

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜREKLİ YAPI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM
BOYUTLANDIRILMASI

SEDAT SAVAŞ

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

2002

116613

116613

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜREKLİ YAPI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

SEDAT SAVAŞ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 17 / 07 /2002 tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile
Başarılı olarak değerlendirilmiştir.**



Danışman

Prof. Dr. Mehmet ÜLKER



Üye

Prof. Dr. M. Polat SAKA



Üye

Prof. Dr. M. Sedat HAYALIOĞLU

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../2002
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Doktora Tezi

SÜREKLİ YAPI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

Sedat SAVAŞ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2002, Sayfa 93

Sürekli yapı sistemler içerisinde, kemer barajlar kompleks ve maliyeti yüksek yapılar olduğundan, bu tip yapıların optimum boyutlandırılması problemi önemli bir yer teşkil etmektedir. Bununla beraber yapılan uygulamalarda, kemerin geometrisi dairesel kabul edilmiştir. Ancak çok katsayılı yüksek mertebeden polinomlar kullanılarak daha optimum çözümler elde edilebilir.

Bu amaçla sunulan çalışmada bu tip polinomlar kullanılarak ICE 5. nolu barajın statik, dinamik yükler altında baraj-rezervuarının tam dolu ve boş hali gözönüne alınarak baraj gövde hacminin optimizasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak, daha önce yapılan çalışmalarla bu tez çalışması karşılaştırıldığında, daha ekonomik baraj geometrisi elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler : Sürekli yapı sistemleri, optimum boyut, kemer baraj

SUMMARY

PhD: Thesis

OPTIMUM DESIGN OF CONTINUUM STRUCTURAL SYSTEMS

Sedat SAVAS

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Optimum design of arch dams catagorized as continuum structural systems has an impartant role due to being more complex and costly. Although, Geometry of arch dams generally have been taken as circular in the applicotions, so far, more optimum solutions can be obtained by using the function with multi-coeffients and high order.

The volume of ICE fifth type arch dam is optimized under the static and dynamic loads by considering the cases of full and empty of rezervoir-dam in this study. Consequently, optained arch dam geometry in the thesis are more economical than results of previous studies in the literature.

Key Words : continuum structural systems, optimum design, arch dams

TEŞEKKÜR

Bu doktora çalışmasının belirlenmesinde, yürütülmesinde ve irdelenmesinde emeğini ve zamanını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet ÜLKER ve tez konumun belirlenmesinde katkılarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. M. Polat SAKA ve Prof. Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmam sırasında ki katkılarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Ragıp İNCE ve Ar.Gör. Muhammet KARATON' a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
SUMMARY.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VII
TABLOLARIN LİSTESİ.....	XIII
SEMBOLLERİN LİSTESİ.....	IV
1. GİRİŞ.....	1
2. SÜREKLİ YAPILARIN MODELLENMESİ.....	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 İki Boyutlu Modelleme.....	4
2.2.1 İki Boyutlu yapısal katı eleman.....	4
2.3 Üç Boyutlu Modelleme.....	5
2.3.1 Üç boyutlu katı eleman (SOLID45).....	6
2.3.1 Üç boyutlu katı eleman (SOLID73).....	7
2.3.2 Üç boyutlu kabuk eleman.....	8
2.3.3 Üç boyutlu akustik sıvı eleman.....	9
3. SÜREKLİ YAPILARIN ANALİZİ.....	11
3.1 Statik Analiz (Antype Static, ANSYS).....	11
3.2 Dinamik Analiz (Antype, Trans).....	13
3.3 Modal Analiz.....	13
3.3.1 Sönüm matrisleri.....	14
3.4 Sıvı Yapı etkileşimi.....	16
3.4.1 Hidrodinamik harekete maruz sıvı sistemlerinin temel denklemleri.....	16
3.4.2 Sıvı-yapı sistemleri için sonlu eleman yaklaşımı.....	18
3.5 Temel Ortamının Modellenmesi.....	19
4. YAPILARIN OPTİMİZASYONU.....	21
4.1 Giriş.....	21
4.2 Optimizasyon Tipleri.....	21
4.3 Yapıların optimum boyutlandırılması.....	22
4.3.1 Yaklaşık programlama.....	23
4.3.2 Ceza fonsiyonları metodu.....	24
4.4 Şekil Optimizasyonu.....	27
4.5 Sürekli Yapıların Optimizasyonu.....	28
4.6 Sürekli Yapıların Şekil Optimizasyonu.....	28
5. SAYISAL UYGULAMALAR.....	30
5.1 Giriş.....	30
5.2 Kemer Barajlar.....	30
5.2.1 5 Nolu baraj probleminin tanımlanması.....	32
5 nolu barajın statik yükler altında optimizasyonu ve karşılaştırmalar.....	37
5.2.3 5 nolu barajın dinamik yükler altında optimizasyonu ve karşılaştırmalar.....	77
6. SONUÇLAR.....	89
KAYNAKLAR.....	91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1 Konsol kiriş için modellemeler.....	3
Şekil 2.2 İki boyutlu Düzlem Eleman.....	5
Şekil 2.3 Eleman Gerilme Çıktısı.....	5
Şekil 2.4 Üç boyutlu katı eleman (SOLID45).....	6
Şekil 2.5 Eleman gerilme çıktıları (SOLID45).....	6
Şekil 2.6 Üç boyutlu katı eleman (SOLID73).....	7
Şekil 2.7 Eleman gerilme çıktıları (SOLID73).....	7
Şekil 2.8 Üç boyutlu kabuk eleman.....	8
Şekil 2.9 Eleman gerilme çıktıları.....	9
Şekil 2.10 Üç boyutlu akustik sıvı eleman.....	10
Şekil 3.1 Uygulama ve reaksiyon yük vektörü.....	12
Şekil 3.2 Euler yaklaşımında sıvı-yapı sistemleri için kullanılacak tipik bir sonlu eleman idealleştirilmesi	18
Şekil 4.1.a Üç çubuklu kafes çerçeve.....	25
Şekil 4.1.a Üç çubuklu kafes çerçeve.....	25
Şekil 4.1.b Üç çubuklu kafes çerçeve.....	27
Şekil 5.1 Kemer barajın yerleştirildiği vadinin şekli.....	32
Şekil 5.2 Kemer baraj katı elemanı.....	33
Şekil 5.2 ICE 5 nolu tip barajın plan, enkesit ve yarı perspektif görünüşler	35
Şekil 5.3 ICE 5 nolu tip baraj gövdesi görünüşü.....	36
Şekil 5.4 ICE 5 nolu tip baraj temeli görünüşü.....	36
Şekil 5.6 Hidro-statik yükleme için kontur ve eleman yüklemesi görünümü.....	37
Şekil 5.7 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	38
Şekil 5.8 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	38
Şekil 5.9 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	39
Şekil 5.10 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında	

başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	39
Şekil 5.11 SOLID45 elemanlı modelleme için başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	40
Şekil 5.12 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	40
Şekil 5.13 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	41
Şekil 5.14 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	41
Şekil 5.15 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	42
Şekil 5.16 SOLID45 elemanlı modelleme için optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	42
Şekil 5.17 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	44
Şekil 5.18 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	44
Şekil 5.19 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	45
Şekil 5.20 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	45
Şekil 5.21 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	46
Şekil 5.22 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	46
Şekil 5.23 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	47
Şekil 5.24 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	47
Şekil 5.25 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	48
Şekil 5.26 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	48

Şekil 5.27 34 elemanlı modelleme için gövde+temel+su görünümü.....	50
Şekil 5.28 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	50
Şekil 5.29 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	51
Şekil 5.30 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	51
Şekil 5.31 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	52
Şekil 5.32 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	52
Şekil 5.33 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	53
Şekil 5.34 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	53
Şekil 5.35 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	54
Şekil 5.36 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	54
Şekil 5.37 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	55
Şekil 5.38 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	57
Şekil 5.39 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	57
Şekil 5.40 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	58
Şekil 5.41 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	58
Şekil 5.42 SOLID73 elemanlı modelleme için başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	59
Şekil 5.43 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	59

5.45	optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	60
Şekil 5.46	SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	61
Şekil 5.47	SOLID73 elemanlı modelleme için optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	61
Şekil 5.48	SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	63
Şekil 5.49	SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	63
Şekil 5.50	SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	64
Şekil 5.51	SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	64
Şekil 5.52	SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	65
Şekil 5.53	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	65
Şekil 5.54	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	66
Şekil 5.55	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	66
Şekil 5.56	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	67
Şekil 5.57	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	67
Şekil 5.58	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	69
Şekil 5.59	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	69
Şekil 5.60	SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç	

dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	70
Şekil 5.61 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	70
Şekil 5.62 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	71
Şekil 5.63 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	71
Şekil 5.64 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	72
Şekil 5.65 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	72
Şekil 5.66 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	73
Şekil 5.67 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	73
Şekil 5.68 TAF depremi S-69-E bileşeni ivme zaman grafiği.....	77
Şekil 5.69 Erzincan depreminin Doğu – Batı bileşeninin ivme zaman grafiği.....	78
Şekil 5.70 SOLID45 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	78
Şekil 5.71 SOLID45 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	79
Şekil 5.72 SOLID45 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında minimum asal gerilme durumundaki optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	79
Şekil 5.73 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	81
Şekil 5.74 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	81
Şekil 5.75 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında minimum asal gerilme durumunda optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	82
Şekil 5.76 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	82

Şekil 5.77 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	83
Şekil 5.78 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında maksimum asal gerilme durumunda optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	83
Şekil 5.79 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	85
Şekil 5.80 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	85
Şekil 5.81 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü.....	86
Şekil 5.82 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü.....	86
Şekil 5.83 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında maksimum asal gerilme durumunda optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü.....	87

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo 5.1. Solid45 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın zati ağırlığı altındaki optimizasyonu	43
Tablo 5.2. Solid45 elemanlı modelleme için 5. nolu barajın hidro-statik yükleme durumundaki optimizasyonu	49
Tablo 5.3. Solid45 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın sıvı modellenmesi durumundaki optimizasyonu	56
Tablo 5.4. Solid 73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın zati ağırlığı altındaki optimizasyonu	62
Tablo 5.5. Solid73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın hidro-statik yükleme durumunda optimizasyonu	68
Tablo 5.6. Solid73 elemanlı modelleme için 5. nolu barajın sıvı modellenmesi durumunda optimizasyonu	74
Tablo 5.7. Ricketts ve Zienkiewicz (1984) tarafından yapılan 5 nolu baraj tipinin optimizasyonu	75
Tablo 5.8. 5 nolu barajın değişik yüklemeler ve modellemeler için optimizasyon çözümlerinin karşılaştırılması	76
Tablo 5.9. Solid45 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın TAF depremi yüklenmesi altındaki optimizasyonu	80
Tablo 5.10. Solid73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın TAF depremi yüklemesi durumunda optimizasyonu	84
Tablo 5.11. Solid73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın Erzincan Depremi yüklemesi durumunda optimizasyonu	88

SEMBOLLERİN LİSTESİ

$\{\Phi\}_i$: i. doğal frekansın mod şeklini veren özdeğer vektörüdür.

$\{F(t)\}$: yük vektörüdür.

α : kütle matrisi çarpanı sabiti

β : rijitlik matrisi çarpanı sabiti

ξ : sönüm oranı sabiti

β_c :değişken rijitlik matrisi çarpanı

ω_i : i. Doğal açısal frekans

$[C]$: sönüm matrisi

$[K]$: rijitlik matrisi

$[K_e]$: eleman rijitlik matrisi

$[M]$: toplam kütle matrisi

$[M_e]$: eleman kütle matrisi

$\{u\}$: nodal deplasman vektörü

$\{\dot{u}\}$: nodal hız vektörü

$\{\ddot{u}\}$: nodal ivme vektörü

$\{a_c\}$: toplam ivme vektörü

$\{F^a\}$: aşağıda da tanımlandığı gibi uygulanan yük vektörü toplamıdır.

$\{F^{nd}\}$: uygulanan nodal yük vektörü

$\{F^{pr}\}$: eleman basınç yük vektörüdür.

$\{F^r\}$: reaksiyon kuvvet vektörü

$\{F^{th}\}$: eleman termal yük vektörü

$\{u\}$: nodal deplasman vektörü

f_i : i. Doğal frekans

N : eleman sayısı

t : zaman

1. GİRİŞ

Klasik anlamda optimizasyon, belirli bir amaç için en iyi işleyişin elde edilme sanatı olarak tarif edilir. Optimizasyon, bir sanattan ziyade bilimsel statünün kazandırıldığı bir öneridir. Yapı mühendisliğinin gayesi, projelendirilen yapının toplam maliyetinin minimum yapılmasıdır. Bu iş ise iyi bir şekilde kurulmuş veya tasarlanmış bir optimizasyon problemi ve bunun çözümü ile başarılı (Ülker, 1988).

Yapı mühendislerinin karşılaştığı problemlerden birisi sürekli yapı sistemleridir. Bu yapılar diğer tip yapı sistemlerine göre çözümü daha karmaşık ve zaman sistemlerdir. Bu gibi sistemlerin çözümü için genellikle sanlı sayıda elemanlara bölünerek analiz yapılır.

Yapısal analizlerin asıl amacı deneme dizayn davranışlarını önlemektir. Yapısal analizlerin sonuçları, tespit edilmiş yapısal kriterlere göre alternatif deneme dizaynlarının izafi değer ataması ve yeterliliğini tayin etmek için kullanılır. Yapısal analizlerin güvenilirliği ve genel olması ile bilgisayarların hesaplama kapasitesinin birleştirilmesi yapısal optimizasyonun araştırılmasında, uygulamasında ve geliştirilmesinde etkili olmuştur.

Mümkün olan en iyi dizaynı bulmayı amaçlayan mantıklı yapısal dizayn işlemlerinin gelişimi günceldir. Ancak inşaat, makine ve uzay mühendisliğinde, ana rol oynayan yapı sistemleri için bu gibi metotların önceden uygulanabilirliği, pratikte yapısal optimizasyon metotlarının kullanımının artması ve derin bir anlayış kazanmasıdır (Haug and Cea, 1981; Kirch, 1981).

Zamana bağlı olarak değişen yükler altında taşıyıcı sistemdeki gerilmelerin ve yer değiştirmelerin incelenmesi yapı dinamiğini ilgilendirir. Dinamik çözümün, statik çözüm gibi tek bir çözümden ibaret olmayıp, zamana bağlı bir çözüm ailesinden meydana geldiği için dinamik çözüm, statik çözüme göre hesaplama zorluğu gösterir (Celep ve Kumbasar, 1996).

Bu çalışmadaki sürekli yapı uygulaması, çok eğrilikli beton kemer barajlar üzerinde yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında bu çalışma için seçilen bir pozinomial fonksiyonla ifade edilen kemer eğrilğine sahip beton kemer barajların dinamik yükler altında optimizasyonu uygulamasının yapılmadığı ve daha basit bir matematiğe sahip olan daire yarı çapları kullanımıyla tanımlanan kemer eğrilikleri üzerinde çok açık olmamakla birlikte uygulama yapıldığı görülmüştür.

Barajlar memba bölgelerinden büyük miktarda hidro-statik yüke maruz kalan yapılardır. Bu yapıların hasar görmeleri hem ekonomik hem de can kaybı meydana getireceğinden depreme karşı dayanımlarının sağlanması gerekmektedir.

Genel olarak baraj yapı sistemleri dizayn edilirken, hesaplamalarda rezervuar tam dolu, yarı dolu ve boş olduğu durum göz önüne alınır. Bu çalışmada rezervuar tam dolu ve boş olarak uygulanmıştır.

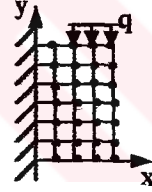
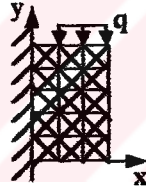
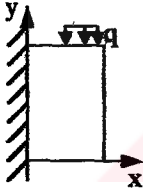
Beton kemer barajın zati, hidro-statik ve dinamik yüklemeler durumu için yapı optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmanın temelini oluşturan örnek sistem ve hesaplama Ricketts ve Zienkiewicz (1984) tarafından hidro-statik yüklemeler altında optimizasyonu yapılan bir sürekli yapı problemidir. Bu sistem üzerinde ANSYS paket programı yardımıyla birden fazla sonlu elemanla ANSYS programlama dilinde (APDL), program hazırlanarak modelleme ve analizler yapılmıştır. Hazırlanan program dışardan düğüm noktası koordinatı girilmeden kendi içinde baraj gövdesi, temeli ve sıvı üç boyutlu modellemesini gerçekleştirerek statik analiz, modal analiz ve dinamik analiz yapmıştır. Optimizasyon metodu olarak optimumluk kriteri metotlarından olan birinci mertebe yaklaşımı metodu kullanılmıştır. İlk adım olarak önce yapı hidro-statik yükleme altında çözülerek optimizasyonu yapılmıştır. Çıkan sonuçlar alınan örnekle karşılaştırılmıştır. Sonra aynı sistem zati ağırlık ve sıvı modellemesi yapılarak çözülmüştür. TAF depreminin S-69-E bileşeni ve Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni etkisi altında çözülerek yapısal optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan uygulamalara ait asal gerilme diyagramları,abartılı deplasman görünümleri ve optimizasyon adımları verilmiştir.

2. SÜREKLİ YAPILARIN MODELLENMESİ

2.1 Giriş

Konsol kiriş sistemindeki gerilme ve deplasmanları bulmak için yapılan analizde, sistem dikdörtgen kesitli bir konsol kiriş olmasına rağmen konsol boyunun çok kısa olmasından dolayı, kiriş teorisi uygulanamamaktadır. Ancak elastisite teorisi metodu bu problemi kısmi diferansiyel denklemler vasıtasıyla formüle edebilir (Şekil 2.1.a).

Mühendisler her yeni problemle karşılaştığında elastisite teorisinin kısmi diferansiyel denklemler ile çözümü için uzun bir zaman ayıramazlar. Onlar yaklaşık çözümlerle sonuca ulaşmaya çalışırlar. Yaklaşık çözümlerde serbestlik derecesi, sonlu sayıda olan yeni bir yapı sistemi ile sürekli sistemin yer değiştirilmesi sonucunda elde edilir. Bu gibi metotlar ya Şekil 2.1.b de görüldüğü gibi elastik çubuklarla yapıyı bir kafes sistemle modellemektedir ya da Şekil 2.1.c de görüldüğü gibi sonlu elemanlarla ifade edilmektedir.



a) düzlem plak üzerinde yaylı yük

b) kafes modeli

c) sonlu eleman modeli

Şekil 2.1 Konsol kiriş için modellemeler

Bir çok mühendislik problemi için kapalı matematiksel çözüm elde etmek mümkün değildir. Böyle bir çözüm, bir sistemde, hesaplanması gereken bilinmeyenlerin değerlerini sistemin herhangi bir noktasında veren matematiksel ifadedir. Ancak değişik malzeme özellikleri, sınır şartları ve geometrileri içeren karmaşık problemler için yaklaşık fakat yeterli sonuçlar veren sayısal çözümlere başvurmak gerekmektedir. Sayısal yöntemlerin çoğunda çözüm düğüm noktaları olarak adlandırılan önceden belirlenen noktalarında elde edilir.

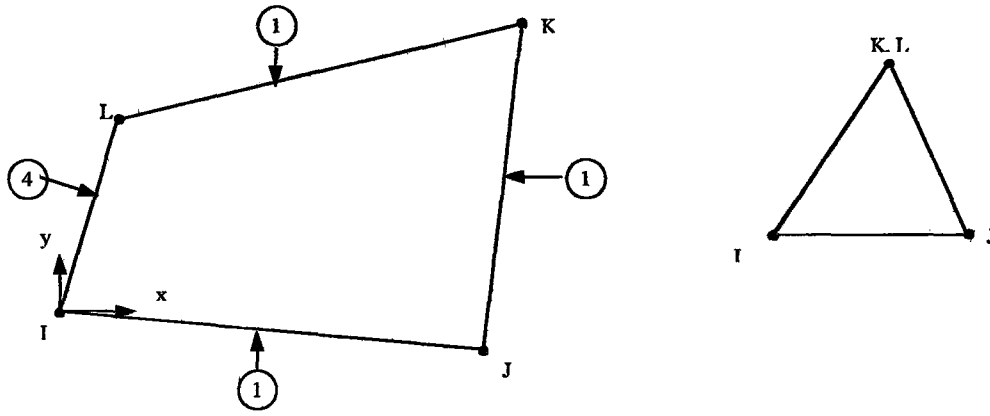
Yapı mekaniğinde tek bir işlemde tüm yapıyı çözmek yerine, çözümler yapıyı meydana getiren her bir ayrı sonlu eleman için formüle edilmekte ve biraraya getirildiğinde tüm yapının davranışını elde edilmektedir. Bu metoda sonlu elemanlar metodu denir. Bu metot ile Şekil 1.a ve c de görüldüğü gibi analizi yapılacak sürekli elemanlar, her birine eleman adı verilen sonlu sayıda parçaya bölünür. Bu elemanlar birbirlerine düğüm noktaları olarak adlandırılan sonlu sayıda noktalarla bağlıdır. Her elemanın düğüm noktalarında bazı serbestlikler tanımlanır. Yapının davranışı bu bilinmeyen serbestlik derecelerini içeren lineer denklem takımları ile ifade edilir. Böylece sonsuz serbestlik derecesi olan sürekli ortam sonlu serbestlik dereceli bir modele dönüşür (Cook, 1974).

