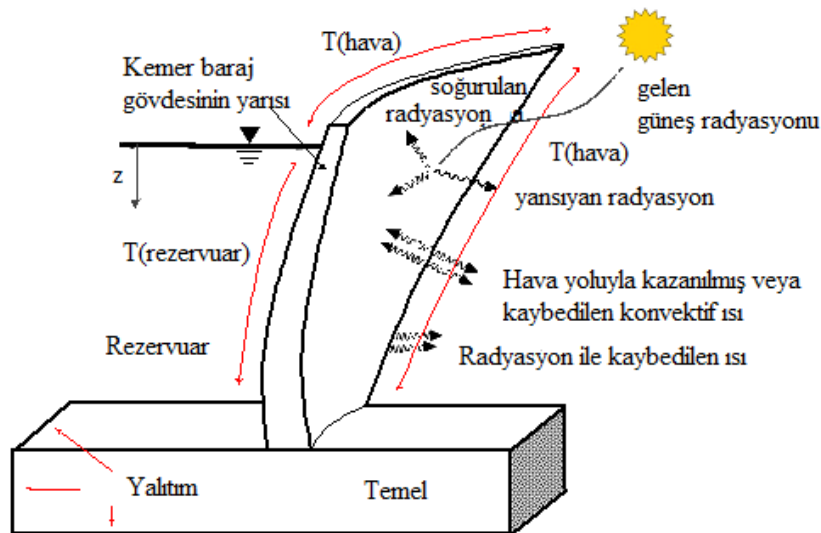


Şekil 1.16 Kalın bir kemer barajda aralık ayında ölçülen sıcaklık dağılımları (Dumanoğlu ve Akköse, 2001)

Genel amaçlı sonlu eleman programlarında sıcaklıklar düğüm noktalarına uygulanır. Barajın kalınlığı boyunca ve yüzeylerle birlikte düğüm noktaları sağlanırsa doğrusal sıcaklık dağılımların dışındaki sıcaklık dağılımlarının uygulanmasına izin verilir (USACE, 1994).

Sıcaklık dağılımlarını belirlemek için kullanılan iki yöntem vardır. Birinci yöntem, eğer bir beton tabakanın iki yüzeyi de değişen sıcaklığa maruz ise ortalama beton sıcaklığını tespit etmeyi içerir. Bu yöntem, analiz edilen baraj nispeten ince kesitli olduğunda ve özellikle deneme-yanılma metodu kullanıldığında kısa sürede gerçekleştirilebilir. Analiz edilen baraj kalın kesitli olduğunda sonlu eleman modeli sıcaklık dağılımlarını belirlemek için kullanılabilir. Sıcaklık dağılımlarını belirlemekte kullanılan ikinci yöntem ise, sonlu eleman yöntemidir. Genel amaçlı sonlu eleman programlarının çoğunda sıcaklık düğüm noktalarına uygulanır. Eğer yüzeylerdeki gibi, baraj kalınlığı boyunca düğüm noktaları mevcutsa doğrusal dağılımın yanı sıra diğer sıcaklık dağılımlarının uygulanması mümkün olur. Böylece baraj kalınlığı boyunca düğüm noktalarına uygulanacak sıcaklık ile kesit içinde doğrusal olmayan bir dağılım elde edilebilir (USACE, 1994).

Sıcaklık dağılımları, hava sıcaklıkları, rezervuar suyu sıcaklıkları, güneş ışığı etkisi ve bazı durumlarda zemin sıcaklıkları gibi malzeme özelliklerine ve çeşitli saha koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Kemer barajlar için ısı transfer mekanizması Şekil 1.17'de görülmektedir (Hariri-Ardebili ve Kianoush,2014).



Şekil 1.17 Kemer barajlar için ısı transfer mekanizması (Hariri-Ardebili ve Kianoush,2014)

### 1.9.1.1. Rezervuar Sıcaklığı

Bir barajın sıcaklığı, rezervuarda toplanan suyun sıcaklığı tarafından büyük ölçüde etkilenir. Rezervuarlarda suyun sıcaklığı, derinlik ve mevsimlere göre değişir. Suyun sıcaklığının belirlenmesinde bir yıllık değişimi dikkate almak yeterlidir. Yani günlük değişimler ihmal edilebilir. Bu değişikliğin miktarı rezervuarın derinliğine ve rezervuar işletmesine bağlıdır. Rezervuar işletmesinin başlıca özellikleri su giriş-çıkış oranları ve rezervuarın depolama kapasitesidir (USACE, 1994).

Bir baraj tasarlandığında, ortaya çıkan rezervuarda net bir veri bulunmamaktadır. Bu verilerin en iyi kaynağı rezervuarın yakınlarındadır. Bu rezervuarların söz konusu bölgeye uygulanabilirliğini değerlendirmek için ölçütler; yükseklik, enlem, hava sıcaklıkları, nehir sıcaklıkları ve rezervuar değişimlerini içermelidir (USACE, 1994).

Nehir akışları ve nehir suyunun sıcaklığı hakkında bilgi mevcut ise, ısı sürekliliği prensibi rezervuar yüzeyinde ısı transferini tahmin etmek için kullanılabilir. Bu ısı transferinin belirlenmesi, bulut örtüsünün, hava sıcaklıklarının, rüzgarın ve bağıl nem tahminlerine dayanan güneş ışınlarının ve yeniden ışımanın buharlaşması, iletimi, emilmesi ve yansıması tahminlerini gerektirir. Bu kadar çok parametrenin bilinmesi gerektiği için, bu yöntem mevcut rezervuar verilerini kullanmaktan ve yeni araziye adapte etmekten daha iyi olamayabilir (USACE, 1994).

Tasarımcı, baraj sıcaklığının rezervuar sıcaklıklarından önemli ölçüde etkilendiğine dikkat etmelidir. Bu sebeple, ilave veriler elde edildiğinde tasarım sırasında yapılan varsayımlar yeniden değerlendirilmelidir (USACE, 1994).

Rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesinde genellikle, Bofang (Zhu, 1997) tarafından önerilen metot kullanılmaktadır. Bofang, önerilen yöntemin Çin rezervuarlarından okunan değerlerle iyi uyum içinde olduğunu ve parametrelerde küçük değişiklikler yapılarak diğer rezervuarlar için kullanılabileceğini göstermiştir (Santillán vd., 2015).

$$\theta_w(z, t) = \left( \frac{\overline{\theta_{w,b}} - \overline{\theta_{w,s}} e^{-0.04H_{dr}}}{1 - e^{-0.04H_{dr}}} \right) + \left( \overline{\theta_{w,s}} - \frac{\overline{\theta_{w,b}} - \overline{\theta_{w,s}} e^{-0.04H_{dr}}}{1 - e^{-0.04H_{dr}}} \right) e^{-0.04z} + A_{w,s} e^{-0.018z} \times \cos[\omega_w(t - t_0 - 2.15 + 1.30e^{-0.085z})] \quad (1.1)$$

Burada,

z : Rezervuar derinliği (metre),

$t$  : Yılın günü,

$\overline{\theta}_{w,b}$  : Rezervuar tabanındaki ortalama yıllık su sıcaklığı (Kelvin),

$\overline{\theta}_{w,s}$  : Rezervuar yüzeyindeki ortalama yıllık su sıcaklığı (Kelvin),

$H_{dr}$  : Rezervuar yüksekliği (metre),

$A_{w,s}$  : Yüzeydeki yıllık su sıcaklık genliği (metre),

$\omega_w$  : Su sıcaklık değişiminin açısal frekansı ( $2\pi/365$  gün<sup>-1</sup> olarak kabul edilir.),

$t_0$  : Hava sıcaklığının en fazla olduğu gün (Kuzey yarımkürede 6.5 aydır),

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $t$ ; hangi günün sıcaklığı bulunmak isteniyorsa yıl içerisinde o gün, kaçınıcı güne denk geldiği hesaplanmaktadır (Santillán vd., 2015).

$\overline{\theta}_{w,b}$ , rezervuar tabanındaki ortalama yıllık su sıcaklığı;

$$\overline{\theta}_{w,b} = \frac{\theta_{a,1} + \theta_{a,2} + \theta_{a,12}}{3} \quad (1.2)$$

ile hesaplanır (Santillán vd., 2015). Burada;

$\theta_{a,i}$  : i. aydaki ortalama aylık hava sıcaklığı (Kelvin),

$\overline{\theta}_{w,s}$ , rezervuar yüzeyindeki ortalama yıllık su sıcaklığı;

$$\overline{\theta}_{w,s} = \theta_{a,y} + \Delta\theta_r \quad (1.3)$$

ile hesaplanmaktadır (Santillán vd., 2015). Burada;

$\theta_{a,y}$  : Ortalama yıllık hava sıcaklığı (Kelvin),

$\Delta\theta_r$  : Güneş ışınlarına bağlı sıcaklık artışı,

ile temsil edilmektedir (Santillán vd., 2015). Ayrıca, yüzeydeki yıllık su sıcaklık genliği,

$A_{w,s}$ ;

$$A_{w,s} = \frac{\theta_{a,7} - \theta_{a,1}}{2} \quad (1.4)$$

ile hesaplanmaktadır (Santillán vd., 2015). Bununla birlikte, rezervuar yüzeyinin donduğu bölgelerde,  $A_{w,s}$ ;

$$A_{w,s} = \frac{\theta_{a,7}}{2} + \Delta A_r \quad (1.5)$$

ile hesaplanmaktadır (Santillán vd., 2015). Burada;

$\Delta A_r$  : Güneş ışınlarına bağlı olarak genlikteki artış, ( $\Delta A_r=1.5$  Kelvin önerilir) (Santillán vd., 2015),

- Rezervuar Sıcaklığının Hesaplanmasında İşlem Adımları

1. Adım: Başlangıç hesaplamalar

- a) 
$$\overline{\theta_{w,b}} = \frac{\theta_{a,1} + \theta_{a,2} + \theta_{a,12}}{3}$$

- b) 
$$\overline{\theta_{w,s}} = \theta_{a,y} + \Delta \theta_r$$

- c) 
$$A_{w,s} = \frac{\theta_{a,7} - \theta_{a,1}}{2}$$

2. Adım: i.ay için gerekli hesaplar,

- a) 
$$\theta_w(z,t) = \left( \frac{\overline{\theta_{w,b}} - \overline{\theta_{w,s}} e^{-0.04H_{dr}}}{1 - e^{-0.04H_{dr}}} \right) + \left( \overline{\theta_{w,s}} - \frac{\overline{\theta_{w,b}} - \overline{\theta_{w,s}} e^{-0.04H_{dr}}}{1 - e^{-0.04H_{dr}}} \right) e^{-0.04z}$$

$$+ A_{w,s} e^{-0.018z} \times \cos[\omega_w(t - t_0 - 2.15 + 1.30e^{-0.085z})]$$

3. Adım: Diğer aylar içinde 2. adımda yapılan hesaplamalar tekrar edilir.

### 1.9.1.2. Hava Sıcaklıkları

Baraj sahasındaki hava sıcaklıkları tahminleri, genellikle çevredeki meteoroloji istasyonlarındaki verilere dayanarak yapılır. En yakın kayıt istasyonlarından alınan verilerin baraj sahasına göre düzenlenmesi, baraj sahasındaki sıcaklıkları tahmin etmek için kullanılabilir. Yükseklikte her 76,2 metrelik artış için, sıcaklıkta 17,2 °C civarında bir azalma olur. Pozitif 1,4 derecelik enlem değişimini hesaba katmak için de sıcaklıklar 17,2 °C azaltılabilir (USACE, 1994).

Rezervuar sıcaklığı için günlük su sıcaklığı değişimlerinin önemli olmadığı daha önce belirtilmişti. Bununla birlikte günlük hava sıcaklığı değişimleri, beton sıcaklığı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu sebeple günlük ve yıllık ortalama hava sıcaklığı değişimleri gereklidir. Baraj sahasında maksimum ve minimum hava sıcaklıklarını hesaplamak için üçüncü bir hava sıcaklık değişim kaydı kullanılmaktadır. Bu kayıt, 15 günlük bir periyoda sahiptir. Beton sıcaklığının hesabında bu kayıtlar, sinüzoidal değişimler şeklinde uygulanır. Hava sıcaklık değişimleri tamamen sinüzoidal değildir. Bununla birlikte bu kabul edilebilir bir yaklaşımdır. Analizler için gerekli olan ve meteoroloji istasyonundan alınan veriler şunlardır (USACE, 1994):

- Aylık ortalama sıcaklıklar (maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar)
- Yıllık ortalama sıcaklık
- Kaydedilen en yüksek sıcaklık
- Kaydedilen en düşük sıcaklık

#### **1.9.1.3. Güneş Işığı Etkisi**

Barajın güneş ışığına maruz yüzeylerinde beton sıcaklığı artar. Kemer barajların çoğu kış mevsiminde böyle şiddetli bir yüklemeye maruz kalmaktadır. Bu sebeple, güneş ışığı etkileri genellikle tasarım yüklerini azaltır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık veya yaz mevsimi sıcaklık koşullarının tasarımda hakim olduğu durumlarda güneş ışığı etkisi tasarım yüklerini daha da artırır. Ayrıca barajın avantajlı bir yöne yönlendirildiği zorlu iklim şartlarında, güneş ışınlarının düşük sıcaklık koşullarına etkisi, sıcaklık yüklerini kabul edilebilir bir seviyeye düşürecek kadar önemli olabilir (USACE, 1994).

Baraj yüzeyindeki güneş ışığı etkilerinden dolayı ortalama beton sıcaklığında düzeltme yapmak gerekir. Memba yüzeyi rezervuar suyu ile kaplanmadığında mansap yüzeyi güneşten önemli bir miktarda radyasyon ısısı alır ve bu, beton yüzeyinin çevresindeki hava sıcaklığı üzerinde ısınmasına sebep olur (USACE, 1994).

#### **1.9.1.4. Beton Sıcaklık Yüklerinin Belirlenmesi**

Beton sıcaklık yüklerini belirlemek için iki yöntem kullanılır. Birinci yöntem, ortalama beton sıcaklıkları aralığının hesaplanmasını içerir. Bu yöntem düz kalın bir beton diliminin her iki yüzeyine hava veya su etkimesi halinde ortalama beton sıcaklıklarının



belirlenmesidir. Bu dilimin memba yüzeyinin su ve mansap yüzeyinin hava ile temas etmesi halinde ortalama beton sıcaklık aralığını belirlemek için, bu iki sıcaklık hesaplarının ortalaması alınır. Ortalama beton sıcaklık aralığını belirlemek için yapılan işlemler aşağıda sıralanmıştır (USACE, 1994);

1. Rezervuar suyu sıcaklığı, hava sıcaklıkları ve güneş ışığı etkisi ile ilgili veriler elde edilir.
2. Barajda sıcaklığı hesaplanması istenilen yer belirlenir. Bu belirlenen yer, sonlu eleman analizinde eleman sınırları veya düğüm noktalarıdır.
3. Hava ve su sıcaklık döngüleri belirlenir. Daha önce bahsedildiği gibi, rezervuar sıcaklığının sadece yıllık değişimi, maksimum su sıcaklığı ile minimum su sıcaklığı ortalamasına, maksimum ve minimum su sıcaklıkları arasındaki farkın yarısı eklenerek veya çıkarılarak elde edilir. Günlük ve yıllık ortalama hava sıcaklık değişimleri ile 15 günlük hava sıcaklık değişimi gereklidir. Bu üç verinin nasıl elde edildiği Tablo 1.5’de tanımlanmıştır. Bu hesaba bir örnek Tablo 1.6’de verilmiştir. (USACE, 1994)

Tablo 1.5 Hava sıcaklık değerleri (USACE, 1994)

<b>Hava Sıcaklık Değerleri</b>				
	<b>Ekstrem Hava Durumu</b>		<b>Olağan Hava Durumu</b>	
<b>Periyot</b>	<b>Üst Değer</b>	<b>Alt Değer</b>	<b>Üst Değer</b>	<b>Alt Değer</b>
<b>Yıllık</b>	A	B	A	B
<b>15 Günlük</b>	D	E	F	G
<b>Günlük</b>	C	C	C	C

A. Aylık en yüksek ortalama sıcaklık ile yıllık ortalama sıcaklık arasındaki fark

B. Aylık en düşük ortalama sıcaklık ile yıllık ortalama sıcaklık arasındaki mutlak fark

C. Aylık ortalama maksimum sıcaklık ile aylık ortalama minimum sıcaklık arasındaki en düşük farkın yarısı

D.  $[A+C]$  ile [kaydedilen en yüksek sıcaklıktan yıllık ortalama sıcaklığın çıkarılması ile bulunan sıcaklık değeri] arasındaki fark

E.  $[B+C]$  ile [yıllık ortalama sıcaklıktan kaydedilen en düşük sıcaklığın çıkarılması ile bulunan sıcaklık değeri] arasındaki fark

F.  $[A+C]$  ile [(kaydedilen en yüksek sıcaklık ve en yüksek ortalama maksimum sıcaklığın aritmetik ortalaması) ile (yıllık ortalama sıcaklık) arasındaki fark] arasındaki fark

G.  $[B+C]$  ile [(kaydedilen en düşük sıcaklık ve en düşük ortalama minimum sıcaklığın aritmetik ortalaması) ile (yıllık ortalama sıcaklık) arasındaki fark] arasındaki fark

Tablo 1.6 Hava sıcaklık değerlerinin elde edilmesine bir örnek (USACE, 1994)

Aylar	Ortalama	Ortalama Maksimum	Ortalama Minimum	Fark	Yüksek/Düşük
<b>Ocak</b>	<b>8,4</b>	14,9	<b>2,1</b>	12,8	
<b>Şubat</b>	10,8	17,5	4,1	13,4	<b>-6,1</b>
<b>Mart</b>	13,9	21,4	6,4	15	
<b>Nisan</b>	18,9	26,9	10,9	16	
<b>Mayıs</b>	23,8	31,9	15,6	16,3	
<b>Haziran</b>	28,5	36,8	20,2	16,6	
<b>Temmuz</b>	<b>31,7</b>	<b>39,1</b>	24,2	14,9	<b>46,7</b>
<b>Ağustos</b>	30,3	37,6	23,1	14,5	
<b>Eylül</b>	27,6	35,2	20,1	15,1	
<b>Ekim</b>	21,3	28,9	13,7	15,2	
<b>Kasım</b>	13,9	21,1	6,6	14,5	
<b>Aralık</b>	9,6	15,8	3,5	<b>12,3</b>	
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>19,9</b>	27,3	12,6		
<p>1. Yıllık ortalama sıcaklık =19,9</p> <p>2. Aylık en yüksek ortalama sıcaklık =31,7</p> <p>3. Aylık en düşük ortalama sıcaklık =8,4</p> <p>4. Kaydedilen en yüksek sıcaklık =46,7</p> <p>5. Kaydedilen en düşük sıcaklık =-6,1</p> <p>6. En yüksek ortalama maksimum sıcaklık =39,1</p> <p>7. En düşük ortalama minimum sıcaklık =2,1</p> <p>8. En düşük fark =12,3</p>					

Tablo 1.7 Devam (USACE, 1994)

<p>A. (2) ile (1) arasındaki fark,          B. (3) ile (1) arasındaki mutlak fark,          C. (8)' in yarısı,          D. [A+C] ile [(4)-(1)] arasındaki fark,          E. [B+C] ile [(1)-(5)] arasındaki fark,          F. [A+C] ile [(4) ve (6)' nın aritmetik ortalaması ile (1) arasındaki fark] arasındaki fark,          G. [B+C] ile [(5) ve (7)' nın aritmetik ortalaması ile (1) arasındaki fark] arasındaki fark,</p>				
	<b>Ekstrem Hava Durumu</b>		<b>Olağan Hava Durumu</b>	
<b>Periyot</b>	<b>Üst Değer</b>	<b>Alt Değer</b>	<b>Üst Değer</b>	<b>Alt Değer</b>
<b>Yıllık</b>	A=11,8	B=11,5	A=11,8	B=11,5
<b>15 Günlük</b>	D=-8,85	E=-8,35	F=-5,05	G=39,55
<b>Günlük</b>	C=6,15	C=6,15	C=6,15	C=6,15

4. Yukarıdaki veriler elde edildikten sonra beton sıcaklık hesabına geçilir. Hesabın teorisi düz kalın bir beton diliminde ısı akışına dayanmaktadır. Hesapların temelinde, dilimin kalınlığı ile dilimin ortalama sıcaklık değişiminin dış sıcaklık değişimine oranını gösteren bir eğri bulunmaktadır. Bu eğriyi kullanmak için efektif dilim kalınlığı göz önüne alınır. Bu kalınlık; barajın gerçek kalınlığı, betonun yayılma kabiliyeti, yıllık, 15 günlük veya günlük hava sıcaklık değişimi ile ilgilidir. Efektif kalınlık belirlendikten sonra, grafikten faydalanılarak ordinat değeri olan oran okunur. Bu üç hava sıcaklık değişimi için bu işlemler tekrarlanır ve oranlar belirlenir. Daha sonra, hava ardından su sıcaklık değişimleri kullanılarak her iki yüzeyde de hava ve su olması halinde maksimum ve minimum beton sıcaklıkları belirlenir. Bu değerlerin ortalaması alınarak mambadaki su ve mansaptaki hava için beton sıcaklık aralığı belirlenir.
5. Güneş ışınları etkileri için beton sıcaklıklarında düzeltme yapılır.
6. Sonuçlar gerilme analizine uygulanır.

Beton sıcaklıklarını belirlemek için kullanılan ikinci yöntem, sonlu eleman teknikleridir. Kemer barajlar gerilme açısından gerçekte üç boyutlu yapılar olmasına rağmen, bir ısı akışı açısından düşey düzlemlere dik doğrultuda çok az ısı iletilmektedir. Bu durumda, ısı akışı analizleri iki boyutlu olarak yapılabilir. Ancak, ısı akışı analizlerinden elde edilen sonuçlar üç boyutlu gerilme modelinin düğüm noktalarına uygulanmalıdır. Bu sebeple, uygulamanın kolay olması için üç boyutlu ısı akışı modeli kullanmak daha iyi olur. Uygulama kolaylığının yararları, sayısal değerlerde bir artışa ve sıcaklık hesaplamaları için kaba üç boyutlu sonlu eleman ağı kullanımına karşı ölçülmelidir.

Tüm barajın veya anahtar kesitin sonlu eleman modeli hazırlanmalıdır. Hava ve su döngüleri modelin sınırları etrafına uygulanır ve yıllık ortalama hava sıcaklığı zemine uygulanır. Çoğu genel amaçlı sonlu eleman programlarında kararlı durum ve geçici çözümler mümkündür. Bu analizleri yapmak için başlangıç sıcaklığı belirlenerek geçici çözüm kullanılır. Başlangıç sıcaklığı, baraj sahasının yıllık ortalama hava sıcaklığı olduğu varsayılarak, geçici çözüm doğal olarak periyodik olan baraj yoluyla bir sıcaklık dağılımını gösterir. Bu analizin anahtarı, çözümün yerleşmesine yetecek kadar uzun süre çalışmasına izin vermektir. Çözüm için gerekli süre, baraj kalınlığına ve malzeme özelliklerine bağlıdır. Barajın ortasında bir düğüm noktasının tepkisi grafik olarak elde edilerek, görsel bir inceleme yapılabilir ve çözümün yeterince uzun süre devam edilip edilmediğine ilişkin bir karar alınabilir. Başlangıç sıcaklığında bir çevrimsel tepki başlayacak ve değişimin yaşandığı değer ile bu değer etrafında bir dizi dalgalanmadan sonra sonuç sabit bir değere doğru sürüklenecektir. Bu sonuçlara dayanarak, yaz ve kış beton sıcaklıklarını temsil üzere bir çözüm zaman adımı seçilebilir. Aynı model, sıcaklık hesaplamaları için kullanılıyorsa, sıcaklıklar doğrudan üç boyutlu gerilme modelinin düğüm noktalarına uygulanabilir. Sıcaklık hesaplamaları için farklı bir model kullanılıyorsa, iki boyutlu ısı akışı sonuçlarını üç boyutlu gerilme modeli boyunca yaymak için bir yöntem geliştirilmelidir.

### **1.9.2. İnşaat Sıcaklık Çalışmaları**

Tasarım sürecinin son aşamalarından önce barajın nasıl inşa edileceğini ve eğer varsa sıcaklığın kontrol edilmesi için önlemlerin alınması gerektiğini düşünmeye başlamak gerekir. Sıcaklık kontrol işlemleri, genellikle sıcaklıktan dolayı oluşacak çatlama ihtimalini

en aza indirmek için yapılmaktadır. Çünkü çatlama, barajdaki iç gerilme dağılımını, sızdırmazlığı, uzun ömürlülüğü ve görünümü etkilemektedir. En yaygın sıcaklık kontrol işlemleri; ön soğutma, beton dökümünden sonraki soğutma, düşük sıcaklıklı çimento ve puzolan kullanımı, çimento miktarını azaltma, su/çimento oranını azaltma, küçük boyutta blok dökümü ve sıcak hava durumlarında sadece sıcak aylarda döküm yapmaktır. Burada, ön soğutma metotları, beton dökümünden sonraki soğutma işlemleri, blok boyutlarında kısıtlama ve döküm zamanlarının tespit edilmesi ayrıntılı incelenmektedir. Çatlak içermeyen bir barajın istenilen enjeksiyon sıcaklığı ile inşa edilebilmesi için bu öğeler doğru seçilmelidir (USACE, 1994).

### **1.9.2.1. Sıcaklık Kontrol Problemi**

İnşaat sıcaklığı kontrol problemi, kütle betonu döküldükten sonra betondaki değişime bakılarak anlaşılabilir. Betonun dökümünden sonraki ilk safhalarda, çimento hidrate olurken ısı ortaya çıkar ve tüm kütledeki sıcaklıkta bir artışa sebep olur. Normal şartlar altında merkezde oluşan ısı hapsedilirken yüzeyde bir miktar ısı kaybedilir. Merkezdeki sıcaklık artmaya devam ederken beton genişlemeye başlar. Aynı zamanda yüzey betonu soğur ve bu yüzden büzülür. Ayrıca, yüzeyde fazladan büzülmeye sebep olan kuruma da olabilir. Merkez ve yüzey arasındaki sıcaklık farkı ve büzüşmenin sonucu olarak iç kısımlarda basınç ve yüzeyde çekme gerilmeleri meydana gelir. Çekme gerilmeleri, çekme mukavemeti kapasitesini aştığında beton çatlayacaktır (USACE, 1994).

Merkezde oluşan basınç gerilmeleri, malzemenin akma özelliğinin bir sonucu olarak bir süre sonra etkisini kaybetmeye başlar. Bu durum gerçekleşirken merkez soğumaya başlar ve merkez soğudukça beton büzülür. Eğer bu büzülme, temel, dış yüzeyler veya önceden dökülmüş beton tarafından sınırlanmışsa, merkezde çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olacaktır. Önceki durumda olduğu gibi, bu çekme gerilmeleri betonun çekme mukavemet kapasitesini aşarsa, barajda çatlaklar oluşacaktır (USACE, 1994).

### **1.9.2.2. İdeal Durum**

İdeal durum, herhangi bir sıcaklık eğimi veya sıcaklık düşüşünü ortadan kaldırmak olacaktır. Bu ancak, betonun başlangıç döküm sıcaklığı yeterince düşük ayarlanırsa mümkündür. Çimentonun hidrasyonundan kaynaklanan sıcaklık artışı beton sıcaklığını

nihai kararlı duruma kadar yükseltir. Örneğin, eğer nihai kararlı sıcaklık 27 °C olması belirlenmişse ve betonda 17 °C sıcaklık artışı bekleniyorsa o zaman başlangıç döküm sıcaklığı 10 °C alınmalıdır. Böylece tasarımcı sıcaklıktan dolayı oluşacak çatlamanın çok az olmasını temin edebilir. Bu örnek hiçbir sıcaklıktan dolayı büzülme ile sonuçlanmayacaktır. Bununla birlikte, özellikle nihai kararlı sıcaklık 21 °C altına düştüğünde, betonun bu kadar düşük bir sıcaklıkta dökülmesi her zaman uygun veya ekonomik olmayabilir. Bir çok durumda, başlangıç döküm sıcaklığını ideal duruma çok az yükseltmek, dolayısıyla çok az sıcaklık düşüşü ve az miktarda sıcaklıktan dolayı hacimsel büzülme kabul etmek daha ekonomiktir (USACE, 1994).

### 1.9.2.3. Ön Soğutma

Ön soğutma, betonun döküm sıcaklığının düşürülmesidir ve sıcaklık kontrol yöntemlerinin en etkili ve olumlu olanlarından biridir. Ön soğutma, hidratasyon sırasında ortaya çıkan ısı oranını düşürmekle birlikte betonun işlenebilirliğini de artırabilir. Başlangıç döküm sıcaklığının seçimi, ilk pik sıcaklık değerinde sıfır gerilme olacağı kabul edilerek elde edilebilir. Başlangıç beton döküm sıcaklığı aşağıdaki ifade kullanılarak seçilebilir (USACE, 1994);

$$T_i = T_f + \left( \frac{100 * C}{e * R} \right) - dt \quad (1.10)$$

Burada,

$T_i$  : Beton döküm sıcaklığı,

$T_f$  : Nihai kararlı beton sıcaklığı,

$C$  : Şekil değiştirme kapasitesi (milyonda bir),

$e$  : Isıl genleşme katsayısı,

$R$  : Kısıtlama derecesi (%),

$dt$  : Başlangıç sıcaklık artışı,

ile temsil edilmektedir. Bu ifadede, nihai kararlı beton sıcaklığı daha önce tanımlandığı gibi hesaplanan sıcaklıktır. Bu verinin mevcut olmadığı durumda nihai kararlı beton sıcaklığı yıllık ortalama hava ve su sıcaklıklarına eşit kabul edilebilir. Kısıtlama derecesi %100 olduğu kabul edilirse, bu denklem (USACE, 1994);

$$T_i = T_f + \left( \frac{C}{e} \right) - dt \quad (1.11)$$

şeklini alır. Bir örnek olarak, yıllık ortalama hava sıcaklığı 7,2 °C, yavaş yük altında şekil değiştirme kapasitesi  $120 \times 10^{-6}$ , ısıl genleşme katsayısı  $1 \times 10^{-5}$  1/°C ve başlangıç sıcaklık artışı 11,1 °C ise o zaman maksimum beton döküm sıcaklığı 8,1 °C olur. A.B.D' de inşa edilmiş çeşitli kemer barajlar için Tablo 1.8'de yıllık ortalama sıcaklık ve maksimum beton döküm sıcaklığı karşılaştırılmıştır (USACE, 1994).

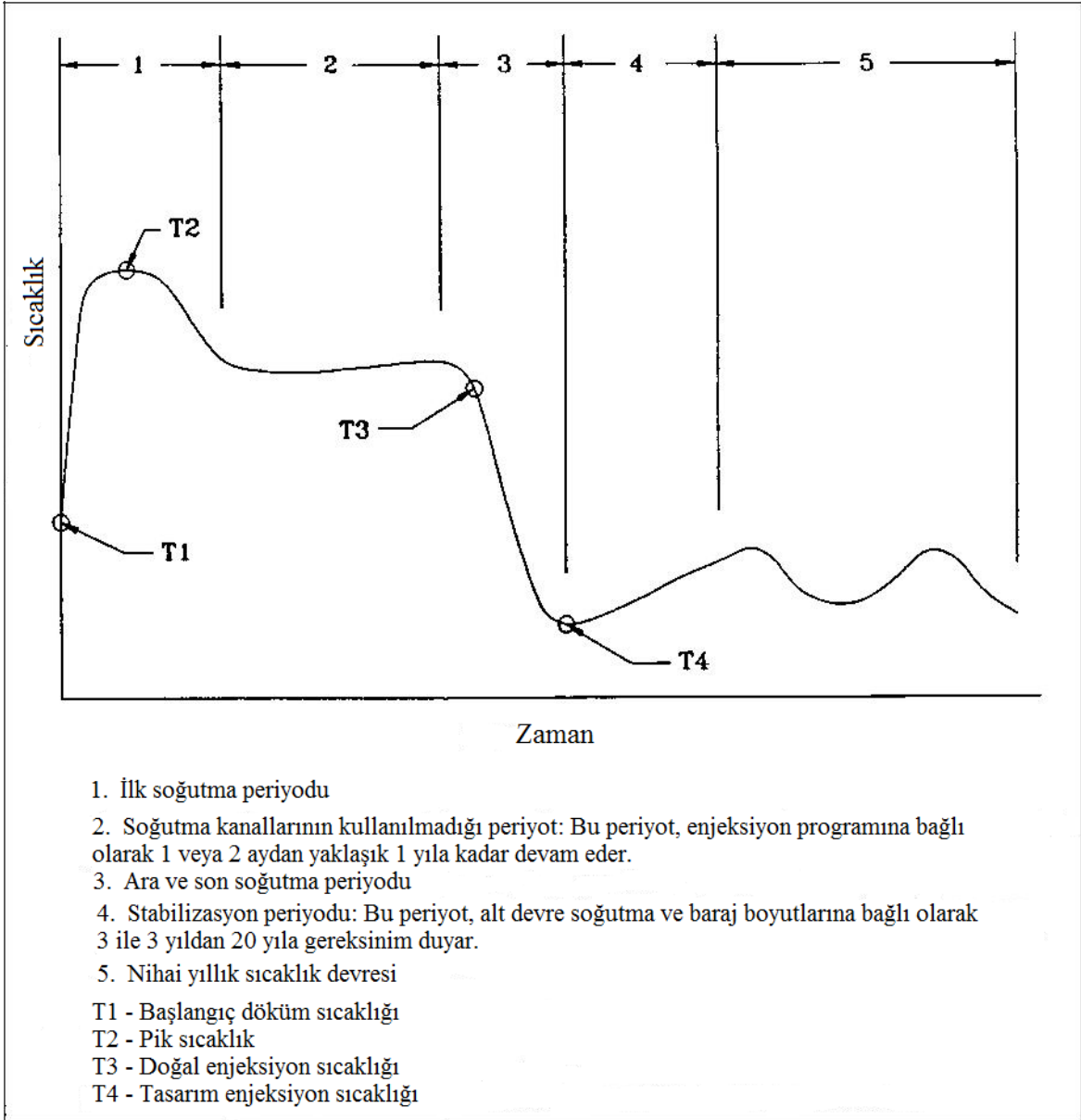
Tablo 1.8 A.B.D'deki bazı barajlarda yıllık ortalama sıcaklık ile beton döküm sıcaklıkları (USACE, 1994)

<b>A.B.D'deki Bazı Barajlarda</b>		
<b>Yıllık Ortalama Sıcaklıklar ile Beton Döküm Sıcaklıkları (°C)</b>		
<b>Baraj</b>	<b>Yıllık Ortalama Sıcaklık</b>	<b>Beton Döküm Sıcaklığı</b>
Swan Lake	7,2	10
Strontia Springs	11,1	12,8
Cyrstal	2,8	4,4-10
Mossyrock	10	15,6
Morrow Point	3,9	4,4-15,6
Glen Canyon	16,7	<10

#### 1.9.2.4. Beton Dökümünden Sonraki Soğutma İşlemi

Beton dökümünden sonraki soğutma işlemi, hem inşaatın ilk aşamalarında oluşan yüksek sıcaklıkları düşürmek, hem de enjeksiyonu yapılacak blok birleşim yerlerindeki beton kütlelerinde düzgün sıcaklık azalışına izin vermek için yapılır. Bu soğutma işlemi, her beton blok arasına gömülen soğutma kanallarında su dolaştırılarak gerçekleştirilir. Aşağıda verilen bilgiler sayesinde beton sıcaklığı 3.33 °C gibi düşük bir sıcaklığa güvenli bir şekilde düşürülebilir. Şekil 1.18, soğutma işlemi uygulanmış betonun tipik bir sıcaklık süreci görülmektedir. Aşağıda, beton dökümünden sonra yapılan soğutma işleminde kullanılan malzemelerin, soğutma periyotlarının ve izlenecek adımların tanımları yapılmıştır (USACE, 1994).





Şekil 1.18 Blok birleşimlerinin enjeksiyonunun yapıldığı yerde yapay olarak soğutulmuş betondaki sıcaklığın zamanla değişimi (USACE, 1994)

- İlk Soğutma Periyodu

İlk soğutma süresi boyunca başlangıçtaki sıcaklık yükselmesi kontrol edilir ve beton düşük bir elastisite modülüne sahipken önemli bir ısı miktarı aşağı çekilir (Şekil 1.11). Bu pik sıcaklıktaki toplam düşüş (1,7 °C ile 2,8 °C) olabilir. Bu düşüş çok önemlidir. İlk soğutma süresi, elastisite modülünün kısmen düşük olduğu beton dökümünün ilk aşamalarında önemli bir miktar ısıyı düşürmeye devam eder. Bununla birlikte günde 0,3 °C ile 0,6 °C'den daha fazla ısıyı düşürmemesi ve ilk soğutmayı 15 ile 30 günden fazla devam

etmemesi tercih edilir. Hızlı soğutma, soğutma kanallarının bulunduğu bölgede çekme gerilmelerinin betonun çekme mukavemetini aşmasına sebep olur. (USACE, 1994)

- Ara ve Son Soğutma Periyotları

Ara ve son soğutma periyotları, beton sıcaklığını istenen enjeksiyon sıcaklığına düşürmek için kullanılır. Genel olarak, ilk soğutma periyodu için soğutma oranının 0,3 °C'dan fazla olmaması dışında, ara ve son soğutma periyotları için aynı kurallar geçerlidir. Betonun daha yüksek elastisite modülü sebebiyle bu düşük oran gereklidir. Ara soğutma periyodundaki gereksinim, enjekte edilecek blokların üst sınırlarında meydana gelen düşey sıcaklık artışını azaltma ihtiyacına bağlıdır. Eğer bu soğutma periyodu gerekli ise, o zaman bu periyottaki meydana gelen sıcaklık düşüşü, toplam düşüşün yarısı kadardır. Her bir enjekte edilecek blok, önceki enjekte edilen bloğun son soğuma periyoduna geçmeden önce bu ara soğutma süresinden geçmektedir (USACE, 1994).

- Malzemeler

Beton dökümünden sonraki soğutma işleminde kullanılan kanallar ince cidarlı çelik boru sistemi olmalıdır. Bu kanalların çapı, bilinen kanal boyunca suyun gerekli akışı en ekonomik biçimde sağlayacak şekilde seçilir. Küçük bir çap kanalın maliyetini düşürebilir. Ancak pompalama maliyetini artırır. 25,4 mm dış çapa sahip kanallar küçük akışlar için yaygındır. Soğutma işleminde kullanılan su, sistemi tıkayabilen siltten arınmış olmalıdır. Eğer yıl boyunca soğuk nehir suyu mevcut ise, istenilen zaman içinde elde edilmesi gereken beton sıcaklığı sağlayan soğutulmuş sudan genellikle daha ucuza mal olacaktır. Nehir suyunun kullanımı genellikle daha fazla ve daha uzun kanal ve daha büyük bir pompalama kapasitesi gerektirir. Böylece, soğutma tesisi ihtiyacını ortadan kaldırabilir (USACE, 1994).

- Plan

Her bir kanalın uzunluğu 183 m ile 396 m arasında değişebilir. Bununla birlikte her kanalın uzunluğu 244 m'ye kadar sınırlandırmak tercih edilir. Mümkün olduğunda, düşey blok aralıklarına eşit yatay aralıklar, soğutma sırasında en düzgün sıcaklık dağılımını verir. 19 cm'yi aşan bloklar ile düzgün sıcaklıklar elde etmek zor olabilir. 5 cm'den 15'cm ye kadar olan yatay aralıklar en yaygın olanıdır. Kanallar genellikle pik sıcaklıkları sınırlamanın büyük olduğu alanlarda kalması için temelin yakınında birbirine daha yakın aralıklarla yerleştirilir (USACE, 1994).

### 1.9.2.5. Enjeksiyon Sıcaklık Analizi

Bir kemer baraj üzerindeki en önemli yüklemelerden biri, sıcaklık yüklemesidir. Sıcaklık yüklemesi, işletmede etkili olan beton sıcaklığı ile nihai tasarım sıcaklığı arasındaki farkın hesaplanmasıyla elde edilir. Nihai tasarım sıcaklığı bazen enjeksiyon sıcaklığı olarak adlandırılır. Bu sıcaklık genellikle betonun istenen sıcaklığa soğutulması ve derzlere enjeksiyon yapılarak elde edilir. Bununla birlikte, derzlere enjeksiyon yapılması her zaman gerekli olmayabilir veya mümkün olmayabilir. Bazı durumlarda, yapının doğal enjeksiyon sıcaklığı nihai tasarım sıcaklığı ile örtüşmesi için beton döküm sıcaklığını seçmek daha önemli olabilir. Bu “*ideal durum*” olarak daha önce açıklanmıştı. Enjeksiyon sıcaklık analizinin amacı, barajda çatlak olasılığını en aza indirirken nihai tasarım sıcaklığının nasıl elde edilebileceğini belirlemektir (USACE, 1994).

Ayrıntılı bir enjeksiyon sıcaklığı analizi yapmadan önce, bir ön (basitleştirilmiş) analiz yapılmalıdır. Enjeksiyon sıcaklık çalışmasında ilk adım, suni olarak soğutulmuş bir betonda tipik sıcaklık değişimini incelemektir. Suni olarak soğutulmuş beton, beton dökümünden sonra yapılan soğutma işlemlerini birleştiren betondur. Şekil 1.18, suni olarak soğutulmuş beton için derzlerin enjeksiyon yapılacağı tipik bir sıcaklık değişimini göstermektedir. Bu şekilde gösterilen sıcaklıklar ve aşağıda ele alınan sıcaklıklar ortalama sıcaklık olarak dikkate alınmalıdır. Beton döküm sıcaklığı, çimentolu malzemelerin türleri ve miktarı, blokların boyutu, döküm oranları ve açılma durumları gibi sıcaklık değişim sürecini etkileyen bir çok faktör vardır. Şekil 1.18’de görüldüğü gibi sıcaklık değişim sürecinde 5 faz vardır. 1.faz, beton dökülürken başlar ve soğutma kanalları çalışırken devam eder. 2.faz beton dökümünden sonra ilk soğutma periyodu ile ara ve/veya son soğutma periyodu arasındaki periyodu kapsar. 3.faz beton dökümünden sonraki soğutma yeniden başladığında ve derzler enjekte edilene kadar devam eden fazdır. 4.faz beton sıcaklığının nihai kararlı duruma geldiği enjeksiyon işleminden sonraki periyottur. 5.faz ise, nihai yıllık beton sıcaklığının değişim süreci veya yapının işletmedeki sıcaklık sürecidir (USACE, 1994).

Bu sıcaklık değişimi süreci boyunca enjeksiyon sıcaklığı analizinin bir parçası olarak belirlenen dört önemli nokta vardır. T1 sıcaklığı, beton döküm sıcaklığıdır. T2 sıcaklığı, maksimum ve pik sıcaklıktır. T3 sıcaklığı, doğal enjeksiyon sıcaklığı veya derzlerin açılmaya başladığı sıcaklıktır. T4 sıcaklığı ise, tasarım enjeksiyon sıcaklığı veya büzülme derzlerinin enjeksiyonunun yapıldığı beton sıcaklığıdır. Bu dört sıcaklığın her biri

değerlendirilerek barajın inşa edilmeye hazır olduğundan emin olmak için ön analiz yapılabilir. Bu işlem, T4 sıcaklığı ile başlanarak yapılır (USACE, 1994):

- (a) T4 sıcaklığı, tasarım analizi ile elde edilir. Bu sebeple, enjeksiyon sıcaklık analizi süresince bu değer sabittir. Burada ele alınan örnek için, tasarım enjeksiyon sıcaklığı (T4), 10 °C kabul edilmiştir (USACE, 1994).
- (b) T3 sıcaklığı, blok genişliği seçilerek, ısı genleşme katsayısı için test sonuçları kullanılarak ve enjeksiyon için gerekli bir derz açıklığına kabul yapılarak hesaplanabilir. 15,2 metrelik bloklar halinde inşa edilen bir kemer baraj için  $1 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$  ısı genleşme katsayısı ve 0,24 cm derz açıklığı alınırsa 17,2 °C sıcaklık düşüşü meydana gelir. Böylece T3, 27,2 °C olur (USACE, 1994).
- (c) T3 ve T2 arasındaki fark, döküm sıcaklığına ve bloğun kalınlığına göre değişir. Bu değişim genellikle küçüktür ve ön enjeksiyon sıcaklık analizinde bazen ihmal edilir. Eğer T3 analizde yer alırsa, aşağıdaki değerler kabul edilebilir. Blok yüksekliği 1,52 m ise, 1,7 °C 'lik bir sıcaklık farkı kabul edilebilir. 3,05 m blok yüksekliği için, 2,8 °C 'lik bir sıcaklık farkı daha uygundur. Dolayısıyla 3,05 °C m yüksekliğindeki bir blok için ortalama en yüksek sıcaklık (T2) 30 °C (27,2 + 2,8 °C) olur (USACE, 1994).
- (d) T1 beton döküm sıcaklığı, hidratasyon ısısının sebep olduğu sıcaklık artışına bağlı olarak hesaplanabilir. Çimento inceliği ve tipi, çimento yerine uçucu kül kullanımı, blok yüksekliği, soğutma kanalı planı, betonun ısı özellikleri, çevre şartları ve yapım yöntemleri gibi sıcaklık artışını etkileyen bir çok faktör vardır. Sıcaklık artışını etkileyen faktörlerin çeşitliliği sebebiyle, beton malzemeleri, karışımın tasarımı ve ortam koşulları hakkında kesin bir bilgi olmadan T1 döküm sıcaklığını belirlemek zordur. Yukarıda verilen örnek için, T1 ve T2 arasında 13,9 °C'lik bir fark olduğunu kabul edelim. Beton karışımında cürufu çimento ve uçucu kül kullanıldığı ve 3,05 m blok yüksekliği seçildiği zaman bu değer tipik olarak alınabilir. 13,9 °C'lık sıcaklığın artması, 16,1 °C'lik beton döküm sıcaklığı verecektir. Analizde bazı hatalara hve inşaat işlemi sırasında bazı değişiklikler yapılmasına izin verilerek bu örnek için  $15,6 \pm 2,8$  °C sıcaklık aralığı belirtilebilir (USACE, 1994).

Yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak, sıcaklık değişim süreci eğrisi boyunca sıcaklıklar tahmin edilebilir. Bu ön enjeksiyon sıcaklık analizinde bir sonraki adım, sıcaklıklardan herhangi birinin ve/veya sıcaklıklardaki değişikliklerin ısı çatlamaya sebep

olup olmadığını belirlemektir. Sıcaklık değişim sürecinin iki açıdan ayrıntılı değerlendirilmesi gerekmektedir (USACE, 1994).

1) Döküm ve pik sıcaklıklar: Ekonomik olabilmesi için döküm sıcaklığı, yıllık ortalama hava sıcaklığına yakın olmalıdır. Eğer ön analizden hesaplanan döküm sıcaklığı 7,2 °C'den daha az veya 21,1 °C'den daha büyük ise veya döküm sıcaklığı yıllık ortalama hava sıcaklığının 5,6 °C üzerinde ise, o zaman daha ayrıntılı bir enjeksiyon sıcaklık analizi gerçekleştirilmelidir. Gerekli pik sıcaklık (T2) 41 °C üzerinde ise yine detaylı bir analiz gerekmektedir (USACE, 1994).

2) Pik sıcaklıktan tasarım enjeksiyon sıcaklığına kadar sıcaklık düşüşü: Son soğutma periyodu sırasında oluşan şekil değiştirme, test sonuçlarından belirlenen betonun yavaş yük şekil değiştirme kapasitesini aşmamalıdır. Maksimum sıcaklık düşüşü, yavaş yük şekil değiştirme kapasitesi ısı genleşme katsayısına bölünerek bulunur. Örneğin, yavaş yük şekil değiştirme kapasitesi  $120 \times 10^{-6}$  ve ısı genleşme katsayısı  $1 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$  ise, maksimum sıcaklık düşüşü 12 °C olacaktır. Daha önce bahsedilen örnekte sıcaklık düşüşü 20 °C (T2 - T4) idi. Bu verilere dayanarak blok genişliği artırılmalıdır veya daha detaylı bir enjeksiyon sıcaklığı analizi gereklidir. Bu durumda blok genişliği 24,4 metreye çıkarılarak, istenilen sıcaklık düşüşü 14,1 °C olması sağlanabilir. Büyük blok genişliği ve aşırı sıcaklık düşüşünün birleşimi genellikle inşaat parametrelerini ve sıcaklık değerlerini daha doğru olarak saptamak için detaylı bir enjeksiyon analizinin yapılması gereklidir (USACE, 1994).

Yukarıda belirtilen durumların her ikisi de barajın yapılışını tehlikeye atmaksızın tasarım enjeksiyon sıcaklığının elde edilmesiyle ilgili bir problemi göstermesi durumunda, daha detaylı bir enjeksiyon sıcaklığı analizi gereklidir. Detaylı enjeksiyon sıcaklığı analizinin nasıl yapılacağı aşağıda verilmiştir (USACE, 1994).

Detaylı bir enjeksiyon sıcaklığı analizi yapmak için aşağıdaki kabuller gereklidir;

- 1) Süperpozisyon ilkesi uygulanmalıdır. Yani herhangi bir zaman artımında meydana gelen şekil değiştirmeler, önceki zaman artımında meydana gelen şekil değiştirmelerin etkisinden bağımsızdır (USACE, 1994).
- 2) Blok derzleri kapatıldığında, beton bitişik blokların genleşmesini engellemiş olur ve blok derzlerinde basınç gerilmeleri oluşur (USACE, 1994).
- 3) Beton büzülmeğe engellenemez. Başka bir ifadeyle, betonun büzülmesinden dolayı çekme gerilmeleri oluşmaz. Betonun büzülmesi derzlerde basınç gerilmelerinin boşalmasını veya derzlerin açılmasını meydana getirecektir (USACE, 1994).

- 4) Derzlerin açılması, ancak basınç gerilemeleri azaldıktan sonra ortaya çıkar (USACE, 1994).
- 5) Akma sadece basınç gerilemelerine uygulanır (USACE, 1994).
- 6) Sadece ısı genleşme veya büzülmenin etkileri ve ek ağırlık dikkate alınır (USACE, 1994).

Enjeksiyon sıcaklık analizini gerçekleştirmek için, düzgün ısı genleşme katsayısının zamanla değişen özellikleri, akma oranı, elastisite modülü ve poisson oranı gerekecektir. Bu malzeme özellikleri, döküm zamanından sonra birkaç ay boyunca gerekli olacaktır (USACE, 1994). Enjeksiyon sıcaklık analizinde ilk adım, baraj içindeki tipik bir bloğun sıcaklık değişim sürecini tahmin etmektir. Bu bilgi elde edildikten sonra, her bir zaman artışı için sıcaklıktaki değişimin sebep olduğu teorik şekil değiştirme hesaplanır. Bu teorik şekil değiştirme:

$$\varepsilon_t = e_i \Delta T = e_i (T_i - T_{i-1}) \quad (1.12)$$

ile hesaplanır (USACE, 1994). Burada

$\varepsilon_t$  :  $t_1$  anından  $t_i$  anına kadar sıcaklık değişiminden dolayı meydana gelen artımsal şekil değiştirme,

$e_i$  :  $t_i$  anındaki düzgün ısı genleşme katsayısı,

$\Delta T$  : Sıcaklıktaki değişim,

$T_i$  :  $t_i$  anındaki sıcaklık,

$T_{i-1}$  :  $t_{i-1}$  anındaki sıcaklık,

ile temsil edilmektedir (USACE, 1994). Ayrıca, yapım yüklerinden dolayı oluşan teorik şekil değiştirme aşağıdaki denklem ile eklenebilir.

$$\varepsilon_{wt} = \frac{\mu_i \Delta wt}{E_i} = \frac{\mu_i (wt_i - wt_{i-1})}{E_i} \quad (1.13)$$

Burada,

$\varepsilon_{wt}$  :  $t_{i-1}$  anından  $t_i$  anına kadar ek ağırlıktan dolayı meydana gelen artımsal şekil değiştirme,

$\mu_i$  :  $t_i$  anındaki poisson oranı,

$\Delta wt$  : Ağırlıktaki artımsal değişim,

$E_i$  :  $t_i$  anındaki elastisite modülü,

$wt_i$  :  $t_i$  anındaki ağırlık,

$wt_{i-1}$  :  $t_{i-1}$  anındaki ağırlık,

ile temsil edilmektedir (USACE, 1994). Toplam artımsal şekil değiştirme, sıcaklık ve ek ağırlıktaki değişimlerden dolayı artımsal şekil değiştirmelerin toplamıdır. Yani,

$$\varepsilon_i = \varepsilon_t + \varepsilon_w = e_i(T_i - T_{i-1}) + \frac{\mu_i(wt_i - wt_{i-1})}{E_i} \quad (1.14)$$

şeklindedir. Burada;  $\varepsilon_i$ ,  $t_i$  anındaki toplam artımsal şekil değiştirmedir (USACE, 1994). Artımsal gerilme,

$$\sigma_i = \varepsilon_i E_i \quad (1.15)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;  $\sigma_i$ ,  $t_i$  anındaki toplam artımsal gerilmedir (USACE, 1994).

Her zaman artımında bu gerilme belirlendikten sonra, bu artımsal gerilmenin zamanla nasıl boşaltılacağını belirlemek için gerilmeye akma uygulanabilir. Aşağıdaki denklem sabit şekil değiştirme altında gerilmedeki boşalma, birim şekil değiştirmede

$$\sigma_{i-n} = \frac{1}{\frac{1}{E_i} + [c_i \ln(t_n - t_i + 1)]} \quad (1.16)$$

kadar olur (USACE, 1994). Burada;

$\sigma_{i-n}$  :  $t_i$  anında bir şekil değiştirme artımından dolayı  $t_n$  anındaki gerilme,

$c_i$  :  $t_i$  anındaki akma oranıdır.

Herhangi bir  $t_n$  anındaki toplam gerilmeyi hesap etmek için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$\sigma_n = \sum_{i=1}^n \sigma_{i-n} \quad (1.17)$$

Burada;  $\sigma_n$ ,  $t_n$  anındaki toplam gerilmedir (USACE, 1994).

$t_n$  zamanının sonunda blok derzlerindeki toplam gerilme basınç ( $\sigma_n \geq 0$ ) ise, o zaman basınç gerilmesini azaltmak için gerekli sıcaklık düşüşü,

$$dT_n = T_n - T'_n = \frac{\sigma_n}{e_n E_n} \quad (1.18)$$

denklemleri ile belirlenir (USACE, 1994). Burada;

$T'_n$  :  $t_n$  anındaki yapının doğal enjeksiyon sıcaklığı,

$T_n$  :  $t_n$  anındaki beton sıcaklığıdır (USACE, 1994).

Normal koşullar altında,  $T'_n$  beton dökümünden 20 ile 30 gün sonra önemli ölçüde değişmez ve basitçe  $T'$  olarak alınabilir. Enjeksiyon sıcaklık analizinde  $T'$  için kararlı durum değeri blok genişliğini belirlemek için kullanılan kritik değerdir.  $T'$  ve tasarım enjeksiyon sıcaklığına sahip blok derzlerinin enjeksiyonunun yapılabilmesi için gerekli minimum blok genişliği:

$$l_{min} = \frac{x}{e_n (T' - T_g)} \quad (1.19)$$

ile belirtilebilir (USACE, 1994). Burada,

$l_{min}$  : enjeksiyon için kabul edilebilir bir derz açıklığı meydana getiren bloğun en küçük boyutu (kalınlığı),

$x$  : derzi enjeksiyon yapabilmek için gerekli derz açıklığı,

$T_g$  : derzlerin enjeksiyon yapıldığı sıcaklıktır (tasarım enjeksiyon sıcaklığı) (USACE, 1994).

## 1.10. Kemer Baraj Projelendirme İlkeleri

Kemer baraj projelendirme ilkeleri USACE (1994) kaynağından alınmıştır.

### 1.10.1. Proje Aşamaları

Bir kemer barajın projelendirilmesinde, en önemli husus diğer bütün yapılarda olduğu gibi güvenliktir. Çünkü, barajın yıkılması, bulunduğu yer için büyük bir felakete



sebepe olabilir. Barajda güvenliğin sağlanması, en başta barajın inşa edileceği yerin sağlam kaya bir zemine sahip olması ile mümkündür. Kemer baraj geometrisinin seçimi veya belirlenmesi ikinci önemli olan husustur. Barajda çatlamalara sebep olan aşırı çekme gerilmelerinin oluşumuna müsaade etmeyen baraj geometrisinin tespiti, projelendirmenin en zor aşamasını teşkil etmektedir. Bir kemer barajın projelendirilmesinde izlenen yol üç aşamada toplanabilir;

### 1. Keşif

Baraj yerinin seçimi ile ilgili bu aşama, mevcut potansiyel vadilerin topografik haritalarının ve zemin karakteristiklerinin elde edilmesi ile ilgilidir. Ampirik denklemler yardımıyla bu vadilerde inşa edilecek barajların beton hacmi ve geometrisi hızlı bir şekilde hesaplanabilir. Yüksekliği, profil şekli, yükleme durumu ve gerilme dağılımı gibi verileri göz önüne alarak mühendis, potansiyel vadiler içinden en uygun yerleri belirleyecektir. Daha sonra bu vadilerde kurulması muhtemel barajların daha ayrıntılı projelerinin hazırlanması için fizibilite aşamasına geçilir.

### 2. Fizibilite

Keşif aşamasında seçilen potansiyel vadilerde düşünülen barajların ayrıntılı projeleri, fizibilite aşamasında gerçekleştirilir. Bu aşamada, her potansiyel baraj yeri için deneme projeleri hazırlanıp analizi ve maliyet tahmini yapılır. Göz önüne alınan baraj yerlerinden ve ayrı ayrı planlarından minimum beton hacmi ve minimum gerilme düzeyine sahip projelerden en ekonomik olanına mühendis karar verecektir. Kesin proje öncesi son çalışmalar olduğundan fizibilite aşaması son derece önemlidir.

### 3. Yapım Öncesi Mühendislik ve Proje

Fizibilite aşamasında mevcut potansiyel vadilerde gerçekleştirilen projeler arasından baraj yeri ve gövdesi için karar aşamasıdır. Mühendis, minimum beton hacmi, minimum gerilme düzeyi, minimum maliyet gibi hususları göz önüne alarak mevcut projelerden birini seçecektir.

Kesin projeye karar verildikten sonra yapım öncesi mühendislik aşamasında ileri statik ve dinamik analizler yapılmaktadır. Fizibilite aşamasında analiz edilmeyen yük durumları bu aşamada değerlendirilir ve analiz edilir.

### 1.10.2. Baraj Geometrisi Oluştururken Yapılan İşlemler

Baraj geometrisi oluşturulurken yapılan işlemler için, tek merkezli, değişken kalınlıklı bir kemer baraj seçilmiştir. Diğer tip kemer barajlarda izlenen yol, sadece kemerlerin belirlenmesinde değişmektedir. Baraj planının çıkarılmasına başlamadan önce, baraj yerinin 1/50 veya 1/100 ölçekli topografik haritası gerekmektedir. Eğer mümkünse, eşyüksekti eğrileri kaya zeminin topografisini temsil edebilmelidir. Bununla birlikte, çoğu zaman projenin bu aşamasında baraj yerinin sadece yüzey topografisi mevcuttur. Bu durumda mühendis, sondaj işlemine bağlı olarak makul bir taşınacak yükü kabul etmek zorundadır. Böylelikle kazılacak zemin tabakası belirlenir.

#### 1.10.2.1. Eksen Seçimi

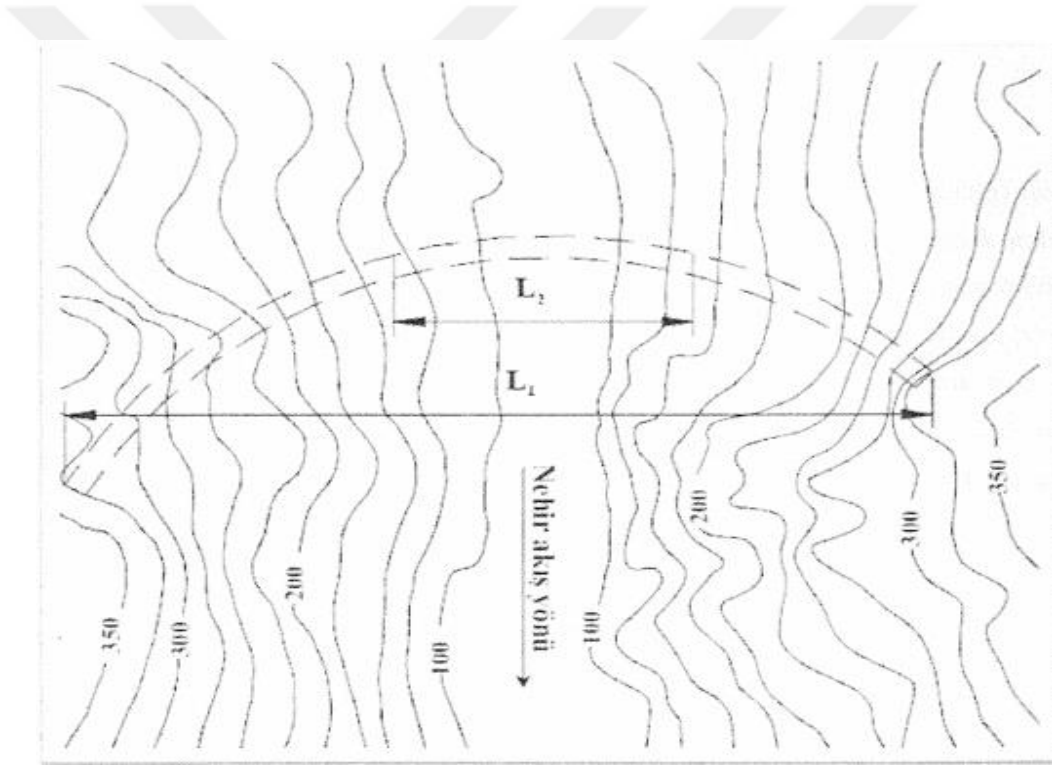
Burada verilen ampirik denklemler, USBR tarafından geliştirilmiş olup mevcut barajlardan derlenen tarihi verilere dayanmaktadır. Bununla birlikte, mühendis ampirik denklemlerden elde edilen parametreleri kullanmak zorunda değildir. Bu parametreler, sadece ilk baraj planı ve başlangıç parametreleri elde etmek için yardımcı bilgiler olarak verilmiştir. Kemer baraj planında kazanılan tecrübenin sonucu olarak mühendislik kararı, başlangıç planının belirlenmesinde veya bir önceki planı düzeltme gereği duyulduğu zaman kullanılabilir.

Hidrolojik veriler kullanılarak, barajın genel yerleşimindeki nehir yatak seviyesinden itibaren kret yüksekliği, dolayısıyla baraj yüksekliği (H) belirlenir. Daha sonra eksen yarıçapının ( $R_{EKSEN}$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için, daha önce yapılmış mevcut barajlara dayanarak USBR (U.S. Bureau of Reclamation) (USACE, 1994) tarafından çıkarılan aşağıdaki ampirik denklem kullanılabilir.

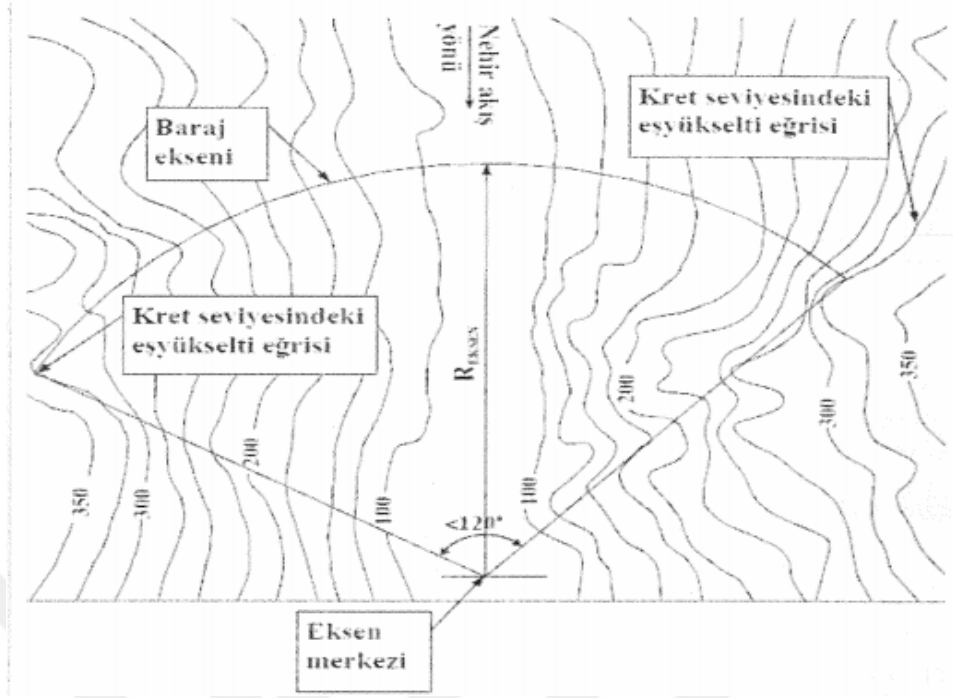
$$R_{EKSEN} = 0,6L_1 \quad (1.20)$$

burada;  $L_1$ , kret seviyesinde yerleştirildiği kabul edilen kemerin mesnetleri arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bu aşamada, temelden  $0.15H$  yukarıdaki mesnetler arasındaki  $L_2$  doğru mesafesi de ölçülmelidir.  $L_1$  ve  $L_2$  mesafeleri için Şekil 1.19'a bakılabilir. Bu üç değişken ( $H, L_1, L_2$ ), anahtar kesitin ilk şeklini belirlemek için kullanılmaktadır. Kret seviyesinin bulunduğu eşyüksekti eğrileri arasında  $R_{EKSEN}$ 'e eşit yarıçaplı bir yay çizilir.

Bu, kemer barajın eksenini göstermektedir. Şekil 1.20’de gösterildiği gibi, eğer çizilen bu yay baraj mesnetleri arasındaki teması sağlayamazsa veya merkez açısı 120 dereceden fazla olursa  $R_{EKSEN}$  boyunu artırmak gerekebilir veya  $L_1$  artırılarak arazi üzerinde baraj eksenini kaydırılabilir. Böylece 120 dereceden küçük bir merkez açısı elde edilir. Barajın en üstteki kemerinin merkez açısının değeri, bütün barajın kemerlerinde oluşacaktır. Böyle bir durum, çoğunlukla V-tipi vadiye sahip bir barajın düşük seviyelerinde meydana gelir. Uygulanabilir en büyük merkez açısı, kaya zemin topografisinin yanlış çizilebileceği ve kemer mesnetlerinin orijinal planlandığından daha derin kazı gerektirebileceği düşüncesi dikkate alınarak seçilmelidir. Topografik ve zemin durumlarındaki sınırlamalardan dolayı, çoğu plan için en üstteki kemerin merkez açısı 100 ile 120 derece arasında değişir.



Şekil 1.19 Ampirik  $L_1$  ve  $L_2$  mesafeleri (USACE, 1994)



Şekil 1.20 Baraj ekseninin arazi üzerindeki yerleşimi (USACE, 1994)

### 1.10.2.2. Anahtar Kesitin ve Referans Düzleminin Yerleştirilmesi

Anahtar kesit, baraj yeri topografisinin en düşük noktası (yani nehir yatağı) ile baraj ekseninin kesiştiği yere yerleştirilir. Burası barajın en derin noktasına karşılık gelir. Bu nokta ve eksen merkezinden geçen düşey düzlem, referans düzlemini (veya merkezler düzlemini) gösterir. Bu düzlem, anahtar kesit ile eksen merkezini birleştiren bir çizgi olarak gösterilmiştir. Diğer yüksekliklerdeki kemer dilimleri çizildiği zaman, kemerlerin merkezleri referans düzlemi üzerinde olacak şekilde yerleştirilecektir. İdeal olarak, referans düzlemi eksenin orta noktasında olmalıdır. Bununla birlikte, bu durum çok az gerçekleşir. Çünkü bir çok vadinin düşük seviyeleri simetrik değildir.

### 1.10.2.3. Anahtar Kesit Geometrisi

Anahtar kesit geometrisi, tüm barajın şeklini ve dolayısıyla gövdedeki gerilme dağılımını ve büyüklüğünü belirler. Aşağıdaki ampirik denklemler, kret, temel ve temelden  $0,45H$  yüksekliğindeki üç yerde anahtar kesitin kalınlığını belirlemek için kullanılabilir.

$$T_c = 0,001(H + 1,2L_1) \quad (1.21)$$

$$T_B = \sqrt[3]{0,0012HL_1L_2\left(\frac{H}{400}\right)^{\frac{H}{400}}} \quad (1.22)$$

$$T_{0,45H} = 0,95T_B \quad (1.23)$$

Burada,

$T_C$  : Kret seviyesindeki kemerin kalınlığı,

$T_B$  : Taban seviyesindeki kemerin kalınlığı,

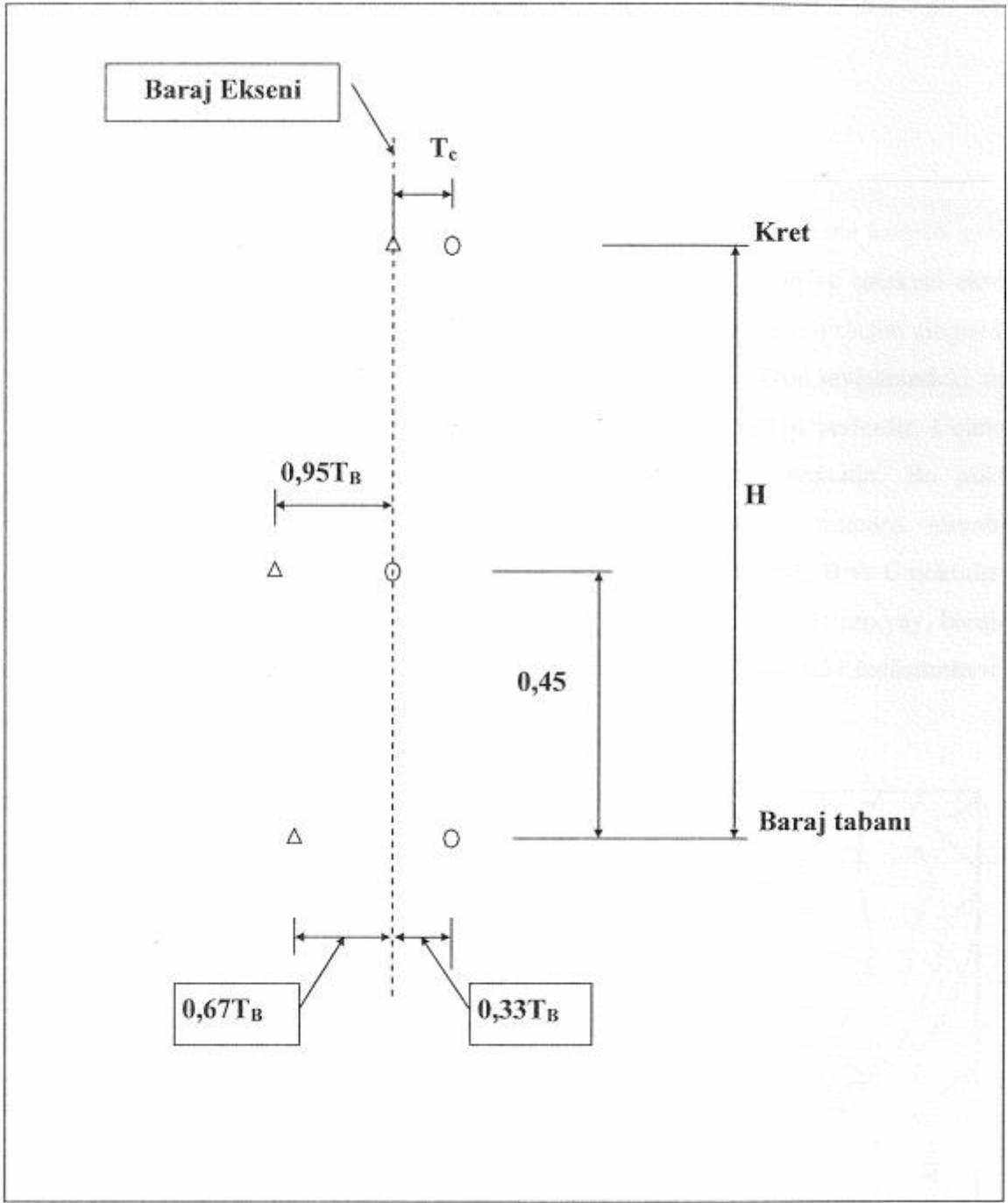
$T_{0,45}$  : Tabandan 0,45H yükseklikteki kemerin kalınlığı,

Bu denklemlere ilave olarak, memba ve mansap yüzeylerini belirleyen noktalarda ampirik olarak elde edilebilir. Bu bağıntılar,

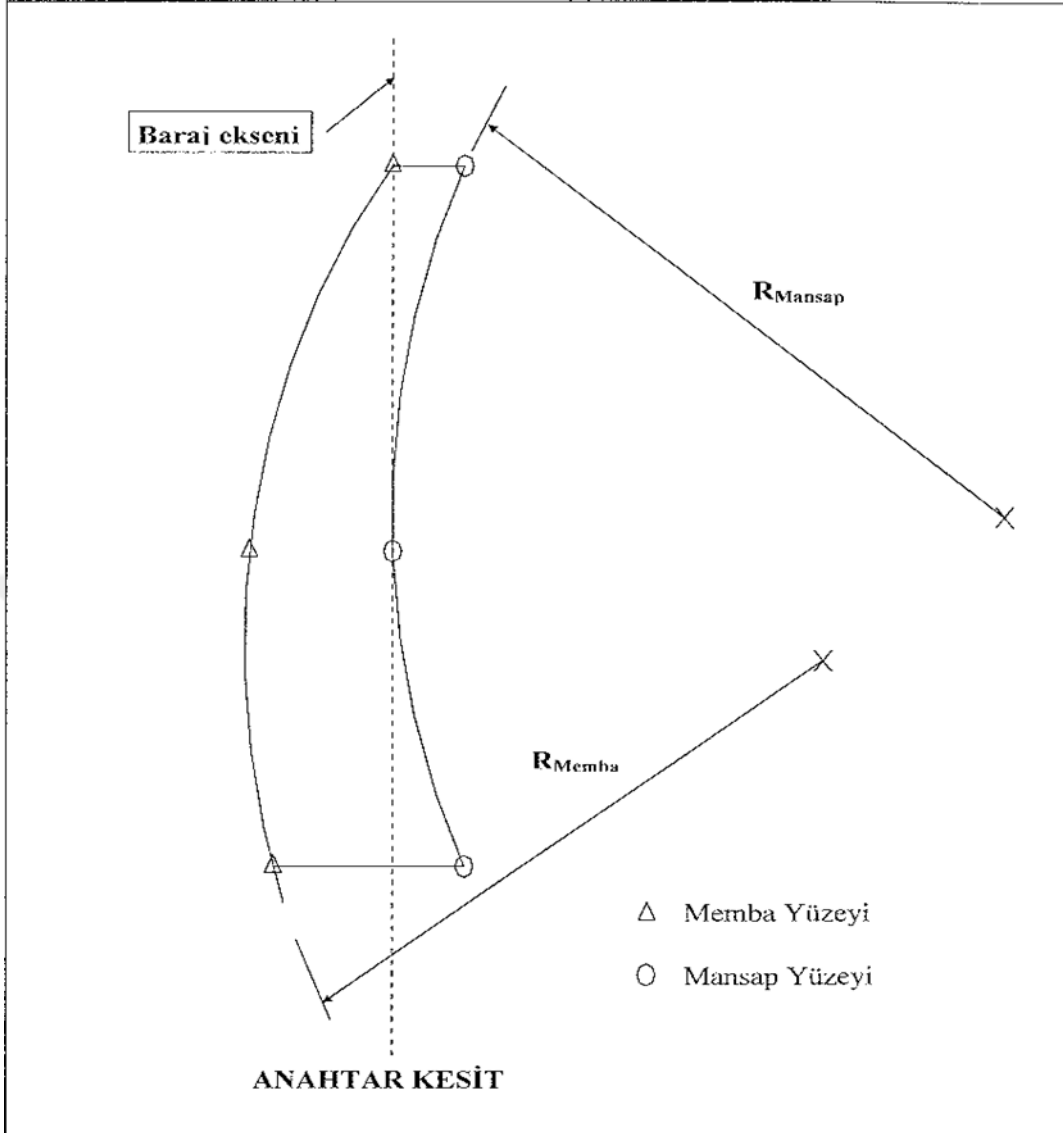
$$\begin{array}{l} \text{USP}_{\text{KRET}}=0,0 \\ \text{USP}_{\text{TEMEL}}=0,67T_B \\ \text{USP}_{0,45H}=0,95T_B \\ \text{DSP}_{\text{KRET}}=T_C \\ \text{DSP}_{\text{TEMEL}}=0,33T_B \\ \text{DSP}_{0,45H}=0,0 \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{Memba yüzeyi} \\ \text{Mansap yüzeyi} \end{array} \right\} \quad (1.24)$$

şeklinde verilmiştir. Şekil 1.21’te görülen, kret, temel ve temelden 0,45H yüksekliğindeki noktalar birleştirilerek memba ve mansap yüzeyleri baraj eksenine referans alınarak çizilebilir.

Bu çizim, merkezler düzlemi olarak adlandırılmaktadır. Anahtar kesitin memba ve mansap yüzeyleri Şekil 1.22’te gösterildiği gibi, memba ve mansap yüzeylerini belirleyen noktalardan geçen dairesel bir yay (veya düz çizgi ve dairesel yayların kombinasyonları) kullanılarak çizilebilir. Bu şekilde tanımlanan yüzeylere herhangi bir yükseklikte memba ve mansap görünümü elde edilebilir. Bu veriler, daha sonra kemerlerin çizilmesi sırasında gerekli olacaktır.



Şekil 1.21 Anahtar kesitin şeklini elde etmek için ampirik olarak belirlenen noktalar (USACE, 1994)

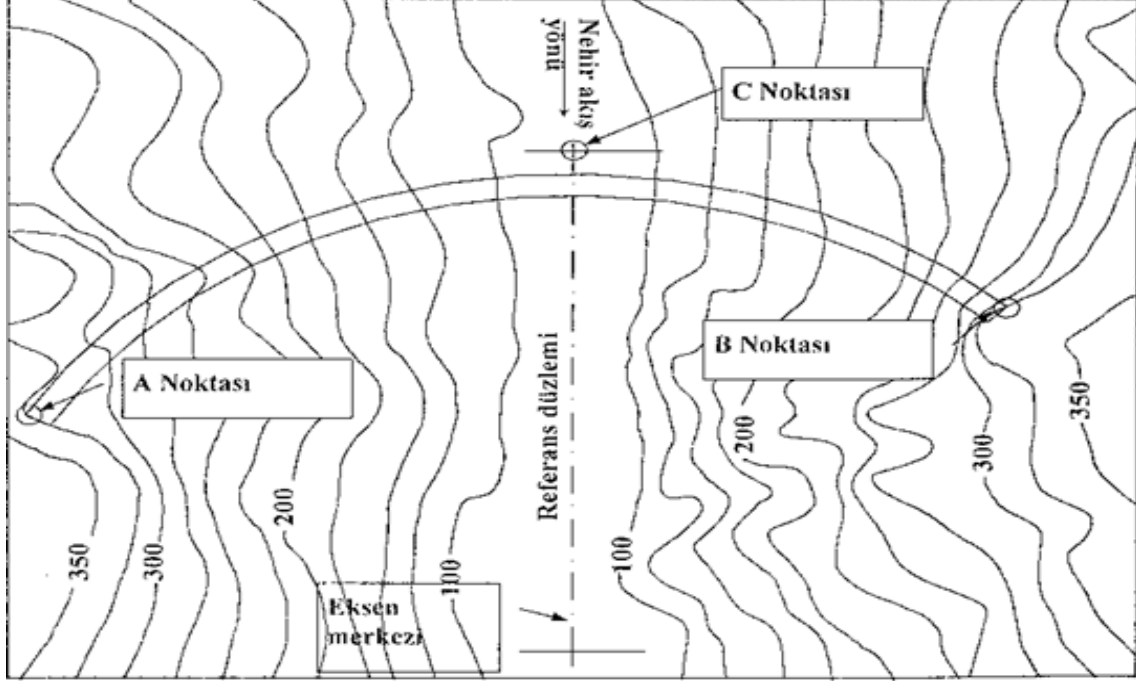


Şekil 1.22 Memba ve mansap yüzeylerinin tanımı (USACE, 1994)

#### 1.10.2.4. Baraj Tabanının Elde Edilişi

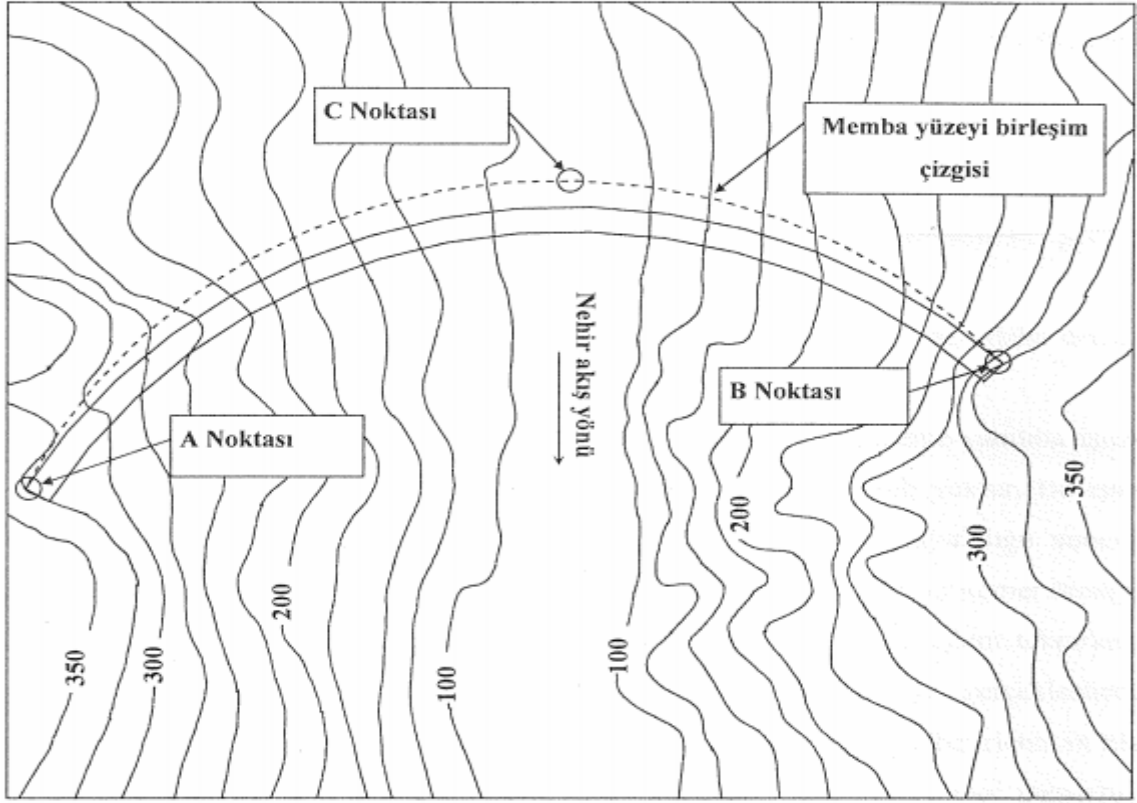
Topoğrafik plan üzerinde baraj ekseni, krette barajın memba yüzeyine karşılık gelir. Kretin mansap yüzeyini gösteren yay,  $R_{EKSEN}$  değerine eşit bir yarıçap ve merkezi eksen üzerinde olmak üzere çizilir. Planda, zemin ile barajın memba yüzeyinin birleşim çizgisi üç nokta ile tanımlanır (Şekil 1.23). Bu noktalardan ikisi (A ve B), kret seviyesindeki her kemer mesnetinde zemin eşyüksele eğrisi ile baraj ekseninin kesiştiği yerlerdir. Üçüncü nokta (C), temelde anahtar kesitin memba yüzeyini belirleyen noktadır. Bu nokta merkezler düzleminden alınan verilere dayanılarak ve baraj ekseni referans alınarak

çizilebilir. Bir pistole yardımıyla, yukarıda yerleri belirtilen noktaları (A, B ve C noktaları) birleştiren düzgün bir eğri çizilir (Şekil 1.24). A, B ve C noktalarını birleştiren yay, barajın memba yüzeyinin zemine temas ettiği noktaların plan görünüşü üzerindeki izdüşümleridir (Memba Yüzeyi Birleşim Çizgisi).



Şekil 1.23 Kret ve anahtar kesitte baraj ile zemin arasındaki birleşim noktaları (USACE, 1994)





Şekil 1.24 Baraj zemin ara yüzeyinde memba yüzeyi birleşim çizgisi (USACE, 1994)

#### 1.10.2.5. Kemerlerin Yerleşim Planı

Kemer baraj geometrisinin oluşturulmasında yapılan işlemlerden en zoru bu adımdır. Baraj şeklinin çiziminde ve analizinde kullanılmak üzere düzenli aralıklarla yatay kemerler çizilir. Bu kemerler, ne 6 metreden az ne de 30 metreden büyük aralıklı olmalıdır. Analizlerde daha hassas sonuçlar elde etmek için, kemer dilimlerinin sayısını artırmak faydalı olur. En düşük kemer, anahtar kesitin tabanından itibaren  $0,15H$  ile  $0,20H$  arasında olmalıdır. Tabandaki kemerin oluşturulmasında iki husus çok önemlidir. Birincisi, tabandaki kemerin memba yüzeyi olarak tanımlanan ABC yayının üzerine düşmesidir. İkincisi ise kemerin merkez açısının belirlenmesinde düzenli aralıklarla çizilen kemerlerde merkez açısındaki azalma miktarları dikkate alınarak uygun merkez açısının seçilmesidir. Bu bilgilerle barajın temelindeki kemer oluşturulur.

Kretin hemen altındaki kemerden başlanarak, seçilen bu kemer seviyelerinde anahtar kesitin memba ve mansap yüzeyini belirleyen noktalar merkezler düzleminden belirlenir.

Sonra bu noktalar, referans düzlemi boyunca planda çizilir. Bir pergel kullanılarak seçilen kemer seviyelerinde barajın memba yüzeyini gösteren deneme amaçlı yaylar

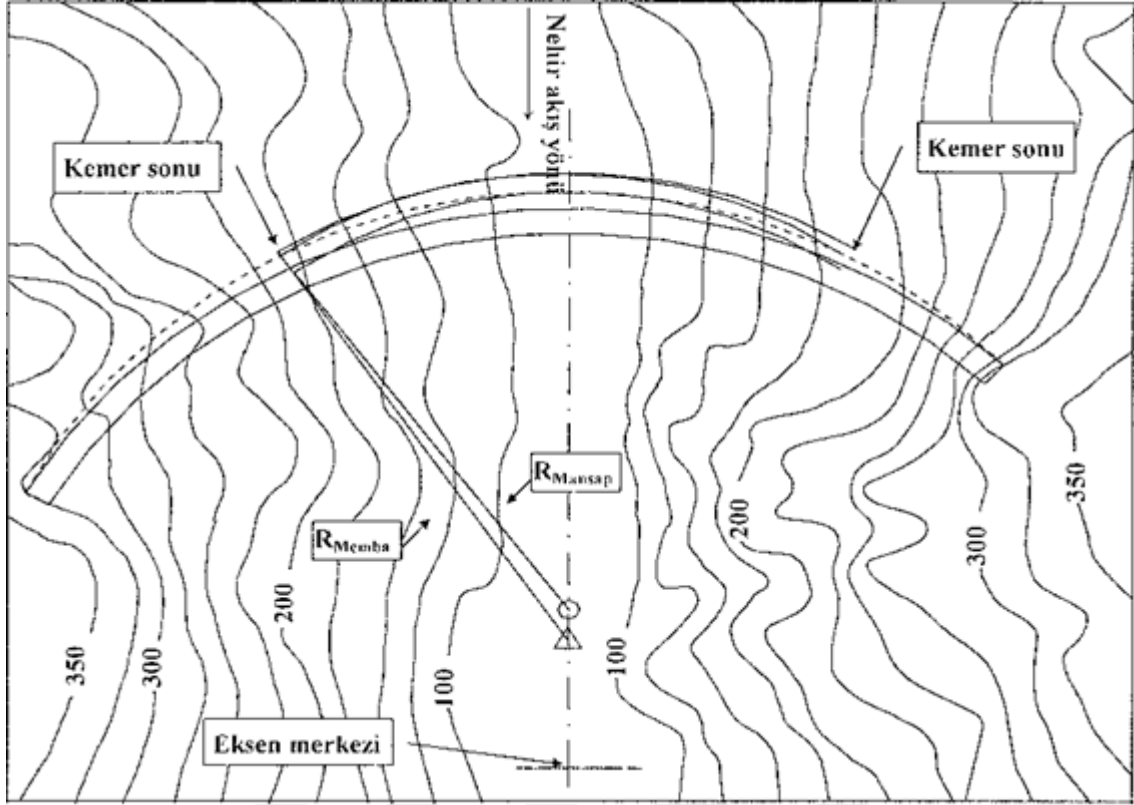
aşağıdaki kriterler sağlanan kadar test edilir.

Bu kriterler;

- a) Yay merkezi, referans düzlemi üzerinde olmak zorundadır.
- b) Yay, planda çizildiği gibi anahtar kesitin memba tarafındaki noktasından geçmek zorundadır.
- c) Yayın her iki ucu, zemin seviyesine eşit veya kemer seviyesinden daha derinde memba birleşim çizgisi üzerinde sona ermek zorundadır.