2.2 İki Boyutlu Modelleme

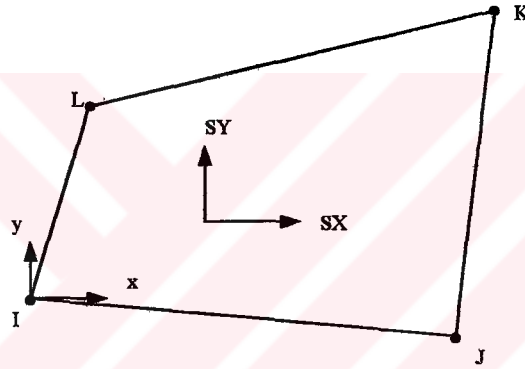
Bu modelleme tipinde, deplasman, gerilme ve yükleme değerleri x , y koordinatlarına bağlı fonksiyonlarla ifade edilir. Genelde modelleme için düzlem elemanlar ve bu elemanlar için düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme bağıntıları kullanılır (Chandrupalata, 1991).

2.2.1 İki Boyutlu yapısal katı eleman

İki boyutlu katı eleman (Plane 42, ANSYS), katı yapıların iki boyutlu modellemesinde, bir düzlem eleman (düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme) olarak kullanılır. Her düğüm noktasında, iki serbestlik derecesi olmak üzere dört düğüm noktası tarafından tanımlanır (Swanson). Geometri düğüm noktası yerleşimi ve koordinat sistemi Şekil 2.2 de görülmektedir. Eleman karakteristikleri dört düğüm noktası ve bir kalınlıktan (sadece düzlem gerilmelerde) ibarettir. Elemandaki gerilme hesabı Şekil 2.3 de görüldüğü gibi elemanın ağırlık merkezinde hesaplanmaktadır.



Şekil 2.2 İki boyutlu Düzlem Eleman



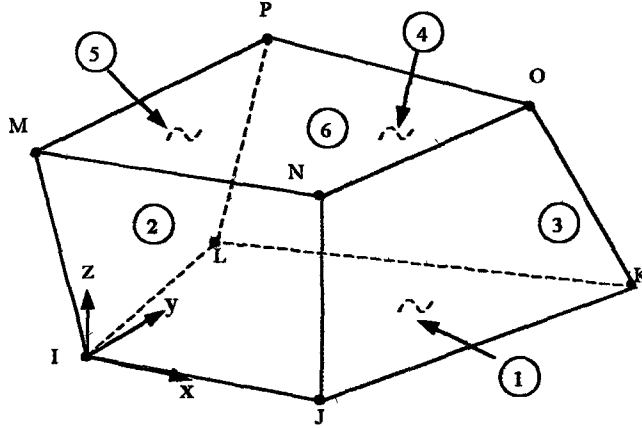
Şekil 2.3 Eleman Gerilme Çıktısı

2.3 Üç Boyutlu Modelleme

Mühendislik problemlerinde en çok kullanılan modelleme tipidir. Bu tip modellemede deplasman, gerilme ve yükleme değerleri x , y , z koordinatlarına bağlı fonksiyonlarla ifade edilir. Genelde modelleme için üç boyutlu katı elemanlar (SOLID 45, ANSYS), kabuk elemanlar kullanılır (SHELL63, ANSYS) (Chandrupalata, 1991).

2.3.1 Üç boyutlu katı eleman (SOLID45)

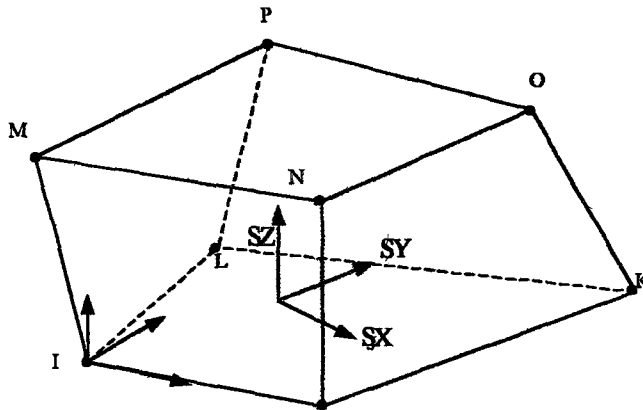
Üç boyutlu katı eleman katı yapıların üç boyutlu modellemesinde kullanılır. Eleman, her düğüm noktasında üç serbestlik derecesi olan sekiz düğüm noktasından ibarettir.



Şekil 2.4 Üç boyutlu katı eleman (SOLID45)

Bu eleman için girdiler geometri, düğüm noktalarının teşkili ve koordinat sistemi Şekil 2.4 de görülmektedir. Eleman için aynı zamanda ortotropik malzeme özelliği tanımlanabilir. Ortotropik malzeme yönleri elemanın koordinat sistemine bağlıdır.

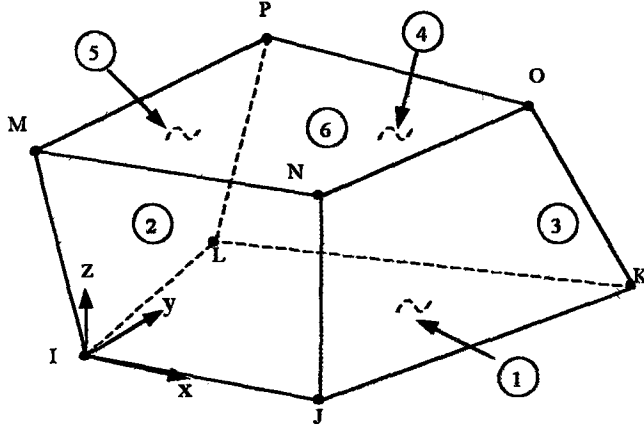
Eleman için birleştirilmiş çözüm çıktıları, düğüm noktasına bağlı çözümleri içeren nodal deplasmanlar Şekil 2.5 de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Eleman gerilme çıktıları (SOLID45)

2.3.1 Üç boyutlu katı eleman (SOLID73)

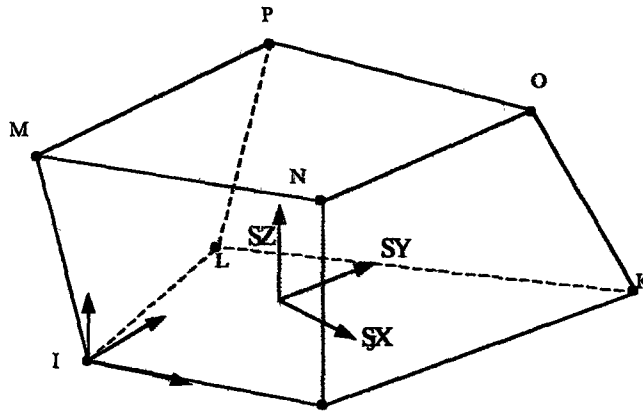
Eleman sekiz düğüm noktasından ibaret olup her düğüm noktasında altı serbestlik derecesine sahiptir, bunlar nodal x,y ve z yönündeki deplasmanlar ve bu yönlerdeki dönmelerdir.



Şekil 2.6 Üç boyutlu katı eleman (SOLID73)

Bu eleman için girdiler geometri, düğüm noktalarının teşkili ve koordinat sistemi Şekil 2.4 de görülmektedir. Eleman için aynı zamanda ortotropik malzeme özelliği tanımlanabilir. Ortotropik malzeme yönleri elemanın koordinat sistemine bağlıdır.

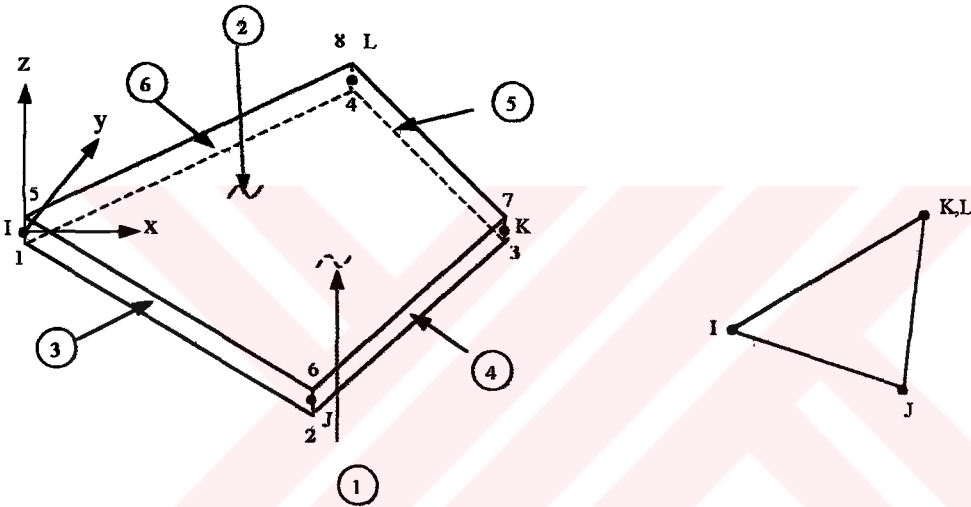
Eleman için birleştirilmiş çözüm çıktıları, düğüm noktasına bağlı çözümleri içeren nodal deplasmanlar ve dönmeler Şekil 2.7 de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Eleman gerilme çıktıları (SOLID73)

2.3.2 Üç boyutlu kabuk eleman

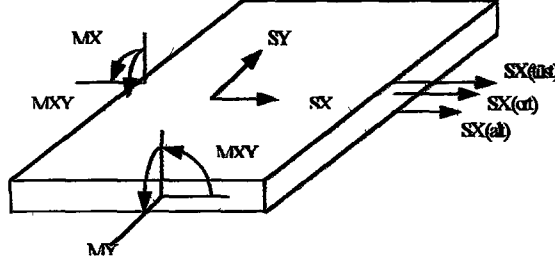
Üç boyutlu kabuk eleman, hem eğilme hemde membran özelliğine sahiptir. Her iki düzlemde yük alabilir. Eleman her düğüm noktasında altı serbestlik derecesine sahiptir, bunlar nodal x, y ve z yönündeki deplasmanlar ve bu yönlerdeki dönmelerdir. Aşırı miktarda deplasman yapabilme kapasitesine sahiptir. Ayrıca tanjant rijitlik matrisi kombinasyonuna sahip olup aşırı deplasmanlı analizlerde kullanmak için elverişlidir (Swanson).



Şekil 2.8 Üç boyutlu kabuk eleman

Bu elemanın, geometri, düğüm noktalarının teşkili ve koordinat sistemleri Şekil 2.6 de verilmiştir. Her bir eleman dört adet düğüm noktası, dört adet et kalınlığı, bir elastik temel rijitliği ve ortotropik malzeme özelliği ile tanımlanır. Ortotropik malzeme yönü eleman koordinat yönüne göre düzenlenir. Elemanın x eksenini belirli bir θ açısıyla döndürülebilir. Et kalınlığı eleman alanı üzerinde homojen olarak dağıldığı kabul edilir. Kalınlık sabit değilse, her bir dört düğüm noktası için ayrı ayrı kalınlık verilebilir.

Eleman çözüm çıktıları iki şekildedir. Birincisi, nodal çözümlerde içeren nodal deplasmanlar. İkincisi, ilave eleman çıktıları. Diğer özellikler Şekil 2.7 de görülmektedir.



Şekil 2.9 Eleman gerilme çıktıları

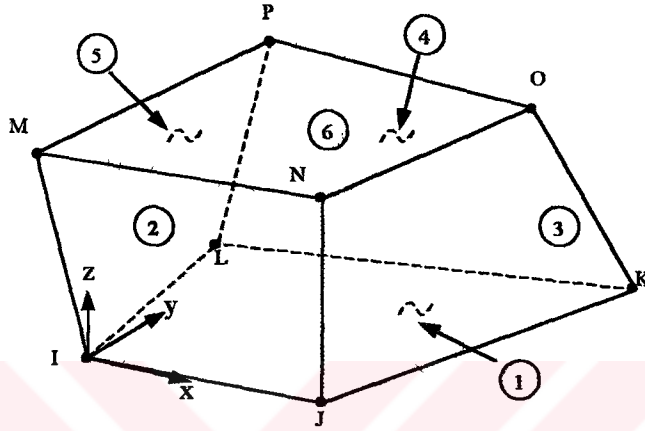
2.3.3 Üç boyutlu akustik sıvı eleman

Üç boyutlu akustik sıvı eleman (FLUID30, ANSYS) sıvı ortamının ve sıvı yapı yüzeylerinin etkileşim problemlerini modellenmesi için kullanılır. Tipik uygulamaları ses dalgalarının yayılması ve yapı dinamiği problemlerini içerir. Akustik hesaplamayı içeren denklemler, üç boyutlu dalga denklemleri, akustik basınç ve yüzeydeki yapı hareketi çiftidir. Eleman sekiz düğüm noktasına sahip olup her bir düğüm noktası dört serbestlik derecesine sahiptir. Bunlar x, y ve z yönündeki dönme ve basınçtır. Dönmeler ancak irtibatlı olan düğüm noktaları üzerinde uygulanır.

Her bir elemanın ara yüzeyinde ses sönümleme kapasitesine sahiptir. Eleman simetrik olmayan veya sönümlü modal, tam harmonik ve tam dinamik metot analizini uygulamak için diğer üç boyutlu yapısal elemanlarla birlikte kullanılabilir. Hiçbir yapısal hareket olmadığı durumlarda, eleman statik, modal ve indirgenmiş harmonik analizi için de tatbik edilebilir (Swanson, 1997).

Bu elemanın geometrisi, düğüm noktalarının teşkili ve koordinat sistemi Şekil 2.8 de tanımlanmıştır. Her bir eleman sekiz adet düğüm noktası, bir referans basınç gerilmesi ve izotropik malzeme özellikleri ile tanımlanmaktadır. Referans basınç eleman ses basıncı seviyesini hesaplamak için kullanılır. Sıvıdaki ses hızı (k/ρ)

SONC tarafından girilir, burada k , sıvının kütle modülü (kuvvet/alan) ve ρ sıvının yoğunluğunu ifade etmektedir. Sıvı viskozitesinden dolayı geçirgenlik (yayılma) etkisi ihmal edilir. Fakat ara yüzeylerde ses yutması yüzey alanını kullanan bir sönümleyici matris üretilerek ve ara yüzeylerde kabul edilir sınırlar tarafından hesaplanır.



Şekil 2.10 Üç boyutlu akustik sıvı eleman

3. SÜREKLİ YAPILARIN ANALİZİ

Sonlu eleman idealizasyonuna dayanan matris deplasman metodu analizlerinde, hesabı yapılan yapı, düğüm noktası olarak adlandırılan sonlu eleman noktalarıyla bağlanmış, eleman olarak adlandırılan ayrı bölgelerin toplamı olarak tanımlanır. Bu ayrı yapı elemanlarının her biri için kuvvet deplasman (eleman rijitlik matrisi) ilişkisi bilinirse bütün yapı için kuvvet deplasman ilişkisi standart matris metotları kullanılarak hesaplanabilir. Bu metotlar çeşitli kaynaklar tarafından (örneğin Zienkiewicz, 1977) ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Termal, sıvı akımı ve elektro-manyetik gibi analizler, uygun terimlerin isim değişikliği yapılmasıyla temel analogiler üzerinde kurulur. Ancak deplasman kuvvet ve rijitlik terimleri bu tez içerisinde sıklıkla kullanılmış olup uygulamalarda bu terimler üzerine dayandırılmıştır.

3.1 Statik Analiz (Antype Static, ANSYS)

Statik analiz, zamana bağlı yüklerin sebep olduğu sönüm etkisi ve atalet ihmal edilerek bir yapı üzerinde düzenli yükleme durumunu dikkate alır. Ancak statik analiz, düzenli atalet yükleri (yoğunluk, dönme şiddeti gibi) statik olarak ifade edilebilen zaman bağlı yükleri de ihtiva edebilir (rüzgar yükü, sismik yük gibi).

Statik analiz, deplasman, gerilme, şekil değiştirme ve yapıdaki kuvvetleri belirlemek için kullanılır. Burada yapı üzerine etkiyen yüklerin zamana göre değişimi çok yavaş olduğu kabul edilir.

Lineer yapıların statik analizi için başlıca denge denklemleri şunlardır;

$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (3.1)$$

veya

$$[K]\{u\} = \{F^a\} + \{F^r\} \quad (3.2)$$

$$\text{Burada } [K] : \text{rijitlik matrisi toplamı} = \sum_{m=1}^N [K_m]$$

$\{u\}$: nodal deplasman vektörü

N : eleman sayısı

$[K_e]$: eleman rijitlik matrisi

$\{F^r\}$: reaksiyon kuvvet vektörü

$\{F^a\}$: aşağıda da tanımlandığı gibi uygulanan yük vektörü toplamıdır.

$$\{F^a\} = \{F^{nd}\} + \{F^{nc}\} + \sum_{m=1}^N (\{F_e^{th}\} + \{F_e^{an}\}) \quad (3.3)$$

burada;

$\{F^{nd}\}$: uygulanan nodal yük vektörü

$\{F^{ac}\} = -[M]\{a_c\}$: ivme yük vektörü

$[M]$: toplam kütle matrisi $= \sum_{m=1}^N [M_e]$

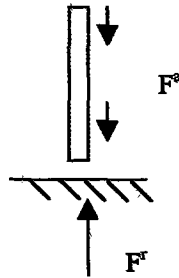
$[M_e]$: eleman kütle matrisi

$\{a_c\}$: toplam ivme vektörü

$\{F^{th}\}$: eleman termal yük vektörü

$\{F^{pr}\}$: eleman basınç yük vektörüdür.

Denklem (3.2)' de yük vektörlerini göstermek için bir kolon eleman modeli göz önüne alınmış ve sadece kendi ağırlı ile yüklenmiştir (şekil 3.1). Uygulanan en düşük yoğunluk yükü deplasmanı zorlamak için uygulanmış ve böylece gerilme olmamasına rağmen uygulanan yoğunluk yükü üst limiti kadar reaksiyon yük vektörü eklenmiştir.



Şekil 3.1 Uygulama ve reaksiyon yük vektörü

3.2 Dinamik Analiz (Antype,Trans)

Dinamik analiz (time-history) her hangi bir zaman aralığına bağlı yüklerin etkisi altında bir yapının dinamik davranışını belirtmek için kullanılan tekniktir. Statik, dinamik ve harmonik gibi yüklerden herhangi biri veya birkaçına karşı bir yapının zamana bağlı olan davranışını deplasman, gerilme, şekil değiştirme ve kuvvetler cinsinden ifade etmek için uygulanır.

Lineer-elastik bir yapı için dinamik analiz denklemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (3.4)$$

Burada

- [M] : kütle matrisi
- [C] : sönüm matrisi
- [K] : rijitlik matrisi
- { $\ddot{u}$ } : nodal ivme vektörü
- { $\dot{u}$ } : nodal hız vektörü
- {u} : nodal deplasman vektörü
- {F(t)} : yük vektörüdür.

3.3 Modal Analiz

Bir yapının başlangıç dizaynı yapılırken, titreşim karakteristikleri olan doğal frekans ve mod şekillerinin belirlemek için modal analiz yapılır. Doğal frekanslar ve mod şekillerini belirleme problemi dinamik yüklemeye maruz yapılar için önemli parametrelerdir. Modal analiz, temel olarak bir lineer analiz türüdür. Non-lineerlik (plastisite ve boşluk gibi) faktörler varsa ihmal edilir. Bir modal analiz metodlarından olan sönüm metodu, yapıdaki sönümlemeyi dikkate alır.

Bu analiz tipi doğal frekans ve mod şekillerini belirlemek için kullanılır. Bir sönümsüz sistem için hareket denklemleri aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (3.5)$$

Bir lineer-elastik sistem için, serbest titreşimlerin ifadesi

$$\{u\} = \{\Phi\}_i \cos \omega_i t \quad (3.6)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada,

$\{\Phi\}_i$: i. doğal frekansın mod şeklini veren özdeğer vektörüdür.

ω_i : i. Doğal açısal frekans

t : zaman

Böylece denklem (3.5) den,

$$(-\omega_i^2 [M] + [K])\{\Phi\}_i = \{0\} \quad (3.7)$$

Bu denklemde ya $\{\Phi\}_i = \{0\}$ veya $([K] - \omega^2 [M])$ 'nin determinanı sıfırsa çözüme gidilebilir. İlk yaklaşım trivial çözüm verdiğinden ikinci yaklaşım çözümü verir.

$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \quad (3.8)$$

Bu ifade, bir özdeğer problemi olup, ifade (3.7) yi sağlayan $\{\Phi\}_i$ ve ω^2 özdeğer vektörlerinin hesabına dayanır. Doğal açısal frekans (ω) hesabı yerine doğal frekans (f) hesabı tercih edilir,

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \quad (3.9)$$

burada f_i : i. Doğal frekans

3.3.1 Sönüm matrisleri

Sönüm matrisi ($[C]$) dinamik analizin, altyapı programlamasında kullanılır. En yaygın kullanımı,

$$[C] = \alpha[M] + (\beta + \beta_c)[K] + \sum_{j=1}^{NMAT} \beta_j[K] + \sum_{k=1}^{NEL} [C_k] + [C_\xi] \quad (3.10)$$

şeklindedir. Burada;

$[C]$:yapı sönüm matrisi

α : kütle matrisi çarpanı sabiti

$[M]$: yapı kütle matrisi

β : rijitlik matrisi çarpanı sabiti

β_c :değişken rijitlik matrisi çarpanı

$[K]$:yapı rijitlik matrisi

NMAT:malzeme sayısı

β_j : j. Malzeme için rijitlik matrisi çarpanı sabiti

$[K_j]$: j. malzemeye dayalı yapı rijitlik matrisinin elemanı

NEL : kesin sönümleyicili elemanların sayısı

$[C_k]$:eleman sönüm matrisi

$[C_\xi]$:sönüm matrisine bağlı frekans

$[C_\xi]$:belirli bir ξ değeri için aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\{u_i\}^T [C_\xi] \{u_i\} = 4\pi f_i \xi \quad (3.11)$$

burada;

ξ : sönüm oranı sabiti

$\{u_i\}$: i. Modun şekli

f_i : i. Mod şeklini tanımlayan frekans olup aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$\beta_c = \xi / (\pi f) \quad (3.12)$$

burada;

f : f_B ile f_E arasındaki frekans oranı

f_B : Başlangıç frekansı

f_E : sonuç frekansı

3.4 Sıvı Yapı etkileşimi

Barajlar sıvı-yapı etkileşimine maruz yapı gurubuna girmektedir. Bu tür yapılarda yapı sıvının, sıvıda yapının dinamik davranışını önemli ölçüde etkiler. Sıvı ortamında hidrodinamik basınçlar (hidrostatik basınç fazlası), yapı ortamında ise bu basınçlardan dolayı ilave yükler oluşmaktadır. Sıvı yapı etkileşim problemi Euler, Lagrange ve kütle ekleme yaklaşımlarından biriyle modellenenbilir (Wilson ve Khalvati,1983). Euler yaklaşımında, sıvı ortamında basınçlar (veya hız potansiyelleri), yapı ortamında ise yer değiştirmeler değişken olarak alınır. Lagrange yaklaşımında, hem yapı ve hem de sıvı ortamlarında yer değiştirmeler değişken olarak alınır. Sıvı ortamının hidrodinamik basınçlarını barajın memba yüzeyi üzerinde toplanan bir ilave kütleye eşdeğer olarak kabul eden yaklaşım ise kütle ekleme metodu olarak tanımlanır (Westergard,1933)

Bu çalışmada yapılan uygulamalarda Euler yaklaşımı kullanılarak sıvı-yapı etkileşim problemi çözülmüştür. Bu yaklaşım barajlar, su depoları gibi sıvı-yapı sistemlerinin sonlu eleman yöntemiyle dinamik analizinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemlerin Euler yaklaşımıyla analizinde, yapının hareketi yerdeğiştirmeler cinsinden, sıvının hareketi ise basınçlar cinsinden ifade edilmektedir (Karaton, 1998). Sıvı-yapı arayüzündeki etkileşimden dolayı ortak hareket meydana gelmektedir. Bu bölümde, sıvı-yapı sistemleri için Euler yaklaşımında kullanılacak temel formüller verilecektir.

3.4.1 Hidrodinamik harekete maruz sıvı sistemlerinin temel denklemleri

Lineer sıkışabilir, viskoz olmayan ve rotasyonsuz sıvı sistemlerin küçük hareketler altındaki üç boyutlu hareketi,

$$P_{xx} + P_{yy} + P_{zz} = \frac{1}{C} P_u \quad (3.13)$$

dalga denklemiyle verilmektedir.buradaki x,y,z kartezyen koordinatları, t zamanı, C sıvıdaki ses hızını, P_u ise hidrodinamik basıncın i' ye göre iki kez türevini ifade etmektedir. Her hangi bir etki sonucu sıvı sisteminde oluşan hidrodinamik basınçlar

denklem (3.13)' in uygun sınır şartları altında çözülmesiyle elde edilir. Bu sınır şartları,

a) Sıvı serbest yüzeyinde yüzey dalgaları oluştuğu kabul edilirse, bu yüzeyde,

$$P_y = -\frac{1}{g}P_u \quad (3.14)$$

bağıntısı geçerlidir. Burada y düşey eksen, P_y hidrodinamik basıncın y eksenine doğrultusundaki kısmi türevini ve g yer çekim ivmesini göstermektedir. Şayet yüzey dalgalarının oluşmadığını kabul edilirse,

$$P = 0 \quad (3.15)$$

ifadesi kullanılabilir.

b) Sıvı-yapı temas yüzeylerinin belirli bir ivmeye maruz olduğu kabul ediliyorsa, sınır şartı:

$$P_n = -\rho a_n \quad (3.16)$$

şeklindeki bir bağlantıyla verilir. Burada ρ sıvının kütle yoğunluğunu, n sıvı yüzeyinin normalini, a_n ise bu yüzey normali doğrultusundaki ivmeyi ifade etmektedir. Eğer ivmelenmenin olmadığı kabul edilirse,

$$P_n = 0 \quad (3.17)$$

sınır şartı olarak alınabilir.

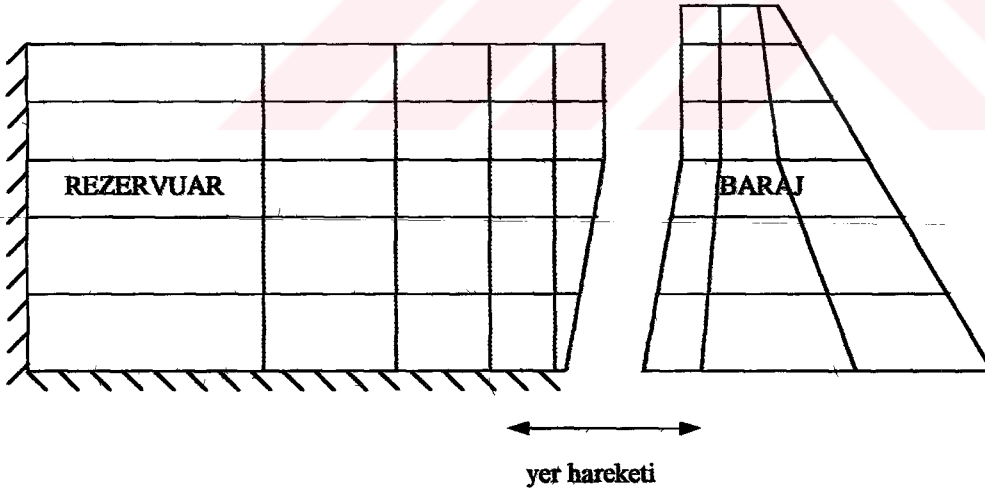
3.4.2 Sıvı-yapı sistemleri için sonlu eleman yaklaşımı

Bölüm 3.4' de anlatıldığı gibi Euler yaklaşımında sıvı ve yapı alt sistem olarak dikkate alınmaktadır. Sıvı ve yapı sistemlerinin hareket denklemleri sonlu eleman yaklaşımından elde edilmektedir. Şekil (3.2)' de Euler yaklaşımında kullanılacak sıvı yapı sisteminin sonlu eleman idealleştirilmesi verilmiştir.

Yer hareketine maruz bir yapının hidrodinamik etkileri de içerecek sonlu eleman denklemi,

$$M\ddot{z} + C\dot{z} + Kz = -Ma_g + F \quad (3.18)$$

şeklinde verilebilir. Burada $[M]$, $[C]$, $[K]$ sırasıyla kütle, sönüm, ve rijitlik matrisleridir. Burada a_g yer ivmesini, F ise hidrodinamik basınçla ilgili düğüm noktası kuvvet vektörünü ifade etmektedir.



Şekil 3.2 Euler yaklaşımında sıvı-yapı sistemleri için kullanılacak tipik bir sonlu eleman idealleştirilmesi

3.5 Temel Ortamının Modellenmesi

Baraj temelinin rijit elastik ve visko-elastik olarak davranışı dikkate alarak çeşitli araştırmacılar tarafından baraj-temel-su sisteminin statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Baraj-temel etkileşim problemlerinde temel ortamının rijit olarak kabul edilmesi hesap açısından kolaylık sağladığından ilk yapılan analizlerde bu kabul dikkate alınmıştır. Daha sonra bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte bu tür analizlerde temel ortamının rijit kabulünden ziyade gerçeğe yakın davranışı sağlayan temel modelleri kullanarak analizlerin yönünde çalışmalar yapılmıştır (Tan ve Chopra, 1995). Son yıllarda sınır elemanlar metoduna dayalı çeşitli modeller temel ortamının daha gerçeğe yakın olarak modellenmesini sağlamak için araştırmacılar tarafından sunulmuştur (Karaton, 1998).

Temel ortamının rijit kabulü baraj-temel etkileşim problemlerinin çözümlerinde kolaylık sağlamaktadır. Barajın temelini bir kaya ortamına veya çok sert zeminlere oturması halinde, temelin rijit olarak kabul edilmesi yeteri yaklaşıktaki çözümler sağlayabilir. Şayet temel zeminin mukavemeti düşükse temelin rijit olarak kabul edilmesi aykırı çözümlere götürebilir.

Temelin rijit olarak kabul edilmesi, analizlerde hafıza problemin azalttığından avantaj sağlamakla birlikte hiçbir zemin tam olarak rijit kabul edilemez. Dolayısıyla gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için, temel ortamı için sonlu veya sınır eleman modelleri kullanılması gerekir.

Sonlu eleman metoduna dayalı olarak hazırlanmış kemer baraj analizi programlarında kütsüz temel hali dikkate alınmaktadır (Tan ve Chopra, 1995). Bu programlarda temel ortamı sonlu elemanlarla modellenirken temelin boyutları barajın memba ve mansap kısımlarında barajın yüksekliğinin bir yada iki katına kadar uzaklıkların dikkate alınması yeter yaklaşımları sağlamaktadır. Temel kayasının sonlu eleman ortamında en uzak sınır düğüm notaları tutulu kabul edilmektedir. Bu tip analizlerin dezavantajları temel kısmının hesapta kütsüz olarak dikkate alınması gerektiğidir.

Temelin kütsüz kabul edilmesindeki temel prensip, baraj-temel sisteminin elde edilen düşük frekanslarda sistemin rezonansa girmesini önlemektir (Dowling, 1987). Bu yaklaşımın dezavantajı, malzeme ve yayılma sönümlerinin dikkate alınmamasıdır. Bu tip sönümler ise deprem gibi dinamik bir analiz sırasında baraj

üzerine etki eden yükleri önemli ölçüde etkilediğinden hesaplarda kesinlikle dikkate alınması gerekmektedir. Baraj-temel etkileşim problemi için Chopra ve Tan (1995) temelin yayılma ve malzeme sönümlerini de içerecek şekilde geliştirilen yeni sınır eleman modeli sunmuştur. Tan ve Chopra sınır elemanlar metoduyla frekans alanında yaptıkları dinamik analizlerde, temelin yayılma ve sönüm etkilerini dikkate almamışlardır.



4. YAPILARIN OPTİMİZASYONU

4.1 Giriş

Yapıların boyutlandırılmasının amacı, servis süreleri boyunca üzerine etkiyen servis yüklerini güvenle taşımak ve kendisinden beklenen fonksiyonunu yerine getirecek optimum çözümü elde etmektir. Tasarım mühendisleri, önce yapının geometrisini belirlemekte, daha sonra yapı üzerindeki her elemanın kesit karakteristiklerini (kesit alanı, atalet momenti vs.) üzerine etkiyen yükleri emniyetle taşıyacak şekilde dizayn etmektedir. Bu işlem bir dizi süreçten oluşur.

Başlangıçta bir ön kesit tayin edilir, daha sonra yapı şartnamelerinde belirtilen gerilme ve deplasman kısıtlayıcıları dikkate alarak kontrol yapılır. Bu kısıtlayıcıların sağlanmaması durumunda yeni kesitler seçilerek analiz işlemi tekrar uygulanır. Bu süreç şartnamelerde belirtilen yapı davranışı sağlanıncaya kadar devam eder. Ancak bu yolla elde edilen geometrik karakteristikler kabul edilebilir olmakla beraber, en ekonomik çözümü (optimum çözüm) vermeyebilir.

Yapısal optimizasyonun amacı, yapı hacmi, ağırlığı veya maliyetinin yapıda öngörülen sınırlayıcıları sağlayacak şekilde minimum çözümü bulmaktır. Bu sınırlayıcılar arasında gerilme, deplasman, rijitlik, stabilite, dinamik ve kesitlerin belirli boyutlar arasında bulunması gibi karakteristikler ön planda yer almaktadır.

Optimizasyon teknikleri mühendisliğin her dalında geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu nedenle birçok optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir (Kirsch, 1981). Sunulan çalışmada kullanılan ANSYS programı, birçok optimizasyon yöntemi içermekle birlikte, yapılan uygulamalarda ceza fonksiyonları (penalty function) metodu kullanılmıştır.

4.2 Optimizasyon Tipleri

Çok değişkenli bir fonksiyonun belirli şartlar ileri sürülerek veya sürülmeyerek minimize veya maksimize problemi, optimizasyon problemi olarak adlandırılır. Burada fonksiyon amaç fonksiyonu, şartlar ise çözüm uzayını kısıtlayan sınırlayıcılar olarak adlandırılır. Klasik ve yeni olmak üzere iki tip optimizasyon vardır.

Klasik optimizasyon yöntemleri, sürekli ve türevlenebilir fonksiyonların eniyilenmesinde kullanılan bir tekniktir. Bu yaklaşım tekniği tamamen analitik olup, optimum noktaların tahmininde diferansiyel hesaplarının temel teoremlerini kullanır. Ancak pratikteki birçok mühendislik probleminde amaç fonksiyonları sürekli ve diferansiyellenebilir olmadığından dolayı, bu tekniğin kullanımı sınırlıdır. Bununla beraber, birçok ileri optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesinde temel teşkil etmektedir.

Optimizasyonun yeni tipi ise Matematiksel Programlama problemi olarak bilinir ve klasik tipe nazaran çok etkilidir. Bunun sebebi büyük problemler ve eşitsizlikleri içermesidir. Bu tip bir optimizasyonun genel ifadesi:

$$\begin{aligned} \text{Amaç fonksiyonu} \quad & \min/\max Z = f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) = f(X) \\ \text{Sınırlayıcılar} \quad & g_i(X) \leq b_i \\ & g_k(X) = b_k \\ & g_m(X) \geq b_m \end{aligned} \quad (4.1)$$

burada x_j boyutlandırma değişkeni, n tasarım değişkenlerinin sayısı ve i, k, m sırasıyla küçük eşit, eşitlik, büyük eşit sınırlayıcılar sayısını ifade etmektedir (Majid, 1972). İfade (4.1) 'deki fonksiyonlar lineer veya lineer olmayabilir.

4.3 Yapıların optimum boyutlandırılması

Herhangi bir yapının optimizasyon problemi matematiksel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir

$$\begin{aligned} \text{Amaç Fonksiyon} \quad & \text{Min. } W = f(x_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \\ \text{Sınırlayıcılar} \quad & g_j(x_i) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (4.2)$$

Burada W yapı ağırlığı, x_i dizayn değişkenleri, g_j sınırlayıcı ve n, m sırasıyla dizayn değişkenleri ve sınırlayıcı sayısıdır. Yapı optimizasyonundaki sınırlayıcı şartlar, genel olarak yapının herhangi bir noktasındaki gerilme ve şekil değiştirmelerin belirli bir değerden büyük olmamasıdır. Buna göre optimum boyutlandırma problemi, matris yöntemleri (sonlu elemanlar yöntemi) ile formüle edildiğinde, sağlanması

gereken bu sınır şartlar, özelliklede deplasman sınır şartları, çözümü lineer olmayan bir forma sokar. Bu lineer olmayan problemi çözecek genel bir yöntem olmamakla birlikte yaygın olarak iki tip yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar yaklaşık programlama tekniği ve ceza fonksiyonları yöntemidir.

4.3.1 Yaklaşık programlama

Bu metot, daha önce birçok araştırmacı tarafından yapıların optimizasyonuna uygulanmış ve oldukça uygun sonuçlar elde edilmiştir (Romstad ve Wang, 1968; Johnson ve Broiton, 1969; Saka, 1975). Bu yöntem lineer-olmayan fonksiyonu Taylor serisine açıp ilk iki terimi kullanarak çözüme ulaşmaktadır. Böylece lineer olmayan problem, lineer hale dönüştürülür ve elde edilen lineer programlama problemi Simpleks yöntemi ile optimum çözüm elde edilir. Buna göre (4.2) deki yapısal optimizasyon problemi

$$\begin{array}{ll} \text{Amaç Fonksiyon} & W = W(x_i^0) + \nabla W(x_i^0)[x_i^1 - x_i^0] \\ \text{Sınırlayıcılar} & g_j = g_j(x_i^0) + \nabla g_j(x_i^0)[x_i^1 - x_i^0] \end{array} \quad (4.3)$$

Lineer programlama problemine dönüştürülür. Burada x_i^0 noktasında fonksiyonların bütün değerleri bilinmektedir ve buna bağlı olarak aranan değişken vektörü x_i^1 vektörü bulunur. İfade (4.3) deki gradyen vektörleri sırasıyla

$$\begin{aligned} \nabla W &= \left[\frac{\partial W}{\partial x_1}, \frac{\partial W}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial W}{\partial x_n} \right] \\ \nabla g_j &= \left[\frac{\partial g_j}{\partial x_1}, \frac{\partial g_j}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial g_j}{\partial x_n} \right] \end{aligned} \quad (4.4)$$

x_i^1 değişken vektörü lineer programlama problemi çözülerek elde edilir ve x_i^0 ile yer değiştirilerek iterasyona devam edilir. Ardışık iki iterasyonda hesaplanan amaç fonksiyonunun değerleri arasındaki fark çok küçük olunca işlem durdurulur ve optimum çözüm elde edilir.

4.3.2 Ceza fonskiyonları metodu

Diğer yaklaşım tekniği ise, bu çalışmada kullanılan ceza fonskiyonları metodudur. Bu yöntem, sınırlayıcı optimizasyon problemini sınırlayıcısız problem haline dönüştürüp, bir minimizasyon tekniği (örneğin dik iniş veya eşlenik eğim gibi gradyen yöntemleri) kullanarak sonuca ulaşmaktadır (Kavlie ve Moe, 1969, Kovlie ve Moe, 1971). Buna göre (4.2) ifadesindeki optimizasyon problemi

$$P(x_i, r_k) = W(x_i) + r_k \sum_{j=1}^m G[g_j(x_i)] \quad (4.5)$$

yardımla sınırlayıcısız probleme dönüştürülür. Burada $P(x_i, r_k)$ ceza fonskiyonu, r_k tepki parametresi, G ise sınırlayıcıların herhangi bir fonskiyonudur. Bu fonskiyon, başlangıç noktası (x_i^1) uygun bölgenin içinden seçildiğinde, içten ceza fonskiyonu uygulanır ve

$$G = -1/g_j(x_i) \quad (4.6)$$

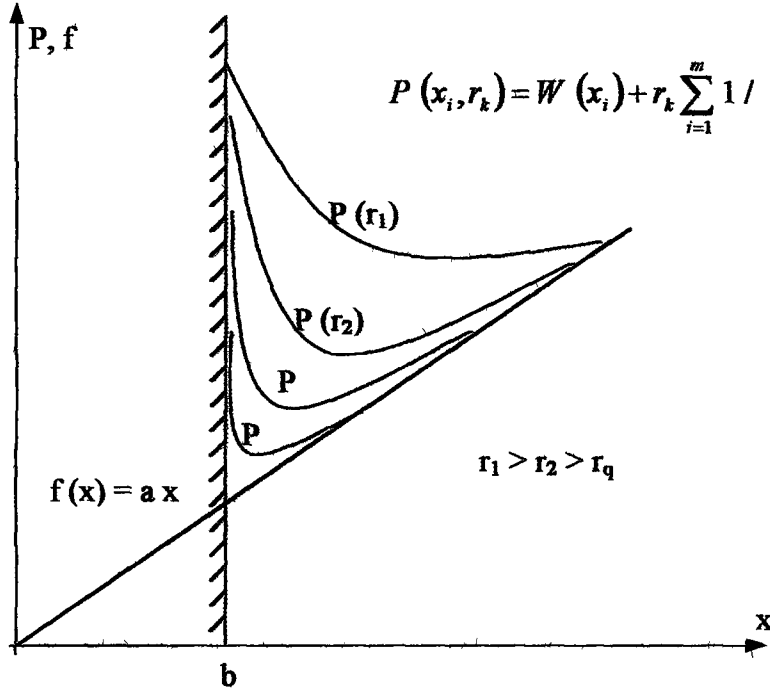
olarak alınır (Şekil 4.1.a). Bununla beraber başlangıç noktası uygun bölgenin dışında alındığında, dıştan ceza fonskiyonu uygulanır ve

$$G = [g_j(x_i)]^2 \quad (4.7)$$

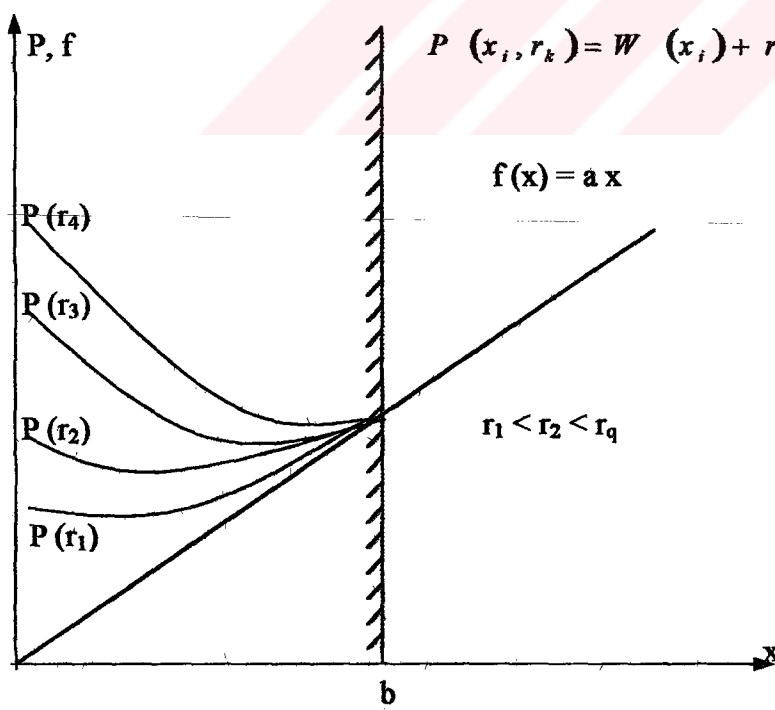
olarak seçilir (Şekil 4.1.b). Burada optimum çözümü elde etmek için r_k parametresi, içsel ceza fonskiyonu yönteminde azalan, dışsal ceza fonskiyonu durumunda ise artan değerler alır.