Bu kriterlerin tümünü sağlayan bir kemerin yerleştirilmesi deneme-yanılma işlemi sonucu gerçekleşir. Tek merkezli bir baraj planı için bu işleme gerek yoktur. Bu işlem genellikle, her mesnet için farklı merkezler çizgisine gereksinim duyulduğu simetrik olmayan vadilerde geçerlidir (Şekil 1.2). Şekil 1.18 bu kriterleri sağlayan bir kemer örneğini göstermektedir. Kemer diliminin mansap yüzeyini oluşturmak için bu işlem tekrarlanır. Memba yüzeyi için ne yapılmışsa aynı işlemler mansap yüzeyi için gerçekleştirilir. Anahtar kesitin mansap yüzeyini gösteren nokta, merkezler düzleminden belirlenir ve plan üzerine işaretlenir. Daha sonra, yukarıdaki üç kriteri sağlayan (yayın kemer mesnetinin mansap yüzeyinde radyal olarak sona eren uçlarla, anahtar kesitin mansap yüzeyini tanımlayan noktasından geçmek zorunda olması hariç) bir yay çizilir (Şekil 1.25). Eğer memba ve mansap yüzeyi için aynı kemer merkezi kullanılırsa üniform kalınlıklı bir kemer dilimi elde edilir. Eğer bu kemer merkezleri çakışmazsa, elde edilen kemer diliminin uzunluğu boyunca kalınlığı değişecektir (Değişken kalınlıklı kemer dilimi). Tatminkar bir kemer dilimi meydana gelir gelmez, memba ve mansap yüzeyi için kemer merkezlerinin yerleri plan üzerinde referans düzlemi boyunca işaretlenir. Şekil 1.25’de, dış yüzey (membra tarafı) için bir üçgen, iç yüzey (mansap tarafı) için bir daire işareti kullanılmıştır. Her kemer dilimi için bu işaretler her kemer seviyesinde tanımlanır. Örnek olması açısından Şekil 1.3’e bakılabilir. Bu kemer merkezleri planda düz bir çizgi boyunca uzanıyor görünmesine rağmen, kemer dilimleri yüksekliklere göre yerleştirilir

Geri kalan seviyelerdeki kemer dilimleri aynı yolla çizilir. Kabul edilebilir bir baraj planı oluşturmada önemli olan, baraj tabanının düzgün ve ani değişim göstermeyen veya ters eğriliği olmayan serbest akışlı olmasının sağlanmasıdır. Bununla birlikte, kemer dilimlerinin uçları tam olarak baraj tabanında sona ermeyebilir. Baraj tabanının tekrar düzenlenmesi pürüzsüzlüğü kontrol etmeden önce, baraj tabanının bütün gerçek kemer uçlarından geçmesini sağlamak gerekmektedir.



Şekil 1.25 Bir kemer kesitinin arazi üzerinde tipik yerleşimi (USACE, 1994)

#### 1.10.2.6. Yerleşim Planının Gözden Geçirilmesi

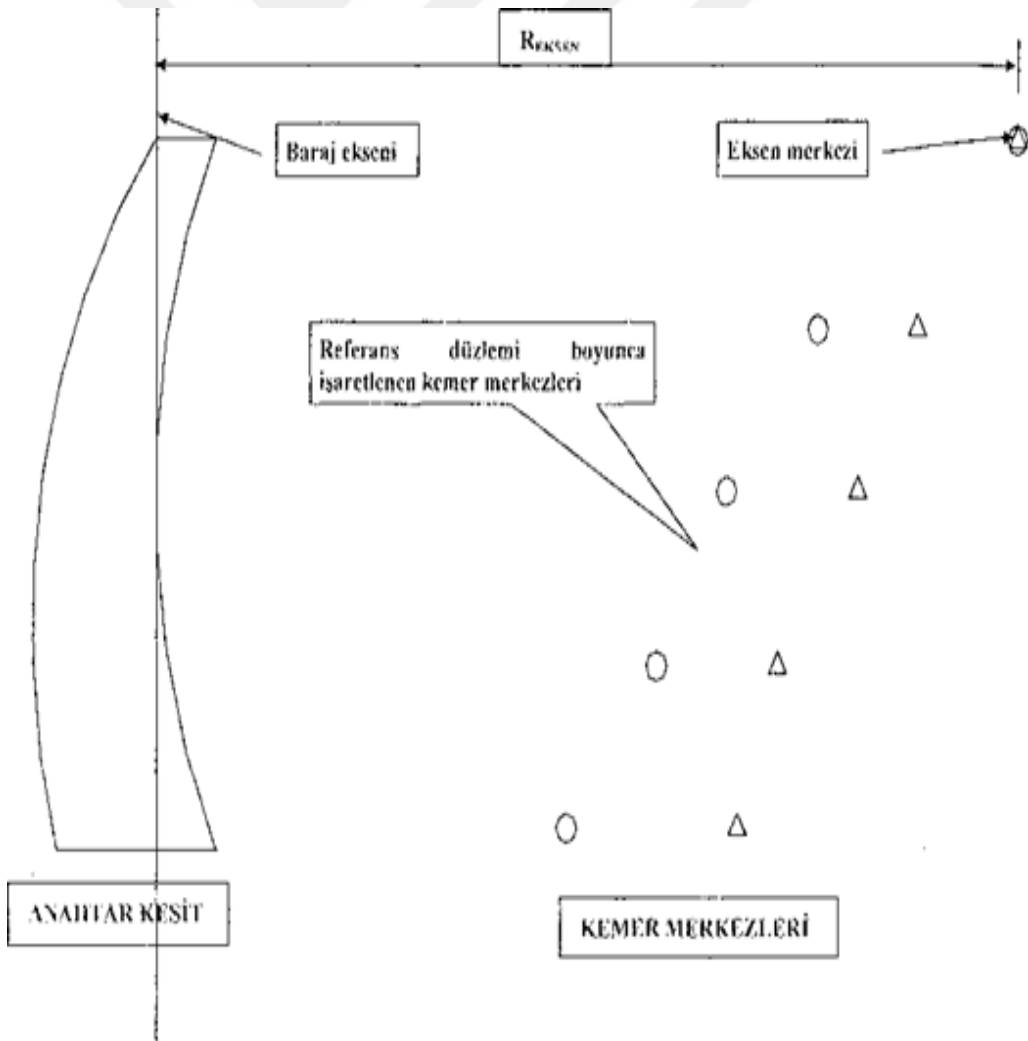
Bir kemer barajın yerleşim planı, üç farklı çizimden oluşur. Bunlardan ilki, plan görünüşüdür. Plan görünüşü, kretin yerleşimi ile başlar ve kemerlerin çizimi ile sona erer. İkinci çizim, merkezler düzlemi görünüşü olarak adlandırılan referans düzlemi boyunca çeşitli yüksekliklerde bir kesitin çizimidir. Bu görünüş, anahtar kesit oluşturulduğunda parça parça meydana gelmiş olur. Ancak, bunun için merkez çizgilerinin açılımına ihtiyaç vardır. Elde edilecek üçüncü çizim, temelin ve baraj ekseninin profilidir.

Planın gözden geçirilmesi, bu üç çizimin pürüzsüz olup olmadığını kontrol etmekten ibarettir. Geometrideki ani değişimler, aşırı gerilme yığılmalarına sebep olur. Bu üç görünüşün birbiri ile bağımlı olduğuna dikkat edilmelidir. Geometride bir düzeltme yapıldığı zaman, diğer görünüşleri etkilemeksizin herhangi bir görünüşteki parametreleri değiştirmek mümkün değildir.

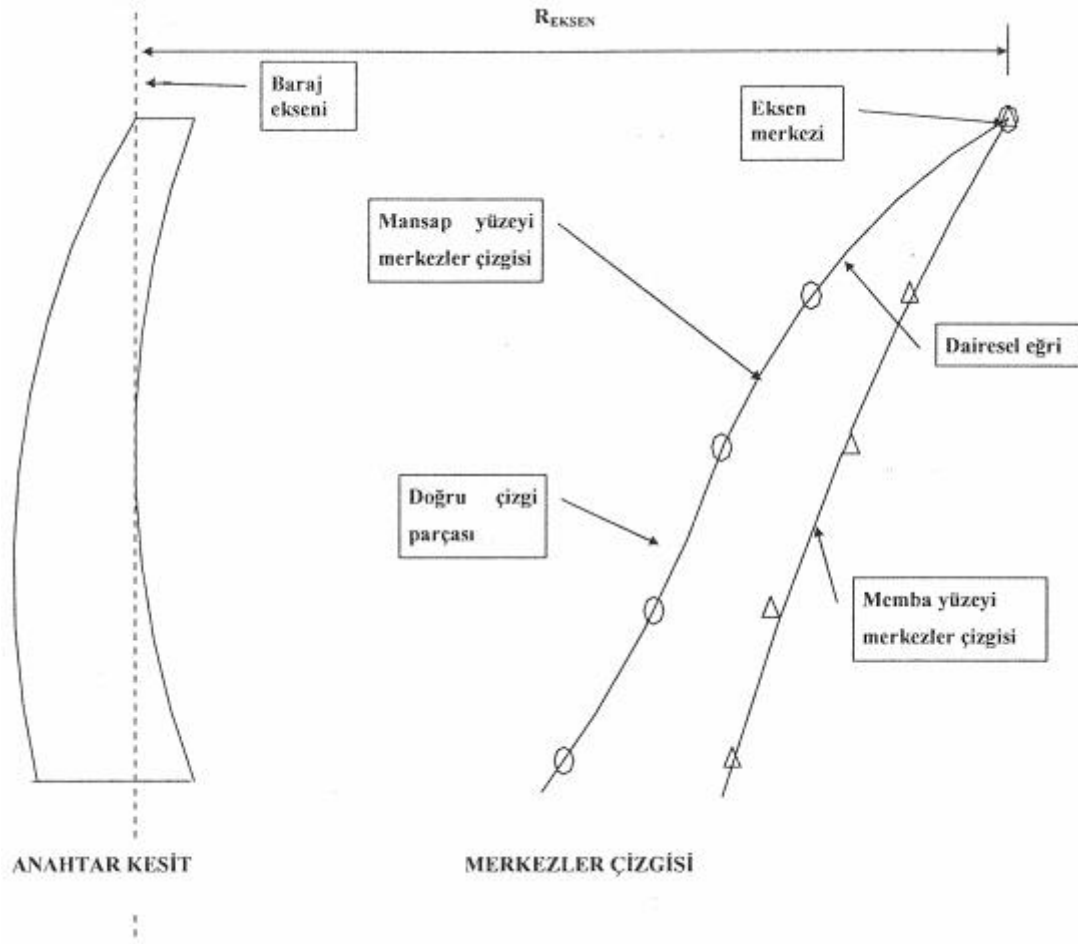
- Merkezler Düzleminin Oluşturulması ve Gözden Gerilmesi

Anahtar kesite ilave olarak, merkezler düzlemi memba ve mansap yüzeyi için merkezler çizgilerini de içine alır. Merkezler düzlemi görünüşünü oluşturmak için planda referans

düzlemi boyunca bir kesit geçirilir. Her kemer diliminin merkezi, memba ve mansap için, Şekil 1.26'da gösterildiği gibi, eksen merkezi referans alınarak her kemer seviyesinde çizilir. Merkezler çizgisi, kemer dilimlerinin merkezlerinden düz bir eğri geçirilerek oluşturulur (Şekil 1.27). Bu merkez çizgileri herhangi bir yükseklikte bütün kemerlerin merkezlerini tanımlar. Eğer bu eğri, kemer planının elde edilişi sırasında yerleştirilen kemer merkezlerinden geçmez ise, bu kemer merkezleri uygun merkez çizgilerinin üzerine düşürmek için yeri değiştirilir. Özellikle bu kemerler, kemer merkezlerinin pozisyonundaki değişikliği yansıttığından, plan üzerinde düzeltme gerekecektir. Mühendis, bu düzeltmenin kenar yarıçapının uzatmak veya kısaltmak şeklinde olup olmayacağına karar vermelidir. Merkez çizgileri ani değişimlere uğramadan düz olmalıdır. Ayrıca, Şekil 1.27'de gösterildiği gibi düz çizgi parçaları ve dairesel eğrilerin bir kombinasyonu şeklinde oluşmalıdır.



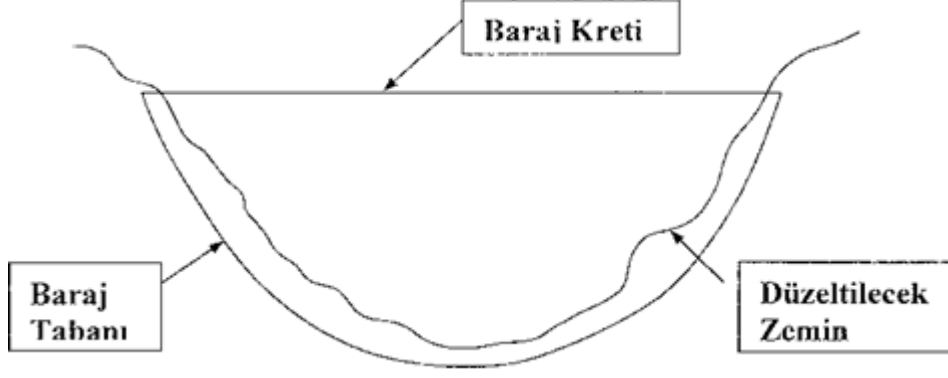
Şekil 1.26 Referans düzlemi boyunca kemer merkezlerinin çizimi (USACE, 1994)



Şekil 1.27 Merkezler çizgilerinin oluşumu (USACE, 1994)

- Profil Görünüşün Gelişimi

Tatminkar bir baraj planı ve merkezler düzlemi görünüşü elde edilir edilmez, profil görünüşünün hazırlanmasına geçilir. Profil görünüşü, özel bir yerleşime sebep olan kazı miktarını araştırmak için kullanılır. Profil görünüşü, zemin topoğrafisi ile barajın mamba yüzeyi seviyesinde geliştirilen bir görünüşten oluşur. Şekil 1.28 kabul edilebilir profil örneği göstermektedir.



Şekil 1.28 Kabul edilebilir baraj profili (USACE, 1994)

- Baraj Temeli

Genelde baraj temeli, merkez çizgileri ile belirlenmelidir. Merkez çizgileri, geometride ani değişmelerin olmadığı düz bir şekle sahip olmalıdır. Baraj tabanı aynı zamanda zemine girmek zorundadır. Bu gerçekleşmez ise, baraj tabanı ve temel arasında istenmeyen boşluklar oluşur. Bu ise zeminin düzeltilmesini gerektirir. Normal olmayan bu durumlar düzgün bir profil elde edilene kadar, etkilenen kemerlere tekrar şekil verilerek ortadan kaldırılmalıdır.

### 1.10.3. Başlangıç Gerilme Analizleri

Makul bir baraj planı elde edildikten sonra, çeşitli yükleme durumları altında barajın gerilme durumunu belirlemek için başlangıç gerilme analizleri gerçekleştirilir. Bunun için ADAP88, DIANA, SAP2000, ANSYS gibi yapı analiz programları kullanılabilir. Bu programlarda analizler sonlu eleman metoduna dayanmaktadır. Yapı analiz programlarında çoğunlukla dört grup bilgi girişi mevcuttur.

1) Geometrinin Tanımı: Doğru bir analiz gerçekleştirmedeki başarı, zemin ve kemer barajın şeklini tanımlayan geometrik verilerin analiz programına doğru bir şekilde kodlanabilmesidir. Bu geometri, aşağıdaki bileşenlerden yararlanılarak oluşturulur;

(a) Anahtar Kesit Geometrisi: Temel ve kret seviyesi, temel ve krette memba ve mansap yüzeylerini tanımlayan noktalar, düğüm noktası koordinatları, memba ve mansap yüzeylerini tanımlamakta kullanılan tüm dairesel yayların yarıçapları, yine memba ve mansap yüzeylerini tanımlamakta kullanılan doğru çizgi parçalarının eğimleri anahtar kesit geometrisinde yer alır.

- (b) Merkezler Çizgisinin Geometrisi: Eksen yarıçapı, tüm merkezler çizgilerini tanımlamakta kullanılan dairesel yayların yarıçapları ve koordinatları, tüm merkezler çizgilerini tanımlamakta kullanılan doğru çizgi parçalarının eğimleri, merkezler çizgileri tanımlayan parçaların kesişim yerlerinin yükseklikleri, eksen merkezinden merkezler çizgilerinin iç ve dış yüzüne olan yatay mesafeler, merkezler çizgisinin geometrisinde yer alır.
- (c) Kemer Geometrisi: Bütün kemer dilimlerinin yükseklikleri, kemerlerde mesnetler arasındaki açılar ve birleşik eğrilerin açıları kemer geometrisi içindedir.
- 2) Malzeme Özellikleri: Hem beton hem de zemin için malzeme özellikleri, elastisite modülleri, poisson oranı ve ısıl genleşme katsayısı ile birim hacim ağırlığıdır.
- 3) Yükleme Durumları: Baraj planı hazırlanırken sadece statik yükleme durumları için analiz yapılır. Statik yükleme durumları Tablo 1.10'da yer almaktadır.
- 4) Sonuç Bilgileri: Mevcut yapı analiz programları, sonuçların istenilen şekilde alınması için çeşitli seçenekler sunmaktadır.

#### 1.10.4. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilişi

Analiz sonuçlarının değerlendirilişi, tüm analitik çıktıların incelenmesini gerektirmektedir. Gözden geçirilecek bilgiler; baraj geometrisi, yapım sırasındaki blokların stabilitesi ve barajın kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler, yük dağılımları, yatay ve düşey gerilmeler ile asal gerilmelerdir. Güvenlik kriterlerini sağlamıyorsa, tasarımı iyileştirmek için düzeltmeler yapılmak zorundadır.

- İtki Kuvvetinin Bileşenleri

Kemer baraj değerlendirme işlemi, mesnetlerdeki itki kuvvetlerinin incelenmesini de içine almaktadır. Bu kuvvetler radyal, teğetsel ve düşey olmak üzere üç bileşene ayrılmaktadır. Radyal ve teğetsel kuvvetlerin birleşimi mesnet kayasına dik olmalıdır. Düşük seviyeli kemerlerde, bu mesnet yüzey eşyükseltilerine paralel veya vadi açıklığına paralel olabilir. itki kuvvetinin mesnet ile karşılanması en etkin yoldur. Bu çözüm, düşük seviyeli kemerlerde eğilebilirliği veya yüksek seviyeli kemerlerde rijitliğin artırılmasını birlikte düşünerek elde edilebilir. Bu etki, düşey bileşen hesaba katılarak azaltılır; Bu düşey bileşen, temelin aşağısına doğru toplam itki kuvvetine diktir.

- Beton Hacmi

Baraj planının değerlendirilmesi yapılırken göz önüne alınması gereken bir hususta beton hacmidir. Başlangıç gerilme analizleri sırasında beton hacmi aşağıda verilen ampirik formül ile hesaplanabilir:

$$V = 0,000002HL_2 \frac{(H + 0,8L_2)}{L_1 - L_2} + 0,0004HL_1(H + L_1) \quad (1.25)$$

Beton hacmini veren bu ifade itki blokları, savaklar ve diğer ek yapılardaki kütle betonlarını yansıtmamaktadır. Bu ifadede yer alan değişkenlerin tanımı daha önce yapılmıştı.

### 1.10.5. Tasarımın İyileştirilmesi

Alternatif tasarımlar arasından en iyisi, minimum beton hacmine sahip ve kabul edilebilir sınırlar içinde mümkün olduğunca üniform gerilme dağılımına sahip olanıdır. Bu kriterlere dayanan nihai planın kabulü ve tasarımı sonlandırmak bazı barajlarda zordur. İnşa edilecek baraj, düşük ve yüksek rezervuar seviyelerine sahip bir taşkın kontrol barajı ise çok geniş yüklenme durumları altında analiz edilirler. Barajın davranışındaki değişiklikleri etkilemede esas olan düşünce, yapının geometrisinin düzeltilmesiyle olacaktır. Yapıdaki gerilme düzeyi kabul edilebilir limitlerin altına inerse, beton hacmi azaltılabilir. Dolayısıyla daha etkili beton kullanımı ve ekonomide iyileşme sağlanabilir. Aşağıda bir tasarımın nasıl iyileştirilebileceğine dair bazı örnekler sunulmuştur.

**Yükler ve Yer Değiştirmeler:** Yük dağılımı ve yer değiştirme, noktadan noktaya düzgün bir şekilde değişmelidir. Düzensiz bir durum olduğu zaman, düşey konsollardan yatay kemerlere kadar yüklerin değiştirilmesi gerekmektedir. Böyle bir değişim, kemerlerle bağlantılı olarak konsolların rijitliğini değiştirerek sağlanabilir.

**Kemerleri Tekrar Şekillendirme:** Anahtar kesitte mansap yüzeyinde çekme gerilmeleri varsa, alternatif bir çözüm, kemer mesnetinde kemer iç yüzü değiştirilmeden anahtar kesitte mansap yüzeyinden beton eksiltiyle kemer rijitliğini düşürmek olacaktır. Başka bir çözüm yolu ise, kemer diliminin kalınlığını artıran yatay eğriliği artırarak kemer diliminin anahtar kesitteki bölgesini rijitleştirmek olabilir.

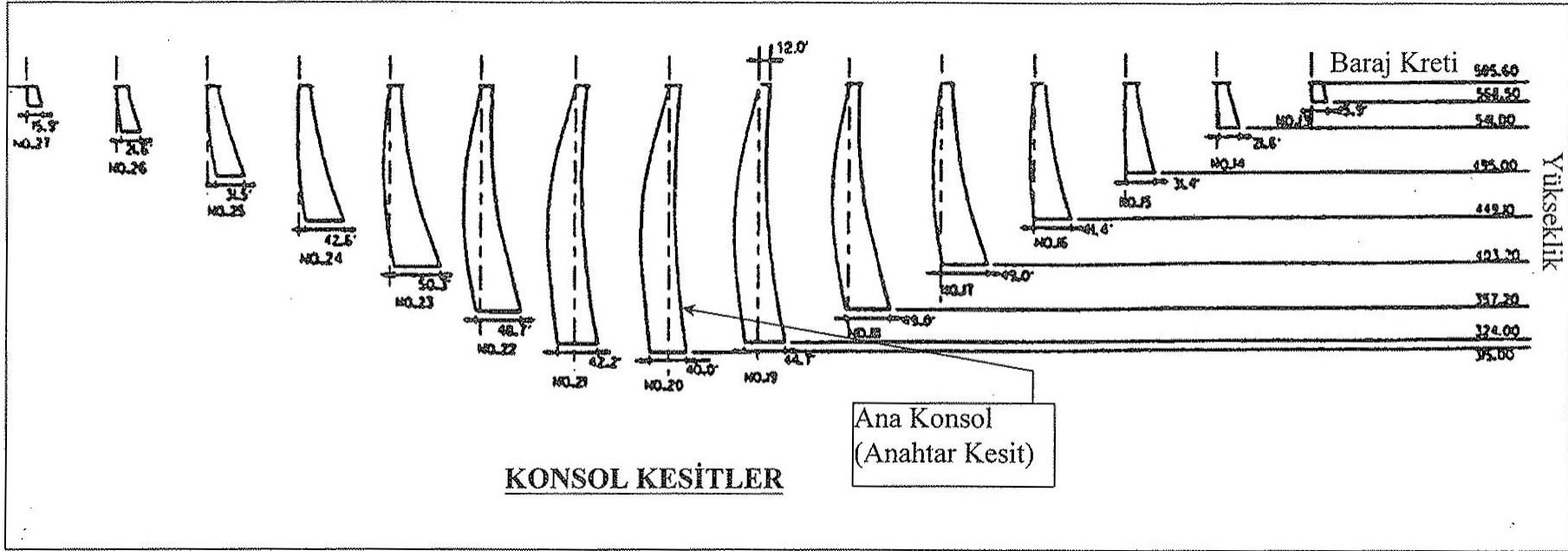


Konsolları Tekrar Şekillendirme: Konsollar, çok aşırı derecede sarkma yaparsa, stabilitesi bozulur ve yapım sırasında mansapa doğru hareket etme eğilimi gösterirler. O zaman bu konsolların, kesitlerinin stabil hale gelmesi için, kendi ağırlığının dağılımını tekrar yaparak şekillendirilmek zorunda kalınır. Aşırı sarkma durumu memba yüzeyinin üst kısımlarında çekme gerilmelerinin oluşumuna sebebiyet verir. Böyle bir problem, büzülme derzlerinin kapanmasına ve iyi bir enjeksiyonun yapılamamasına yol açar.

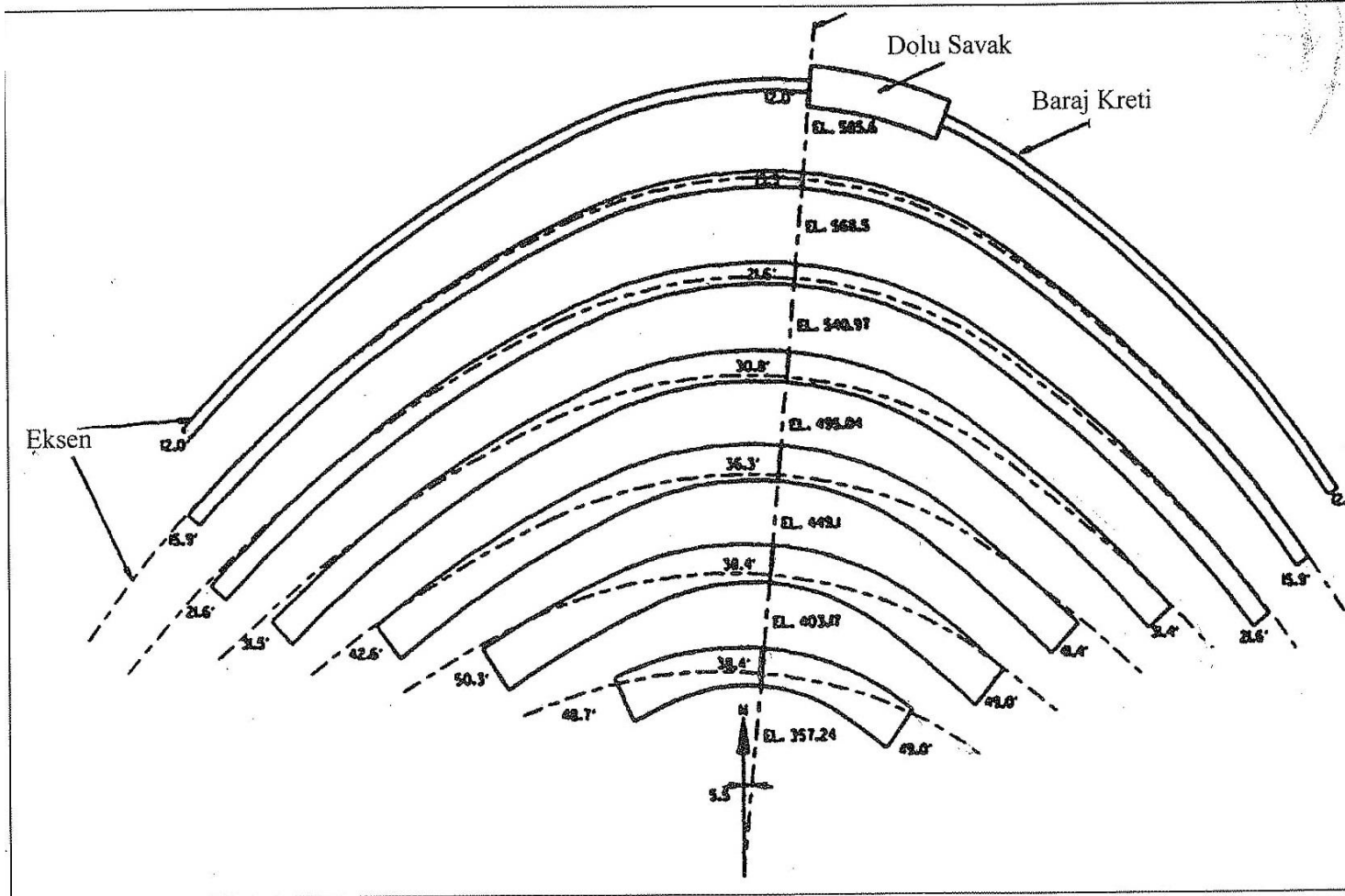
#### **1.10.6. Tasarım Planının Sunumu**

Tasarım planının sunumu, baraj geometrisinin anlaşılmasını sağlayacak şekilde olmalı ve başlangıç gerilme analizlerinin sonuçlarını açıkça gösteren şekillerden oluşmalıdır. Kemer baraj geometrisini ayrıntılı bir şekilde tanımlayan çizimler aşağıdaki gibi olmalıdır;

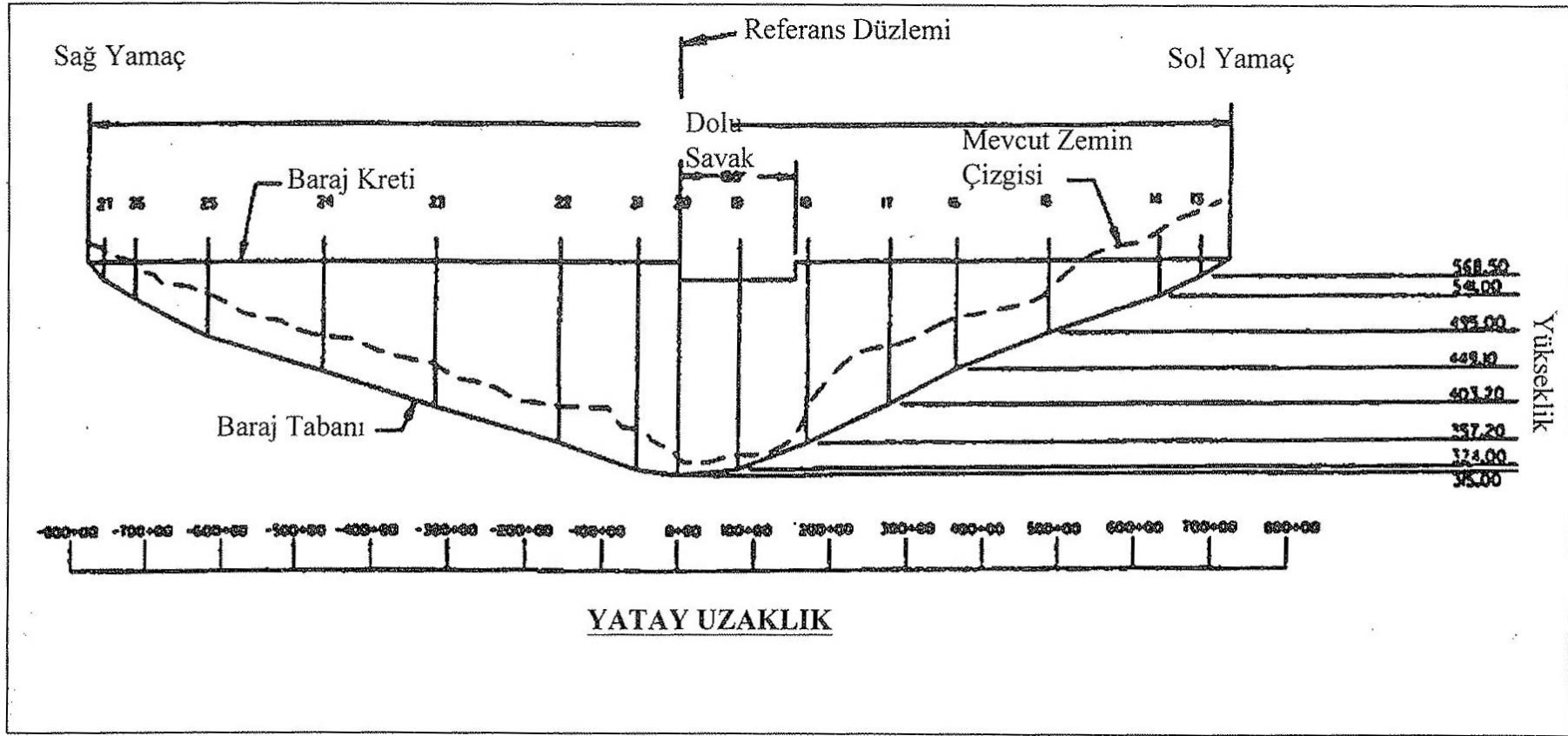
1. Plan Görünüşü: Kemerler, kemer merkezleri, mesnetlere olan açılar, eksen merkezi, baraj-zemin birleşim çizgisi arazi topoğrafisi üzerinde barajın plan görünüşünde yer alan bazı çizimlerdir (Şekil 1.3).
2. Referans Düzlemindeki Kesit: Bu çizimde merkezler çizgilerinin ve anahtar kesitin (ana konsolun) düşey eğriliğini tanımlayan tüm bilgiler yer alır.
3. Konsol Kesitler: Başlangıç gerilme analizi sırasında oluşan tüm konsollar gösterilmelidir. Ayrıca şekil 1.29'da görüldüğü gibi, her konsolun kret ve tabandaki kalınlığının gösterilmesi önerilmektedir.
4. Kemer Kesitler: Başlangıç gerilme analizi sonucu oluşan kemer kesitler çizilmelidir. Şekil 1.30'da görüldüğü gibi, her mesnetteki ve referans düzlemindeki uygun kalınlıklar gösterilmelidir.
5. Profil: Şekil 1.31'deki gibi, kazı işlemi sonucu zeminin son durumu ve konsolların yerleşimi baraj ekseni boyunca oluşturulan bir profil sunulmalıdır.



Şekil 1.29 Konsol kesitler (USACE, 1994)



Şekil 1.30 Kemer kesitleri (USACE, 1994)



Şekil 1.31 Geliştirilen baraj profil (USACE, 1994)

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

Bu tez çalışmasında, mevsimsel hava durumuna göre değişen rezervuar sıcaklığına bağlı olarak bir kemer barajın sıcaklık analizleri yapılarak barajda oluşan gerilme dağılımı incelenmiştir. Analizlerde rezervuardaki su seviyesinin değişimi de dikkate alınmıştır. Bu amaçla, Artvin ili Çoruh nehri üzerinde bir kemer baraj tasarlanıp Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen 2014 yılına ait günlük ortalama hava sıcaklık değerleri ile analizler yapılmıştır. Bu çalışmada, sıcaklık rezervuar yüzeyinden rezervuar tabanına kadar değişim gösteren rezervuar sıcaklıkları her 20 metrede belirlenerek sıcaklığın sabitlendiği noktaya kadar uniform olarak uygulanmıştır.

Bu bölümde, ilk olarak seçilen arazi üzerinde bir kemer barajın kemer baraj tasarım ilkelerine uygun olarak nasıl modellendiği verilmiştir. Bunun için AutoCAD ve SAP2000 programları kullanılmıştır. İkinci olarak, rezervuar sıcaklığının baraj üzerindeki etkisinin önemi, rezervuar sıcaklığının Bofang (Zhu, 1997) tarafından önerilen metot ile nasıl bulunduğu ve Excel yardımı ile bulunan sıcaklıkların barajın memba yüzeyine nasıl uygulandığı gösterilmiştir.

### **2.2. Artvin İli Çoruh Vadisinde Tasarlanan Bir Kemer Barajının Projelendirme Aşamaları**

Bu çalışmada Artvin ili Çoruh Vadisi üzerinde bir kemer baraj tasarlanmıştır. Bu baraj Çağlayan Kemer Barajı olarak isimlendirilmiştir. Çağlayan Kemer Barajı'nın projelendirme aşamaları aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir. Baraj tasarımının uygulanacağı arazinin daha önceden zemin etüd raporlarının hazır olması gerekmektedir. Arazide uygulanacak baraj gövdesinin yerinin tespitinde özellikle bu bilgi dikkate alınmalıdır.

#### **2.2.1. Baraj Yüksekliğine Karar Verilmesi**

Barajın yüksekliğine karar verilirken, bölgedeki yağış, akarsu havzası, barajın mesnetleneceği arazinin dayanımı, yükseklik seçiminde etkili rol oynar. Bu bilgilerle dayanarak Çağlayan Kemer Barajı'nın yüksekliğinin 180 m olmasına karar verilmiştir.

### 2.2.2. Baraj Eksen Kemerinin Oluşturulması

Baraj eksen kemerinin oluşturulması için barajın yerleştirileceği arazinin eşyüksekti haritasının elde edilmesi gerekmektedir. Bu haritanın ölçeği ne kadar küçük (detaylı) olursa, baraj geometrisinin oluşturulmasında o kadar iyi sonuçlar elde edilir. Çağlayan Kemer Baraj geometrisinin oluşturulmasında kullanılan haritanın ölçeği 1/50 olarak seçilmiştir (Şekil 2.1).

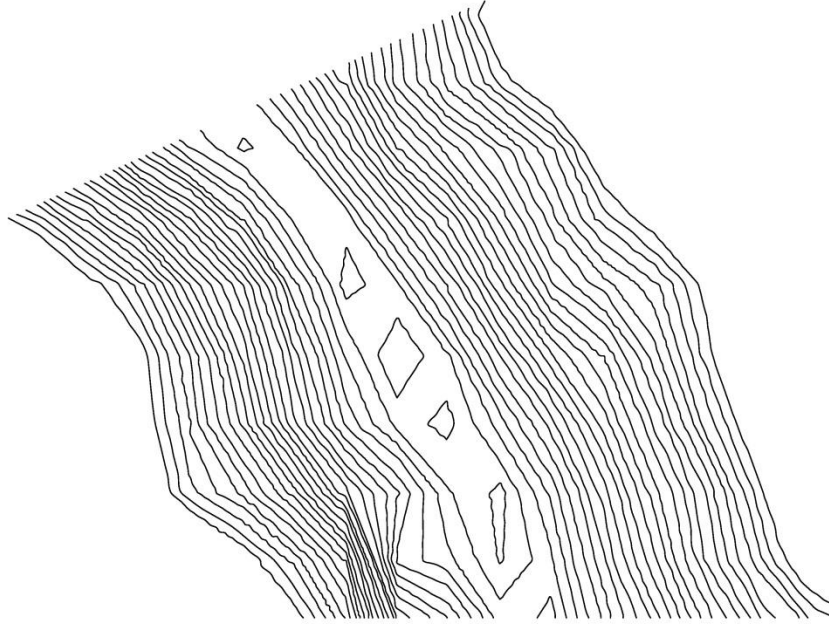
Barajın zemine tam mesnetlenebilmesi için baraj tabanının zemin ile temas ettiği yüzeyin barajın talveg kotundan daha aşağıda olması gerekmektedir. Çağlayan Kemer Barajı'nda baraj tabanının zemin ile temas ettiği yüzeyin talveg kotundan 20 m daha aşağıda olmasına karar verilmiştir. Baraj gövdesinin yerleşeceği arazide Çoruh Nehri talveg kotu 220 m'dir. Baraj taban kotu, talveg kotundan kazı yapılacak yüksekliğin çıkarılmasıyla 200 m olarak bulunur. Baraj kret kotu, baraj taban kotuna baraj yüksekliği eklenerek 380 m bulunur.

Baraj ekseninin oluşturulması için kret kotunda sağ ve sol yamaçlarda A ve B gibi iki nokta belirlenmelidir. Burada önemli olan A ve B noktalarının aynı kotta olmasıdır. A ve B noktalarının yerlerinin belirlenmesinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir:

- A ve B noktaları arasındaki yatay mesafe ( $L_1$ ), baraj ekseninin merkez açısıyla orantılı olarak değişmektedir.
- Bu çalışmada simetrik bir vadide tek merkezli değişken kalınlıklı bir kemer baraj tasarlanmıştır. Dolayısıyla barajın simetri eksenini anahtar kesit üzerindedir. Baraj ekseninin merkezi simetri eksenini üzerindedir.
- $L_1$  uzunluğu baraj ekseninin merkez açısı 100-120 derece arasında olacak şekilde deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir.
- Tek merkezli değişken kalınlıklı bir kemer baraj tasarlanırken simetri ekseninin nehir üzerine düşmesine dikkat edilmelidir. Baraj bu şekilde tasarlanırsa gelen yükleri üniform bir şekilde sağ ve sol yamaçlardaki kaya zemine aktarabilir. Çağlayan Kemer Barajı'nda açığa uygun yer bulunamadığından simetri eksenini nehir üzerine yakın seçilmiştir. Barajın simetrik olması için gerekli düzenlemeler yapılmıştır.
- Birkaç deneme yanılmadan sonra  $L_1 = 393$  m olarak hesaplanmıştır. Aynı kotlar arasında açı azaldıkça  $L_1$  mesafesi artmaktadır. Bu yüzden  $L_1$  mesafesi istenilen açıları sağlayacak şekilde mümkün olduğunca büyük seçilmiştir.

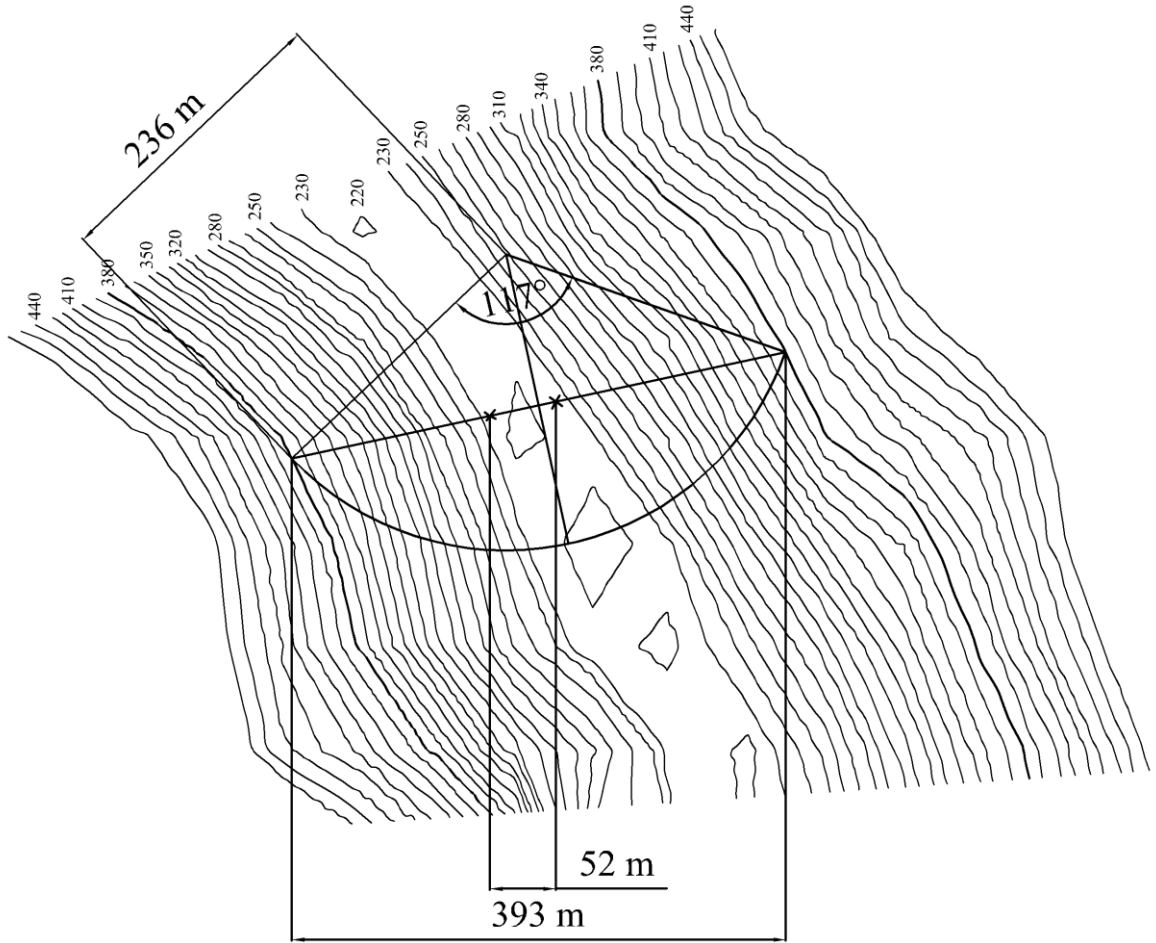
- Baraj ekseninin belirlenmesi ve merkez açısının tam değerinin ölçülebilmesi için  $R_{EKSEN}$ 'in (1.20) denkleminden hesaplanmıştır:

$$R_{EKSEN} = 0,6 \times 393 = 235,8 \text{ m}$$



Şekil 2.1 1/50 Ölçekli arazi eş yükselti haritası

- A ve B noktası simetri eksenini (merkezi) ve yarıçapı belirli olan yay çizilir. Yayın merkez açısı yaklaşık olarak  $117^\circ$  bulunur.
- $L_2$  mesafesi temelden  $0,15H$  kotundaki yatay genişlik olarak tanımlanır. Barajın taban kotundan  $0,15H$  yüksekliğindeki eş yükselti eğrileri her iki yamaçtan işaretlenip interpolasyon yapılarak arasındaki yatay mesafe ölçülür. Çağlayan Kemer Barajı'nın  $L_2$  mesafesi hesaplanırken, barajın taban kotundan 27 m ( $0,15 \times 180$  m) yüksekliğindeki arazi kotları işaretlenip bu iki nokta arasındaki yatay genişlik, yani  $L_2$  mesafesi 52 m olarak ölçülmüştür. Bulunan bu değerler Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Baraj ekseninin arazi üzerindeki yerleşimi

### 2.2.3. Anahtar Kesit Geometrisinin Ampirik Denklemlerle Elde Edilişi

Anahtar kesit geometrisi, arazi üzerine kemerlerin yerleştirilmesinde en etkili parametredir. Kemer kalınlıkları, ancak anahtar kesit geometrisi oluşturulduktan sonra belirlenebilmektedir. Anahtar kesit geometrisi oluşturulurken kret seviyesindeki, taban seviyesindeki ve tabandan  $0,45H$  yükseklikteki kemer kalınlıkları dikkate alınır. Bunlara ait formüller daha önce “1. Genel Bilgiler” bölümünde verilmişti. Buna göre (1.21), (1.22) ve (1.23) denklemleri kullanılarak kret seviyesindeki, taban seviyesindeki ve tabandan  $0,45H$  yükseklikteki kemer kalınlıkları;

$$T_C = 0,01 \times (180 + 1,2 \times 393) = 6,516 \text{ m} \cong 7 \text{ m}$$

$$T_B = \sqrt[3]{0,0012 \times 180 \times 393 \times 52 \times \left(\frac{180}{400}\right)^{\frac{180}{400}}} = 14,597 \text{ m} \cong 15 \text{ m}$$



$$T_{0,45H} = 0,95 \times 15 = 14,25 \text{ m}$$

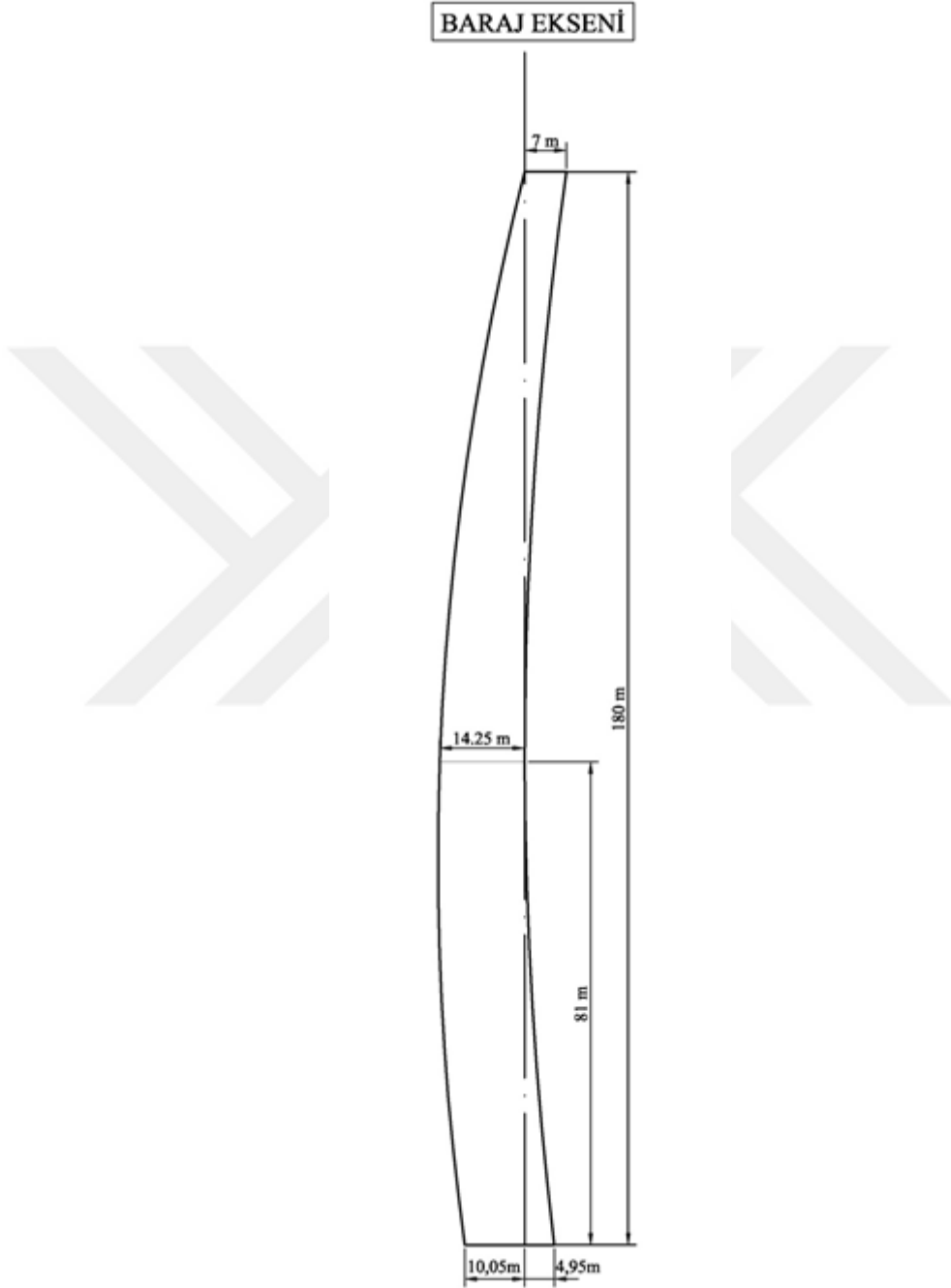
olarak hesaplanmıştır. Bu üç kemer kalınlığı belirlendikten sonra anahtar kesitin memba ve mansap yüzeylerini belirleyen noktalar (1.24) denklemleri yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$USP_{Kret} = 0,0$	}	Memba yüzeyi
$USP_{Temel} = 0,67 \times 15 = 10,05 \text{ m}$		
$USP_{0,45H} = 0,95 \times 15 = 14,25 \text{ m}$		
$DSP_{Kret} = 7 \text{ m}$	}	Mansap yüzeyi
$DSP_{Temel} = 0,33 \times 15 = 4,95 \text{ m}$		
$DSP_{0,45H} = 0,0$		

Bu ampirik denklemler sonucu elde edilen anahtar kesit Şekil 2.3'te verilmiştir.

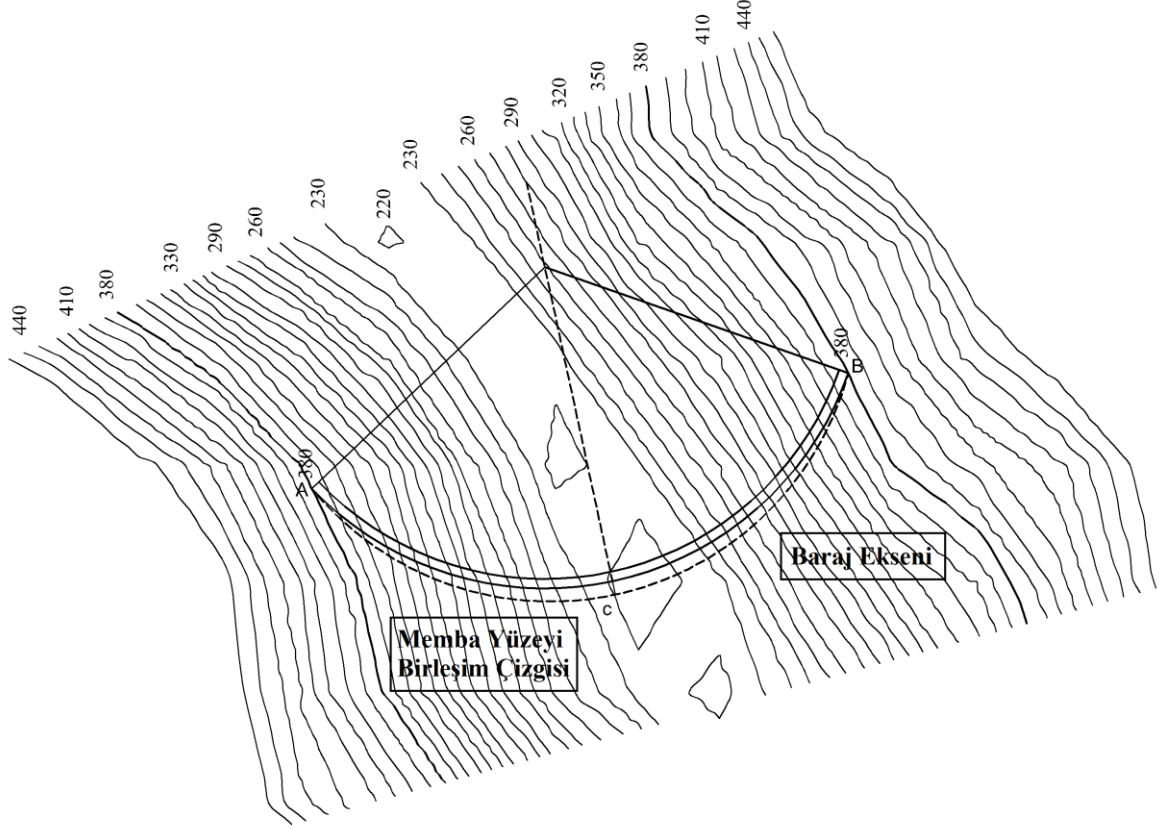
#### 2.2.4. Memba Yüzeyi Birleşim Çizgisinin Elde Edilişi

Anahtar kesit oluşturulduktan sonra memba yüzeyinin barajın taban seviyesine denk gelen nokta belirlenir (C noktası). Baraj ekseninden  $USP_{Temel}$  kadar, yani 10,05 m alınarak arazi üzerinde C noktasının yeri işaretlenir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 Ampirik denklemlerle sonucu elde edilen anahtar kesit

C noktasının yeri belirlendikten sonra A, B ve C noktasından geçen ACB yayı çizilir. ACB yayı kemer barajın zeminle temas ettiği bütün yüzeyleri temsil etmektedir.

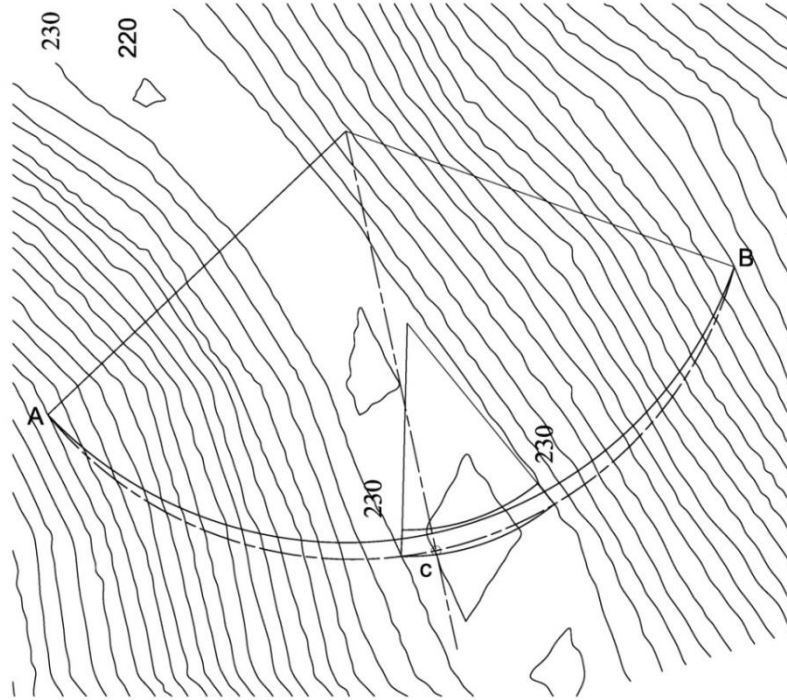


Şekil 2.4 Baraj zemin ara yüzeyinde memba yüzeyi birleşim çizgisi

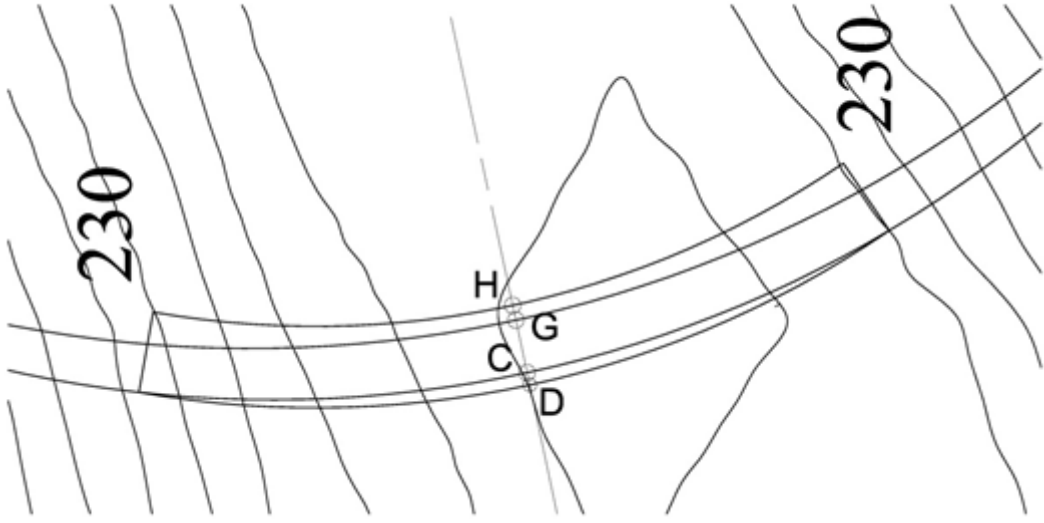
### 2.2.5. Kemerlerin Yerleşim Planı

Kemerlerin yerleşim planı elde edilirken kemer dilimlerinin radyal kemer mesnetini oluşturacak şekilde araziye yeterince mesnetlenmesine dikkat edilmelidir. Bu sebeple kemer dilimlerinin uzunluğu yatayda yeteri kadar arttırılır. Mesela Şekil 2.5'teki E ve F noktalarının planda 220 m eşyüksele eğrilerini geçmesi kemerlerin araziye iyi bir şekilde mesnetlendiğini göstermektedir. E ve F, aynı zamanda 220 m kotundaki kemerin memba yüzeyinin arazi ile temas ettiği noktalarıdır. Bu iki nokta Şekil 2.4'teki ACB yayının üzerinde olmalıdır. G noktası baraj aksininin plandaki 220 m kotundaki iz düşümüdür. Anahtar kesitten 220 m kotuna gelen kalınlık belirlenir. HG uzunluğu (Şekil 2.6), anahtar kesitten baraj akseni referans alınarak mansap yüzeyine ölçülen kalınlıktır. Aynı şekilde CD uzunluğu, anahtar kesitten baraj akseni referans alınarak memba yüzeyine ölçülen

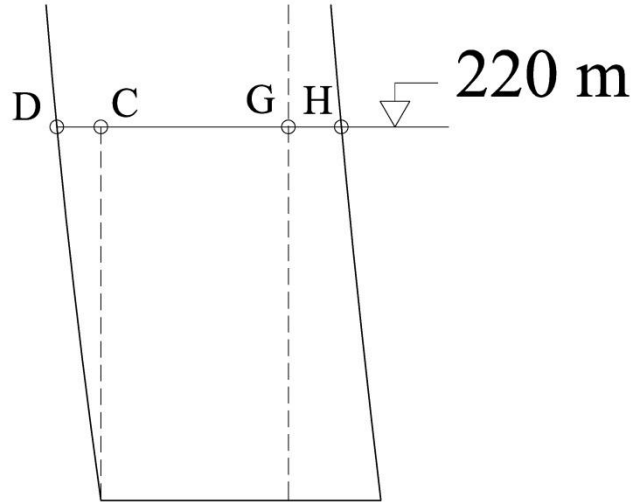
kalınlıktır. CD ve HG uzunluğunun toplamı anahtar kesitin 220 m kotuna karşılık gelen kalınlığıdır. Arazi üzerinde G noktasından D noktasına kadar olan mesafe işaretlenir. Böylece EDF yayı çizilerek barajın bu kottaki memba yüzeyi belirlenir. Çizilen yayın merkezi değiştirilmeden HD uzunluğu (kalınlık) kadar yarıçapı azaltılarak barajın bu kottaki mansap yüzeyi belirlenir. Böylece bu kottaki kemer araziye yerleştirilmiş olur. Burada kemer merkezinin referans düzlemi üzerine düşmesine dikkat edilir (Şekil 2.6 – 2.7). Çağlayan Kemer Barajı nehir üzerine simetrik oturmadığı için anahtar kesitin merkezde kalmadığı görülür ve 220 m kotundaki kesitin baraj referans noktasının üzerine düşmediği görülür. Yüklerin üniform bir şekilde dağılması için anahtar kesitin ortada olması gerektiğinden sol taraftaki kesit sağ tarafa aynı şekilde aktarılıp simetrik kesit elde edilmiştir. Kesitin ilk hali Şekil 2.5'te ve düzeltilmiş hali Şekil 2.6'da görülmektedir. Arazi üzerinde G noktasından D noktasına kadar olan mesafe işaretlenir. Şekil 2.7'de ise C, D, G ve H noktalarının anahtar kesit üzerinde görünümü görülmektedir.



Şekil 2.5 Örnek olarak 220 m kotu için yerleştirilen düzeltilmemiş kemer dilimi



Şekil 2.6 Örnek olarak 220 m kotu için yerleştirilen düzeltilmiş kemer dilimi



Şekil 2.7 C, D, G, H noktalarının anahtar kesit üzerinde görünümü

Araziye yerleştirilecek olan kemer dilimlerinin HG ve GD uzunlukları anahtar kesitten okunarak tablo oluşturulması, kemerlerin çiziminde kolaylık sağlayacaktır (Tablo 2.1). Bu şekilde kemer dilimleri istenilen kotta oluşturulmaya devam edilir. Bu çalışmada kemer dilimleri 20 metre yükseklikte bir oluşturulmuştur.

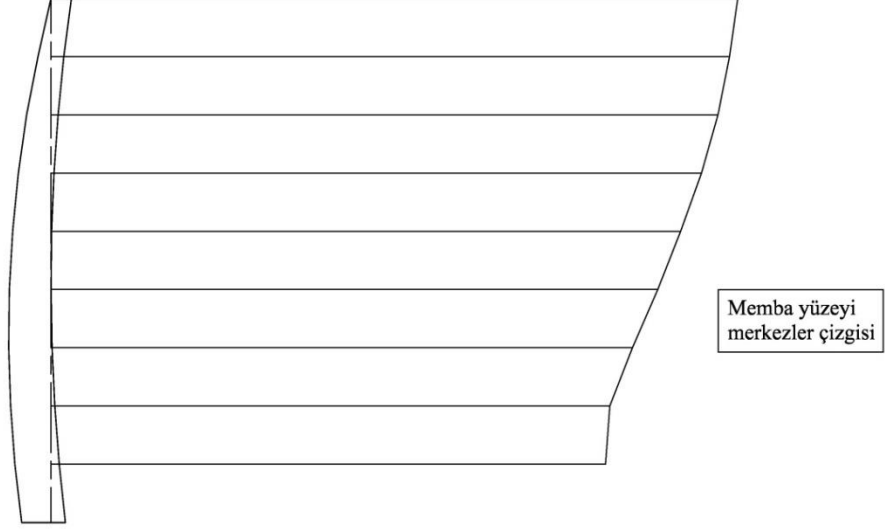
Tablo 2.1 Kemer dilimlerinin geometrik yerleri

Kemer Dilimlerinin Geometrik Yerleri					
Kemer No.	Yükseklik (m)	Kot (m)	R.D. Mansap Uzaklığı (m)	R.D Memba Uzaklığı (m)	Açı
1	0	200	4,25	10,05	34°
2	20	220	2,83	12,41	44°
3	40	240	1,3	13,9	57°
4	60	260	0,36	14,52	67°
5	80	280	0,04	14,29	76°
6	100	300	0,23	13,19	83°
7	120	320	1,04	11,23	91°
8	140	340	2,43	8,39	101°
9	160	360	4,42	4,45	111°
10	180	380	7	0	117°

### 2.2.6. Merkezler Düzleminin Oluşturulması ve Gözden Geçirilmesi

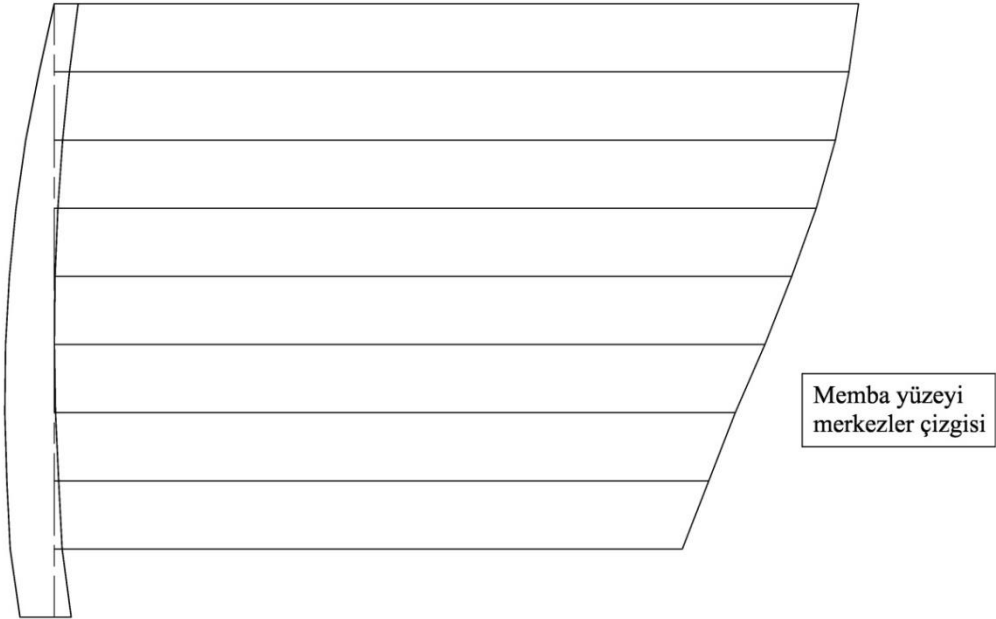
Eşyüksekti eğrilerinin son bulduğu kot ile baraj tabanı kotu arasındaki kemerlerin çizilmesi için merkezler düzleminin oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Her 20 metrede bir kemer dilimleri oluşturulduktan sonra kemer dilimleri referans düzlemi dikkate alınarak kotları verilir. Kemerlerin memba ve mansap yarıçapları belirlenir. Kemer yarıçapları baraj eksenine toplanarak memba ve mansap yüzeyleri ayrı ayrı belirlenir. Merkezler çizgisi, memba yüzeyi ve mansap yüzeyi için yarıçap merkezleri birleştirilerek oluşturulur. Merkezler çizgisinin ani değişimlere uğradığı yerlerde düzeltmeler yapılmalıdır. Ani değişimin olduğu yerde bir önceki kesite uygun açı verilerek bu düzeltmeler yapılır. Bu düzeltme sonucunda o yerde anahtar kesit üzerinde de düzeltme yapılır ve böylece düzgün bir şekil elde edilir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9).

Baraj Ekseni



Şekil 2.8 Mamba yüzeyi merkezler çizgisi elde edilen ilk hal

Baraj Ekseni

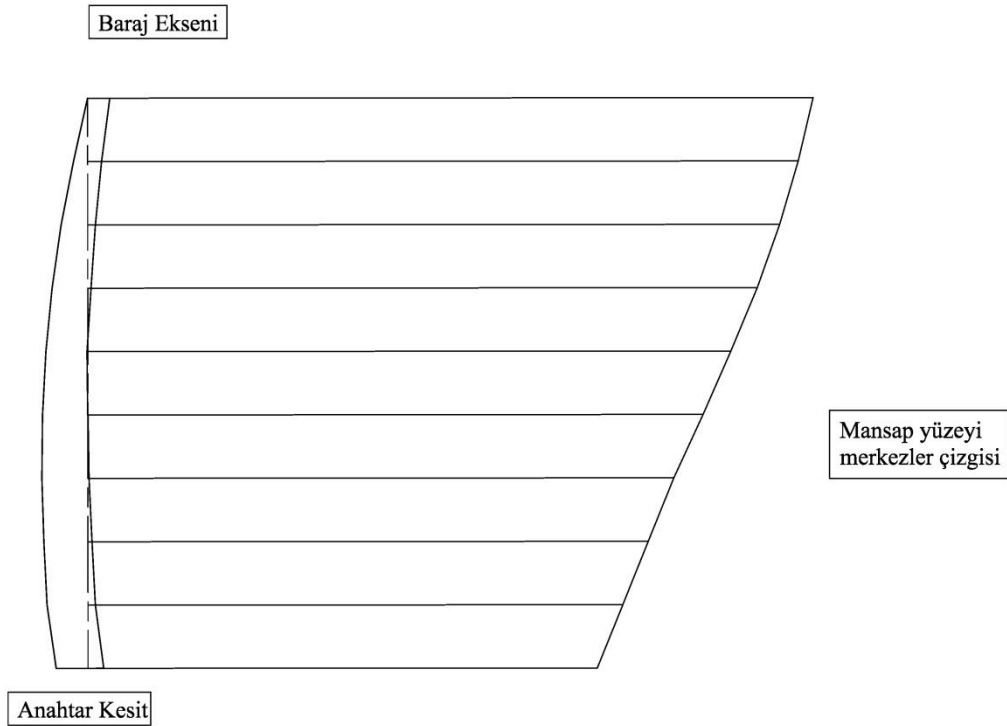


Şekil 2.9 Mamba yüzeyi merkezler çizgisi elde edilen son hal

### 2.2.7. Baraj Tabanının Elde Edilişi

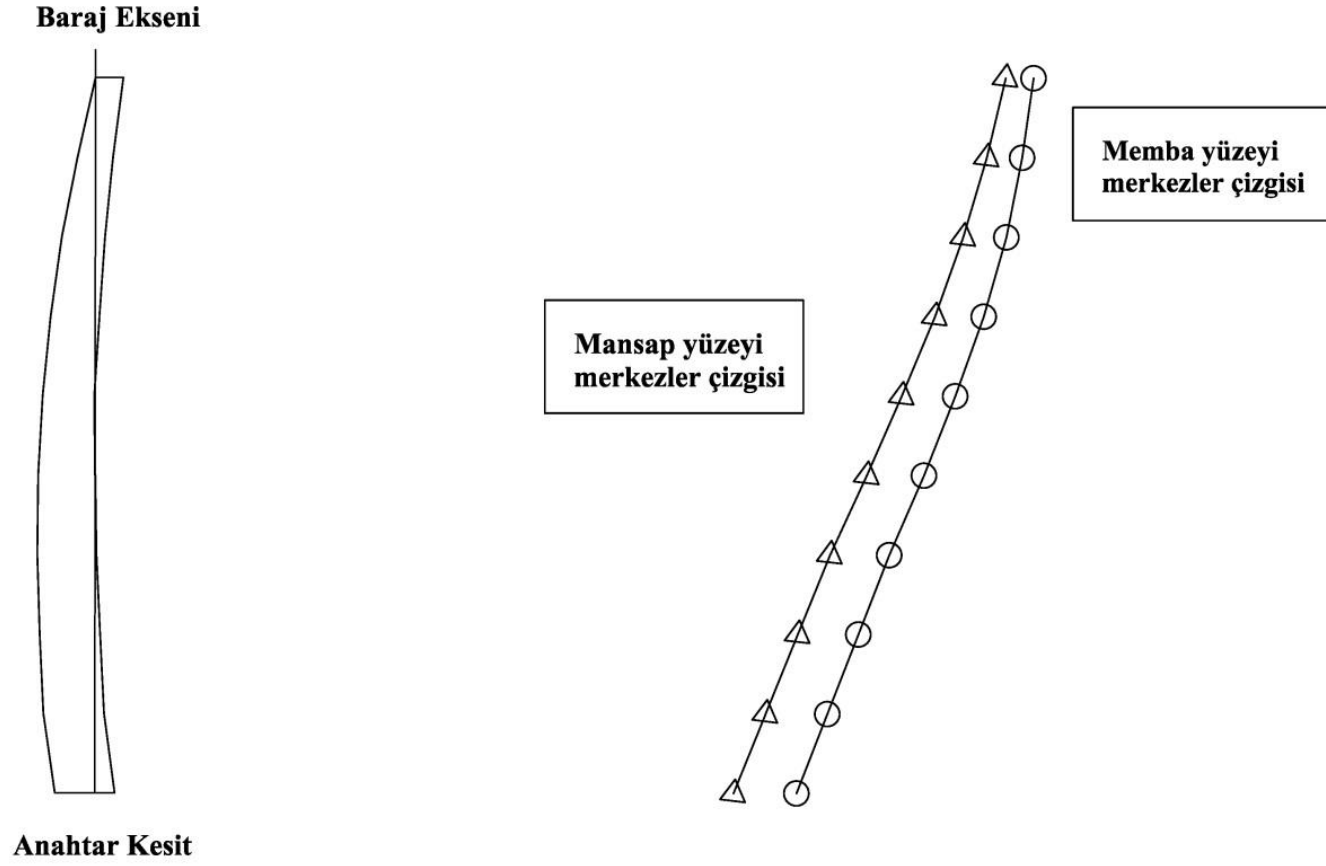
Çizilebilen en düşük kemer dilimi, anahtar kesitin tabanından itibaren  $0,15H$  ile  $0,20H$  arasında olması gerekir. Çağlayan Kemer Barajı için çizilebilen en düşük kemer diliminin kotu 220 m'dir. Barajın anahtar kesitinin taban kotu 200 m olduğundan aradaki 20 m'lik kısımda çizilecek olan kemer dilimleri için merkezler düzleminden yararlanılır. Çağlayan Kemer Barajı'nda 20 m de bir kesit alındığı için sadece temele oturan kemer dilimi merkezler düzleminden yararlanılarak oluşturulur. 200 m ile 220 m kotu arasında merkezler düzlemini bozmayacak şekilde lineer bir çizgi çizilir. Bu çizgi yardımıyla 200 m kotundaki kemer diliminin yarıçapı belirlenir (Şekil 2.10).

Kemer dilimine ait yarıçapın belirlenmesi, yay çizimi için yeterli değildir. Yayın memba yüzeyinin çizilebilmesi için iki noktaya daha ihtiyaç vardır. Bu noktalara kemer dilimlerinin merkez açısındaki azalma miktarı dikkate alınarak karar verilmelidir (Şekil 2.11). Şekil 2.12'de Çağlayan Kemer Barajı'na ait kemer dilimlerinin memba tarafından görünümü verilmiştir. Şekil 2.13'de ise Çağlayan Kemer Barajı'na ait merkez açılarındaki azalmalar gösterilmiştir.

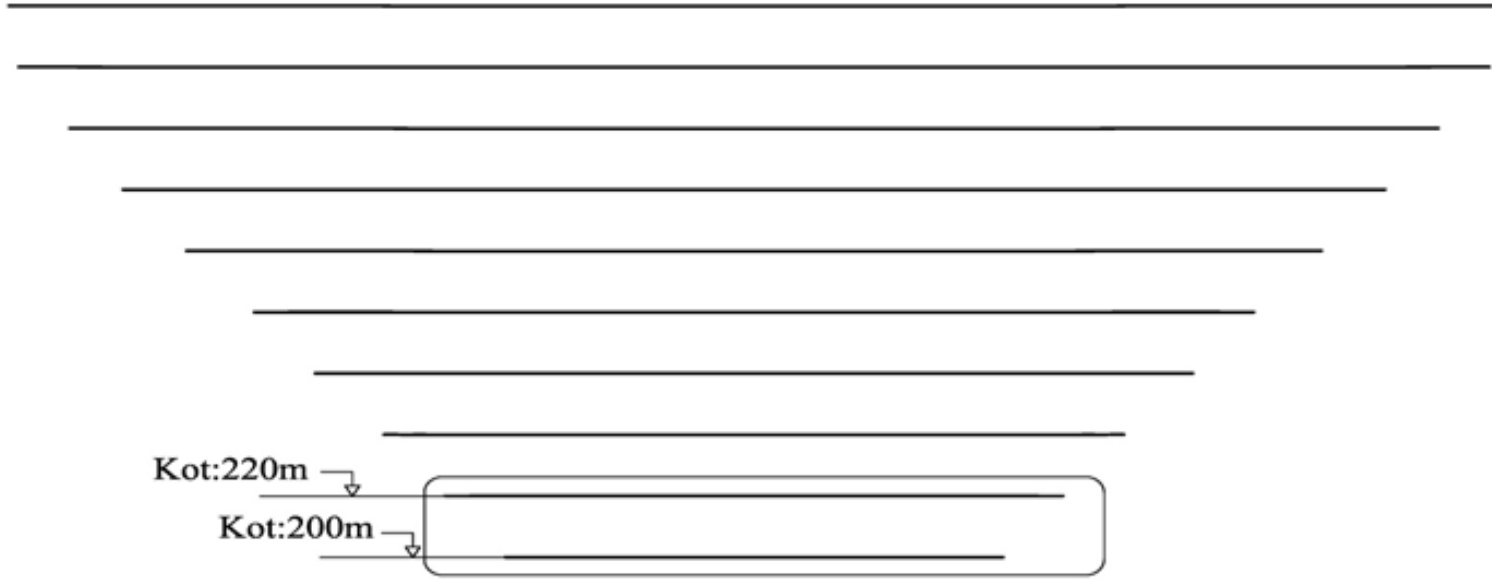


Şekil 2.10 Temel kemer diliminin merkezler çizgisinde oluşturulması

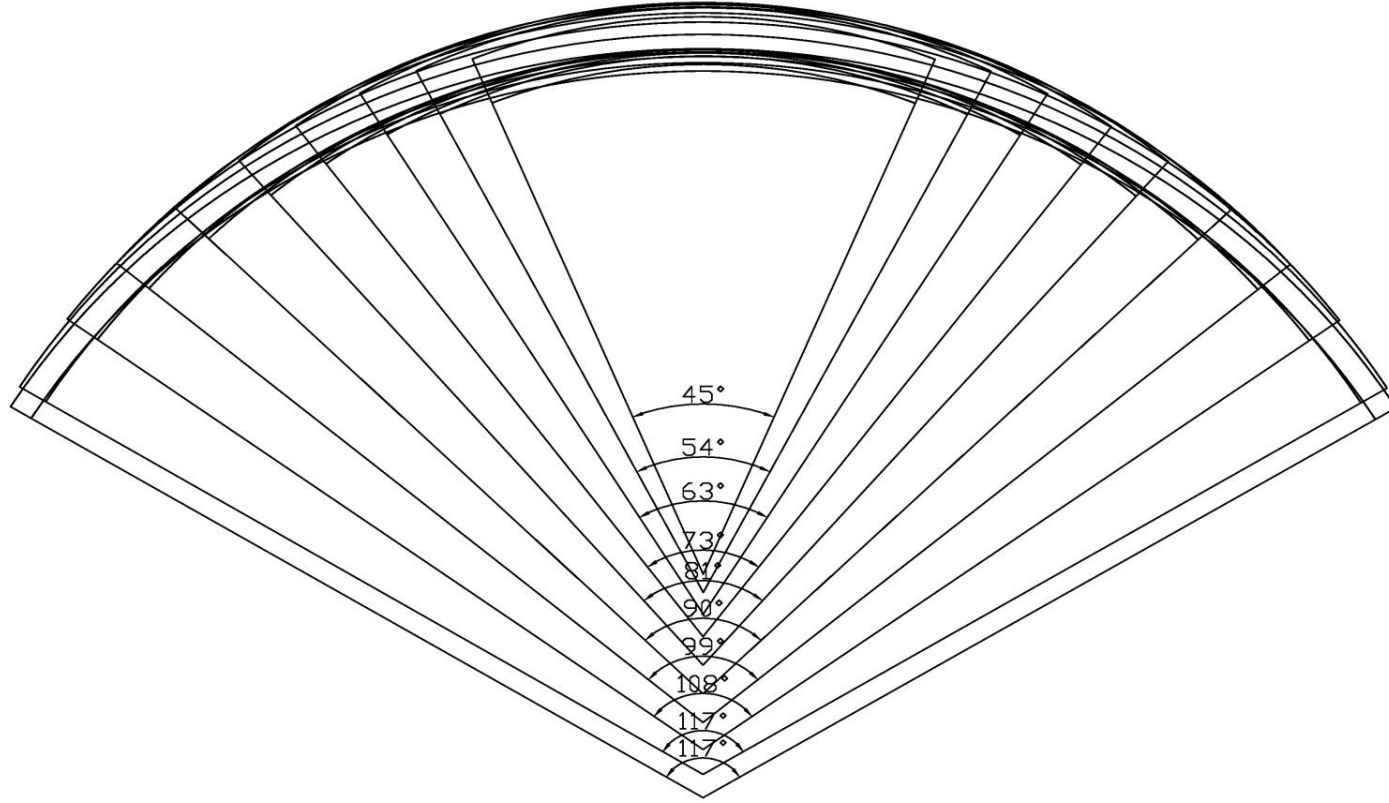




Şekil 2.11 Çağlayan Kemer Barajı merkezler çizgisinin oluşturulması



Şekil 2.12 Çağlayan Kemer Barajı'na ait kemer dilimlerinin memba tarafından görünümü



Şekil 2.13 Çağlayan Kemer Barajı'na ait merkez açılarındaki azalmalar

### 2.3. Çağlayan Kemer Baraj Zemin Modelinin Oluşturulması

#### 2.3.1. Yapısal Modelleme

Kemer barajlar, eğilebilir kaya zemin üzerinde rezervuar suyu etkisindeki üç boyutlu sistemlerdir. Kemer baraj analizinde en önemli hususlardan biri, sistemin gerçek davranışını temsil edecek doğru modeller geliştirmektir. Sonlu eleman metodu, bir kemer baraj-zemin sisteminin gerçek üç boyutlu davranışını yansıtmaya özelliğine sahiptir. Bu metod ile baraj ve vadinin karmaşık yapısı temsil edilebilir. Ayrıca, çeşitli yükleri hesaba katabilir, üstelik bu metod ince ve çift eğrilikli kemer barajlara kolaylıkla uygulanabilir.

##### 2.3.1.1. Baraj Modeli

Bir kemer baraj için uygun bir sonlu eleman ağı, sadece baraj geometrisi ile yapılacak analiz tipinin çok dikkatli şekilde değerlendirilmesi ile elde edilebilir. Örneğin, çift eğrilikli ince kabuk elemandan oluşan bir yapının sonlu eleman modeli kalın ağırlık kesitinden oluşan bir yapının modelinden farklıdır. Üstelik, lineer elastik bir analiz için geliştirilen bir yapısal model, genellikle lineer olmayan bir analiz için uygun değildir. Örnek olarak tek merkezli çift eğrilikli kemer baraj olarak tasarlanan Çağlayan Kemer Barajı'nın SAP2000 de üç boyutlu modeli Şekil 2.14 görülmektedir. X eksenini nehir akış yönünü, Z eksenini de düşey yönü göstermektedir. Y eksenini ise X-Z düzlemine diktir (Şekil 2.14).

##### 1. Eleman Tabaka Sayısı

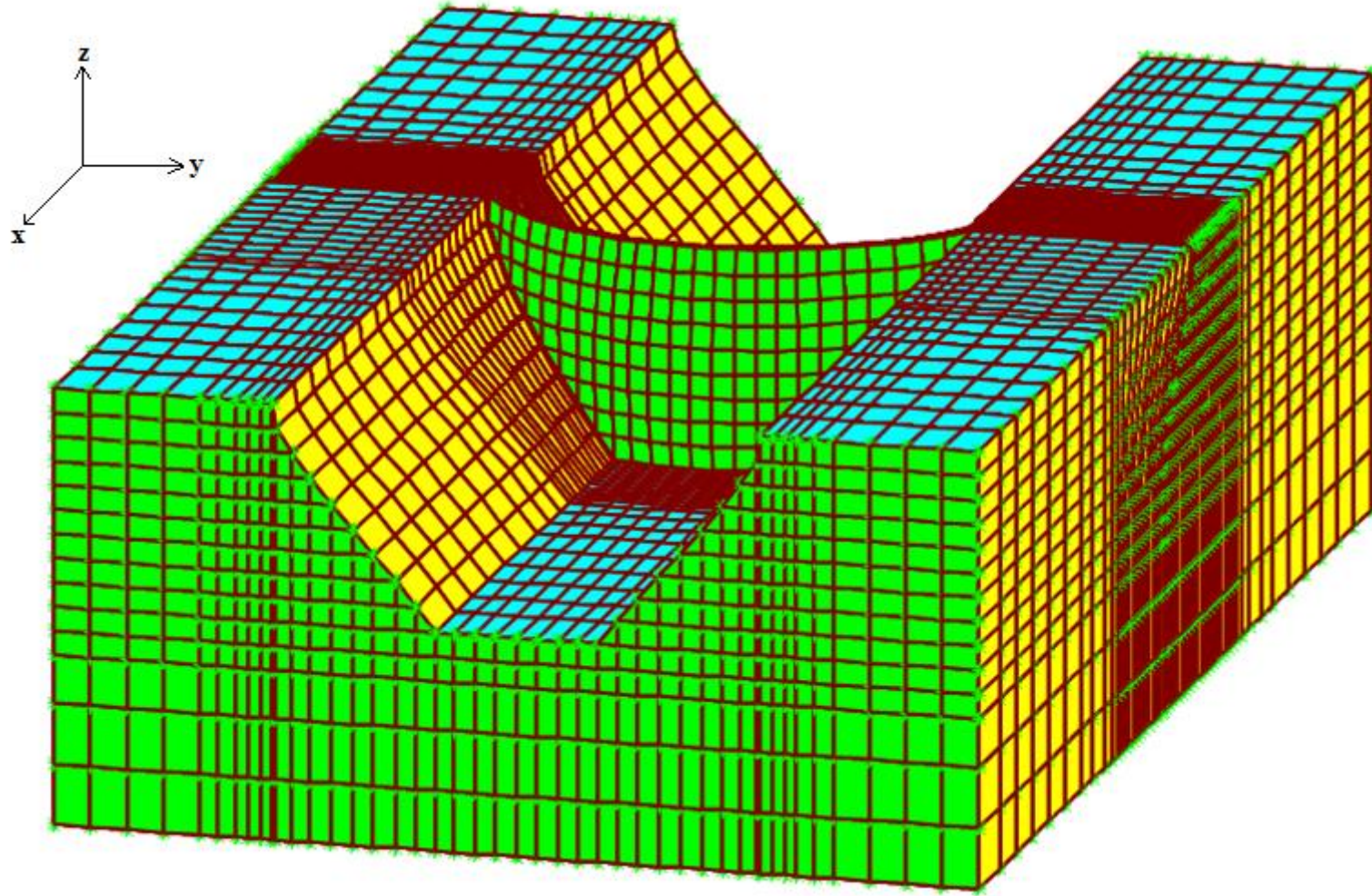
Kemer baraj tipleri, en kesitlerinin geometrisine göre, ince kalınlıklı kemer, orta kalınlıklı kemer ve kalın ağırlık kemer kesitli olarak sınıflandırılabilir. Tablo 2.2'de bu tiplerin her birinin kret kalınlığının ( $T_C$ ) ve temel kalınlığının yüksekliğe ( $T_B$ ) oranı verilmiştir. Ayrıca, temel kalınlığının, kret kalınlığına oranı da gösterilmektedir. Bu tip barajların her biri, kemer kesitlerinin geometrisine bağlı olarak "1. Genel Bilgiler" bölümünde tanımlandığı gibi de sınıflandırılabilir.

Tablo 2.2 En kesit geometrisine göre kemer baraj tipleri

<b>Kemer Baraj Tipleri</b>	<b>T<sub>C</sub>/H</b>	<b>T<sub>B</sub>/H</b>	<b>T<sub>B</sub>/T<sub>C</sub></b>
İnce Kalınlıklı Kemer	0,025-0,05	0,09-0,25	2,9-5
Orta Kalınlıklı Kemer	0,025-0,05	0,25-0,4	5-10
Kalın Ağırlık Kemer	0,05-1	0,5-1	8-15

İnce kalınlıklı kemer baraj gövdesi, genellikle hem planda hem de yükseklik boyunca eğriliklidir. Bu tip barajların kabuk elemanlar ile temsil edilmesi uygundur. Bunun yanı sıra modellemede 8 ile 21 düğüm noktası arasında değişen düğüm noktasına sahip genel üç boyutlu elemanda kullanılabilir. Ancak bu elemanlar ince kabuk yapıların eğilme momentleri ve kayma deformasyonlarını temsil etmede kullanılan kabuk elemanlar kadar doğru sonuç vermezler. Her iki elemanın kullanılması durumunda da baraj gövdesini tek bir tabaka olarak ele almak yeterli olmaktadır (USACE, 1994).

Orta kalınlıklı kemer barajlar, genellikle ince kalınlıklı kemer baraj ile aynı şekilde modellenmektedir. Ancak, bu tip barajların temele yakın ve mesnetlenme bölgelerinde üç boyutlu katı elemanlar kullanılmak zorundadır. Çünkü, bu kısımlarda kemerin kalınlığının fazla olmasından dolayı kabuk davranış kabulü geçerliliğini yitirir (USACE, 1994).



Şekil 2.14 Çağlayan Kemer Barajı'nın SAP2000'deki üç boyutlu modeli

Ağır kemer barajlar, kesit kalınlığına bağlı olarak, katı elemanlardan oluşacak şekilde iki veya daha fazla tabaka alınarak modellenmelidir. Kalınlığı boyunca gerilme dağılımını detaylı olarak belirlemek ve lineer olmayan sıcaklık değişimini tanımlamak için ek eleman dűđüm noktası gerekli olduğunu belirtmekte fayda vardır (USACE, 1994).

## 2. Barajın Sonlu Eleman Ağının Boyutu

Bir kemer baraj için optimum bir sonlu eleman ağı elde etmek için herhangi bir kural yoktur. Yine de en iyi yaklaşım, farklı eleman tip ve boyutlarından oluşan çeşitli sonlu eleman ağları oluşturup analiz etmek ve daha sonra hesap açısından etkili ve mantıklı doğru sonuç verenlerden birini seçmektir. Sonlu eleman ağının seçiminde dikkate alınacak temel faktörler, barajın dinamik karakteristikleri kadar boyutu ve geometrisi, kullanılacak eleman tipi, savak tipi ve yeri, zemin durumu ve deprem analizinde gerekli titreşim modlarının sayıdır. Sonlu elemanların boyutu, barajın eğriliği, kalınlığı ve tüm geometrisi ile tam olarak eşleşecek şekilde seçilmelidir. Barajın eğriliği artarken, geometriyi temsil etmek için daha küçük elemanlar gereklidir. Barajı modellemek için kullanılan eleman tipleri, sadece gerekli ağ boyutunu etkilemekle kalmaz, aynı zamanda sonuçları da büyük oranda etkiler. Örneğin, düz yüzeyle elemanlar ile kemer barajların idealizasyonu çok daha küçük elemanların kullanımını gerektirir. Çok sayıda alınan bu elemanlar baraj boyunca enine kayma deformasyonları oluşturmayabilir. Bu ise, bazen ihmal edilebilir bir durum olmaktan çıkabilir. Diğer yandan aynı baraj, az sayıda eğriliğli kalın kabuk elemanlar ile de modellenebilir. Böylece büyük eğilme davranışı ve aynı zamanda enine kayma deformasyonları elde edilir (USACE, 1994).