İçten ceza fonskiyonu kullanılması durumunda aşağıda belirtilen adımlar uygulanır

1. x_i^1 başlangıç noktası ve uygun r_1 değeri seçilir ($k=1$)
2. $P(x_i, r_k)$ herhangi bir sınırlayıcısız optimizasyon tekniği kullanılarak minimize edilir ve x_i^{k+1} vektörü bulunur.



Şekil 4.1.a İçsel ceza fonksiyonları



Şekil 4.1.b Dışsal ceza fonksiyonları

3. ε_1 ve ε_2 önceden belirlenen pozitif küçük sayılar olmak üzere, relatif hata $\frac{W(x_i^k) - W(x_i^{k+1})}{W(x_i^k)} \leq \varepsilon_1$ veya mutlak hata $W(x_i^k) - W(x_i^{k+1}) \leq \varepsilon_2$ ile optimum nokta araştırılır. Eğer optimum nokta bulunmuşsa durulur, yoksa
4. $c < 1$ olmak üzere $r_{k+1} = cr_k$ ve $k = k+1$ alınır ve 2. adıma geçilir.

Sunulan çalışmada dışsal ceza fonksiyonu kullanılmıştır. Bu yaklaşıma ait işlem basamakları aşağıda verilmiştir

1. x_i^1 başlangıç noktası ve uygun r_1 değeri seçilir ($k=1$)
2. $\text{Min } P(x_i, r_k) = W(x_i) + r_k \sum_{j=1}^m [g_j(x_i)]^2$ problemi için minimum x_i^{k+1} vektörü bulunur.
3. Eğer x_i^{k+1} sınırlayıcıları sağlıyorsa optimum nokta olarak alınır, değilse
4. $c > 1$ olmak üzere $r_{k+1} = cr_k$ ve $k = k+1$ alınır ve 2. adıma geçilir.

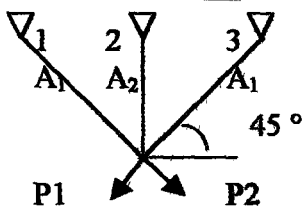
4.3.2.1 Gradyen yöntemleri

Bu yöntemler, özellikle ceza fonksiyonları ile sınırlayıcısız hale getirilen optimizasyon problemlerinde kullanılır ve belirli bir başlangıç noktasına bağlı olarak ardışık bir şekilde en iyileme yapar. Bu yaklaşım tekniğinde optimum çözümü elde etmek için aşağıda tanımlanan işlem basamakları kullanılır

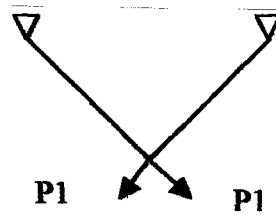
1. x_i^1 başlangıç noktası ile algoritmaya başlanır.
2. Yapı ağırlığı W yi iyileştiren, çözümden uzaklaşma hareketinin yönü belirlenir.
3. Amaç fonksiyonu en iyilendiren yönde mevcut çözümden uzaklaşma miktarı ve adım büyüklüğü tespit edilir.
4. adımın sonunda elde edilen çözüm amaç fonksiyonunda herhangi bir en iyileşme görülmediğinde işlemler durdurulur, aksi durumda 2. Ve 3. Adımlar tekrarlanır elde edilen son çözüm optimum olarak kullanılır.

4.4 Şekil Optimizasyonu

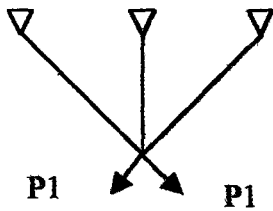
Yapısal optimizasyon kullanan matematiksel programla tekniklerinin veya nümerik optimizasyon tekniklerinin son yüzyılda gelişimi artmıştır. Bu gelişmeler, Schmit (1960) in çalışmalarında geniş olarak kullanmıştır ve şekil 4.2(a) da gösterilen üç çubuklu elastik çerçeveyi dizayn etmek için nonlinear programlama teknikleri kullanmıştır. Amaç, iki bağımsız eleman ve gerilme sınırlayıcısına maruz olan yapının ağırlığını minimize etmektir. Dizayn değişkenleri, kesit alanları A_1 , A_2 ve A_3 tür. Schmit, yaygın olarak kullanılan gerilme oranı metodunu bu dizayn problemi için iteratif olarak kullandığı ve 2 nolu eleman yok olduğunda yapının statik olarak yeterli olduğu fakat ağırlığının optimum olmadığını şekil 4.2(b) de göstermiştir. Optimum dizaynı gerilme sınırı bilinen, kalan iki elemanın matematiksel programlama kullanarak elde etmiştir. Fakat dizayn gerilme sınırının oldukça altında kalmıştır. Şekil 4.2 (c) de gösterilen optimum ağırlık sonuç ta kullanılan gerilme oranından % 7 daha düşüktür. Değişken olarak eleman boyut karakteristikleri almış ve çok sayıda yükleme durumu altında optimum dizaynı elde edememiştir. Sonuç olarak şekil 4.2(d) de eleman geometrisi göz önüne alınarak yapılan hesaplamada optimum çözüm elde edilmiştir. Burada şekil değişkenleri kullanıldığı zaman çeşitli yükleme durumları için her elemanın tam olarak gerilme sınırına vardığını görürüz ve şekil optimizasyonu sayesinde yapının başlangıç dizaynıyla karşılaştırıldığında yaklaşık % 20 daha ağırlığının azaldığı görülmüştür.



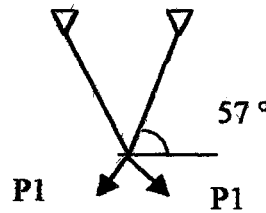
a) Başlangıç dizaynı



b) Gerilme Oranı (W=1.00)



c) Matematiksel programlama (W = 0,932)



d) Optimum şekil (W = 0.903)

Şekil 4.2 Üç çubuklu kafes çerçeve

4.5 Sürekli Yapıların Optimizasyonu

Şekil optimizasyonunda kullanılan sayısal metotlar için sürekli yapı sistemlerin dizaynları kafes sistemlerdeki gibi sürekli olmayan yapı sistemlerinden iki temel farklılığı vardır. İlki, eleman boyutu ile ilgili parametreler ve geometrik parametreler arasındaki mesafe açık değildir. Bir sürekli yapıda temel dizayn problemi, yüzey belirleyicinin bir dizayn değişkenleri vasıtasıyla ifade edildiği durumda optimum geometriyi belirlemektir. Bu gibi yapılara tipik örnek olarak kemer barajlar, türbin diskleri ve volanlardır. Sürekli sistemlerdeki ikinci ayırt edici özellik daima optimizasyon işlemi esnasında yapının sonlu elemanlar modellenmesinin revizesi gereklidir. Çünkü bu yapı şeklinin modifiye edildiğinden dolayı, orijinal sonlu eleman modeli değiştirilir. Bu değişim sınırlayıcıların izin verildiği miktarda gerçekleştirilir.

4.6 Sürekli Yapıların Şekil Optimizasyonu

Sürekli tip yapıların şekil optimizasyonu, kafes sistemlerle veya diğer yapısal şekillerle karşılaştığında daha az uygulandığı görülür. Yapısal dizayn değişkenlerinin sınıflanmalarında eleman boyutları, geometri, ayrıntılı topoloji ve malzeme kesit değişkenleri kendi içinde alt bölümlere ayrılmıştır (Imai and Schmit, 1981), halbuki sürekli yapılarla bağlantılı dizayn değişkenleri genelde bütün topoloji ile ilişkilidir ve bu yüzden değişken sayısı azdır. Mevcut olan sonlu elemanlar metodu genel yapısal şekillerin optimizasyonunu mümkün kılmaktadır.

Sürekli yapıların optimizasyon problemi iki sınıfa ayrılıyor. İlki en iyi dizayn, bazı gerilme durumlarının kısıtlı uzayda düzenlenen şekil dizayn değişkenlerinin minimize edilmesidir. Basit lineer sınırlayıcılar genelde dizayn değişkenleri üzerine yerleştirilmiştir ve sadece amaç fonksiyonu lineer değildir. Bu kategorideki tipik problem gerilme yığılmasını minimize etmektir.

İkinci kategori, daha büyük oranda mühendislik problemlerini kapsar. Burada en iyi çözüm, özenli olarak dizayn sınırlayıcılarını gerilme veya deformasyon değişkenleri üzerine yerleştirilerek en düşük (mümkün olan endüyük ağırlık veya hacim) maliyettir. Dizayn değişkenleri üzerindeki bazı lineer kısıtlayıcılar eklenmesi zor iken, çoğu gerilme durumları lineer olmayan amaç fonksiyonuna ilaveten lineer olmayan sınırlayıcılar içerir.

Yapı maliyetinin minimizasyonunda çeşitli teknikler, lineer olmayan sınırlanmış problemleri çözmek için uygulanmıştır. Bunlar penaltı fonksiyonlar, uygun doğrultu ve doğrusallaştırma olarak bölümlenebilir.



5. SAYISAL UYGULAMALAR

5.1 Giriş

Bu bölümde sürekli yapı sistemlerinin en genel haline örnek olan, uygulama ve hesaplama tekniklerinde süreklilik arz eden ve karmaşık bir yapıya sahip olan beton kemer barajlar için uygulamalar yapılmıştır. Yapılan uygulamalar The Arch Dams Committee Report of the Institution of Civil Engineers (Anon,1968)' in seçtiği Şekil 5.1 de gösterilen 5 nolu baraj üzerine yapılmıştır.

Statik, modal ve dinamik analizlerde sonlu elemanlar metodunu destekleyen ANSYS paket programı kullanılmıştır. Bu hesaplamalar ve modellemeler, ANSYS paket programının programlama dili tekniği (APDL) ile yapılmıştır. Seçilen eleman tipleri katı modellemede SOLID 45, SOLID 73 ve sıvı modellemede FLUID 30 kullanılmıştır. Optimizasyon metodu olarak ceza fonksiyonları metodu kullanılmıştır.

Yapılan programda, kullanıcı tarafından seçilen elemanların malzeme karakteristikleri, barajın oturduğu vadinin geometrisi ve barajın başlangıç boyutları verilmektedir. Sonra sistemin program vasıtasıyla gövde, temel ve su modellemesi yapılmaktadır. Modellemede dışardan düğüm noktası girilmemektedir. Statik analiz, modal analiz ve dinamik analiz yapılarak, hesaplanan sonuçlar optimizasyon işlemine girmektedir. Bu işlem uygun çözüm bulununcaya kadar devam etmektedir. Her optimizasyon döngüsü sonucunda modelleme yeni şekil fonksiyonuna göre yeniden yapılmaktadır.

5.2 Kemer Barajlar

Kemer barajlar vadi şeklinin ve temel zemininin uygun olduğu yerlerde, su enerjisinden daha fazla yararlanmak için tercih edilirler. Uygun şartlar oluştuğunda güvenli ve ekonomik çözüm verirler.

Ancak, analiz ve dizayn işlemi çok karmaşık olması, özel yapım tekniklerinin kullanımına ihtiyaç duyulması ve inşaatın zaman alıcı olması, alternatif baraj tiplerine göre bir dezavantajdır (Fanelli, 1992).

Kemer Barajlar, geometrik şeklinden dolayı bünyesine aldığı su yükü ve zati yükleri, en az çekme gerilmelerine maruz kalacak şekilde, zemine aktarmayı sağlayan su yapılarıdır. Ancak deprem gibi dinamik yüklemeler ve bu yüklemeler

altında yapıda meydana gelecek lineer olmayan davranışlar, kemer özelliğine aksi bir davranış tesiri katabilir. Yapının gerçek davranışını tayin edebilmek için bu yüklemeler altında geometrinin hesaplanması gerekmektedir.

Ayrıca, dolgu ve beton ağırlık tipi barajlar için iki boyutlu analiz yeterli sonuçlar vermesine karşın, kemer tipi barajlarda yeterli sonuçlar vermediği görülmüştür (Köse, Dumanoglu,1998). Bu nedenle, kemer barajların hesaplanması için üç boyutlu analitik modele ihtiyaç vardır.

Şekil dizaynları bir barajın güvenlik ve ekonomisi üzerinde büyük öneme sahiptir. Genellikle kemer barajlar deneme ve yanılma metodu ile dizayn edilmektedir. Bu metot ile bir başlangıç şekli seçilir sonra analiz edilir. Şayet istenilen dizayn özellikleri karşılanırsa şekli uygulanır. Aksi taktirde barajın şekli düzeltilerek yeniden analiz edilir. Baraj şekli bu metotla tayin edilir. En iyi şekil, birkaç şekil ile oluşur ve aralarından biri seçilerek analizi ve teklifi yapılır. Fakat seçilen şema genelde gerekli optimum boyuta sahip değildir. Bunlara ilaveten hesaplama zamanı da oldukça uzundur.

Bir kemer barajın optimum şekli için araştırmalar, basit yükleme durumunda (su basıncı ve baraj ağırlığı) çözümler ile başlanılmıştır. Bu metotlar daha geniş kapsamlı sorunlar için bir başlangıç olmuştur.

Geometrik modelin uygunluğu, kemer barajların optimum dizaynı için hayli önemlidir. Bir taraftan model, malzeme geriniminin limitte kullanımını ve gerilme durumuna göre olmalıdır. Diğer taraftan ise imalatı kolaylaştırmak için geometrik model, karışık olmamalıdır. Aksi taktirde proje kolayca uygulanamaz.

Bir önemli problemde, dizayn özelliklerini tam olarak yerleştirmeyi sağlayan sınırlayıcı fonksiyonlarının belirlenmesidir. Dizayn özellikleri içermemesine rağmen bazı ampirik durumlar dizayn mühendisleri tarafından sunulan kısıtlamaları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Barajın memba yüzeyi ya tek eğrilikli yada çift eğriliklidir. Barajın düşey kesiti sırasıyla tek merkezli kemer, parabol, elips, hiperbol veya logaritmik spiral olabilir. Tek merkezli kemer barajda yatay kesit eğrilik yarıçap sabitine sahiptir. Çok merkezli kemerlerde baraj yatay kesiti iki ile beş merkezli eğriliğe sahip olabilir.

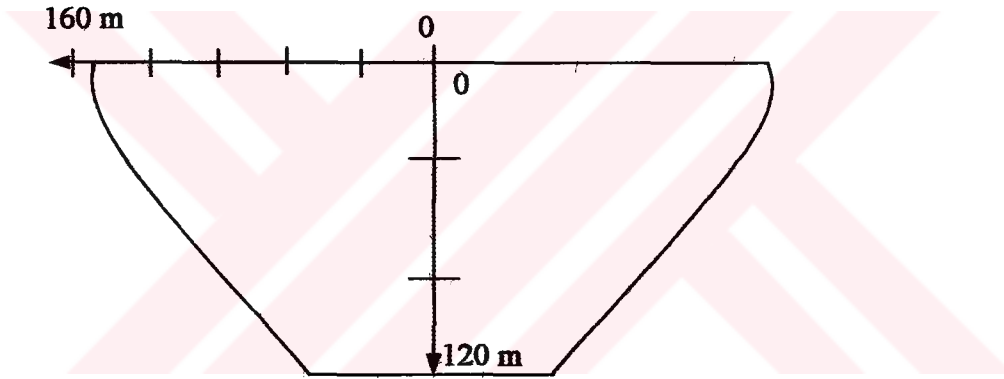
Amaç fonksiyonu barajın maliyetidir. Buda baraj gövdesinin beton hacmi, temel kazısının hacmidir. Genel olarak temel kazısının maliyeti baraj betonu maliyetinden az olduğundan dolayı baraj beton hacmi genelde amaç fonksiyonu olarak kullanılır.

Jeolojik ve topolojik durumlara göre baraj eksenindeki yer değiştirme oranları belirlenir. Trafik ve bunun gibi durumların ihtiyaçı olması durumlarına göre baraj kretinin minimum genişliği tayin edilir. Bazen baraj tabanının maksimum genişliği imalat bloklarının genişliği kontrolünde sınırlandırılır.

Altı tip kemer baraj vardır. Bunlar, iki merkezli kemer, beş merkezli kemer, parabol, elips, hiperbol ve logaritmik spiral kemer baraj şekilleridir. Yapılan çalışmalarda baraj hacmine göre son üç tip ilk aşamada elimine edilmiştir (Zhu, Rao, Jia and Li, 1992).

5.2.1 5 Nolu baraj probleminin tanımlanması

Bu uygulamada The Arch Dams Committee Report of the Institution of Civil Engineers (ICE)' in seçtiği 5 nolu baraja göre şekil 5.1 de görüldüğü gibi simetrik bir vadi şekli seçilmiştir.



Şekil 5.1 Kemer barajın yerleştirildiği vadinin şekli

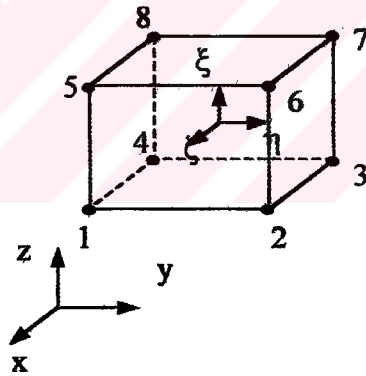
Kemer barajın şekli iki pozinomial ifade ile tanımlanmıştır. Birincisi orta yüzey için ikincisi orta yüzey boyunca değişken kalınlık içindir. Bu fonksiyonların, Şekil 5.1 de, kret üzerinin başlangıcı belirlenmiş ve yedi adet dizayn değişkenine sahiptir.

Burada x_{mid} , kemer baraj ortası eğrilik fonksiyonu, t , x_{mid} noktasındaki baraj et kalınlığı, $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ ise bu fonksiyonlara çarpan olarak etkileyen dizayn değişkenleridir. Lineer elastik analizden dolayı baraj gövdesi ve baraj temelini elastisite modülü 2×10^7 kN/m² ve poisson oranları 0.15 olarak kabul edilmiştir. Baraj temeli kütlesiz alınmıştır. Barajın yükleme durumu, tam dolu rezervuar artı baraj gövdesinin kütlesi olarak uygulanmıştır. Rezervuardan gelen yük, hem su basıncı olarak nodlara direkt hidrostatik yükleme yapılarak hem de sistemde sıvı modellenmesi yapılarak uygulanmıştır.

5. nolu baraj için, iki farklı tip modelleme yapılmıştır. Bunlar baraj gövdesi eleman tanımlanmasına göre sırasıyla SOLID45 elemanlı modelleme ve SOLID73 elemanlı modellemedir. 5 nolu baraja ait kret uzunluğu, kret yüksekliği ve vadi şekline göre gövde yerleşiminin genel geometrisi Şekil 5.2 de verilmiştir.

Baraj gövdesi betonu hacminin minimizasyonu amaç fonksiyonu seçilmiştir. Asal gerilmeler: maksimum basınç gerilmesi 7000 kN/m² ile sınırlandırılmıştır. Benzer şekilde maksimum çekme gerilmesi 1400 kN/m² olarak sınırlandırılmıştır.

Çıkıntılar: Şekil 5.3.d' de gösterildiği gibi $\theta_U > 65^\circ$ ve $\theta_L > 80^\circ$ 'ye enkesit üzerindeki limit açılar tarafından sınırlandırılmıştır.



Şekil 5.2 Kemer baraj katı elemanı

$$X=N_1X_1+N_2X_2+.....+N_8X_8 \quad (5.3)$$

Y ve Z için aynı fonksiyonlar kullanılır. Matris formunda fonksiyonun şekli

$$\begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & & N_8 & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & & 0 & N_8 & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & & 0 & 0 & N_8 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

yazılır.

$$V_e = \int_{V_e} N^T N dV_e \quad (5.5)$$

eleman hacim işlemi her bir eleman için toplanırsa, Baraj gövdesi için en genel amaç fonksiyonu,

$$V_{\min} = \sum V_e = \sum_{i=1}^n \int_{V_e} N_i^T N_i dV_e = \sum_{i=1}^n \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 N_i^T N_i d\xi d\eta d\zeta \quad (5.6)$$

olarak verilir.

Burada Gauss integrasyonu kullanılır.n eleman sayısıdır. Gauss integrasyonu için kullanılan koordinat fonksiyonları ifade (5.1) ve (5.2)' deki baraj orta eksenine ve kalınlığına bağlıdır. Bu eksen ve kalınlık fonksiyonları a sabitleri ve y ve z koordinatları yardımıyla hesaplanır.

Baraj fonksiyonun sınırlayıcıları; $g(x)$;

$$0.002 \leq a1 \leq 0.004,$$

$$0.0 \leq a2 \leq 0.001,$$

$$0.0 \leq a3 \leq 1.0,$$

$$0.0 \leq a4 \leq 0.009,$$

$$2.0 \leq a5 \leq 15.0,$$

$$0.0 \leq a6 \leq 0.2,$$

$$0.0 \leq a7 \leq 0.2$$

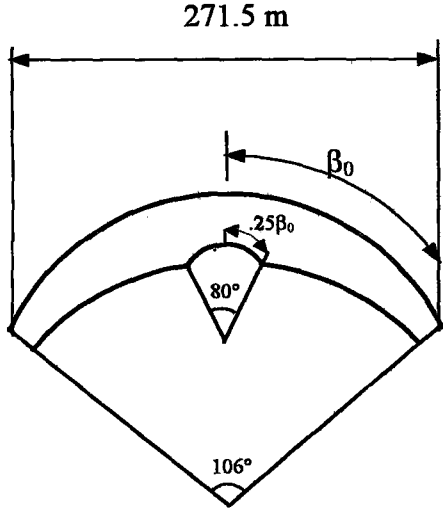
$$\sigma_1 < 1400 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_3 < 7000 \text{ kN/m}^2$$

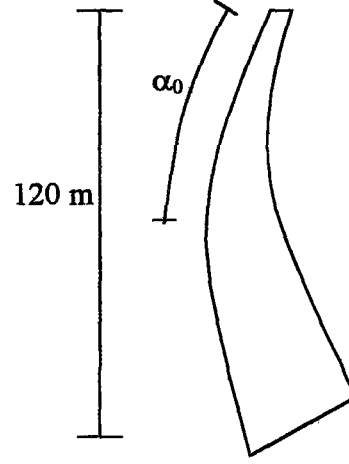
$$\theta_U > 65^\circ$$

$$\theta_L > 80^\circ$$

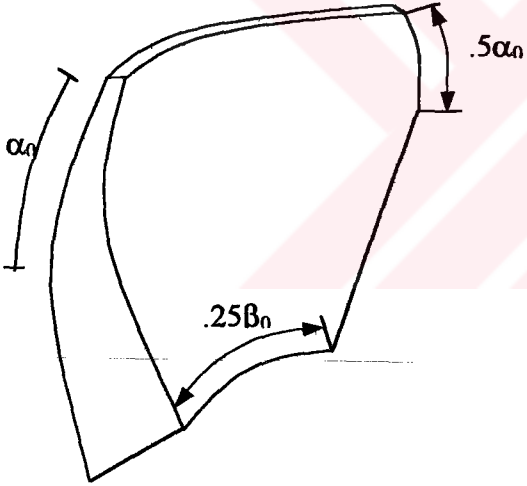
olarak tanımlanmıştır.



a) Plan



b) Enkesit

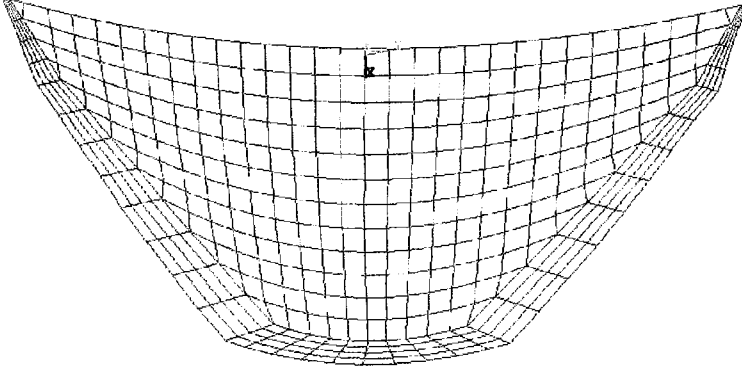


c) Yarı perspektif

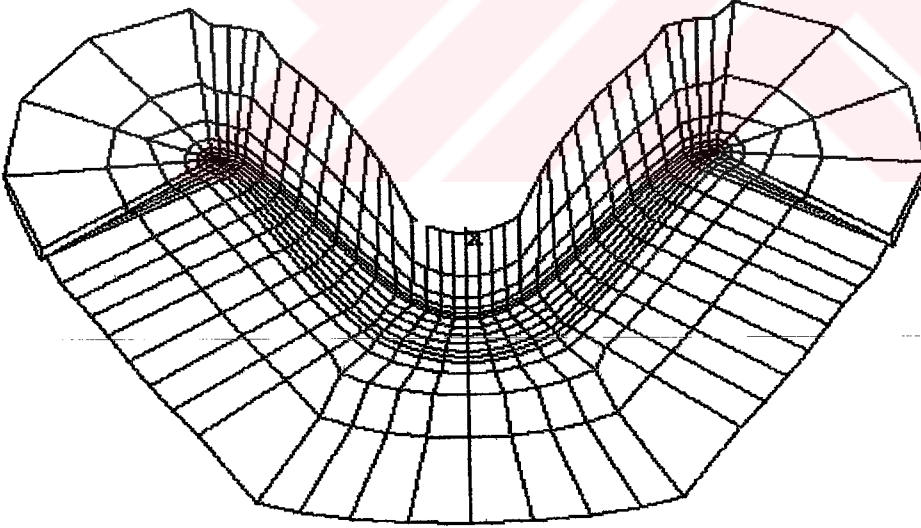


d) Çıkıntı açıları

Şekil 5.3 ICE 5 nolu tip barajın plan, enkesit ve yarı perspektif görünüşleri



Şekil 5.4 ICE 5 nolu tip baraj gövdesi görünüşü

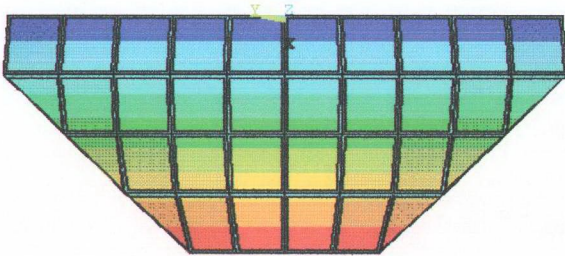
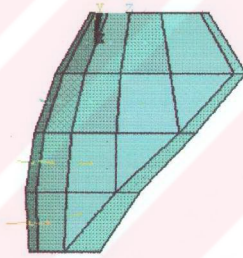


Şekil 5.5 ICE 5 nolu tip baraj temeli görünüşü

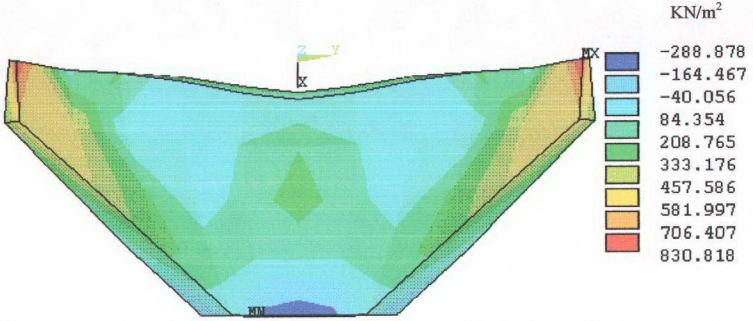
5.2.2. 5 nolu barajın statik yükler altında optimizasyonu ve karşılaştırmalar

Baraj Ricketts ve Zienkiewicz (1984) 'te belirlenen hesaplamalar ile karşılaştırmak için, önce baraj gövdesi 34 sonlu elemana bölünerek modellenmiştir. Bu sisteme, ilk olarak barajın memba yüzeyinden etkiyen su basıncını hidrostatik yük olarak verilmiş ve baraj su basıncı ve kendi ağırlığı altında sistem çözülmüştür. İkinci olarak baraj membasındaki su modellenerek sistem tekrar analiz edilmiştir.

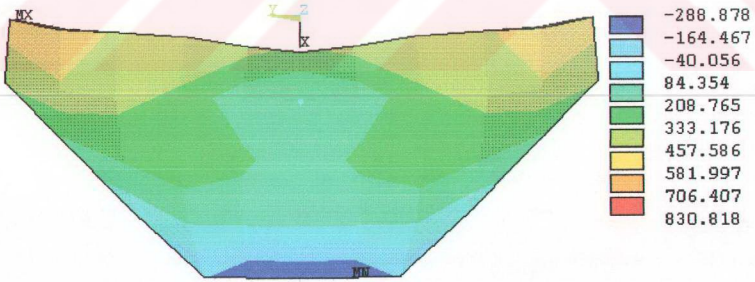
Yapılan hesaplamalar sonucunda oluşan deplasman ve asal gerilme diyagramları aşağıda verilmiştir.



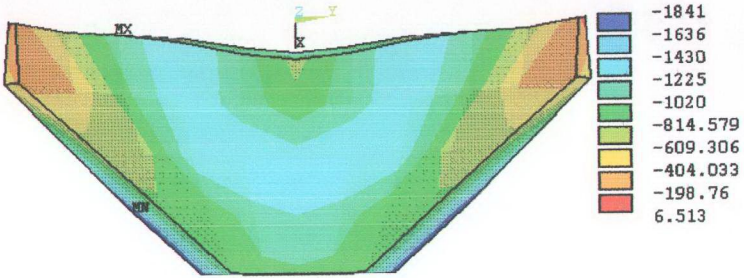
Şekil 5.6 Hidro-statik yükleme için kontur ve eleman yüklemesi görünümü



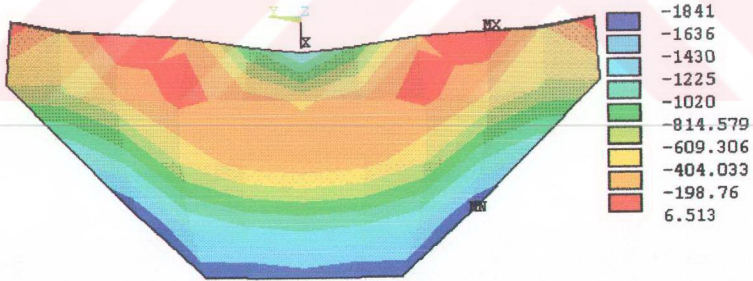
Şekil 5.7 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



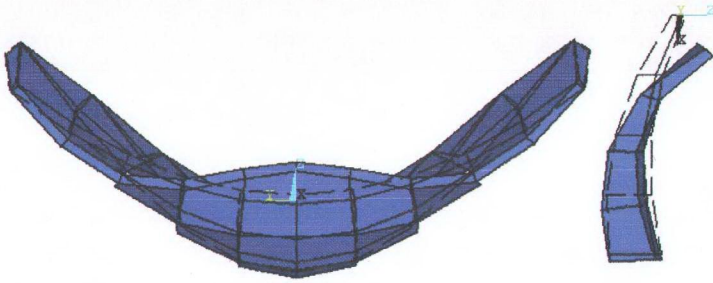
Şekil 5.8 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü



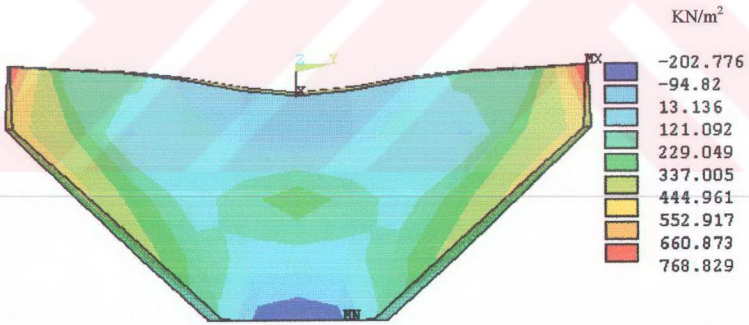
Şekil 5.9 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



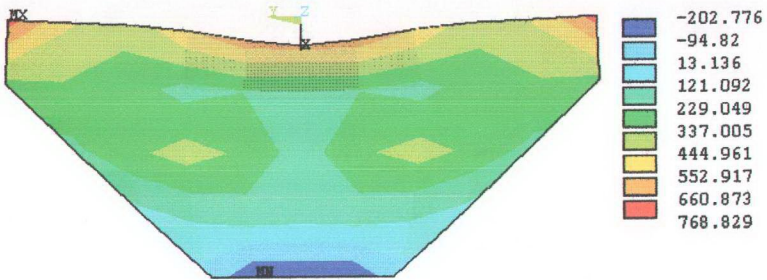
Şekil 5.10 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



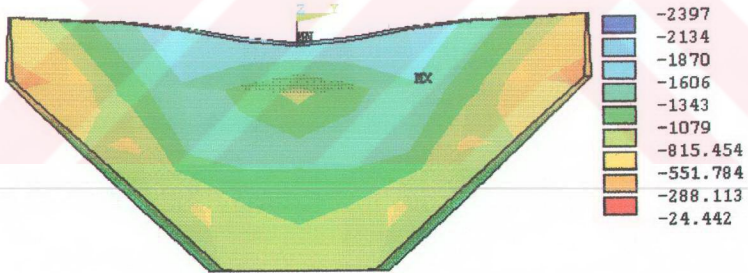
Şekil 5.11 SOLID45 elemanlı modelleme için başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı
deplasman görünümü



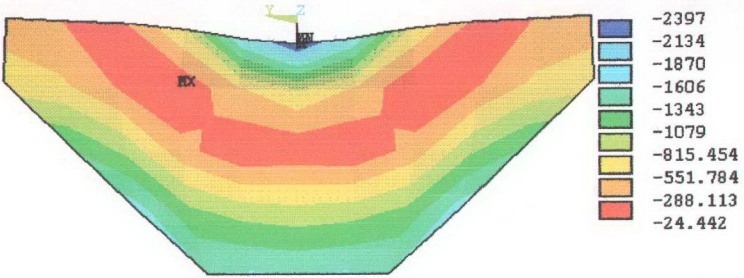
Şekil 5.12 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın
minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



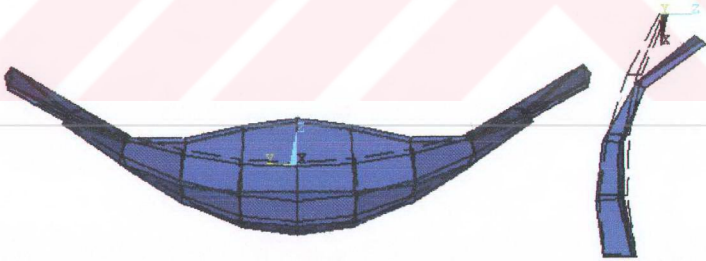
Şekil 5.13 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.14 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



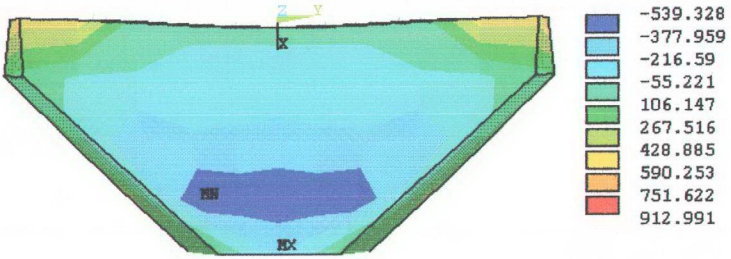
Şekil 5.15 SOLID45 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



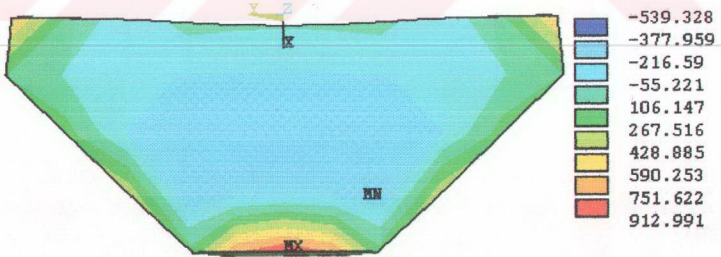
Şekil 5.16 SOLID45 elemanlı modelleme için optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Tablo 5.1. Solid45 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın zati ağırlığı altındaki optimizasyonu

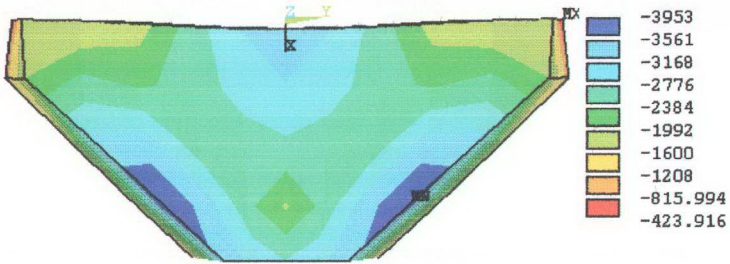
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-5}$)	a_7	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	θ_U	θ_L	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	835	-1968	65	85	443236
0,2980	0,6000	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	835	-1968	65	80	443236
0,2980	0,6000	0,5930	0,3380	8,07	0,756	0,152	830	-1967	65	80	446959
0,2867	0,5791	0,5930	0,3380	2,00	0,808	0,134	762	-1726	65	80	246901
0,2862	0,5782	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,133	758	-1741	65	80	241122
0,2755	0,5560	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,100	711	-1968	65	80	193359
0,2000	0,4043	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,100	768	-2387	65	80	180913
0,2000	0,4000	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,100	769	-2397	65	80	180756
0,2000	0,4000	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,100	769	-2397	65	80	180756



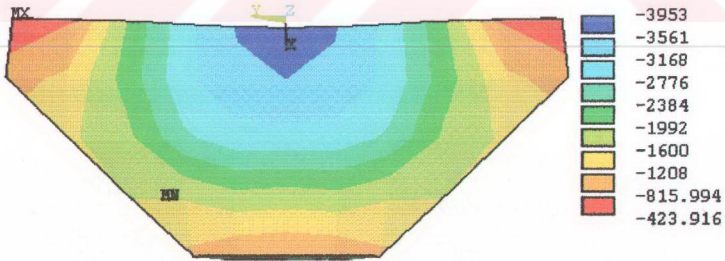
Şekil 5.17 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



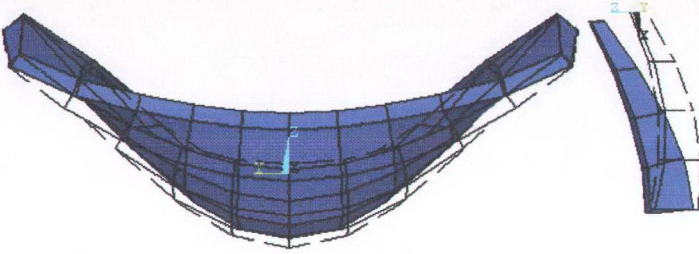
Şekil 5.18 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü



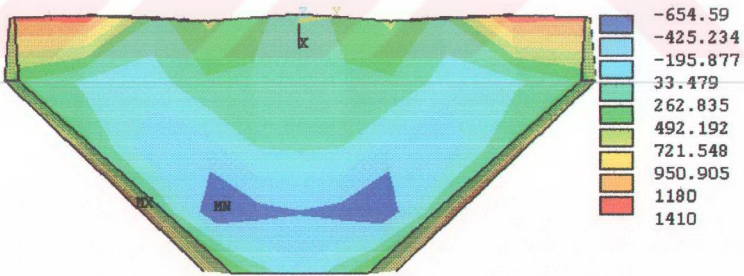
Şekil 5.19 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



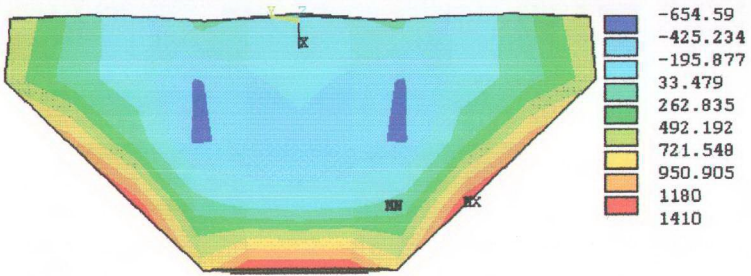
Şekil 5.20 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



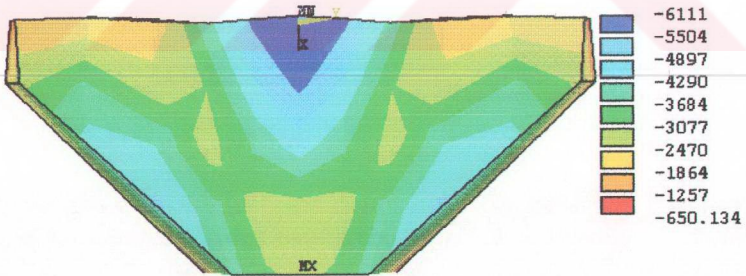
Şekil 5.21 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü



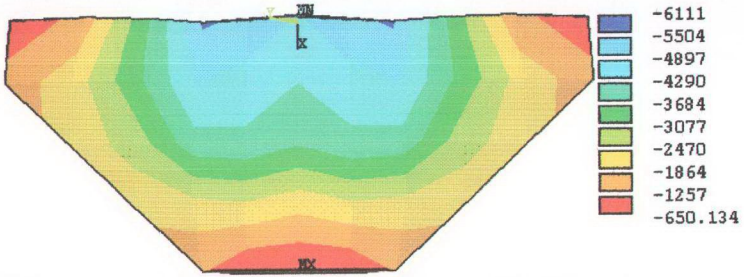
Şekil 5.22 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



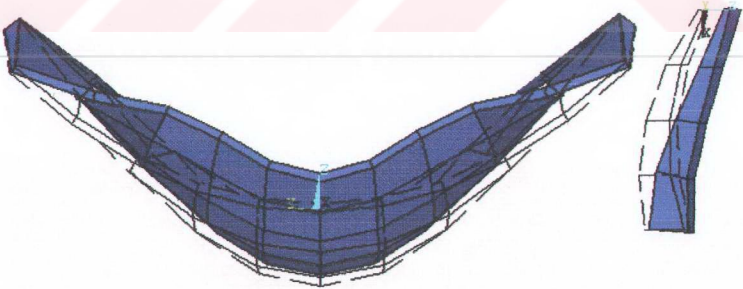
Şekil 5.23 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.24 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



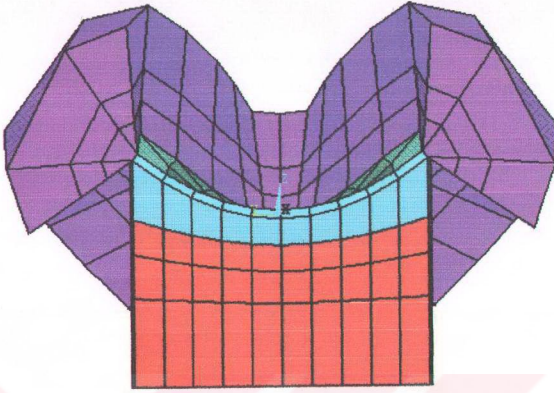
Şekil 5.25 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