### 2.3.1.2. Zemin Modeli

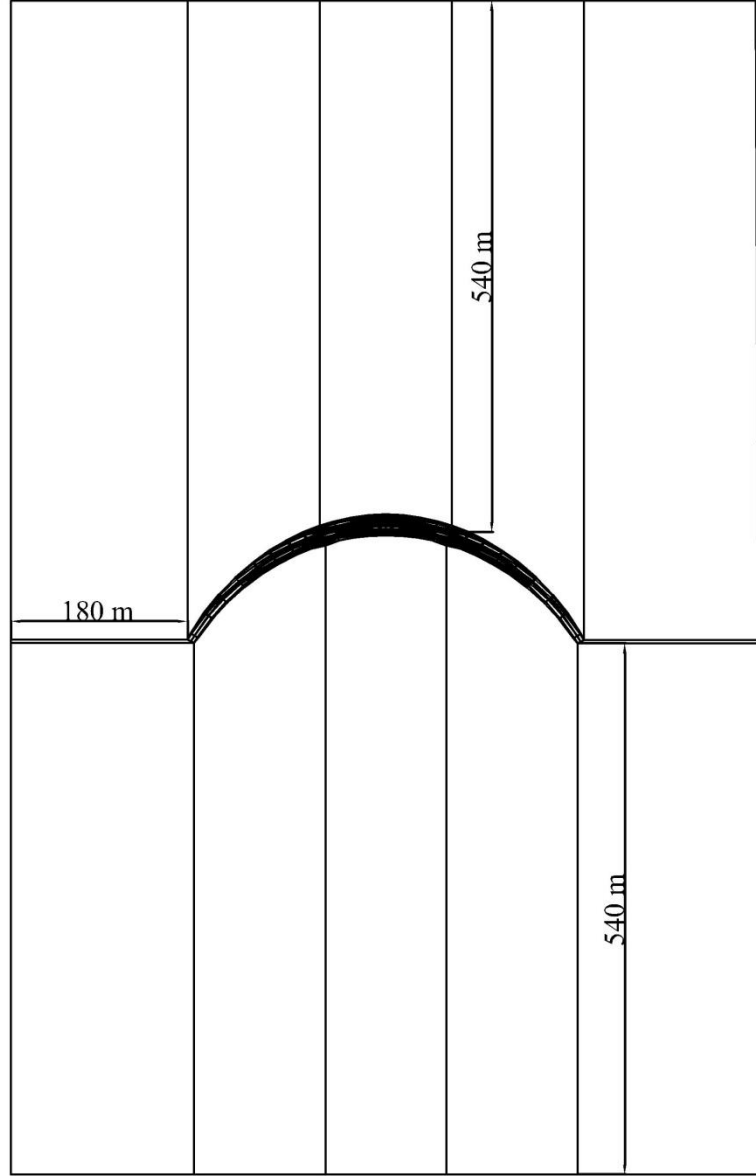
İdeal bir zemin modeli, sonsuza uzanır ve kayanın bütün gerçek jeolojik özelliklerini yansıtır. Ayrıca bu model barajdaki gerilmeler üzerinde sınır etkilerinin ihmal edilebilir olduğu çok büyük mesafelere kadar uzanır. Bununla birlikte, bu idealleştirilmiş modelleri uygulamada görmek mümkün değildir. Çünkü, sonsuz zemin modelleri ile ilgili analitik teknikler henüz yeterince geliştirilmemiştir. Konu ile ilgili bazı analitik modeller mevcut olsa da bunlarda da hesap ağısından engelleyici özellikler mevcuttur. Bunun yerine, basitleştirilmiş bir zemin modeli kullanılır. Bu basitleştirilmiş modelde, sınır etkilerinin önemsiz olması için yeteri kadar büyüklükte mesafe alınır. Jeolojik oluşumun etkileri, kayanın elastisite modűlü yerine deformasyon modűlü kullanılarak kısmen hesaba katılır.

Genelde, kemer barajın mesnetlendiği kaya zeminin geometrisi barajdan baraja farklılık gösterir. Tek bir formda ifade edilemez. Zeminin sonlu eleman ağı, küçük boyuttaki elemanlar baraj-zemin etkileşim yüzeyine yakın olacak şekilde düzenlenir (USACE, 1994).

#### **2.3.1.2.1. Zemin Modelinin Genel Hatları ile Oluşturulması**

Kaya zeminin eğilebilirliğini hesaba katmak için, analiz edilecek baraj-zemin modelinde uygun bir zemin hacmi alınmalıdır. Büyük zemin hacimleri daha büyük eğilebilirlik sağlayabilir. Bununla birlikte, kaya zemini alt bölümlere ayırabilmek için çok fazla sonlu eleman kullanılırsa, daha fazla veri hazırlanması ve daha büyük bilgisayar hafızası gerekmektedir. Üstelik eğilebilirliğin artırılması indirgenmiş zemin modülü kullanılarak da elde edilebilir. Statik analizde zeminin eğilebilirliği, barajdaki deplasman ve gerilmeleri etkiler. Bu yüzden, barajdaki deplasman ve gerilmeleri etkilemeyecek bir zemin boyutu seçilmelidir. Çağlayan Kemer Barajı'nda zemin modeli oluşturulurken dikdörtgen prizma ele alınmıştır. İlk olarak barajın etrafında dikdörtgen prizma oluşturulmuştur. Bu prizma oluşturulurken barajdan itibaren baraj yüksekliği (H) kadar sağ ve sol yamaçlara, baraj yüksekliğinin üç katı kadar (3H) memba ve mansap taraflarına gidilmiştir. Çağlayan Kemer Barajı'nın sonlu eleman modeli daha önce oluşturulmuştu. Alt ve üst köşelerden 180 m sağ ve sol kıyıya, 180 m temelden aşağıya doğru; 540 m memba ve mansap tarafına gidilip genel hatlarıyla zemin modeli oluşturulmuştur (Şekil 2.15).





Şekil 2.15 Çağlayan Kemer Barajı zemin oluşturma

Barajın bütün düğüm noktalarından zemin ile birleştiği yerlerden memba ve mansap tarafına 540 m uzatılıp zemin yüzeyi X-doğrusunda bölünmüştür. Kemer yapısından dolayı en dıştaki çizgiler eşit hizaya getirilmiştir. Sağ ve sol kıyı, baraj ile zeminin kesiştiği noktalardan Y-eksenine paralel 180 m uzunluğunda çizgilerle oluşturulmuş ve bu çizgiler aynı hizaya getirilip baraj zemini genel hatlarıyla oluşturulmuştur.

### 2.3.1.2.2. Zemin Modelin Memba ve Mansap Yüzeylerinin Sonlu Elemanlara Bölünmesi

#### a) Zemin Modelinde Memba Tarafının Sonlu Elemanlara Bölünmesi

Zemin modeli X-eksenine paralel sonlu elemanlara ayrılırken, barajın kemer yapısından dolayı Y-ekseni ile dik açı yapmaz. Çizgilerin Y eksenine dik açı yapması için yapılan işlemler aşağıda adım adım verilmiştir.

- Barajın merkez noktasına uzaklığı kadar çizgilerin düzeltilmesine karar verilmiştir. Böylece bölme işlemi sonlu elemanlara uygun düzgün bir şekilde açılarak bölünmüştür. Çağlayan Kemer Barajı'nda kret noktasından 238 metre kadar çizgiler düzeltilmiştir.
- Barajın zemin ile birleştiği her düğüm noktasından baraj temelinin yarısı kadar gidilip, 7,5 metre kadar X-eksenine paralel gidilmiştir.
- Geri kalan 230 metre her katmanda 10 eşit parçaya bölünmüştür.
- Bütün noktalar Y-eksenine paralel olarak birleştirilmiştir.
- Sonlu elemanlara uygun olarak 15, 25, 35, 35, 50 metre olarak bölme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.16).

#### b) Zemin Modelinde Mansap Tarafının Sonlu Elemanlara Bölünmesi

Barajın memba tarafındaki yapılan işlemin aynısı mansap tarafında da yapılmıştır. Çizgilerin Y-eksenine dik kesmesi için yapılan işlemler aşağıda adım adım verilmiştir.

- Barajın merkez noktasına uzaklığı kadar çizgilerin düzeltilmesine karar verilmiştir. Çağlayan Kemer Barajı'nda temel orta noktasından 238 metreye kadar çizgiler düzeltilmiştir.
- Barajın zemin ile birleştiği her düğüm noktasından 7,5 metre X-ekseninde gidilmiştir.
- Geri kalan 230 metre her katmanda 18 eşit parçaya bölünmüştür. Memba ve mansap taraflarının farklı bölünmemesinin sebebi; barajın mansap tarafı kemerin iç tarafında, memba tarafının kemerin dış tarafında kalmasından kaynaklanmaktadır.
- Bütün noktalar Y ekseninde birleştirilmiştir.
- Sonlu elemanlara uygun olarak 15, 25, 35, 35, 50 metre olarak bölme işlemi gerçekleştirilmiştir.

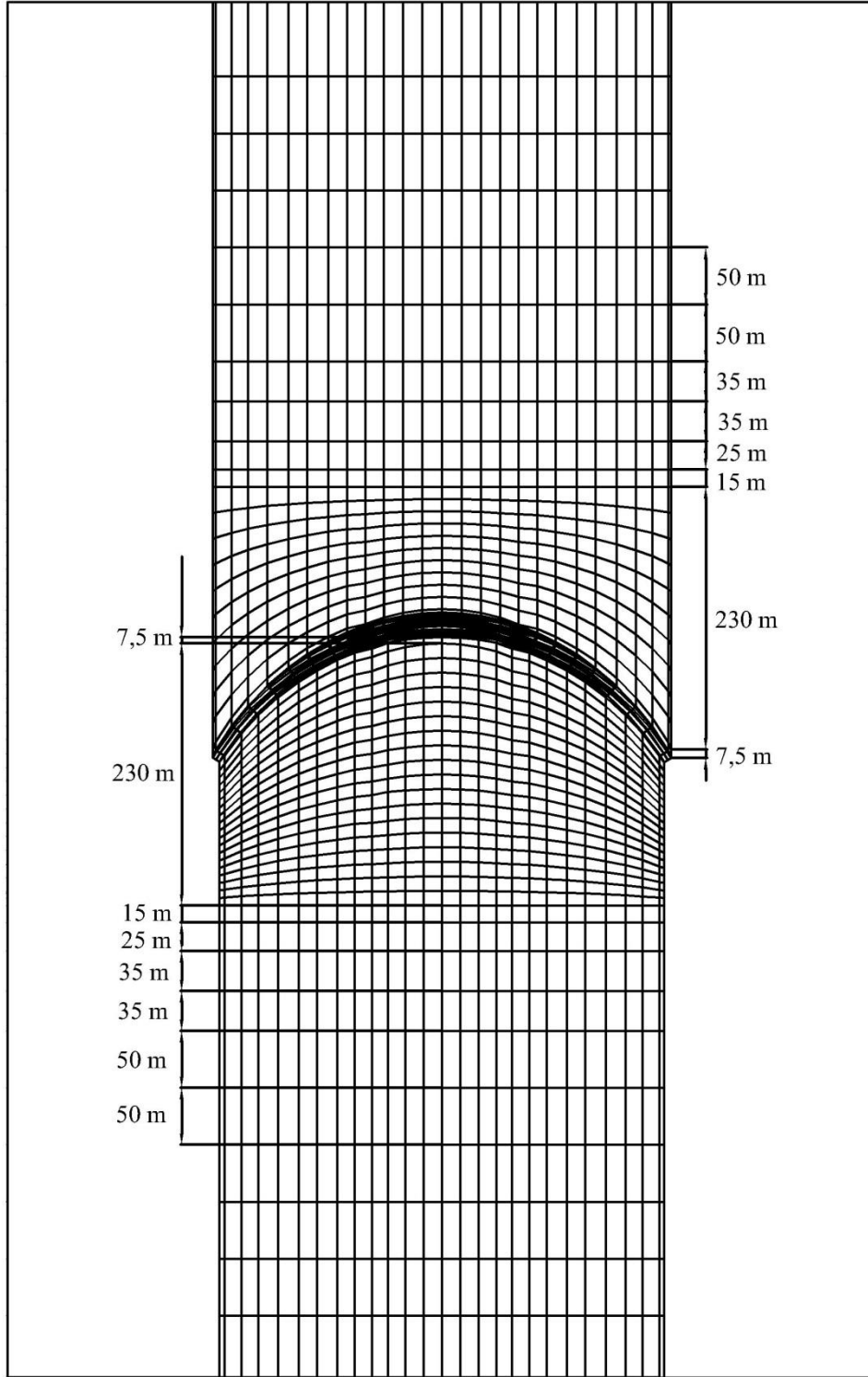
- Çağlayan Kemer Barajı'nın mansap tarafında memba tarafına göre aralıkların daha geniş olması barajın kemer şeklinden kaynaklanmaktadır (Şekil 2.16).

### **2.3.1.2.3. Zemin Modelin Sağ ve Sol Yamaçlarının Sonlu Elemanlara Bölünmesi**

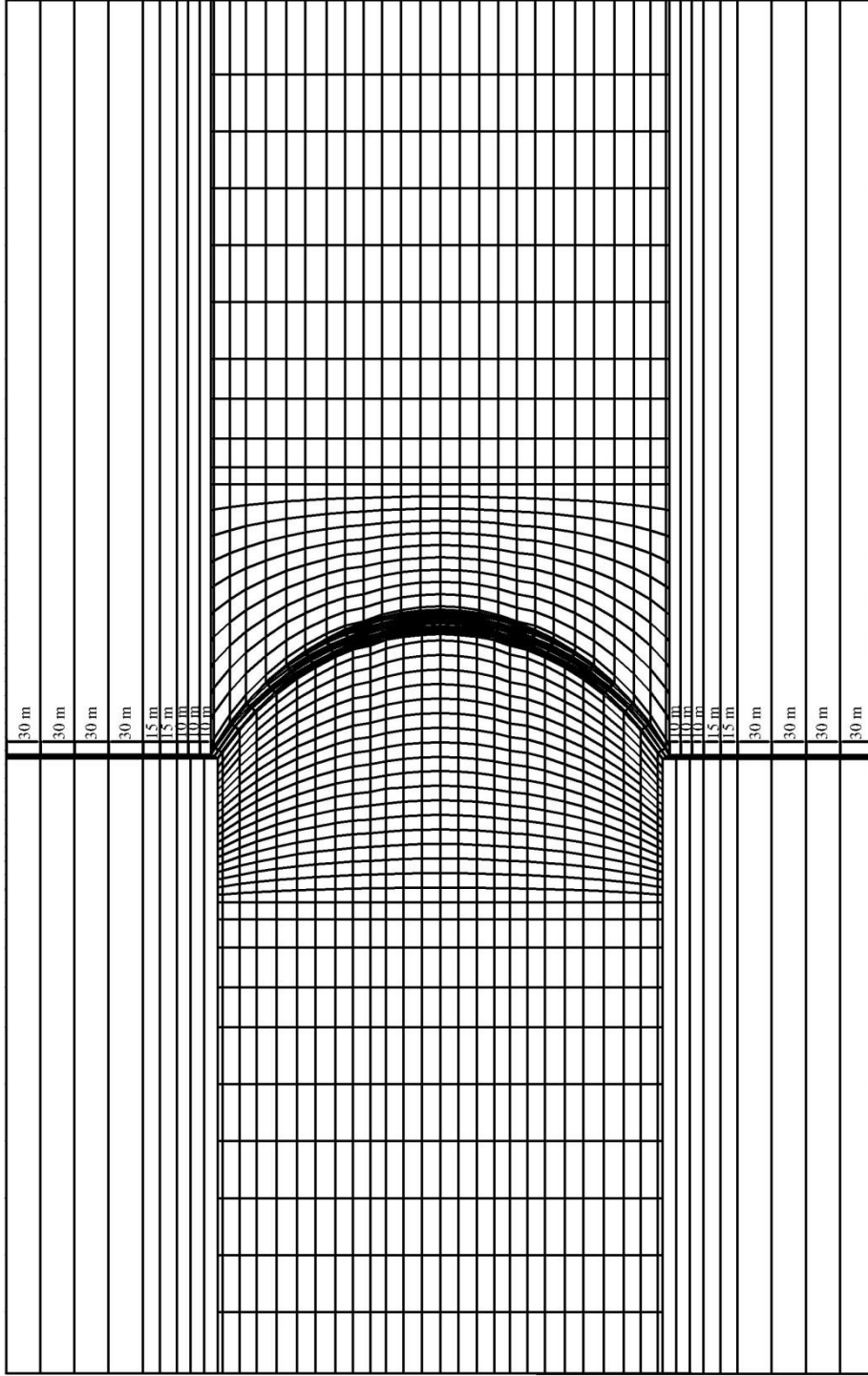
Çağlayan Kemer Barajı 20 metre de bir kesit alınarak sonlu elemanlara bölünmüştür. Sağ ve sol yamaçta baraj ile zeminin keştiği her noktadan Y-eksenine paralel olarak 180 metre çizgiler çizilmiştir. Yamaçlar sonlu elemanlara bölünürken yapılan işlemler aşağıda adım adım verilmiştir.

- Çağlayan Kemer Barajı çift eğrilikli bir baraj olduğu için memba ve mansabında olan çizgiler aynı seviyede olmadığından mansap tarafındaki çizgi memba tarafındaki çizgi ile aynı seviyeye getirilmiştir.
- Memba tarafında çizgiler altı eşit parçaya bölünüp bu noktalardan X-eksenine paralel çizgiler çizilmiştir.
- Sonlu eleman modelini oluşturabilmek için baraj ile zeminin keştiği yerden ilk parça üç eşit parçaya bölünmüştür. Mansap tarafındaki ve ortadaki çizgilerde üç eşit parçaya bölünerek çizgilerin X-eksenini dik kesişmesi sağlanmıştır.
- Bir sonraki parça iki eşit parçaya bölünerek sonlu eleman için yüzeyler bölünmüş hale gelmiştir.

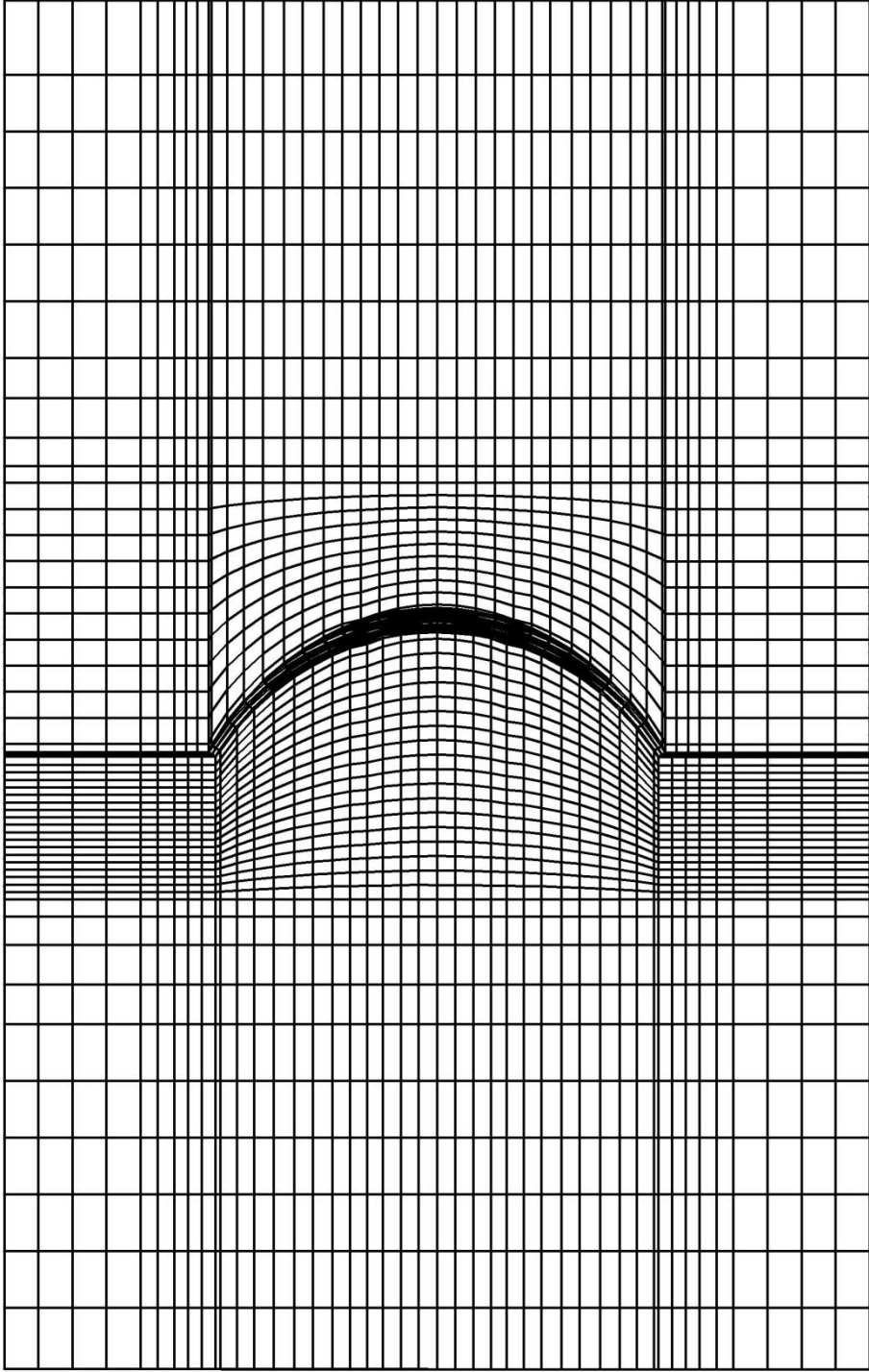
Bütün bu işlemler 20 metrede bir bulunan çizgiler için uygulanmıştır. Ayrıca nehir yatağında Y-eksenine paralel çizilen çizgiler sağ ve sol yamaçta da devam ettirilip üst yüzeylerde bölme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 2.17-2.18).



Şekil 2.16 Çağlayan Kemer Barajı memba ve mansap taraflarının sonlu elemanlara bölünmesi



Şekil 2.17 Çağlayan Kemer Barajı sağ ve sol yamaçların bölünmesi



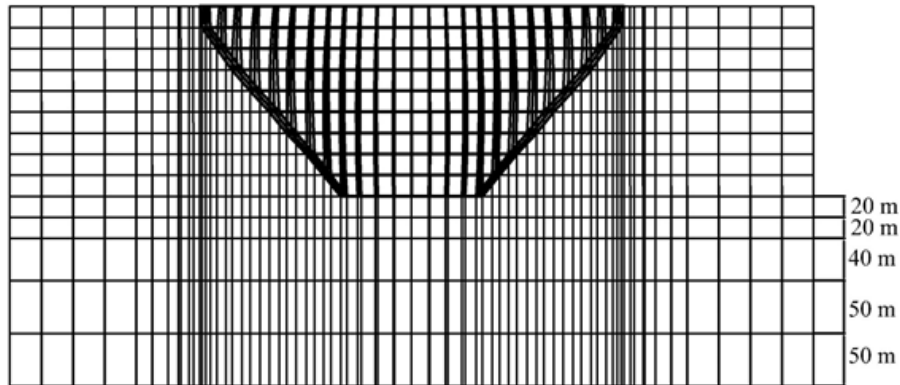
Şekil 2.18 Çağlayan Kemer Barajı yamaçlarının sonlu elemanlara bölünmesi

#### 2.3.1.2.4. Zemin Modelin Her Katmanda Bölünmesi

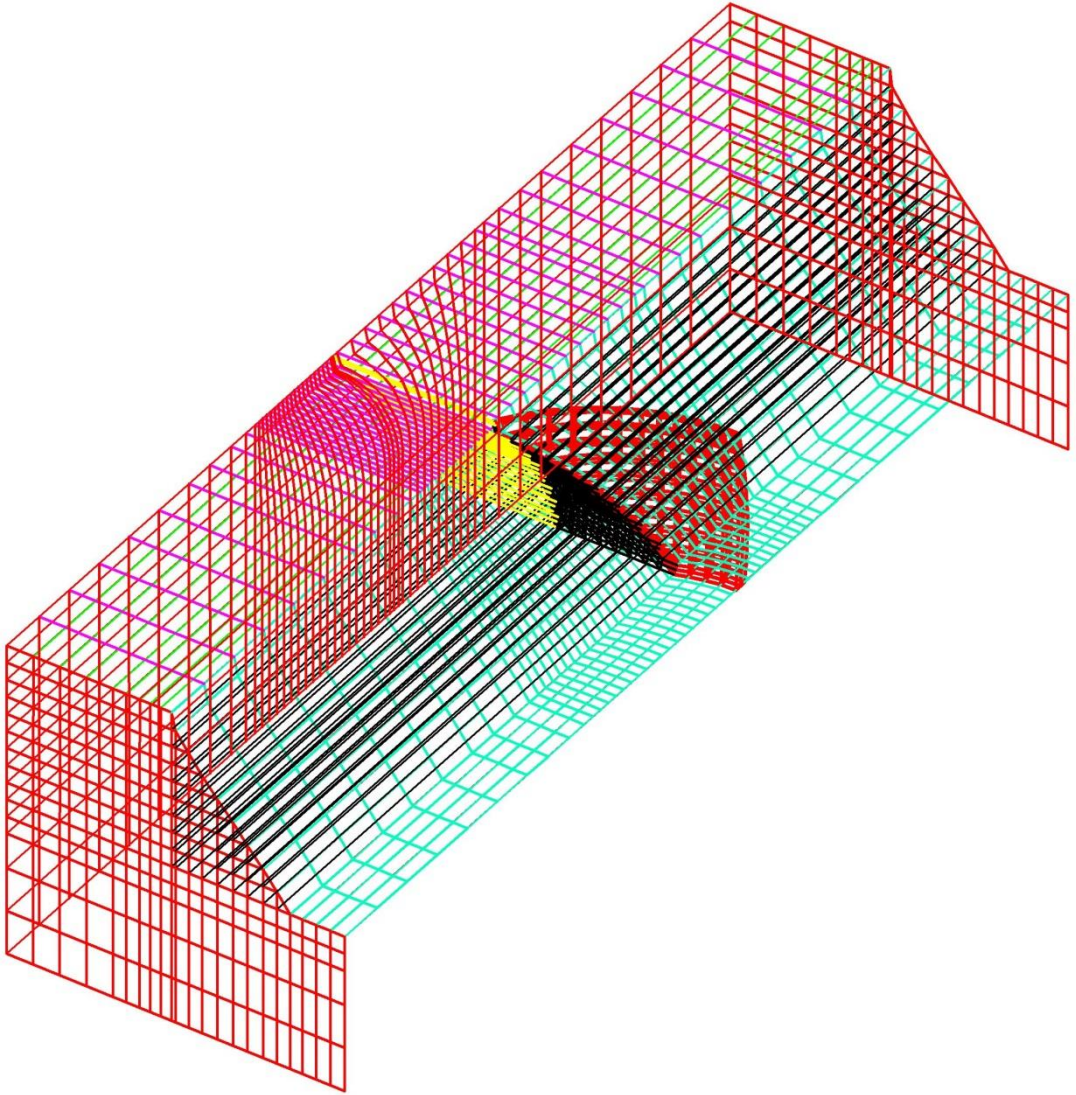
Barajın memba ve mansap tarafları ile sağ ve sol yamaçlarındaki yüzeyler bölündükten sonra 20 metrede bir alınan düşey kesitlerde de aynı işlemler uygulanmıştır. Baraj ve zeminin kesiştiği düğüm noktalarından gelen çizgilere bağlı olarak her katmanda X-eksenine paralel olarak memba ve mansap arası birleştirilerek, zeminde barajın alt kısmında kalan üçgen prizma sonlu elemanlara bölünmüştür. Geri kalan dikdörtgen prizma kısım her katmanda (20 metrede bir) memba ve mansaptan X-eksenine paralel olarak belirlenen noktalardan bölünmüştür. En son nehir yatağında belirlenen yüzeylerden kesişim noktalarından her katmanda (20 metrede bir) Y-eksenine paralel bölünmüştür. X ve Y-ekseninde bölme işlemi gerçekleştirildikten sonra bütün kesişen noktalar Z-eksenine paralel olarak birleştirilip zemin sonlu elemanlara ayrılmıştır.

#### 2.3.1.2.5. Temel Zeminin Sonlu Elemanlara Bölünmesi

Baraj tabanından itibaren bütün düğüm noktalarından 180 metre Z-ekseninde gidilerek temel zemini oluşturulmuştur. Sonlu elemanlara uygun olması açısından baraj tabanından 20, 20, 40, 50, 50 metre olacak şekilde Z-ekseninde bölme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bütün kesişim noktalarından X ve Y eksenlerine paralel çizgiler çizilerek sonlu eleman modeli tamamlanmıştır (Şekil 2.19). Şekil 2.20'de Çağlayan Kemer Barajı zemin modeli verilmiştir.



Şekil 2.19 Çağlayan Kemer Barajı temel zemini



Şekil 2.20 Çağlayan Kemer Barajı zemin modeli

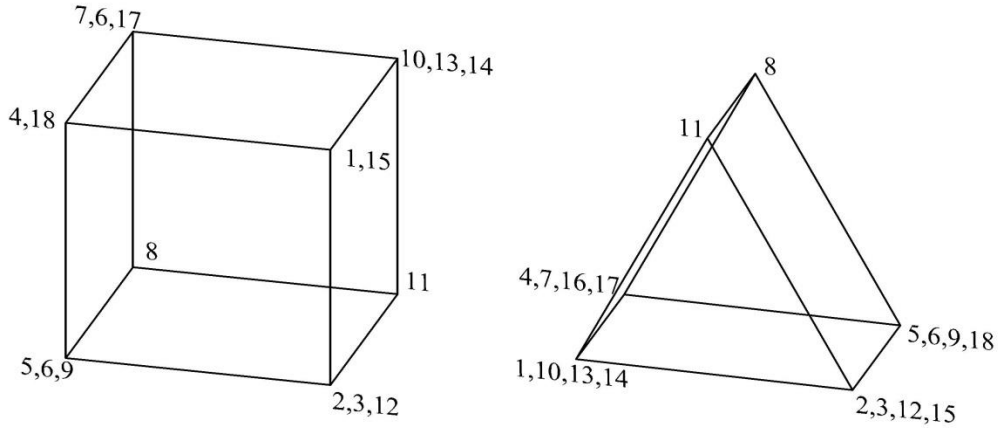


### 2.3.1.3. AutoCAD ile Polygon Mesh Komutu

AutoCAD’te 6x3 polygon mesh komutu kullanılarak Çağlayan Kemer Barajı SAP2000 programına katı model olarak aktarma işlemi gerçekleştirilmiştir (URL-2, 2016).

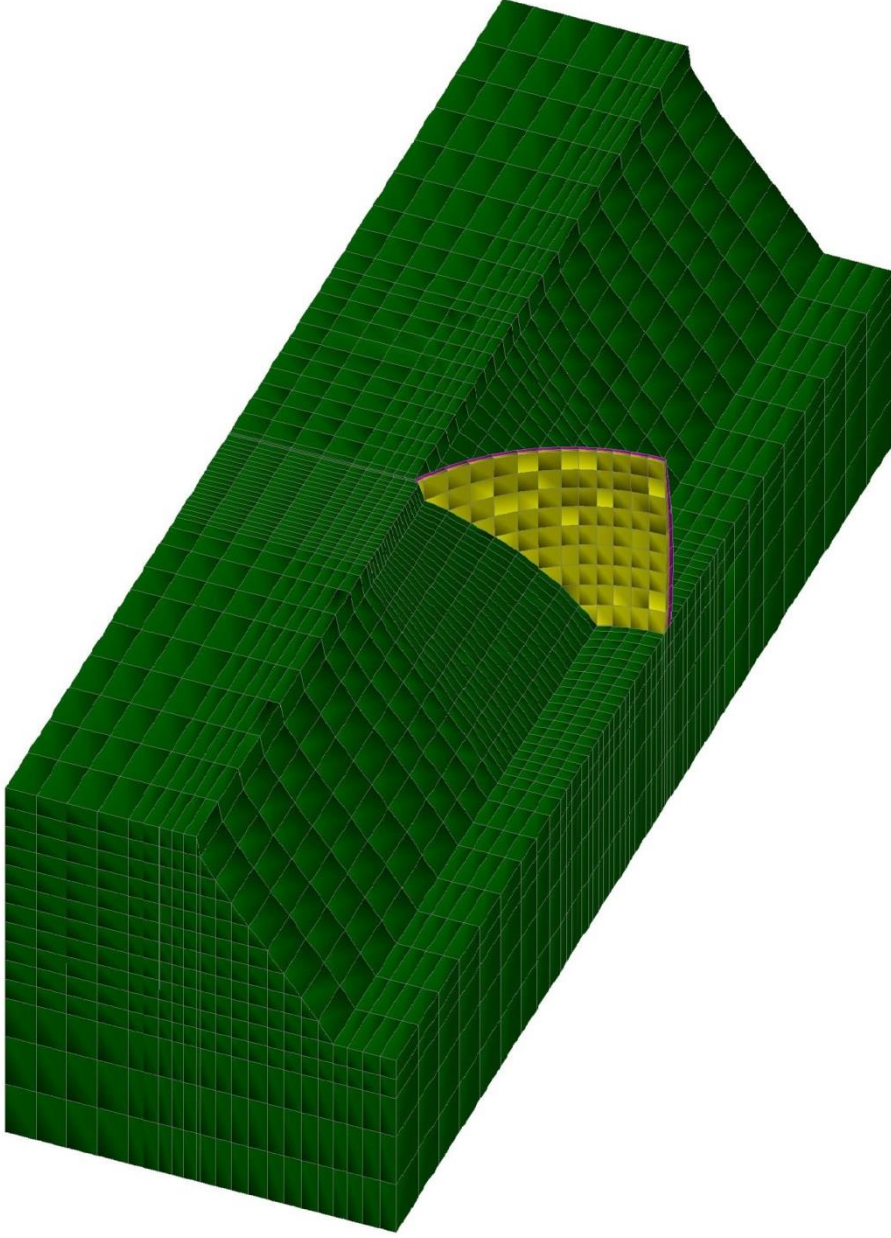
Bu komutu kullanmak için:

- AutoCAD’te komut satırına 3DMESH yazılır.
- M=6 ve N=3 değerleri girilir.
- Şekil 2.21’de verilen sıraya göre prizmanın kenarlarına tıklanılır.

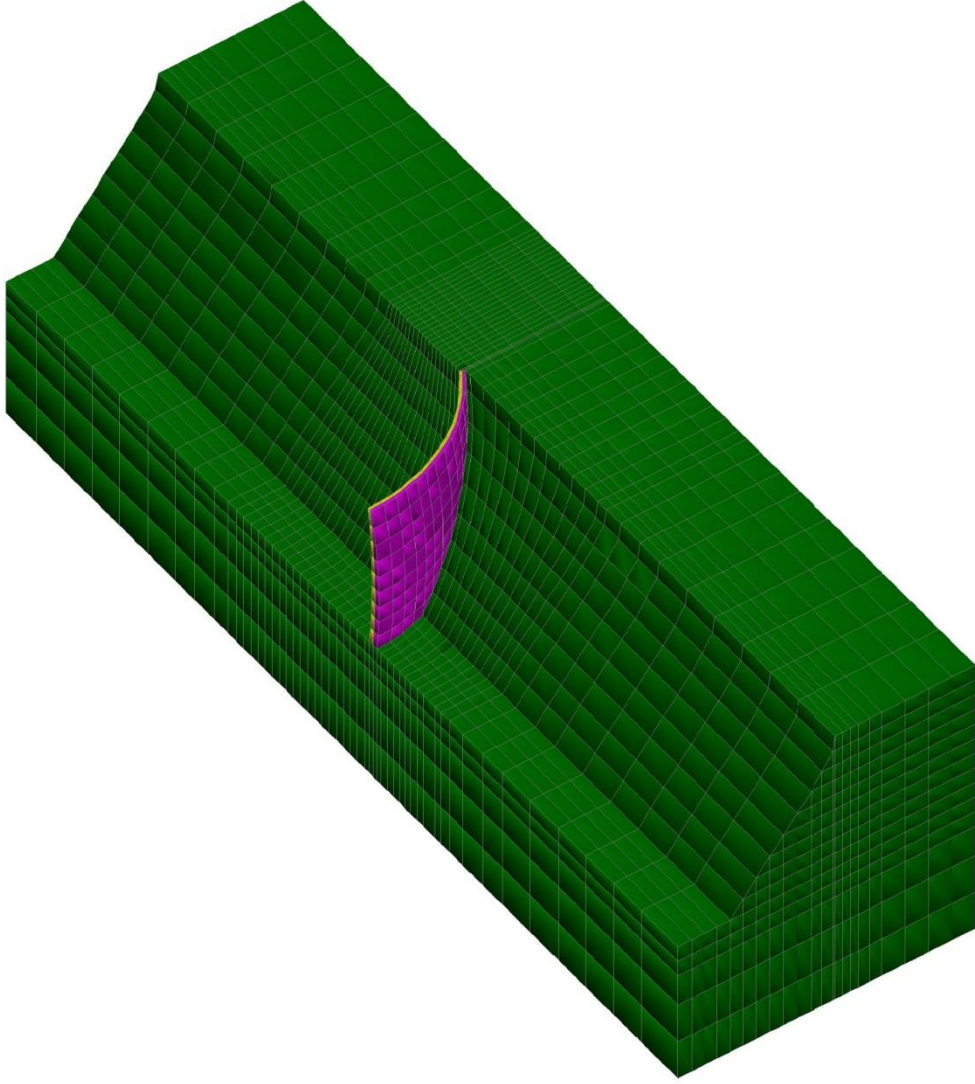


Şekil 2.21 Polygon Mesh komutunun uygulanması

Bu şekilde bütün prizmalara AutoCAD’te kapalı yüzey oluşturulmuştur. Ayrıca yukarıdaki işlem bütün prizmalarda aynı sıra ile yapılırsa SAP2000’de katı modellerin eksenleri aynı olur. Bu şekilde Çağlayan Kemer Barajı, SAP2000’e katı model olarak aktarılmıştır (Şekil 2.22-2.23).



Şekil 2.22 Çaglayan Kemer Barajı'nın mansaptan görünüşü

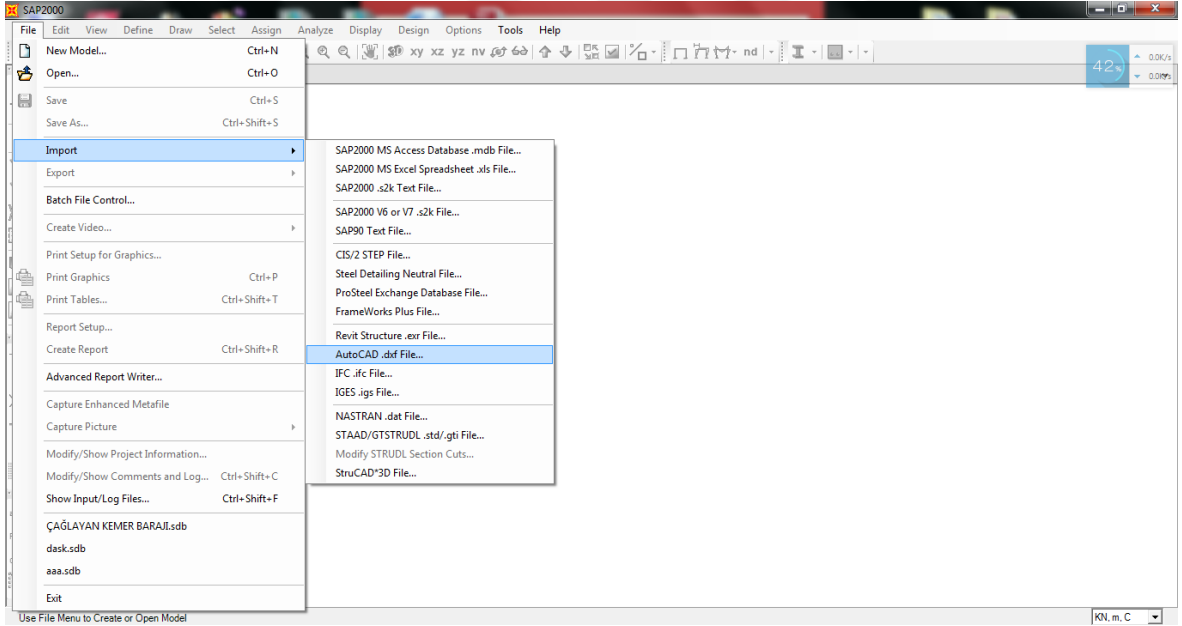


Şekil 2.23 Çağlayan Kemer Barajı'nın membadan görünüşü

### 2.3.1.4. AutoCAD Programından SAP2000 Programına Aktarma İşlemi

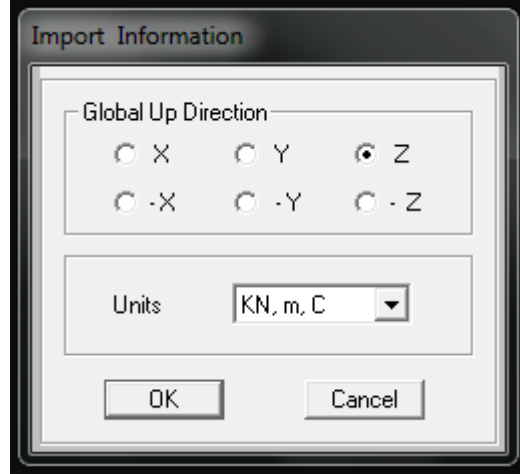
AutoCAD dosyasını SAP2000'e aktarabilmek için:

- Önce AutoCAD dosyasında modeldeki bütün elemanlar tek bir "layer" "kemer" olarak kaydedilir.
- AutoCAD dosyası dxf formatında kaydedilir.
- SAP2000 açılır. Sağ altta birim kısmı kN,m,C olarak değiştirilir. Bu arada AutoCAD dosyasında m (metre) cinsinde çalışıldığına dikkat edilmelidir.
- SAP2000 File menüsünde bulunan Import seçeneğinden AutoCAD .dxf File seçeneği seçilir (Şekil 2.24).



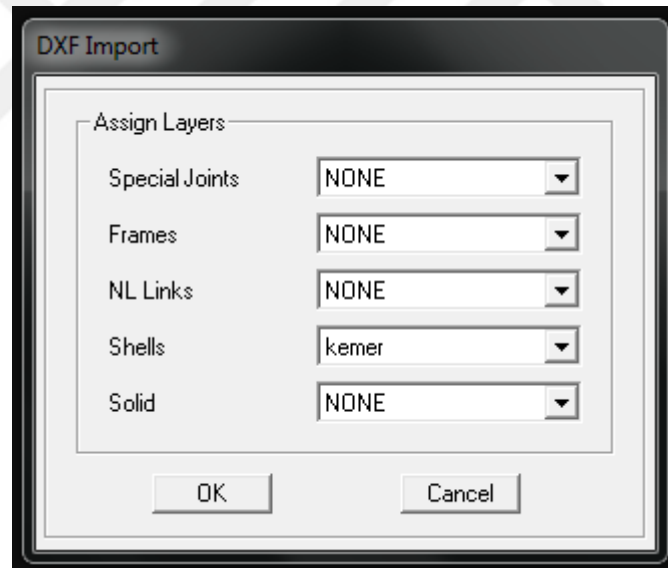
Şekil 2.24 AutoCAD tan SAP2000 e dxf dosyası aktarma

- Ekranı gelen Import Information tablosundan Global Up Direction sekmesinde Z eksenini işaretlenir. Units sekmesinde kN, m, C işaretlenir (Şekil 2.25).



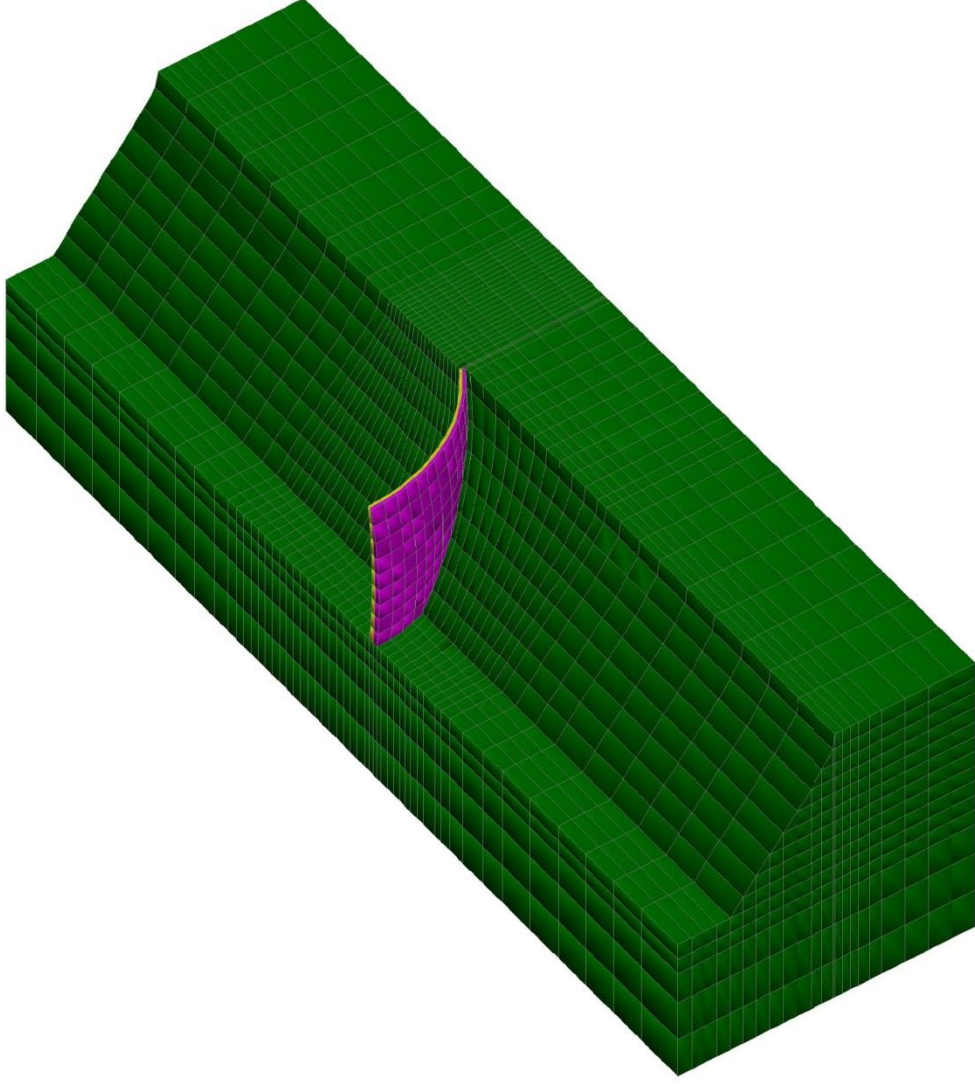
Şekil 2.25 SAP2000 Import Information menüsü

- Ekranı gelen DXF import tablosunda *Shells* 'den AutoCAD te kullanılan “kemer” layer’ı seçilir (Şekil 2.26).



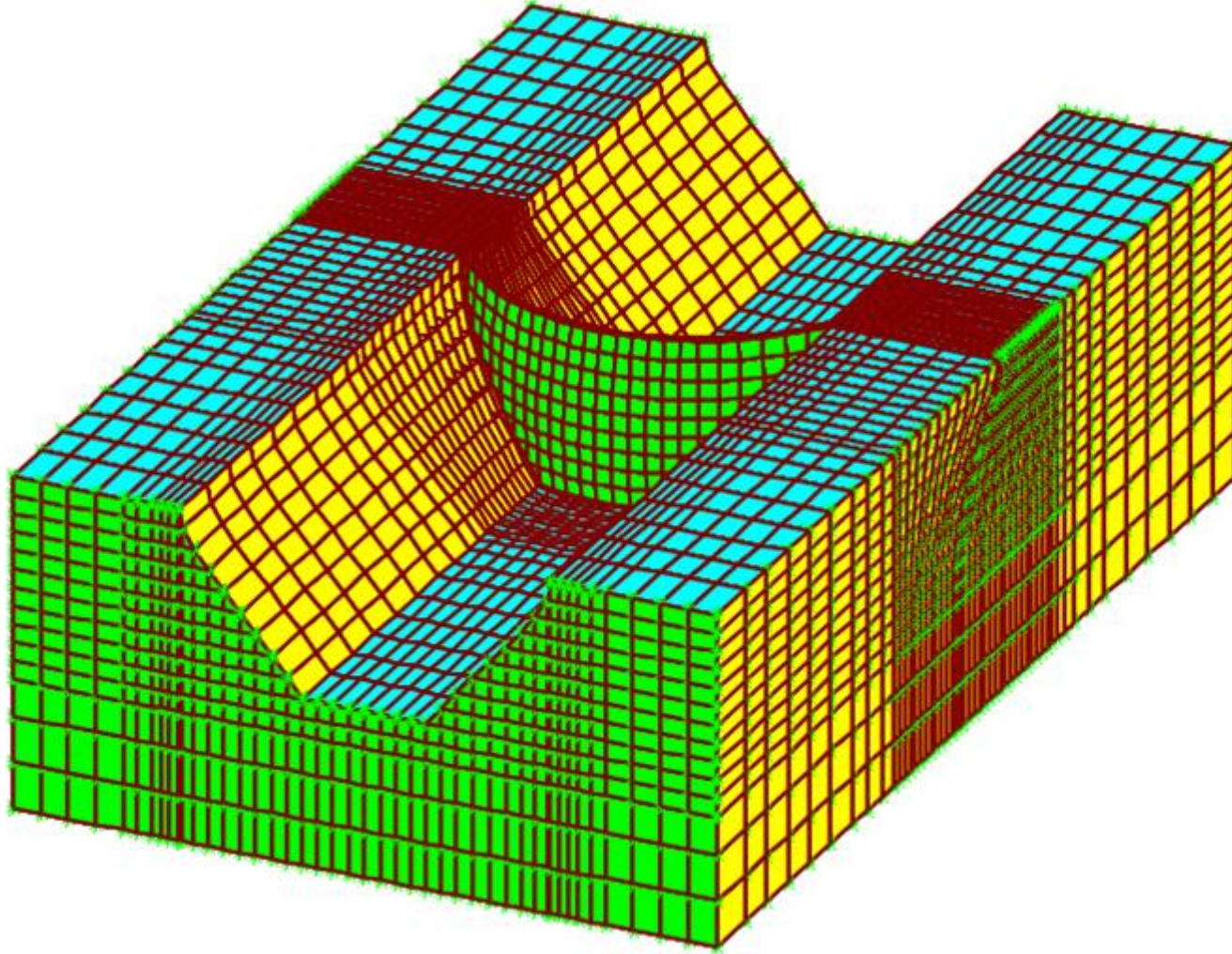
Şekil 2.26 SAP2000 DXF Import menüsü

Böylece Çağlayan Kemer Barajı AutoCAD programından katı cisim olarak SAP2000 programına aktarılır. SAP2000’e aktarıldıktan sonra bütün elemanların eksenlerinin aynı olmasına dikkat edilmelidir. Farklı olanlar varsa değiştirilir. AutoCAD’te yarısı oluşturulan model SAP2000’de eksen takımına dikkat edilerek “mirror” komutu ile baraj modeli tamamlanır (Şekil 2.27-2.28).



Şekil 2.27 Çağlayan Kemer Barajı AutoCAD’te yarısının membadan görünüşü





Şekil 2.28 Çağlayan Kemer Barajı SAP2000’de tamamının membadan görünüşü

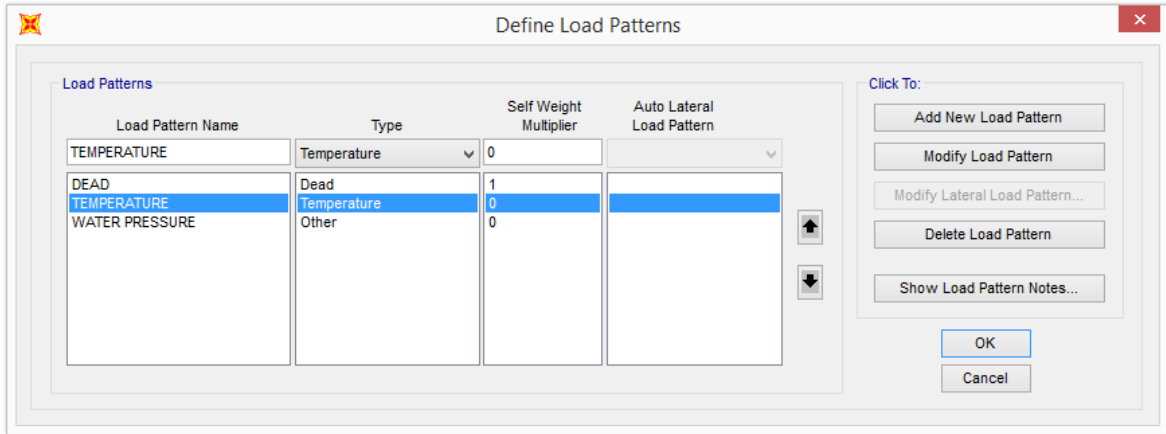
## 2.4. Çağlayan Kemer Barajı'nda Sıcaklık Çalışmaları

Bu çalışmada sıcaklık etkisi, su seviyesinin değişimine göre incelenmiştir. Su sıcaklığı belli bir derinlikten sonra değişmediği için kemer barajda uygun seviye belirlenip su seviyesi buna göre değiştirilmiştir (Dumanoglu ve Akköse, 2001). Böylece, kemer barajda su seviyesi 180 metreden 60 metreye kadar değiştirilerek toplam yedi duruma göre analizler yapılmıştır.

### 2.4.1. Sıcaklık Değerlerinin SAP2000 Programında Tanımlanması

Bu çalışmada kemer baraja üniform sıcaklık değişimi uygulanmıştır. Üniform sıcaklık değişimi SAP2000 programında aşağıdaki sıralama ile uygulanmıştır.

1. "Define" menüsünden "Load Patterns..." komutu seçilir. Ekranı gelen "Define Load Patterns" ileti kutusunun, "Load Pattern" Name bölümüne "TEMPERATURE" yazılır, "Type" bölümündeki açılır listeden "Temperature" seçeneği tıklanır, "Self Weight Multiplier" bölümüne "0" yazılır, "Add New Load Pattern" düğmesine basılır (Şekil 2.29).

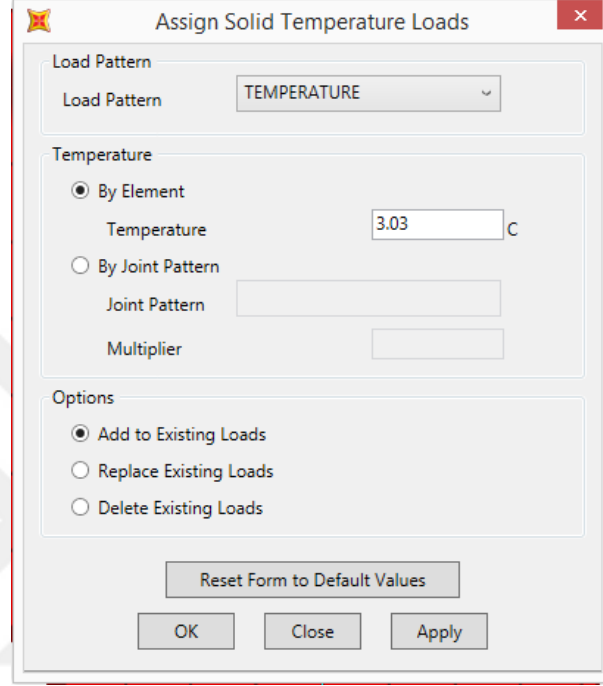


Şekil 2.29 Define Load Patterns penceresi

2. Sıcaklığın yükleneceği katı elemanlar seçilir.
3. "Assign" menüsünden "Solid Loads" seçeneğinden "Temperature..." komutu seçilir. Ekranı gelen "Assign Solid Temperature Loads" ileti kutusunda, "Load Pattern" bölümündeki açılır listeden "TEMPERATURE" seçeneği seçilir.



“Temperature” bölümünde “By Element Temperature” seçeneği tıklanıp yanındaki kutucuğa seçilen katı elemanlar için bulunan sıcaklık değeri girilir. “Options” bölümünde “Add to Existing Loads” seçeneği işaretlenip “OK” düğmesine basılır (Şekil 2.30).



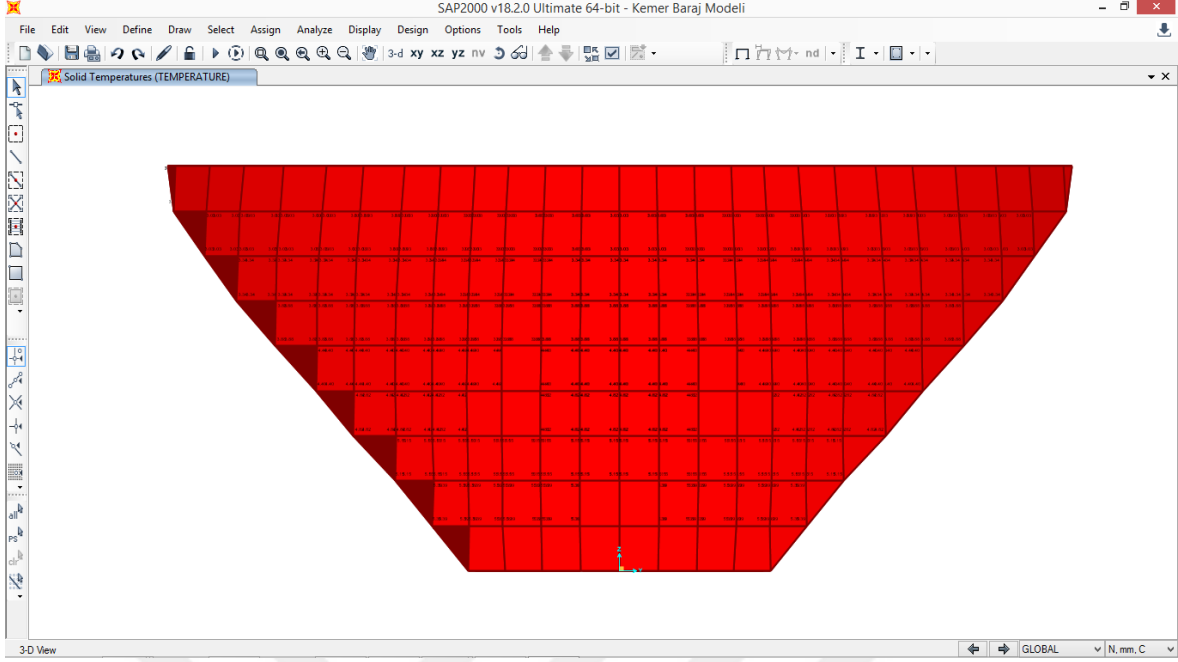
The image shows a software dialog box titled "Assign Solid Temperature Loads". It has a standard Windows-style title bar with a close button (X) in the top right corner. The dialog is divided into several sections:

- Load Pattern:** A dropdown menu showing "TEMPERATURE".
- Temperature:** A section with three radio buttons:
  - By Element: Below this, a text input field contains "3.03" followed by a "C" unit indicator.
  - By Joint Pattern: Below this, an empty text input field.
  - Multiplier: Below this, an empty text input field.
- Options:** A section with three radio buttons:
  - Add to Existing Loads
  - Replace Existing Loads
  - Delete Existing Loads

At the bottom of the dialog, there are four buttons: "Reset Form to Default Values", "OK", "Close", and "Apply".

Şekil 2.30 Assign Solid Temperature Loads penceresi

4. Formülden elde edilen sıcaklık değerleri her katmana aynı şekilde uygulanır. Girilen sıcaklık değerleri katı elemanların köşelerinde görülür (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 Sıcaklıklar yüklendikten sonra baraj üzerindeki görünümü

#### 2.4.2. Sıcaklık Analizlerinde Dikkate Alınan Sıcaklık Değerlerinin Hesabı

Kemer barajların sıcaklık analizlerinde dikkate alınan sıcaklık değerleri, 1.9.1.1. Rezervuar Sıcaklığı başlığı altında belirtilen, Bofang (Zhu, 1997) tarafından önerilen yöntem ile hesaplanmıştır (Santillán vd., 2015). Rezervuar seviyesi 180 m de iken ocak ayına ait işlem adımları aşağıda verilmiştir.

1. Adım: Başlangıç hesaplamalar,

$$a) \quad \overline{\theta}_{w,b} = \frac{\theta_{a,1} + \theta_{a,2} + \theta_{a,12}}{3} = \frac{277.55 + 279.8 + 280.06}{3} = 279.14K$$

$\overline{\theta}_{w,b}$  : Rezervuar tabanındaki ortalama yıllık su sıcaklığı (Kelvin),

$\theta_{a,1}$  : 1. aydaki ortalama aylık hava sıcaklığı (Kelvin), (Tablo 2.3),

$\theta_{a,2}$  : 2. aydaki ortalama aylık hava sıcaklığı (Kelvin), (Tablo 2.3),

$\theta_{a,12}$  : 12. aydaki ortalama aylık hava sıcaklığı (Kelvin), (Tablo 2.3)

$$b) \quad \overline{\theta_{w,s}} = \theta_{a,y} + \Delta\theta_r = 289.9K$$

$\overline{\theta_{w,s}}$  : Rezervuar yüzeyindeki ortalama yıllık su sıcaklığı (Kelvin),

$\theta_{a,y}$  : Ortalama yıllık hava sıcaklığı (Kelvin), (Tablo 2.3),

$\Delta\theta_r$  : Güneş ışınlarına bağlı sıcaklık artışı,

Burada, güneş ışınlarına bağlı sıcaklık artışı ihmal edilmiştir.

$$c) \quad A_{w,s} = \frac{\theta_{a,7} - \theta_{a,1}}{2} = \frac{295.71 - 277.55}{2} = 9.08K$$

$A_{w,s}$  : Yüzeydeki yıllık su sıcaklık genliği (Kelvin),

$\theta_{a,7}$  : 7. aydaki ortalama aylık hava sıcaklığı (Kelvin), (Tablo 2.3),

**2. Adım:** Ocak ayı yılın ilk ayı olduğu için gerekli hesaplar,

$$b) \quad \theta_w(10,15) = \left( \frac{279.14 - 289.9e^{-0.04*180}}{1 - e^{-0.04*180}} \right) + \left( 289.9 - \frac{279.14 - 289.9e^{-0.04*180}}{1 - e^{-0.04*180}} \right) e^{-0.04*10} \\ + 9.08 * e^{-0.018*10} \times \cos\left(2\pi / 365(15 - 193 - 2.15 + 1.30e^{-0.085*10})\right) = 276.76K$$

Burada, rezervuar derinliği, (z) kemer barajın mesh aralıklarının ortasına göre dikkate alınmıştır. Diğer sıcaklıklarda buna bağlı olarak bulunmuştur. Gün olarak her ayın 15 i gözönüne alınmıştır.

**3. Adım:** Diğer aylar için de 2. adımda yapılan hesaplamalar tekrar edilir.

Bu işlemler uzun süreceği için Microsoft Excel'de programı oluşturulup sıcaklıklar elde edilmiştir. Barajın su ile örtülü olmayan yüzeyleri için Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nden alınan günlük ortalama hava sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Tablo 2.4). Microsoft Excel'de oluşturulan su seviyelerine göre rezervuar sıcaklık değişimleri Tablo 2.5-2.11'de verilmiştir.

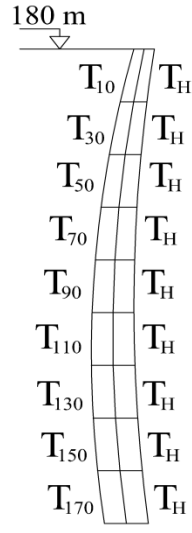
Tablo 2.3 Meteorolojiden alınan aylık ortalama hava sıcaklık değerleri

<b>Aylık Ortalama Sıcaklık</b>			
<b>Yıl</b>	<b>Ay</b>	<b>Ort.Sıc.(°C)</b>	<b>Kelvin</b>
2014	Ocak	4,40	277,55
2014	Şubat	6,64	279,79
2014	Mart	9,53	282,68
2014	Nisan	13,54	286,69
2014	Mayıs	17,04	290,19
2014	Haziran	19,58	292,73
2014	Temmuz	22,56	295,71
2014	Ağustos	23,48	296,63
2014	Eylül	18,88	292,03
2014	Ekim	14,39	287,54
2014	Kasım	8,07	281,22
2014	Aralık	6,91	280,06
<b>Ortalama</b>		13,75	286,90

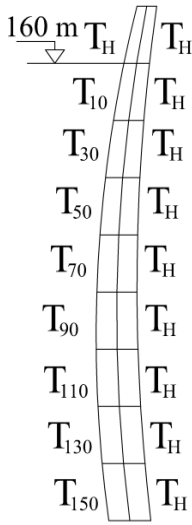
Tablo 2.4 Meteorolojiden alınan günlük ortalama hava sıcaklık değerleri

<b>Günlük Ortalama Sıcaklık</b>		
<b>Yıl</b>	<b>Ay</b>	<b>Ort.Sıc.(°C)</b>
2014	15.Oca	1,9
2014	15.Şub	12
2014	15.Mar	6
2014	15.Nis	13,5
2014	15.May	21,2
2014	15.Haz	22,1
2014	15.Tem	21,6
2014	15.Ağu	28
2014	15.Eyl	19,9
2014	15.Eki	17,6
2014	15.Kas	12,7
2014	15.Ara	7,4

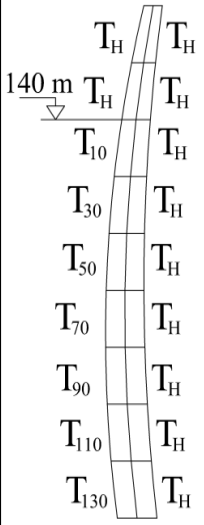
Tablo 2.5 Su seviyesi 180 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri

		Aylara Göre Rezervuar Sıcaklıkları (°C)											
		Yükseklik z (m)	15.Oca	15.Şub	15.Mar	15.Nis	15.May	15.Haz	15.Tem	15.Ağu	15.Eyl	15.Eki	15.Kas
10	3,61	4,86	7,52	11,40	15,12	17,87	18,77	17,62	14,69	10,91	7,09	4,47	
30	3,03	3,88	5,72	8,43	11,03	12,96	13,61	12,83	10,80	8,17	5,50	3,66	
50	3,34	3,93	5,22	7,10	8,92	10,27	10,72	10,18	8,77	6,93	5,07	3,78	
70	3,88	4,29	5,19	6,50	7,77	8,71	9,03	8,65	7,66	6,38	5,08	4,18	
90	4,40	4,68	5,31	6,23	7,11	7,77	7,99	7,73	7,04	6,14	5,24	4,61	
110	4,82	5,02	5,46	6,10	6,72	7,18	7,33	7,15	6,67	6,04	5,41	4,97	
130	5,15	5,29	5,59	6,04	6,47	6,79	6,90	6,77	6,43	6,00	5,56	5,25	
150	5,39	5,49	5,70	6,01	6,31	6,54	6,61	6,52	6,29	5,98	5,68	5,46	
170	5,56	5,63	5,78	6,00	6,21	6,36	6,42	6,35	6,19	5,98	5,76	5,61	

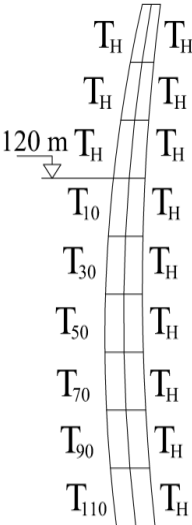
Tablo 2.6 Su seviyesi 160 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri

		Aylara Göre Rezervuar Sıcaklıkları (°C)											
		Yükseklik z (m)	15.Oca	15.Şub	15.Mar	15.Nis	15.May	15.Haz	15.Tem	15.Ağu	15.Eyl	15.Eki	15.Kas
10	3,61	4,86	7,52	11,40	15,12	17,87	18,77	17,62	14,68	10,90	7,09	4,47	
30	3,03	3,88	5,72	8,43	11,02	12,96	13,61	12,83	10,79	8,16	5,49	3,65	
50	3,34	3,93	5,21	7,10	8,91	10,26	10,72	10,18	8,76	6,92	5,06	3,77	
70	3,87	4,28	5,18	6,50	7,76	8,70	9,02	8,64	7,66	6,38	5,08	4,18	
90	4,39	4,68	5,30	6,22	7,10	7,76	7,98	7,72	7,03	6,14	5,23	4,60	
110	4,82	5,02	5,45	6,09	6,71	7,17	7,32	7,14	6,66	6,03	5,40	4,96	
130	5,14	5,28	5,59	6,03	6,46	6,78	6,89	6,76	6,43	5,99	5,55	5,25	
150	5,38	5,48	5,69	6,00	6,30	6,53	6,60	6,51	6,28	5,98	5,67	5,46	

Tablo 2.7 Su seviyesi 140 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri

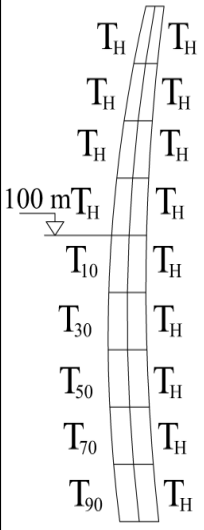
		Aylara Göre Rezervuar Sıcaklıkları (°C)											
		Yükseklik z (m)	15.Oca	15.Şub	15.Mar	15.Nis	15.May	15.Haz	15.Tem	15.Ağu	15.Eyl	15.Eki	15.Kas
10	3,61	4,85	7,51	11,40	15,11	17,86	18,76	17,62	14,68	10,90	7,08	4,47	
30	3,02	3,87	5,71	8,41	11,01	12,95	13,60	12,82	10,78	8,15	5,48	3,64	
50	3,32	3,91	5,20	7,08	8,90	10,25	10,70	10,16	8,75	6,91	5,05	3,76	
70	3,86	4,27	5,16	6,48	7,75	8,69	9,01	8,63	7,64	6,36	5,06	4,16	
90	4,38	4,66	5,29	6,20	7,09	7,75	7,97	7,70	7,01	6,12	5,21	4,59	
110	4,80	5,00	5,44	6,08	6,69	7,15	7,31	7,12	6,64	6,02	5,39	4,95	
130	5,13	5,27	5,57	6,02	6,45	6,77	6,88	6,75	6,41	5,98	5,54	5,23	

Tablo 2.8 Su seviyesi 120 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri

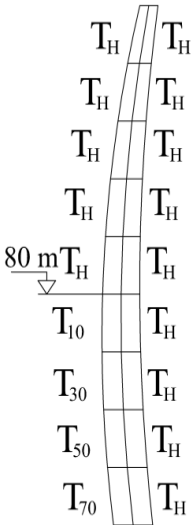
		Aylara Göre Rezervuar Sıcaklıkları (°C)											
		Yükseklik z (m)	15.Oca	15.Şub	15.Mar	15.Nis	15.May	15.Haz	15.Tem	15.Ağu	15.Eyl	15.Eki	15.Kas
10	3,59	4,84	7,50	11,39	15,10	17,85	18,75	17,60	14,67	10,89	7,07	4,45	
30	2,99	3,84	5,68	8,39	10,99	12,92	13,57	12,79	10,76	8,12	5,46	3,61	
50	3,29	3,88	5,17	7,05	8,87	10,22	10,67	10,13	8,71	6,88	5,02	3,73	
70	3,82	4,24	5,13	6,45	7,71	8,66	8,97	8,60	7,61	6,33	5,03	4,13	
90	4,34	4,63	5,25	6,17	7,05	7,71	7,93	7,67	6,98	6,09	5,18	4,55	
110	4,77	4,97	5,40	6,04	6,66	7,12	7,27	7,09	6,61	5,98	5,35	4,91	



Tablo 2.9 Su seviyesi 100 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri

		Aylara Göre Rezervuar Sıcaklıkları (°C)											
		Yükseklik z (m)	15.Oca	15.Şub	15.Mar	15.Nis	15.May	15.Haz	15.Tem	15.Ağu	15.Eyl	15.Eki	15.Kas
10	3,57	4,81	7,47	11,36	15,07	17,83	18,72	17,58	14,64	10,86	7,05	4,43	
30	2,94	3,79	5,63	8,33	10,93	12,87	13,51	12,73	10,70	8,07	5,40	3,56	
50	3,22	3,81	5,10	6,98	8,80	10,15	10,60	10,06	8,64	6,81	4,95	3,66	
70	3,75	4,16	5,05	6,37	7,64	8,58	8,90	8,52	7,53	6,25	4,95	4,05	
90	4,26	4,55	5,17	6,09	6,97	7,63	7,85	7,59	6,90	6,01	5,10	4,48	

Tablo 2.10 Su seviyesi 80 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri

		Aylara Göre Rezervuar Sıcaklıkları (°C)											
		Yükseklik z (m)	15.Oca	15.Şub	15.Mar	15.Nis	15.May	15.Haz	15.Tem	15.Ağu	15.Eyl	15.Eki	15.Kas
80 m	10	3,51	4,75	7,41	11,30	15,01	17,77	18,66	17,52	14,58	10,80	6,98	4,37
	30	2,81	3,66	5,50	8,20	10,80	12,74	13,39	12,61	10,57	7,94	5,27	3,43
	50	3,06	3,65	4,94	6,82	8,64	9,99	10,44	9,90	8,48	6,65	4,79	3,50
	70	3,58	3,99	4,88	6,20	7,46	8,41	8,72	8,35	7,36	6,08	4,78	3,88

Tablo 2.11 Su seviyesi 60 m de iken aylara göre rezervuar sıcaklık değişimleri

		Aylara Göre Rezervuar Sıcaklıkları (°C)											
		Yükseklik z (m)	15.Oca	15.Şub	15.Mar	15.Nis	15.May	15.Haz	15.Tem	15.Ağu	15.Eyl	15.Eki	15.Kas
10	3,36	4,61	7,26	11,15	14,87	17,62	18,52	17,37	14,43	10,65	6,84	4,22	
30	2,50	3,35	5,19	7,89	10,49	12,43	13,07	12,29	10,26	7,63	4,96	3,12	
50	2,68	3,27	4,55	6,44	8,25	9,60	10,06	9,52	8,10	6,26	4,40	3,12	

### **3. BULGULAR VE İRDELEMELER**

#### **3.1. Giriş**

Tezin bu bölümünde, Çağlayan Kemer Barajın'ın lineer-elastik statik analizinden elde edilen bulgular verilmiştir. Analizlerde statik etki olarak, sıcaklık yüklemesi barajın yedi farklı su seviyesi için kullanılmıştır.

Baraj davranışının değerlendirilmesinde kret yer değiştirmeleri çok önemlidir. Kret yer değiştirmeleri performans kriterinde direkt olarak kullanılmamasına rağmen, bunların değişimi sonuçların geçerliliğini denetlemekte önemli bir araç olabileceği gibi büyüklüklüğü de barajın genel stabilitesini değerlendirmede kullanılabilir. Bu sebeple, kret yer değiştirmelerinin sıcaklık çalışmalarında değişimi incelenmiştir.

Bir barajın sıcaklığı, tuttuğu suyun sıcaklığından büyük ölçüde etkilenmektedir. Bütün rezervuarlarda su sıcaklığı, derinlik ve mevsimlere göre değişir. Su sıcaklığının belirlenmesinde sadece bir yıllık sıcaklık değişiminin dikkate alınması yeterlidir (Dumanoğlu ve Akköse, 2001). Bu sebeple, Çağlayan Kemer Barajı'nda su sıcaklığının bir yıllık değişimi dikkate alınarak ve su seviyesi değiştirilerek elde edilen rezervuar sıcaklıklarından meydana gelen gerilmeler elde edilmiştir.

#### **3.2. Sıcaklık Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Çağlayan Kemer Barajının üç boyutlu statik analizi, malzeme davranışının lineer elastik olmasına göre yapılmıştır. Bütün analizlerde su sıcaklığının bir yıllık değişimi barajın su seviyesi ve rezervuarın tam dolu halinden sıcaklığının sabitlendiği derinliğe kadar olan durumları dikkate alınarak yer değiştirme ve gerilmeler elde edilmiştir.

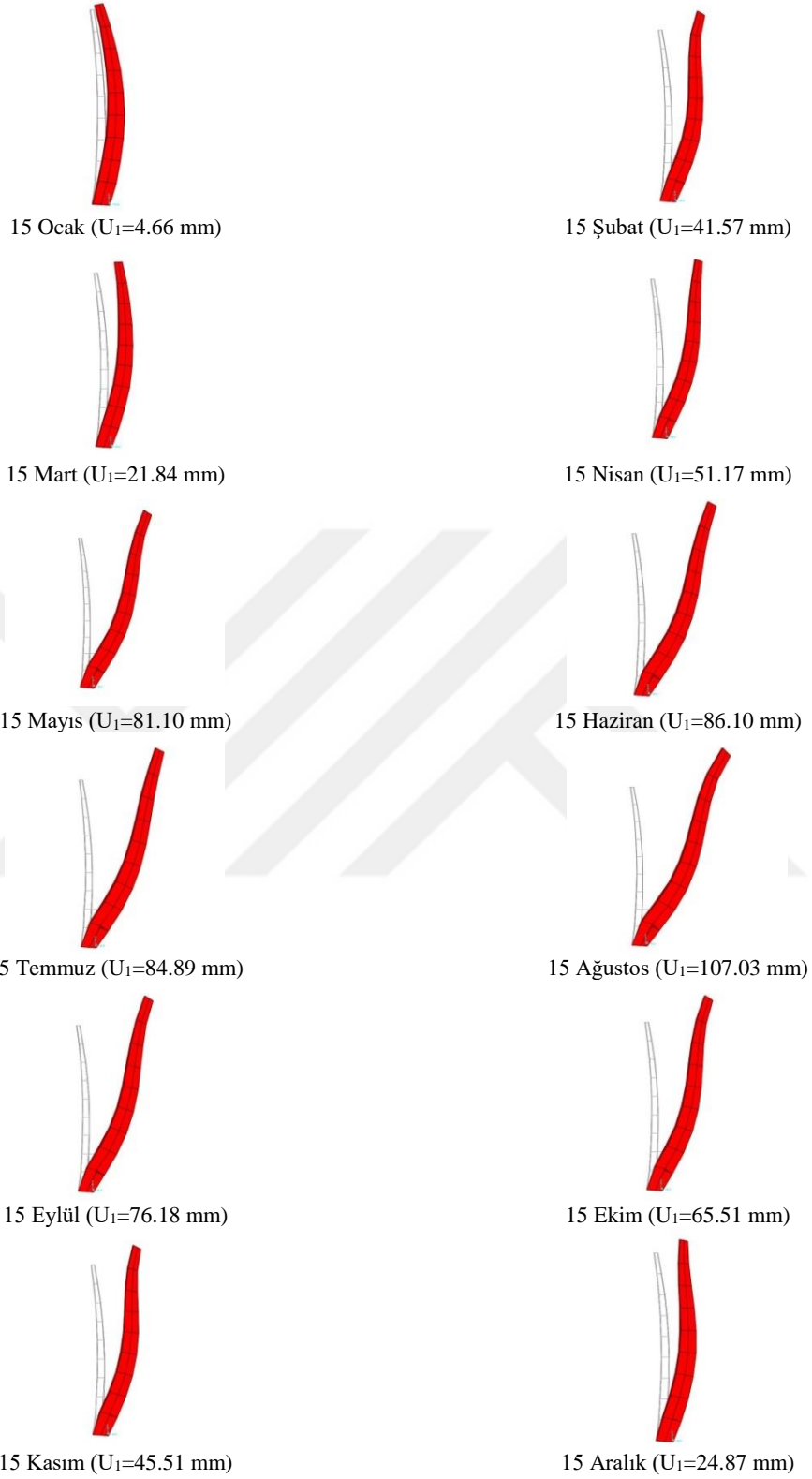
##### **3.2.1. Yer Değiştirmeler**

Her bir düğüm noktasında elde edilen X, Y ve Z doğrultularındaki yer değiştirmelerden, maksimum değerlerinin memba-mansap (X) doğrultusundakiler olduğu ortaya çıkmaktadır. En elverişsiz durumun yaz aylarında meydana geldiği belirlenmiştir. Lineer analizlerde barajın memba-mansap doğrultusunda kret noktasının maksimum yer değiştirmeleri Şekil 3.1-3.7'de verilmiştir. Her bir duruma ait barajın kret noktasında

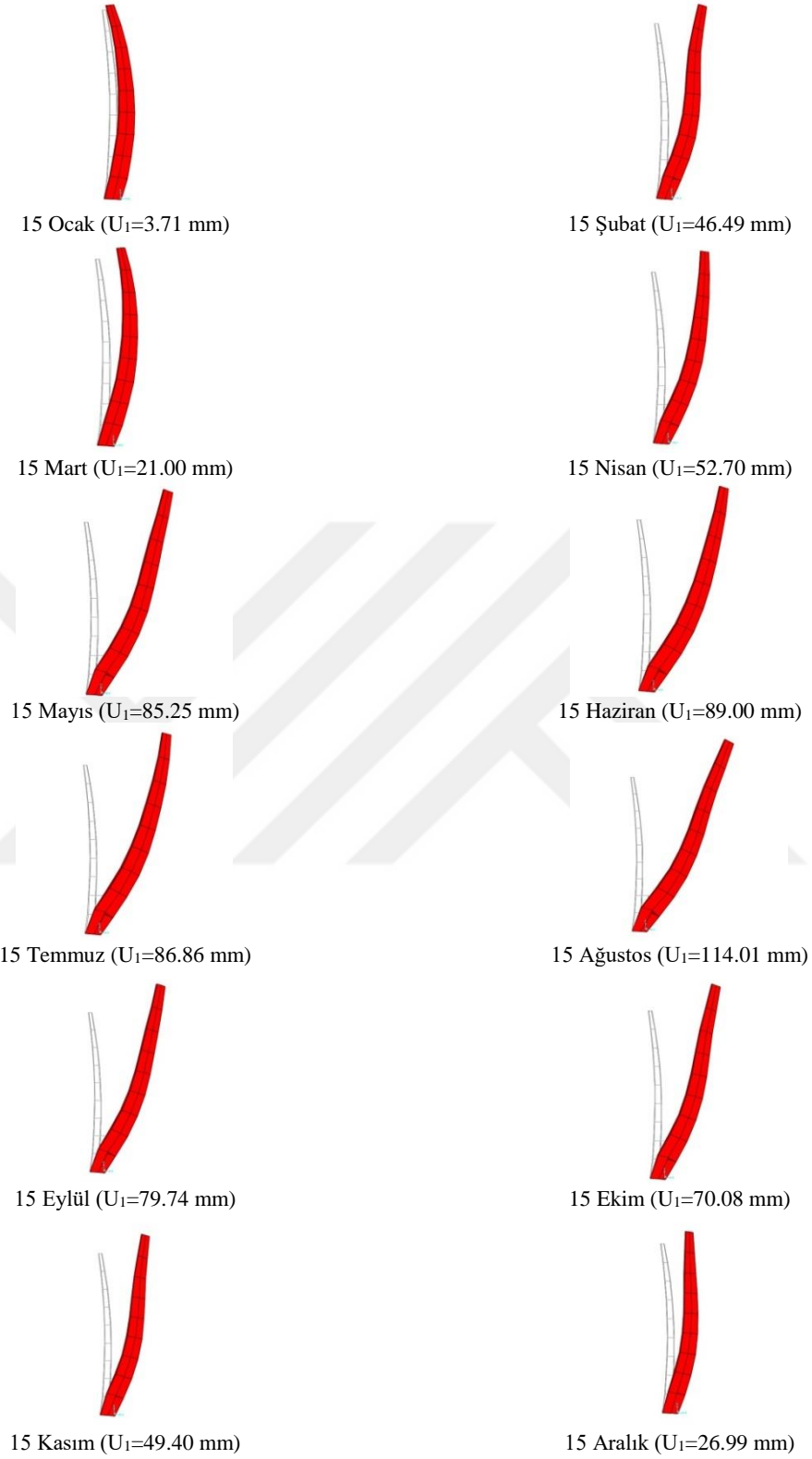
memba-mansap doğrultusunda meydana gelen yer değiştirmeler Tablo 3.1’de verilmektedir. Tablo 3.1’den de görüldüğü üzere, baraj için en elverişsiz durum yaz aylarında özellikle Ağustos ayındadır. En büyük yer değiştirme ise su seviyesi 100 m de iken meydana gelmektedir.