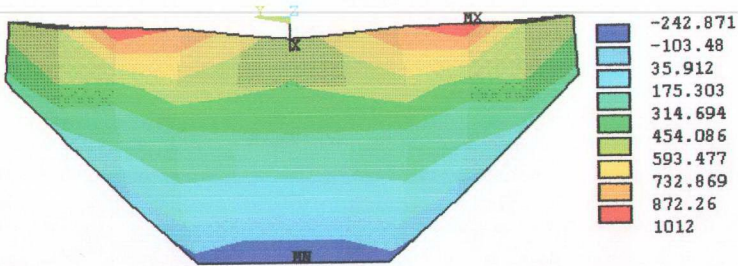
Şekil 5.26 SOLID45 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Tablo 5.2. Solid45 elemanlı modellenme için 5. nolu barajın hidro-statik yüklenme durumundaki optimizasyonu

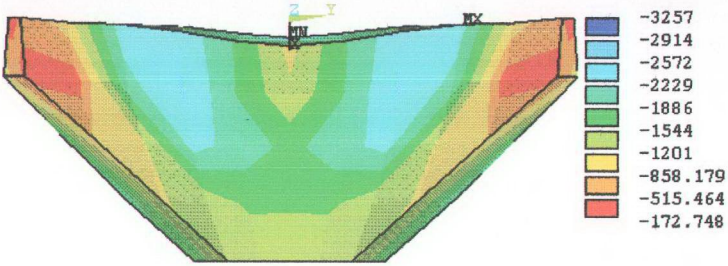
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	θ_U	θ_L	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	65	87	913	-3953	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	65	84	913	-3953	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,756	0,152	65	84	895	-3913	446962
0,2972	0,5977	0,5930	0,3380	7,64	0,040	0,151	65	84	1005	-4065	428964
0,2948	0,5908	0,5930	0,3380	6,31	0,040	0,147	65	84	1327	-4465	384528
0,3225	0,6363	0,5374	0,3939	4,66	0,040	0,144	65	84	1324	-4956	341919
0,3223	0,6356	0,5378	0,3938	4,48	0,040	0,143	65	84	1378	-5093	335938
0,3444	0,6438	0,6083	0,3803	4,01	0,040	0,145	65	84	1376	-5775	329462
0,3440	0,6432	0,6089	0,3801	3,90	0,040	0,145	65	84	1415	-5875	325653
0,3377	0,6367	0,6261	0,3744	3,70	0,783	0,144	65	84	1396	-6074	320915
0,3378	0,6367	0,6259	0,3745	3,67	0,719	0,144	65	84	1410	-6111	319499



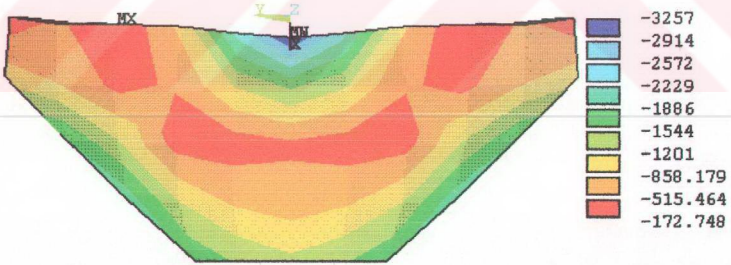
Şekil 5.27 34 elemanlı modelleme için gövde+temel+su görünümü



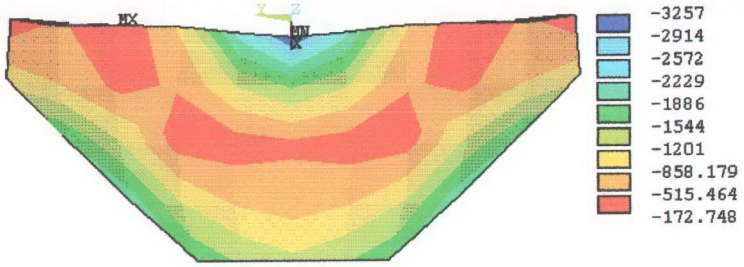
Şekil 5.28 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



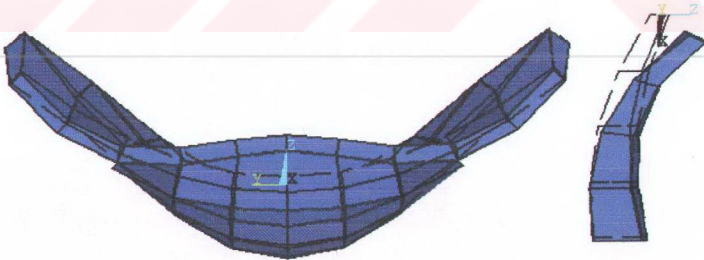
Şekil 5.29 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü



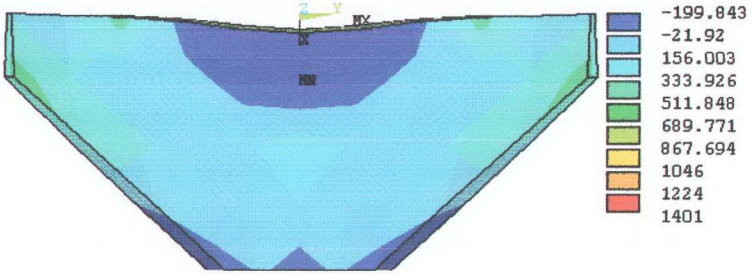
Şekil 5.30 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



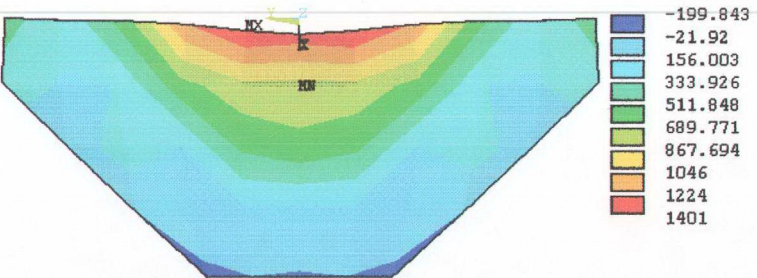
Şekil 5.31 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



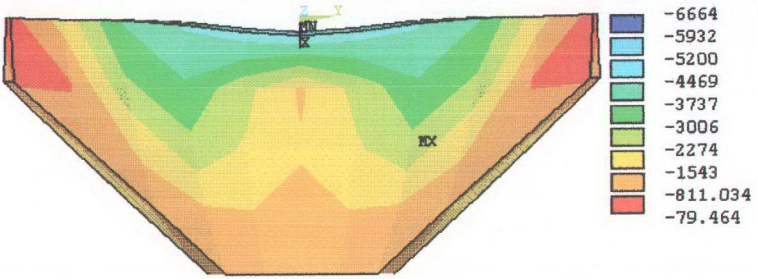
Şekil 5.32 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü



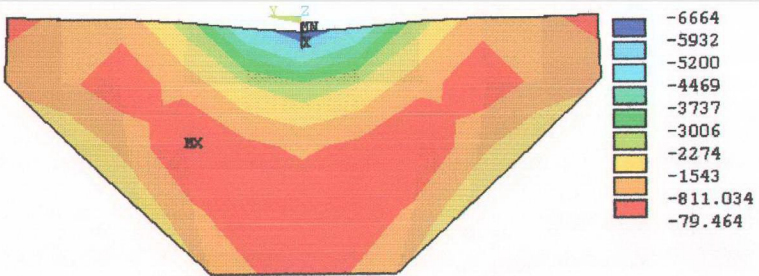
Şekil 5.33 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



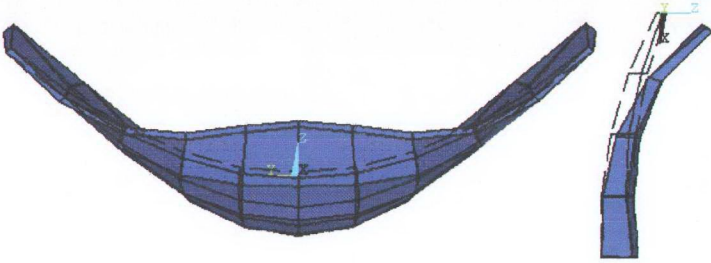
Şekil 5.34 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.35 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



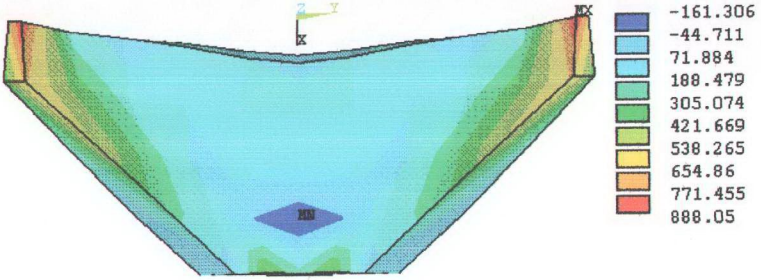
Şekil 5.36 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



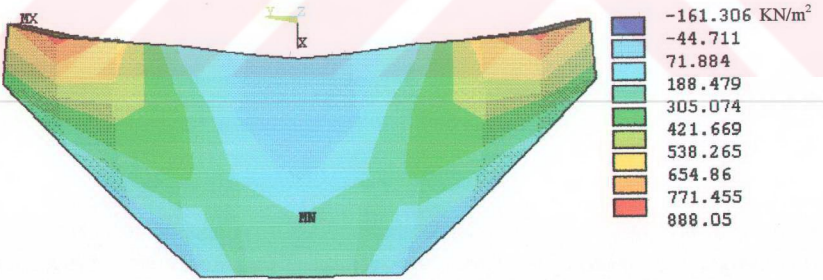
Şekil 5.37 SOLID45 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Tablo 5.3. Solid45 elementli modelleme için 5 nolu barajın sıvı modellemesi durumundaki optimizasyonu

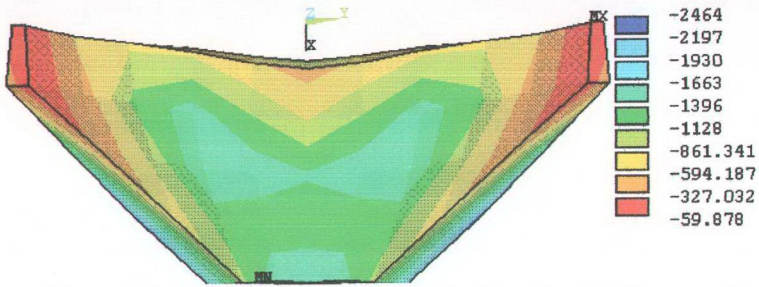
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	θ_U	θ_L	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	65	85	1012	-3257	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	65	80	1012	-3257	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,756	0,152	65	80	974	-3256	446959
0,2930	0,5855	0,5930	0,3380	5,37	0,779	0,144	65	80	1264	-4381	357163
0,2929	0,5830	0,5933	0,3371	5,17	0,406	0,143	65	80	1309	-4515	348374
0,2936	0,5770	0,5911	0,3341	5,10	0,040	0,142	65	80	1316	-4580	342987
0,2936	0,5754	0,5905	0,3336	4,98	0,040	0,142	65	80	1355	-4657	338518
0,3166	0,4305	0,5063	0,2615	5,10	0,040	0,100	65	80	752	-4961	277689
0,3145	0,4244	0,5063	0,2615	3,23	0,040	0,100	65	80	1378	-6674	225166
0,3199	0,4000	0,4803	0,2556	3,11	0,040	0,100	65	80	1299	-6428	221098
0,3197	0,4000	0,4801	0,2556	2,93	0,040	0,100	65	80	1401	-6664	216050



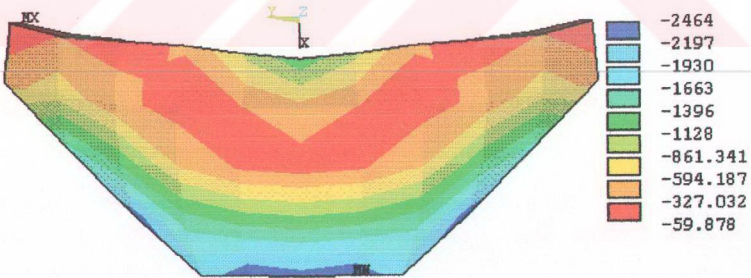
Şekil 5.38 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



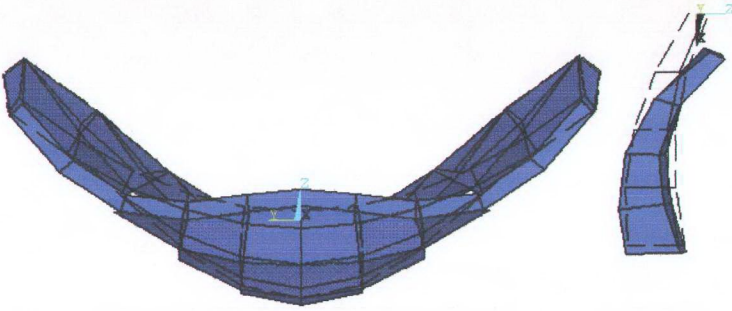
Şekil 5.39 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü



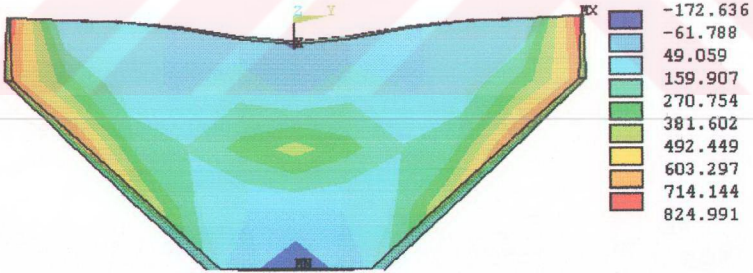
Şekil 5.40 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



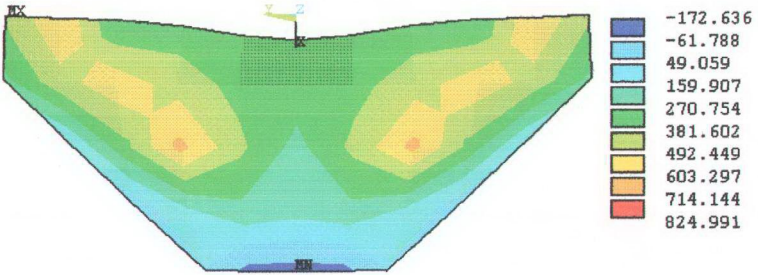
Şekil 5.41 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin menba görünümü



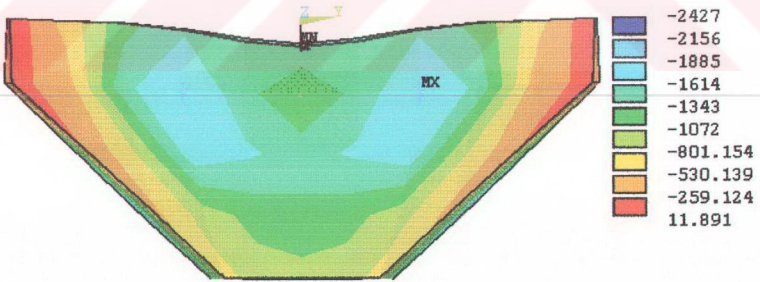
Şekil 5.42 SOLID73 elemanlı modelleme için başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü



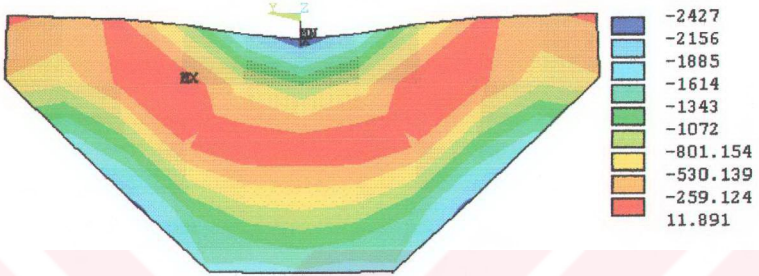
Şekil 5.43 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



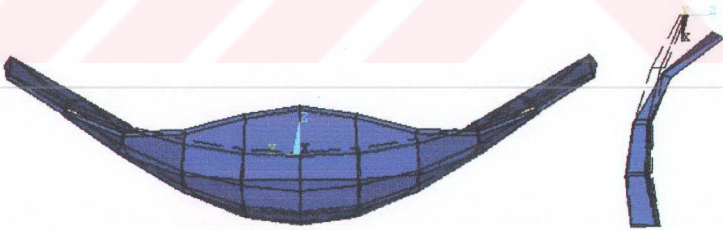
Şekil 5.44 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.45 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



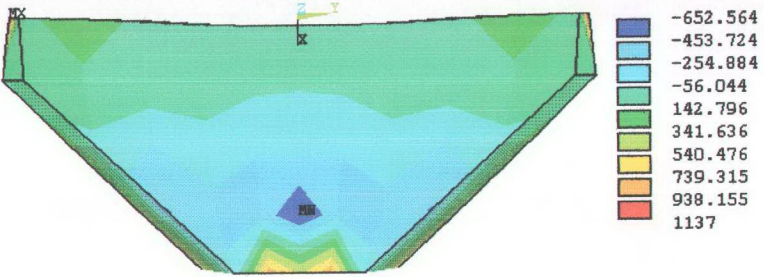
Şekil 5.46 SOLID73 elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati ağırlığı altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



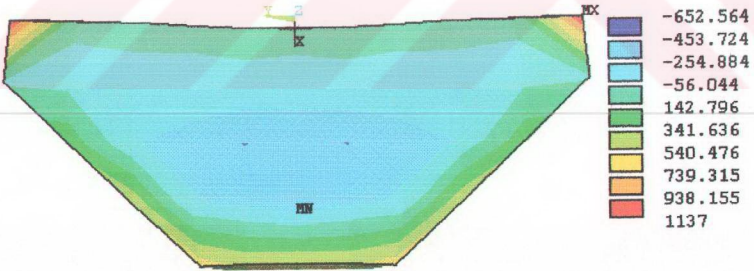
Şekil 5.47 SOLID73 elemanlı modelleme için optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Tablo 5.4. Solid 73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın zati ağırlığı altındaki optimizasyonu

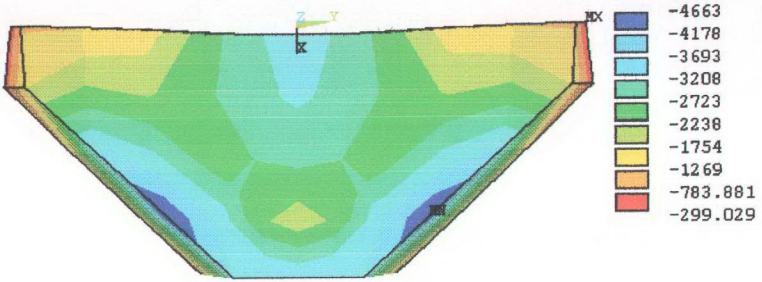
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	θ_U	θ_L	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	-2464	888	65	85	443236
0,2980	0,6000	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	-2464	888	65	80	443236
0,2980	0,6000	0,5930	0,3380	8,07	0,756	0,152	-2463	877	65	80	446959
0,2867	0,5791	0,5930	0,3380	2,00	0,808	0,134	-2311	804	65	80	246901
0,2862	0,5782	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,133	-2347	829	65	80	241122
0,2755	0,5560	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,100	-2586	1017	65	80	193359
0,2000	0,4043	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,100	-2417	818	65	80	180913
0,2000	0,4000	0,5930	0,3380	2,00	0,040	0,100	-2426	826	65	80	180756
0,2000	0,4000	0,5932	0,3375	2,00	0,040	0,100	-2429	824	65	80	180756



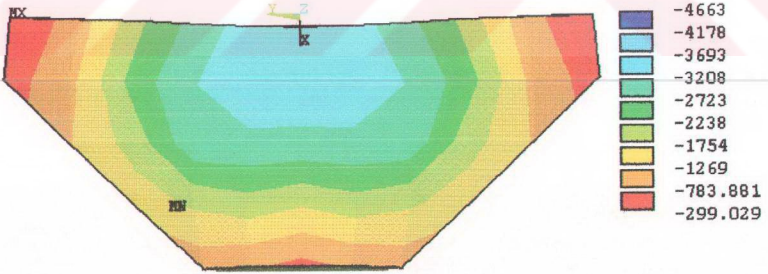
Şekil 5.48 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



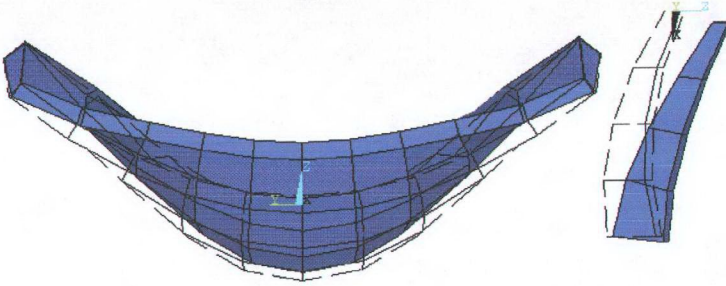
Şekil 5.49 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü



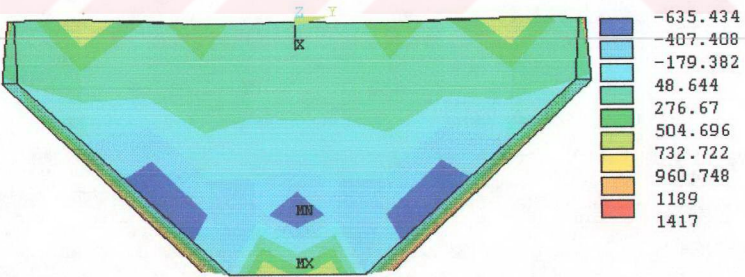
Şekil 5.50 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