Tablo 3.1 Aylara göre sıcaklık analizinde, çeşitli su seviyeleri için kret noktasında meydana gelen yatay yer değiştirmeler

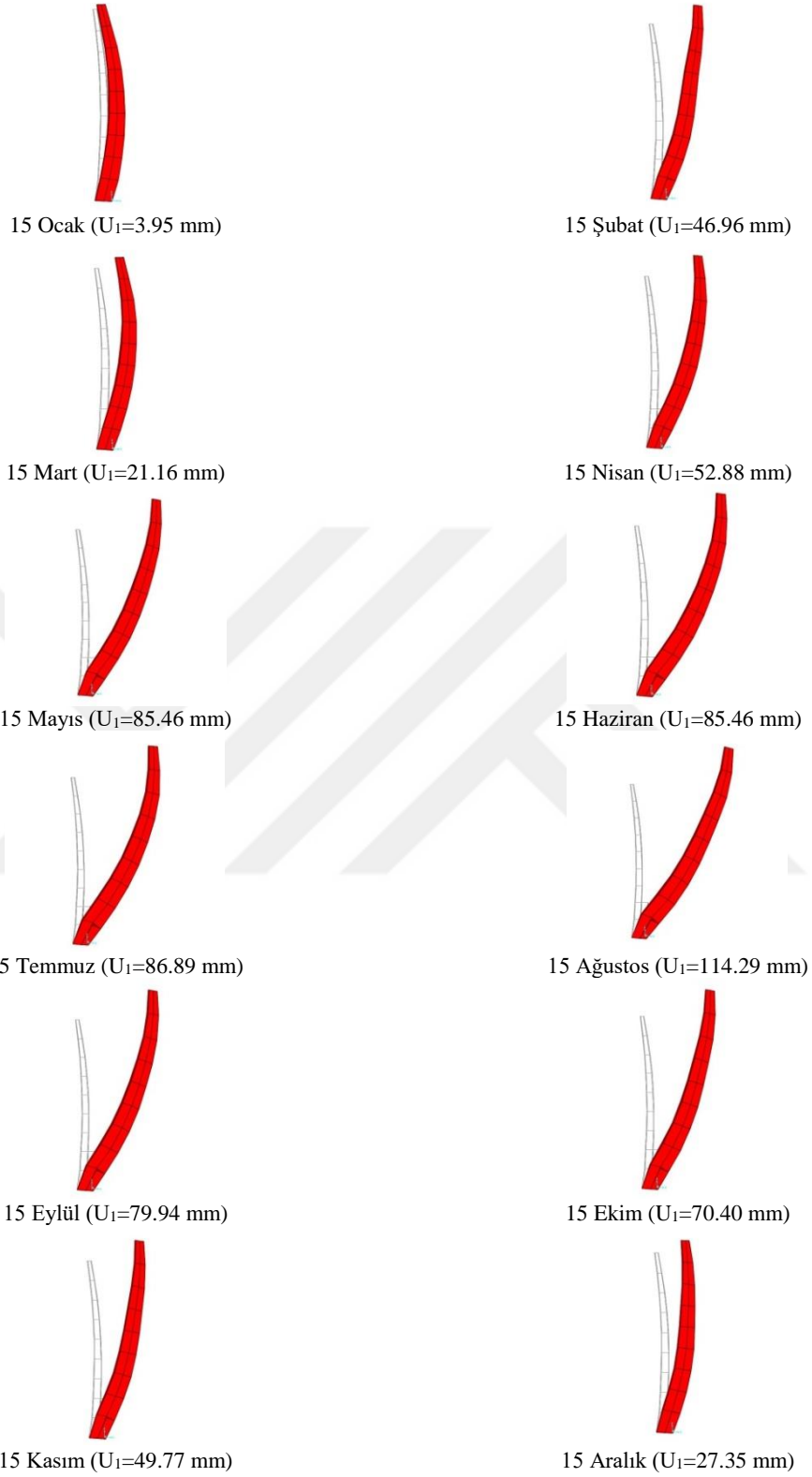
<b>Kret Noktası Yatay Yer Değiştirmesi (mm)</b>							
<b>Su Seviyesi</b>	<b>180 m</b>	<b>160 m</b>	<b>140 m</b>	<b>120 m</b>	<b>100 m</b>	<b>80 m</b>	<b>60 m</b>
<b>15.Oca</b>	4,66	3,71	3,95	4,37	4,8	5,22	5,76
<b>15.şub</b>	41,57	46,49	46,96	47,51	48,44	49,14	48,77
<b>15.Mar</b>	21,84	21	21,16	21,43	21,54	21,4	21,22
<b>15.Nis</b>	51,17	52,7	52,88	53,07	53,08	52,55	51,39
<b>15.May</b>	81,1	85,25	85,46	85,58	85,54	84,66	82,53
<b>15.Haz</b>	86,1	89	89,1	89,06	88,65	87,26	84,78
<b>15.Tem</b>	84,89	86,86	86,89	86,79	86,2	84,61	82,07
<b>15.Ağu</b>	107,03	114,01	114,29	114,37	114,39	113,36	110,46
<b>15.Eyl</b>	76,18	79,74	79,94	80,04	79,96	79,1	77,11
<b>15.Eki</b>	65,51	70,08	70,4	70,68	71,06	70,81	69,4
<b>15.Kas</b>	45,51	49,4	49,77	50,19	50,7	51,09	50,45
<b>15.Ara</b>	24,87	26,99	27,35	27,83	28,49	29,03	29,06



Şekil 3.1 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi

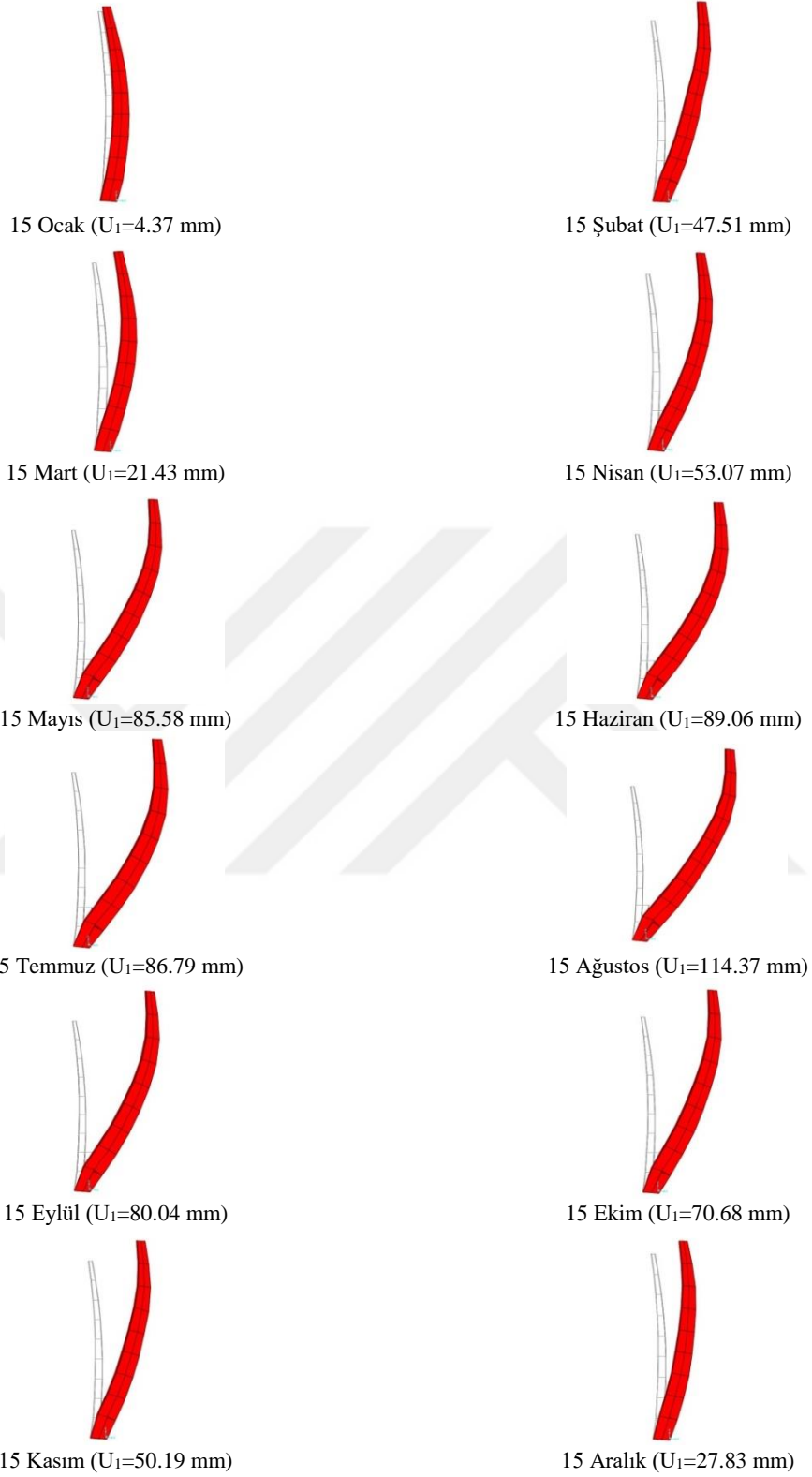


Şekil 3.2 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi

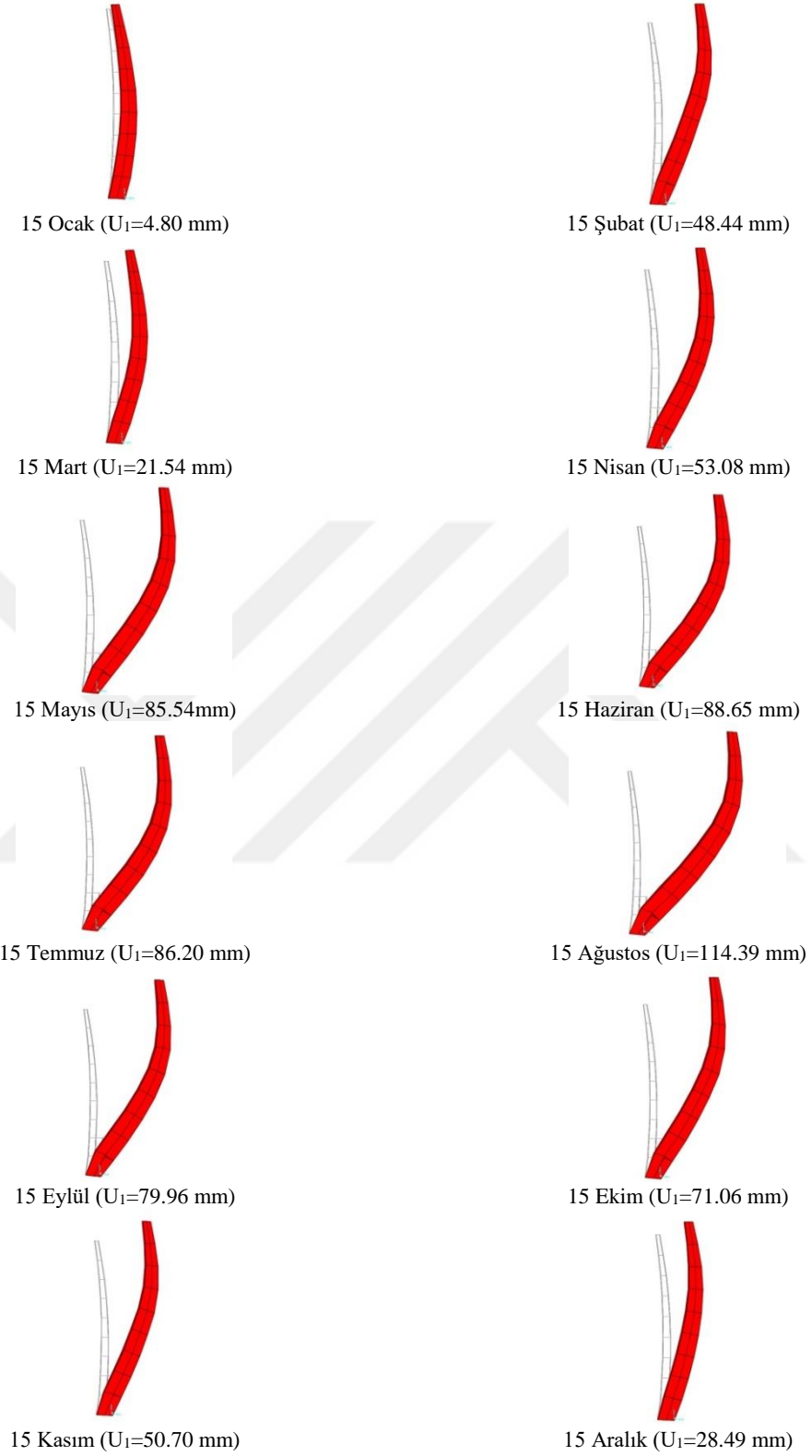


Şekil 3.3 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi

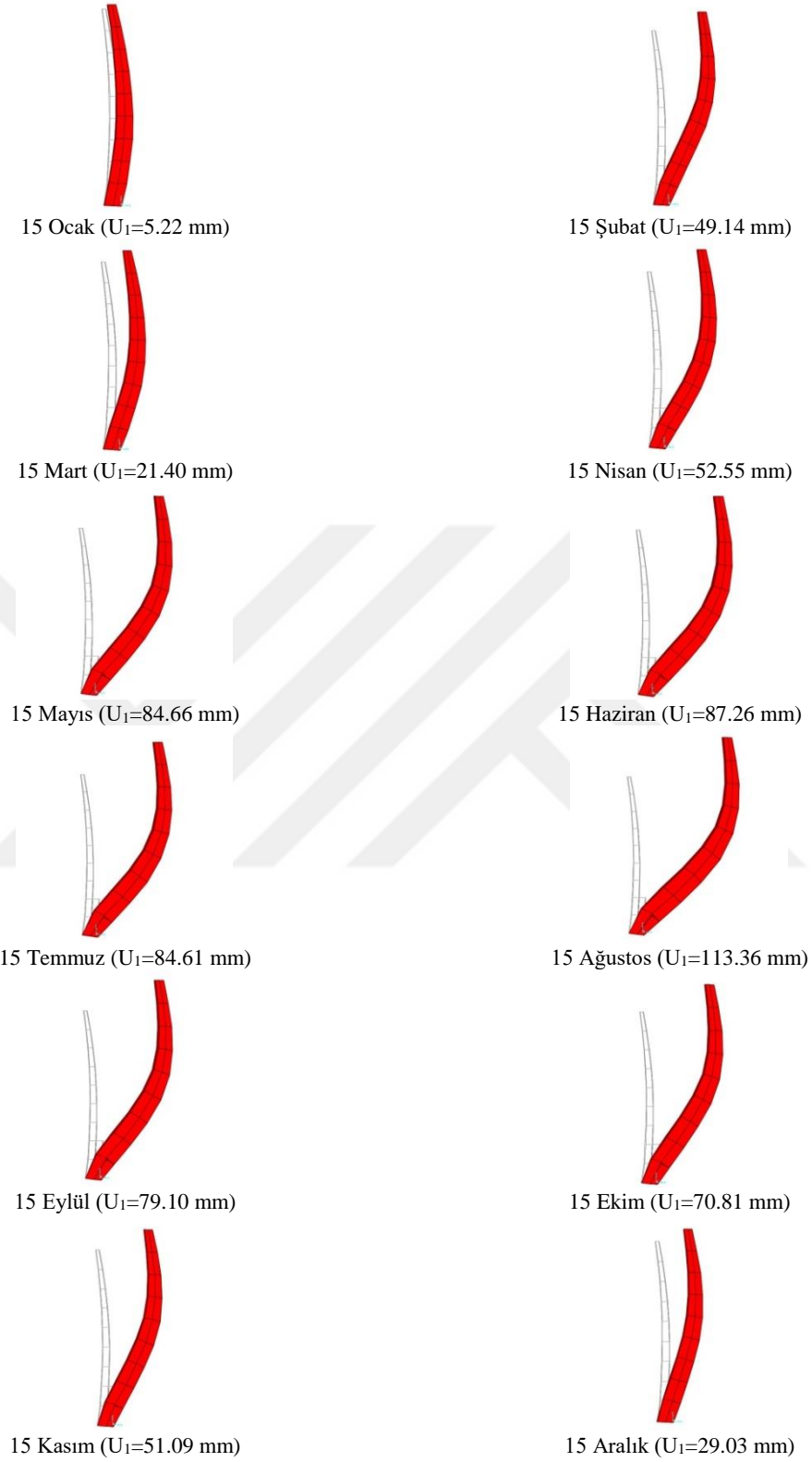




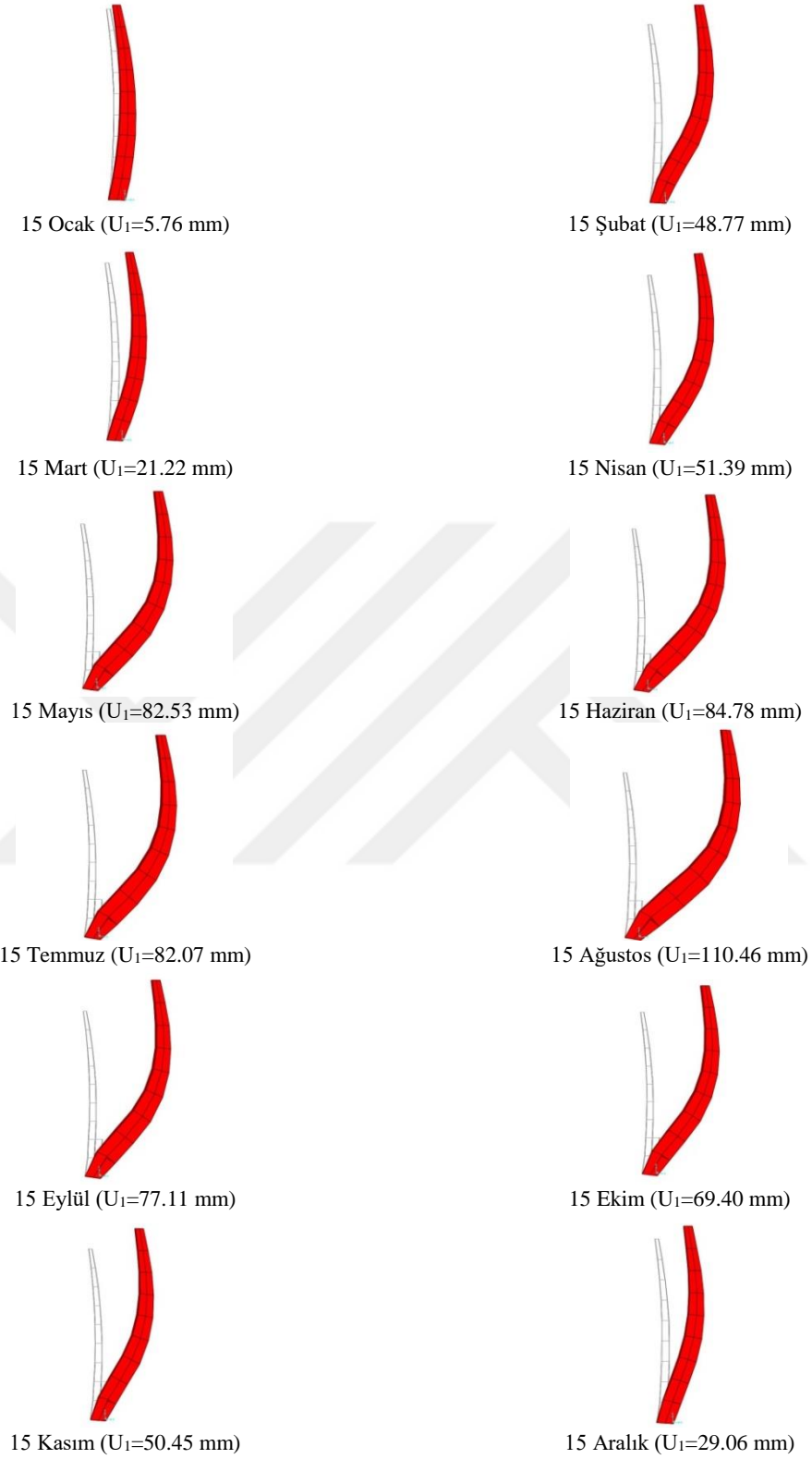
Şekil 3.4 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi



Şekil 3.5 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi



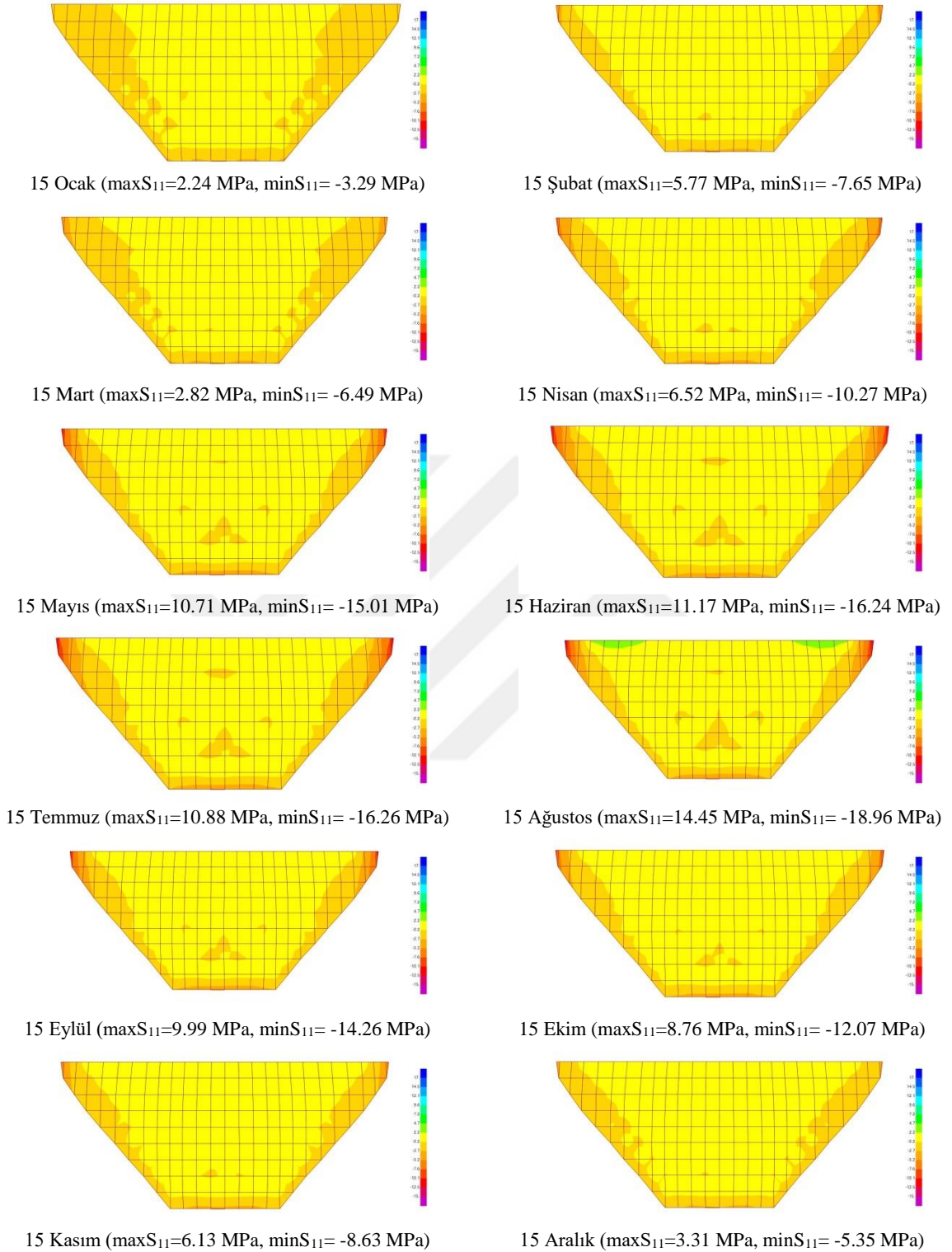
Şekil 3.6 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi



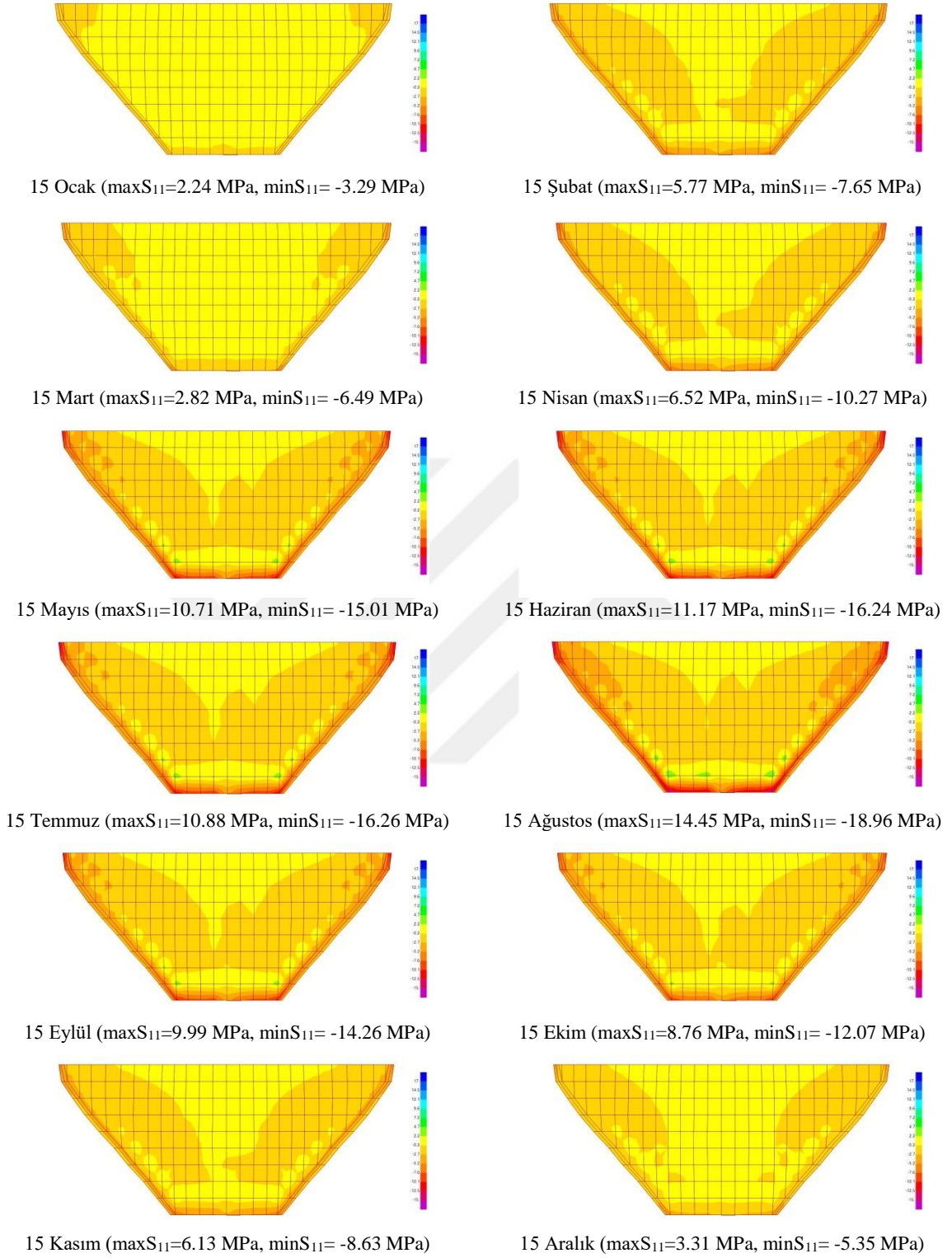
Şekil 3.7 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de kret noktasının X doğrultusunda yer değiştirmesi

### 3.2.2. Gerilmeler

Sıcaklık analizinde aylara göre ve su seviyesindeki değişime göre barajın memba ve mansap yüzeyinde oluşan  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{13}$  ve  $S_{23}$  gerilmelerinin en büyük çekme ve basınç gerilme değerleri ile birlikte Şekil 3.8-3.91’de verilmektedir. Sıcaklık analizlerinde, barajda oluşan gerilmeler kış aylarında çok fazla değişiklik göstermemektedir. Bu durum bize hava sıcaklığının az olduğu durumlarda baraj gövdesinin etkilenmediğini göstermektedir. Bütün gerilmeler için en olumsuz durumun yaz aylarında olduğu görülmektedir. Şekillerde de görüldüğü üzere en olumsuz durum yaz aylarında özellikle hava sıcaklığının en yüksek olduğu Ağustos ayında görülmektedir.  $S_{11}$ , basınç gerilmesinin su seviyesi azaldıkça arttığı, çekme gerilmesinin ise su seviyesi azaldıkça azaldığı görülmektedir.  $S_{22}$  gerilmesinde, basınç gerilmesinin su seviyesi azaldıkça arttığı görülmektedir. Çekme gerilmesinin ise su seviyesi 140 m de iken en büyük değeri aldığı görülmektedir.  $S_{33}$  gerilmesinde, su seviyelerine göre çok fazla değişiklik olmadığı görülmektedir. Çekme gerilmesinde ise, su seviyesi 140 m de iken en büyük değeri aldığı görülmektedir.  $S_{12}$  gerilmesinde, çekme ve basınç gerilmelerinde en olumsuz durumun su seviyesi 60 m de iken oluştuğu görülmektedir.  $S_{13}$  gerilmesi için, basınç gerilmesi su seviyesi 160 m de iken en büyük değeri aldığı görülmektedir. Çekme gerilmesinin de su seviyesi azaldıkça arttığı görülmektedir.  $S_{23}$  gerilmesinde, çekme ve basınç gerilmelerinde en olumsuz durumun su seviyesi 60 m de iken oluştuğu görülmektedir.

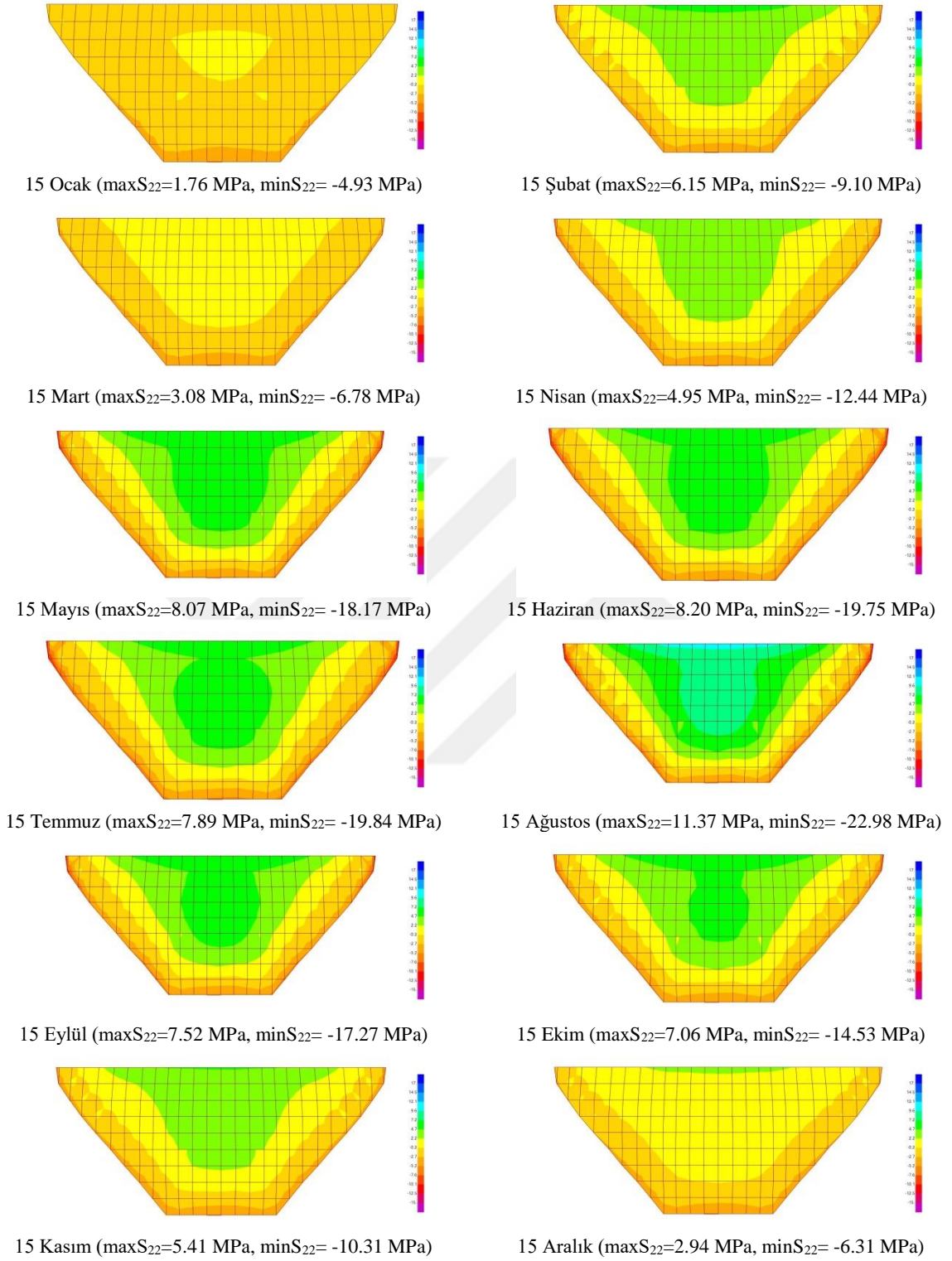


Şekil 3.8 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri



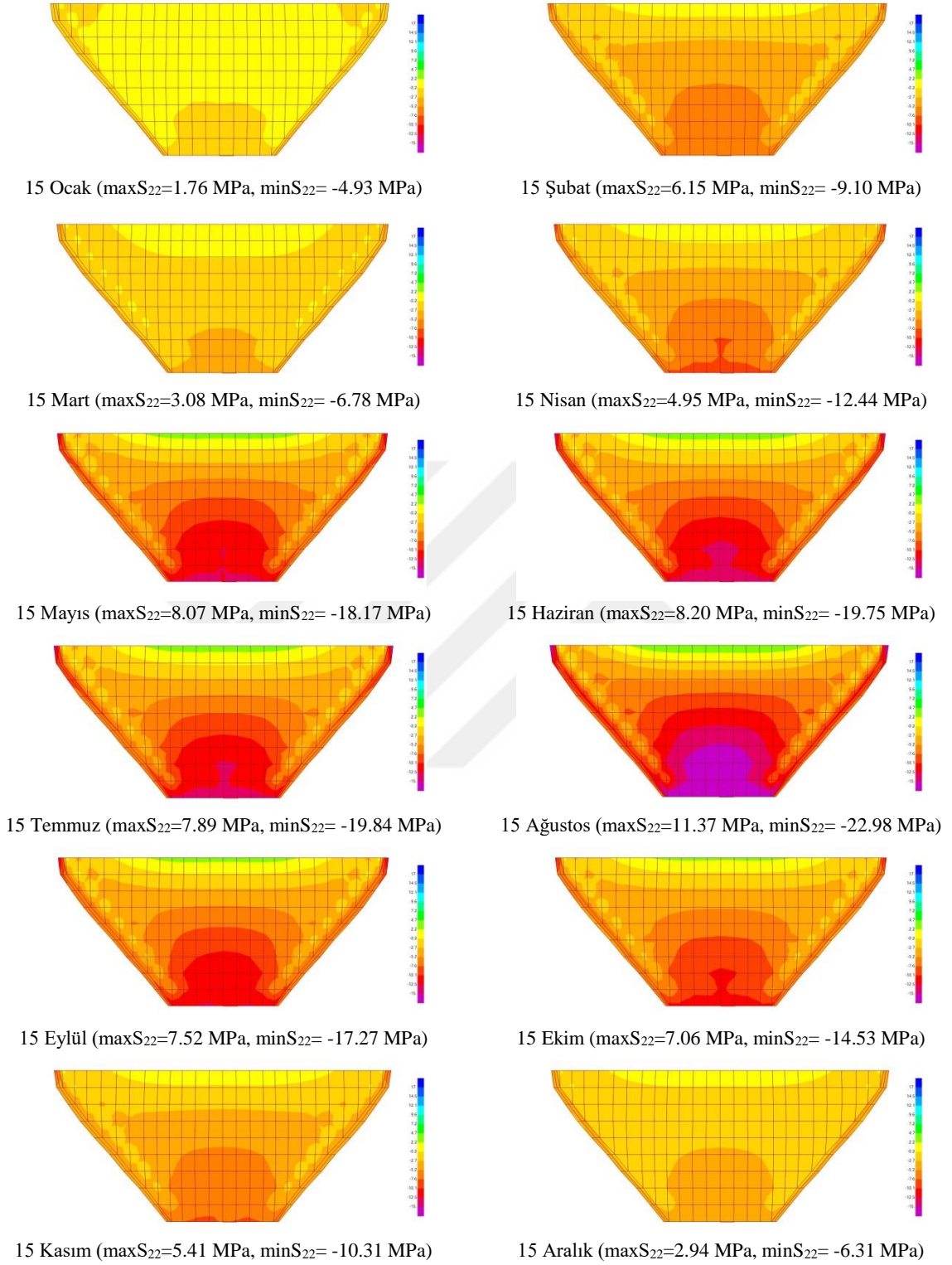
Şekil 3.9 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri



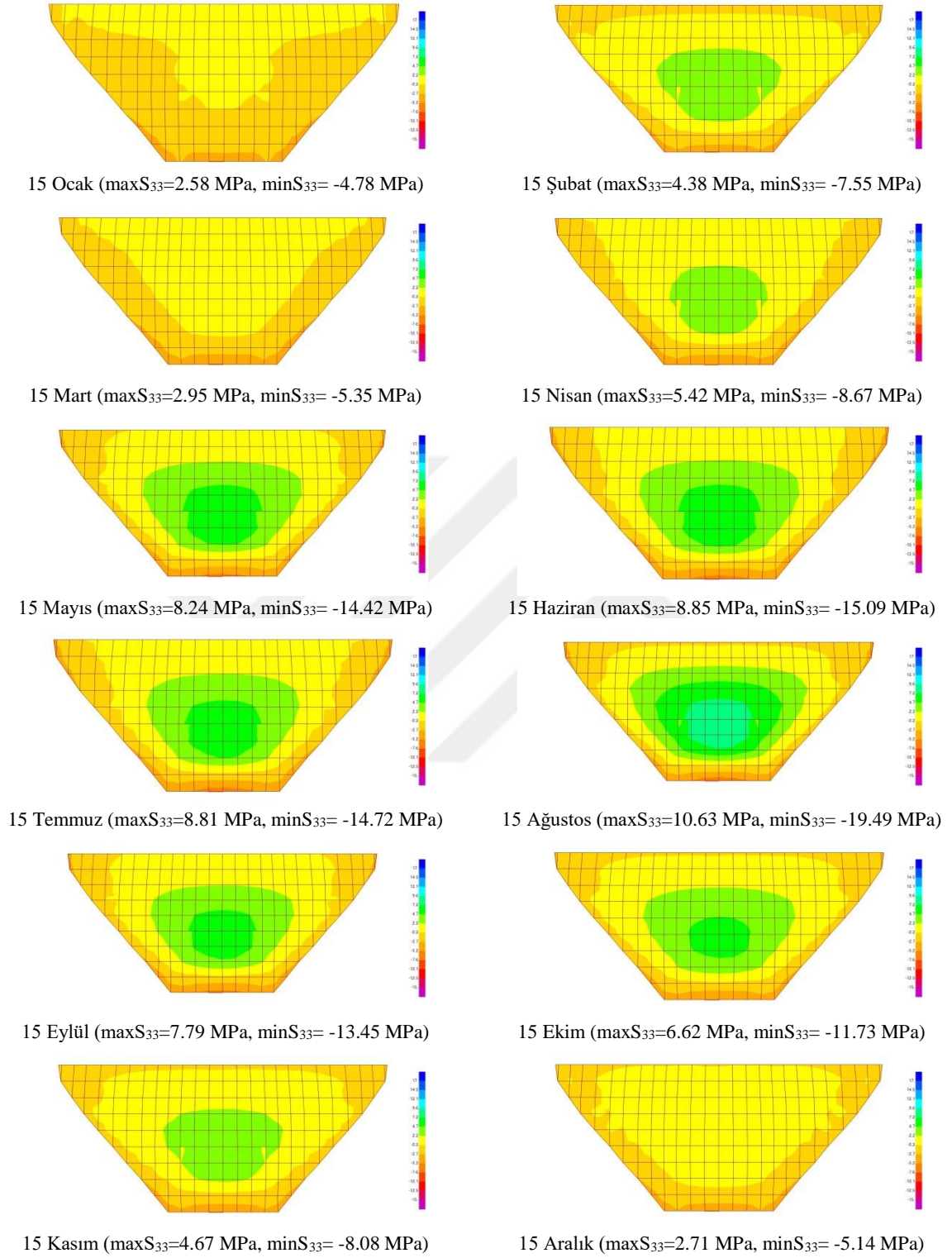


Şekil 3.10 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mamba yüzeyi  $S_{22}$  gerilmeleri

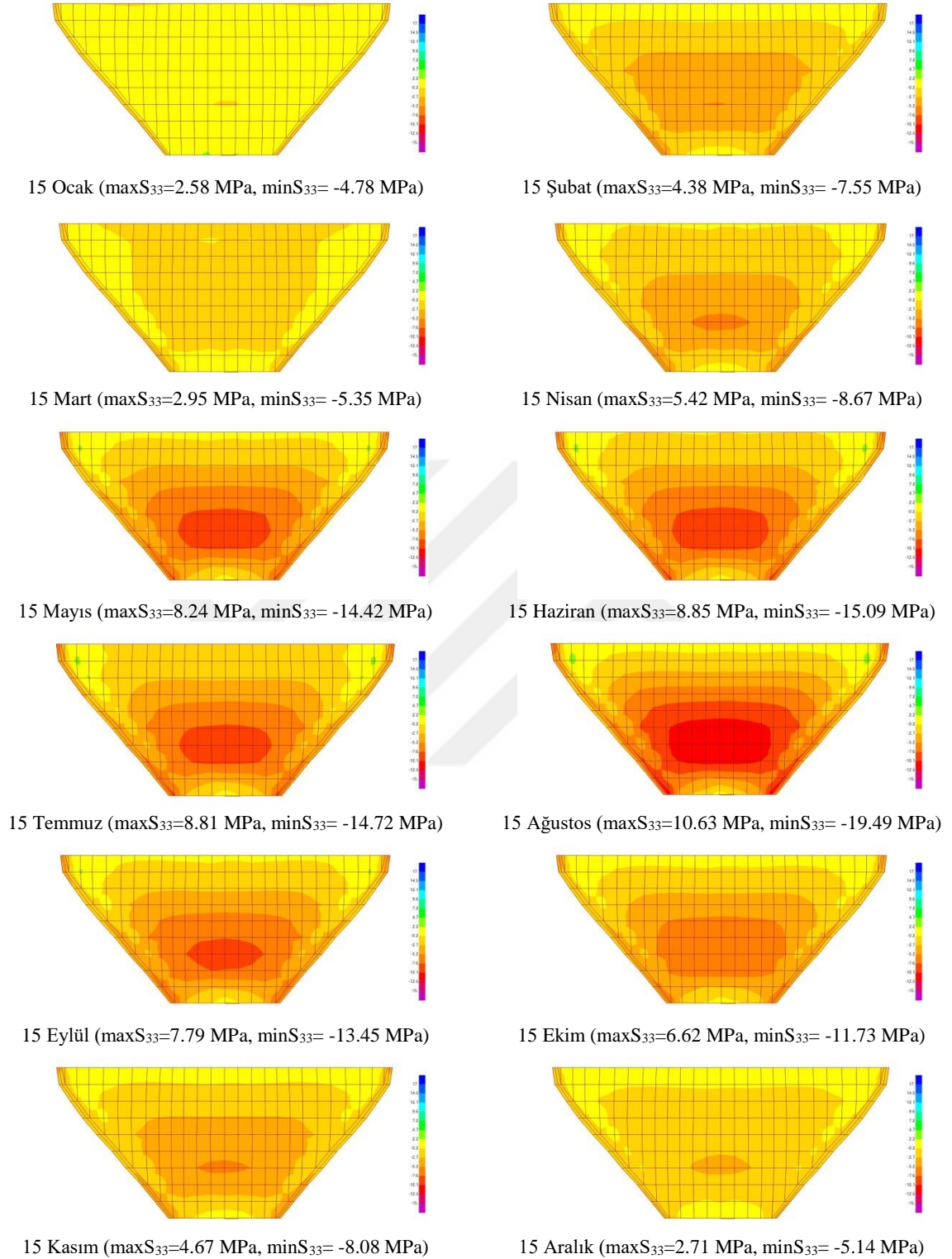




Şekil 3.11 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

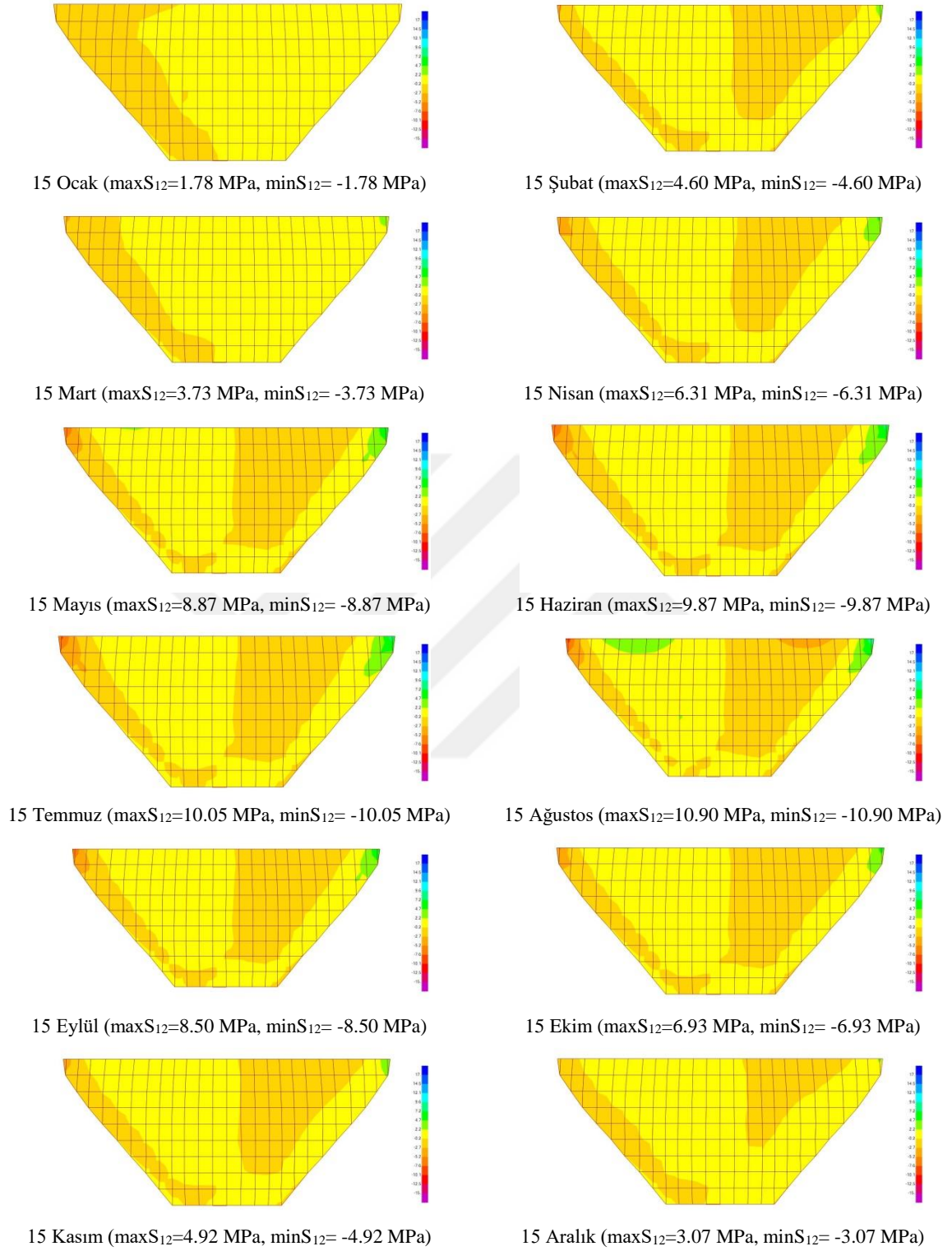


Şekil 3.12 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri

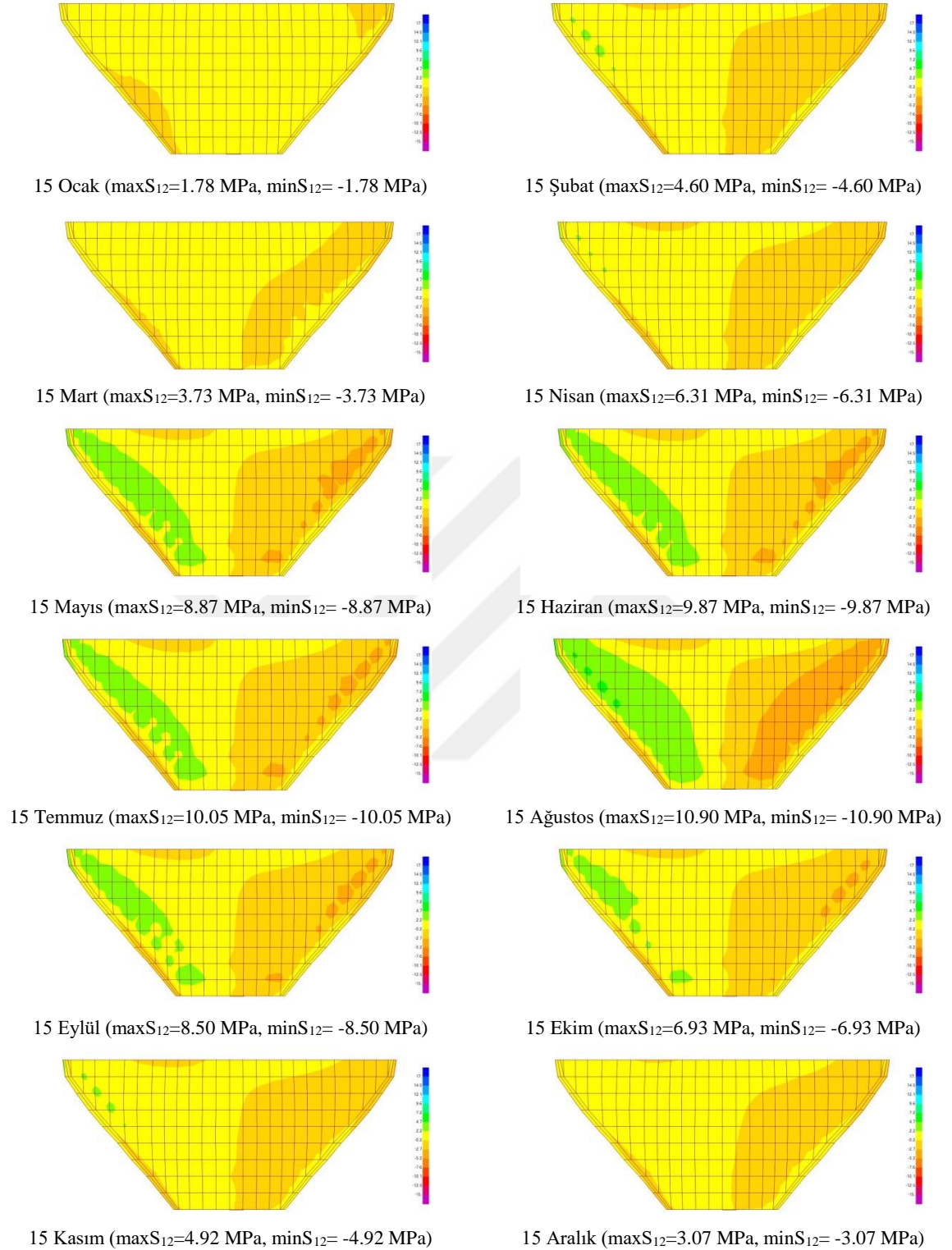


Şekil 3.13 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi  $S_{33}$  gerilmeleri

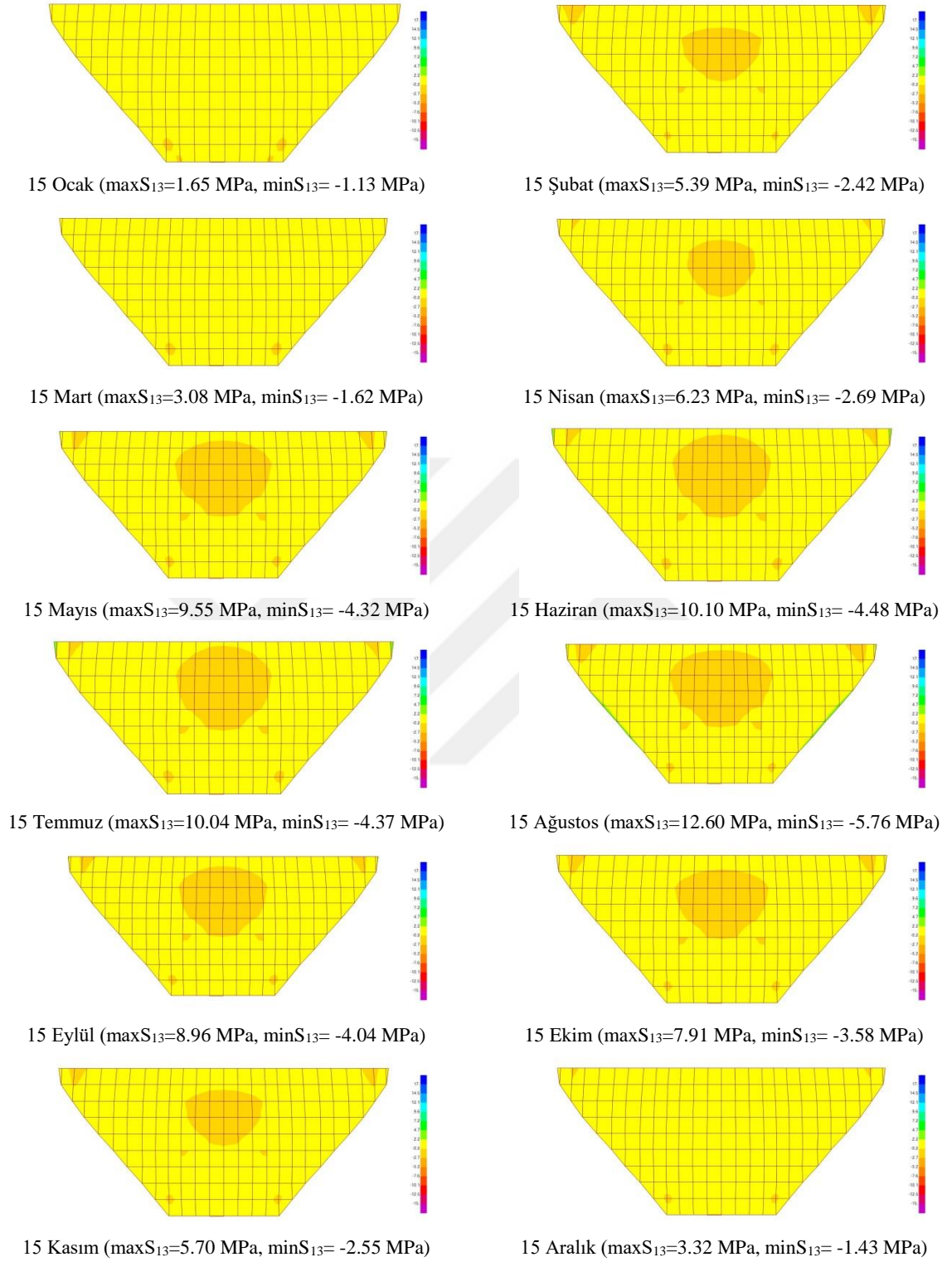




Şekil 3.14 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mamba yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

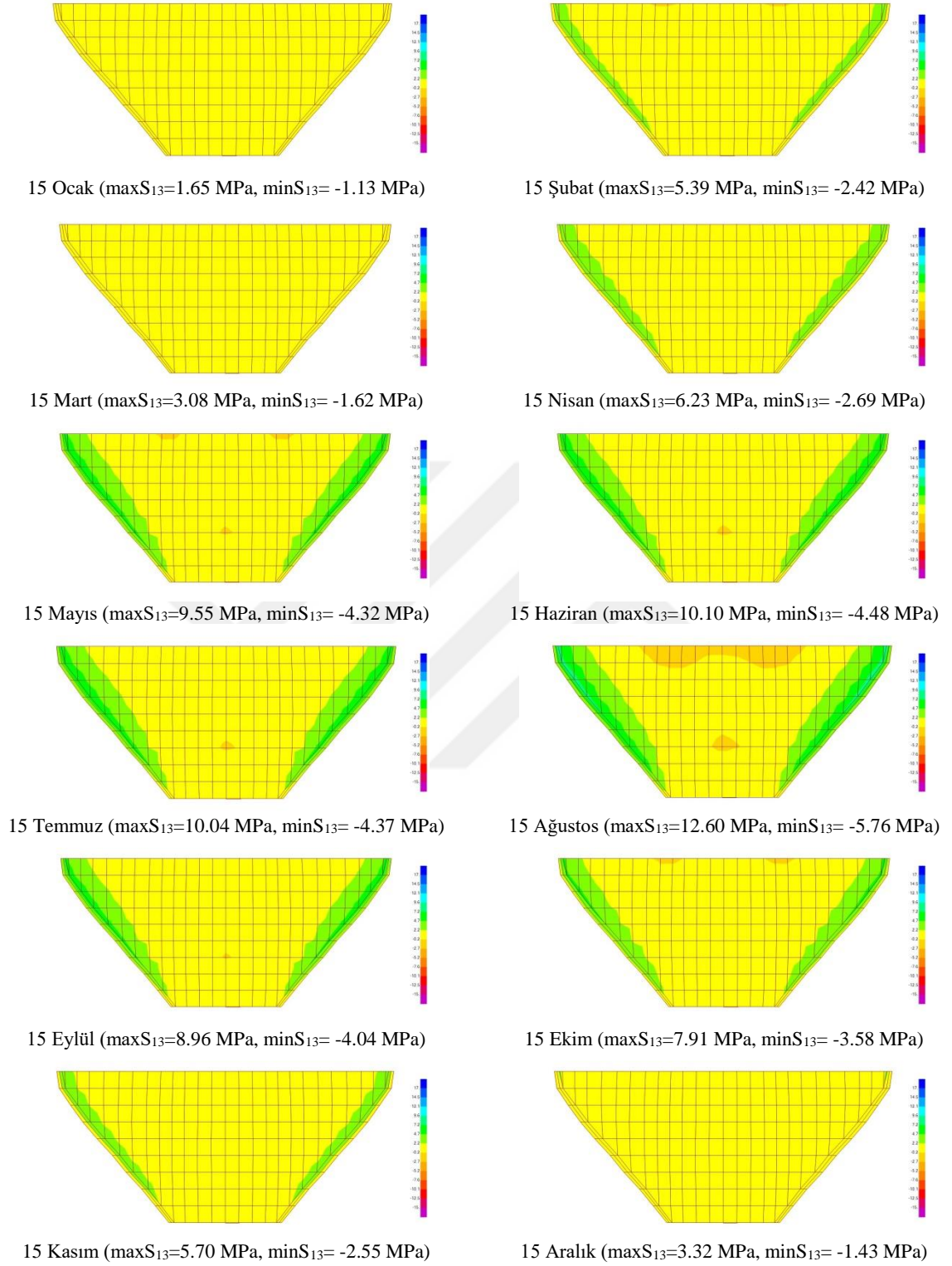


Şekil 3.15 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

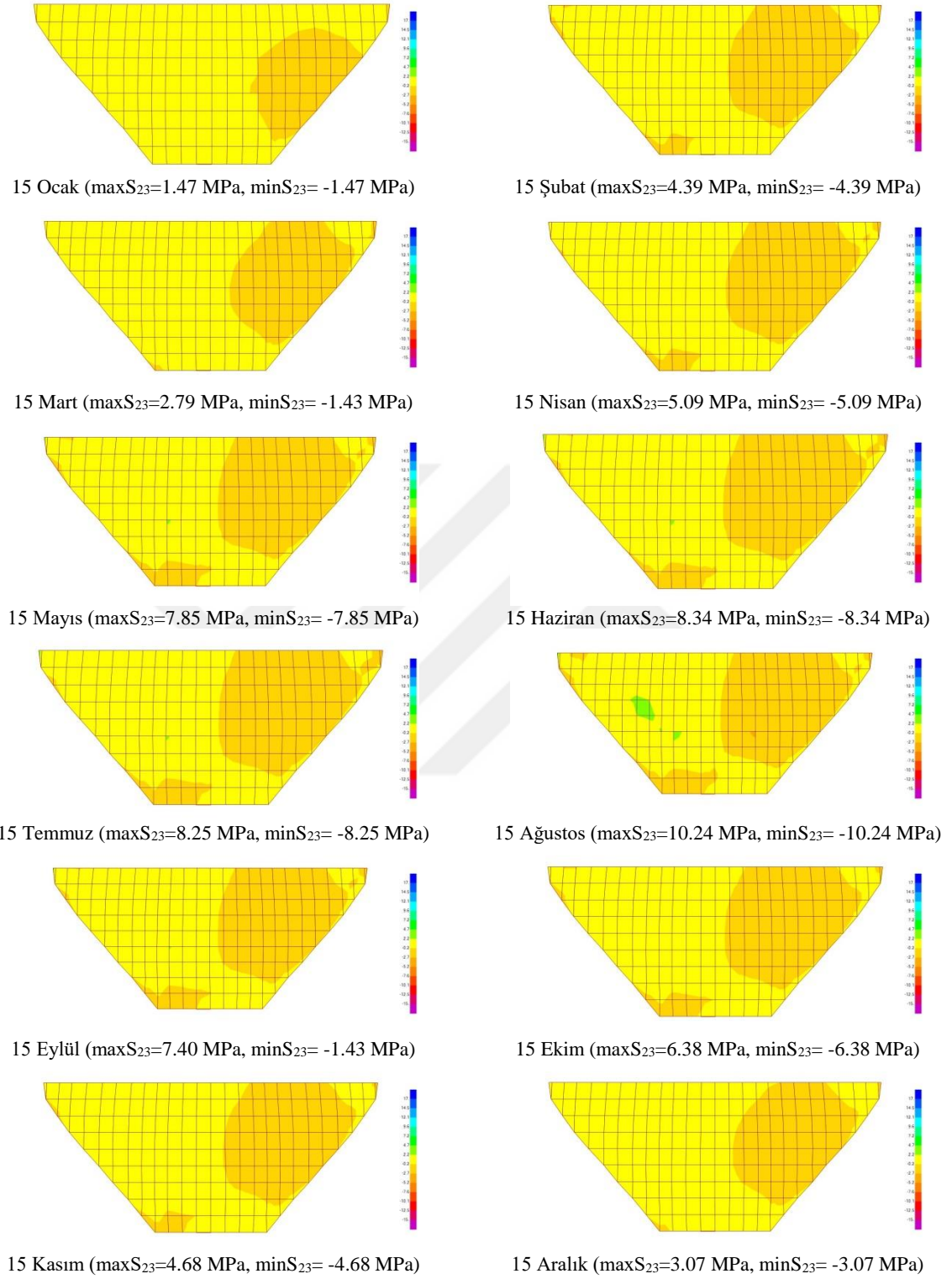


Şekil 3.16 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi  $S_{13}$  gerilmeleri



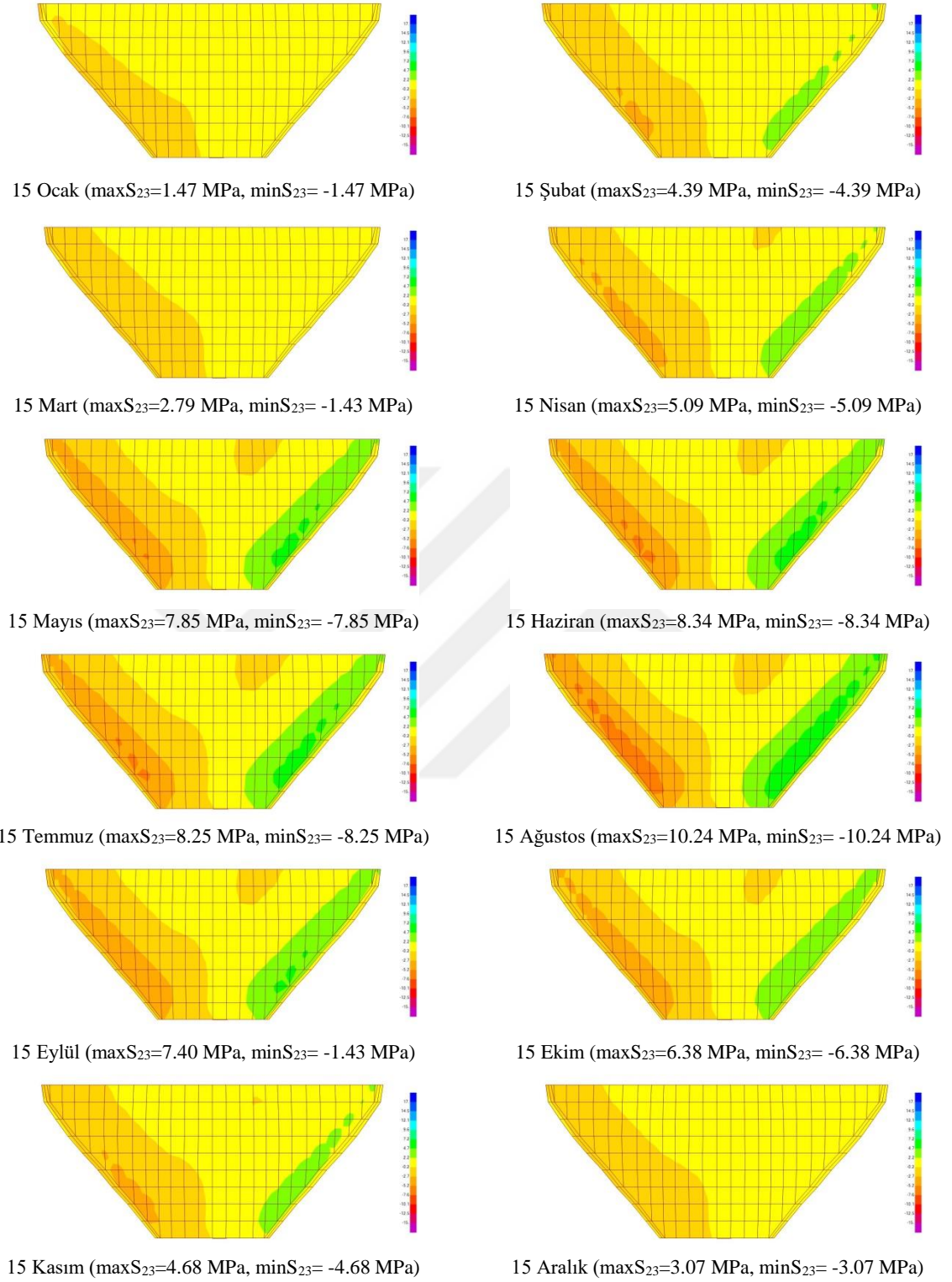


Şekil 3.17 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi  $S_{13}$  gerilmeleri

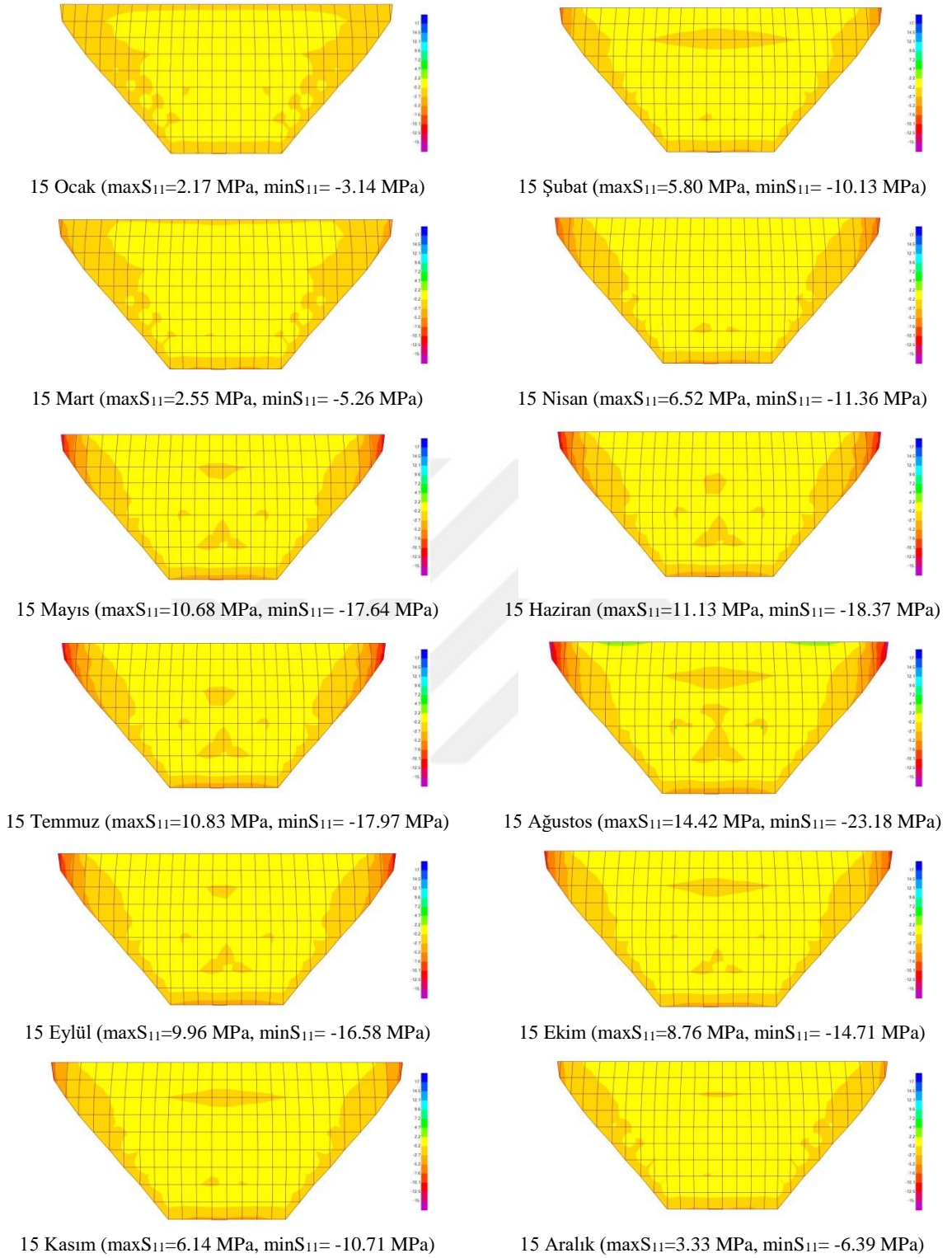


Şekil 3.18 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mamba yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

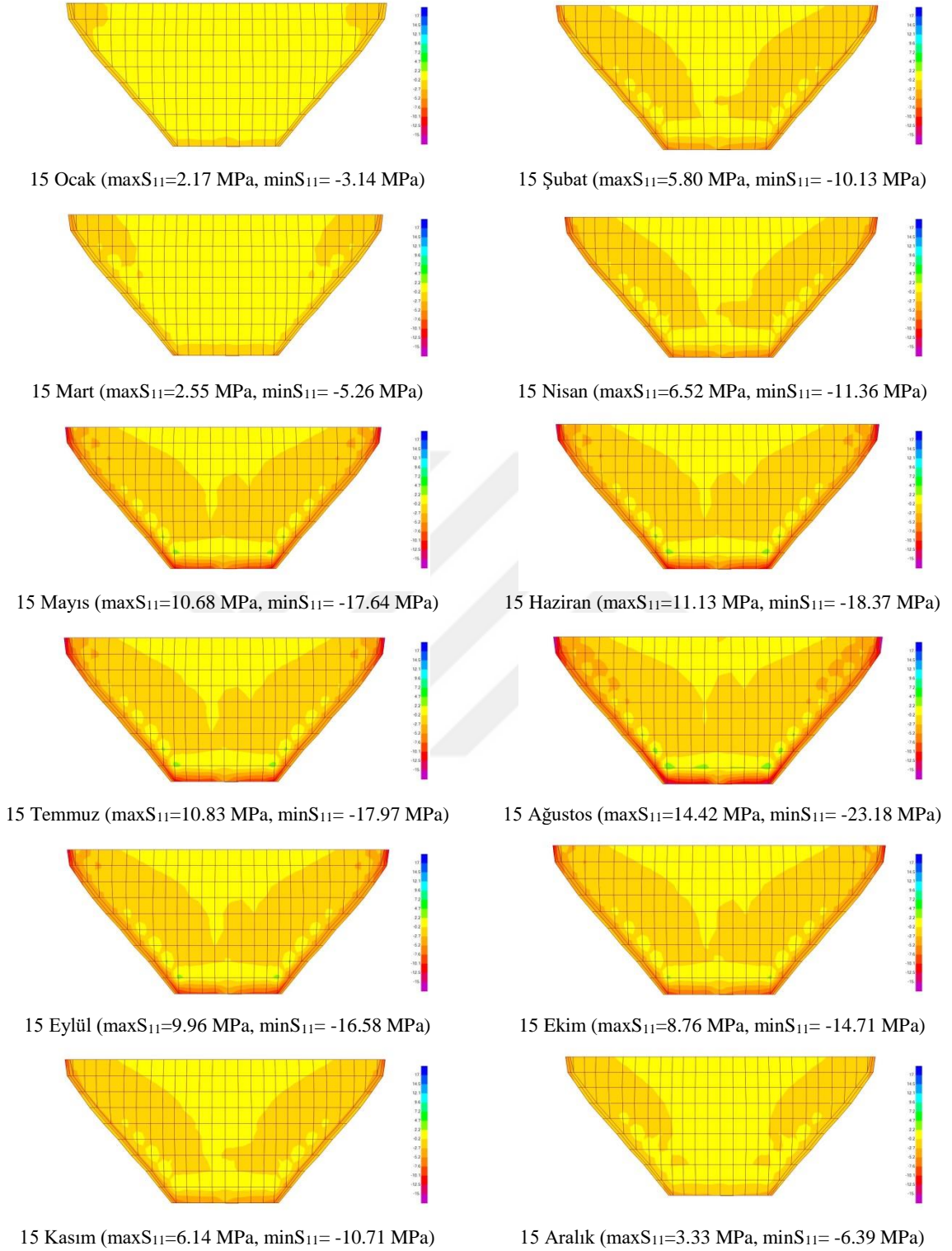




Şekil 3.19 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

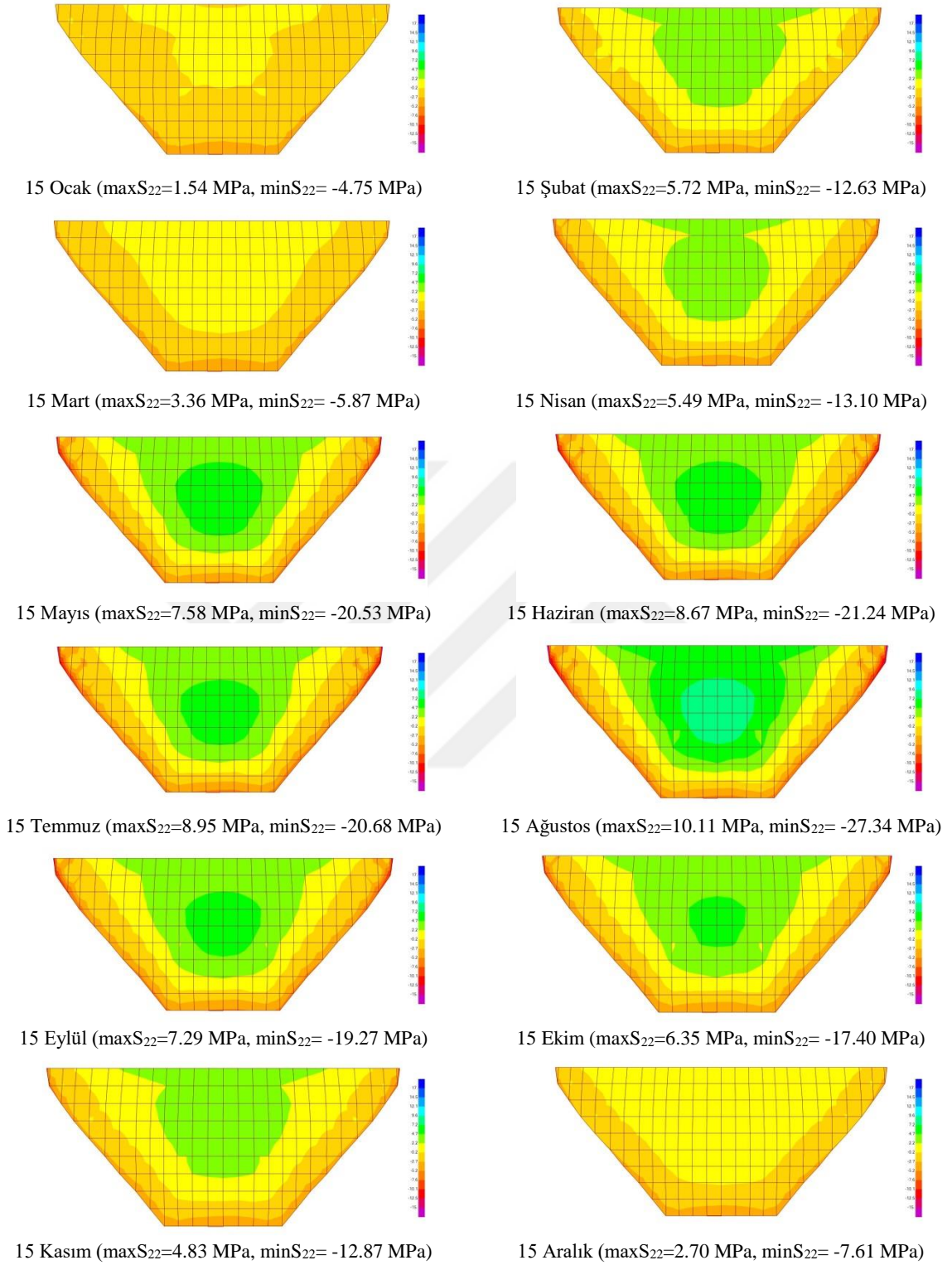


Şekil 3.20 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mamba yüzeyi  $S_{11}$  gerilmeleri

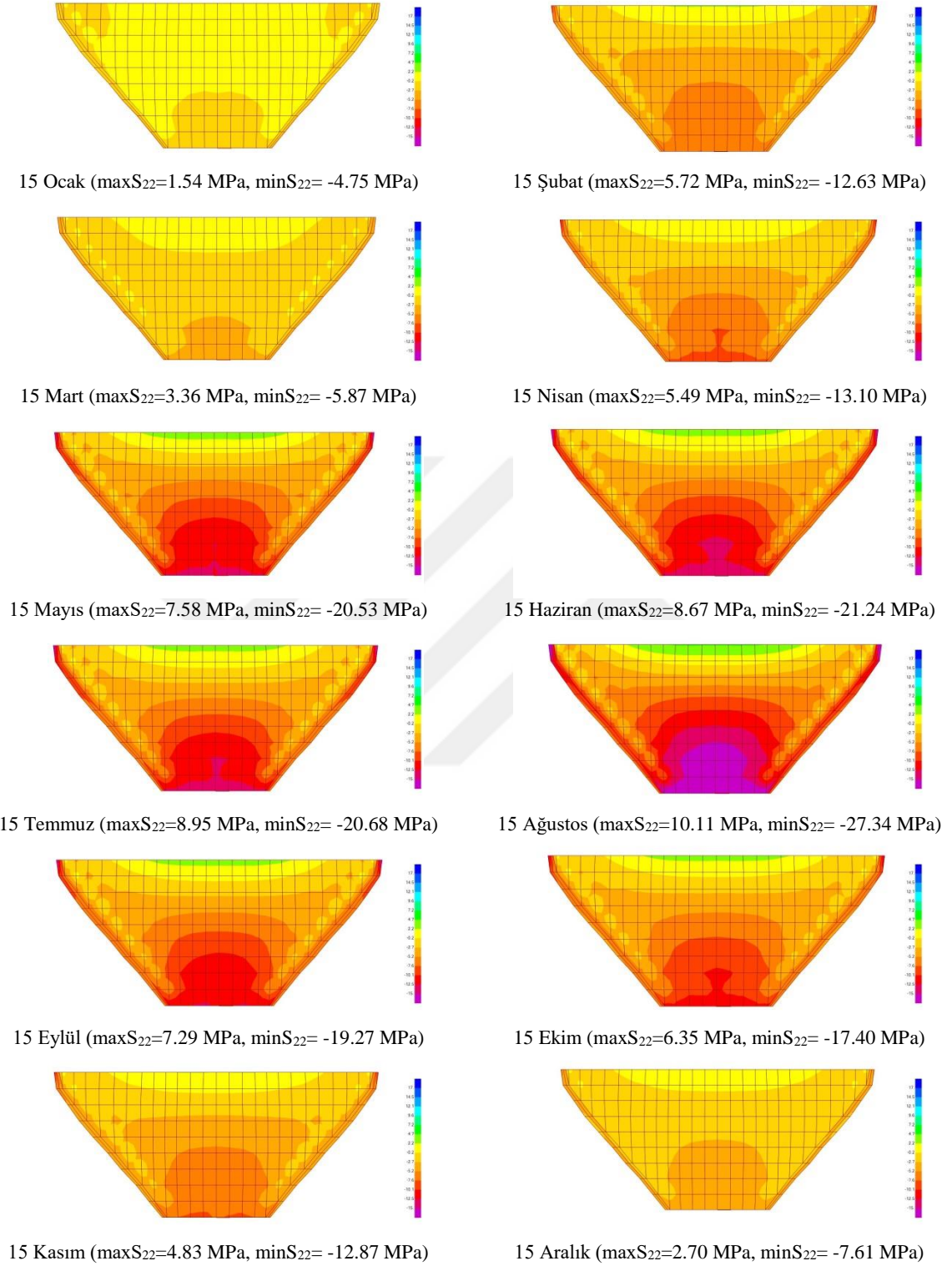


Şekil 3.21 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

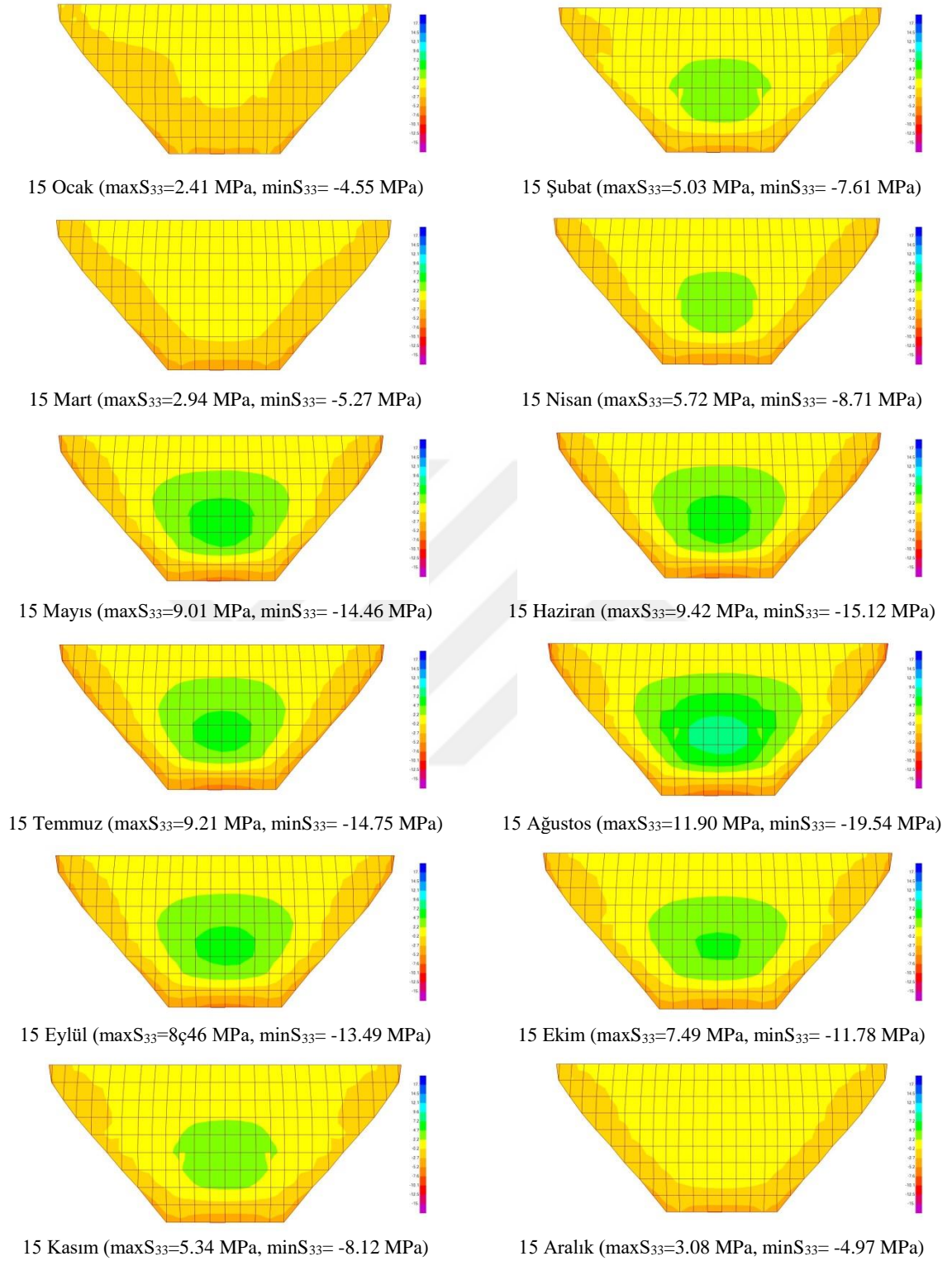




Şekil 3.22 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

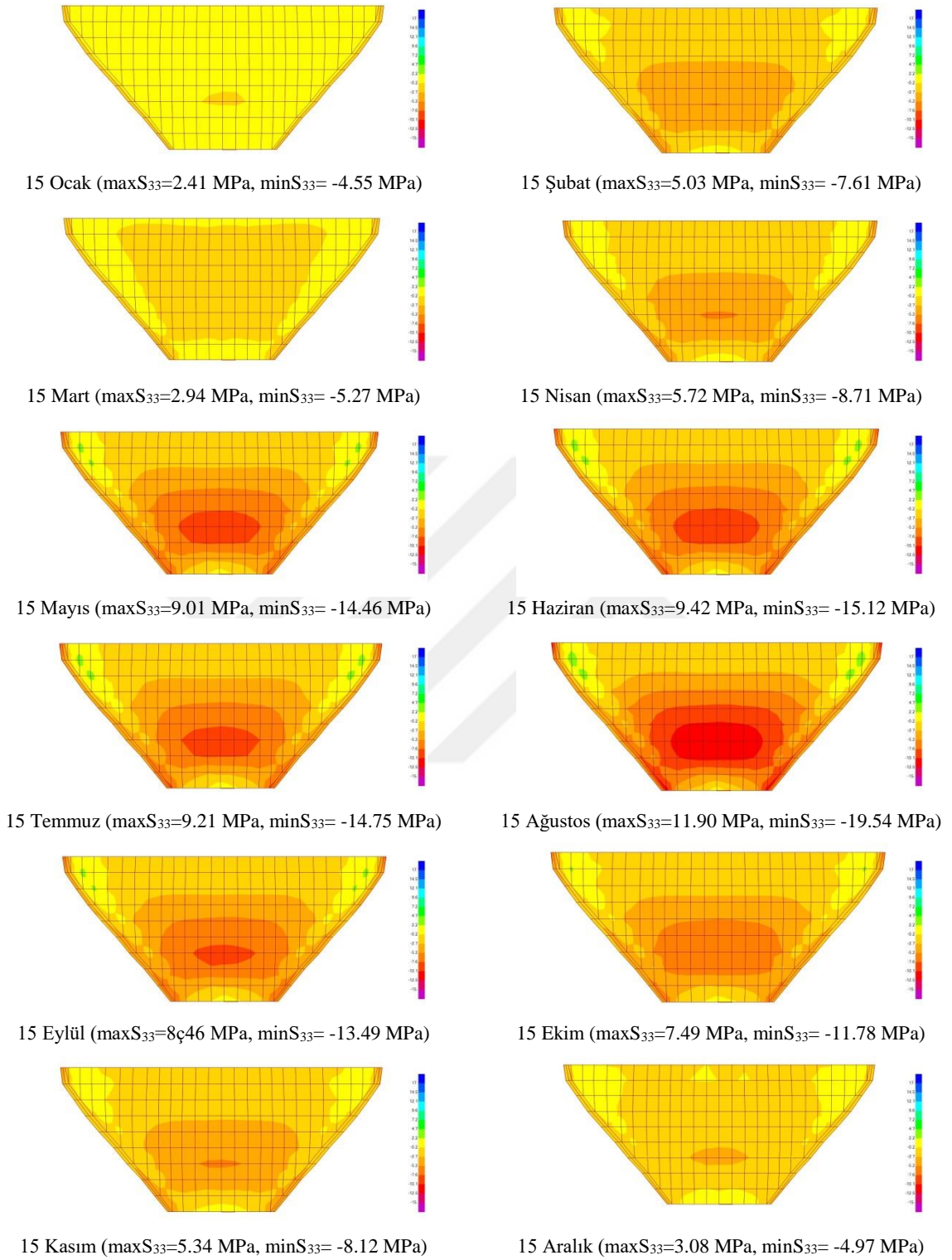


Şekil 3.23 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

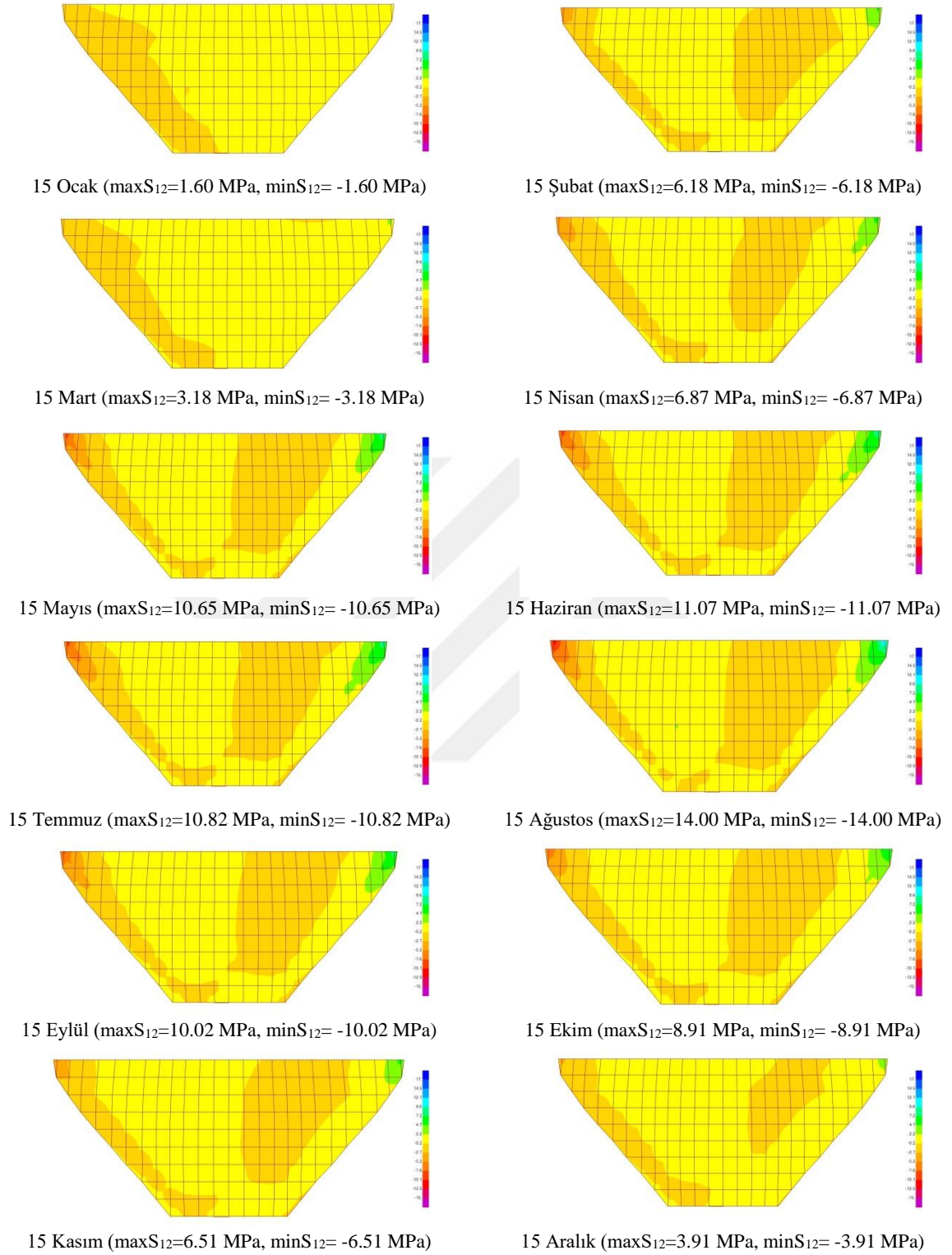


Şekil 3.24 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi  $S_{33}$  gerilmeleri



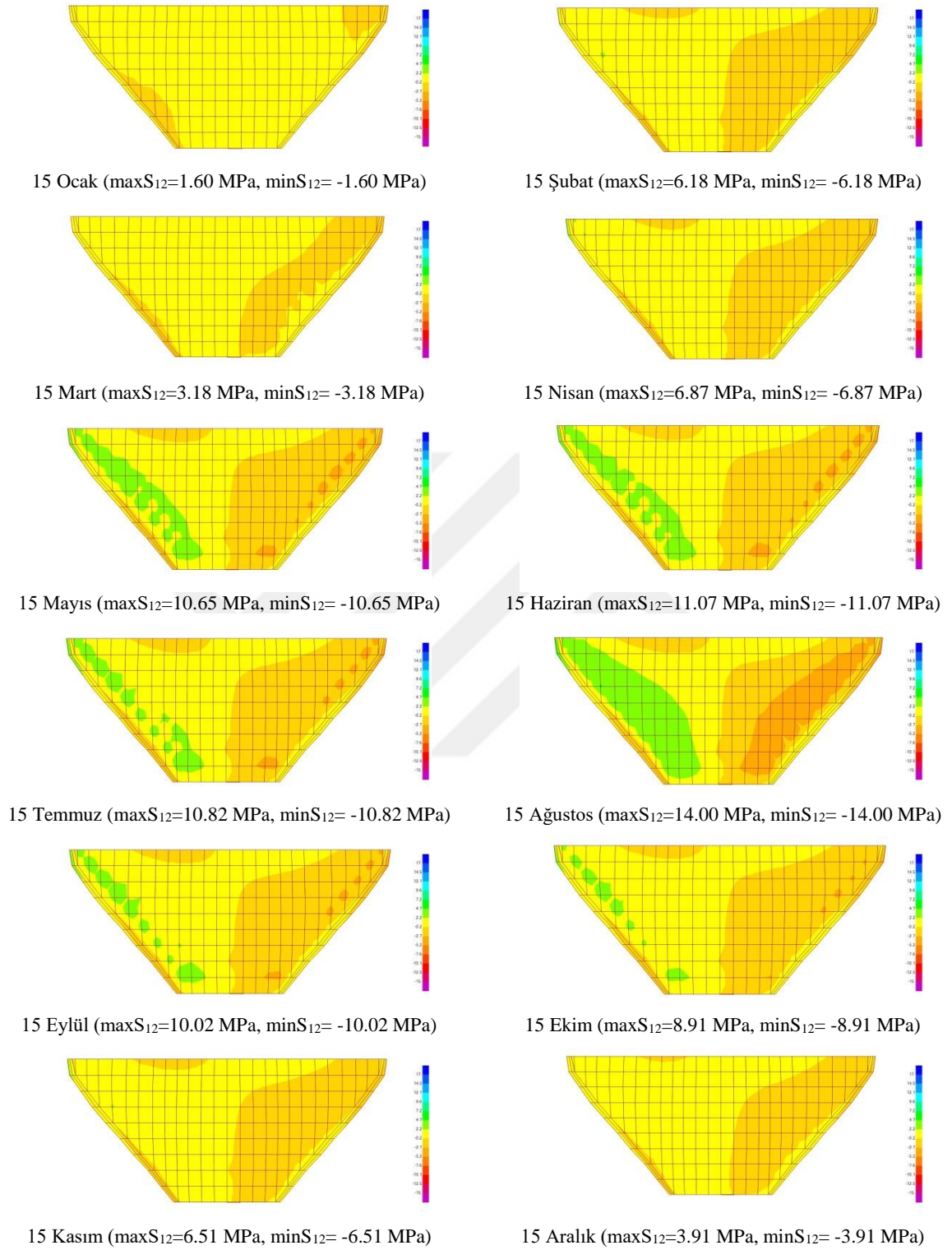


Şekil 3.25 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi  $S_{33}$  gerilmeleri

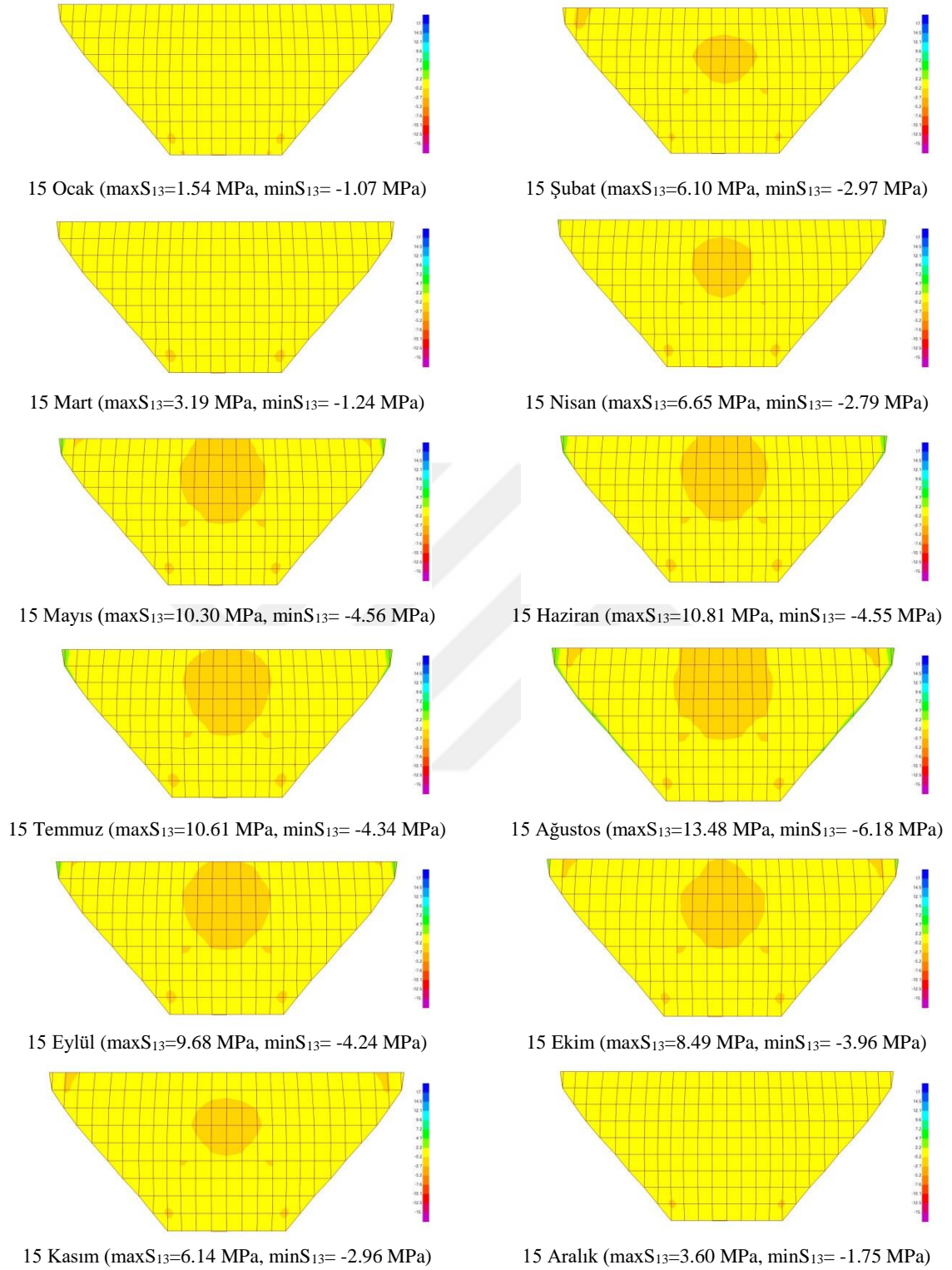


Şekil 3.26 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mamba yüzeyi S<sub>12</sub> gerilmeleri

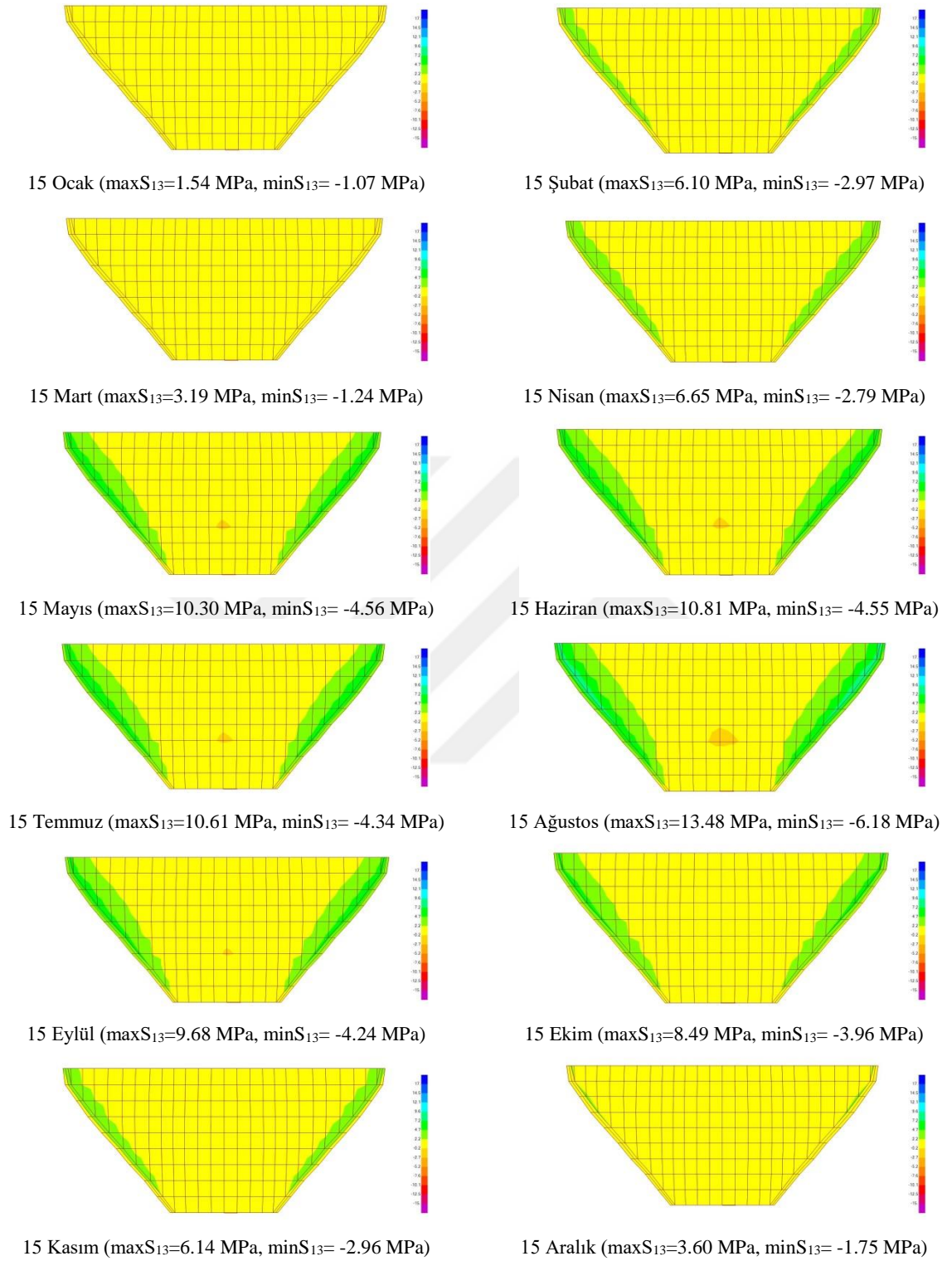




Şekil 3.27 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

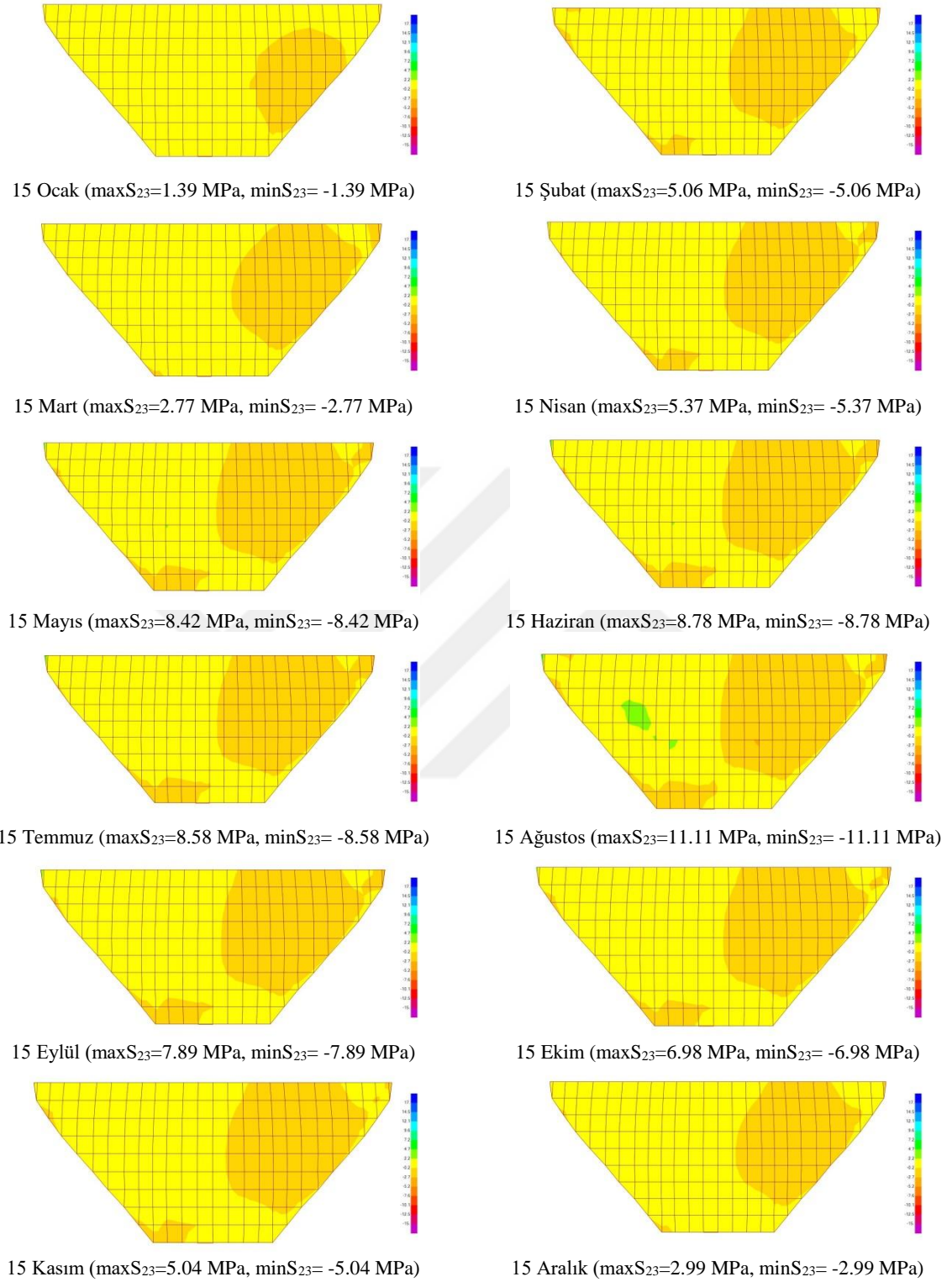


Şekil 3.28 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mamba yüzeyi  $S_{13}$  gerilmeleri

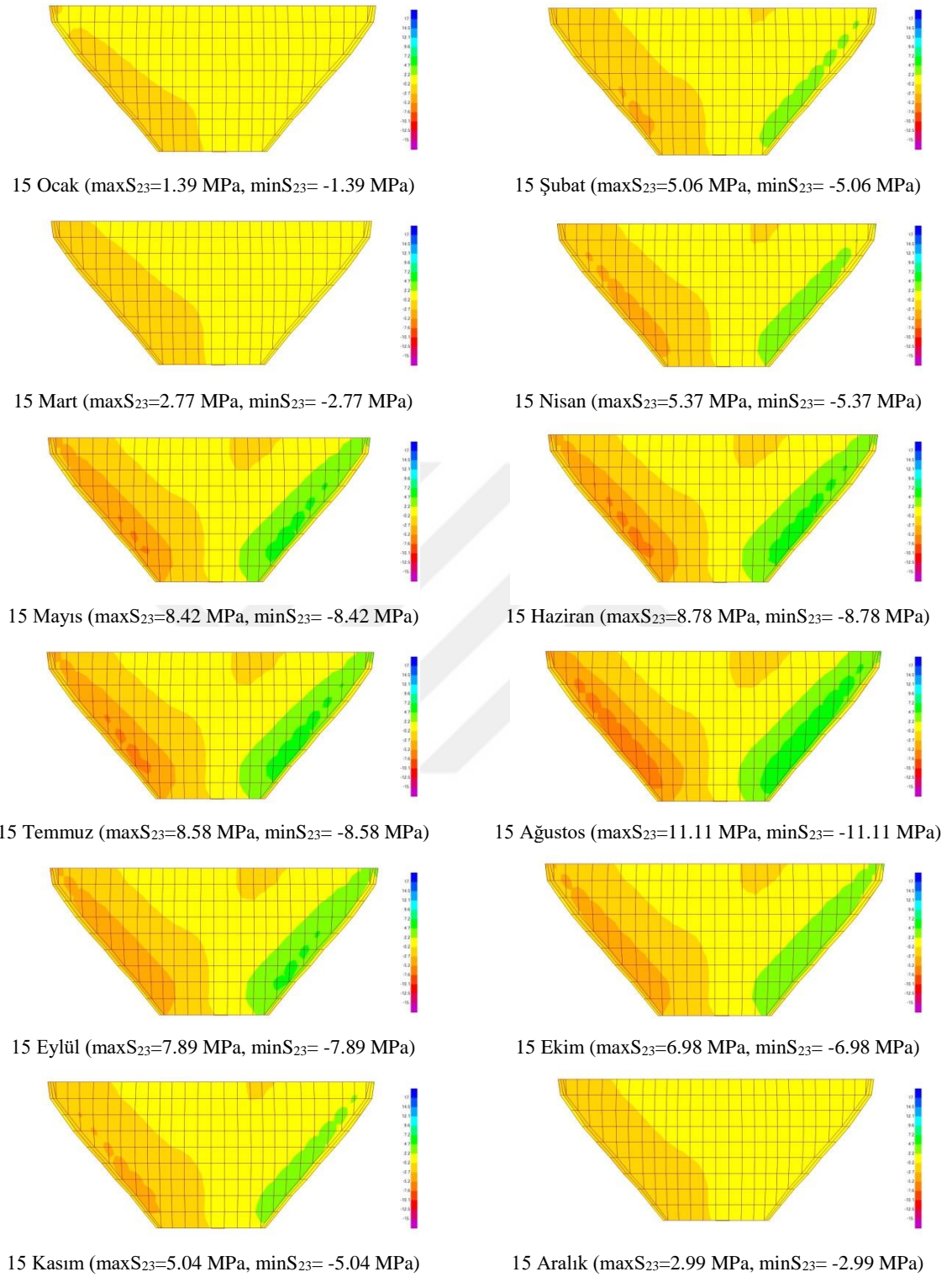


Şekil 3.29 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi  $S_{13}$  gerilmeleri

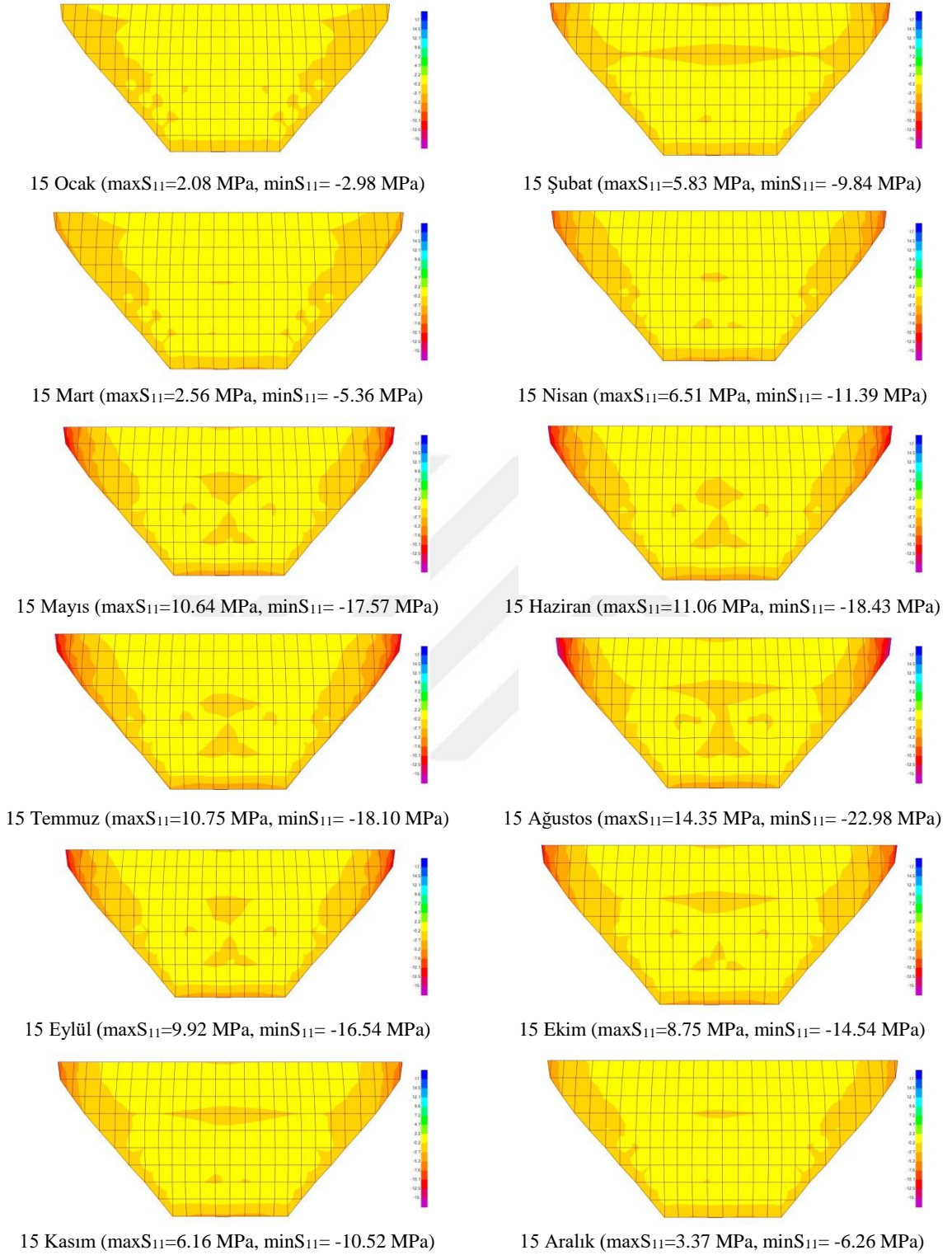




Şekil 3.30 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mamba yüzeyi S<sub>23</sub> gerilmeleri

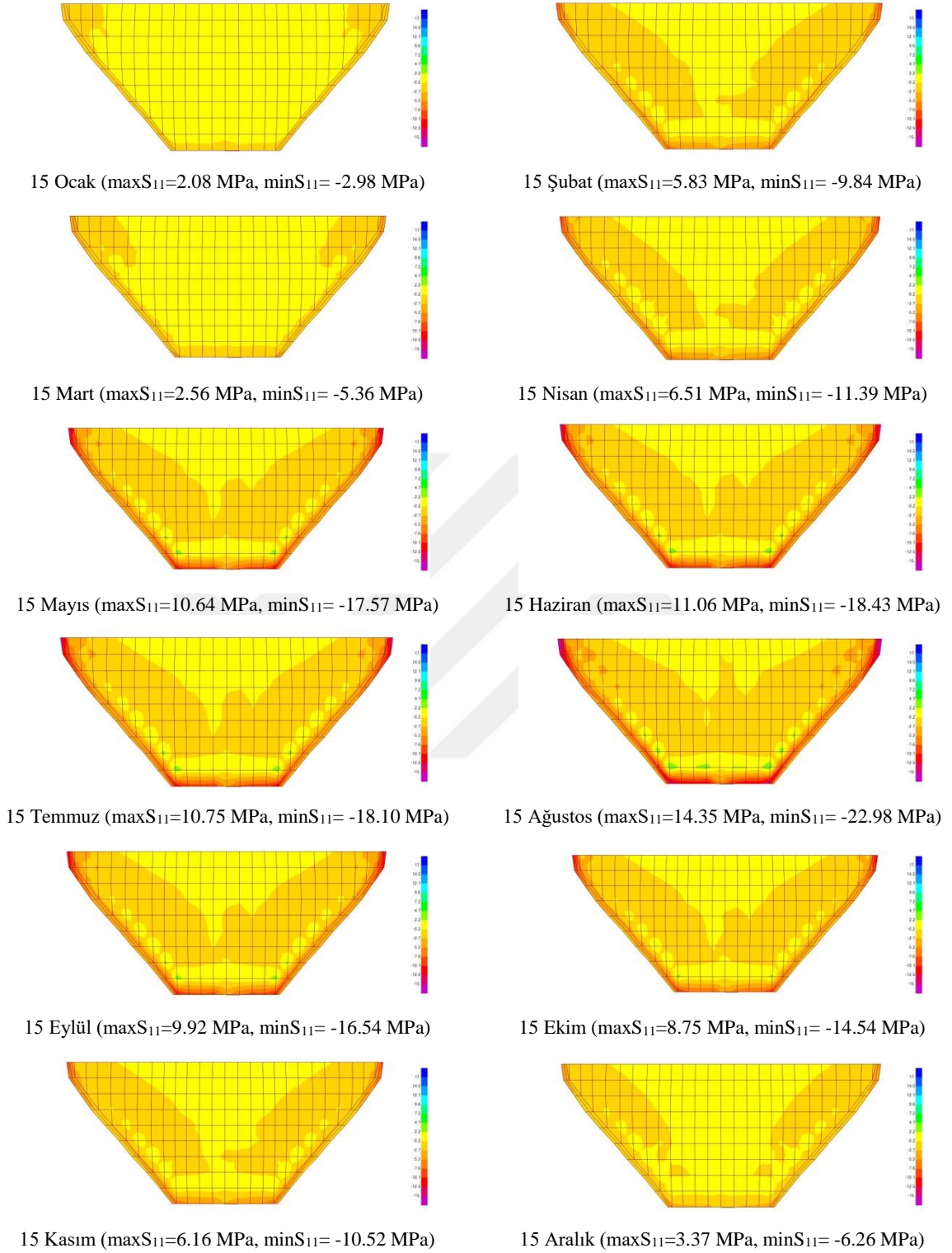


Şekil 3.31 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

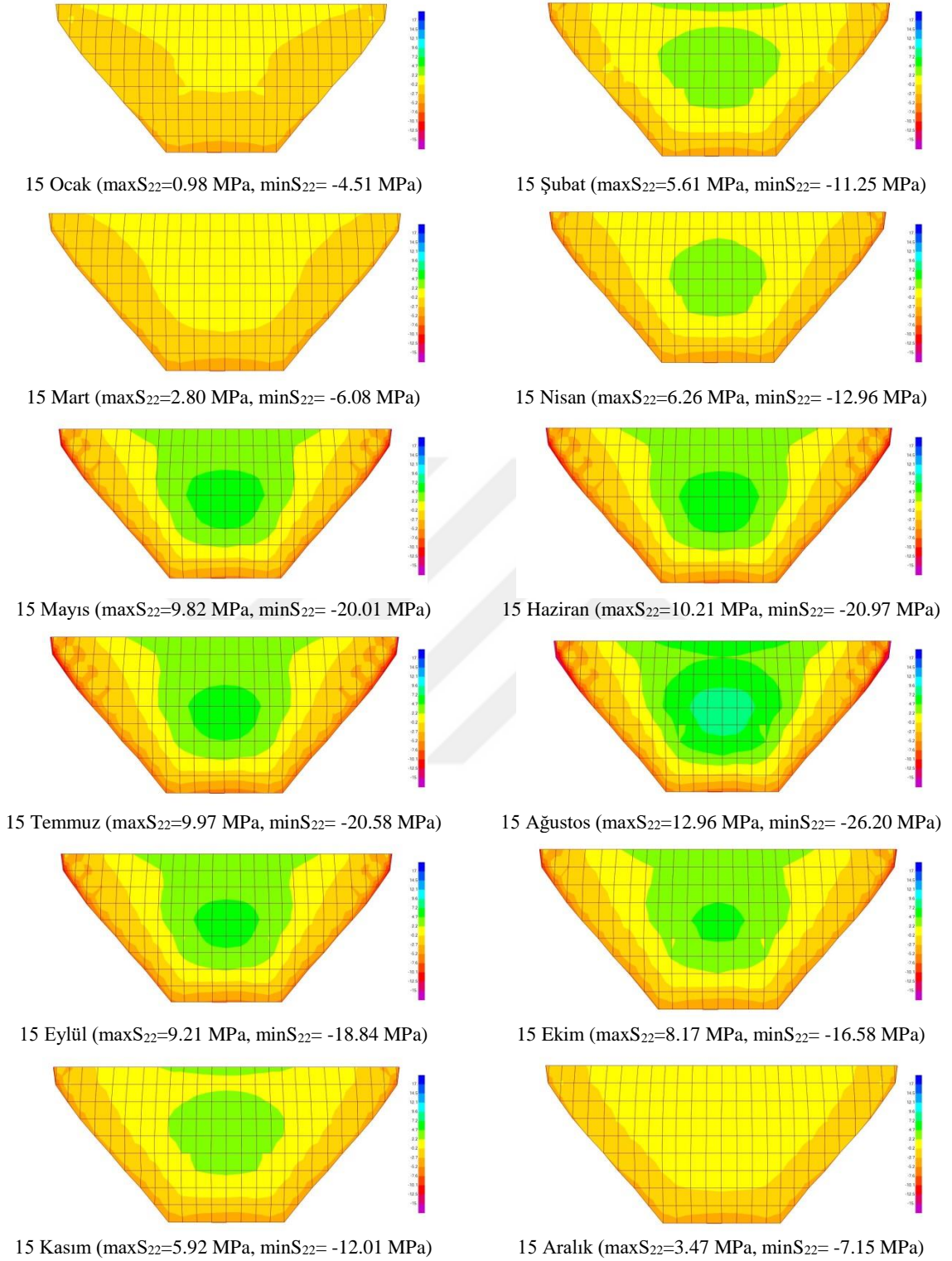


Şekil 3.32 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri



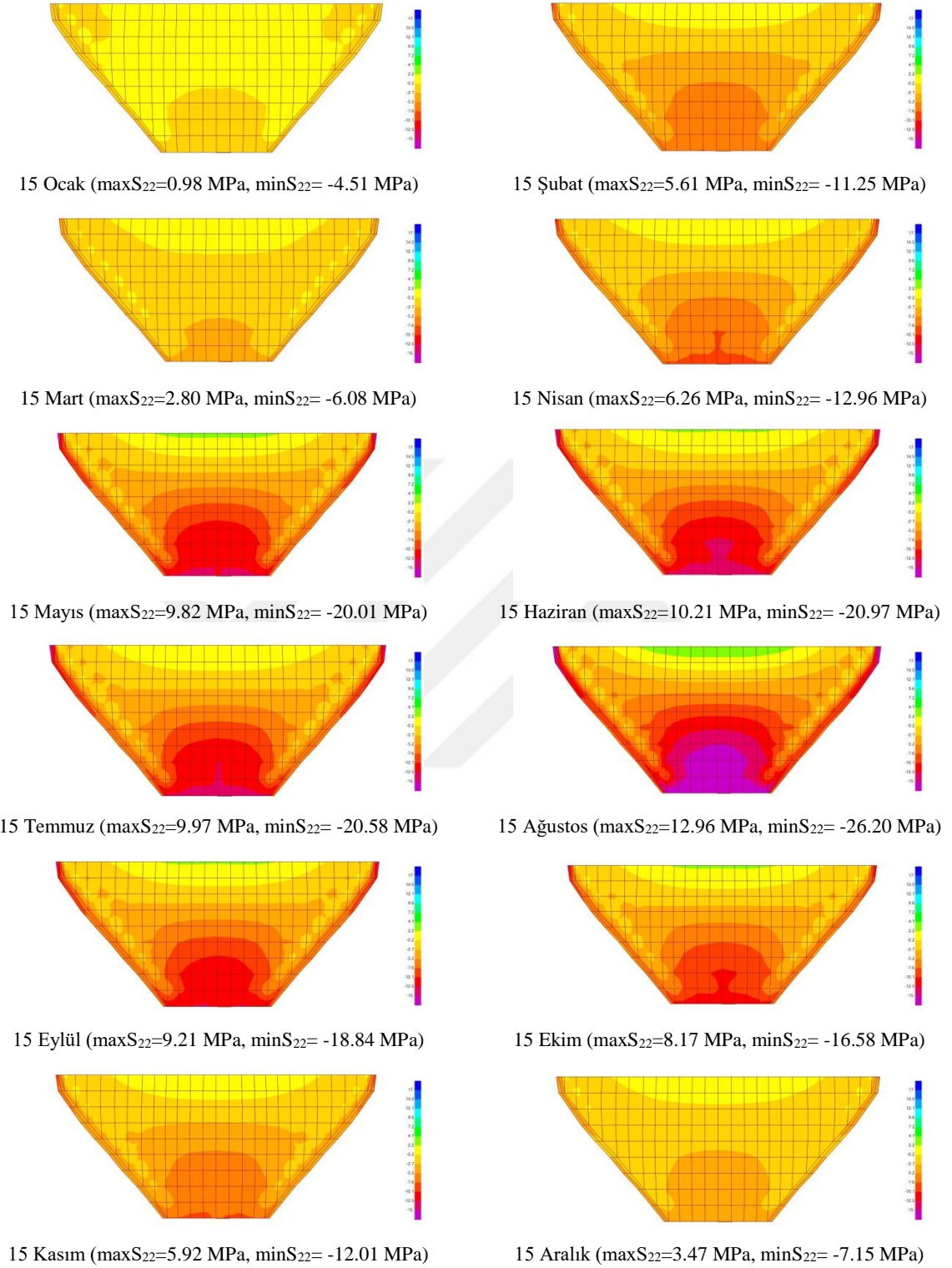


Şekil 3.33 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

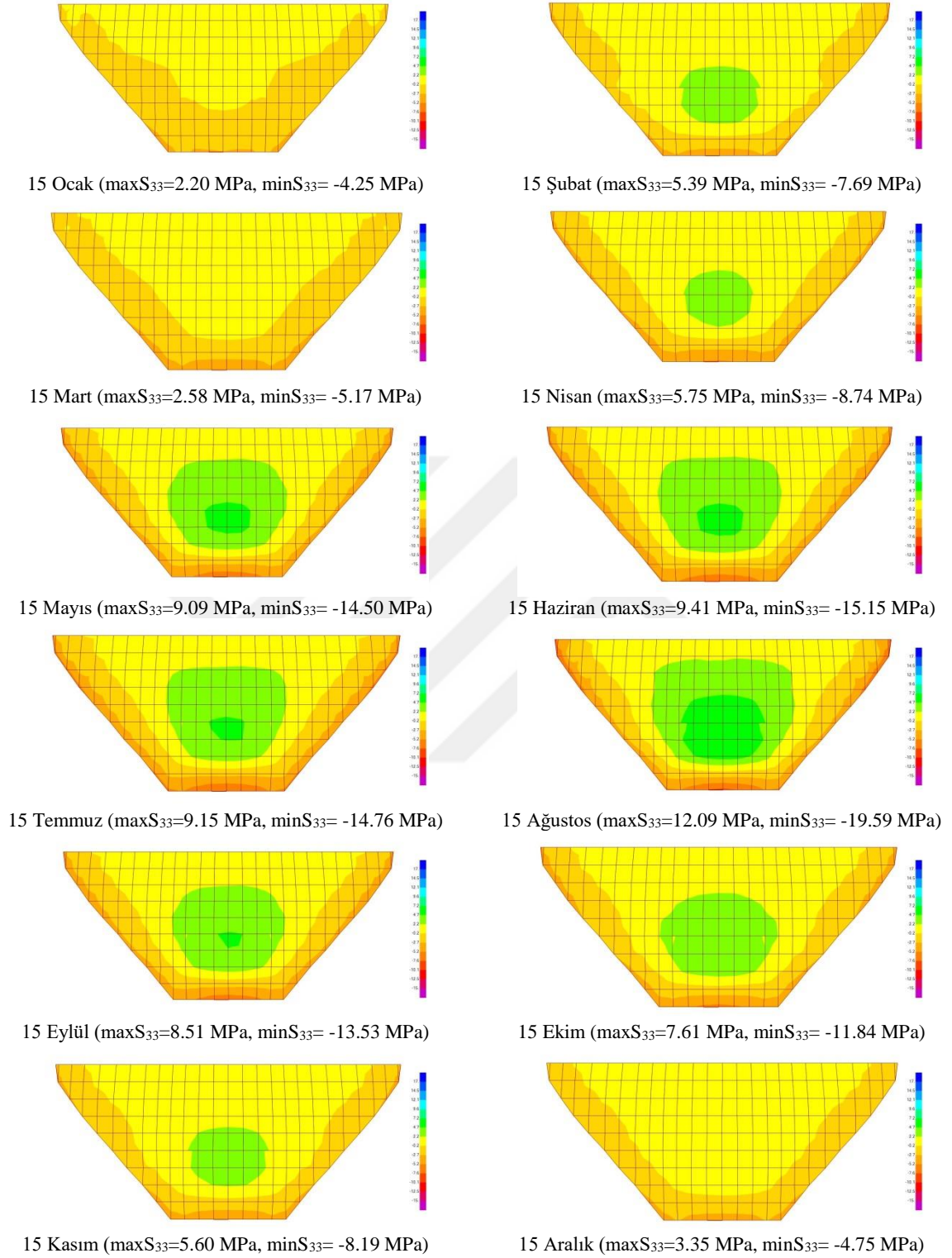


Şekil 3.34 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

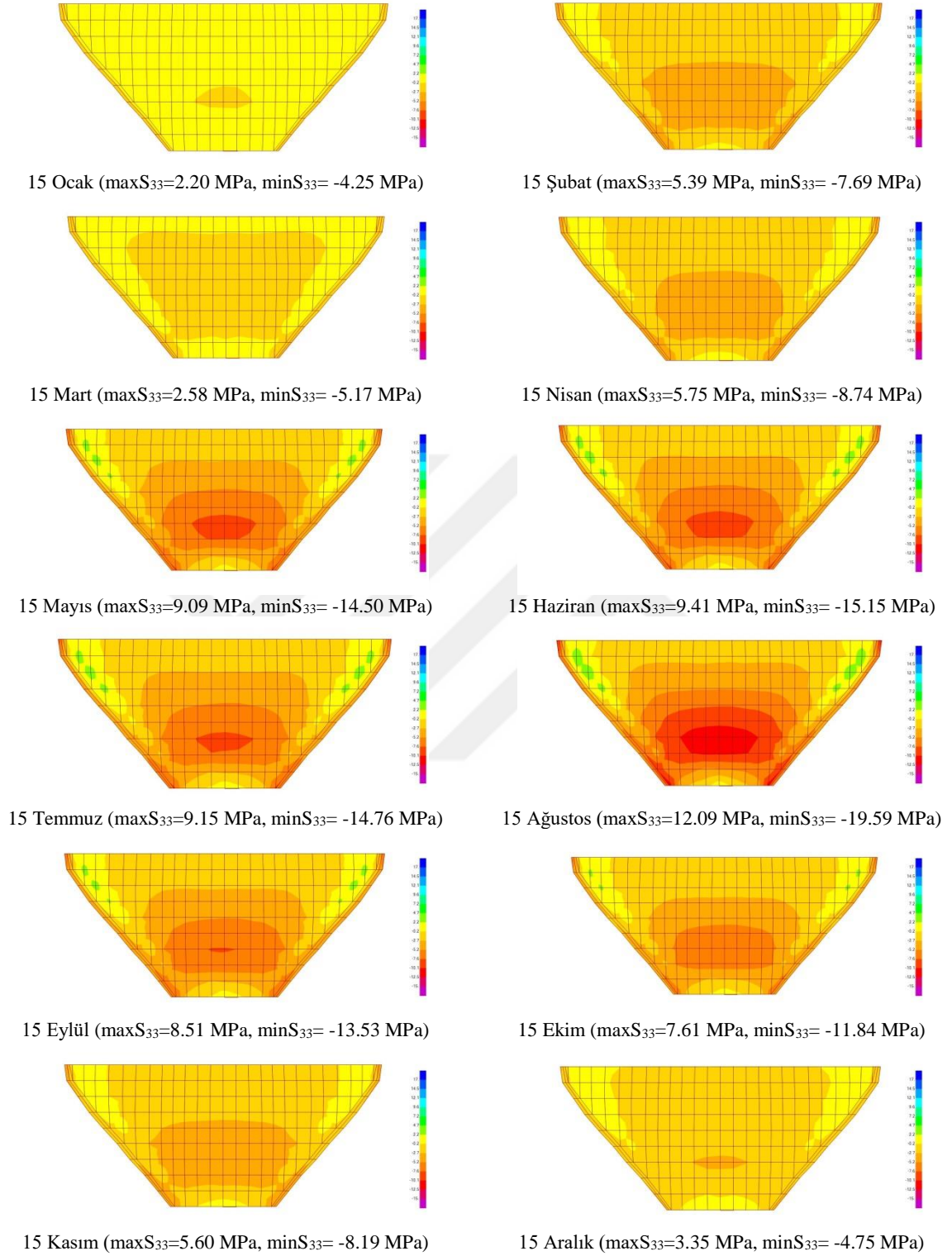




Şekil 3.35 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

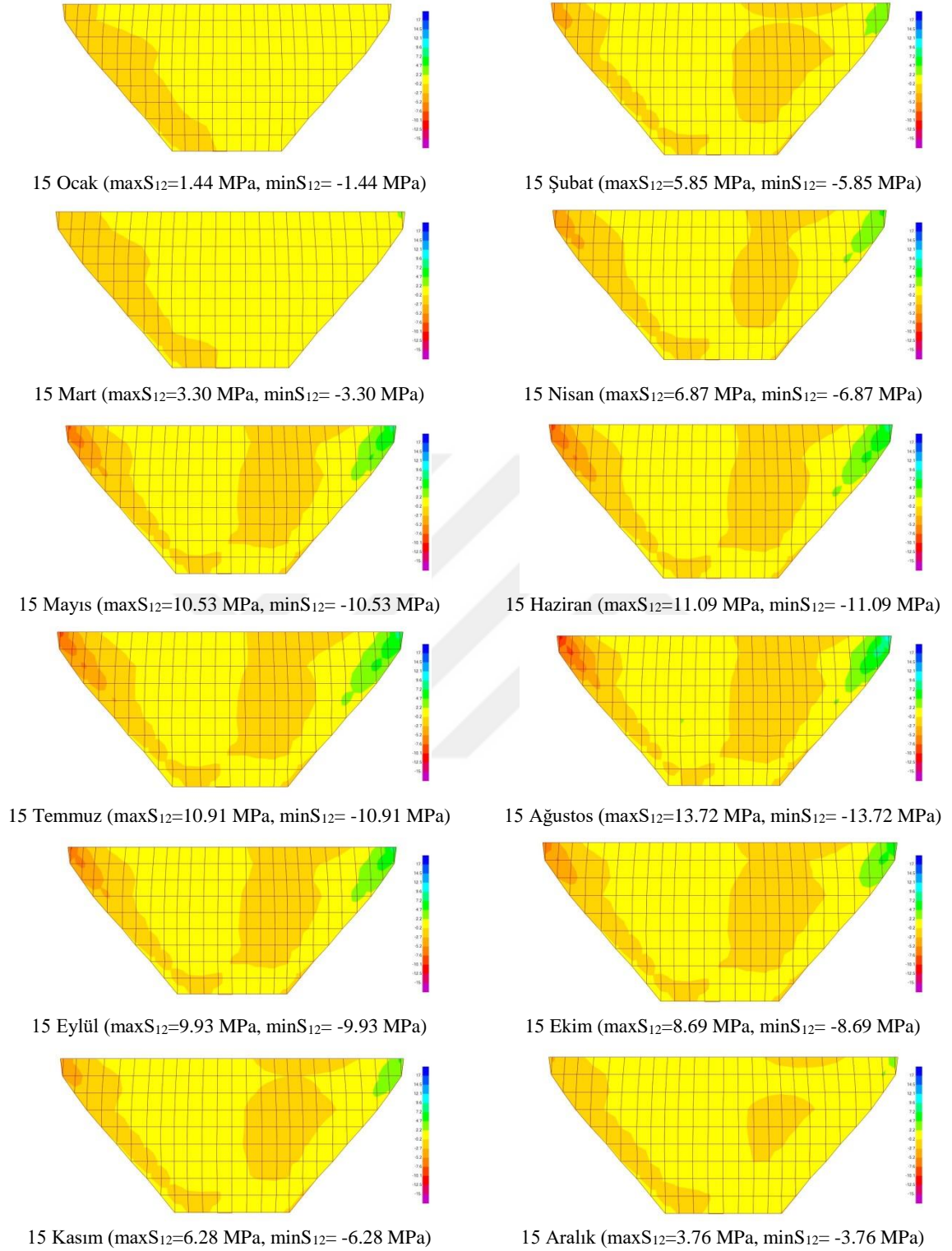


Şekil 3.36 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri

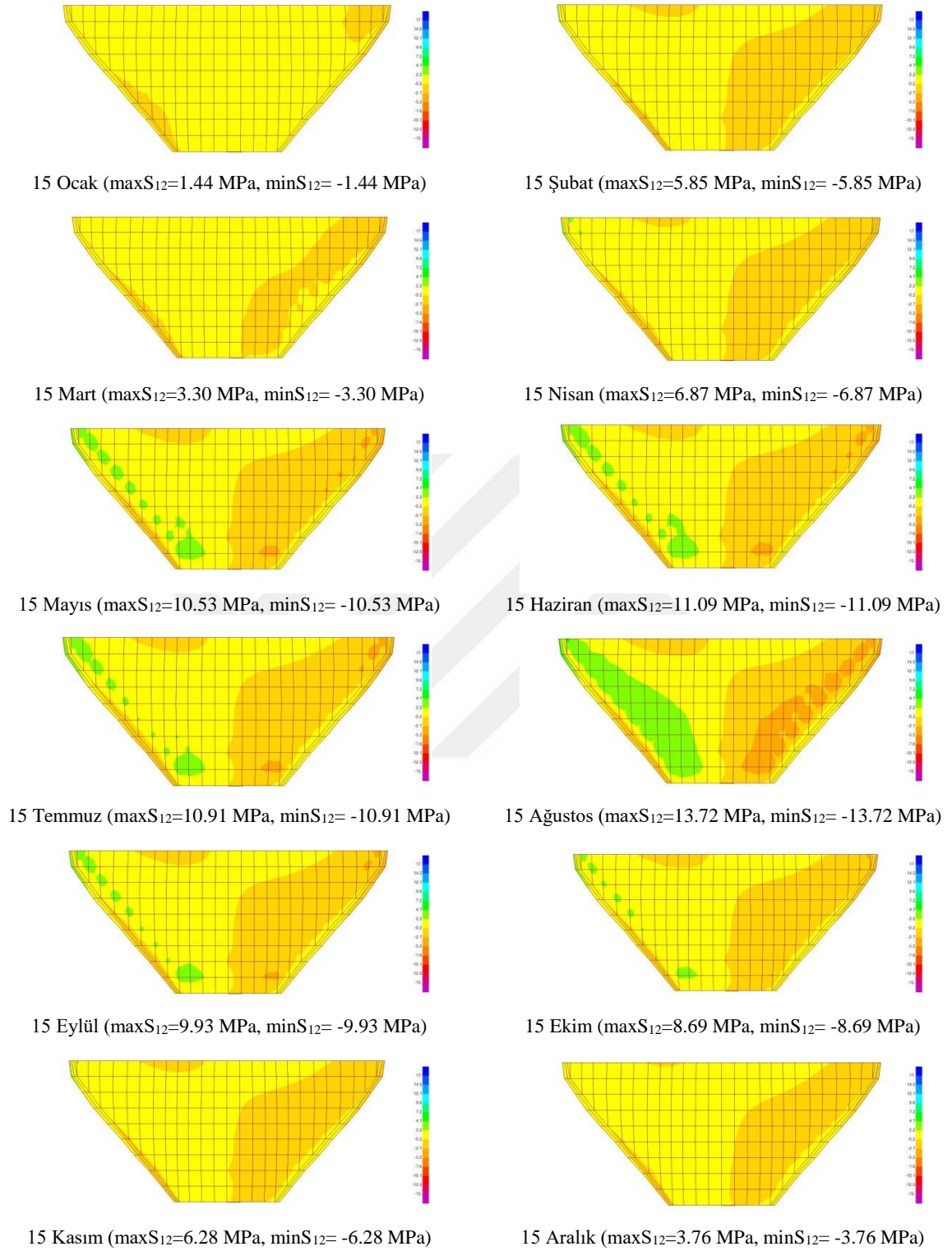


Şekil 3.37 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri

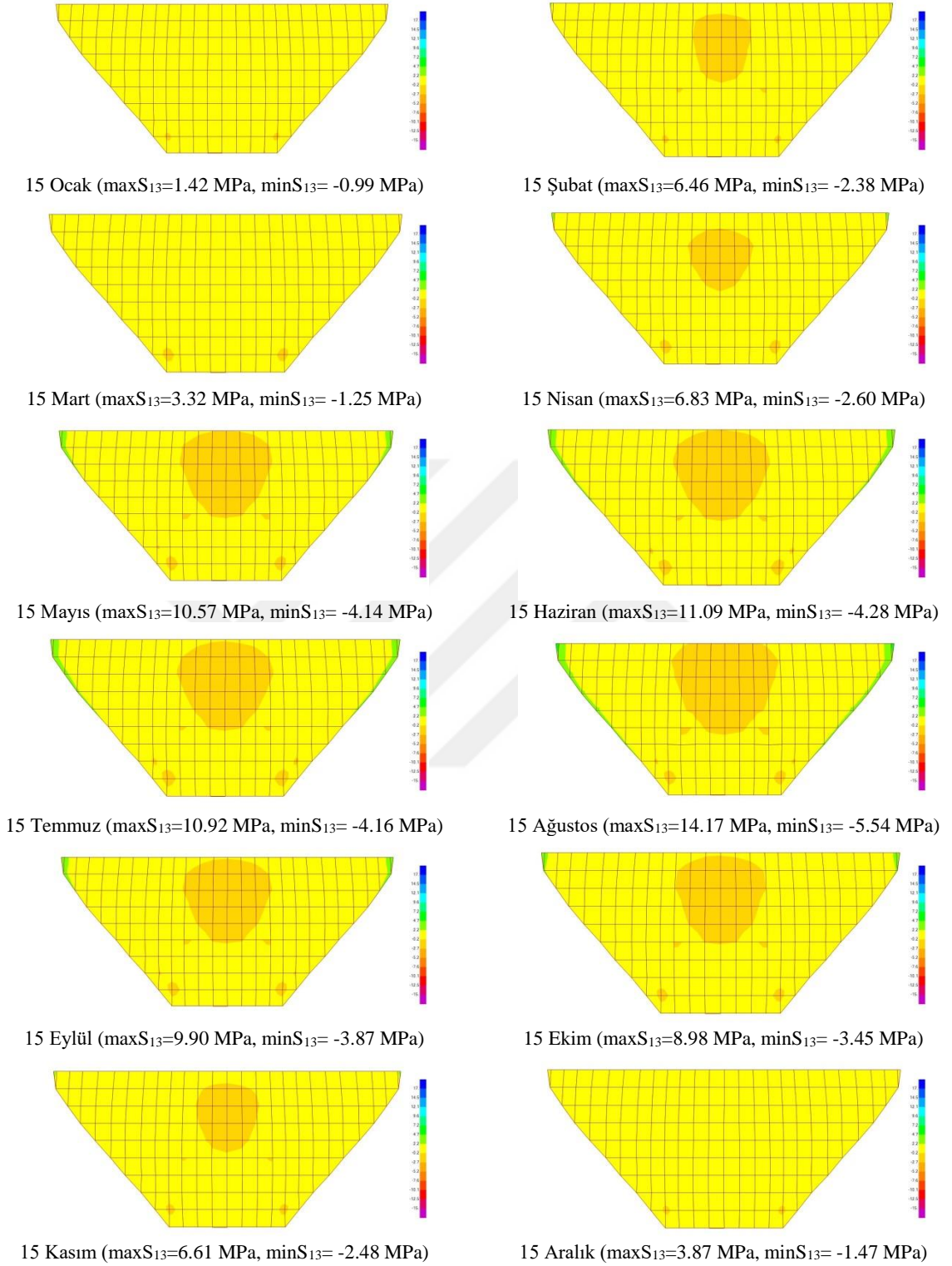




Şekil 3.38 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mamba yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

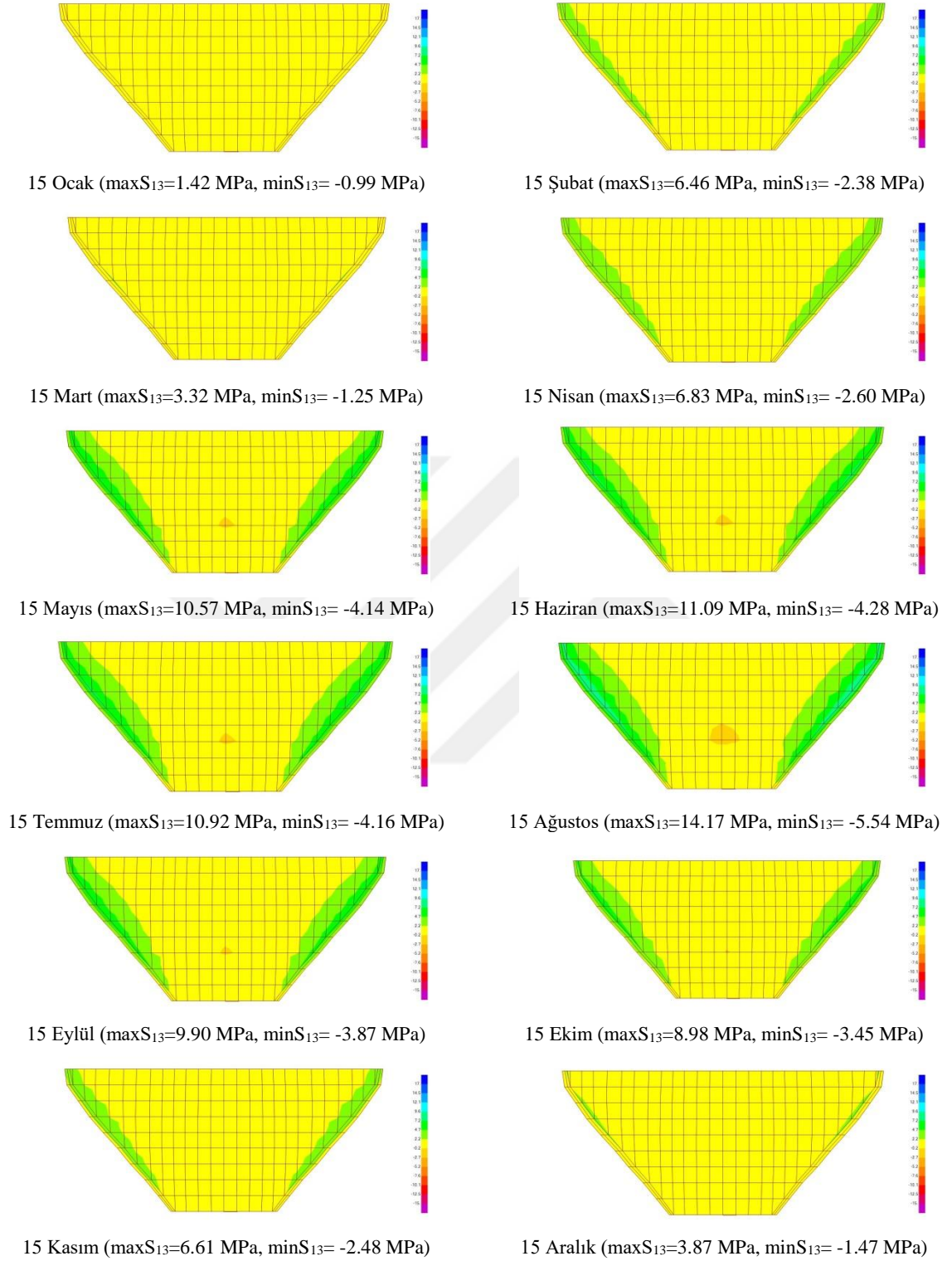


Şekil 3.39 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

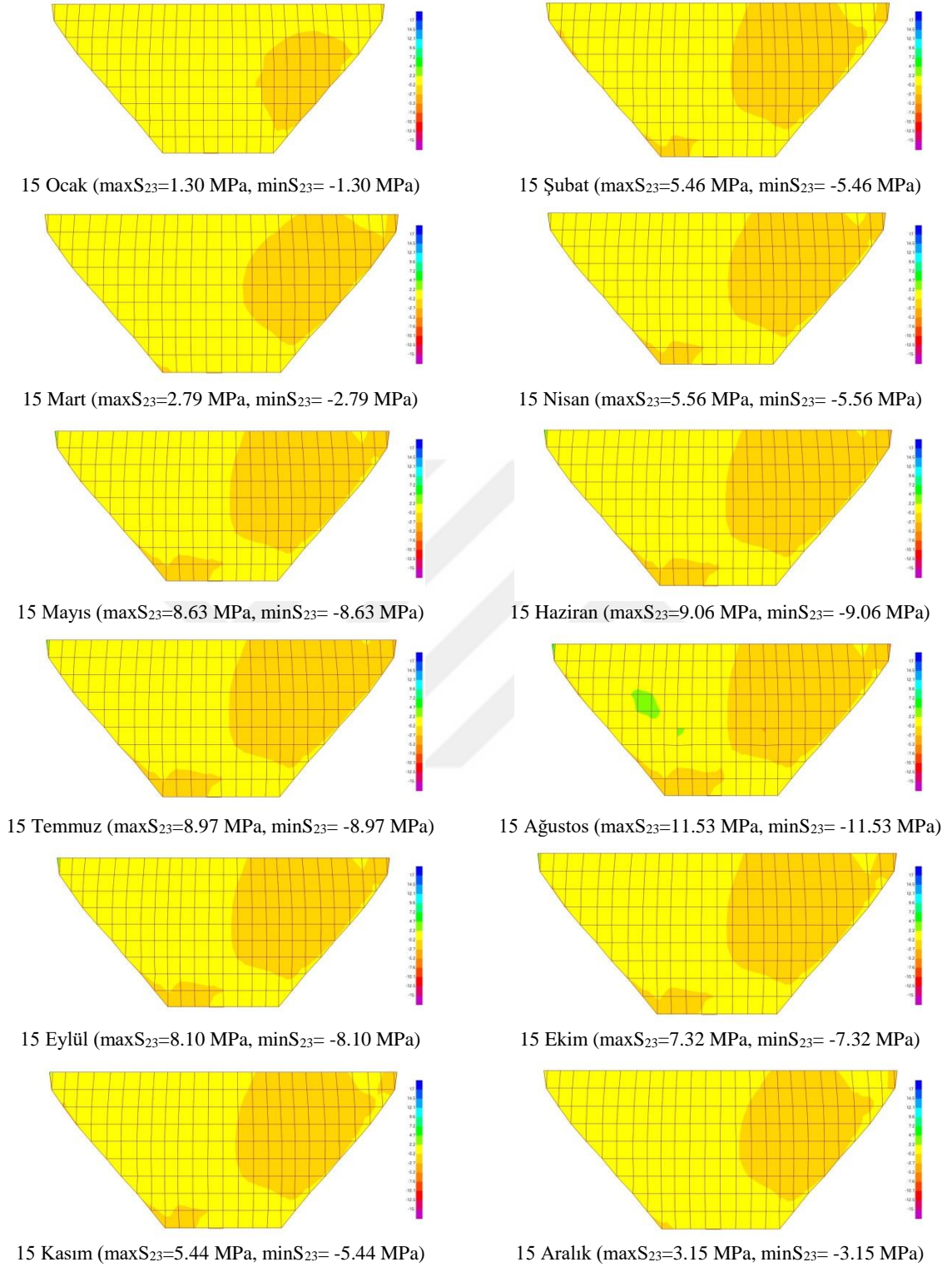


Şekil 3.40 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mamba yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri



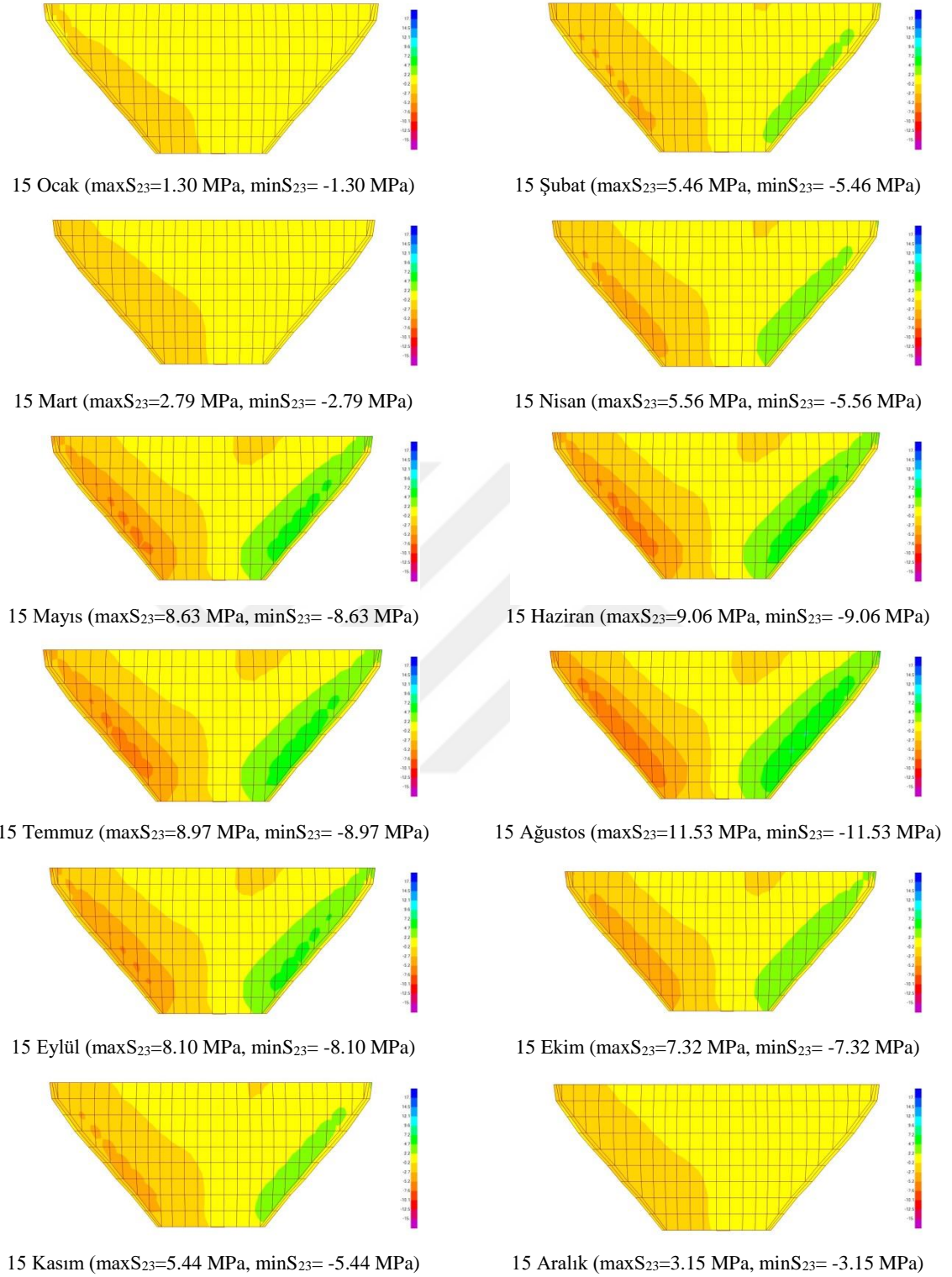


Şekil 3.41 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi  $S_{13}$  gerilmeleri

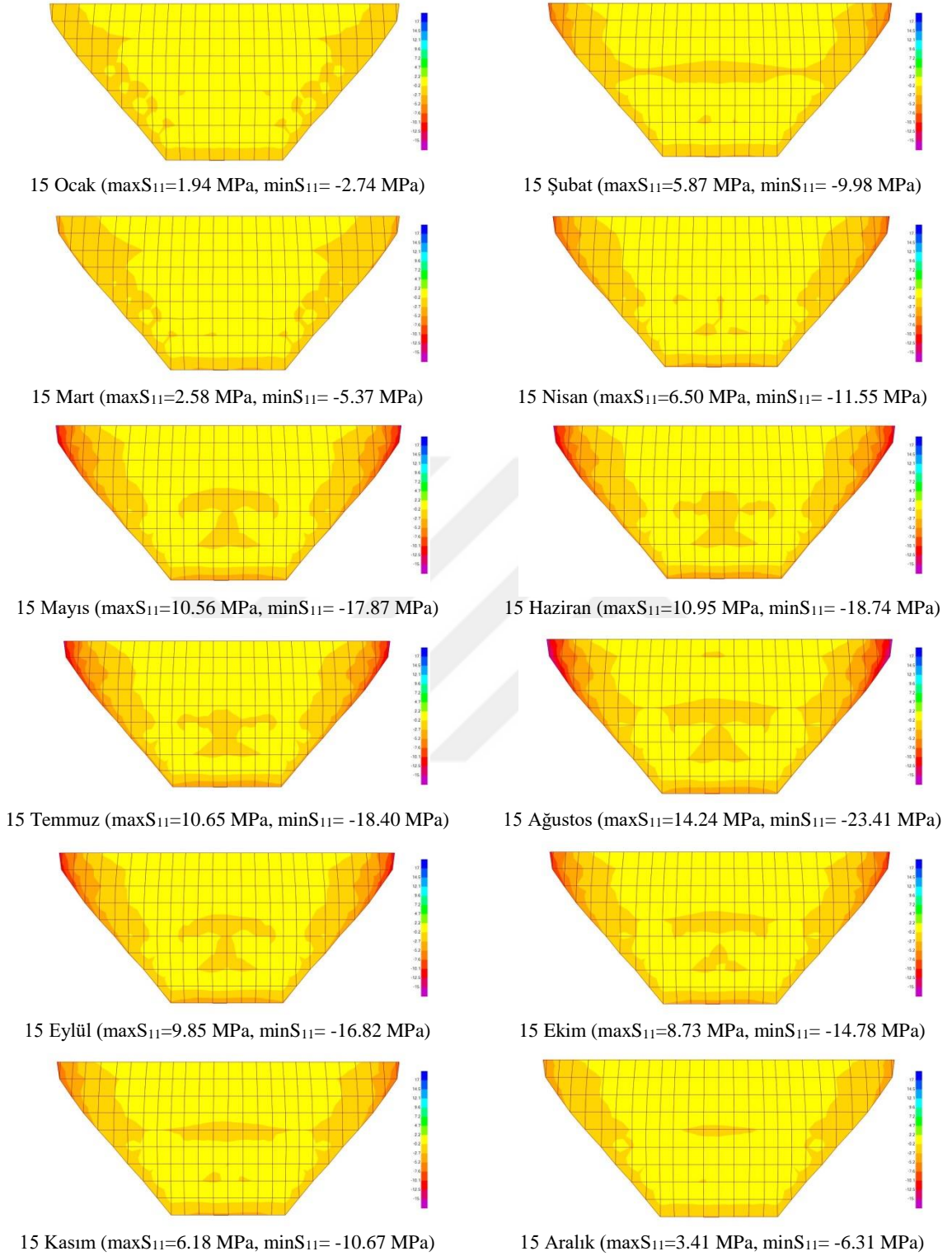


Şekil 3.42 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mamba yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

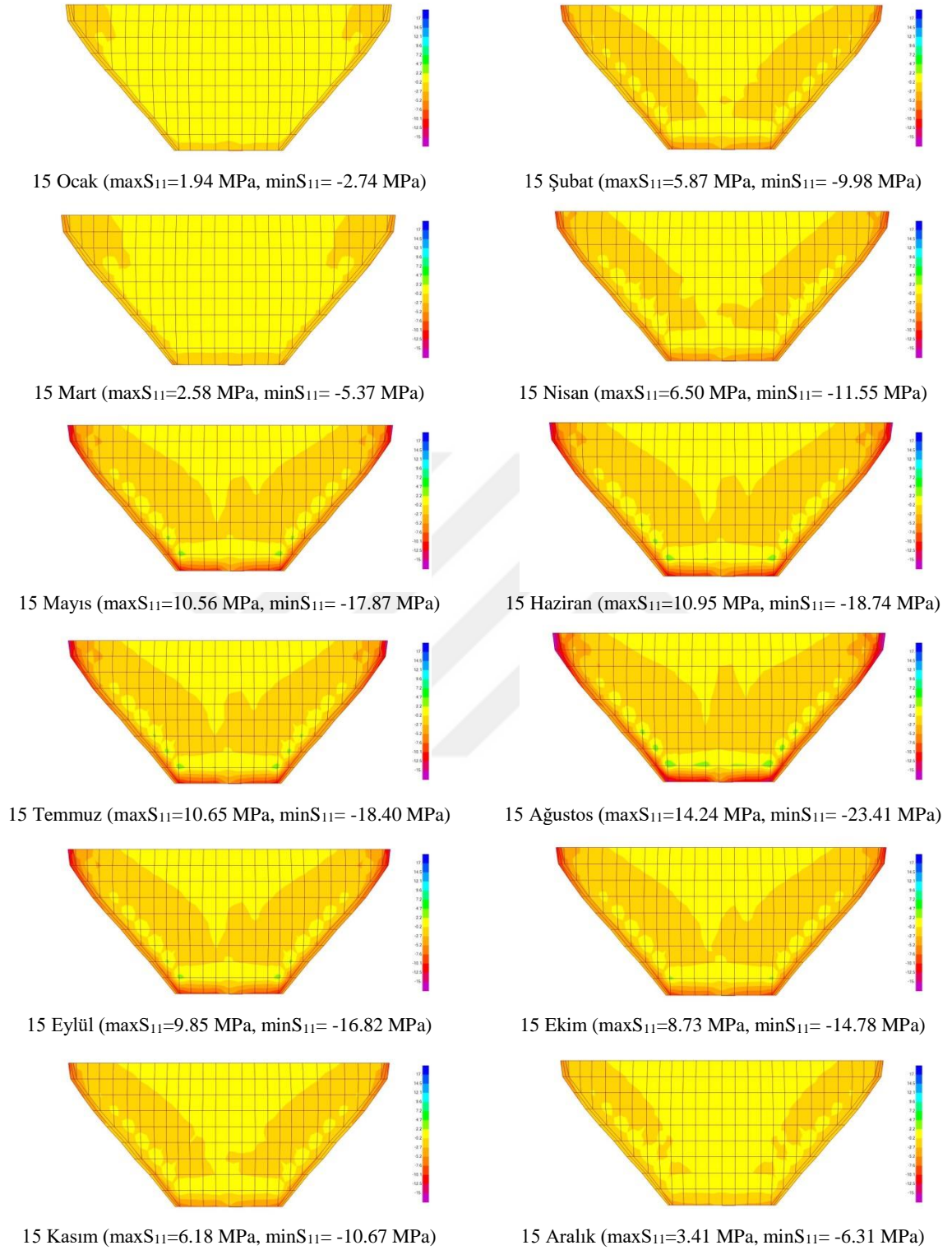




Şekil 3.43 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

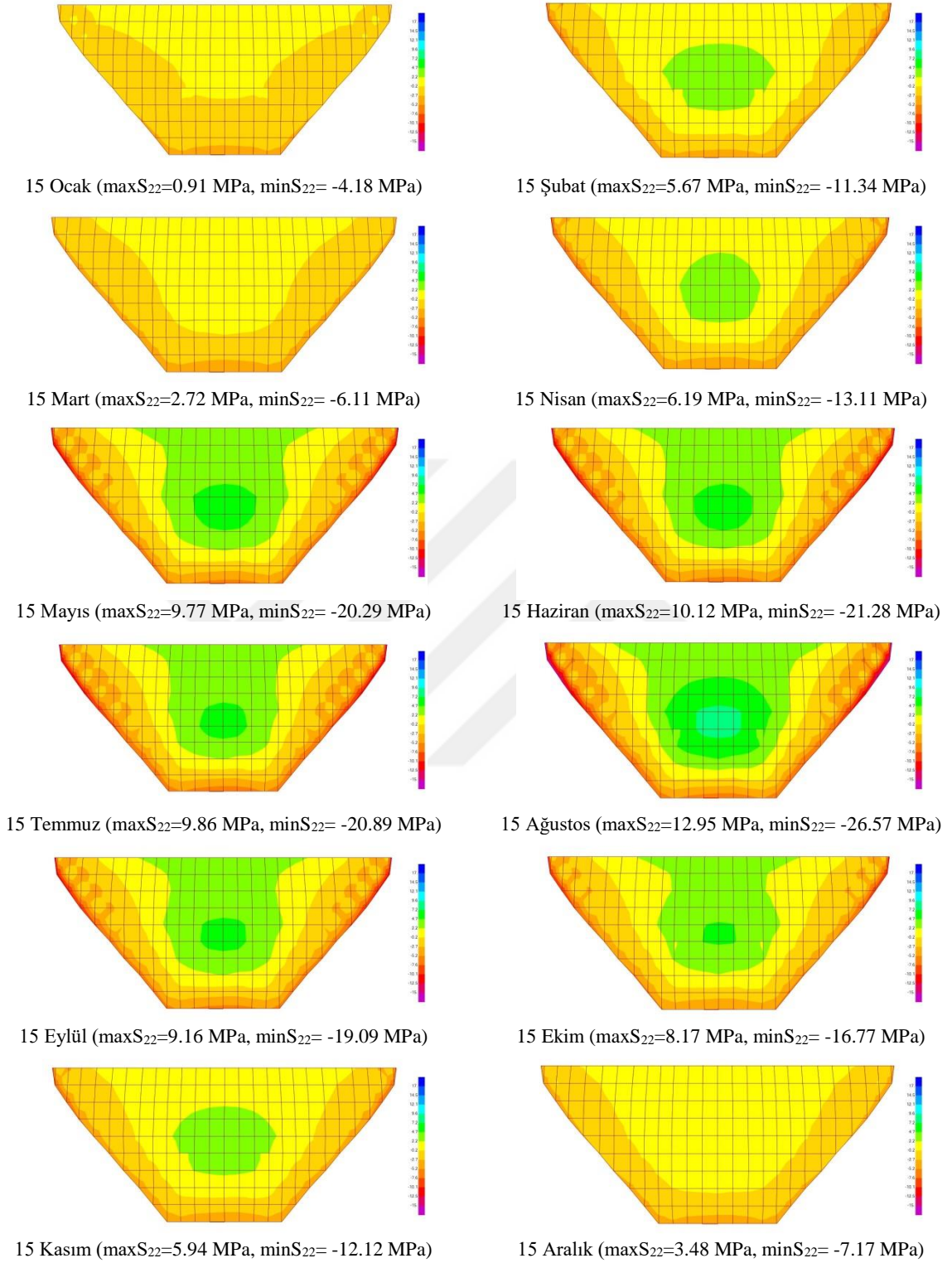


Şekil 3.44 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mamba yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

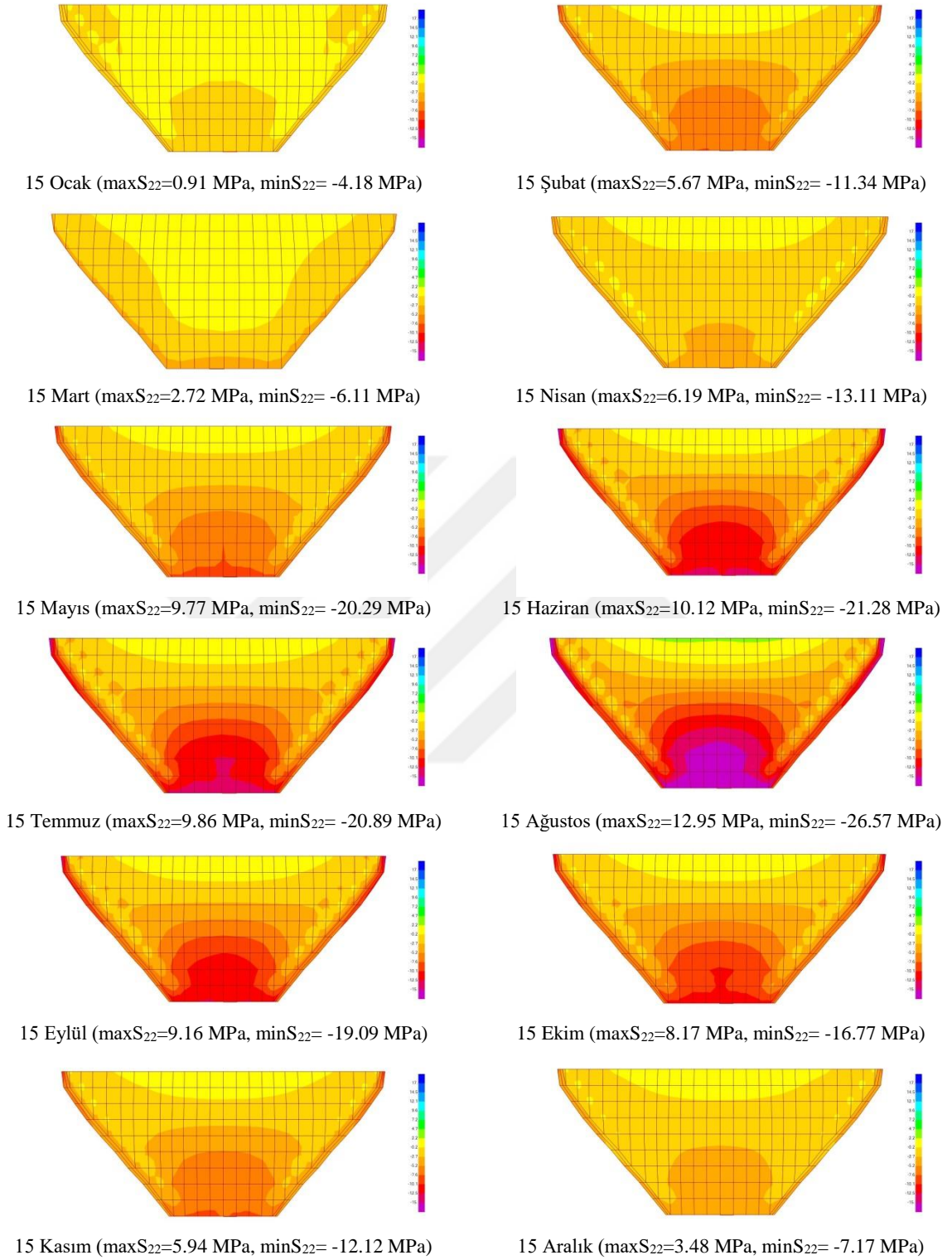


Şekil 3.45 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

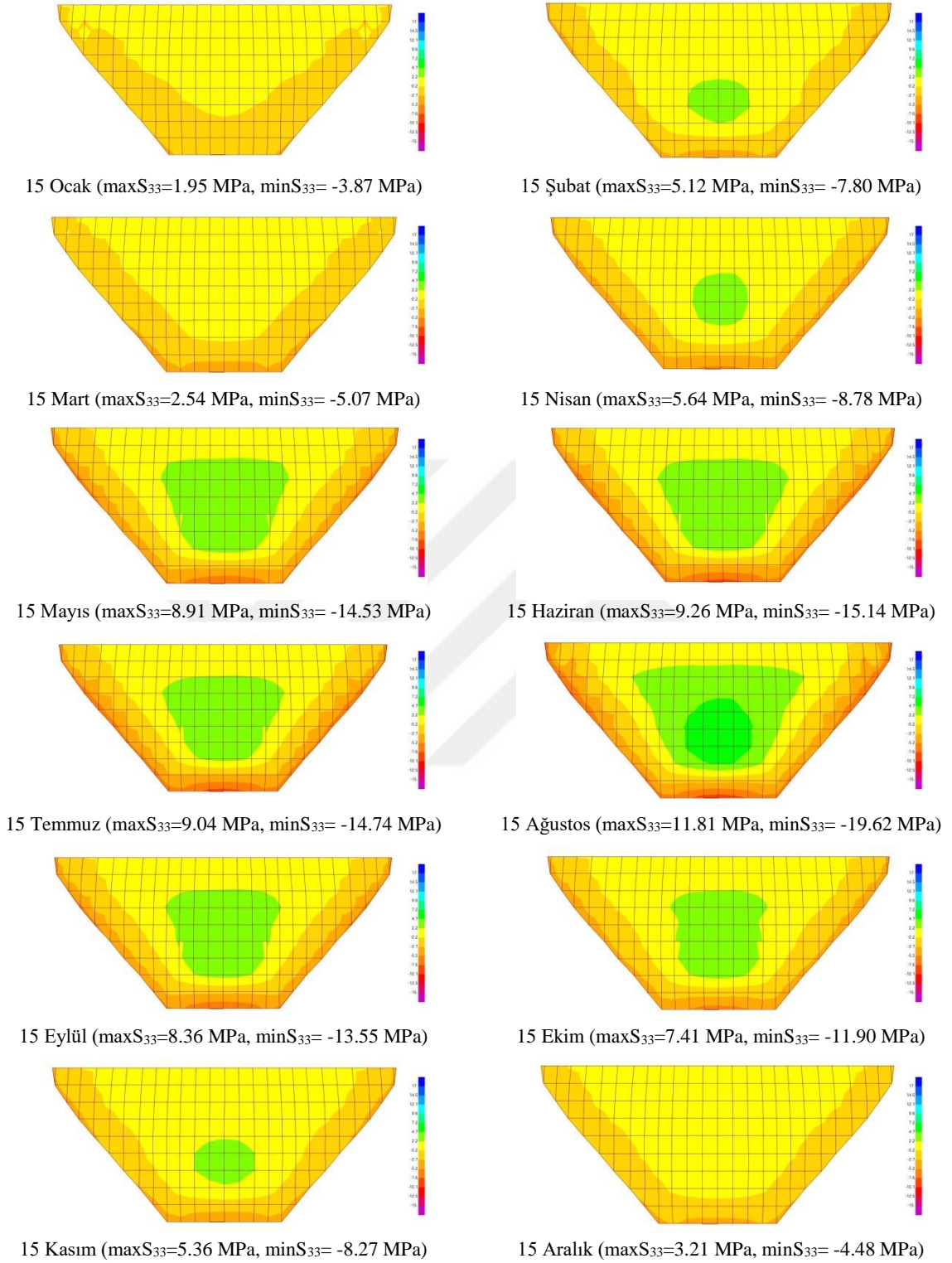




Şekil 3.46 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mamba yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

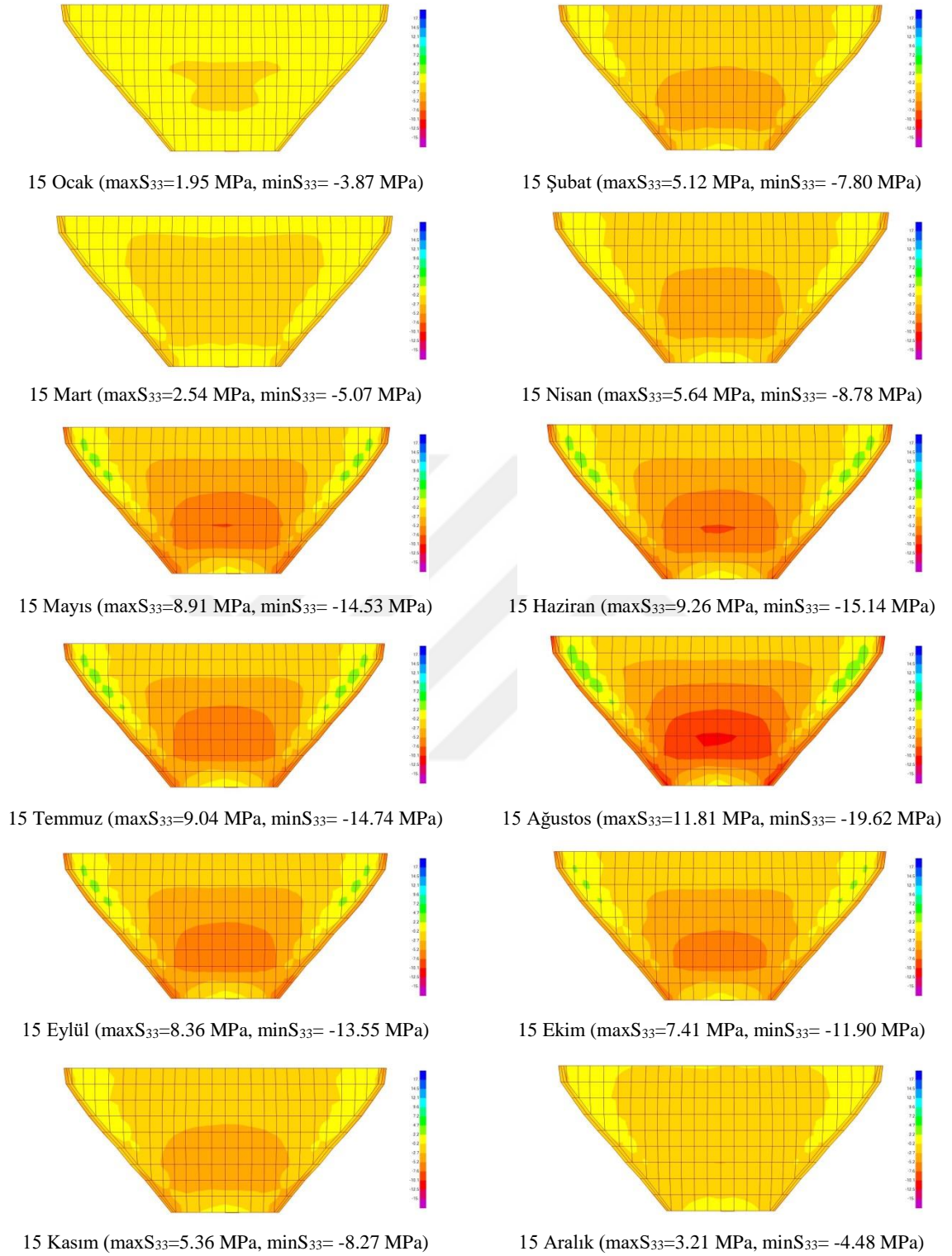


Şekil 3.47 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

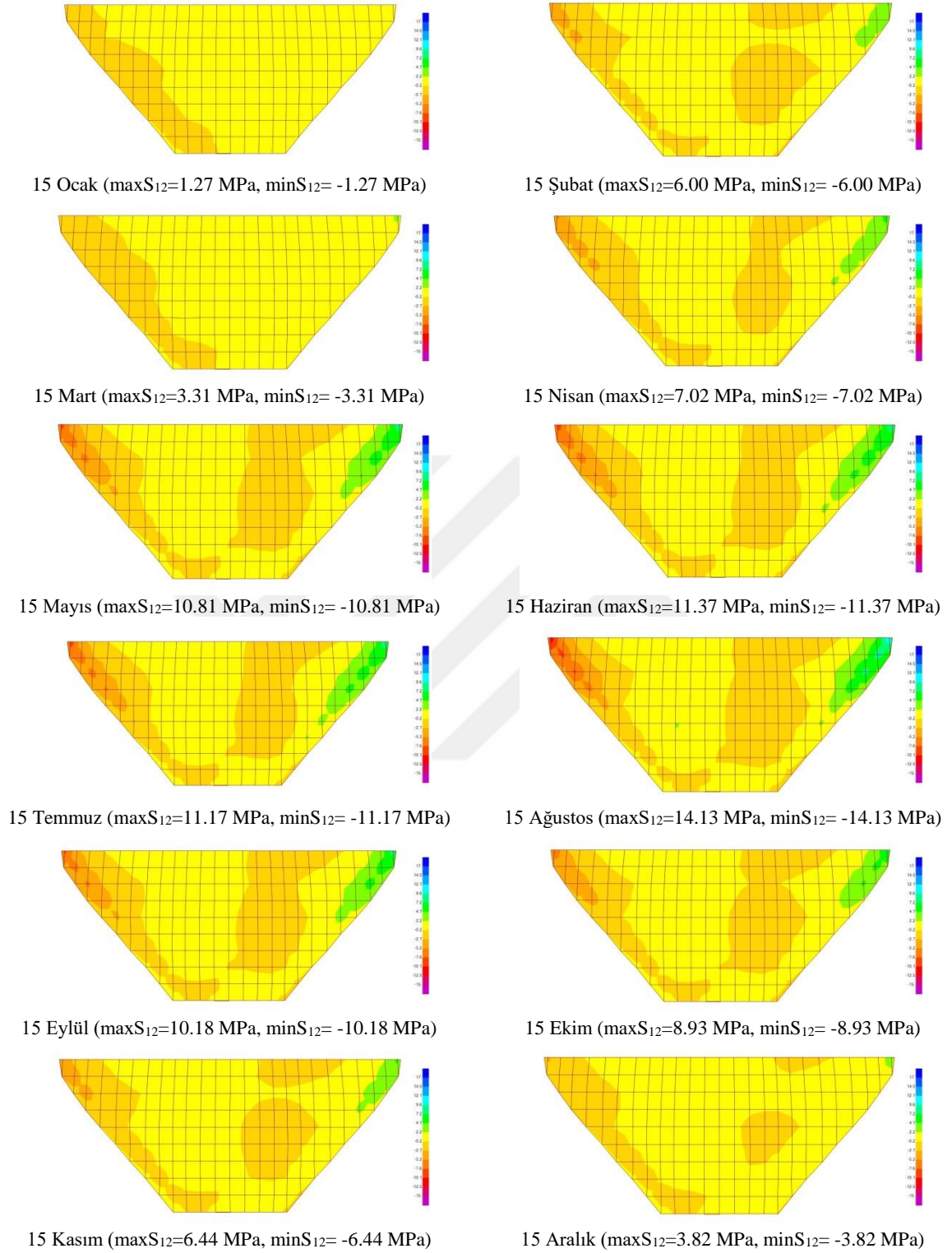


Şekil 3.48 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mamba yüzeyi  $S_{33}$  gerilmeleri



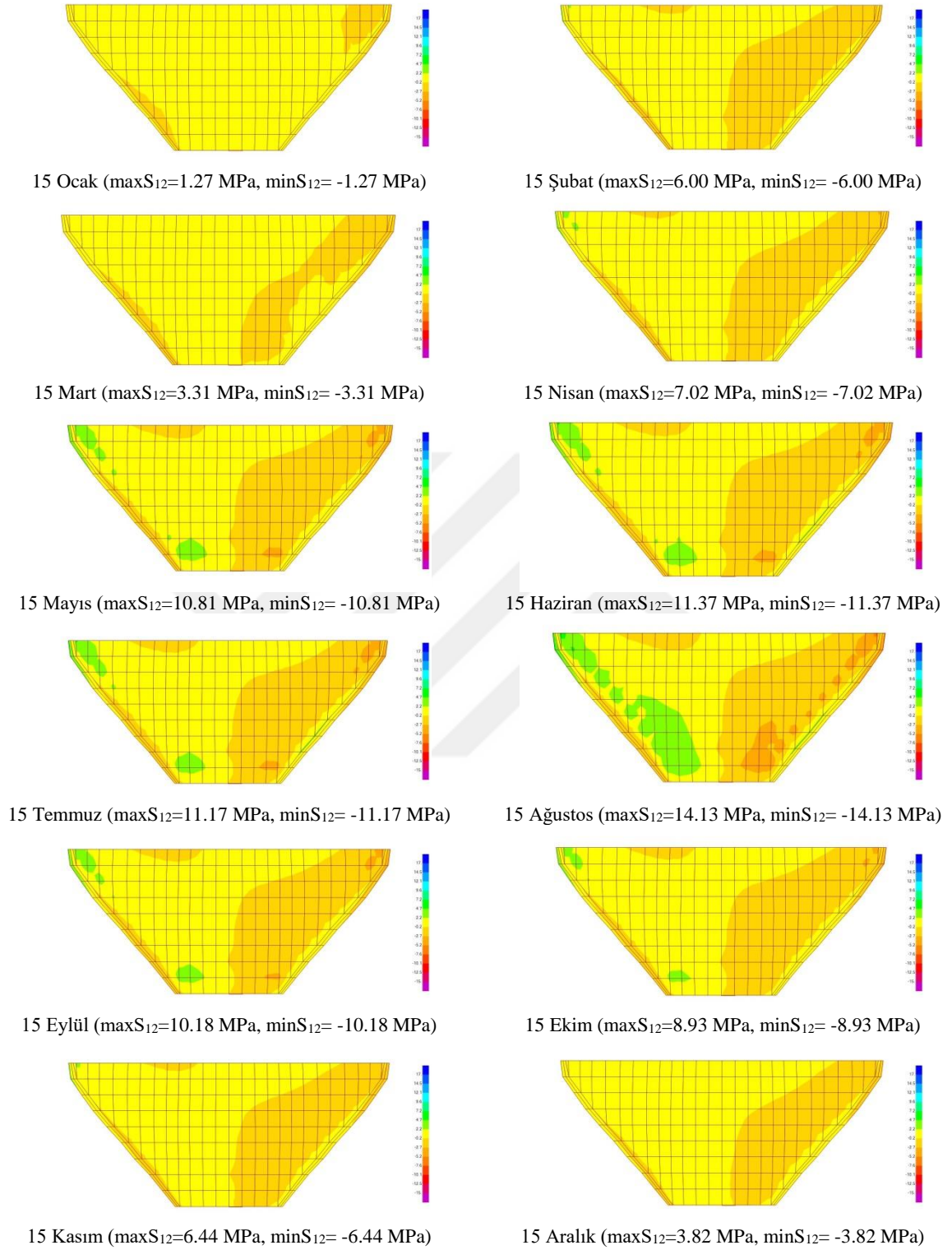


Şekil 3.49 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi  $S_{33}$  gerilmeleri