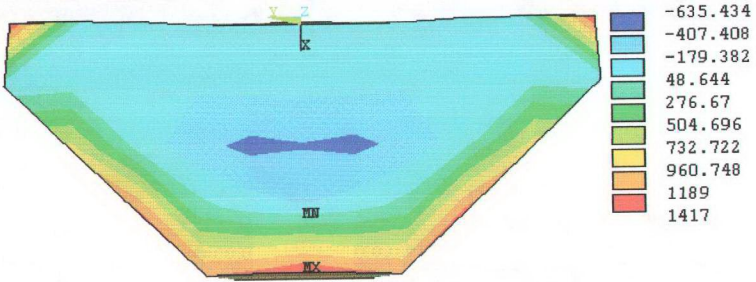
Şekil 5.51 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynının maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



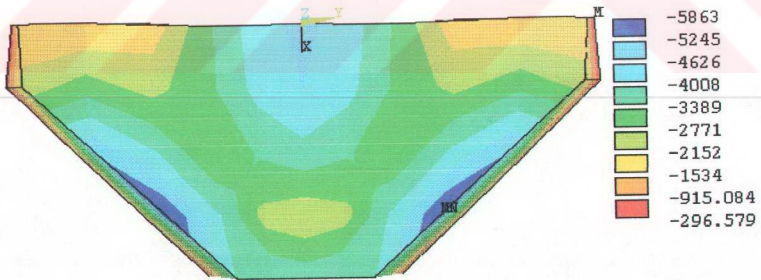
Şekil 5.51 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü



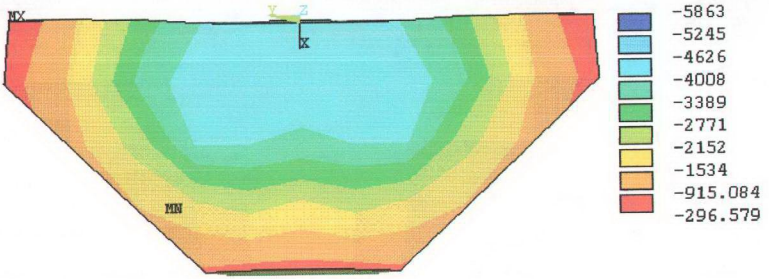
Şekil 5.52 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansab görünümü



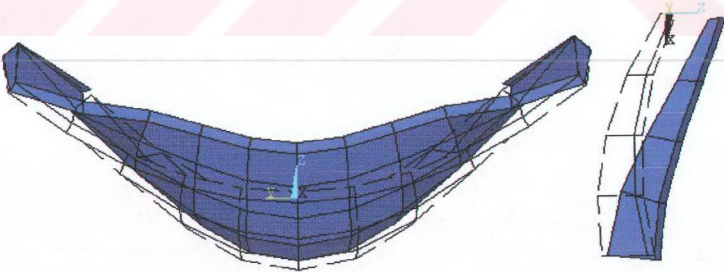
Şekil 5.53 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mamba görünümü



Şekil 5.54 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



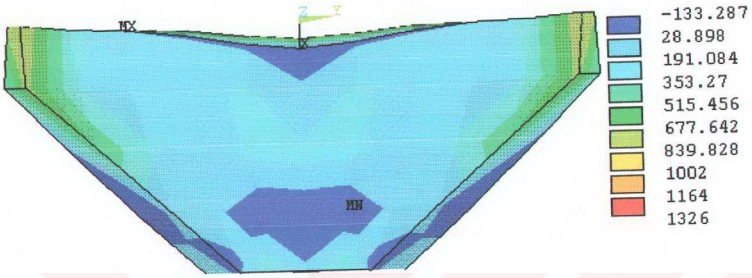
Şekil 5.55 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



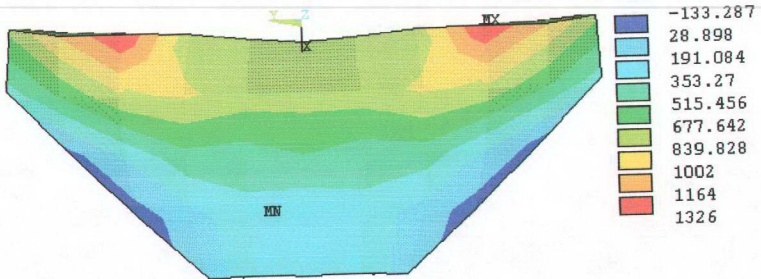
Şekil 5.55 SOLID73 elemanlı modelleme için hidro-statik basınç altında optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Tablo 5.5. Solid73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın hidro-statik yüklerle durumunda optimizasyonu

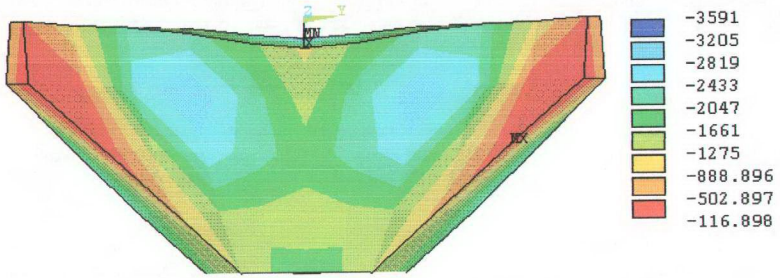
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	θ_U	θ_L	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	1137	-4663	65	87	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	1137	-4663	65	84	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,758	0,152	1108	-4612	65	84	446972
0,2972	0,5985	0,5930	0,3380	7,64	0,040	0,151	1169	-4813	65	84	428974
0,2945	0,5932	0,5930	0,3381	6,10	0,040	0,146	1345	-5449	65	84	377883
0,2927	0,5826	0,5940	0,3405	5,60	0,726	0,144	1321	-5665	65	84	363299
0,2924	0,5816	0,5940	0,3406	5,48	0,534	0,144	1372	-5749	65	84	358265
0,2933	0,5824	0,5935	0,3425	5,43	0,391	0,144	1375	-5776	65	84	356168
0,2931	0,5813	0,5934	0,3427	5,34	0,260	0,144	1412	-5837	65	84	352667
0,2938	0,5817	0,5930	0,3442	5,30	0,142	0,144	1417	-5863	65	84	350861
0,2938	0,5817	0,5930	0,3442	5,30	0,142	0,144	1417	-5863	65	84	350861



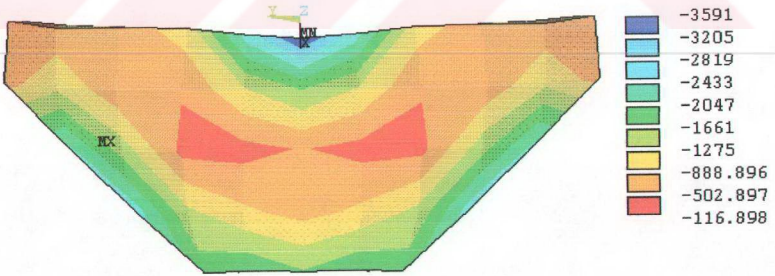
Şekil 5.56 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



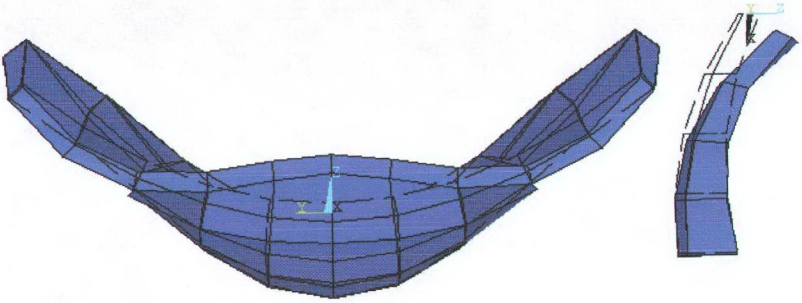
Şekil 5.57 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynının minimum asal gerilmesinin memba görünümü



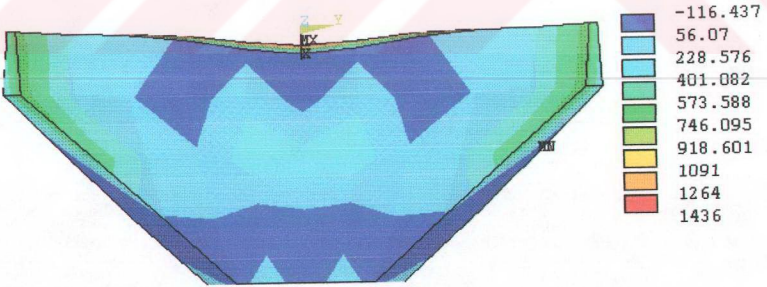
Şekil 5.58 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



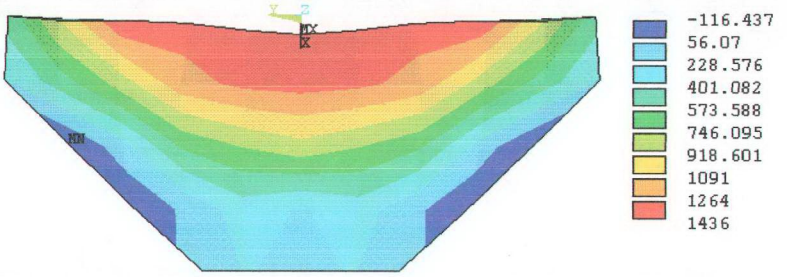
Şekil 5.59 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



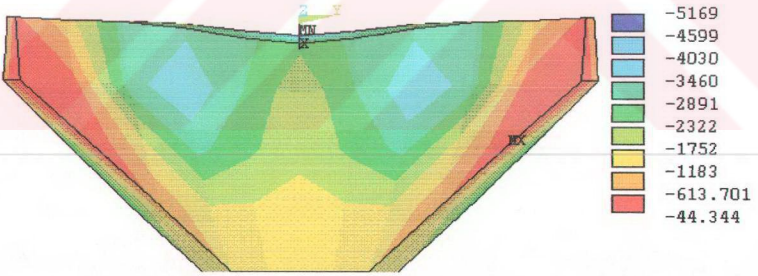
Şekil 5.60 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile başlangıç dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü



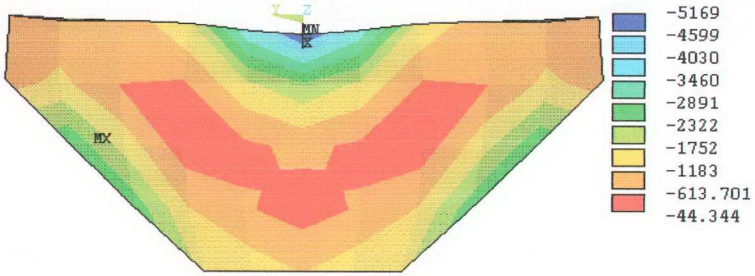
Şekil 5.61 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



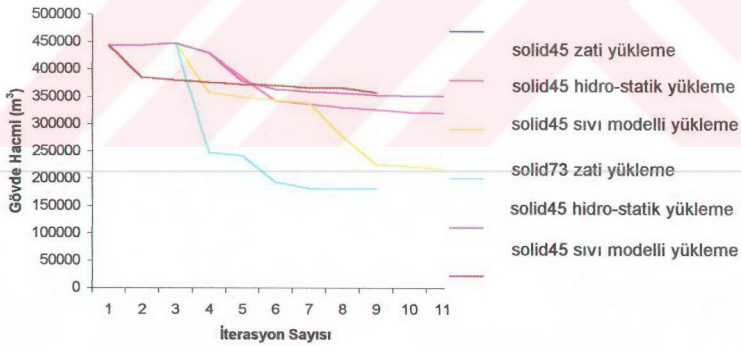
Şekil 5.62 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.63 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



Şekil 5.64 SOLID73 elemanlı modelleme için sıvı modellemesi ile optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.67 5 nolu barajın değişik yüklemeler ve modellemeler için optimizasyon çözümlerinin karşılaştırılması

Tablo 5.6. Solid73 elemanlı modelleme için 5. nolu barajın sıvı modellenmesi durumunda optimizasyonu

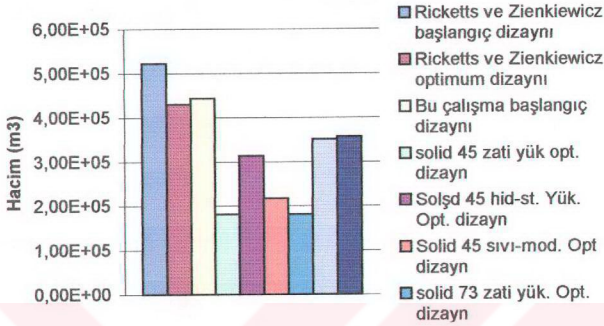
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	θ_U	θ_L	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5935	0,3374	8,09	1,261	0,152	1212	-3595	65	80	450028
0,2945	0,5709	0,6028	0,3257	6,15	1,254	0,147	1243	-4831	65	80	384588
0,2943	0,5704	0,6027	0,3257	6,02	0,982	0,146	1299	-4917	65	80	378817
0,2945	0,5691	0,6018	0,3257	6,03	0,631	0,146	1299	-4915	65	80	376063
0,2944	0,5679	0,6016	0,3253	5,92	0,441	0,145	1345	-4992	65	80	371569
0,2945	0,5670	0,6011	0,3251	5,93	0,260	0,145	1344	-4991	65	80	370238
0,2943	0,5658	0,6010	0,3247	5,82	0,075	0,145	1392	-5072	65	80	365719
0,2943	0,5656	0,6009	0,3246	5,83	0,040	0,145	1392	-5072	65	80	365454
0,2948	0,5603	0,5975	0,3245	5,70	0,040	0,141	1436	-5169	65	80	356911

Tablo 5.7. Ricketts ve Zienkiewicz (1984) tarafından yapılan 5 nolu baraj tipinin optimizasyonu

a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-4}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	θ_U	θ_L	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,298	0,600	0,5930	0,338	8,07	0	0,152	839	-5053	65	85	522500
0,310	0,512	0,5960	0,340	7,42	0	0,149	1022	-5446	65	85	485100
0,308	0,495	0,5920	0,337	6,77	0	0,153	1215	-5643	65	85	467900
0,304	0,503	0,5860	0,332	6,12	0	0,159	1307	-5919	65	85	456600
0,297	0,521	0,5790	0,326	5,47	0	0,166	1351	-6174	65	85	448100
0,287	0,546	0,5710	0,319	4,82	0	0,174	1371	-6417	65	85	441500
0,277	0,572	0,5630	0,313	4,17	0	0,182	1381	-6672	65	85	436000
0,267	0,597	0,5540	0,306	3,52	0	0,191	1386	-6966	65	85	431400
0,261	0,609	0,5520	0,304	3,39	0	0,193	1391	-6999	65	85	430000
0,257	0,618	0,5520	0,305	3,36	0	0,193	1397	-7002	65	85	430000

Tablo 5.8. 5 nolu barajın değişik yüklemeler ve modeller için optimizasyon çözümlerinin karşılaştırılması

Değişkenler	a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-4}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-7}$)	a_7	θ_U	θ_L	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
Başlangıç Değerleri	0.298	.6	.593	.338	8,07	0.0	0.152	65	85	839	-5053	52.25×10^4
Ricketts ve Zienkiewicz (1984)	0.257	.618	.552	.305	3,36	0.0	0.193	65	85	1397	-7002	43.00×10^4
	0.2980	0,0001	.593	.338	8,07	0.0	0.152	65	87	913	-3953	44.32×10^4
SOLID45, katı elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati yüklem durumu	0.2	.400	.593	.338	2,00	.4	0.1	65	80	768	-2397	18.08×10^4
SOLID45, katı elemanlı modelleme için hidrostatik yüklem durumunda çözüm	0.336	.691	.832	.462	3,55	.4	0.142	65	84	1385	-7099	31.32×10^4
SOLID45, katı elemanlı modelleme için su modellemesi durumunda çözüm	0.319	.400	.480	.255	2,92	.4	0.1	65	80	1401	-6664	21.60×10^4
SOLID73, katı elemanlı modelleme için baraj gövdesi zati yüklem durumu	0.2	.400	.593	.338	2,00	.4	0.1	65	80	823	-2428	18.08×10^4
SOLID73, katı elemanlı modelleme için hidrostatik yüklem durumunda çözüm	0.294	.582	.592	.344	5,30	.45	0.144	65	84	1416	-5863	35.09×10^4
SOLID73, katı elemanlı modelleme için su modellemesi durumunda çözüm	0.295	.560	.597	.325	5,70	.4	0.141	65	80	1436	-5168	35.69×10^4



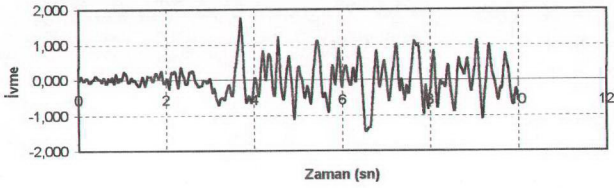
Şekil 5.66 5 nolu barajın değişik yüklemeler ve modeller için optimizasyon çözümlerinin karşılaştırılma

Statik yüklemeler altında yapılan optimizasyon sonucunda SOLID45 elemanlı modellemelerde kemer barajın gövde hacminde % 30 oranında, SOLID73 elemanlı modellemelerde % 21 oranında azalma görülmüştür. Ricketts ve Zienkiewicz (1984) çözümünde ise baraj gövdesi hacminde %18 oranında azalma olmuştur.

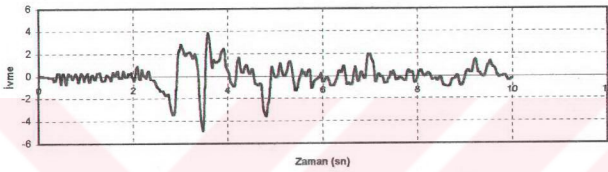
SOLID45 elemanlı modelleme ile yapılan çözümlerde hidro-statik yükleme ile sıvı modellemesi arasındaki farka göre SOLID73 elemanlı modellemedeki fark çok daha az çıkmıştır. Ancak kemer baraj gövde hacmi daha az indirgenmiştir.

5.2.3 5 nolu barajın dinamik yükler altında optimizasyonu ve karşılaştırmalar

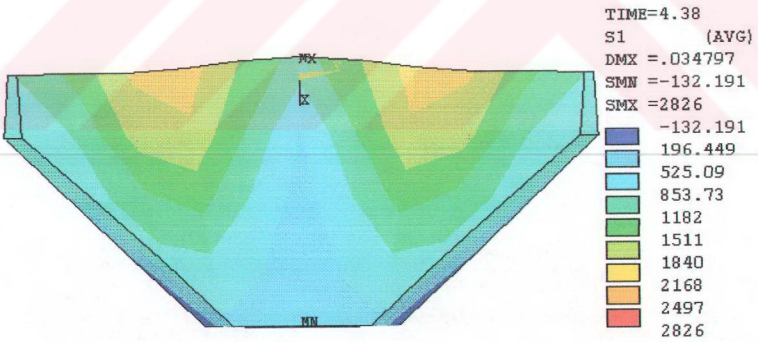
Dinamik yükleme olarak TAFT depreminin S-69-E bileşeni ile Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni alınmıştır. Baraj temeli kütlesiz kabul edilmiştir. Her iki modelleme tipi ve deprem şiddetine göre çözüm yapılmıştır. Bu çözümler sonucunda oluşan barajın dizayn değişkenleri tablo 5.9 da ve maksimum asal gerilmeleri şekil 5.70-5.73 de verilmiştir.



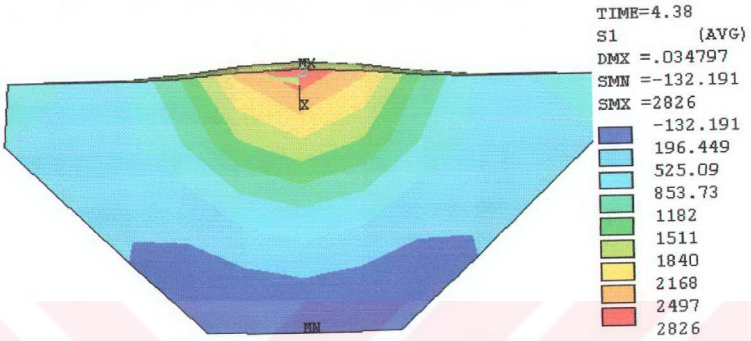
Şekil 5.67 TAFT depremi S-69-E bileşeni ivme zaman grafiği



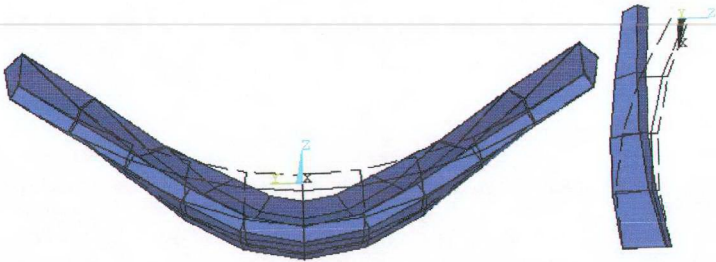
Şekil 5.68 Erzincan depreminin Doğu – Batı bileşeninin ivme zaman grafiği



Şekil 5.69 SOLID45 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



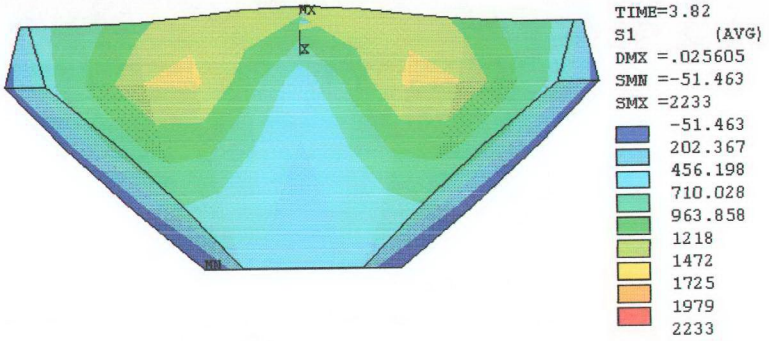
Şekil 5.70 SOLID45 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizayn minimum asal gerilmesinin memba görünümü



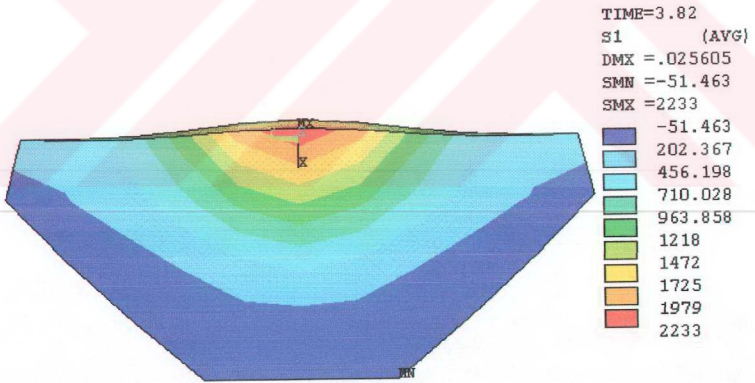
Şekil 5.71 SOLID45 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında minimum asal gerilme durumundaki optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Table 5.9. Solid45 elementli modelleme için 5 nolu barajın TAF depremi yüklenmesi altındaki optimizasyonu

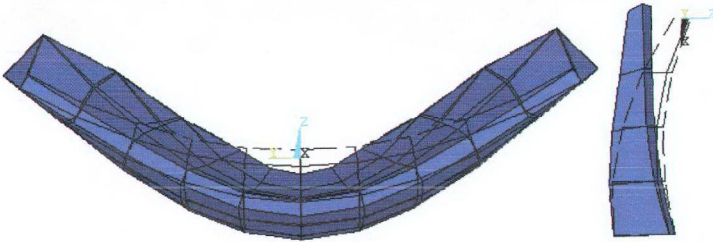
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	θ_U	θ_L	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	65	85	2686	-3160	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	65	80	2686	-3160	443236
0,2979	0,0001	0,5930	0,3381	8,15	3,867	0,152	65	80	2580	-2985	465044
0,2962	0,5974	0,5933	0,3383	8,33	3,841	0,152	65	80	2535	-2920	469035
0,2951	0,5957	0,5934	0,3384	7,88	3,232	0,151	65	80	2659	-3103	451008
0,2748	0,5650	0,5959	0,3433	8,18	0,040	0,143	65	80	2657	-3122	426292
0,2739	0,5634	0,5959	0,3435	7,74	0,040	0,142	65	80	2758	-3323	411969
0,2462	0,5218	0,5988	0,3623	8,50	0,040	0,127	65	80	2591	-3127	403599
0,2452	0,5199	0,5988	0,3623	7,72	0,040	0,126	65	80	2843	-3367	379536
0,2491	0,5238	0,5989	0,3616	7,47	0,040	0,125	65	80	2833	-3510	373089
0,2488	0,5235	0,5989	0,3616	7,52	0,040	0,125	65	80	2826	-3485	374270



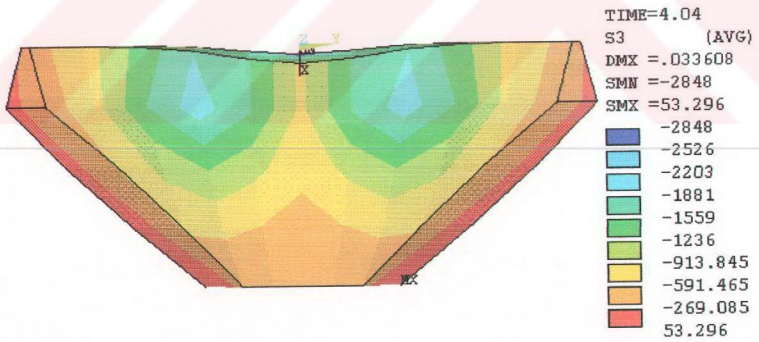
Şekil 5.72 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



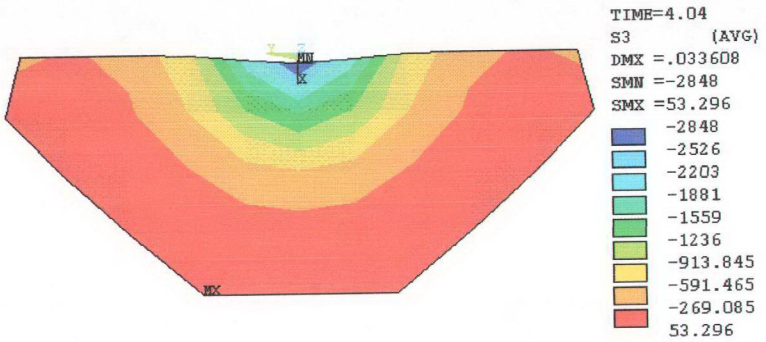
Şekil 5.73 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mcmba görünümü



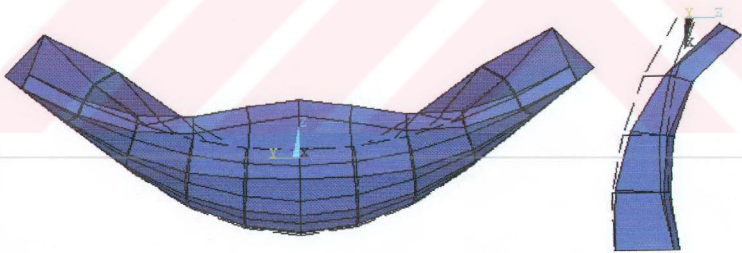
Şekil 5.74 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında minimum asal gerilme durumunda optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü



Şekil 5.75 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynı maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



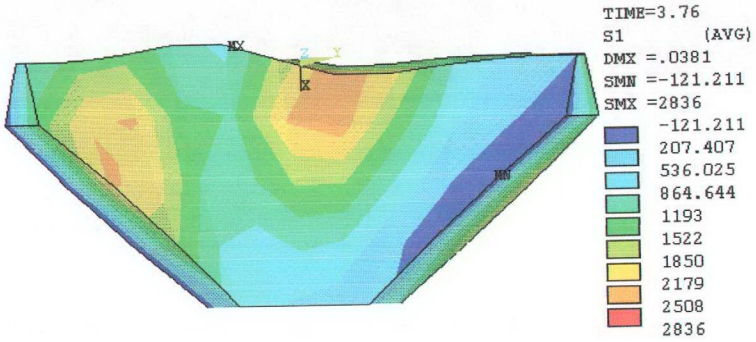
Şekil 5.76 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



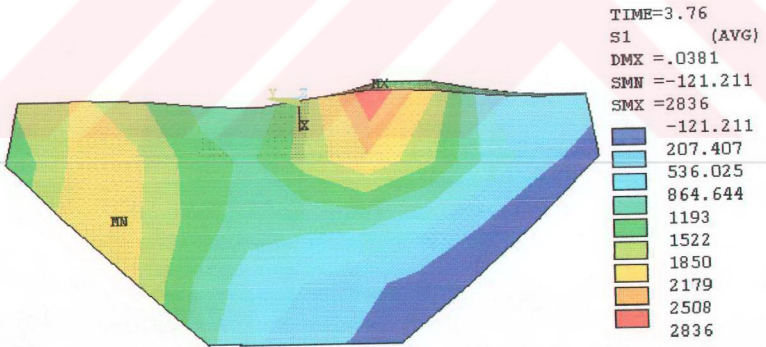
Şekil 5.77 SOLID73 elemanlı modelleme için TAFT depremi yüklenmesi altında maksimum asal gerilme durumunda optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Tablo 5.10. Solid73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın TAFT depremi yüklemesi durumunda optimizasyonu

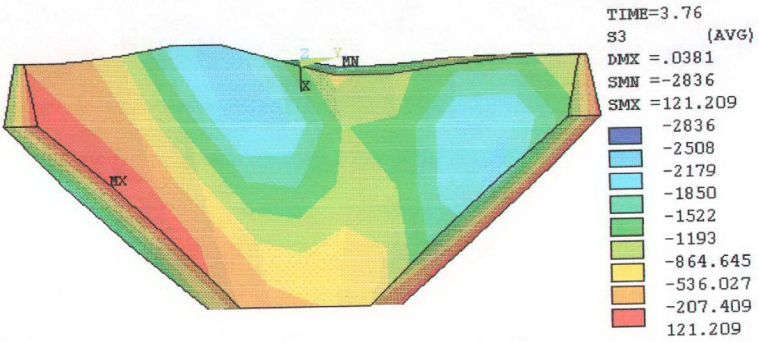
a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	θ_U	θ_L	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	2939	-3711	65	85	443236
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	2939	-3711	65	80	443238
0,2973	0,0001	0,5931	0,3379	9,44	2,531	0,154	2574	-3029	65	80	497040
0,2920	0,5918	0,5933	0,3384	10,15	0,040	0,149	2493	-2927	65	80	495710
0,2917	0,5914	0,5933	0,3384	9,58	0,040	0,147	2612	-3105	65	80	477629
0,2771	0,5734	0,5944	0,3346	9,14	0,040	0,141	2701	-3285	65	80	451219
0,2761	0,5720	0,5944	0,3344	9,02	0,040	0,140	2743	-3341	65	80	446289
0,2468	0,5324	0,5945	0,3310	9,15	0,799	0,124	2668	-3249	65	80	422080
0,2466	0,5320	0,5945	0,3309	8,55	0,040	0,123	2856	-3581	65	80	400142
0,2471	0,5326	0,5945	0,3309	8,67	0,070	0,123	2813	-3528	65	80	403817
0,2471	0,5326	0,5945	0,3309	8,67	0,040	0,123	2813	-3528	65	80	403792



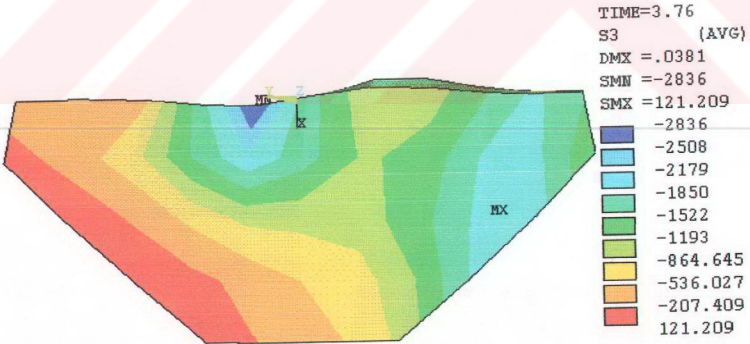
Şekil 5.78 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin mansap görünümü



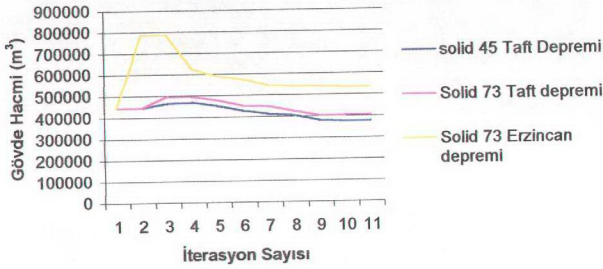
Şekil 5.79 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın minimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.80 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin mansap görünümü



Şekil 5.81 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında optimum dizaynın maksimum asal gerilmesinin memba görünümü



Şekil 5.82 5 nolu barajın dinamik yüklemeler için optimizasyon çözümlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.83 SOLID73 elemanlı modelleme için ERZİNCAN depremi yüklenmesi altında maksimum asal gerilme durumunda optimum dizaynı baraj gövdesi ve enkesiti abartılı deplasman görünümü

Tablo 5.11. Solid73 elemanlı modelleme için 5 nolu barajın Erzincan Depremi yüklemesi durumunda optimizasyonu

a_1 ($\times 10^{-2}$)	a_2 ($\times 10^{-2}$)	a_3	a_4 ($\times 10^{-2}$)	a_5	a_6 ($\times 10^{-8}$)	a_7	θ_U	θ_L	Min. Asal Gerilme (kN/m^2)	Max. Asal Gerilme (kN/m^2)	Baraj Gövdesi Toplam Hacimi (m^3)
0,2980	0,0001	0,5930	0,3380	8,07	0,000	0,152	65	85	9545	-9545	443236
0,2661	0,0001	0,5946	0,2766	15,07	24,249	0,179	65	85	2592	-2592	783905
0,2661	0,0001	0,5946	0,2766	15,07	24,249	0,179	65	80	2592	-2592	783905
0,2166	0,4901	0,5958	0,2829	11,29	20,613	0,172	65	80	2684	-2684	622015
0,2000	0,4627	0,5961	0,2866	10,47	20,082	0,171	65	80	2651	-2651	587829
0,2000	0,4516	0,5959	0,2899	10,03	19,618	0,170	65	80	2719	-2719	571789
0,2000	0,4000	0,5951	0,3069	9,23	19,638	0,170	65	80	2693	-2693	545113
0,2000	0,4000	0,5951	0,3073	9,05	19,401	0,170	65	80	2750	-2750	538989
0,2000	0,4000	0,5951	0,3076	9,03	19,401	0,170	65	80	2757	-2757	538316
0,2000	0,4000	0,5951	0,3080	8,87	19,184	0,170	65	80	2829	-2829	532639
0,2000	0,4000	0,5951	0,3083	8,85	19,182	0,170	65	80	2836	-2836	532040

6. SONUÇLAR

Sürekli yapıların analizi ve optimizasyonu hakkında literatürlerde birçok çalışma yapılmıştır. Ancak yapılan çalışmalar ya inşası yapılmış bir sistem üzerinde veya daha evvel proje düzeyinde incelenmiş olan yapılar üzerinde uygulanmıştır. Yapılan literatür taramalarında beşinci bölümde de uygulaması yapılan çok eğrilikli kemer baraj sistemlerinin dinamik yükler altında optimizasyonu üzerine fazla bir uygulama yapılmadığı görülmüştür. Bu tezde yapılan çalışmanın neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Sürekli sistemlerin dinamik yükler (deprem yükü) altındaki hesaplama zamanı, seçilen sonlu eleman sayısının oranı ile direkt ilgili olduğu ve eleman sayısı arttıkça sistemin çözüm zamanının da arttığı görülmüştür. Eleman sayısı düşük düzeyde tutulduğunda sistemin gerçeğe yakın olmaması, gerilme yığılmalarının oluştuğu, eğriliğin tam olarak ifade edilemediği için gerçek sistemin yapı hacmin bulunamaması gibi gerek geometri ve gerekse gerilmelerde hatalı sonuçlar çıkabileceği görülmüştür. Eleman sayısı artırıldığında ise sistemin çözüm süresi artmakta hatta hesaplamalar bir paket programla yapılıyorsa eleman sayısı sınırlayıcısı veya bugünkü şartlarda kullanılan bilgisayarlarda hafıza sorunu ile karşılaşmıştır. Bu çalışmadaki uygulamalar hesaplama zamanını azaltmak için, 350 MHz, 866 MHz, 1,2 GHz ve 1.7 GHz işlemcili farklı bilgisayarlar üzerinde yapılmıştır. Kemer baraj gibi şekil fonksiyonu çok sayıda değişkenle ifade edilen sürekli sistemlerin dinamik yükler altında şekil optimizasyonunda ise dinamik hesaplamalar, her optimizasyon adımı için yapıldığından hesaplama zamanı yakınsama olana kadar, optimizasyonun iterasyon sayısı kadar arttığı görülmüştür.
- 2) Sürekli yapı sistemlerinin çok karmaşık sistemler olduğu ve çeşitli bölümlerden (baraj gövdesi, temeli, sıvı modellemesi) oluştuğu için yapılan analizlerde hem görsel hemde matematiksel olarak üç boyutlu modelleme kullanılmış ve bunun faydası olarak da yapı sisteminin gerçeğe uygunluğu gözlenebilmiştir. Bunun sonucu olarak da modellemede meydana gelebilecek yapı elemanlarının birbiri ile kesişmesi ve bundan dolayı meydana gelebilecek hesaplama hataları engellenmiştir.
- 3) Optimizasyon sınırlayıcılarının belirlenmesi, sürekli yapılarda sistemin analizine önemli ölçüde etki etmektedir. Bölüm 5 de analizi yapılan, 5 nolu barajın hesaplanmasında uygulanan optimizasyon sınırlayıcıları da sistemin modellemesinde,

hesaplanmasında ve optimizasyonunda büyük zorluklar çıkarmıştır. Optimizasyon değişkenleri baraj gövde eğriliği olduğu için sistem optimizasyon işlemi esnasında sınırlayıcılarla belirlenen uzayda değişkenlerin hareket etmesi ve bunun sonucu olarak da meydana gelen kemer baraj sistemindeki elemanlarda birbirine geçmeler, gövde ile temel modellemesinin de çakışmalar görülmüştür. Örneğin a_6 değişkeni milyonda bir hassasiyetle değiştirilmek zorunda kalmıştır. Zienkiewicz ' in uygulamasında kullandığı değişken aralıkları içerisinde yapı şeklinin bir baraj sistemi dışına çıktığı görülmüştür. Sürekli yapının basit bir yapı sistemi optimizasyon probleminden ayrılacağı en büyük özelliklerden birinin, sınır şartlarının tayin edilmesi olduğu tespit edilmiştir.

4) Sürekli yapı sistemlerinin dinamik yükler altında da optimizasyonun yapılarak yapı maliyetinin azaltılabileceği, sistemde her hangi bir tasarım ve mukavemet sorunu olmayacağı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kemer baraja etki eden yüklerden birkaçı alınmıştır. Bu yüklemelerden dinamik yükleme, en önemlilerinden biri olduğundan dolayı diğer yüklemelerin de (ısı transferi etkisi, buz yükü etkisi, su da meydana gelebilecek dalgalanma etkisi gibi) optimizasyon işleminin içine katıldığında sistemin çözümünün gerçekleştirilebileceği görülmektedir.

Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda sürekli yapıların geometri ve malzeme bakımından lineer olmayan davranışları göz önüne alınarak bu sistemlerin analizlerinin uygulaması yapılabilir. Optimizasyon metodu üzerinde geliştirmeler yapılarak hesaplama zamanı daha da azaltılabilir. Kemer baraja etkiyen farklı yüklemeler göz önüne alınabilir ve baraj kemer fonksiyonu üzerinde çalışmalar yapılarak optimum fonksiyon tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

ANONYMOUS, (1968). Arch Dams, a Review of British Research and Development, Institution of Civil Engineers, London, Section 6.

KAVLİE D. ve MOE J.,(1971), Automated Desing of Frame Structures,Journal of the Structural Division,vol.97., no.st1 jan, American Society of Civil Engineers

CELEP Z.ve KUMBASAR N., (1996). Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş,Sema Matbaacılık, İstanbul.

COOK R. D., (1974). Concepts and Aplications of Finite Element Analıysis, Chapter One.

DOWLING, J. M., (1987). Nolinear Analıysis of Arch Dams, Earthquake Eng. Research Laboratory, Report No: EERL 87-03, University of California, Berkeley.

FANELLI Michel and Alberto, (1992). A Simple Analysis of Arch Dams Intern. Symposium on Arch, Nanjing,China,

KARATON M., (1998). Kemer Barajların Lineer Olmayan Dinamik Analizi, Yüksek lisans Tezi, Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ,

KIRSCH U., (1981). Optimum Structural Design, Concept, Methods, and Applications, USA.

KÖSE M. ve DUMANOĞLU A., (1998). Rezervuar-Kemer Baraj-Zemin Sistemlerinin Lineer Olmayan Üç Boyutlu Dinamik Anaizi,3. UHMK, İstanbul

POVINELLI, F. P., KLINEBERG J. M. and KARMER J. J., (1976) Improving aircraft energy efficiency, Aeronautics and Anstronautics, 14, No. 2, 18-31, 1.

SAKA M. P. ve ÜLKER M., (1991). Optimum Design of Geometrically Nonlinear Space Trusses, Computer and Structures Vol. 41, No. 6, pp. 1387-1396

SCHIMIT, L. A., (1960). Literature Review and Assessment of systematic synthesis, Proceedings of the Second ASCE Conference on Electronic Computation, pp. 105-122, 1, 4, 16, Pittsburgh, Pennsylvania.

SWANSON Analysis system Ansys 5.4

TAN, H. and CHOPRA, A., (1995). Earthquake Analysis of Arch Dams Including Dam-Water-Foundation Rock Interaction, Earthquake Eng. and Structural Dynamic, Vol. 24, 1453-1474.

TIRUPATHI R. CHANDRUPALATA, Ph. D., P. E., (1991). Introduction to Finite Elements in Engineering.

ÜLKER, M., (1988). Lineer olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Optimum Boyutlandırılması. Doktora Tezi FÜ Fen Bilimleri Enst. ELAZIĞ

WESTERGARD, H. M., (1933). Water Pressures on Dams During Earthquakes, Transactions, ASCE, 98, 1835, 418-433.

WILSON, E. L. AND KHALVALTI, M., (1983). Finite Element for the Dynamic Analysis of Fluid-Solid Systems, Int. J. Num. Methods Eng., 19, 1657-1688.

ZHU B., RAO B., JIA J. AND LI Y., (1992). Shape Optimization of Arch Dams For Static and Dynamic Loads, Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 11, 12. ASCE.

ZIENKIEWICZ, O. C., (1977). The Finite Element Method, McGraw-Hill Company, London.