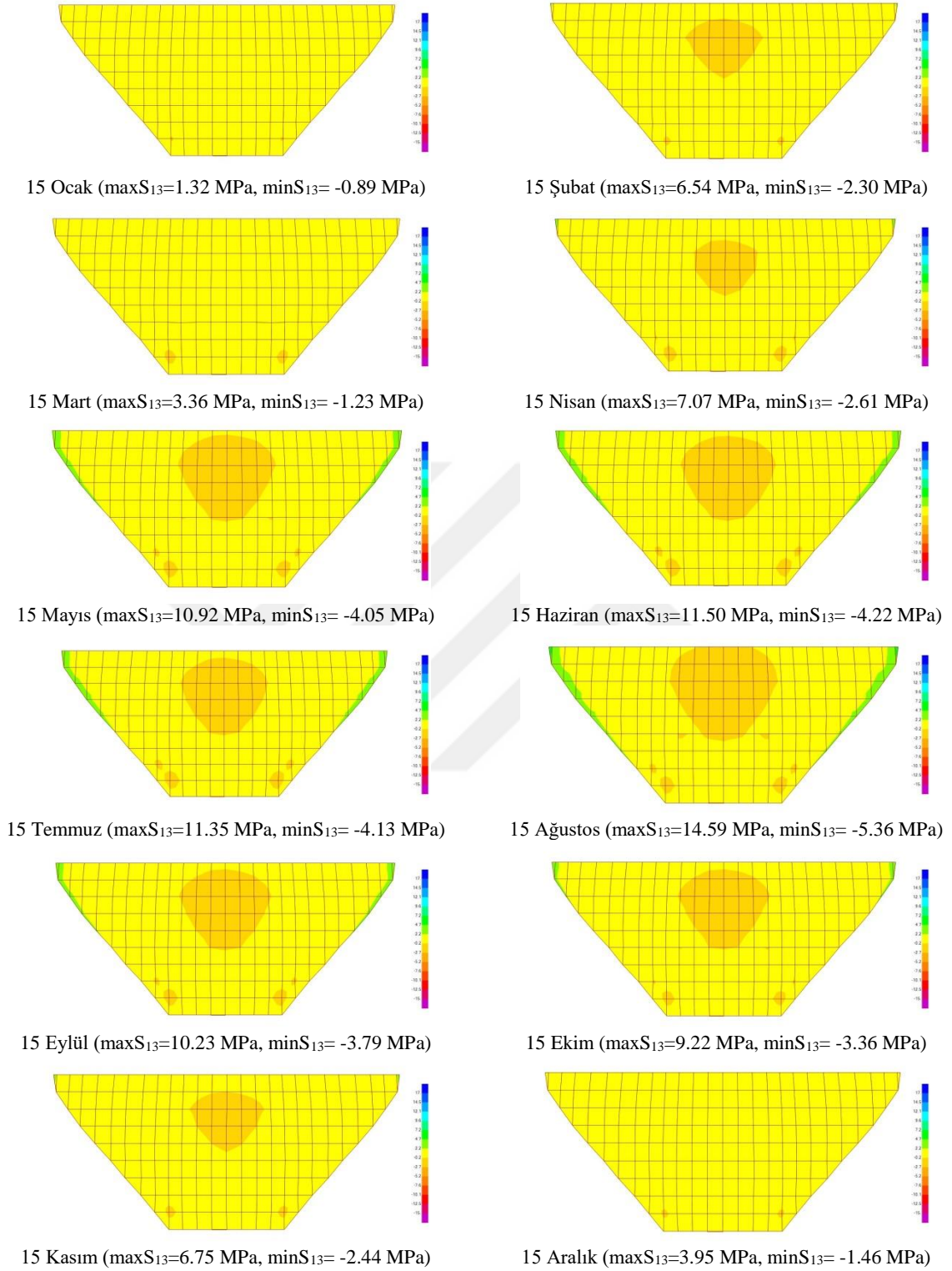


Şekil 3.50 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mamba yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

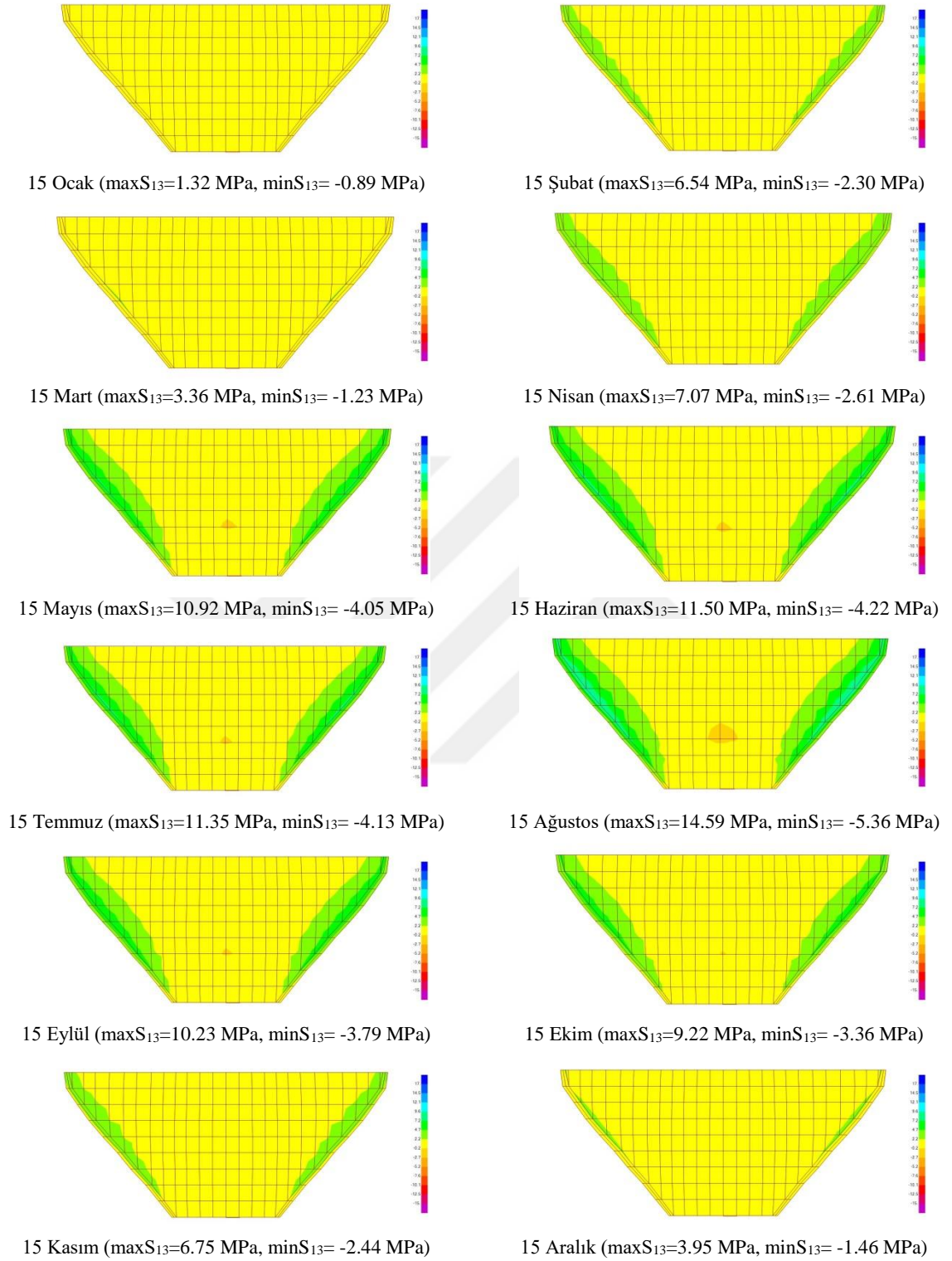




Şekil 3.51 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

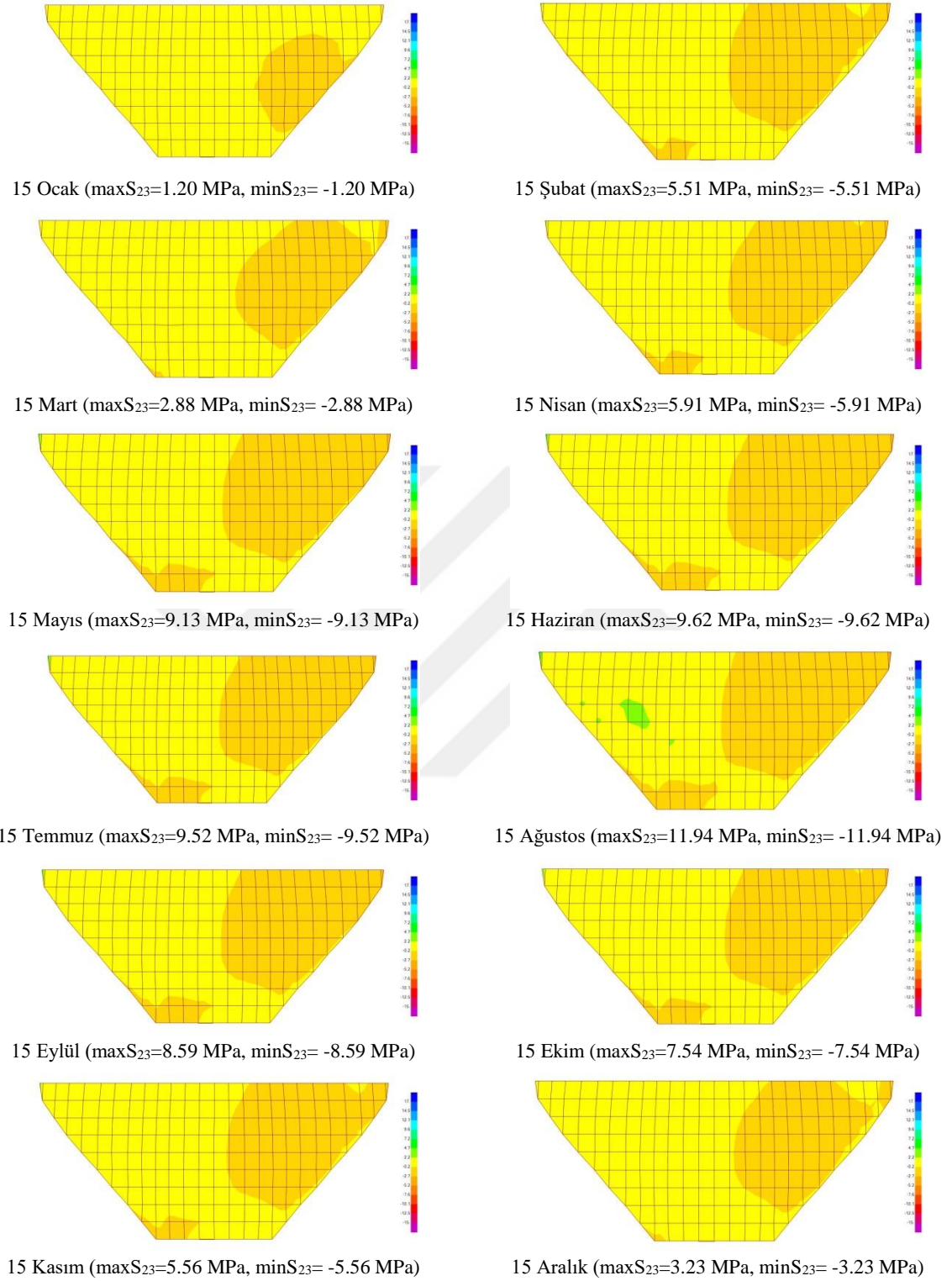


Şekil 3.52 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri

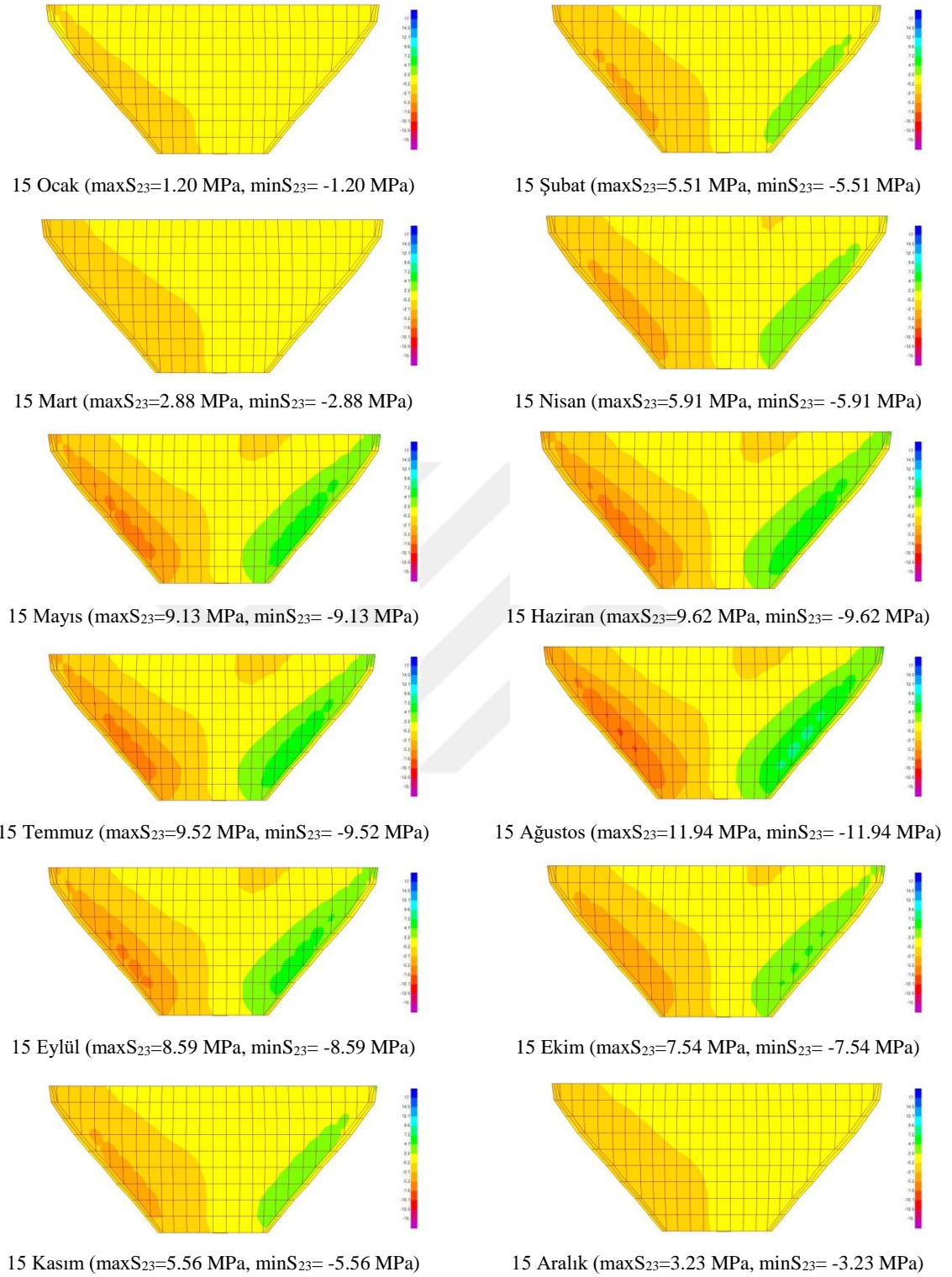


Şekil 3.53 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri

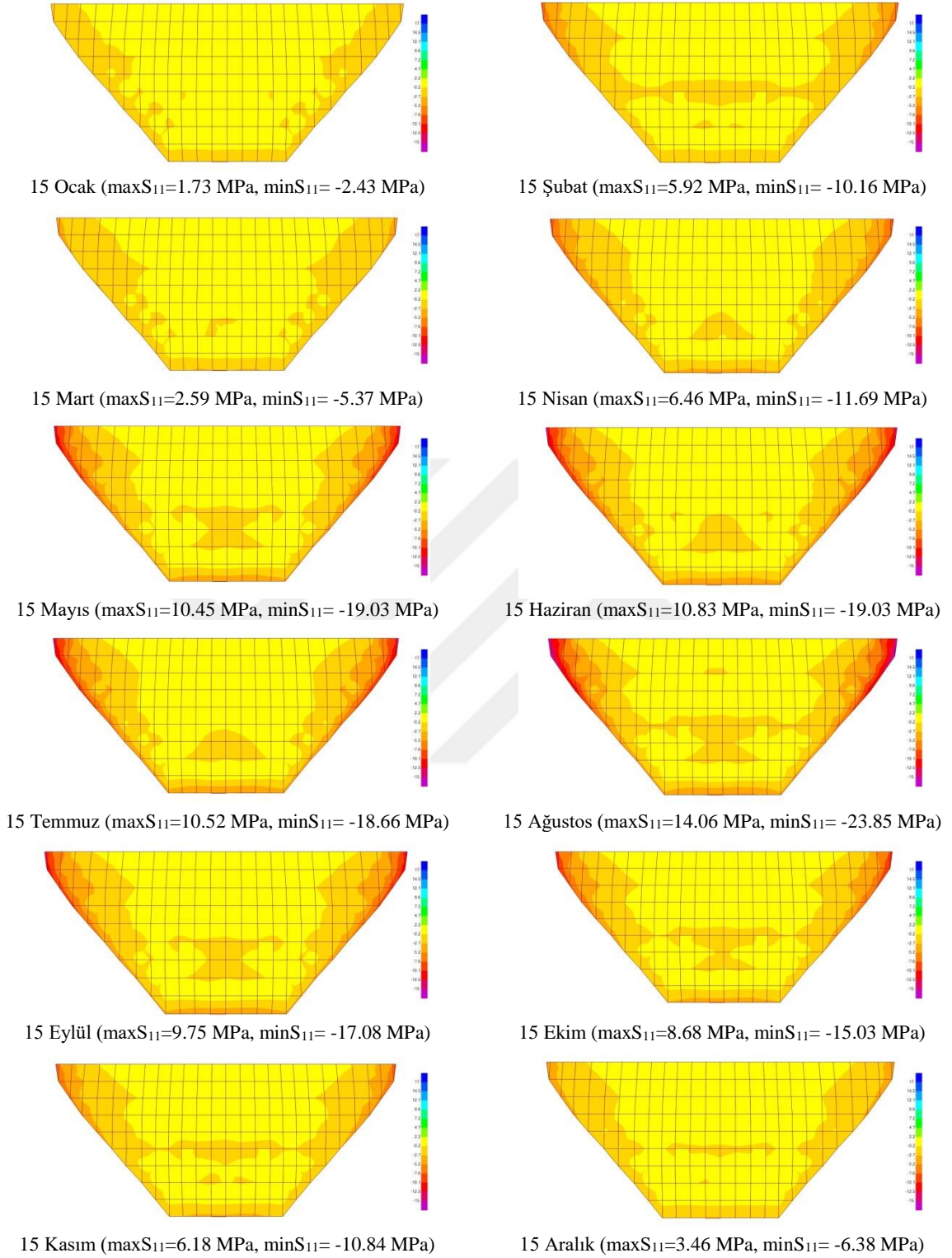




Şekil 3.54 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mamba yüzeyi S<sub>23</sub> gerilmeleri

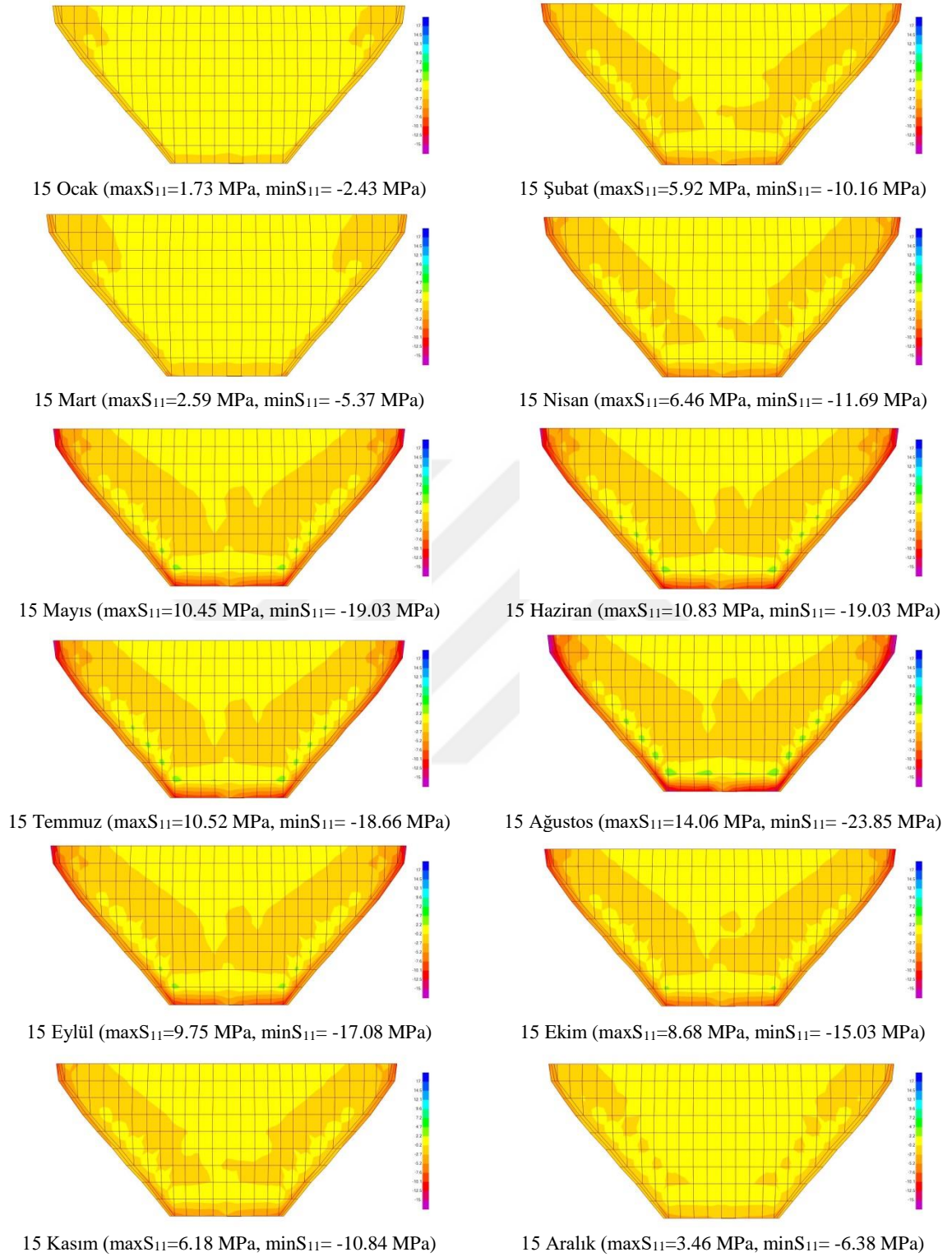


Şekil 3.55 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

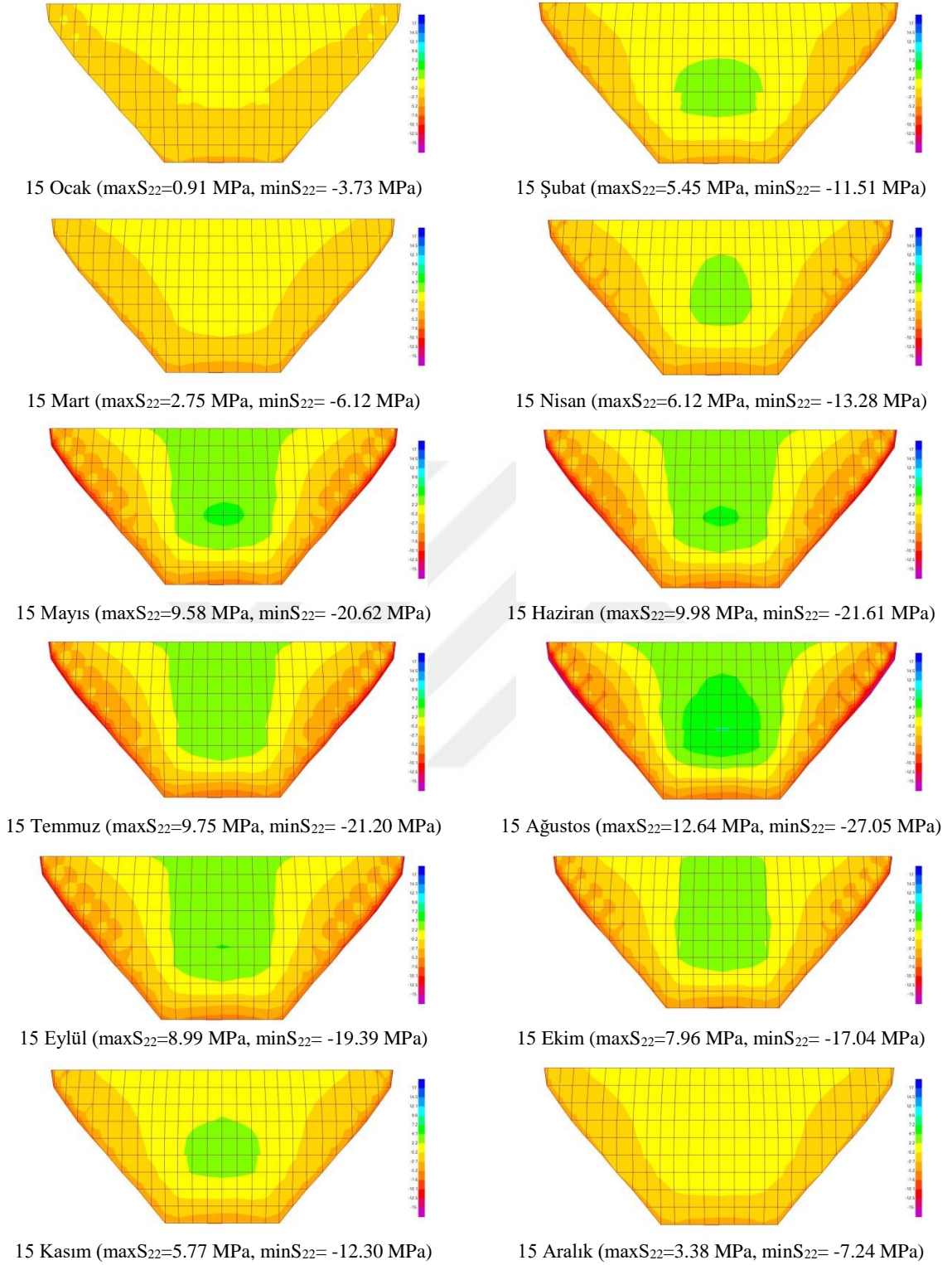


Şekil 3.56 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri



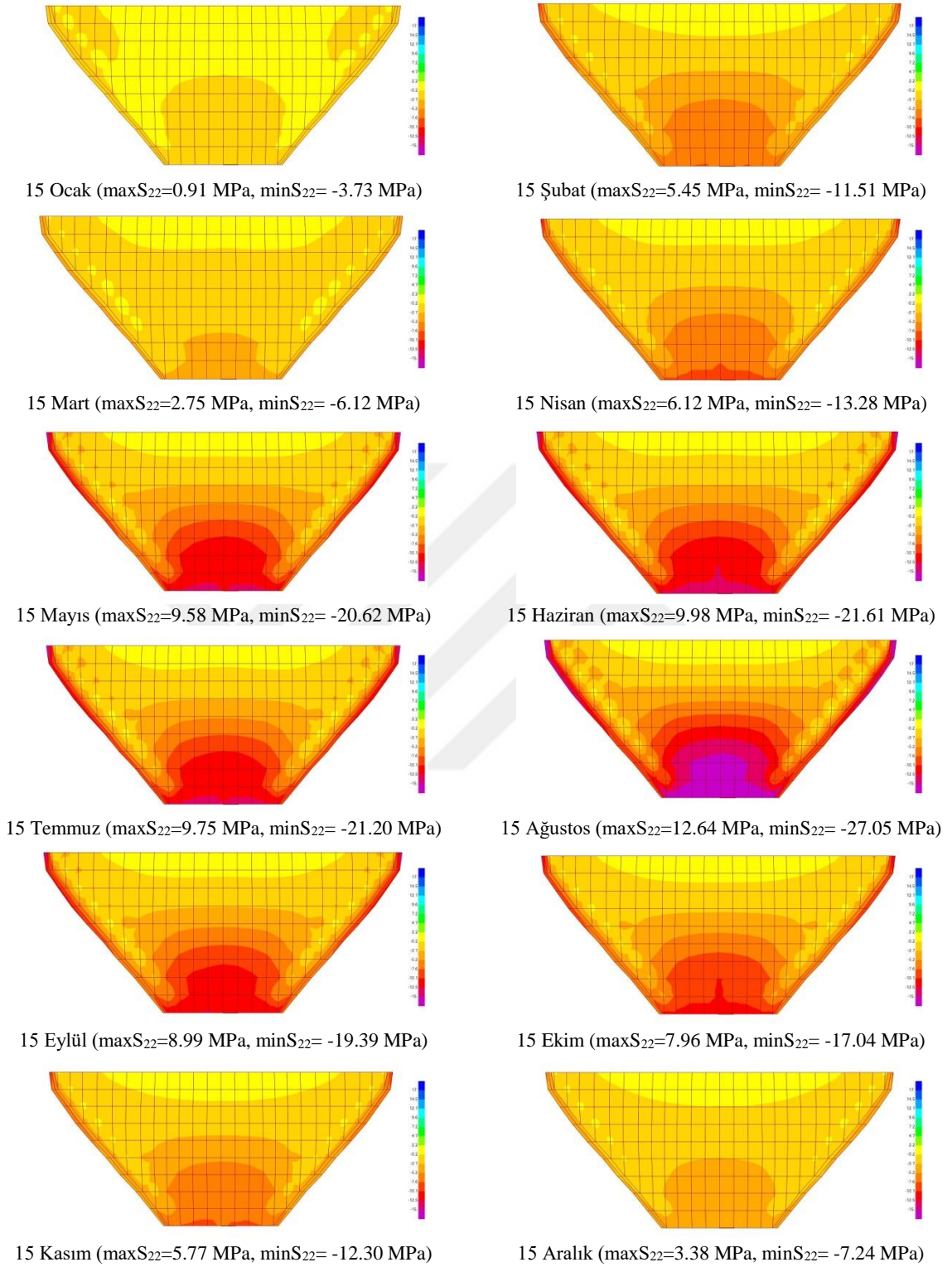


Şekil 3.57 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

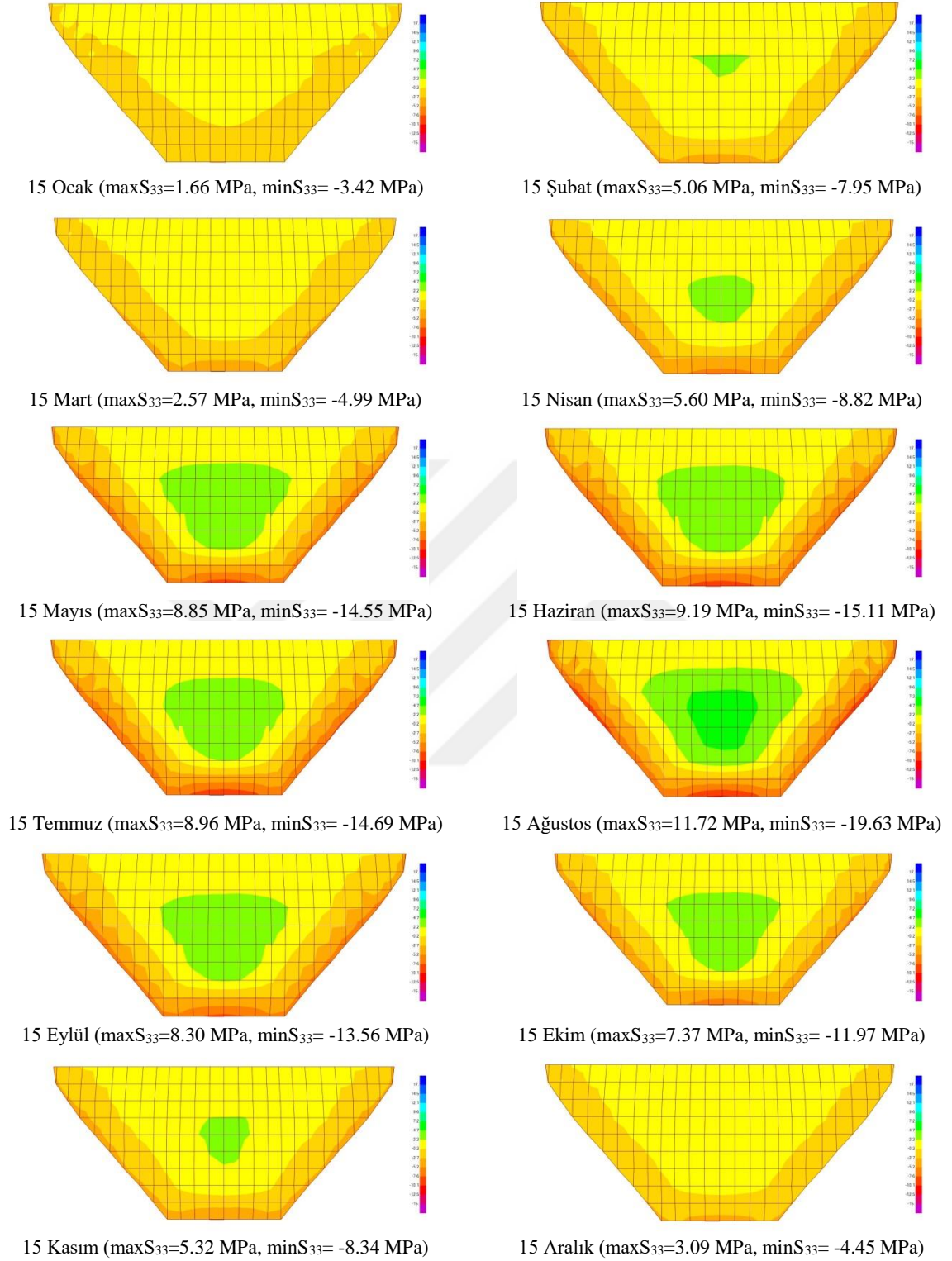


Şekil 3.58 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

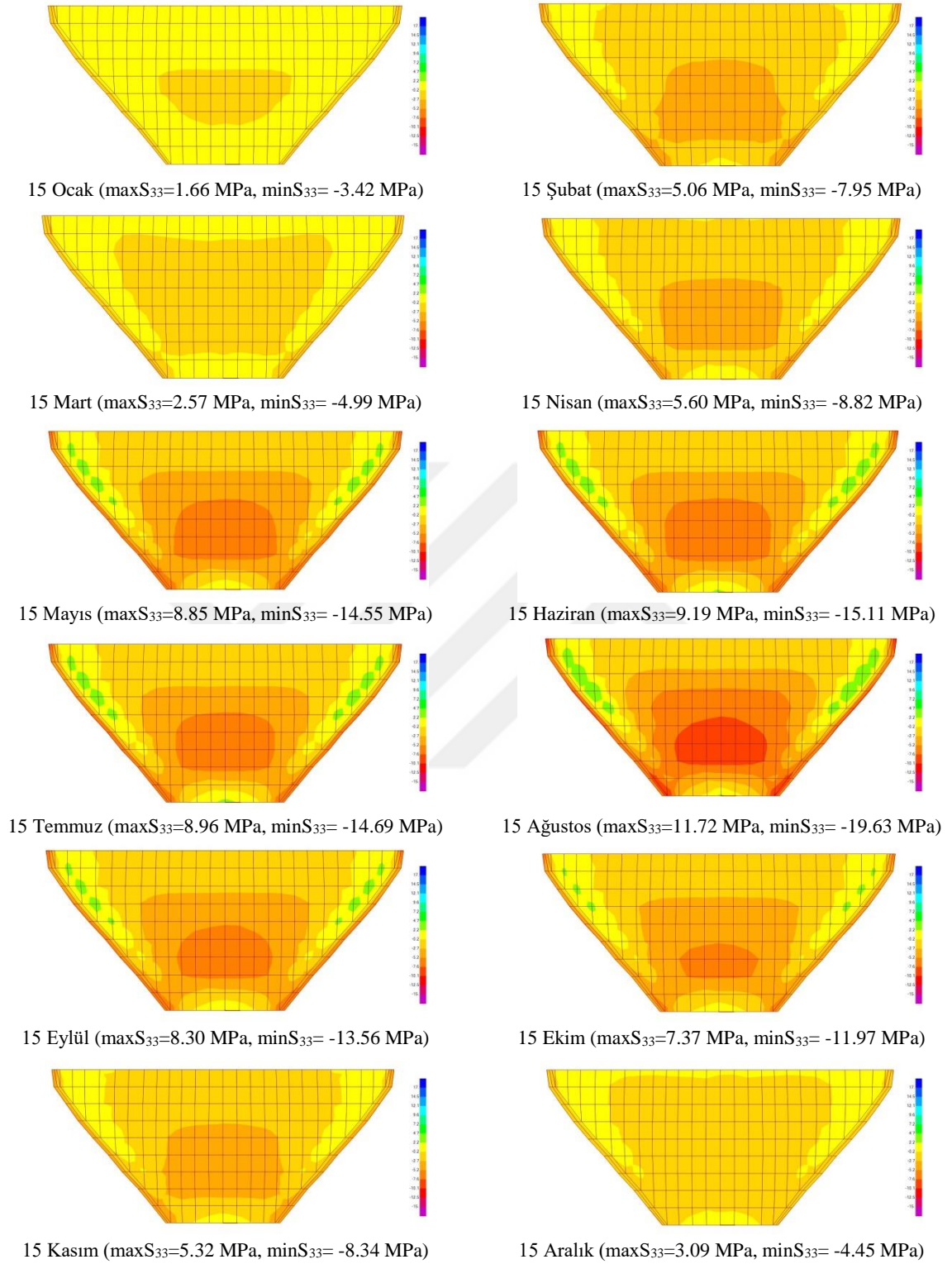




Şekil 3.59 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

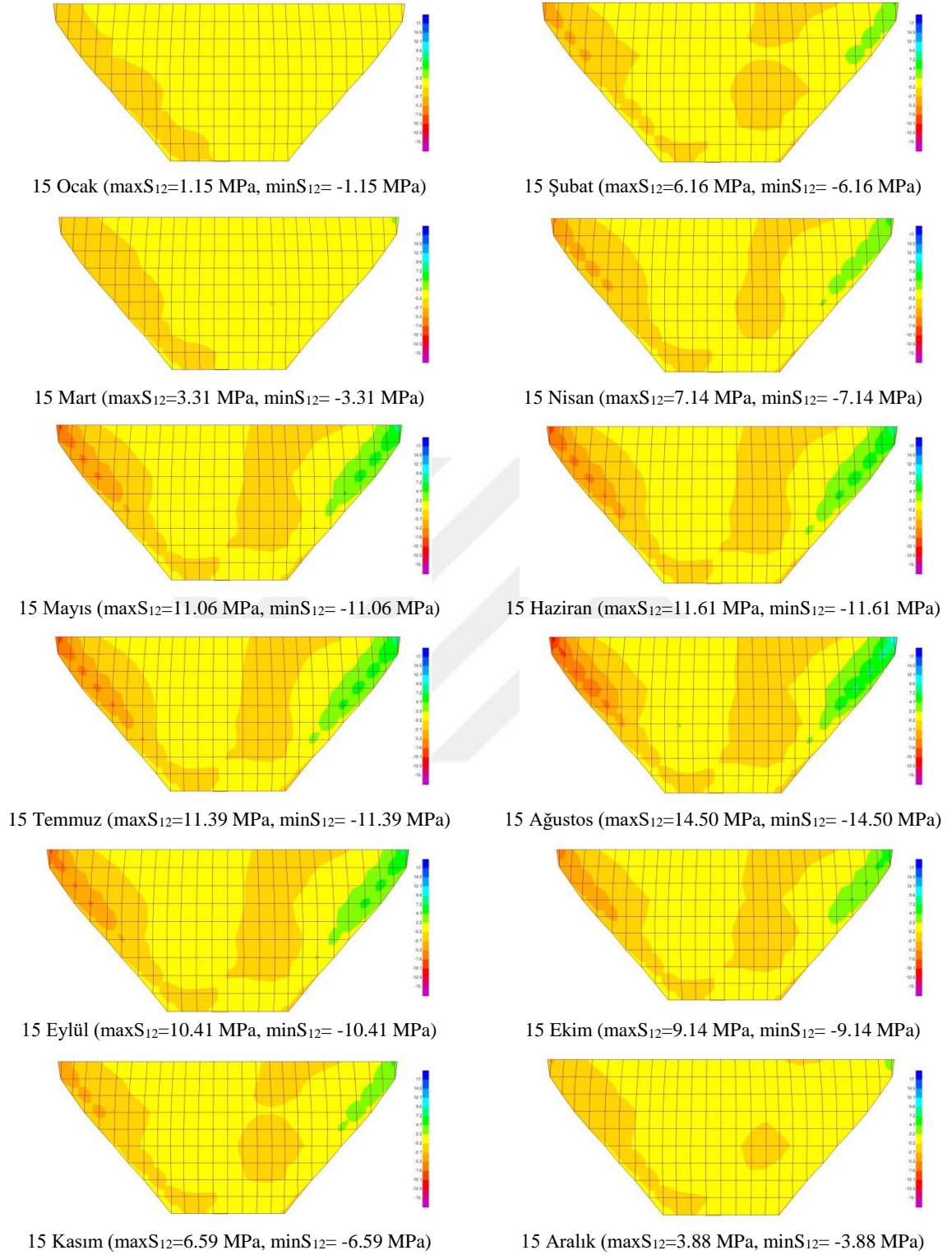


Şekil 3.60 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri

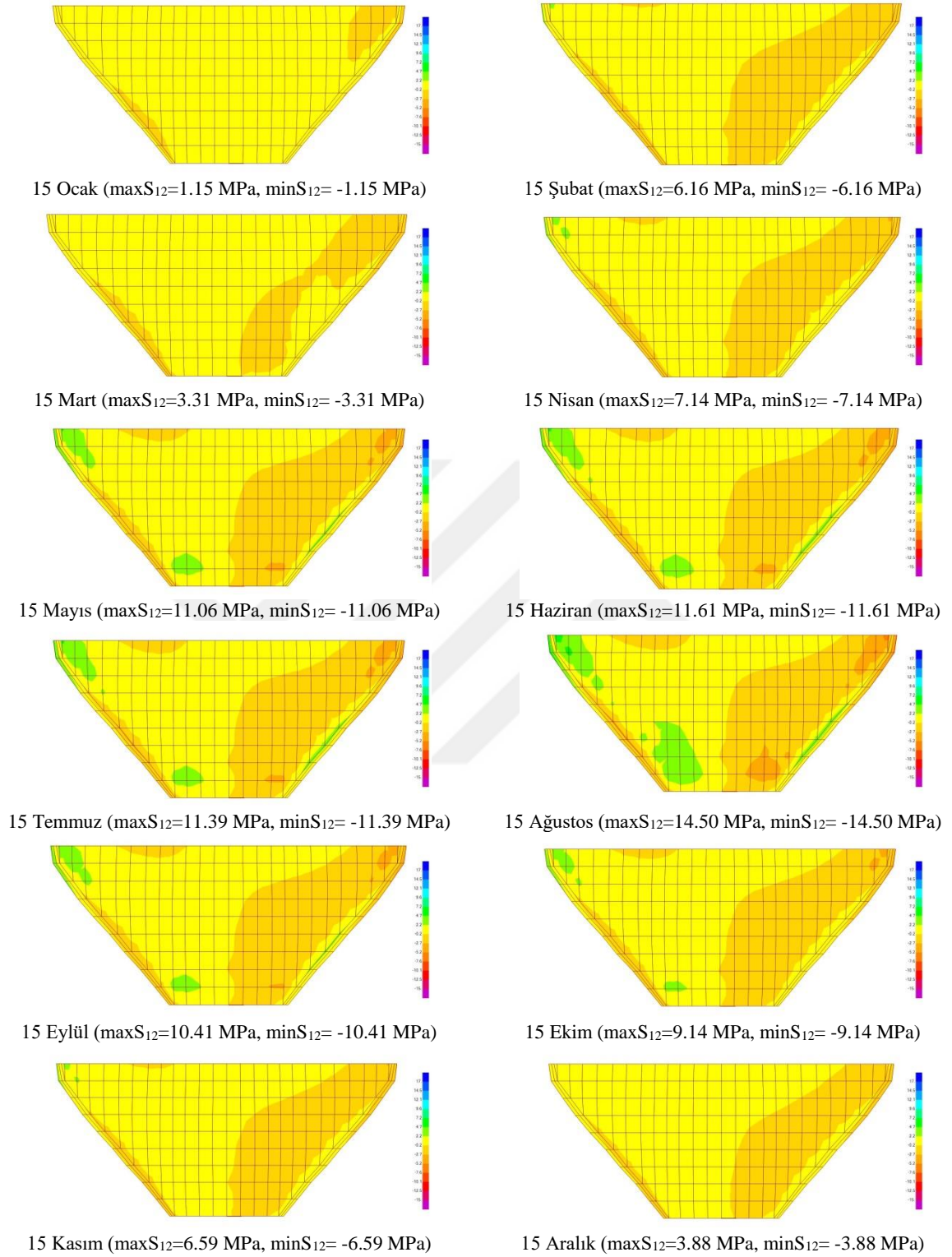


Şekil 3.61 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri

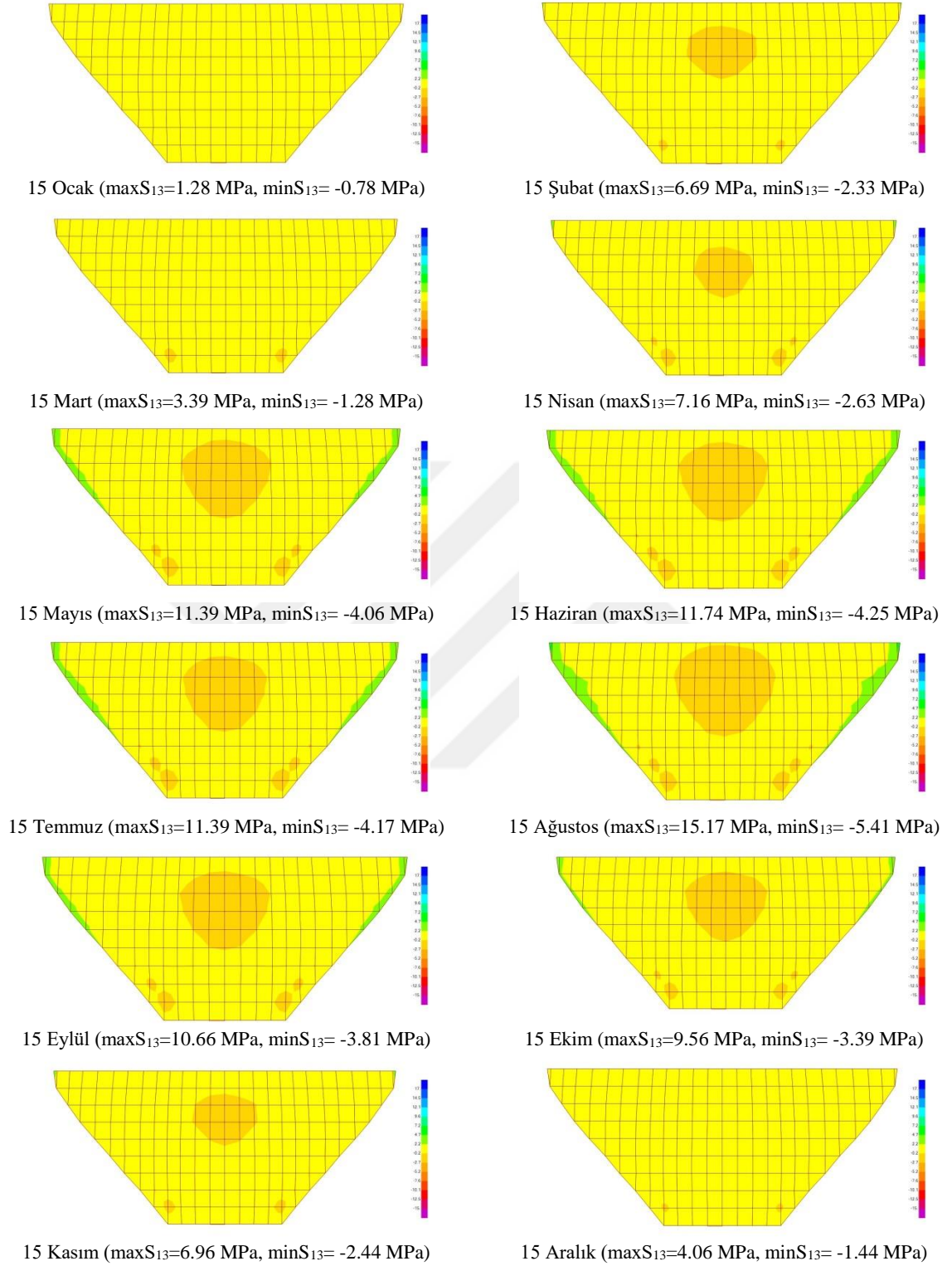




Şekil 3.62 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mamba yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

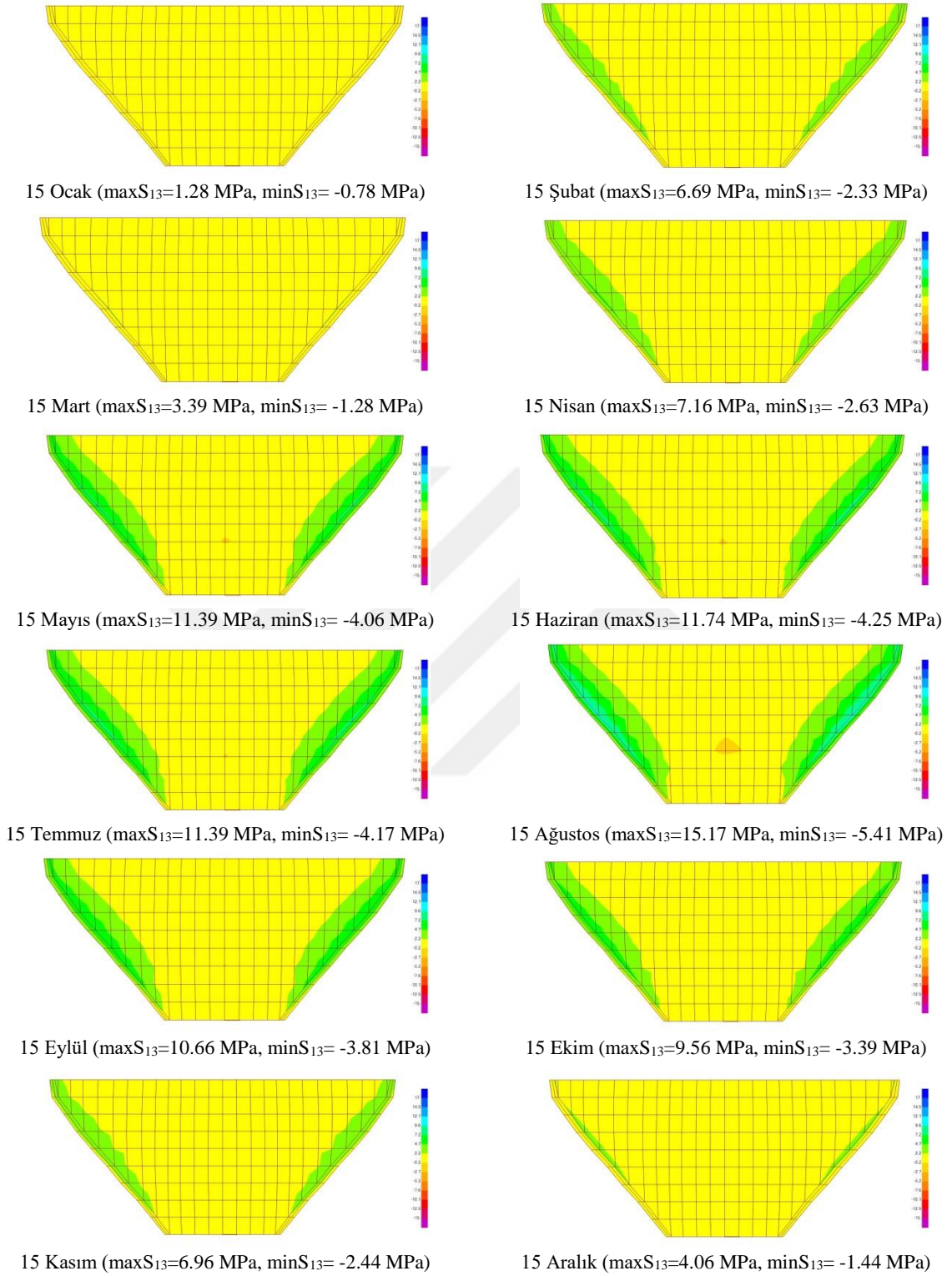


Şekil 3.63 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri



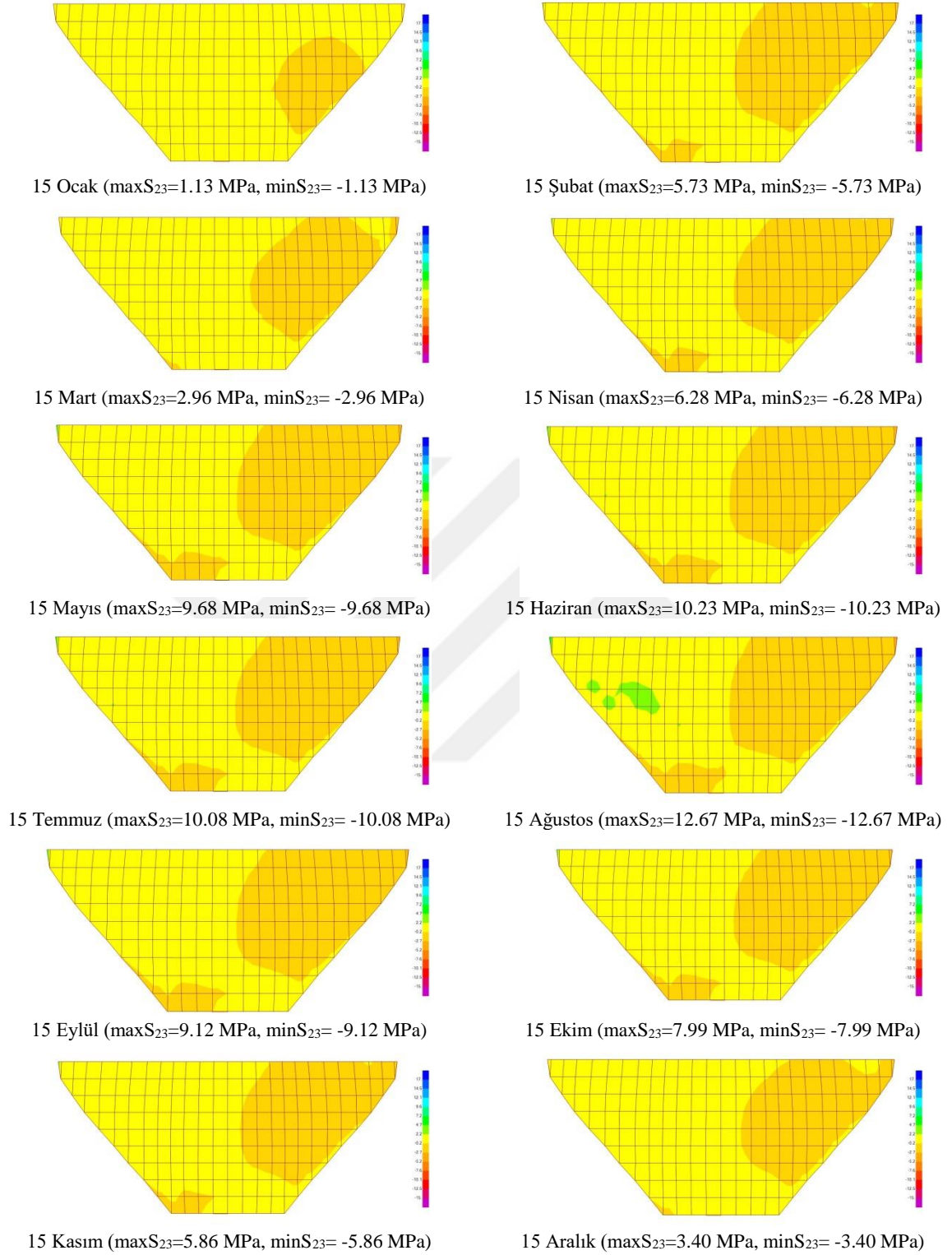
Şekil 3.64 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mamba yüzeyi  $S_{13}$  gerilmeleri



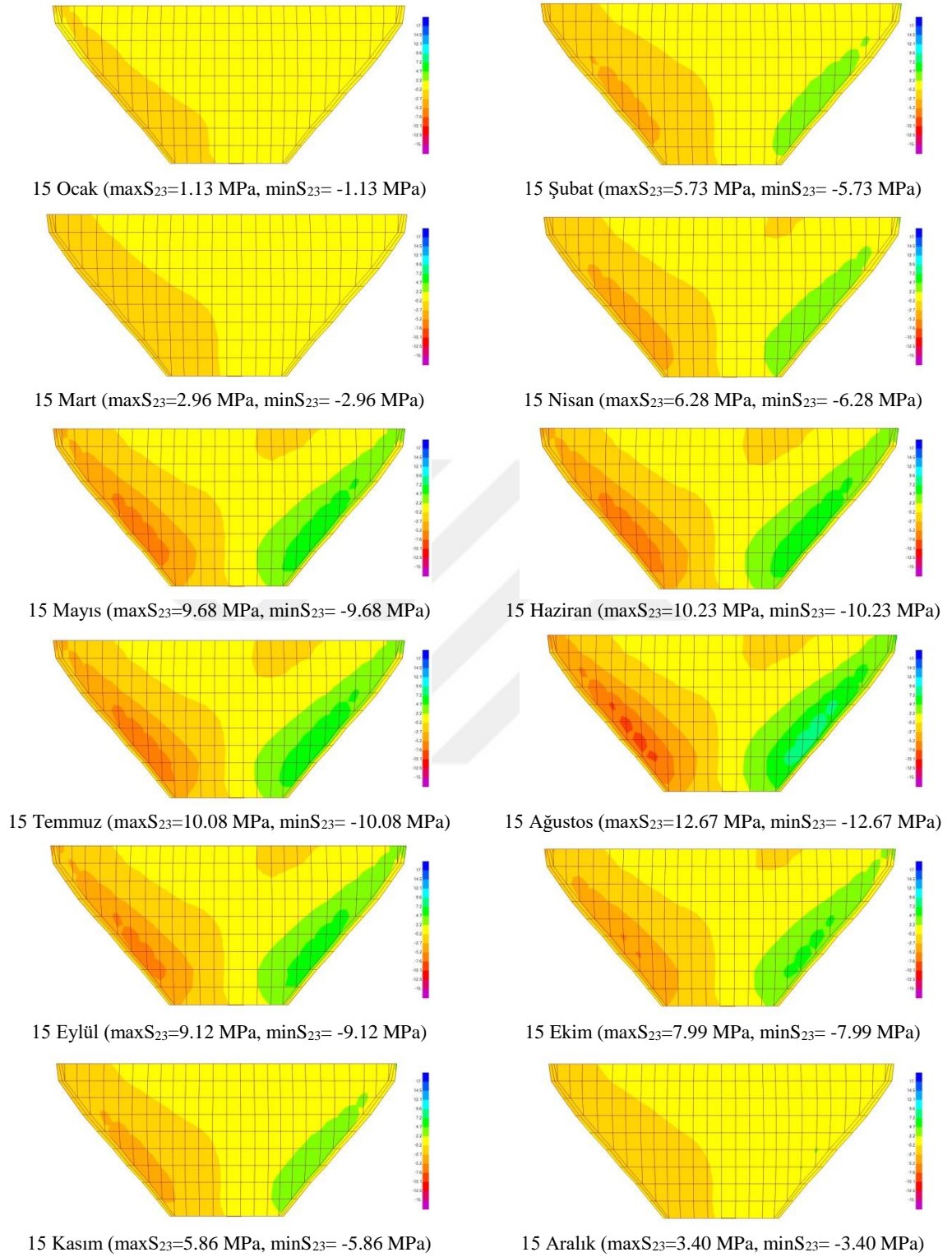


Şekil 3.65 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri

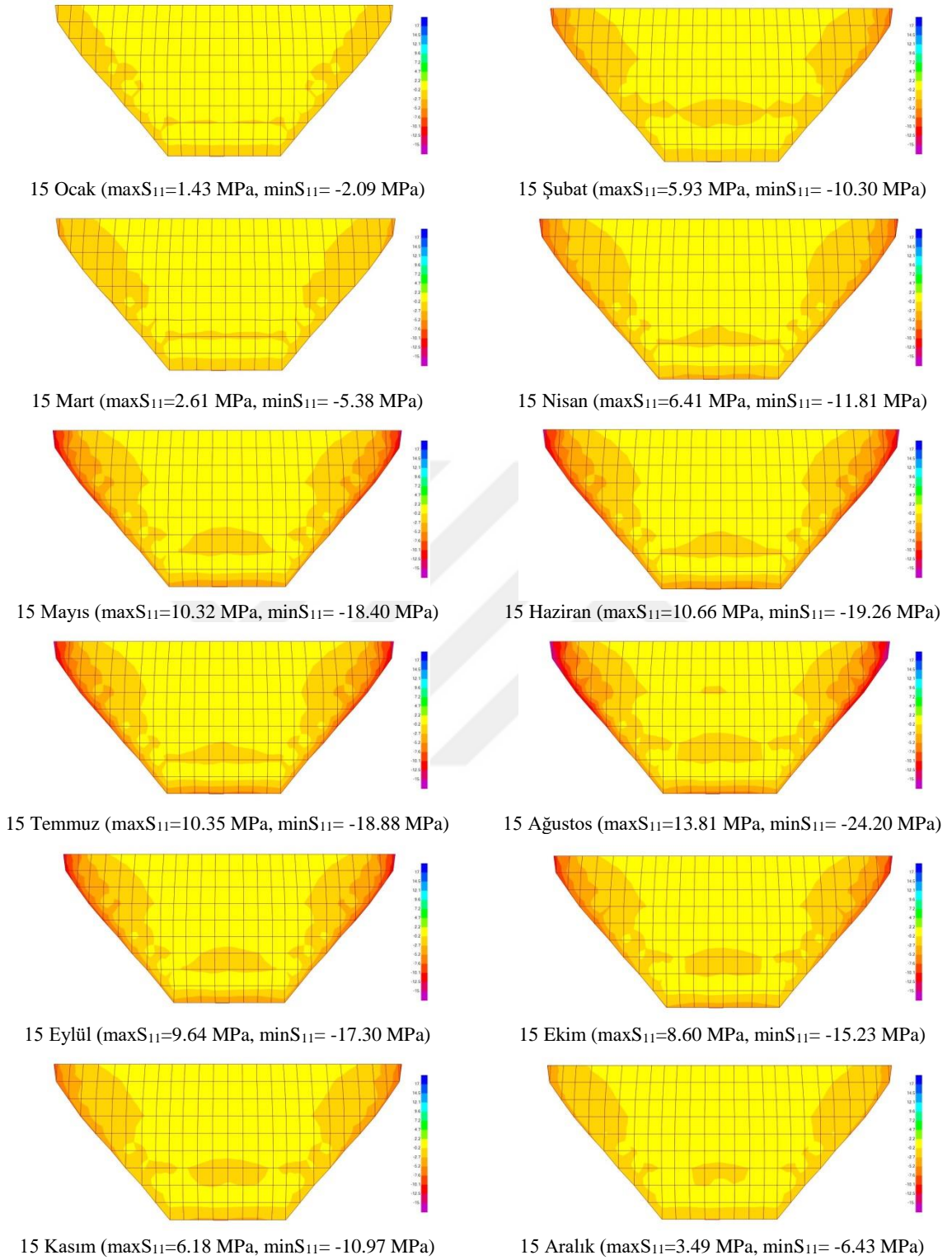




Şekil 3.66 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mamba yüzeyi S<sub>23</sub> gerilmeleri

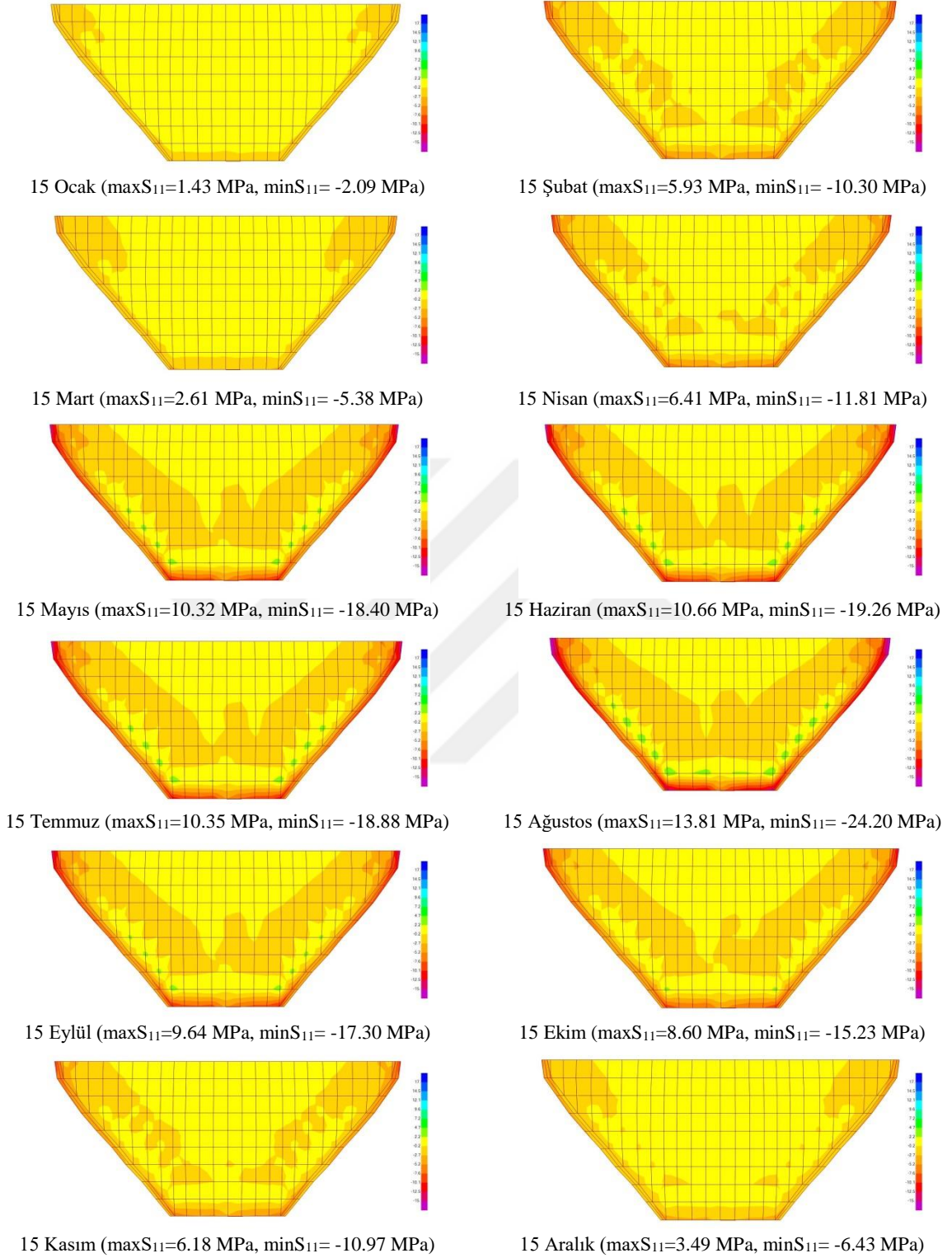


Şekil 3.67 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi S<sub>23</sub> gerilmeleri

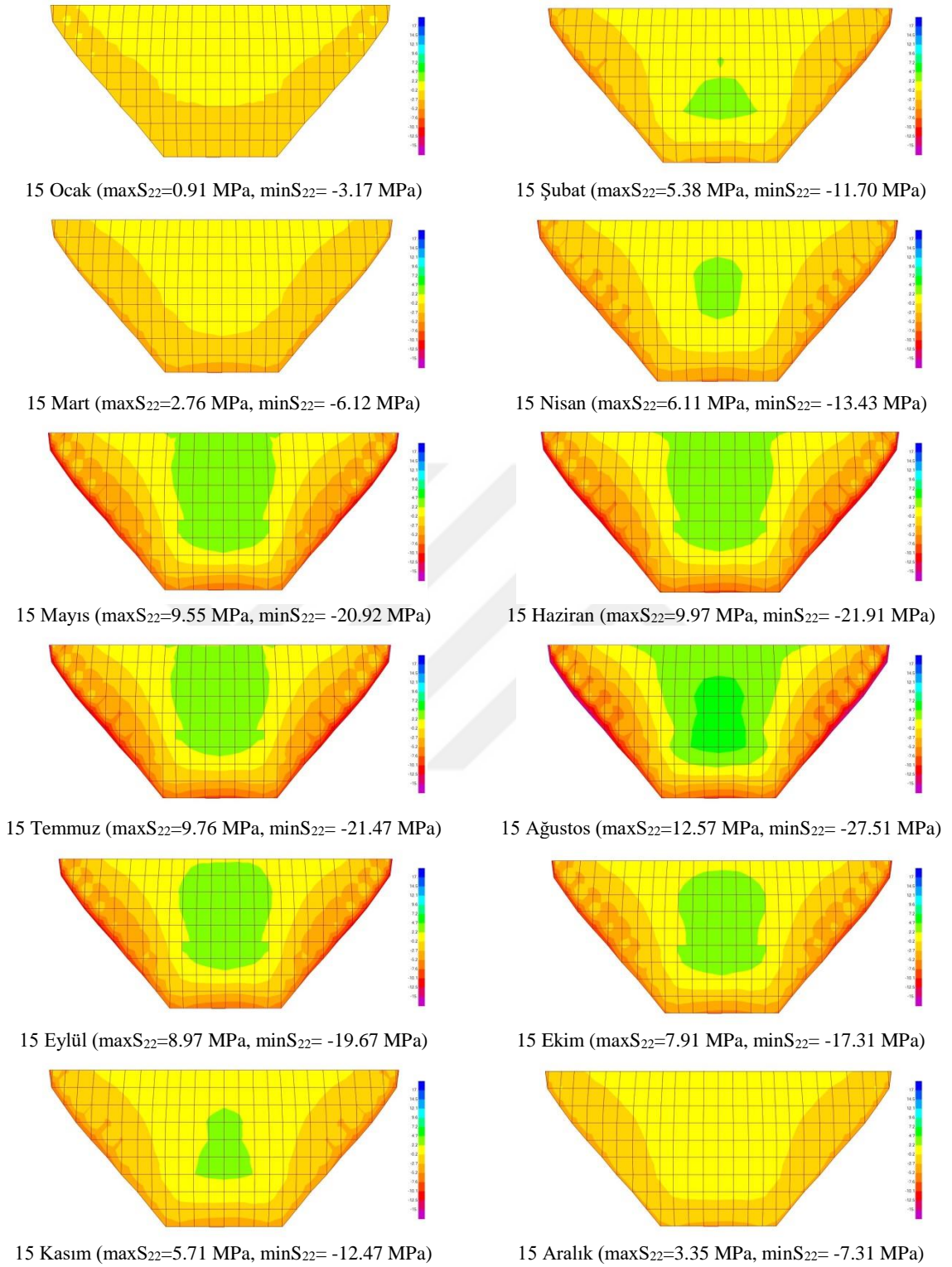


Şekil 3.68 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

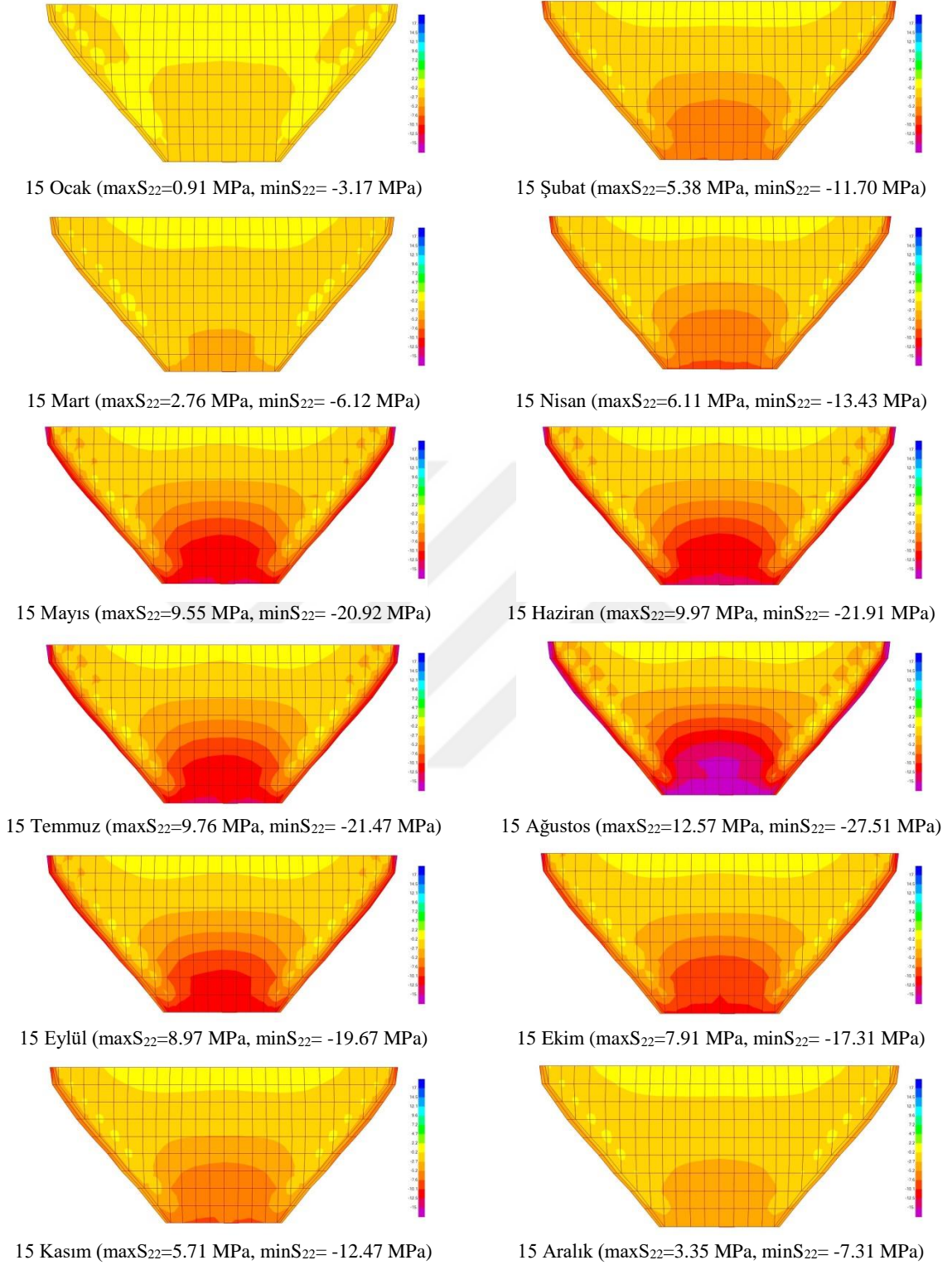




Şekil 3.69 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

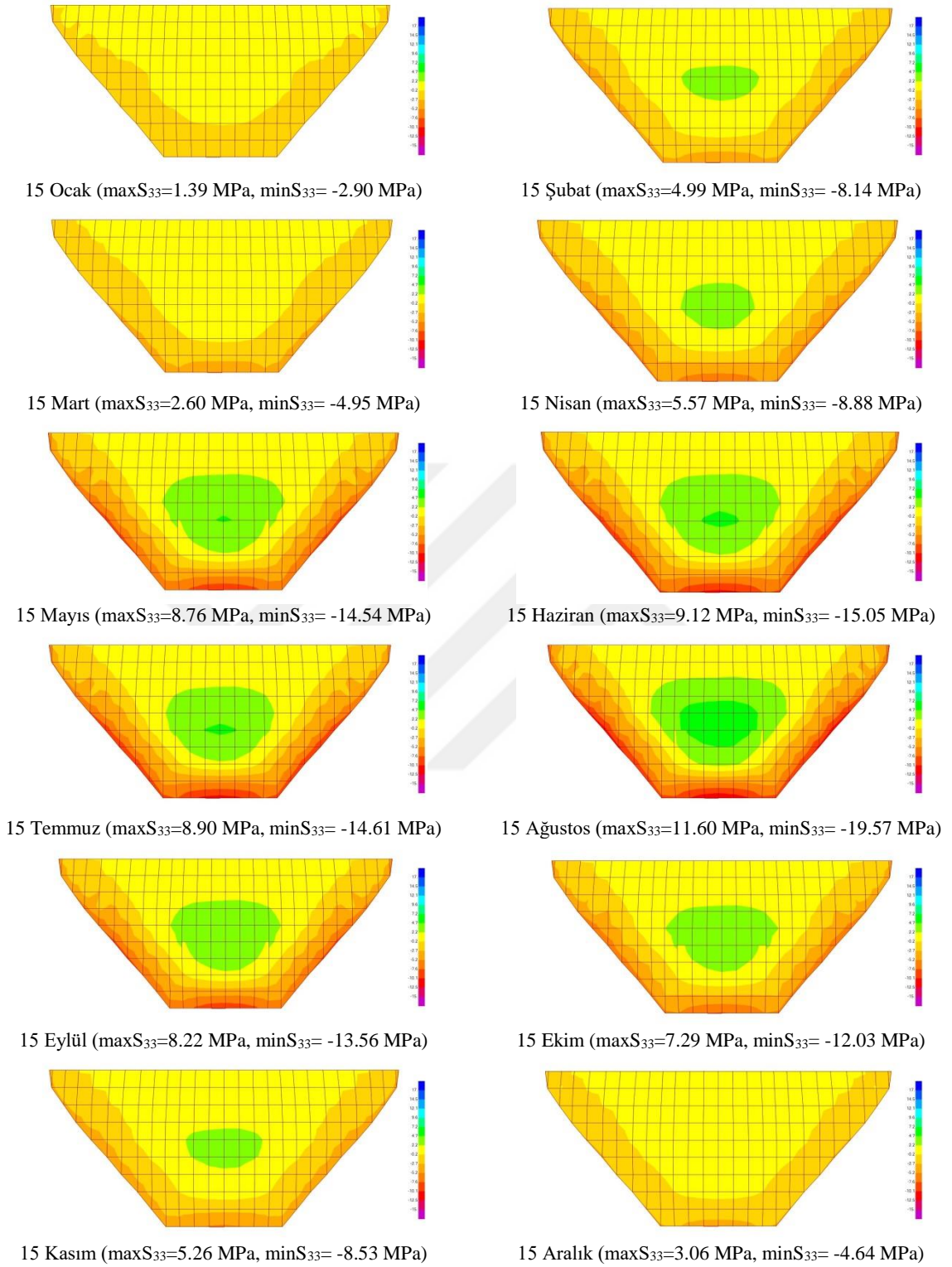


Şekil 3.70 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri



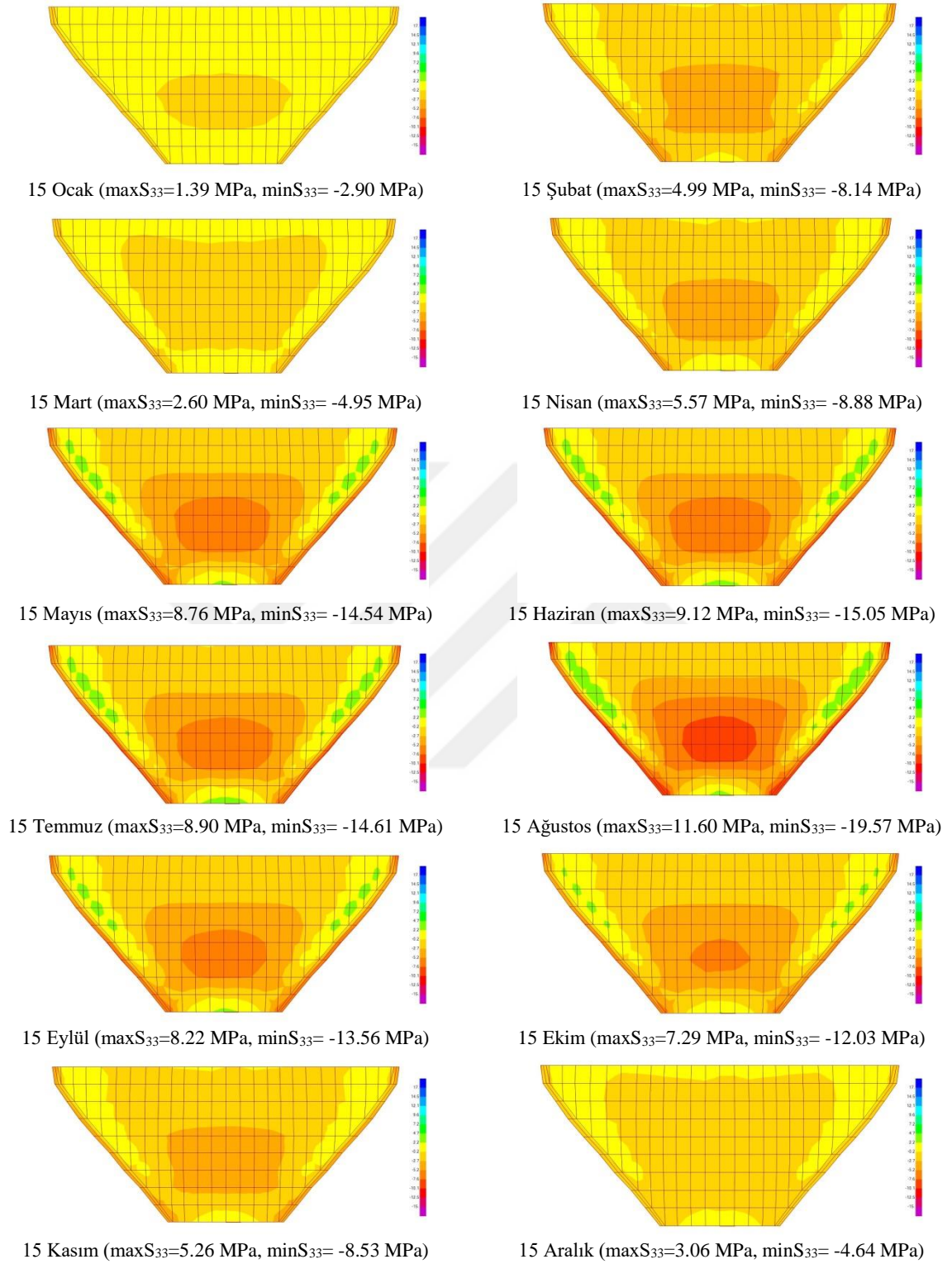
Şekil 3.71 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri



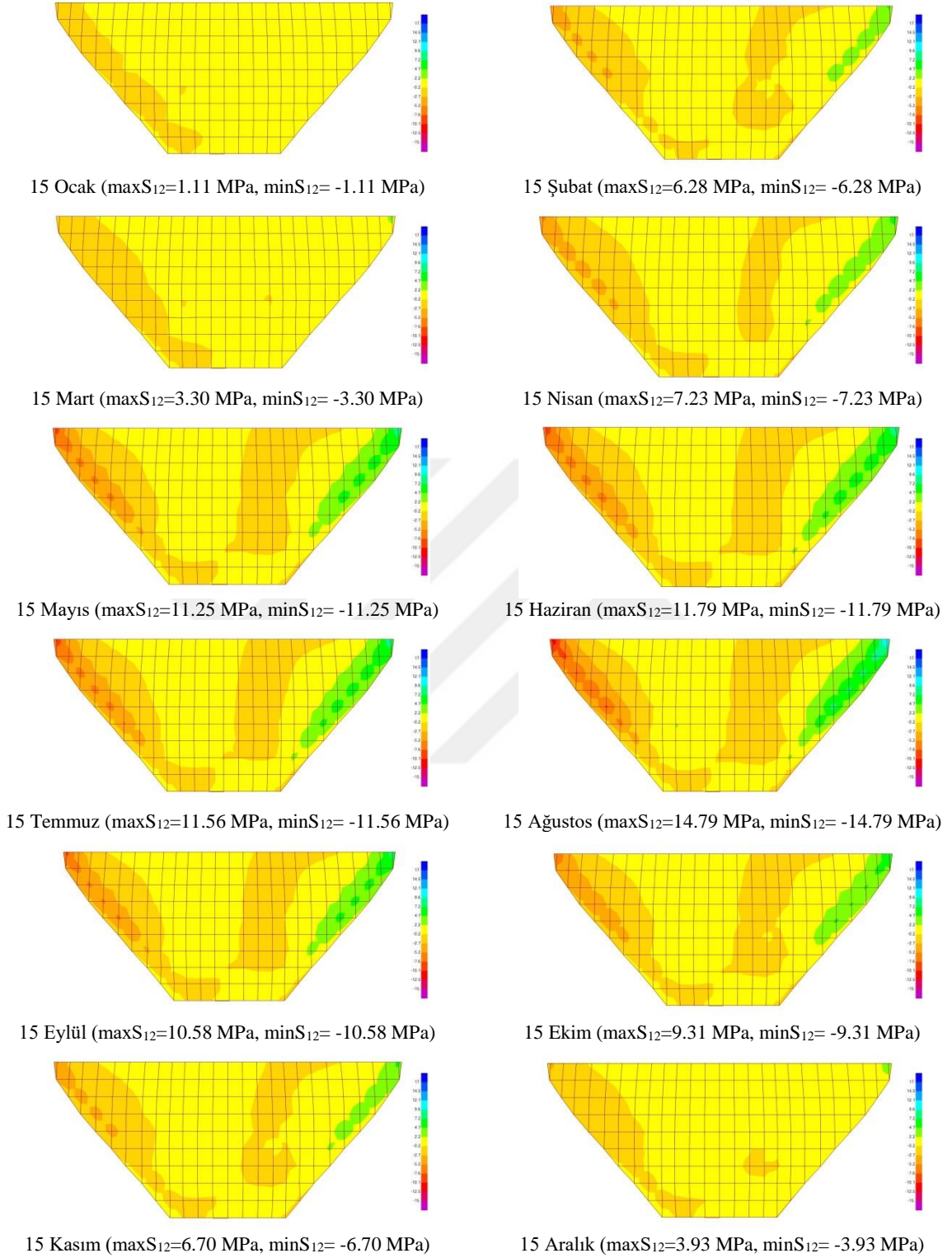


Şekil 3.72 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mamba yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri

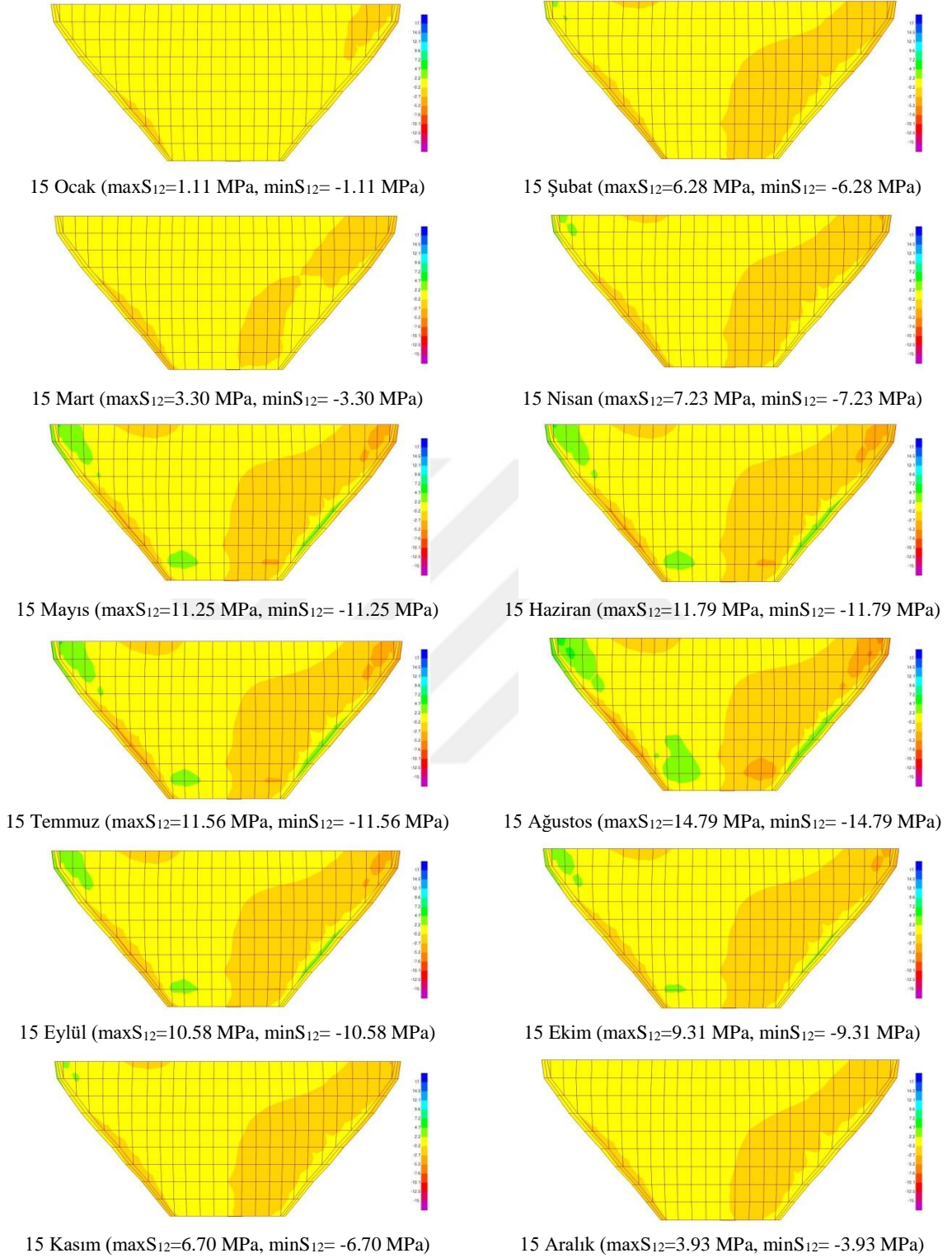




Şekil 3.73 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri

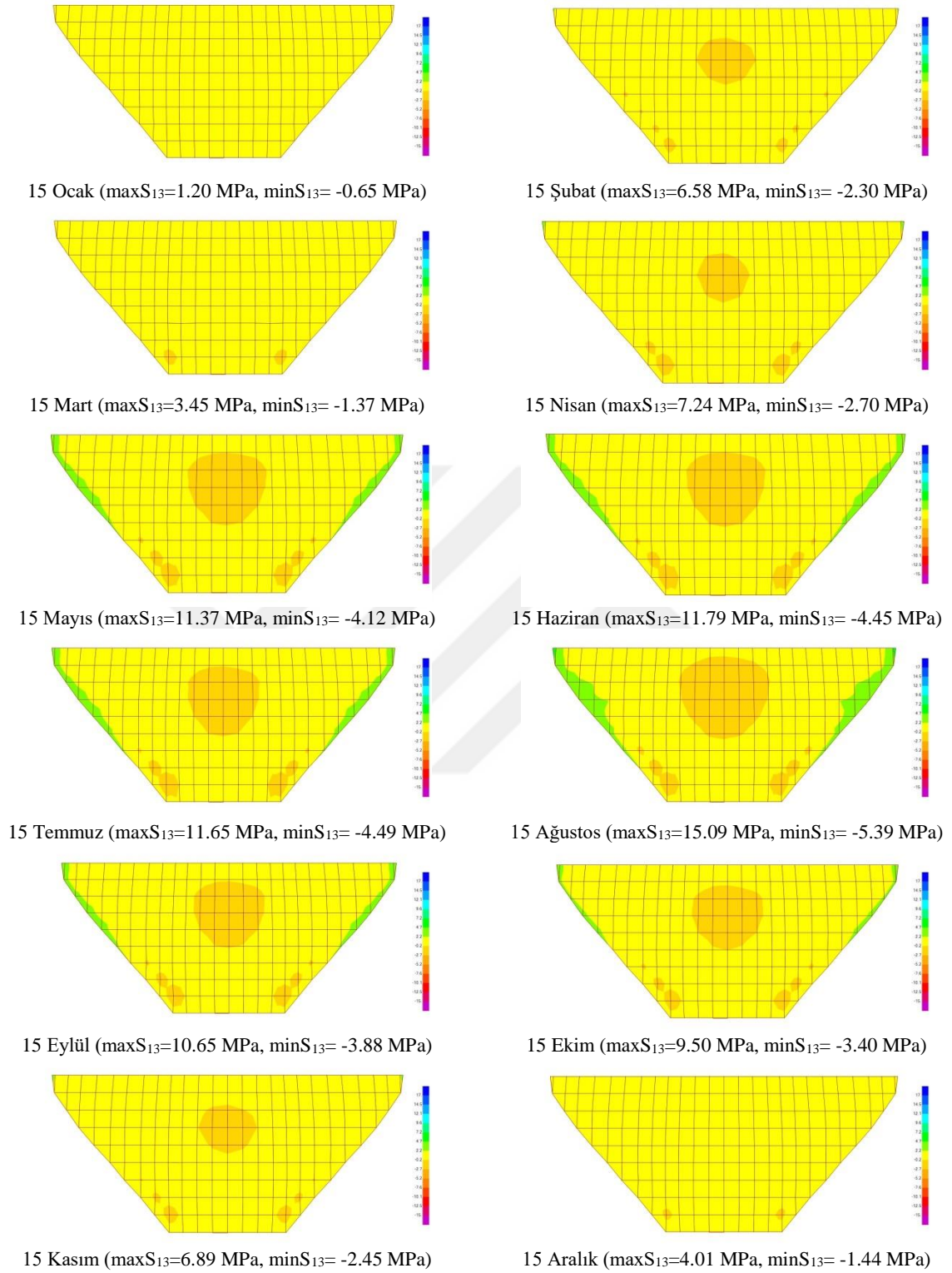


Şekil 3.74 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mamba yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

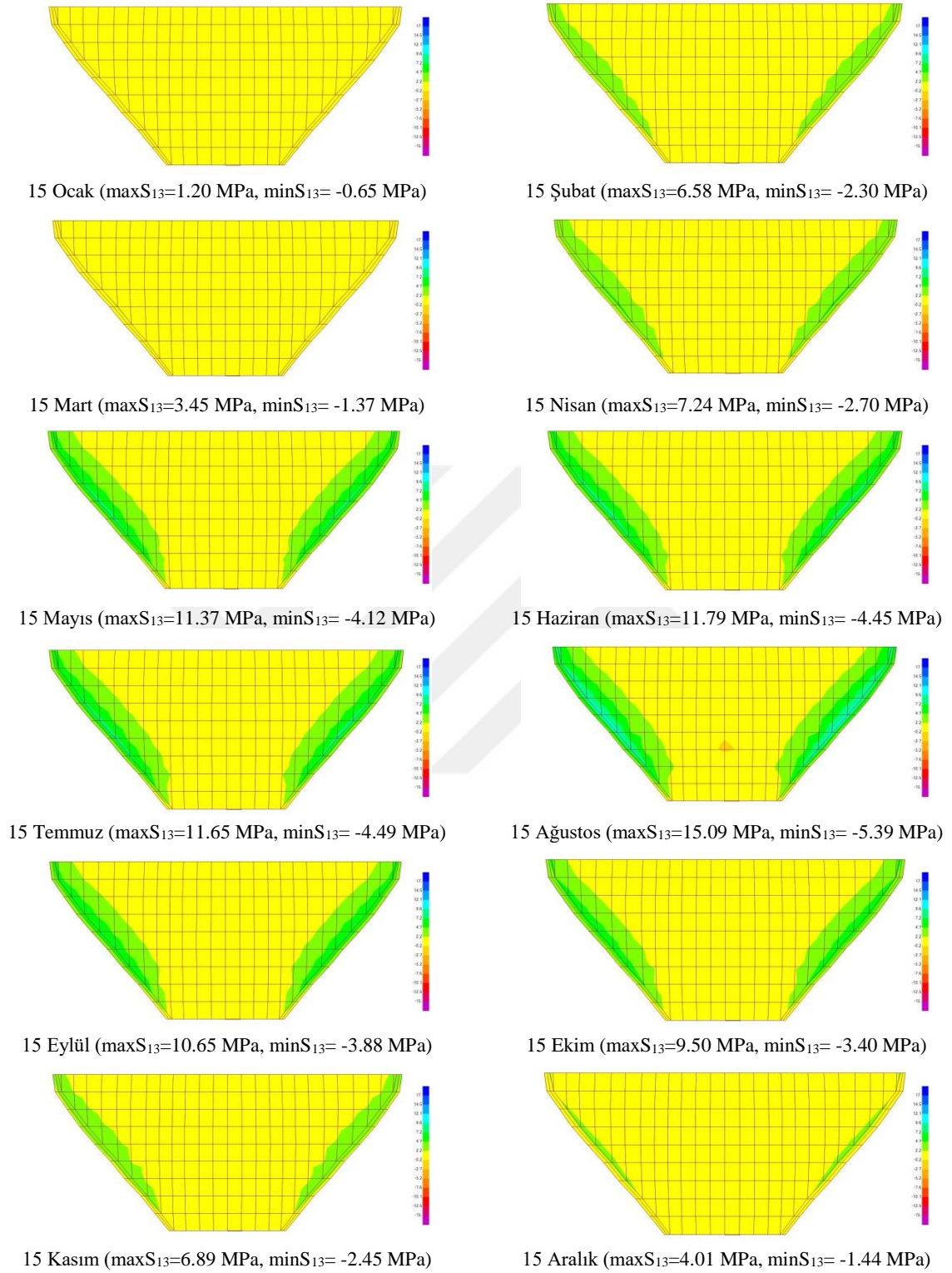


Şekil 3.75 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

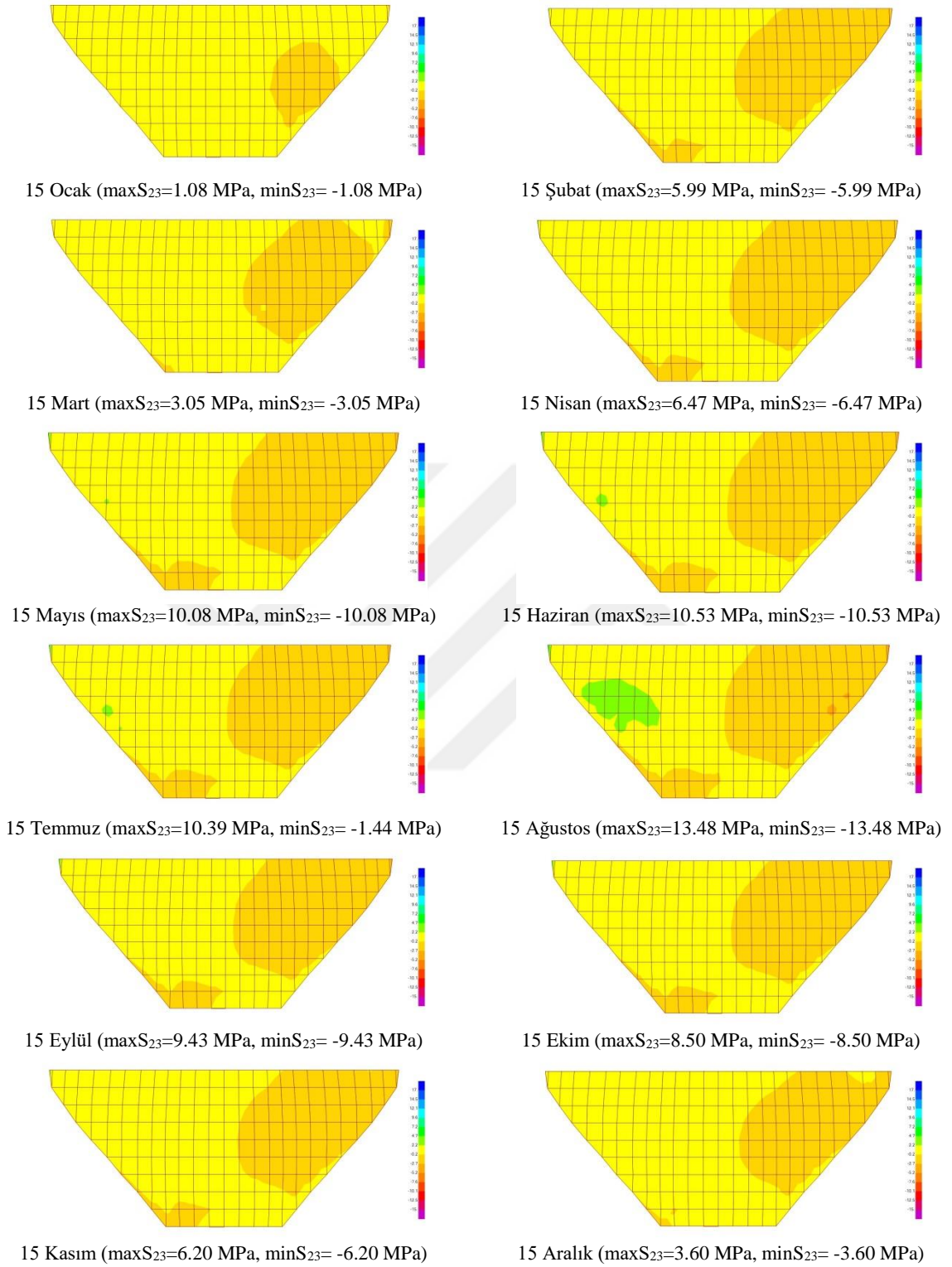




Şekil 3.76 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri

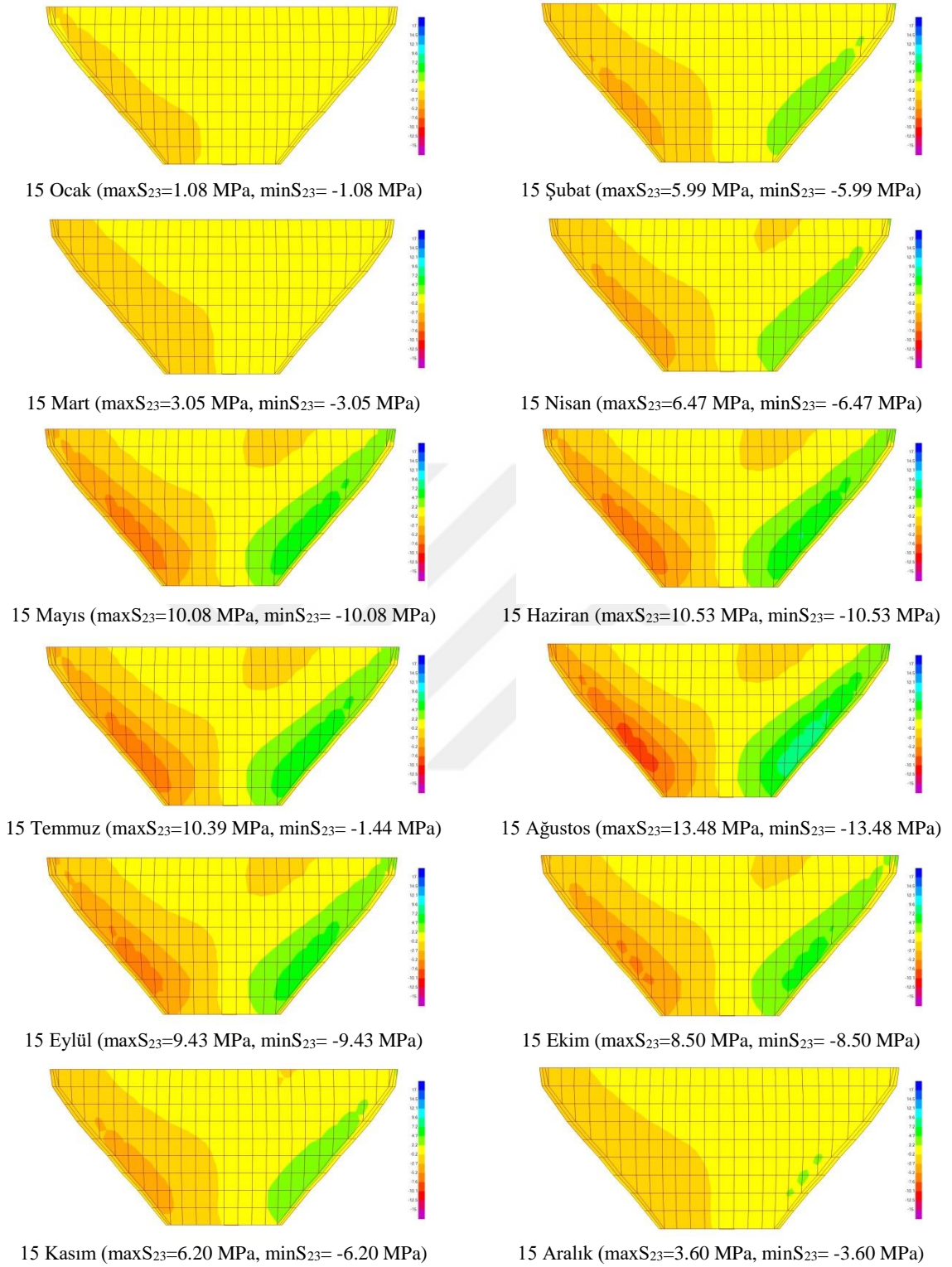


Şekil 3.77 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri



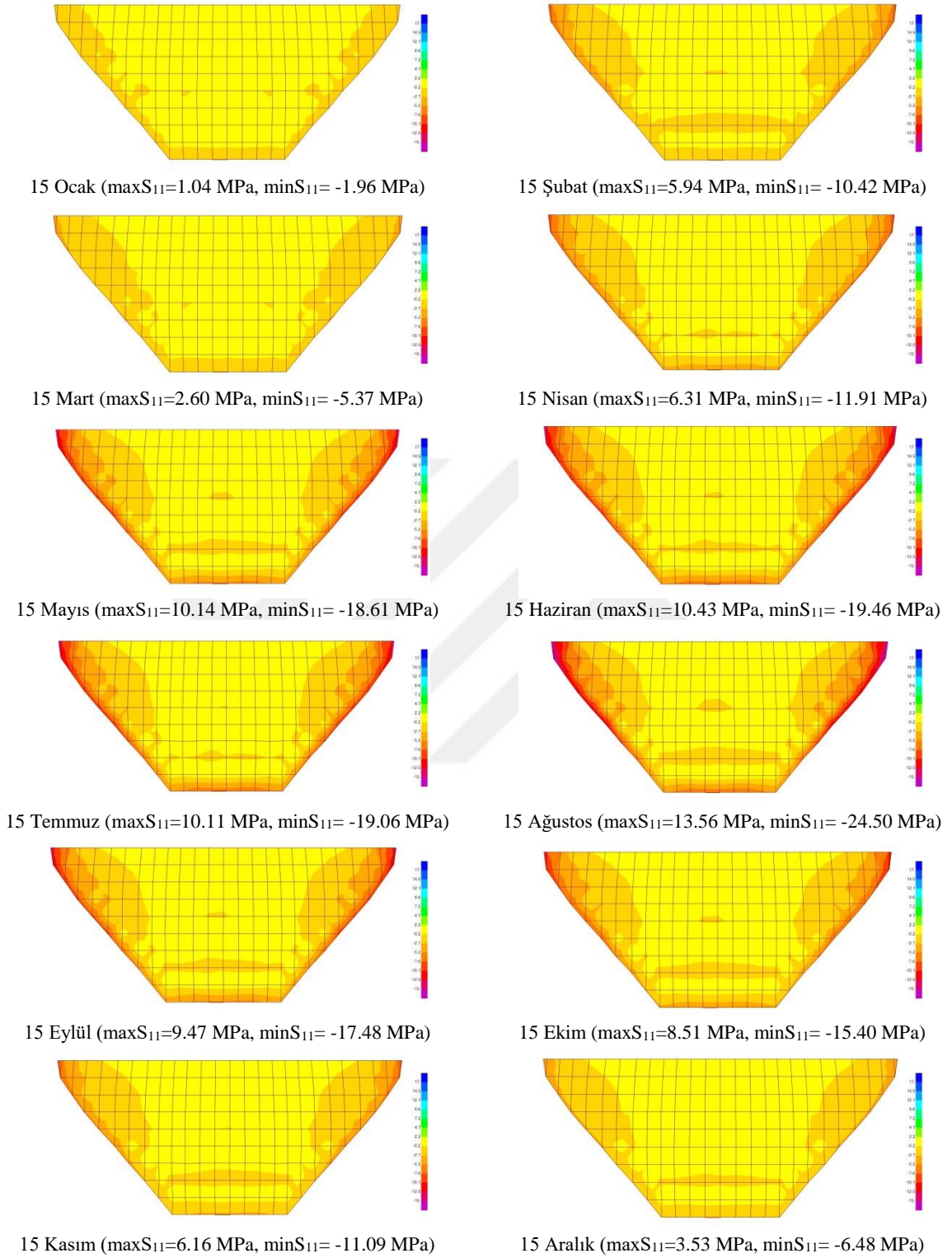
Şekil 3.78 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri



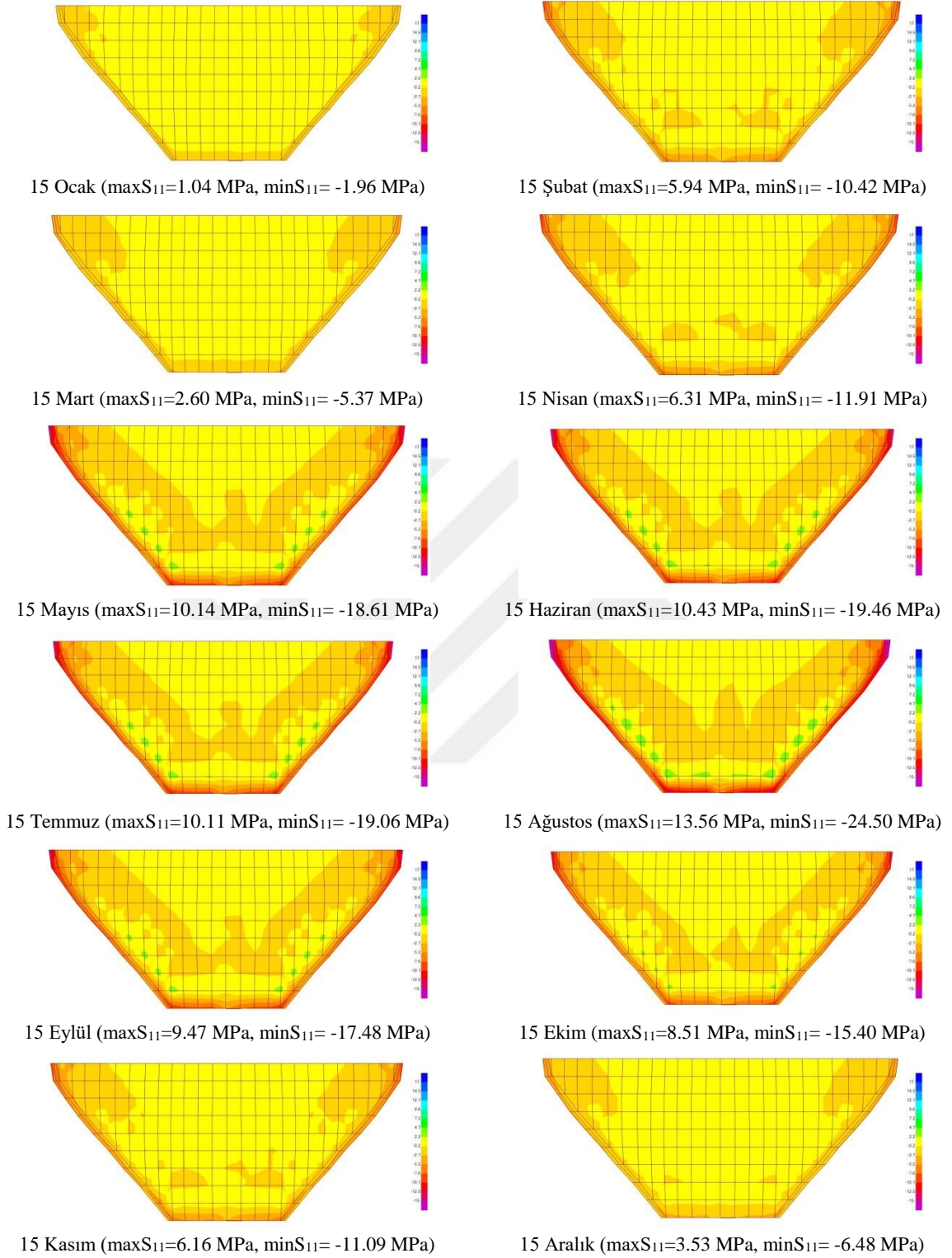


Şekil 3.79 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

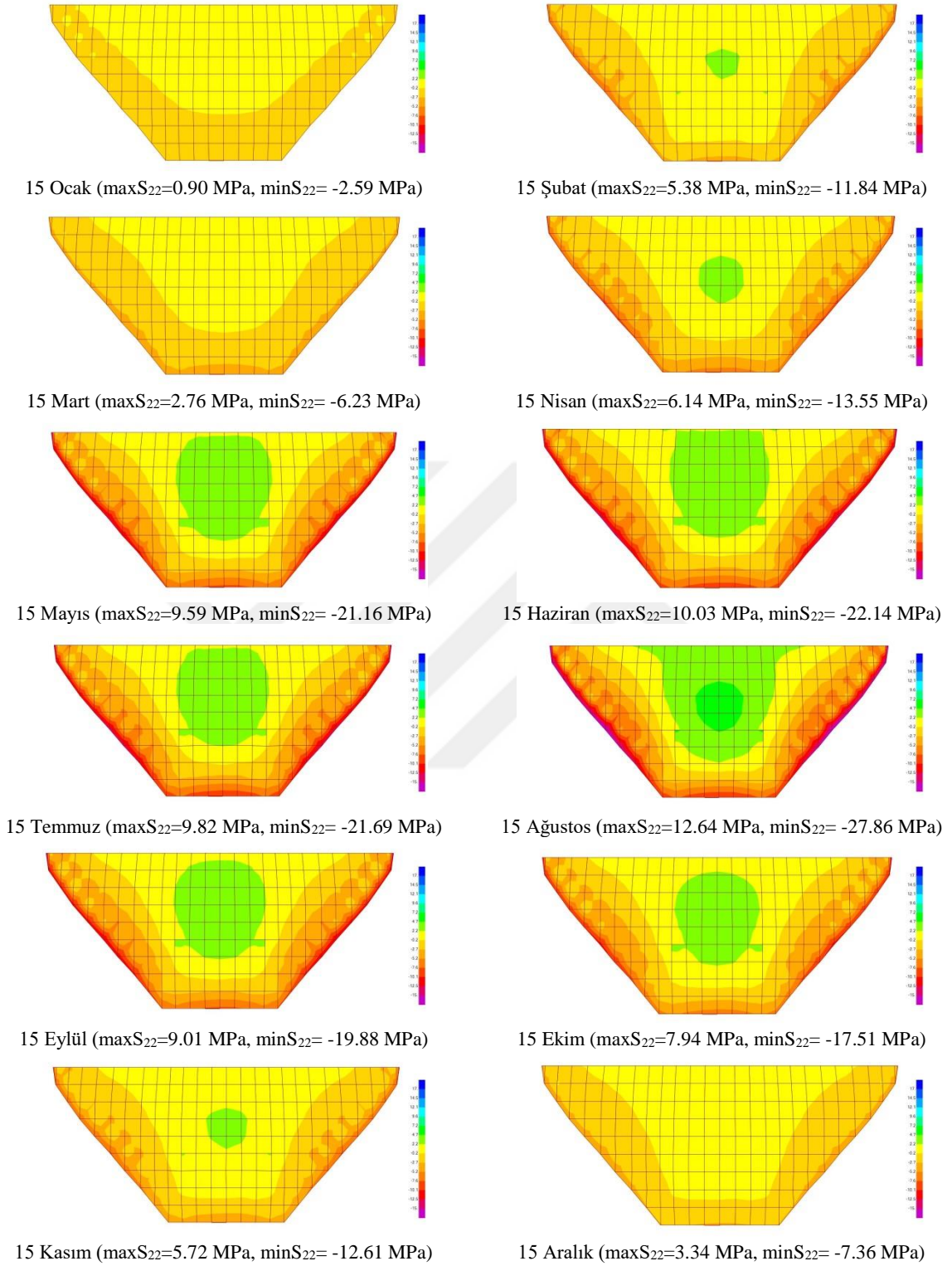




Şekil 3.80 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S<sub>11</sub> gerilmeleri

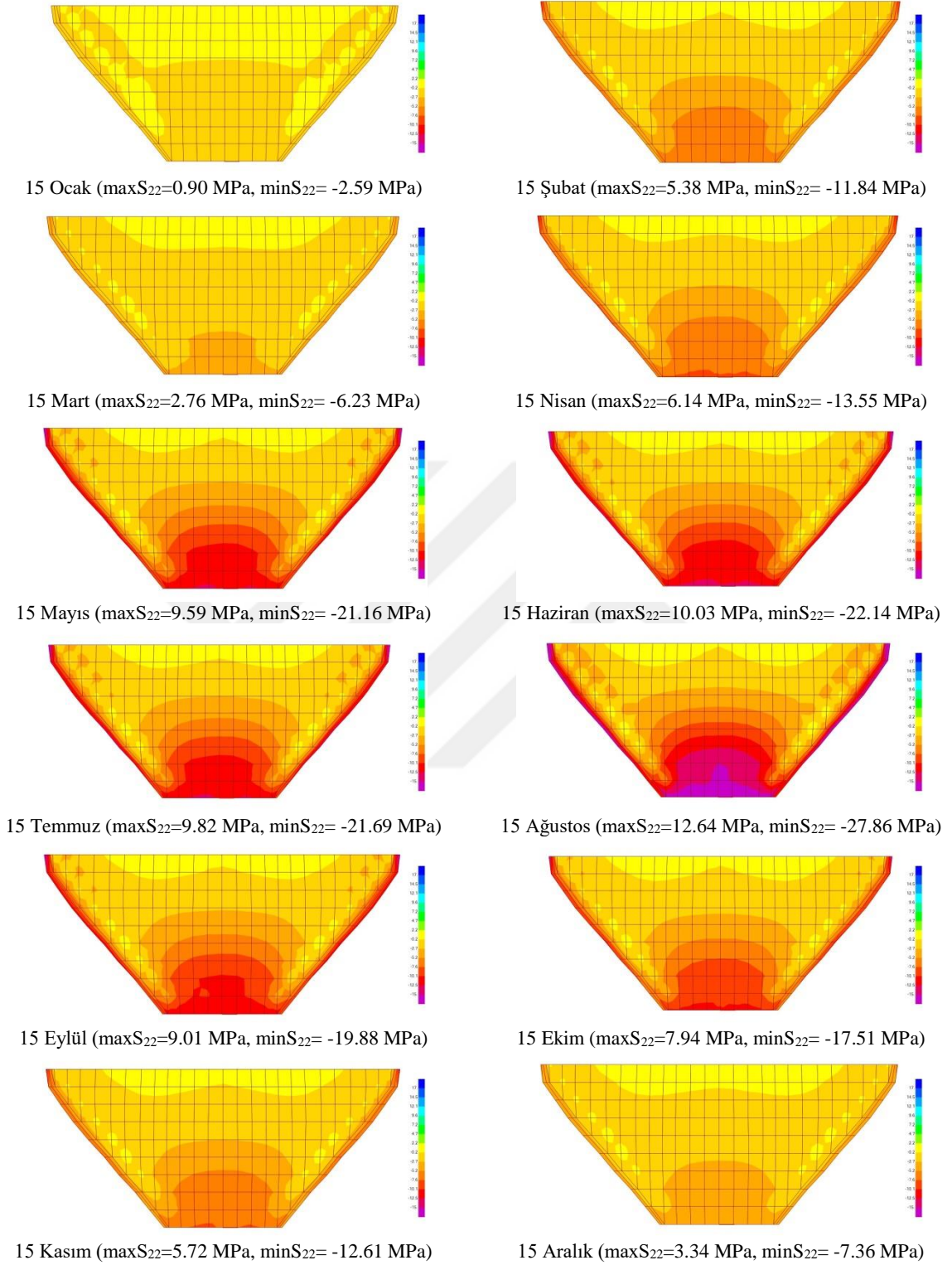


Şekil 3.81 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi  $S_{11}$  gerilmeleri

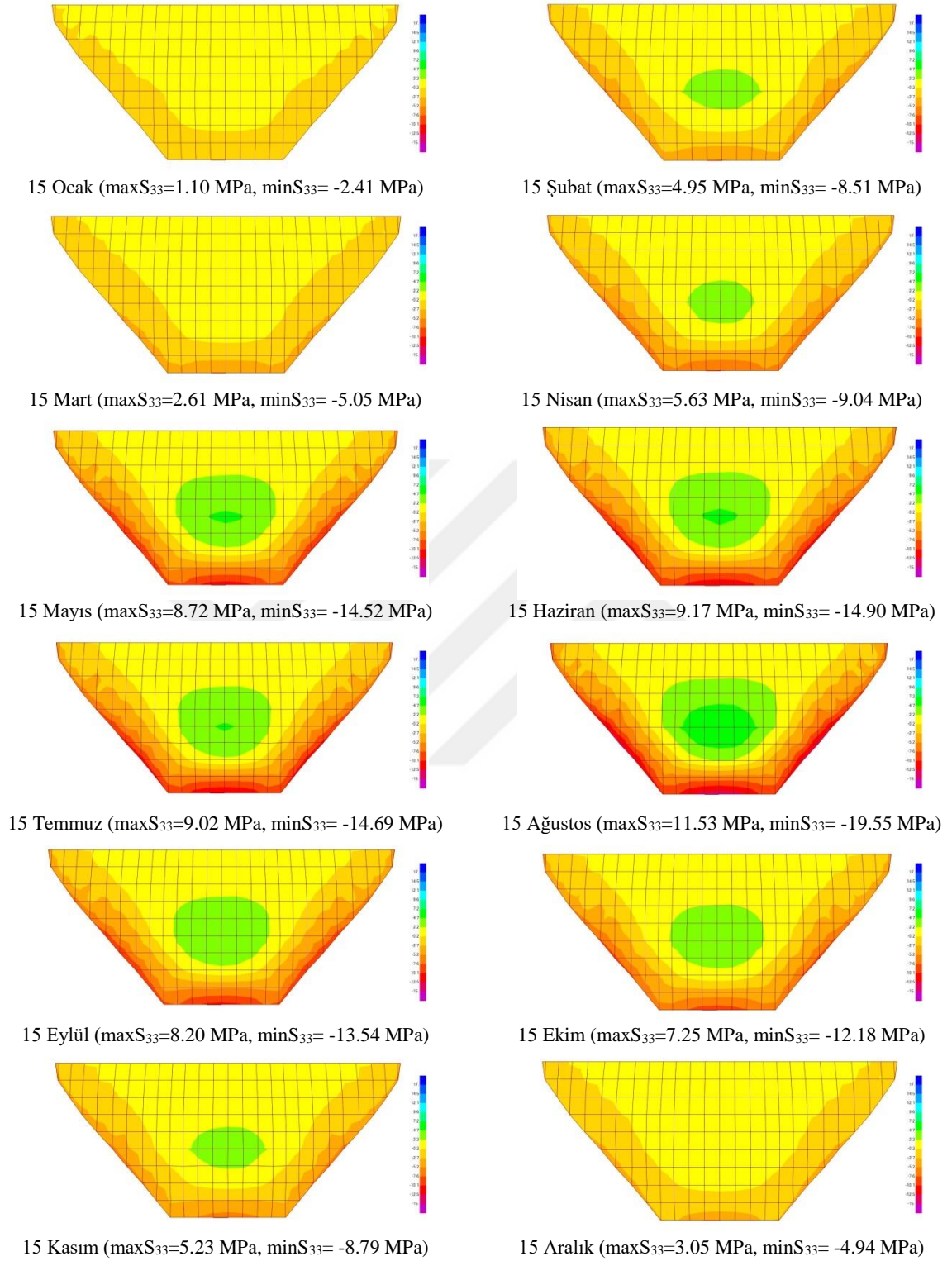


Şekil 3.82 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

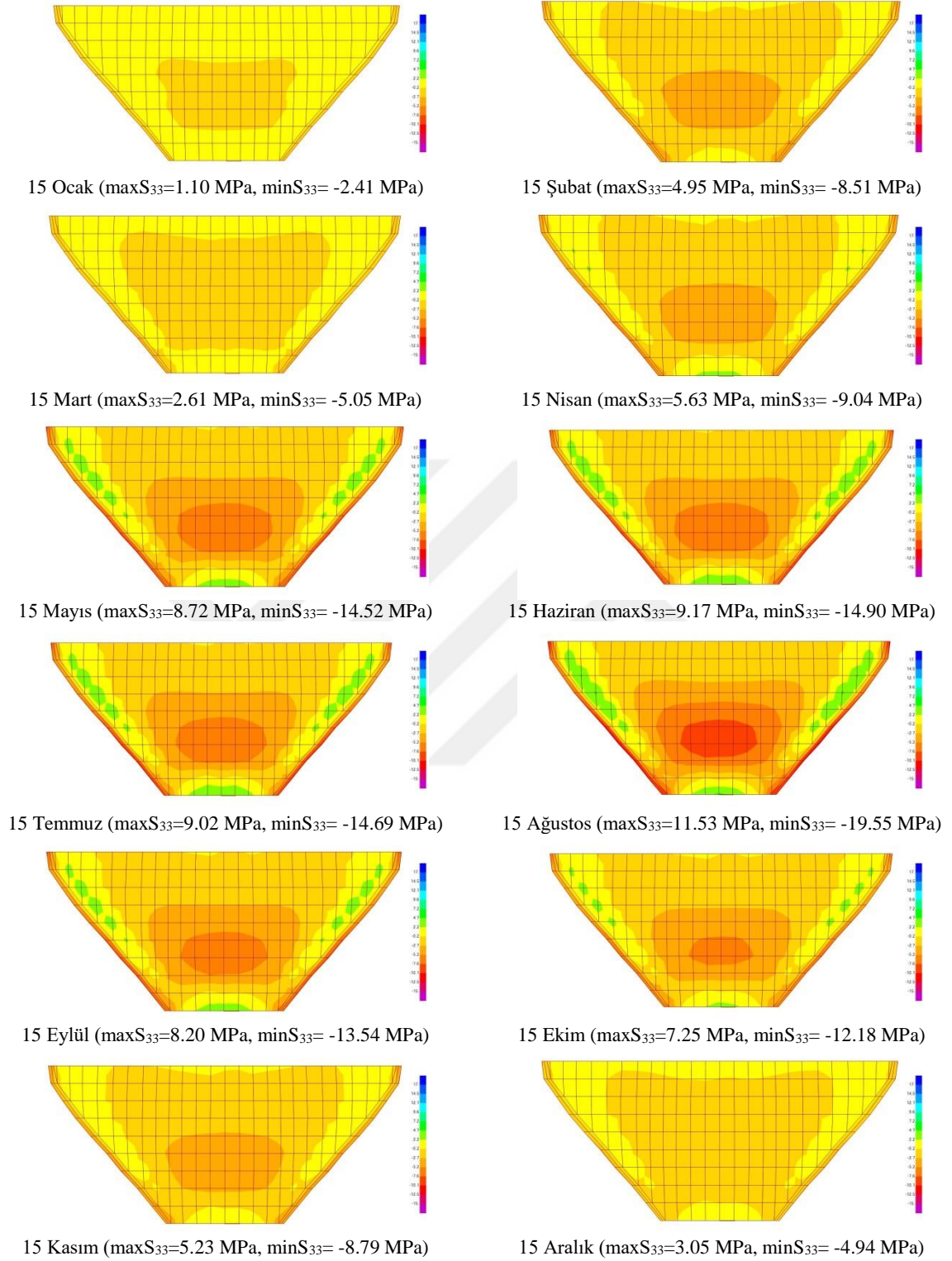




Şekil 3.83 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S<sub>22</sub> gerilmeleri

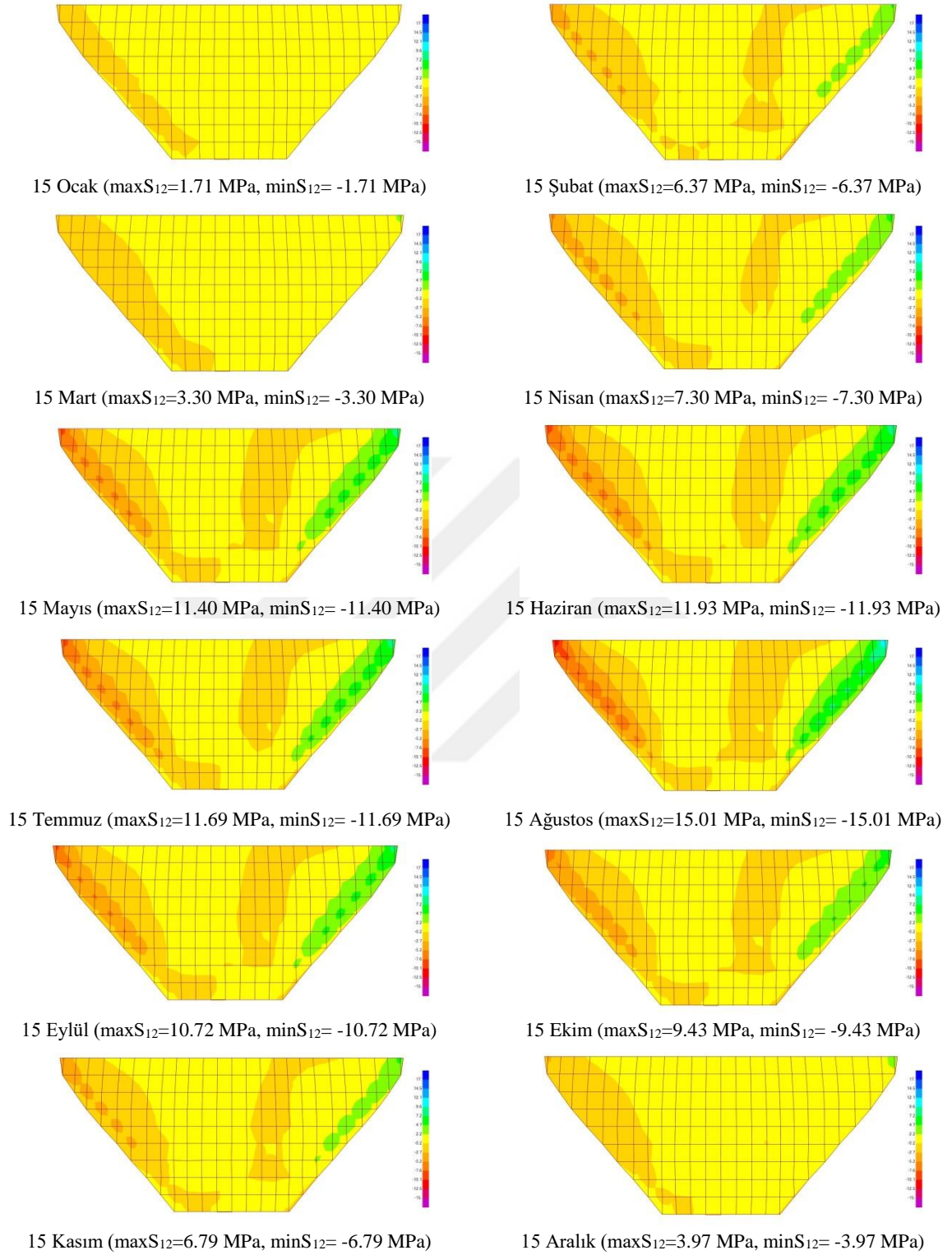


Şekil 3.84 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mamba yüzeyi  $S_{33}$  gerilmeleri



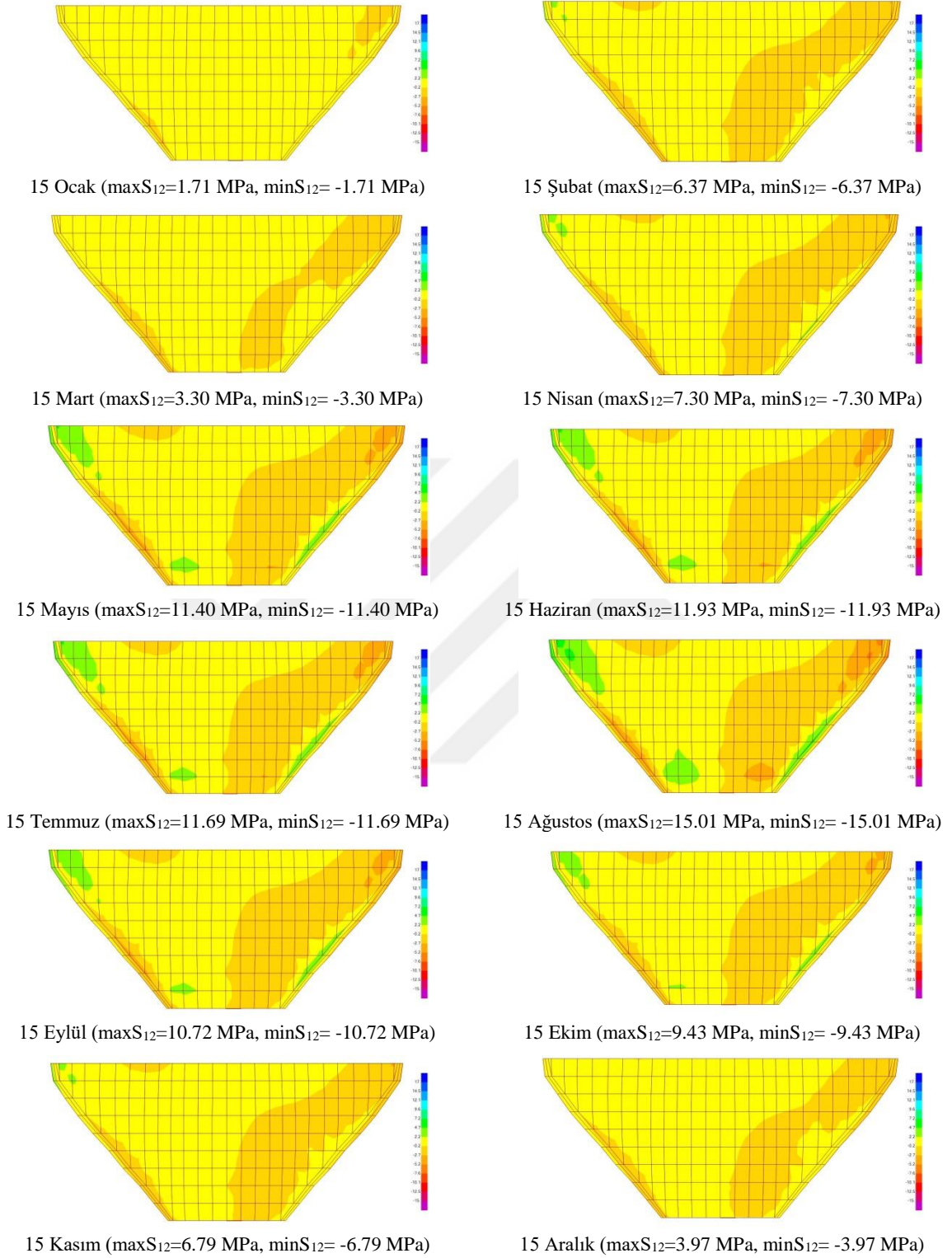
Şekil 3.85 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S<sub>33</sub> gerilmeleri



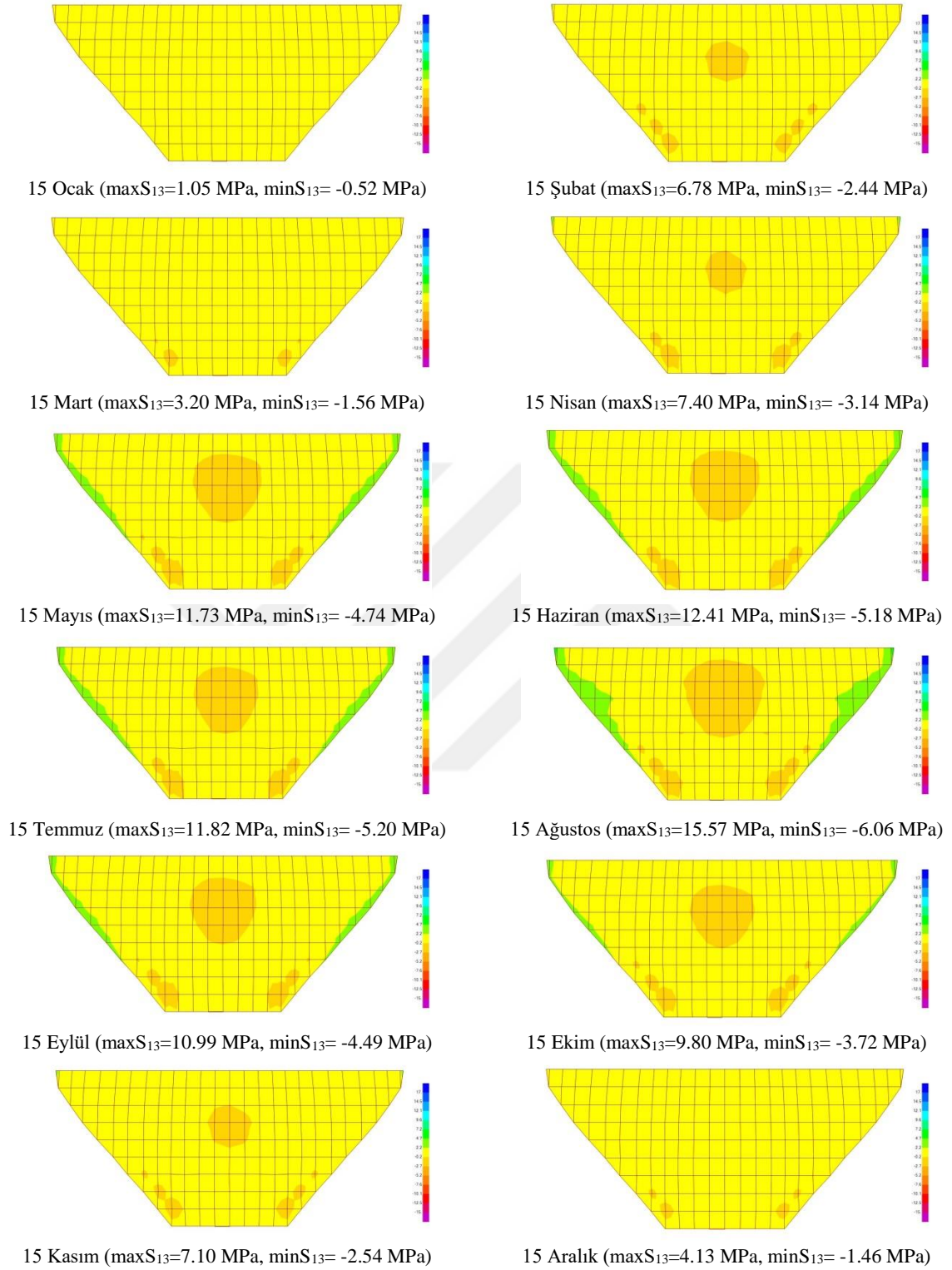


Şekil 3.86 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mamba yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

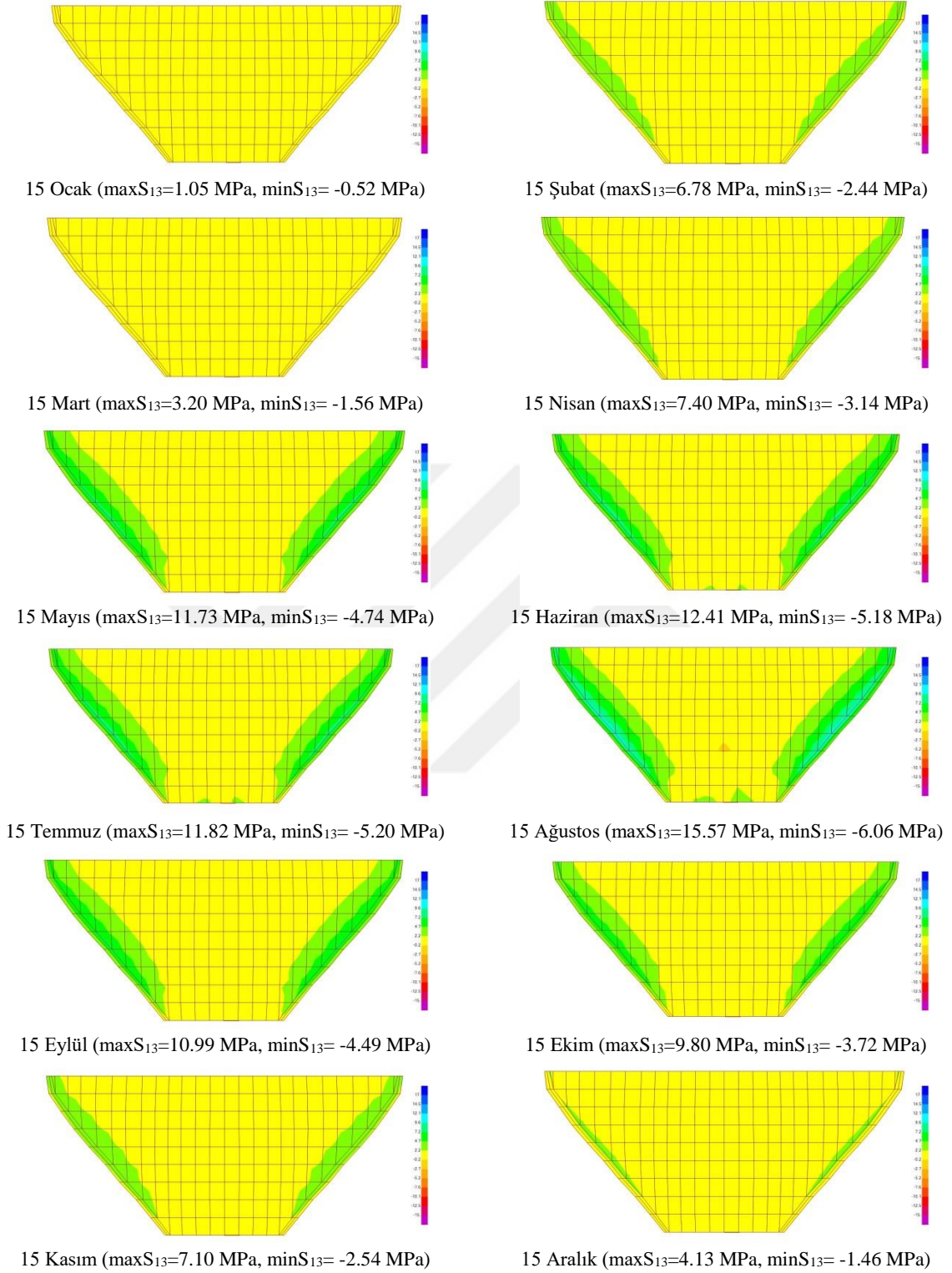




Şekil 3.87 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi  $S_{12}$  gerilmeleri

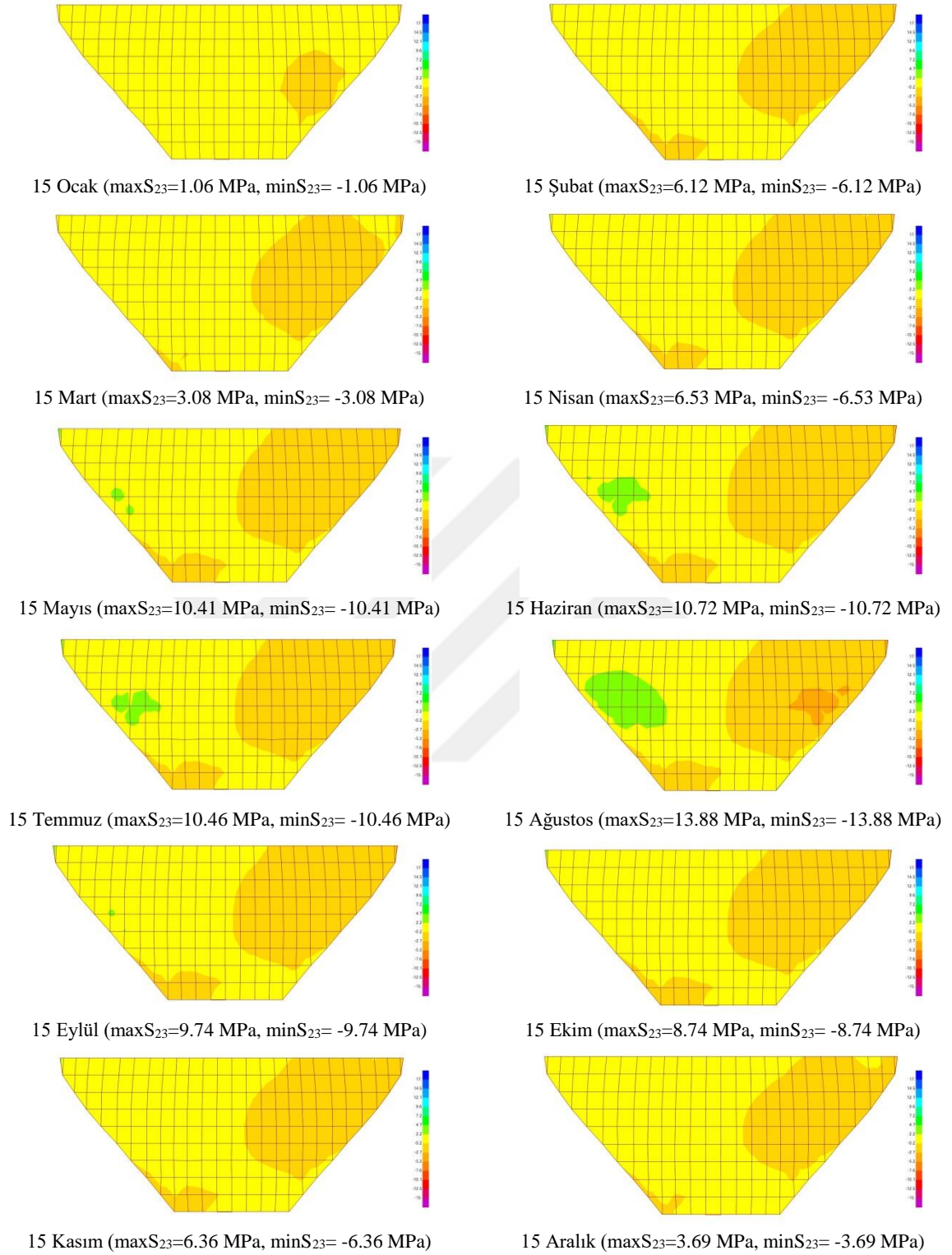


Şekil 3.88 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mamba yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri

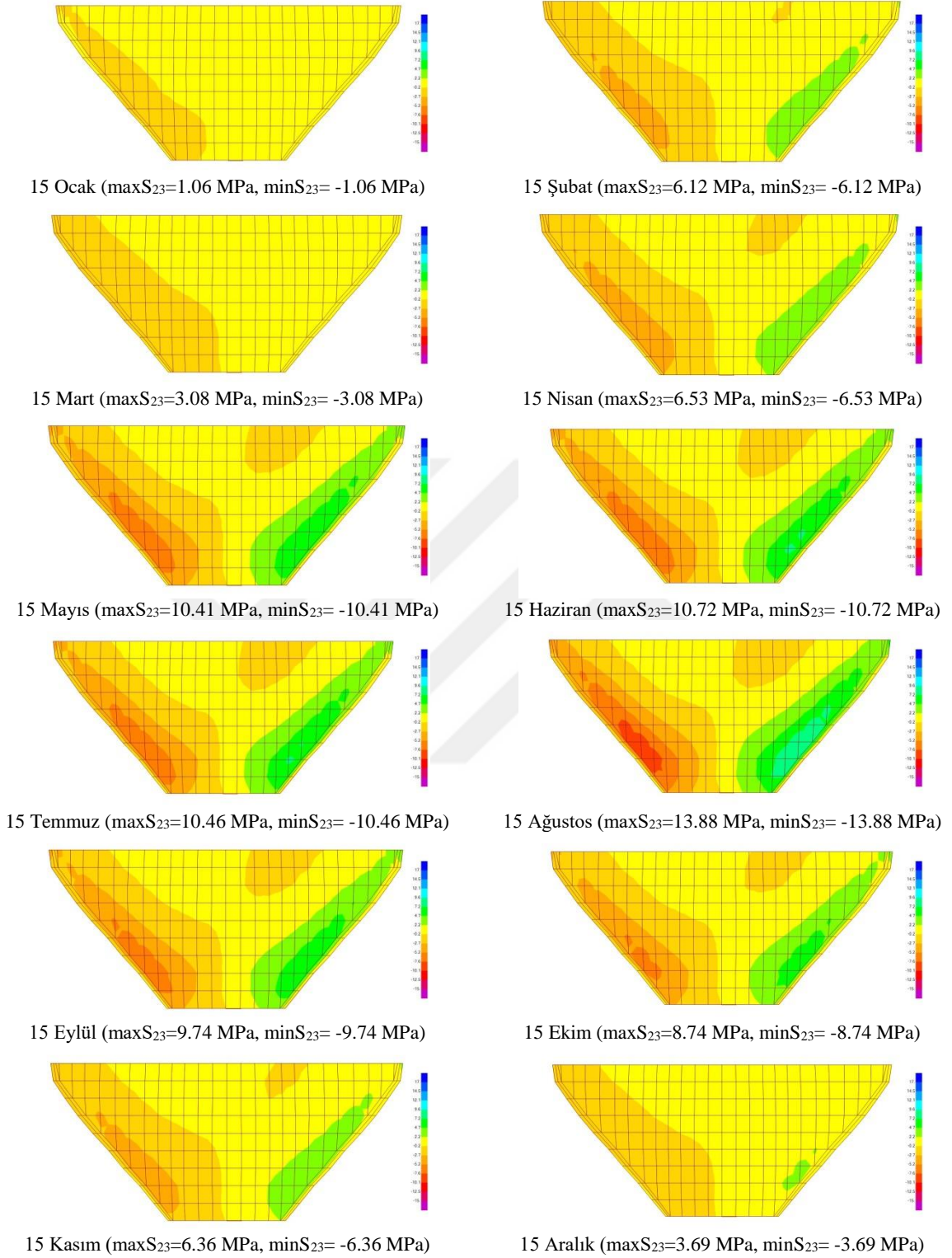


Şekil 3.89 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi S<sub>13</sub> gerilmeleri





Şekil 3.90 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi S<sub>23</sub> gerilmeleri



Şekil 3.91 Çaglayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi  $S_{23}$  gerilmeleri

Sıcaklık analizinde aylara göre ve su seviyesindeki değişime göre barajın memba ve mansap yüzeyinde oluşan çekme gerilmeleri ve basınç gerilmeleri değerleri Tablo 3.2-3.3 ve bu gerilmelere ait kontur diyagramları Şekil 3.92-3.119'da verilmektedir. Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 incelendiğinde kış aylarında su seviyesi azaldıkça gerilmelerde çok fazla değişiklik olmadığı görülmektedir. Yaz aylarında ise hem çekme gerilmelerinde hem de basınç gerilmelerinde su seviyesi azaldıkça arttıkları görülmektedir. İki tabloda da en olumsuz durum hava sıcaklığının en yüksek olduğu Ağustos ayında gözlenmektedir.

Tablo 3.2 Aylara göre sıcaklık analizinde, çeşitli su seviyeleri için barajda meydana gelen çekme gerilmeleri

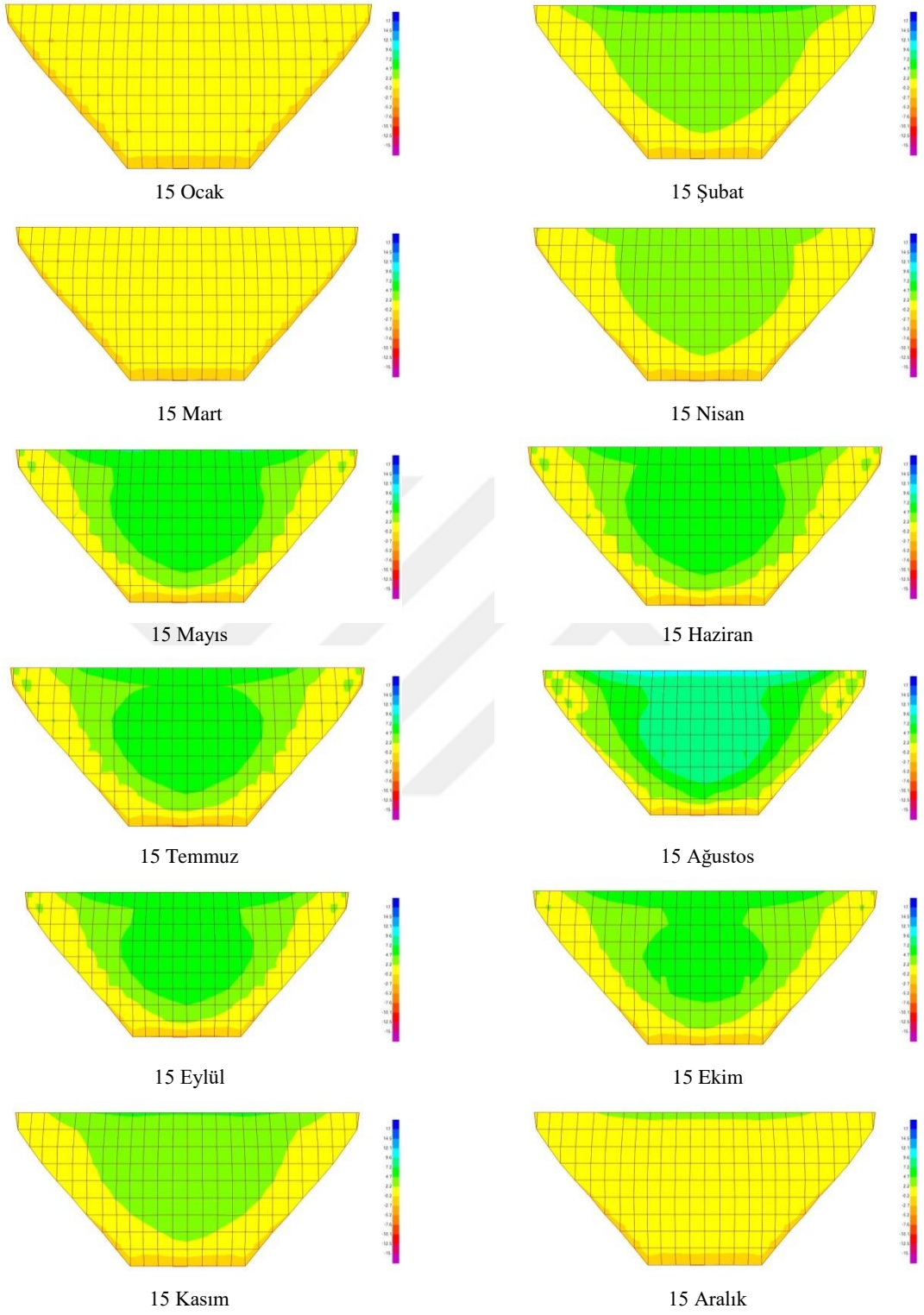
<b>Maksimum Çekme Gerilmeleri (MPa)</b>							
<b>Su Seviyesi</b>	<b>180 m</b>	<b>160 m</b>	<b>140 m</b>	<b>120 m</b>	<b>100 m</b>	<b>80 m</b>	<b>60 m</b>
<b>15.Oca</b>	2,96	2,74	2,48	2,23	1,97	1,81	1,64
<b>15.Şub</b>	7,6	7,81	8,4	8,38	8,23	8,18	8,52
<b>15.Mar</b>	4,77	4,86	4,24	4,29	4,5	4,65	4,34
<b>15.Nis</b>	7,4	8,57	9,39	9,34	9,3	9,33	9,62
<b>15.May</b>	12,27	12,85	14,68	14,63	14,52	14,55	15,06
<b>15.Haz</b>	12,41	13,66	15,29	15,22	15,15	15,22	15,73
<b>15.Tem</b>	11,88	13,86	14,94	14,86	14,83	14,9	15,4
<b>15.Ağu</b>	16,71	16,88	19,36	19,3	19,12	19,15	19,88
<b>15.Eyl</b>	11,39	12,08	13,79	13,73	13,64	13,68	14,15
<b>15.Eki</b>	10,44	10,64	12,23	12,18	12,05	12,05	12,49
<b>15.Kas</b>	7,61	7,68	8,87	8,84	8,72	8,69	9,01
<b>15.Ara</b>	4,28	4,52	5,23	5,2	5,12	5,09	5,29



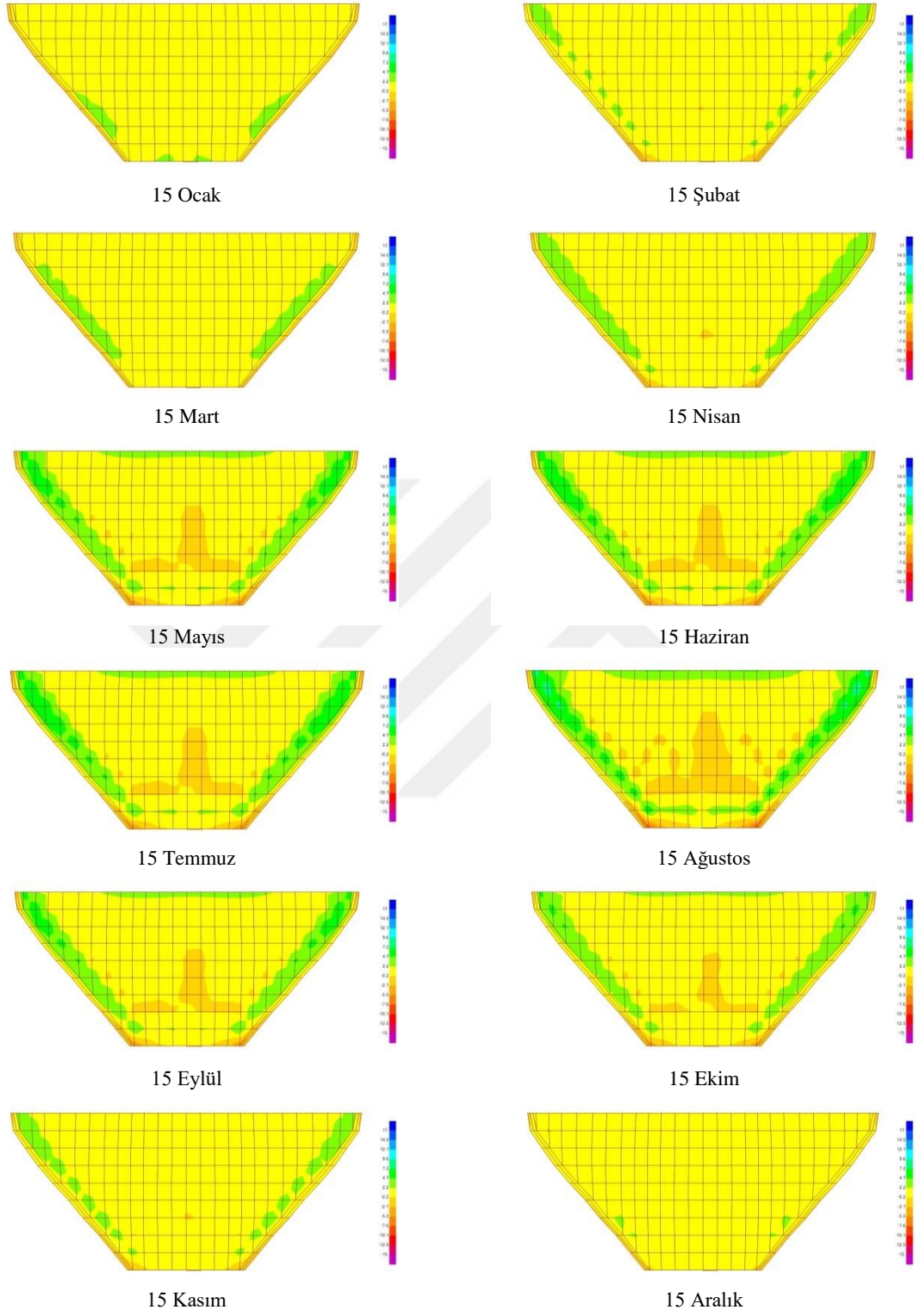
Şekil 3.92'den Şekil 3.119'a kadar incelendiğinde çekme gerilmesinin barajın memba yüzeyinde gövdede toplandığı ve mansap yüzeyinde ise barajın sağ ve sol yamaçlara mesnetlendiği bölgede toplandığı görülmektedir. Basınç gerilmesinin de barajın mansap yüzeyinde temelde yoğunlaştığı görülmektedir. Barajın memba yüzeyinde basınç gerilmesinin su seviyesi 180 metrede iken kretin sağ ve sol yamaçlara meslendiği bölgelerde ve su seviyesi 60 metreye indikçe gerilmelerinde mesnetlenme bölgesinde arttıkları gözlenmektedir.

Tablo 3.3 Aylara göre sıcaklık analizinde, çeşitli su seviyeleri için barajda meydana gelen basınç gerilmeleri

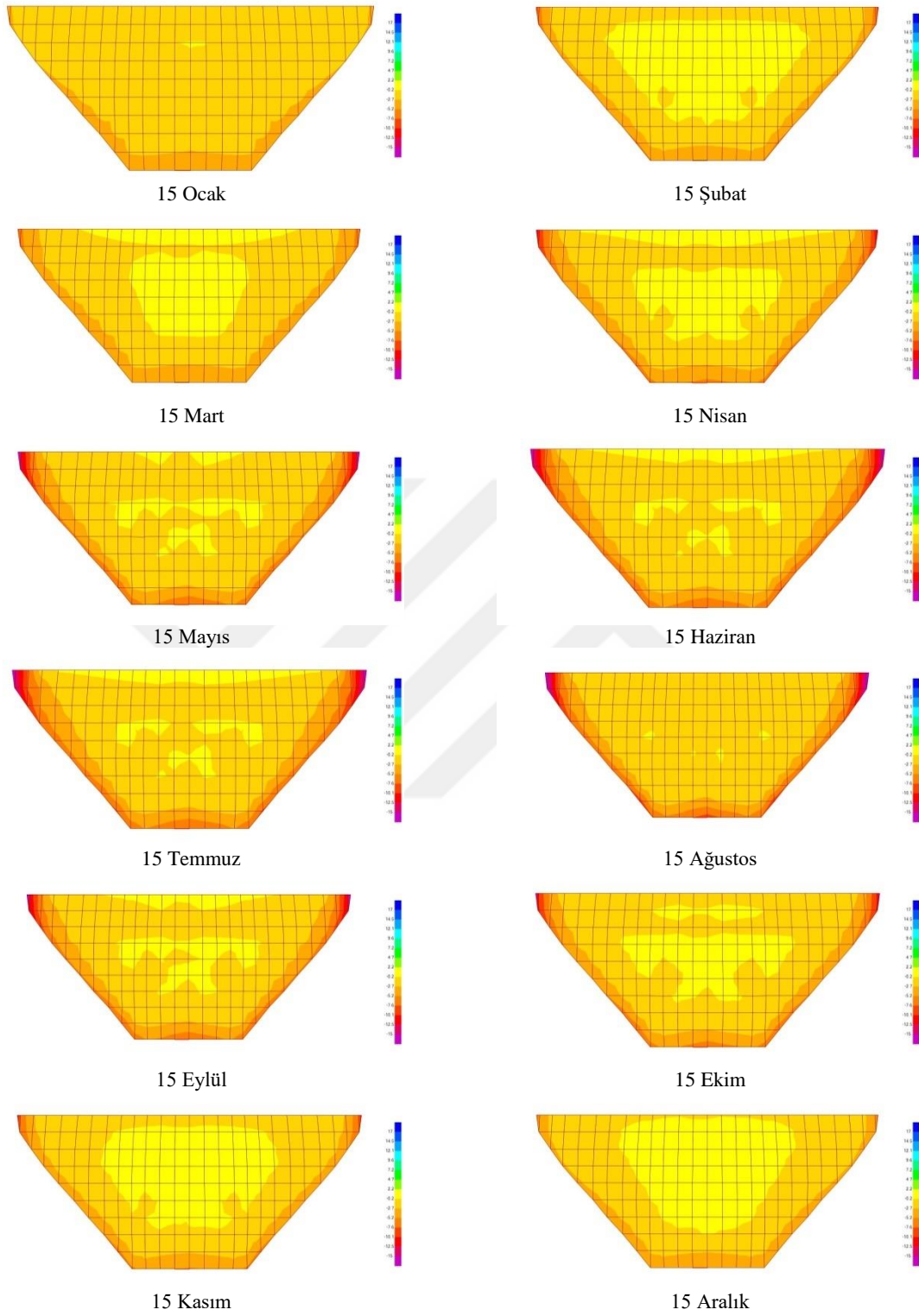
Minimum Basınç Gerilmeleri (MPa)							
Su Seviyesi	180 m	160 m	140 m	120 m	100 m	80 m	60 m
15.Oca	-5,27	-5,02	-4,7	-4,3	-3,84	-3,31	-2,88
15.Şub	-12,1	-16,86	-15,71	-15,18	-16,09	-16,34	-16,56
15.Mar	-9,73	-8,28	-8,53	-8,58	-8,58	-8,59	-8,59
15.Nis	-17,12	-18,29	-18,11	-18,33	-18,58	-18,79	-18,98
15.May	-24,64	-28,62	-27,93	-28,32	-28,82	-29,25	-29,63
15.Haz	-27,02	-29,61	-29,28	-29,72	-30,21	-30,65	-31,01
15.Tem	-27,3	-28,83	-28,74	-29,18	-29,65	-30,05	-30,38
15.Ağu	-30,83	-37,82	-36,55	-37,08	-37,8	-38,44	-38,99
15.Eyl	-23,49	-26,86	-26,3	-26,66	-27,11	-27,51	-27,84
15.Eki	-19,55	-24,04	-23,14	-23,42	-23,82	-24,19	-24,51
15.Kas	-13,85	-17,61	-16,77	-16,92	-17,19	-17,43	-17,64
15.Ara	-8,58	-10,5	-10	-10,03	-10,13	-10,22	-10,31



Şekil 3.92 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri

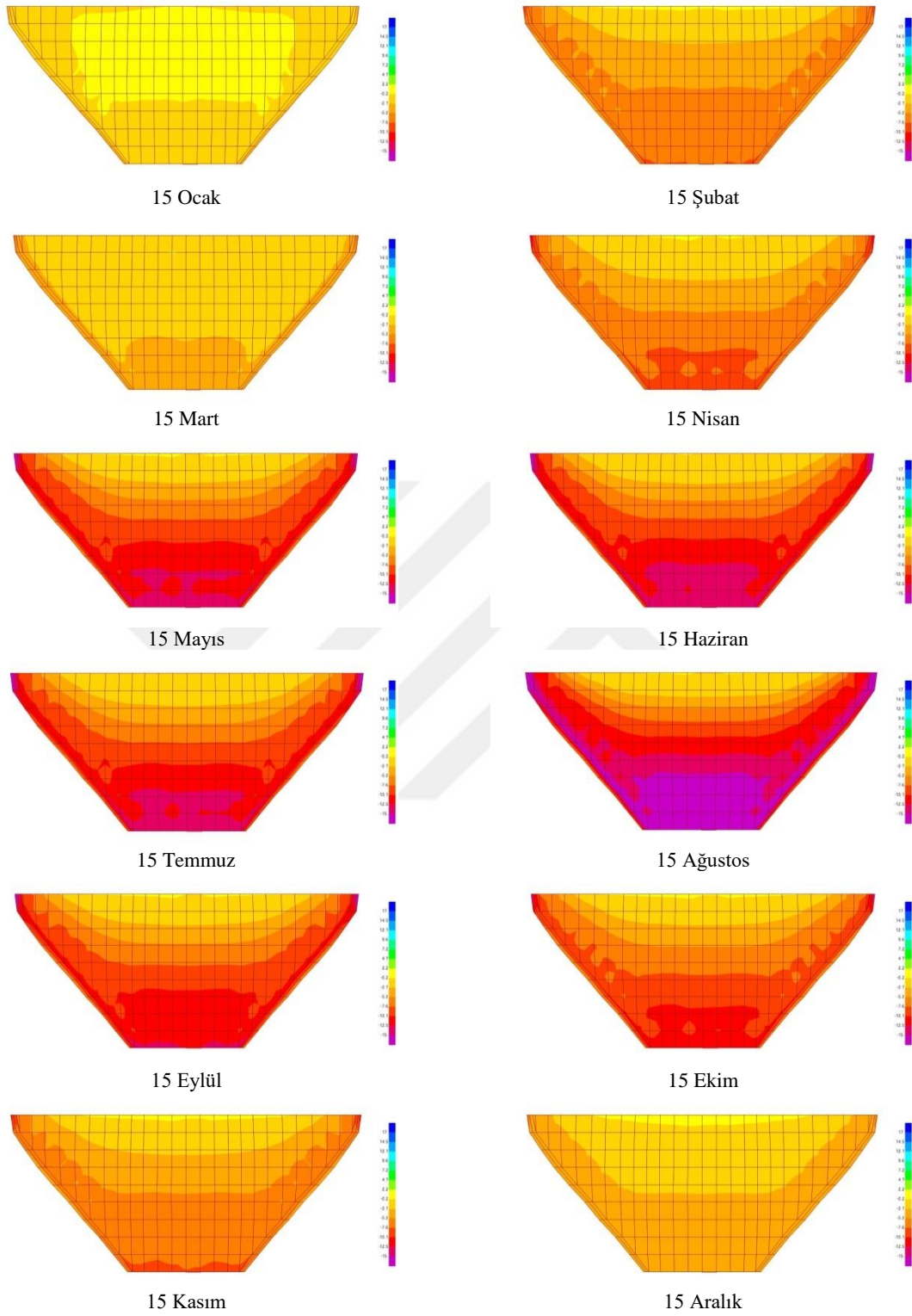


Şekil 3.93 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri

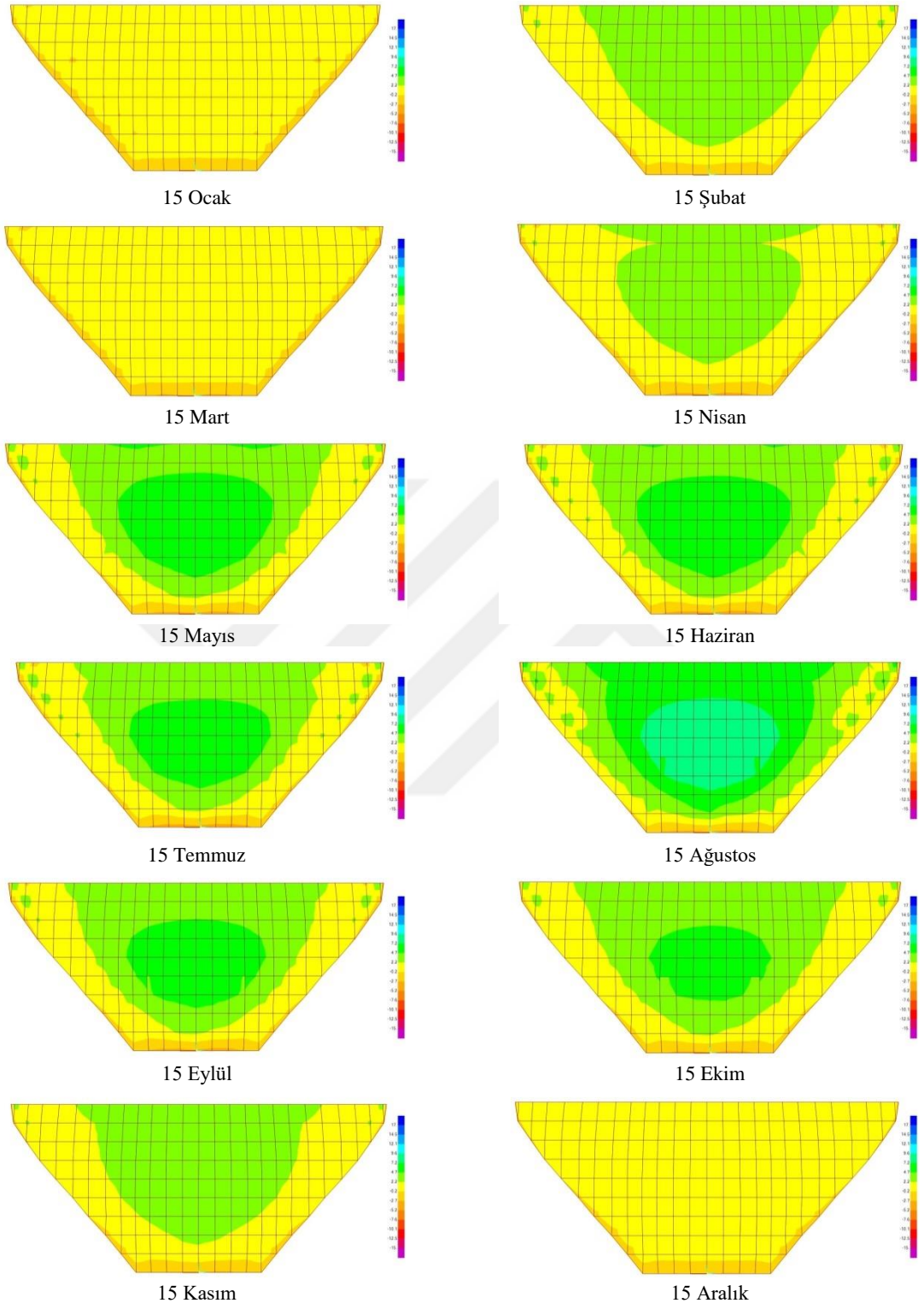


Şekil 3.94 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri



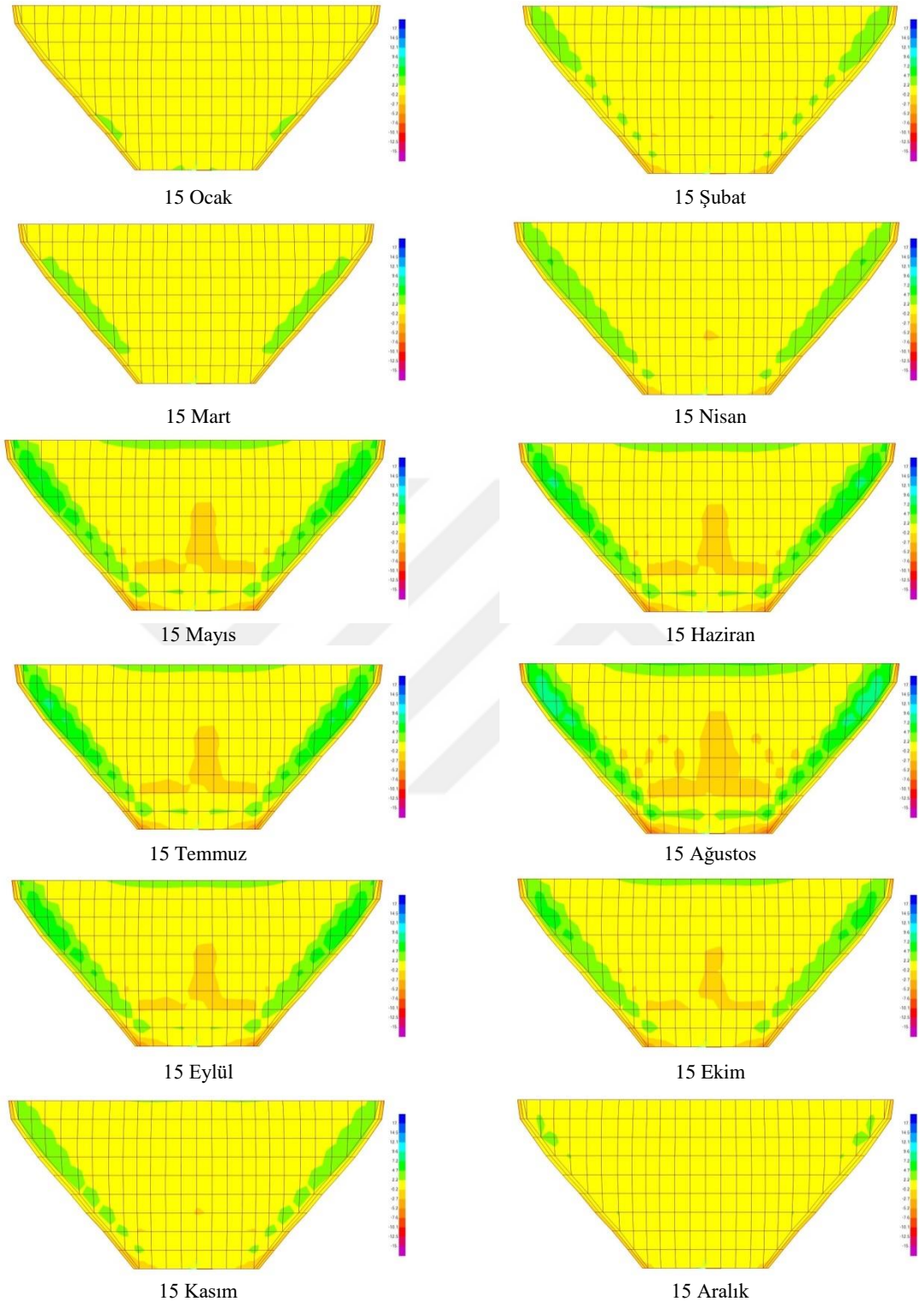


Şekil 3.95 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 180 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri

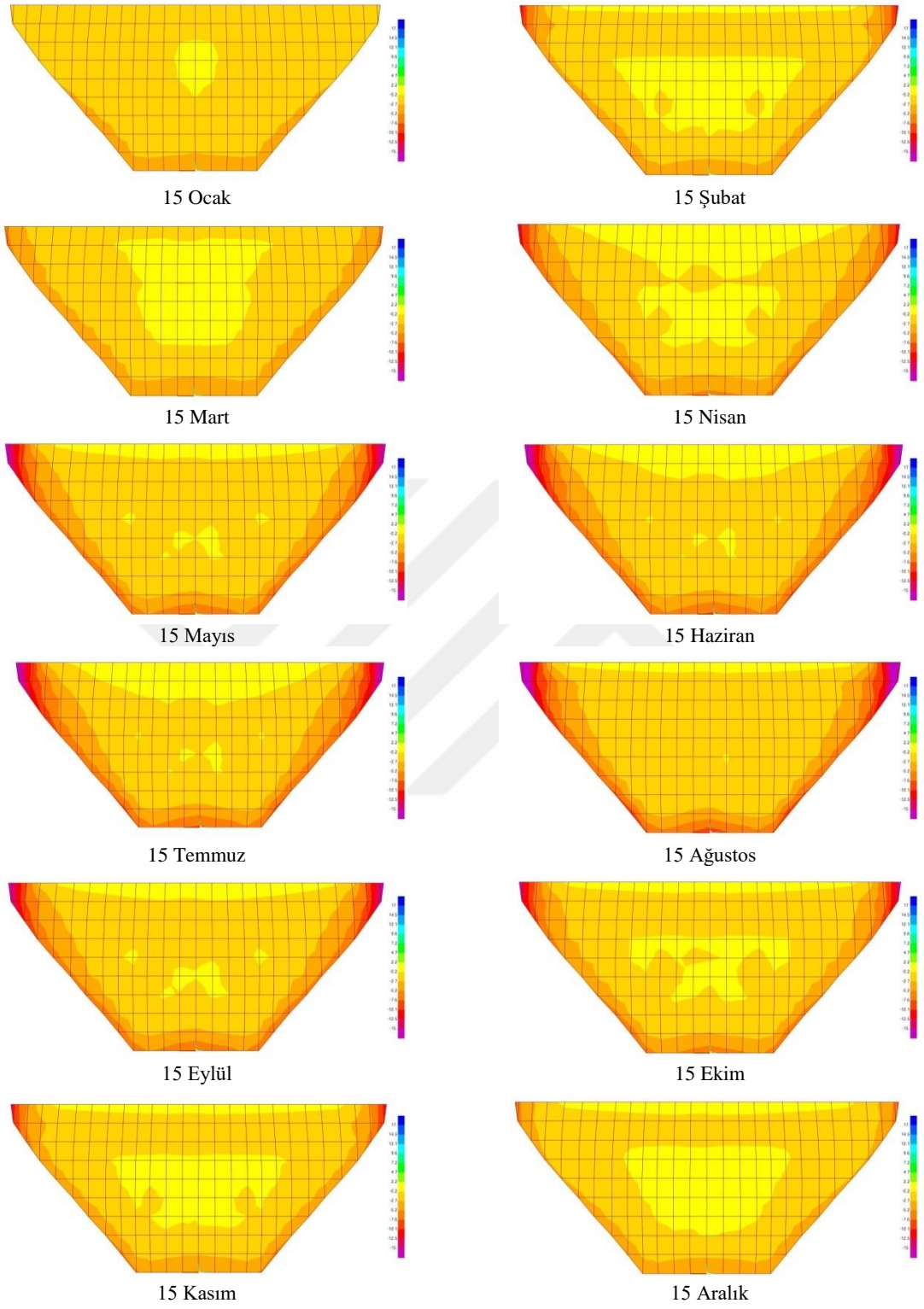


Şekil 3.96 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri

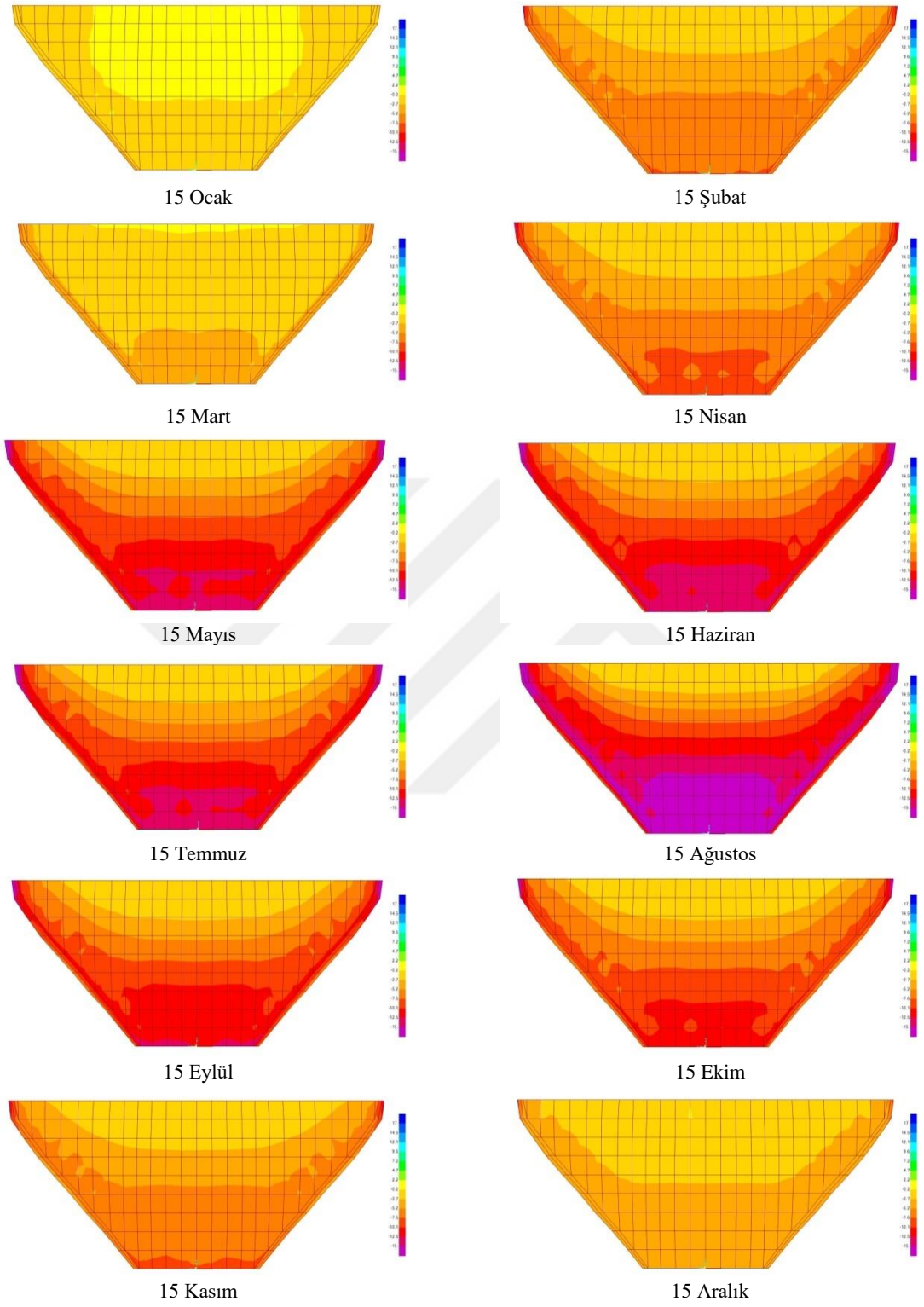




Şekil 3.97 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri

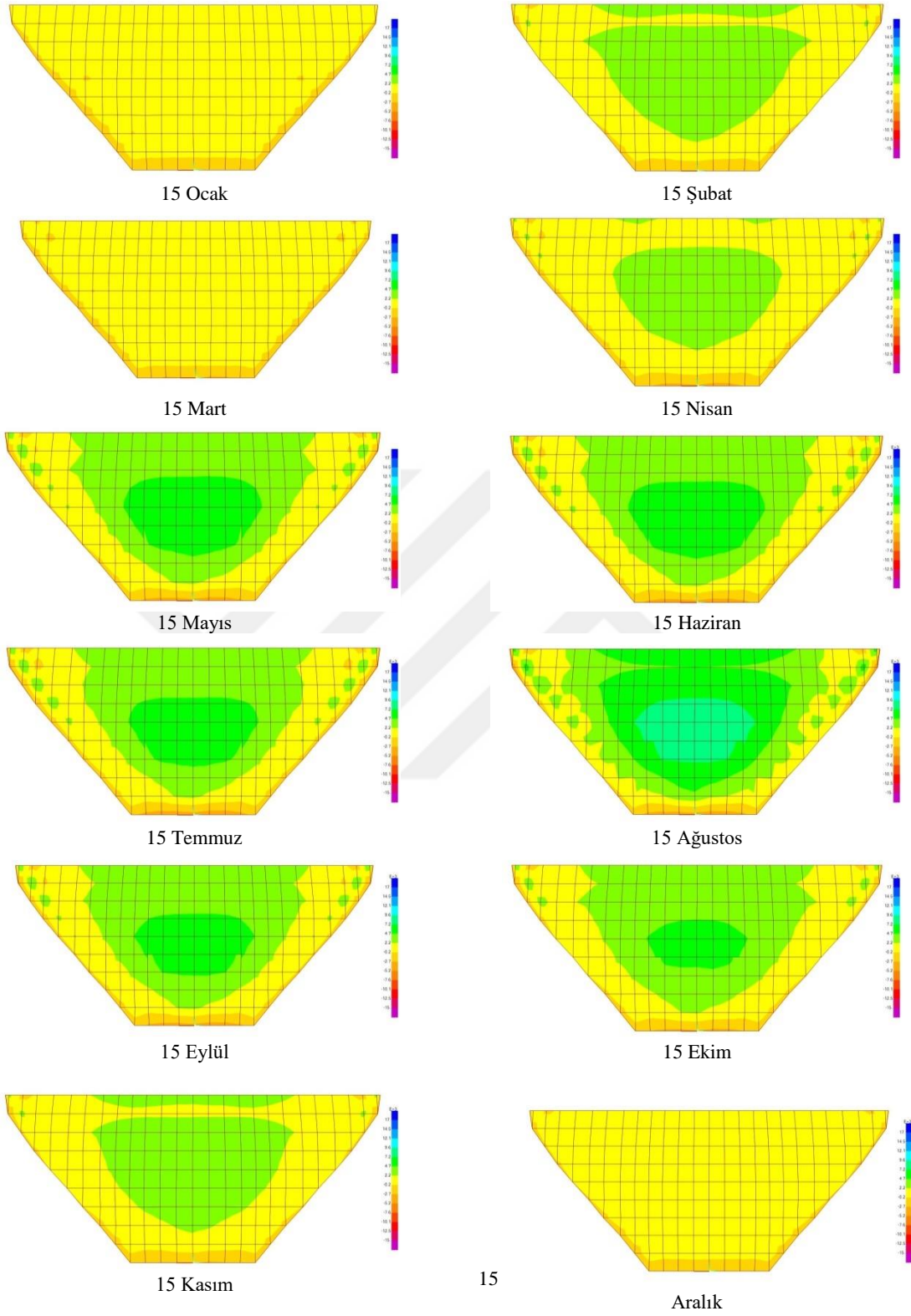


Şekil 3.98 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri

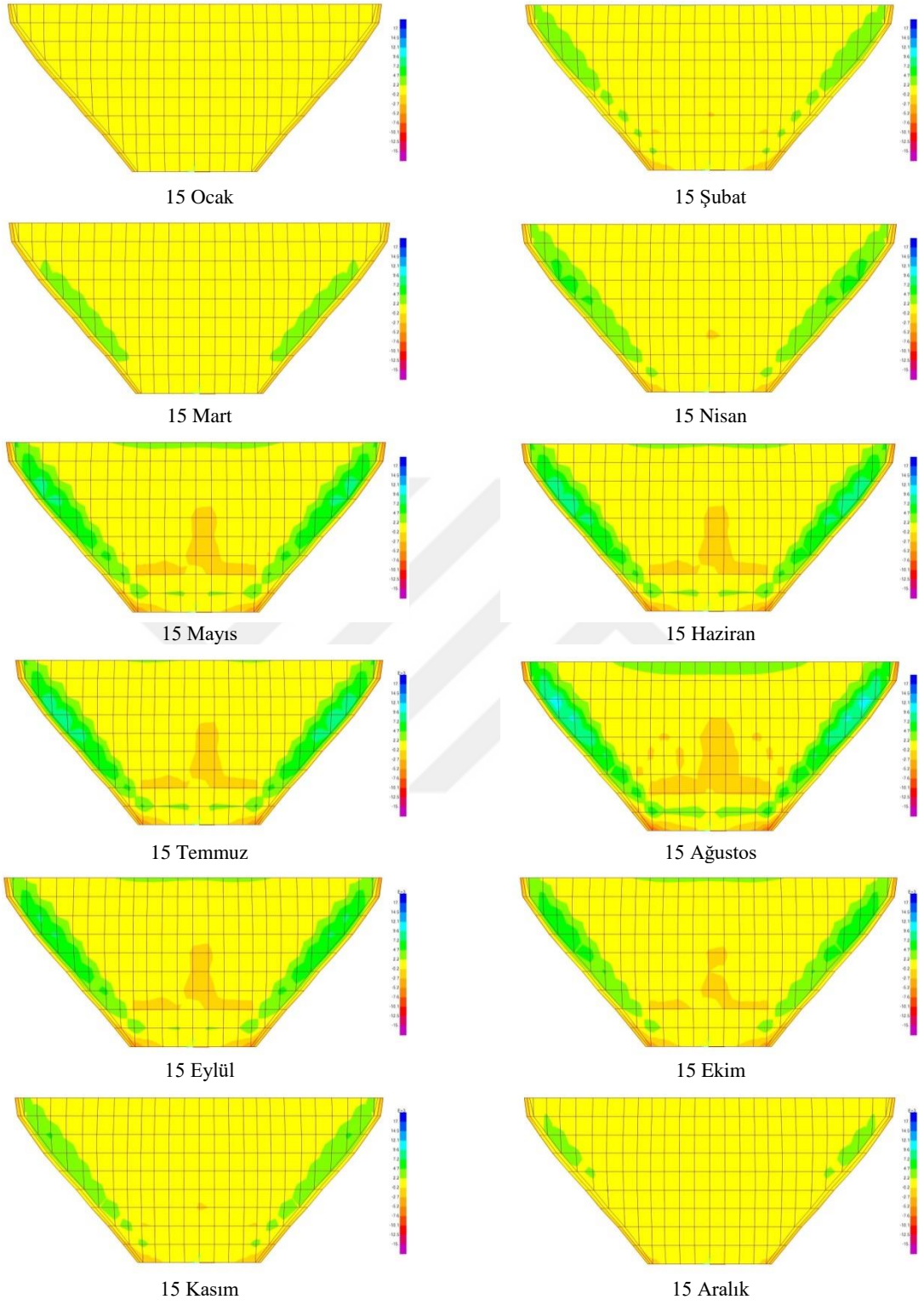


Şekil 3.99 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 160 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri

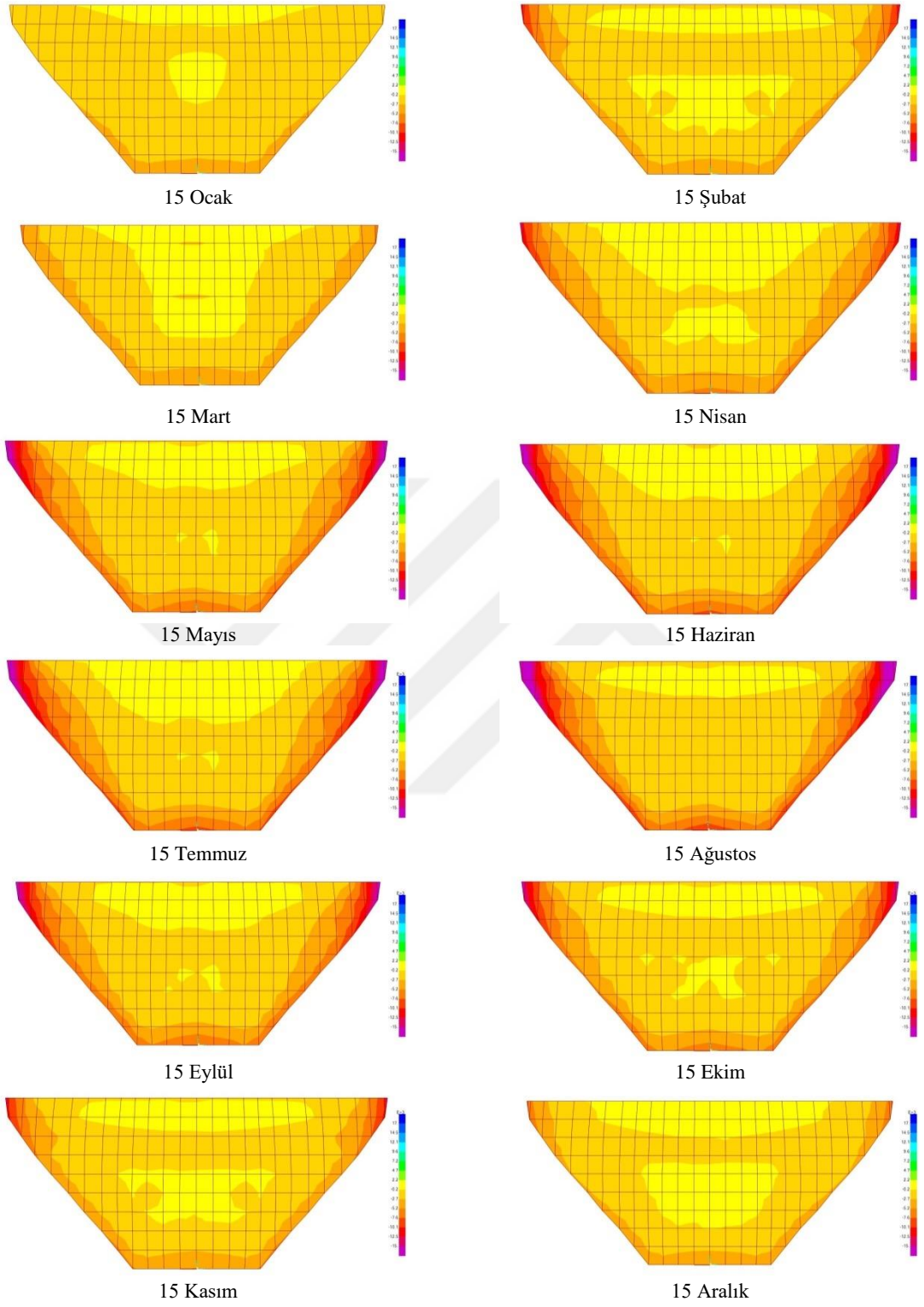




Şekil 3.100 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri

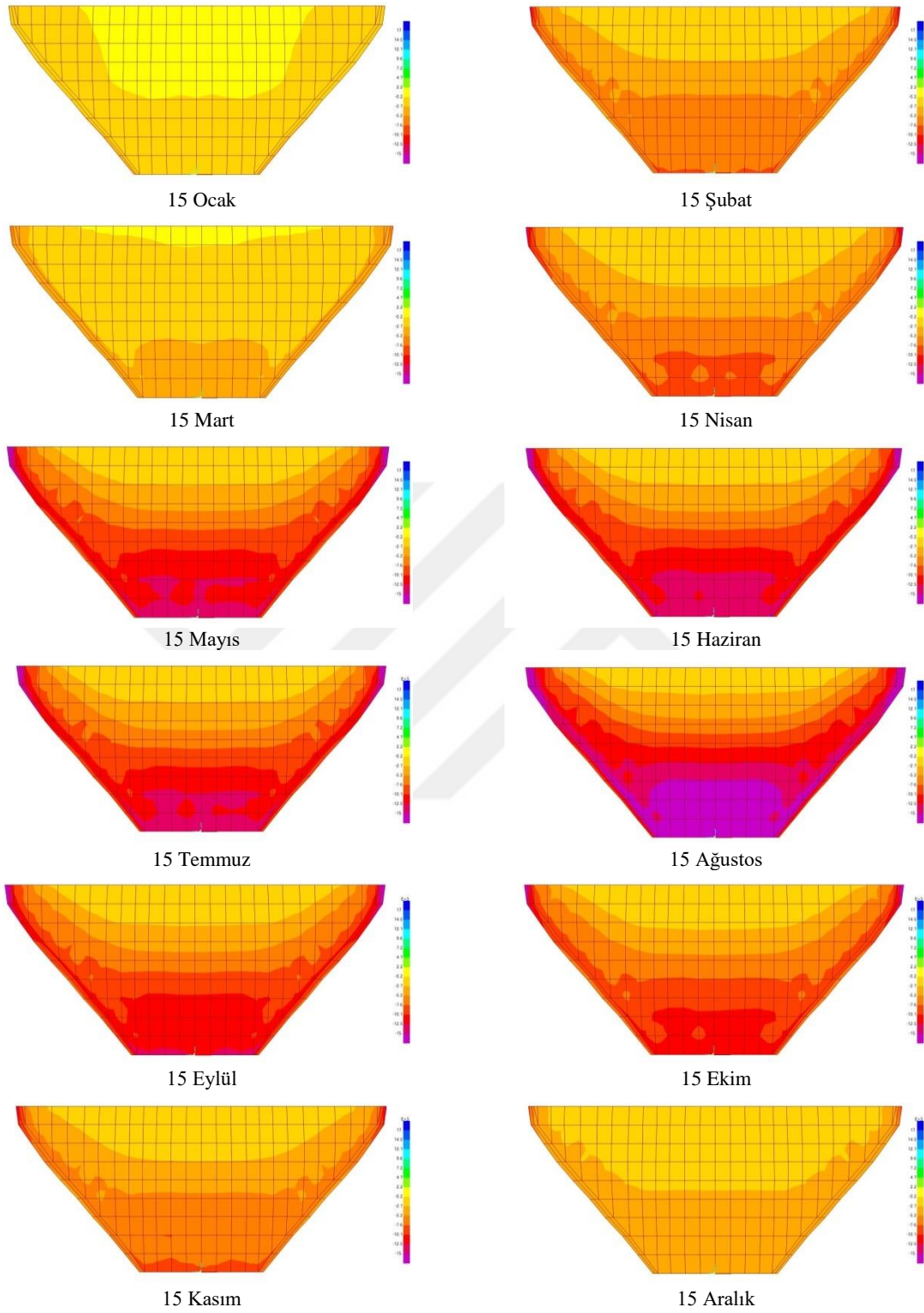


Şekil 3.101 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri

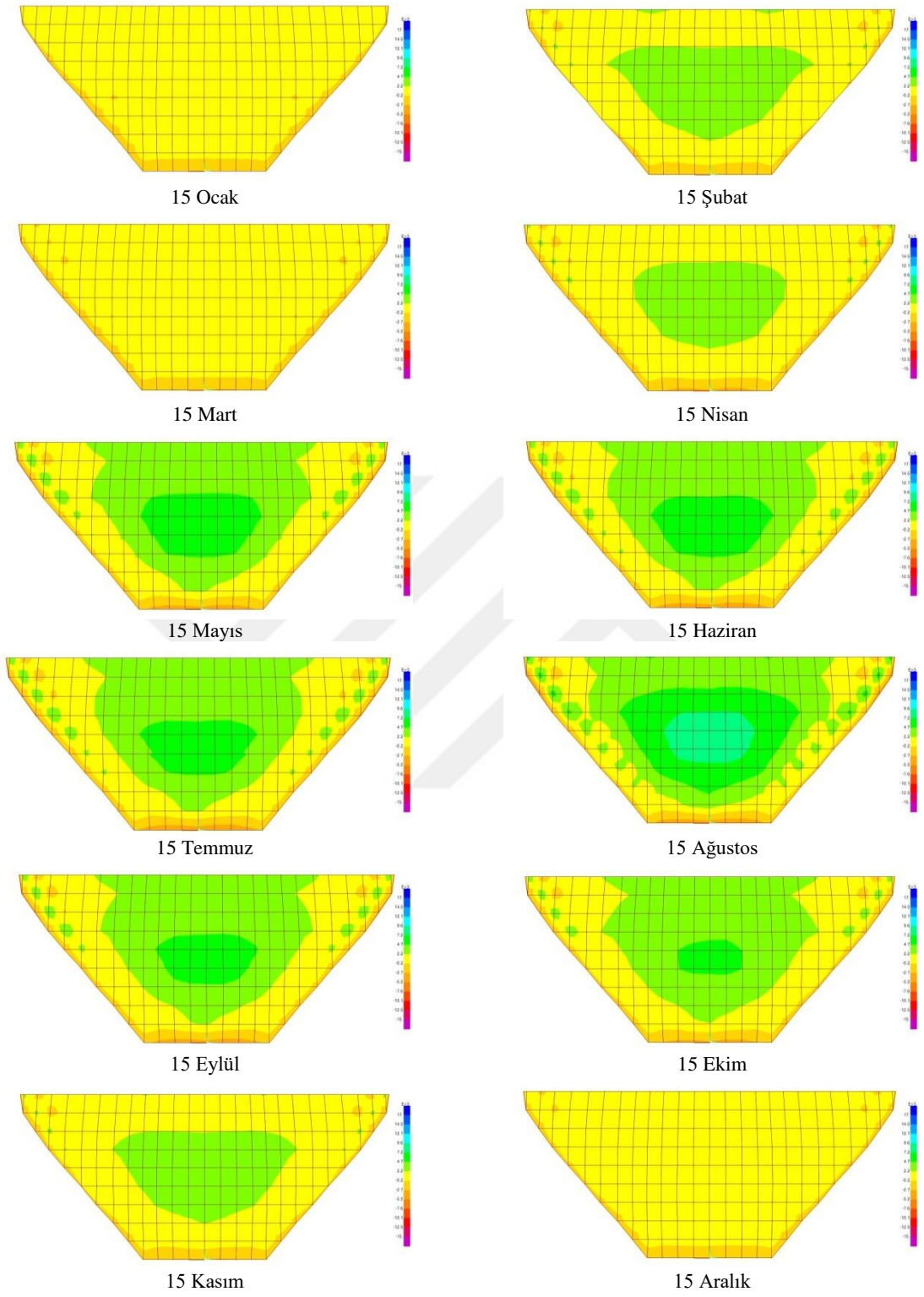


Şekil 3.102 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri

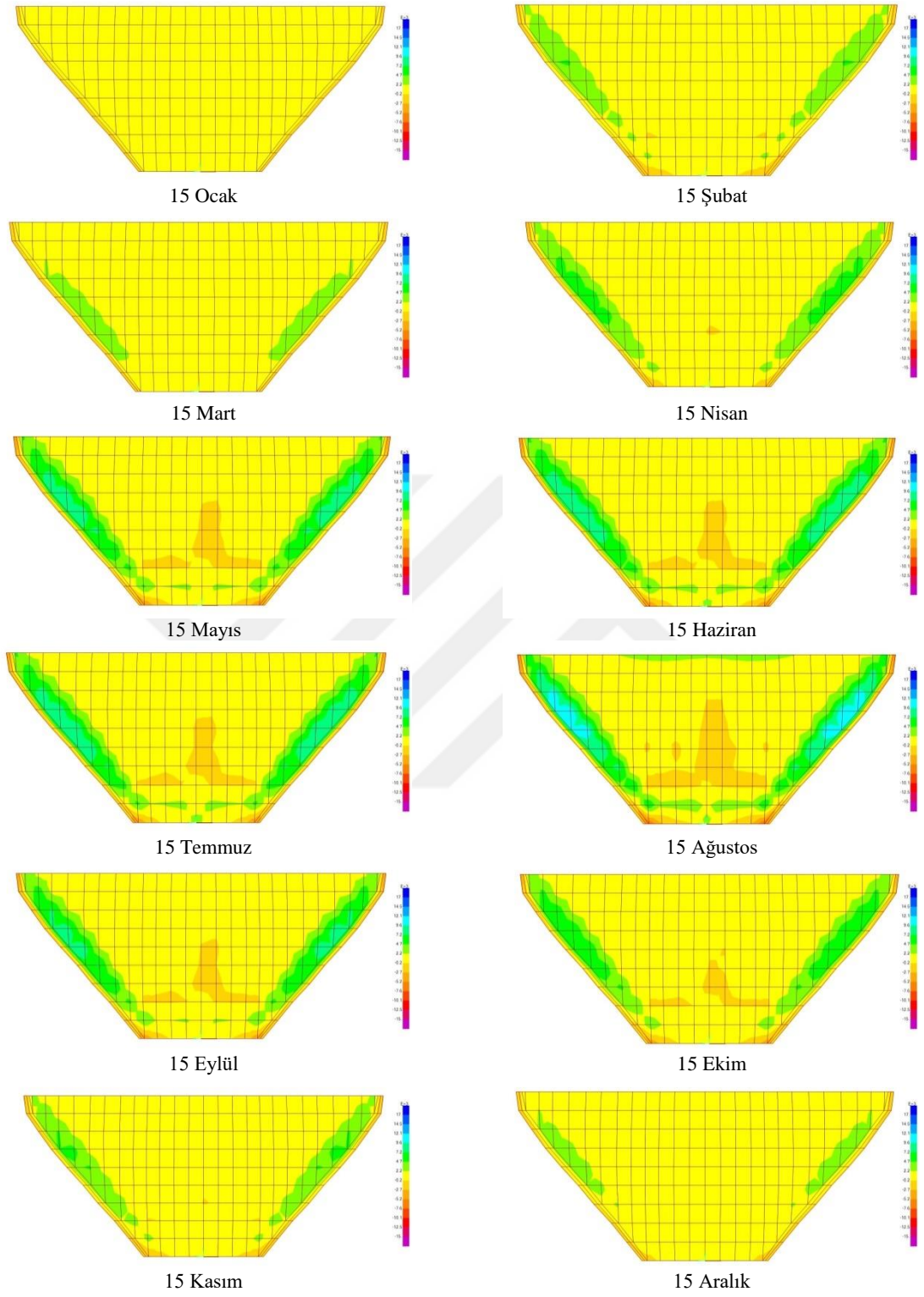




Şekil 3.103 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 140 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri

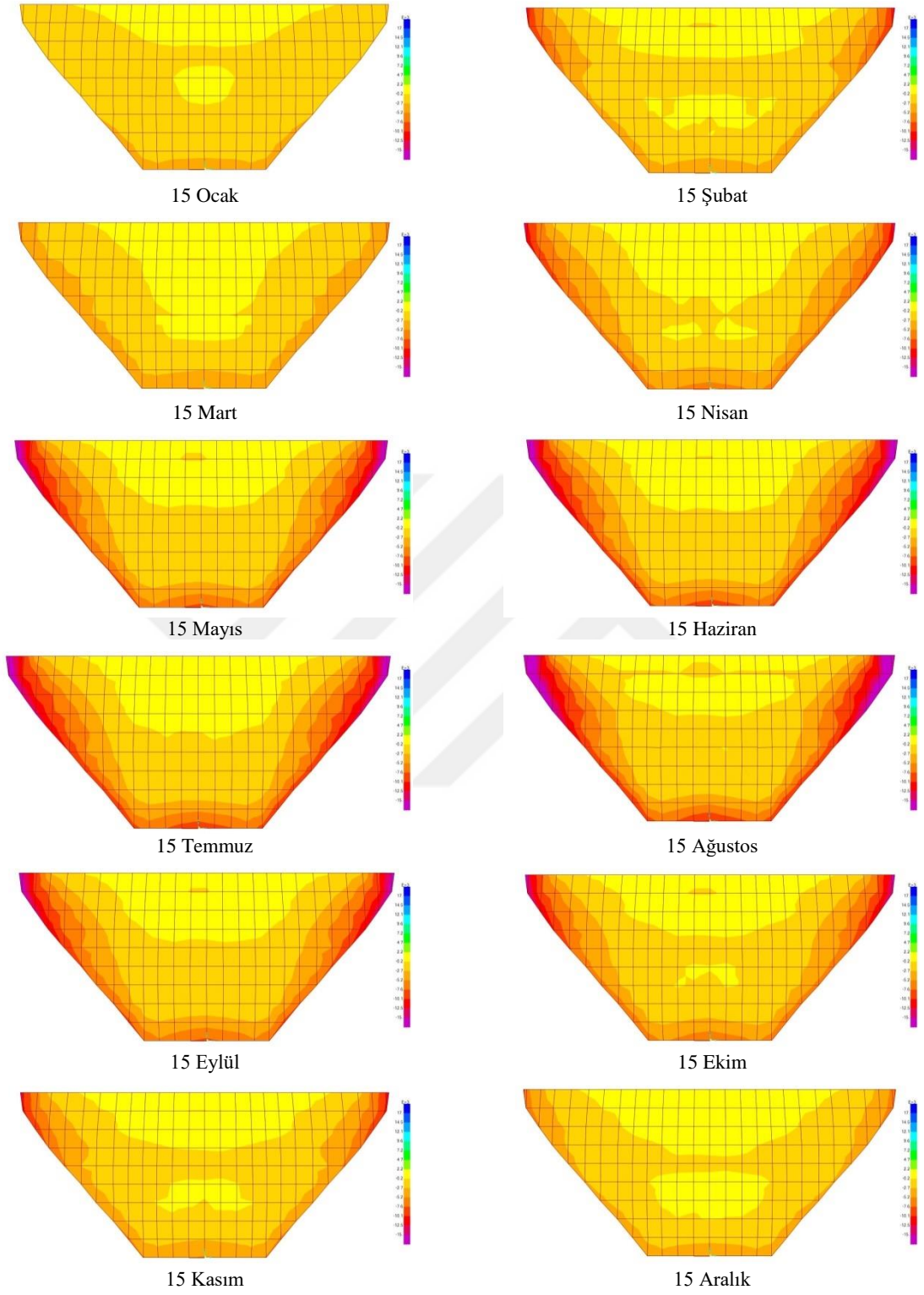


Şekil 3.104 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri

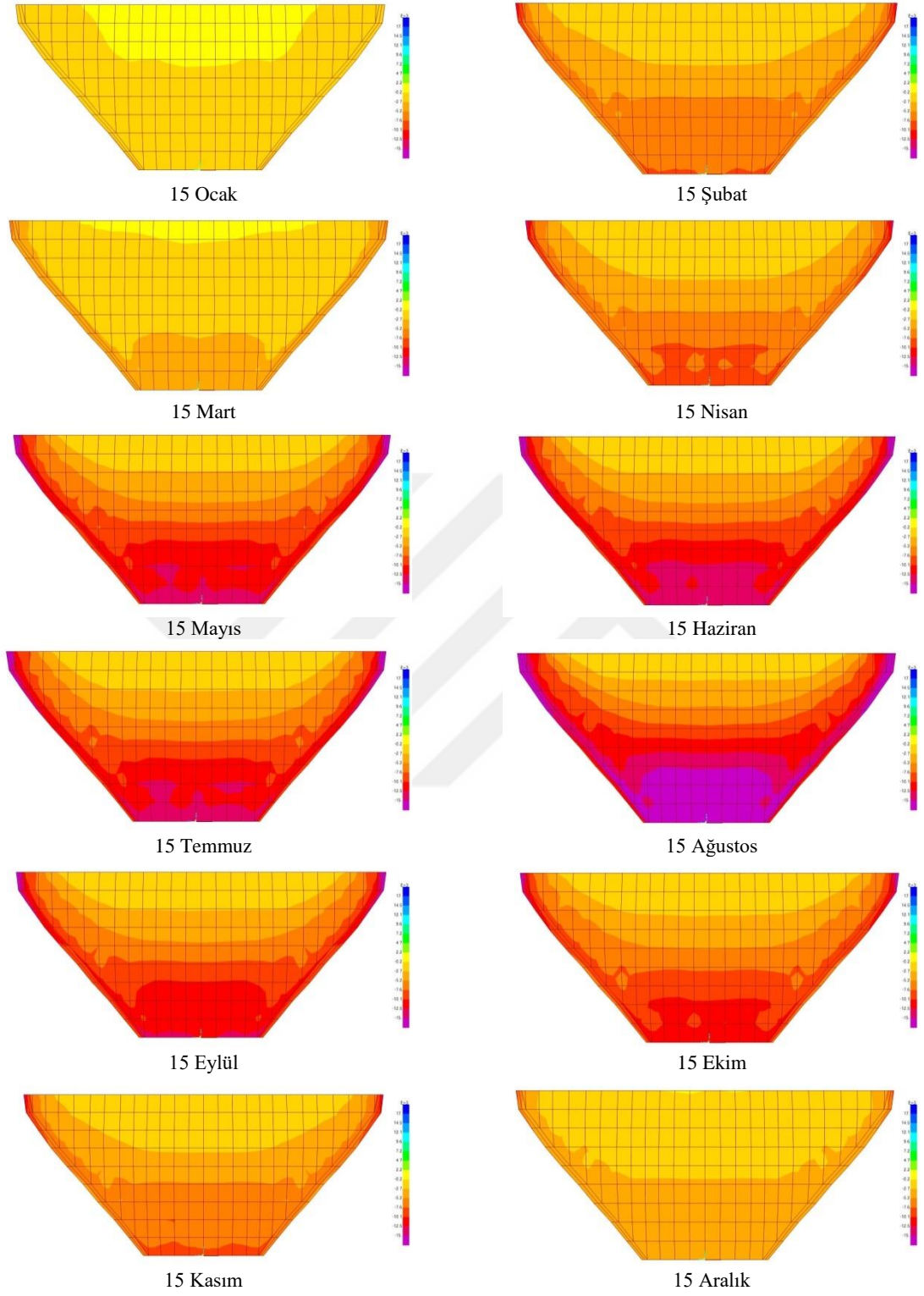


Şekil 3.105 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri

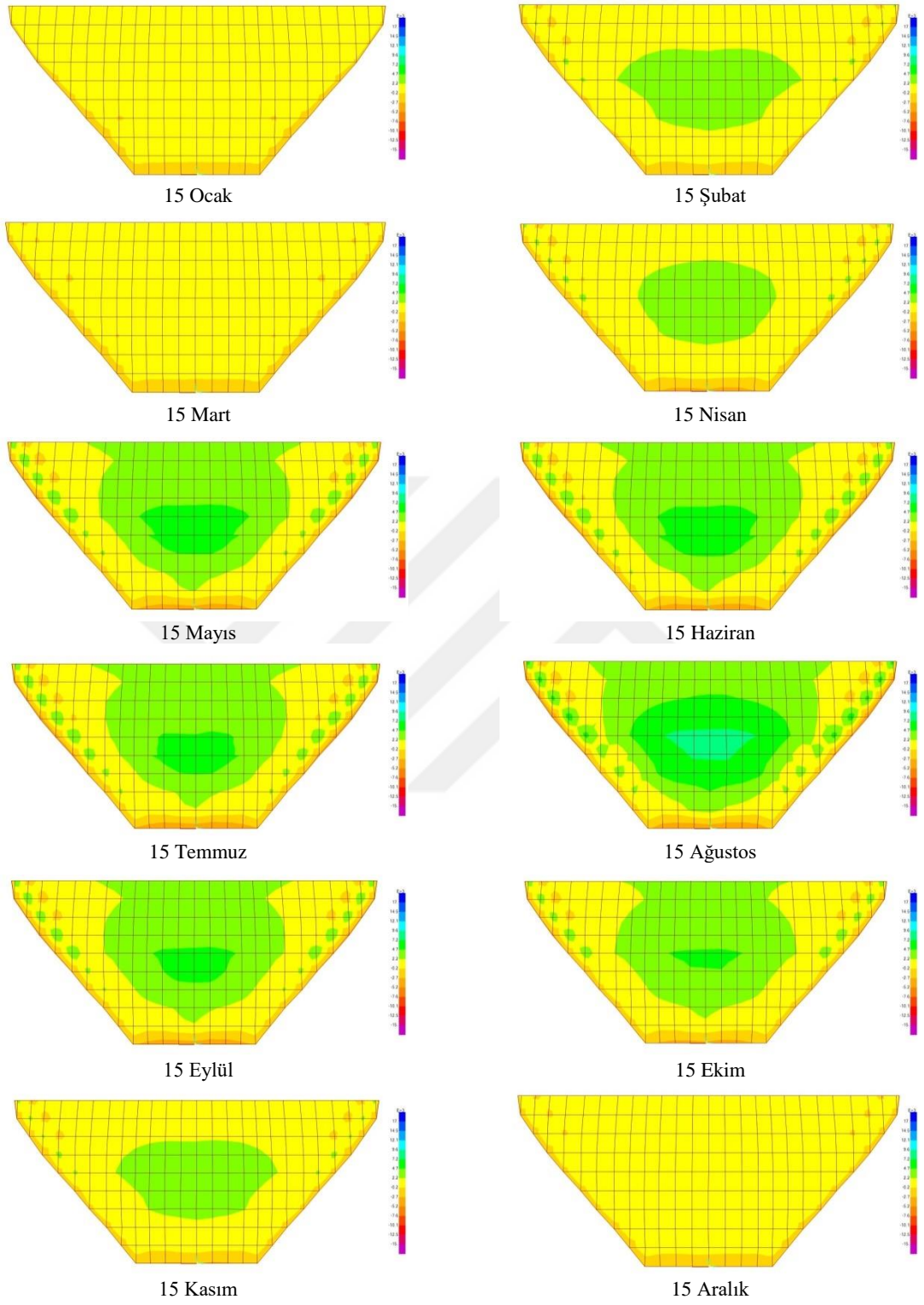




Şekil 3.106 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri

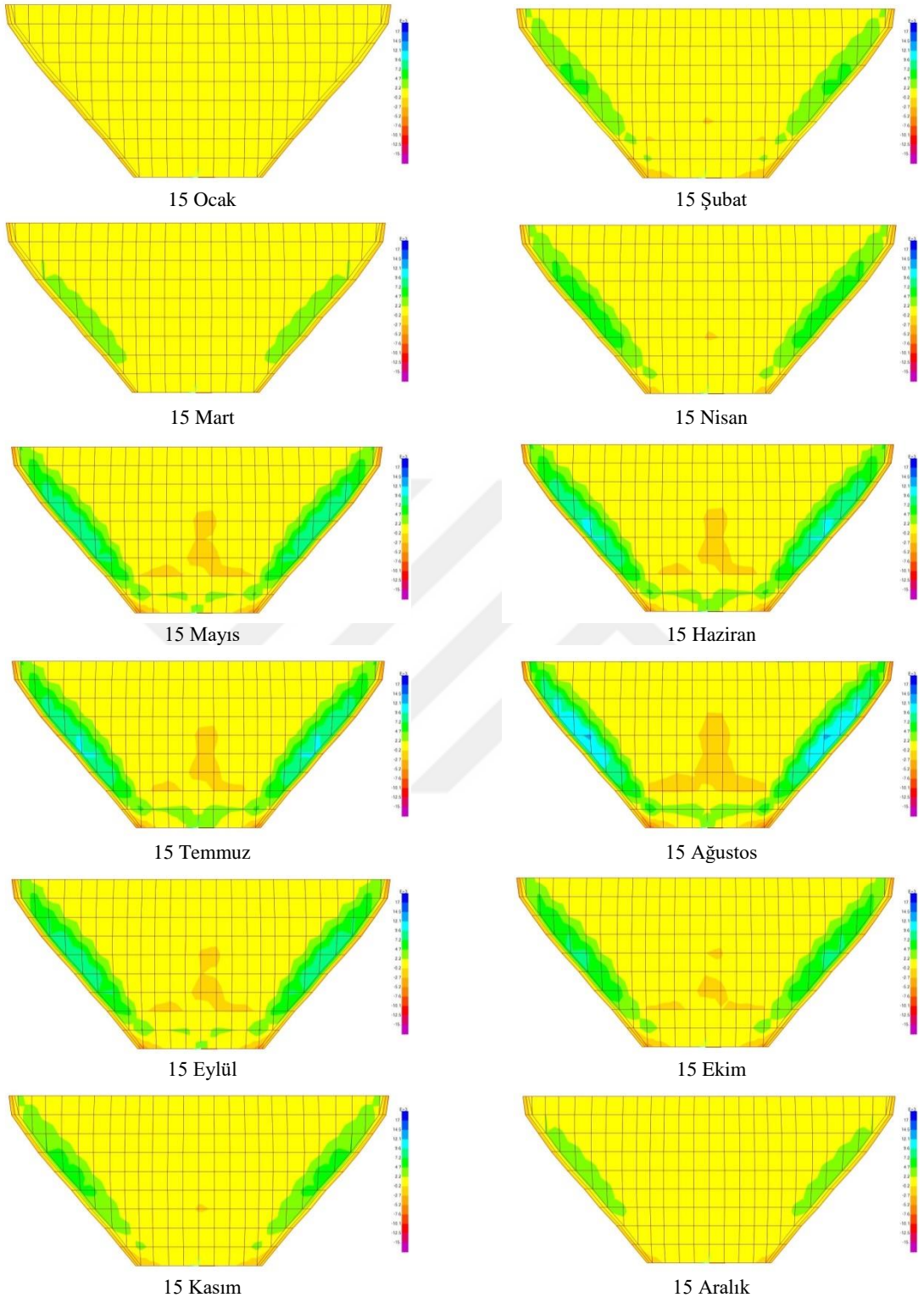


Şekil 3.107 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 120 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri

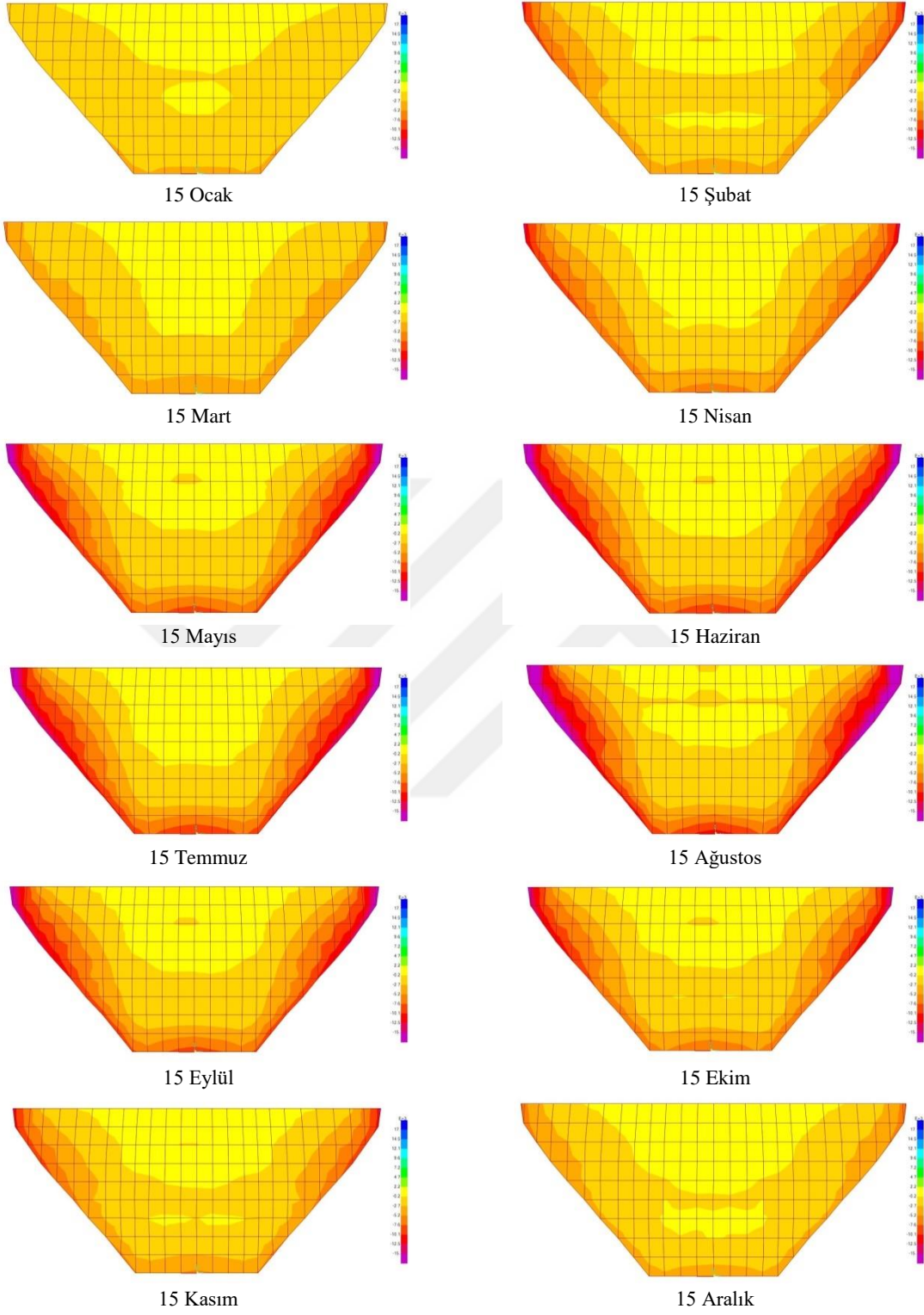


Şekil 3.108 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri

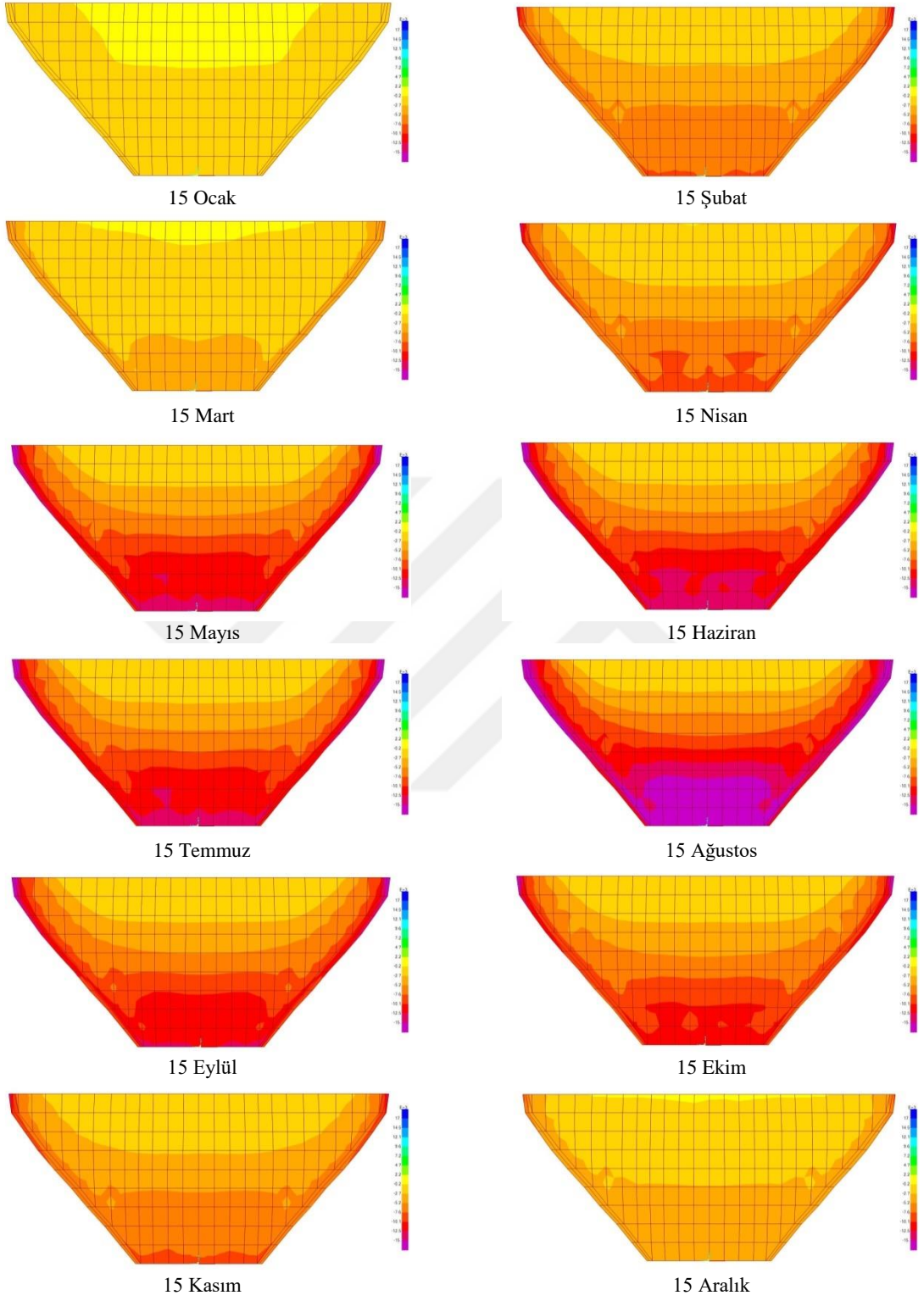




Şekil 3.109 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri

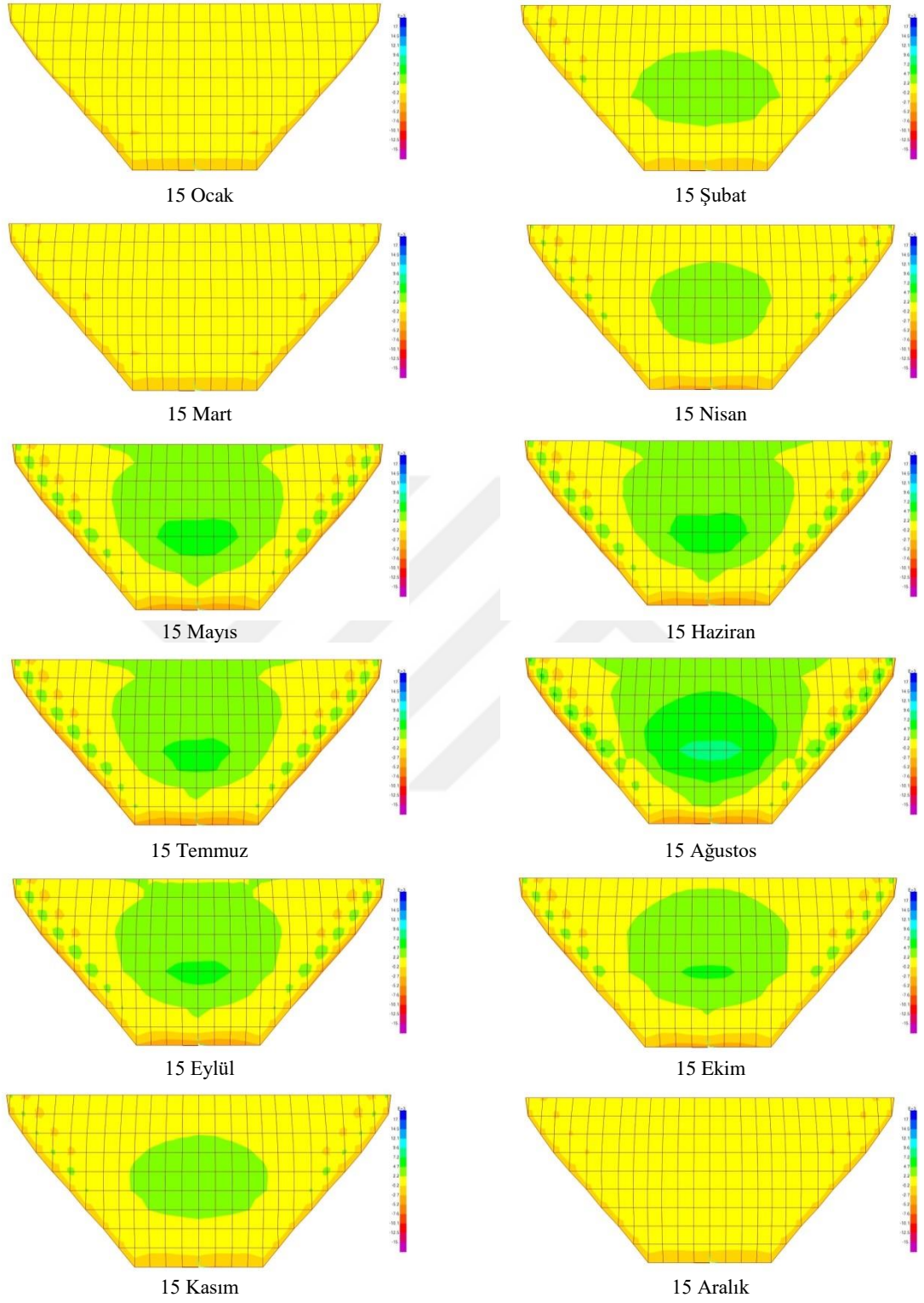


Şekil 3.110 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri

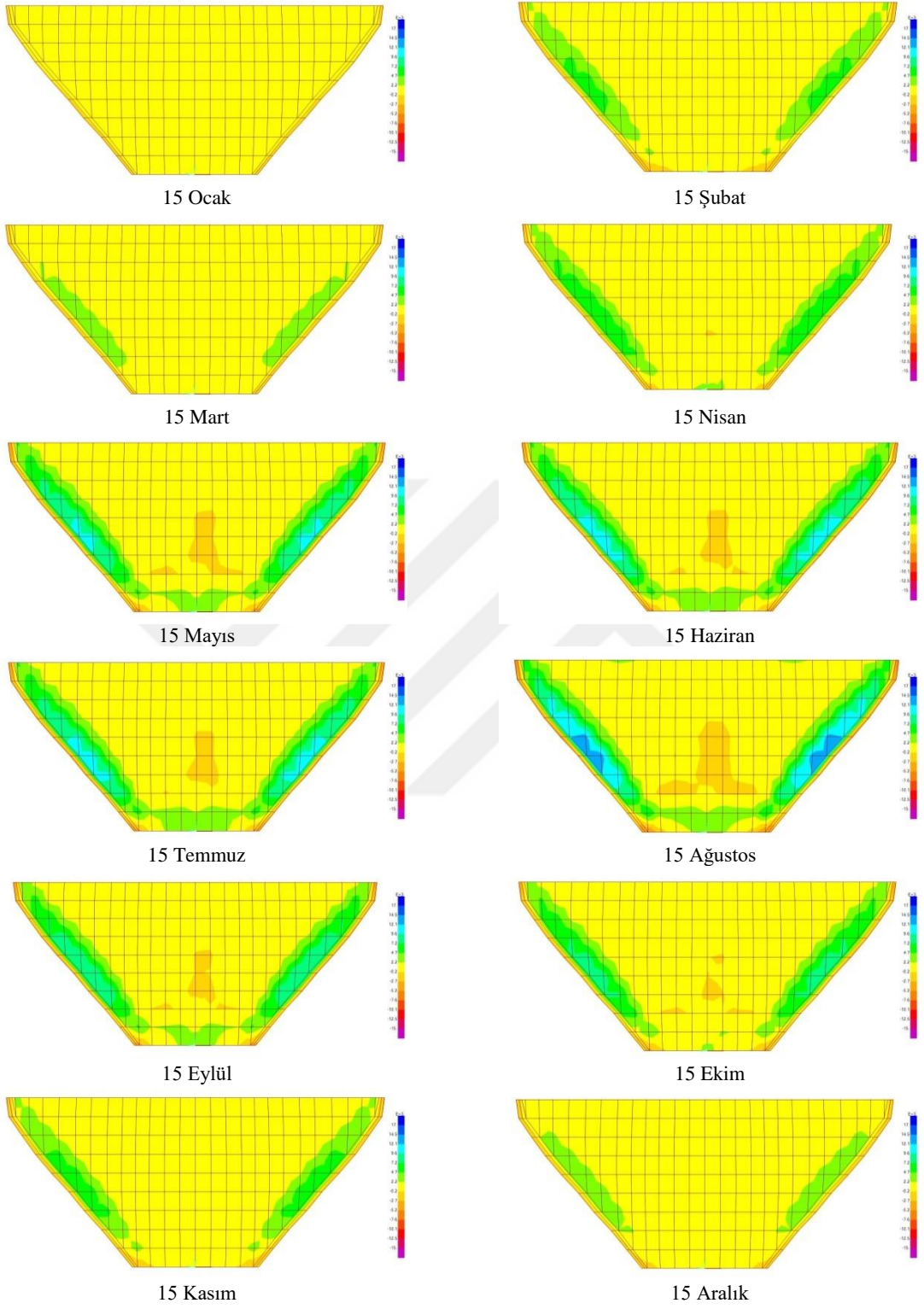


Şekil 3.111 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 100 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri

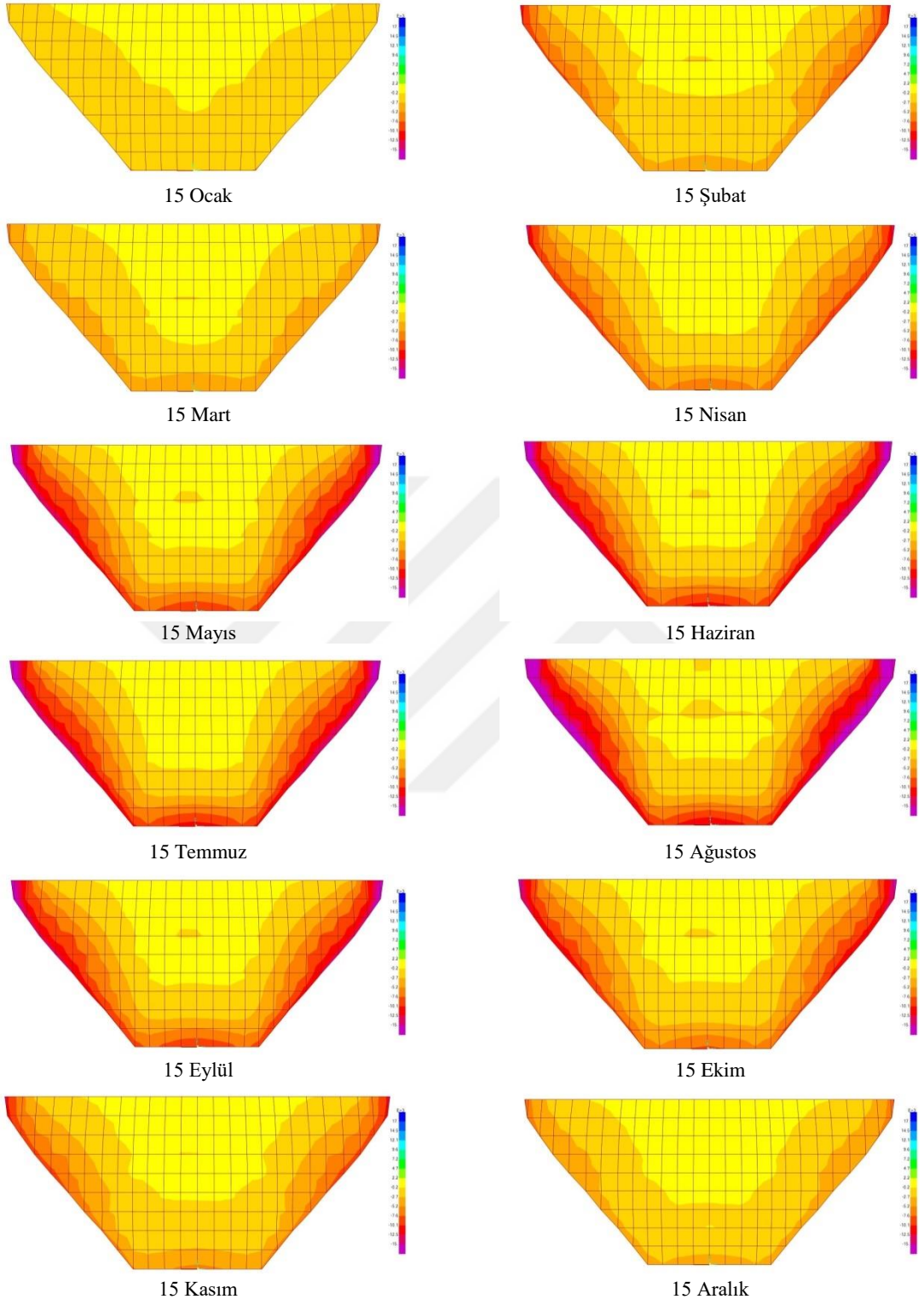




Şekil 3.112 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri

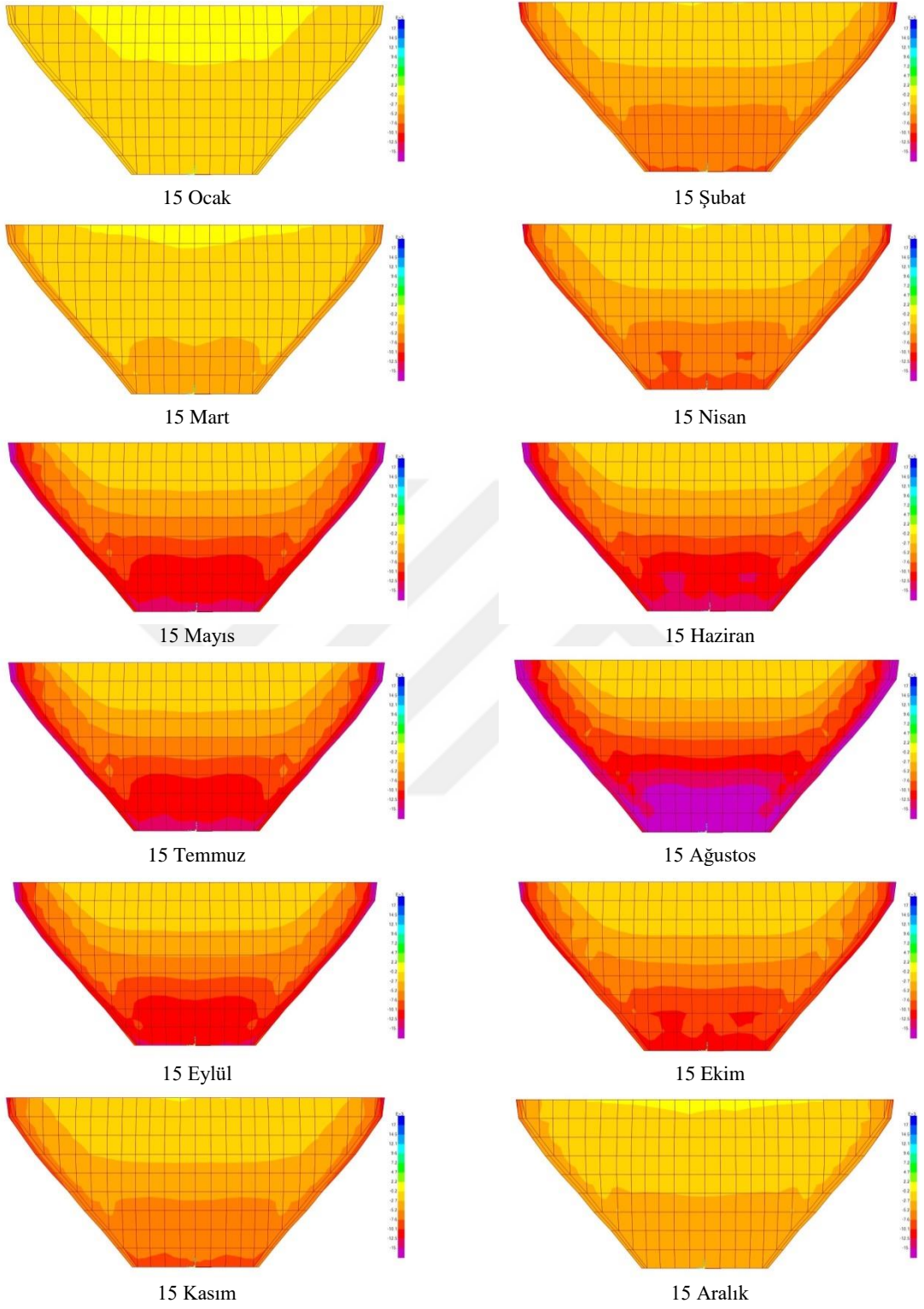


Şekil 3.113 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri

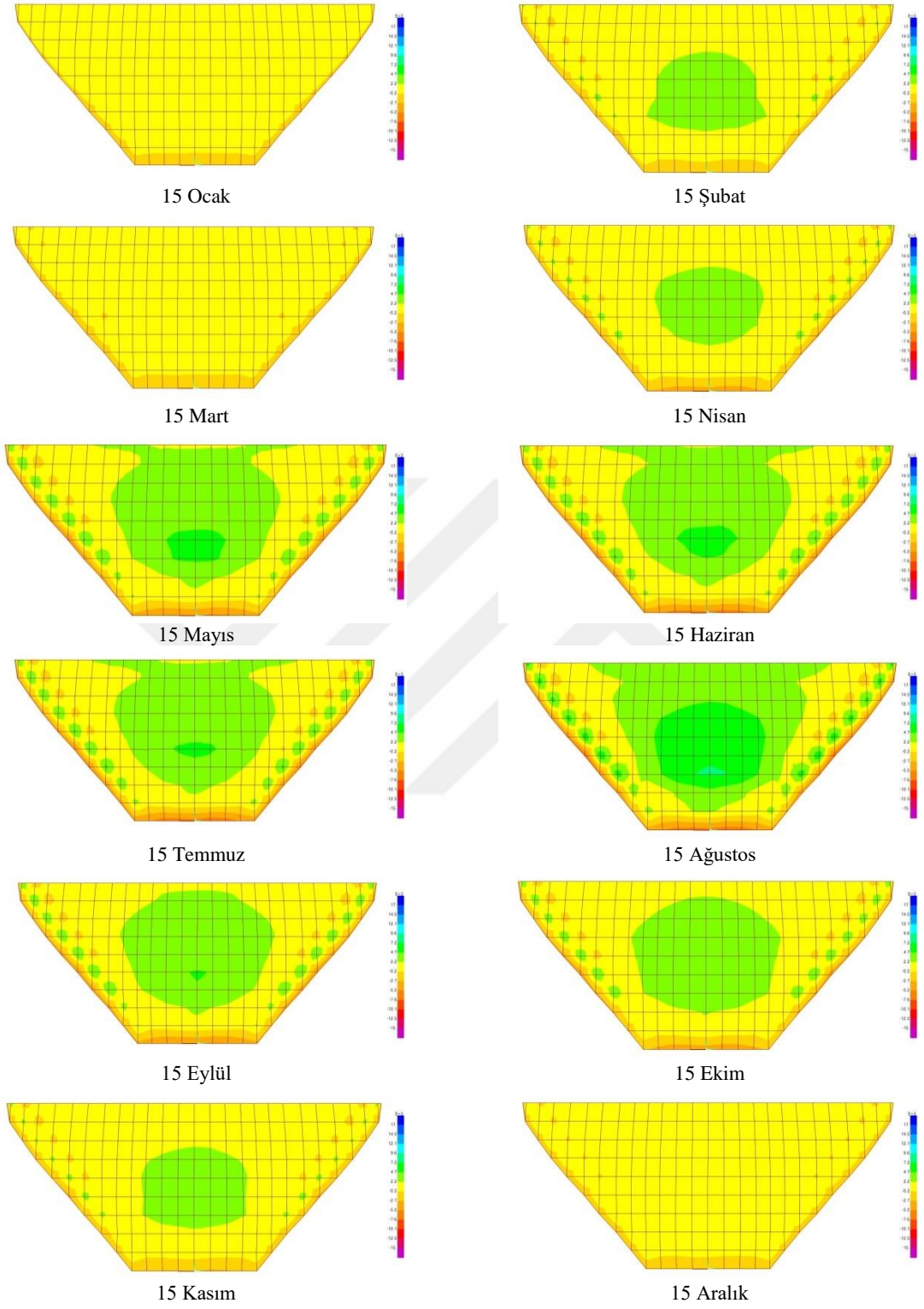


Şekil 3.114 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri

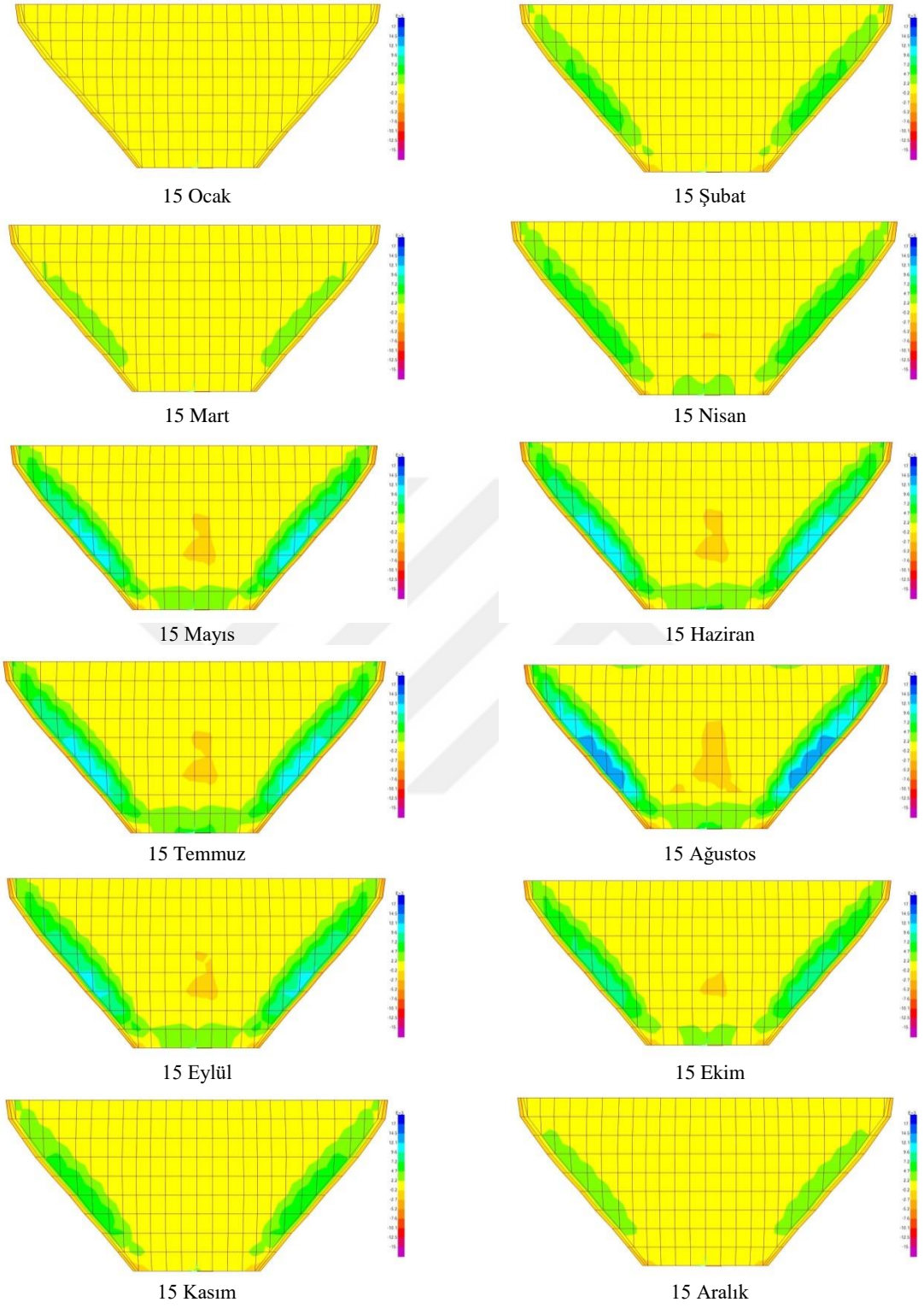




Şekil 3.115 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 80 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri

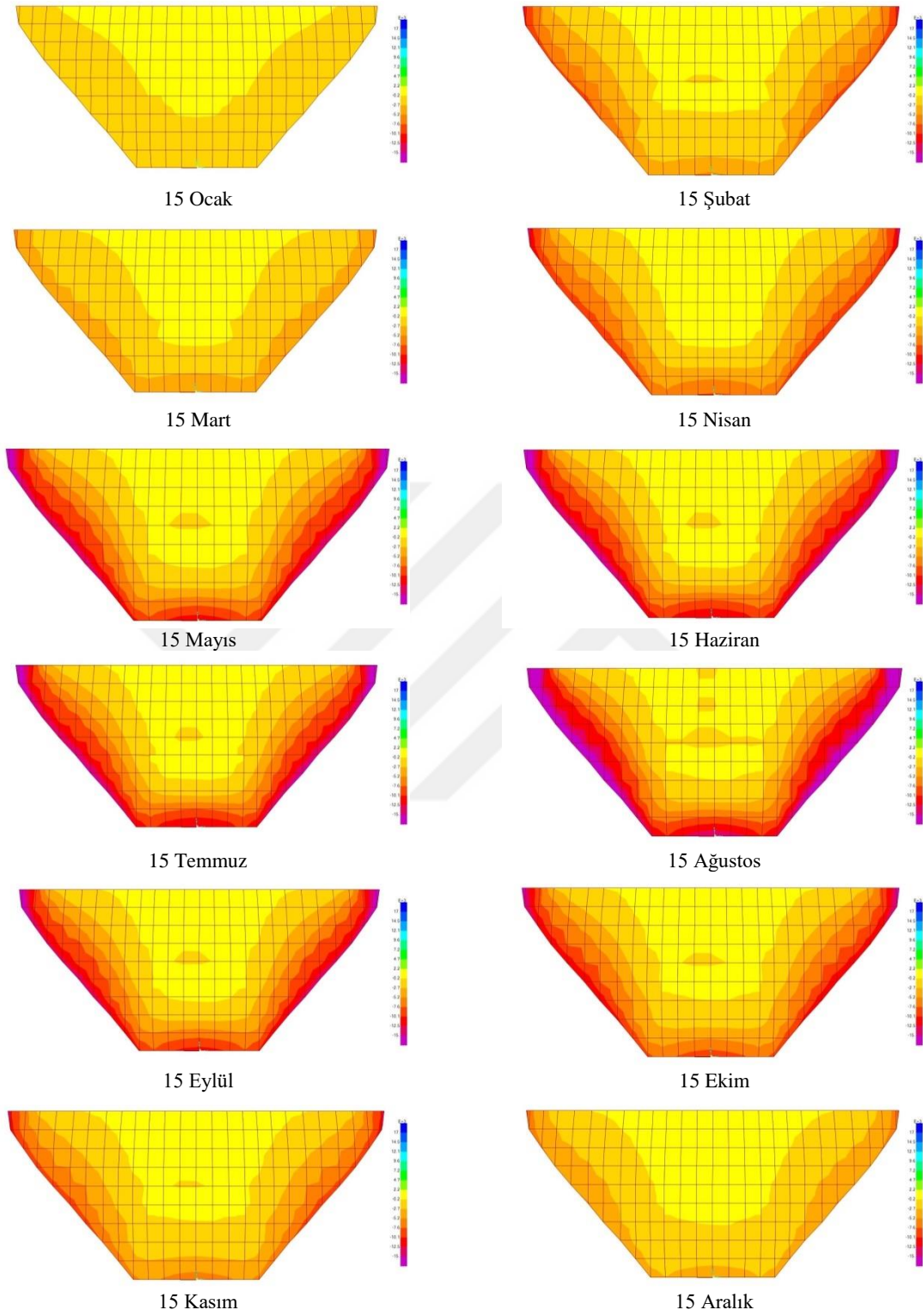


Şekil 3.116 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi çekme gerilmeleri

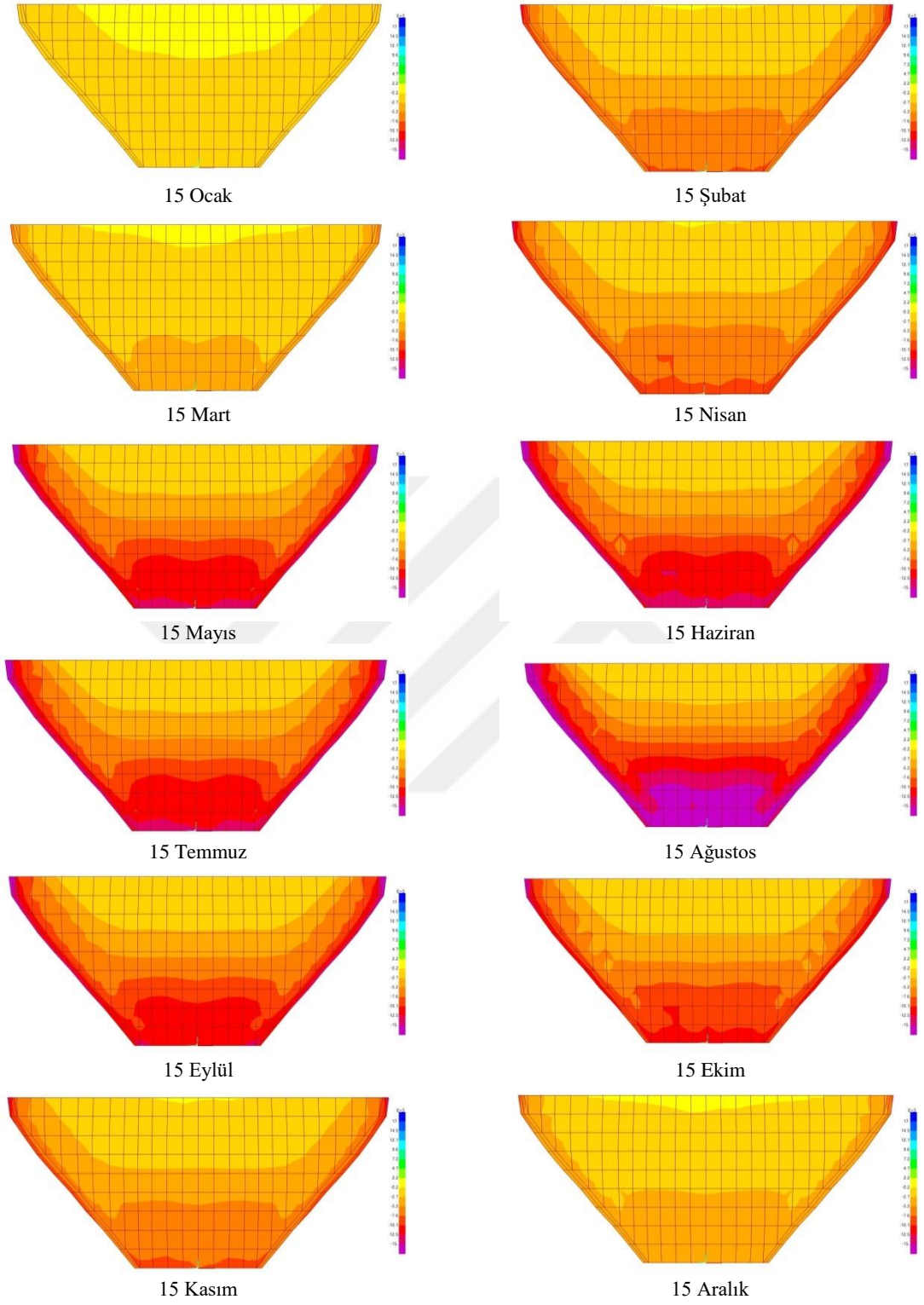


Şekil 3.117 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi çekme gerilmeleri





Şekil 3.118 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de memba yüzeyi basınç gerilmeleri



Şekil 3.119 Çağlayan Kemer Barajı su seviyesi 60 m de mansap yüzeyi basınç gerilmeleri

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Artvin ili Çoruh nehri üzerinde bir kemer barajın gövde ve zemin tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu barajın üzerinde sıcaklık çalışmaları yapılmıştır. Bir barajın sıcaklığı, tuttuğu suyun sıcaklığından büyük ölçüde etkilendiği için rezervuar suyundaki değişimler dikkate alınmıştır.

Rezervuar sıcaklığının belirlenmesinde bir yıllık değişim dikkate alınmıştır. Rezervura su seviyesi, 180 metreden 20'şer metre aralıklarla 60 metreye indirilerek toplamda yedi farklı durum olarak incelenmiştir. Su seviyesindeki değişim, su sıcaklığının sabit olduğu derinliğe kadar belirlenmiştir. Rezervuar sıcaklığının tahmini için Bofang tarafından önerilen metot (Zhu, 1997) kullanılmıştır.

Yapılan analizler sonucu elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Bir yıllık su sıcaklık değişiminde en elverişsiz durum yaz aylarıdır. Yaz aylarında en büyük gerilmeler, hava sıcaklığının yüksek olduğu ağustos ayında ortaya çıkmaktadır. Kış aylarında havalar soğudukça gerilmelerin azaldığı görülmektedir.

2. Su seviyesindeki değişimlerin baraj üzerinde büyük etkisinin olduğu görülmektedir. S<sub>11</sub> gerilmesinde, basınç gerilmesinin su seviyesi azaldıkça arttığı; çekme gerilmesinin de su seviyesi arttıkça arttığı görülmektedir. S<sub>22</sub> gerilmesinde, basınç gerilmesinin su seviyesi azaldıkça arttığı; çekme gerilmesinin su seviyesi 140 metreye kadar artıp, 140 metreden 60 metreye kadar çok fazla değişmediği görülmektedir. S<sub>33</sub> gerilmesinde, basınç gerilmesinde büyük değişiklikler görülmemektedir. Çekme gerilmesi ise su seviyesi 140 metrede en büyük değeri almaktadır. S<sub>12</sub> gerilmesinde, basınç ve çekme gerilmelerinin su seviyesi azaldıkça arttıkları görülmektedir. S<sub>13</sub> gerilmesinde, basınç gerilmesinin su seviyelerine bağlı olarak çok fazla değişmediği; çekme gerilmesinin de su seviyesi azaldıkça arttığı görülmektedir. S<sub>23</sub> gerilmesinde de, basınç ve çekme gerilmelerinin su seviyesi azaldıkça arttıkları görülmektedir.

3. Sıcaklık çalışmalarında, en büyük yer değiştirmeler memba-mansap (X-doğrultusu) doğrultusunda kret noktasında meydana gelmektedir. En büyük yer değiştirmeler yaz aylarında gözlenmektedir. En büyük yer değiştirme ise su seviyesi 100 metrede iken ağustos ayında görülmektedir.



4. Kemer barajın sıcaklık çalışmalarında genel olarak kış aylarından yaz aylarına doğru giderken gerilmelerin arttığı görülmektedir. Tek farklılık şubat ayından mart ayına geçişlerde görülmektedir. Bu durum bize seçilen gündeki hava sıcaklığının baraj için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

5. Üç boyutlu gerilmelere genel olarak bakıldığında kış aylarında su seviyesi azaldıkça basınç ve çekme gerilmelerinin azaldığı, yaz aylarında ise genel olarak su seviyesi azaldığında gerilmelerin arttığı görülmektedir.

6. S<sub>11</sub> gerilmesinde; basınç gerilmeleri, memba yüzeyinde baraj ve zeminin birleştiği üst köşelerde; mansap yüzeyinde ise baraj ve zeminin birleştiği alt köşelerde oluştuğu görülmektedir. Çekme gerilmeleri, memba yüzeyinde kretin zemine yakın olduğu yerlerde ve mansap yüzeyinde temelin biraz üzerinde sağ ve sol yamaca doğru oluştuğu görülmektedir. S<sub>22</sub> gerilmesinde, basınç gerilmeleri baraj ve zeminin birleştiği yerlerde, özellikle mansap yüzeyinde temelden yukarı doğru, çekme gerilmeleri de memba yüzeyinde orta kısımdan krete doğru oluştuğu görülmektedir. S<sub>33</sub> gerilmesinde; basınç gerilmeleri, mansap yüzeyinde baraj ve zeminin birleştiği köşelerde ve orta kısımda, çekme gerilmeleri, memba yüzeyinde gövdenin ortasında oluştuğu görülmektedir. S<sub>12</sub> gerilmesinde, basınç gerilmeleri, memba yüzeyinde barajın sol kıyısında baraj-zemin birleşim bölgesinde ve sağ kıyısında baraj-zemin birleşim bölgesine yakın alanlarda, mansap yüzeyinde ise barajın sol kıyısında baraj-zemin birleşim bölgesine yakın alanlarda oluştuğu görülmektedir. Çekme gerilmelerinin, memba yüzeyinde sağ kıyıda baraj ve zeminin birleştiği üst köşelerde ve dol kıyıda kretin ortasında, mansap yüzeyinde ise sağ kıyıda baraj-zemin birleşim bölgesine yakın yerlerde oluştuğu görülmektedir. S<sub>13</sub> gerilmesinde, basınç gerilmeleri, memba yüzeyinde gövdenin ortasında ve mansap yüzeyinde krette, çekme gerilmelerinin ise mansap yüzeyinde baraj ve zeminin birleştiği kenar bölgelerde oluştuğu görülmektedir. S<sub>23</sub> gerilmesinde, basınç gerilmeleri, memba yüzeyinde sağ kıyıda ve sol kıyının baraj ve zeminin birleştiği alt köşede; mansap yüzeyinde sağ kıyıda özellikle baraj-zemin birleşim bölgesine yakın yerlerde oluştuğu görülmektedir. Çekme gerilmelerinin de, memba yüzeyinde sol kıyıda gövdenin ortasında, mansap yüzeyinde sol kıyının baraj-zemin birleşim bölgesine yakın alanlarda oluştuğu görülmektedir.

7. Çekme gerilmelerinin barajın memba yüzeyinde gövdede toplandığı ve mansap yüzeyinde ise barajın sağ ve sol yamaçlara mesnetlendiği bölgede toplandığı görülmektedir.

8. Basınç gerilmelerinin ise barajın mansap yüzeyinde temelde yoğunlaştığı görülmektedir. Barajın memba yüzeyinde basınç gerilmesinin su seviyesi 180 metrede iken kretin sağ ve sol yamaçlara meslendiği bölgelerde ve su seviyesi 60 metreye indikçe gerilmelerinde mesnetlenme bölgesinde arttıkları gözlenmektedir.

9. Bu tez çalışmasında sıcaklık değerleri için her ayın 15'i kullanılmıştır. Normal şartlarda Şubat ayından Mart ayına geçerken gerilmelerde ve yer değiştirmelerde artmaların oluşması beklenmektedir. Bu analizler sonucunda, Şubat ayından Mart ayına geçerken gerilmeler ve yer değiştirmelerde bir azalma söz konusudur. Tablo 2.4 incelendiğinde Mart ayındaki ortalama günlük hava sıcaklığının Şubat ayından daha az olduğu görülmektedir. Bu durum bize seçilen gündeki hava sıcaklığının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında farklı çalışmalara ışık tutması açısından yapılan bazı öneriler maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır:

- Analizlerde görülmüştür ki; sıcaklık baraj davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple, rezervuar sıcaklığı yanında Bölüm 1.9.1.1'de belirtilen (1.3) formülünde rezervuar yüzeyindeki ortalama yıllık su sıcaklığı bulunurken ihmal edilen güneş ışınlarına bağlı sıcaklık artışı üzerinde durmak gerekmektedir (Santillán vd., 2015).
- Betonun sıcaklığı güneş ışınlarından da etkilenebileceği için baraj gövdesinde memba-mansap yüzeylerinde hava sıcaklığına güneş ışınlarının etkisini de eklenmesi gerekmektedir.
- Kış aylarından yaz aylarına geçişlerde gerilmeler ve yer değiştirmelerde tam bir artış grafiği elde edebilmek için her ayın en yüksek sıcaklığının olduğu gün seçilerek rezervuar sıcaklık değişimlerini elde etmek gerekmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Akköse, M. ve Dumanoglu, A., 2001. Kemer Baraj Projelendirme İlkeleri, Türkiye Deprem Vakfı.
- AutoCAD, 2016, Autodesk AutoCAD 2016, USA.
- Berkün, M., 2005. Su Kaynakları Mühendisliği, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- Chen, Y., Wang, C., Li, S., Wang, R. ve He, J., 2001. Simulation Analysis of Thermal Stress of RCC Dams Using 3-D Finite Element Relocating Mesh Method, Advances in Engineering Software, 32, 677-682.
- Hariri-Ardebili, M.A. ve Kianoush, M.R., 2014. Integrative Seismic Safety Evaluation of a High Concrete Arch Dam, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 67, 85-101.
- Jaafar, M.S., Bayagoob, K.H., Noorzaie, J. ve Thanoon, W.A.M., 2007. Development of Finite Element Computer Code for Thermal Analysis of Roller Compacted Concrete Dams, Science Direct, 886-895.
- Kızılkaya, T. ve Yegül, Ü., 1979, Su Yapıları, M.E.B., İstanbul.
- Léger, P. ve Leclerc, M., 2007. Hydrostatic, Temperature, Time-Displacement Model for Concrete Dams, Journal of Engineering Mechanics, 133, 267-277.
- Li, Q., Liang, G., Hu, Y. ve Zuo, Z., 2014. Numerical Analysis on Temperature Rise of a Concrete Arch Dam after Sealing Based on Measured Data, Research Article.
- Mirzabozorg, H., Hariri-Ardebili, M.A., Shir Khan, M. ve Seyed-Kolbadi, S.M., 2014. Mathematical Modeling and Numerical Analysis of Thermal Distribution in Arch Dams considering Solar Radiation Effect, Research Article.
- Santillán, D., Salet, E. ve Toledo, M.,Á., 2015-a. A Methodology for the Assessment of the Effect of Climate Change on the Thermal-Strain-Stress Behaviour of Structures, Engineering Structures, 92, 123-141.
- Santillán, D., Salet, E. ve Toledo, M.,Á., 2015-b. A New 1D Analytical Model for Computing the Thermal Field of Concrete Dams due to the Environmental Actions, Applied Thermal Engineering, 85, 160-171.
- SAP2000, 2016. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.

- Sheibany, F. ve Ghaemian, M., 2006. Effects of Environmental Action on Thermal Stress Analysis of Karaj Concrete Arch Dam, Journal of Engineering Mechanics, 132,5, 532-544
- Tatin, M., Briffaut, M., Dufour, F., Simon, A. ve Fabre, J.-P., 2015. Thermal Displacements of Concrete Dams: Accounting for Water Temperature in Statistical Models, Engineering Structures, 26-39.
- Turfan, M. 1996, Özetle Baraj Nedir?, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- URL-1, [www.tr.wikipedia.org](http://www.tr.wikipedia.org) ,Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 06.10.2016.
- URL-2, <https://wiki.csiamerica.com>, 18.11.2016.
- USACE, 1994. Arch Dam Design, Department of the Army, Manual No. 1110-2-2201, 31, Washington, USA.
- Zhang, J., Huang, C., Lu, C., Han, L., Wang, P. ve Li, G., 2014. Automatic Thermal Analysis of Gravity Dams with Fast Boundary Face Method, Engineering Analysis with Boundary Elements, 41, 111-121.
- Zhu, B. 1997, Prediction of Water Temperature in Deep Reservoirs, Dam Engineering, 8,1, 13-25.

## ÖZGEÇMİŞ

Hatice ERDOĞMUŞ 21.12.1991 tarihinde Kütahya'da doğdu. İlköğrenimini Yenidoğan İlköğretim Okulu'nda aldıktan sonra lise öğrenimini Kütahya Anadolu Ali Güral Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başlayarak 2015 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlayan Hatice ERDOĞMUŞ, orta düzeyde İngilizce bilmektedir.

