



**KATLANMIŞ ÇELİK PLAĞIN ANSYS PROGRAMI İLE
GEOMETRİK BAKIMINDAN LİNEER VE LİNEER
OLMAYAN OPTİMİZASYONU**

Ahmet KARATAŞ

Yüksek Lisans Tezi

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Danışman: Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU**

Eylül-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATLANMIŞ ÇELİK PLAĞIN ANSYS PROGRAMI İLE GEOMETRİK
BAKIMINDAN LİNEER VE LİNEER OLMAYAN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Ahmet KARATAŞ

161139110

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 9 Eylül 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 18 Eylül 2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Kazım TÜRK

Doç. Dr. Yüksel ESEN

EYLÜL-2019

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmalarım sırasında bilgi, birikim ve tecrübesi ile bana yol gösteren, manevi değerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli ve değerli danışman hocam Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU'na, teşekkür ve saygılarımı sunarım. Çalışmalarım sırasında bana yol gösteren, sabrı ile beni dinleyip yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sedat SAVAŞ'a, teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Son olarak çalışmalarım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Ayşegül KARATAŞ'a ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ahmet KARATAŞ

ELAZIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

TEŞEKKÜRLER.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLOLAR LİSTESİ.....	X
SİMGELER LİSTESİ.....	XI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. KATLANMIŞ PLAKLAR.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Katlanmış Plakların Tarihi.....	4
2.3. Esas Elemanlar.....	5
2.4. Hesap Metotları.....	5
2.5. Katlanmış Plakların Boyutlandırılması.....	6
2.5.1. Katlanma Sayısı.....	8
2.5.2. Katlanma Açısı.....	8
2.5.3. Katlanmış Plak Yüksekliği.....	9
2.5.4. Katlanmış Plak Kalınlığı.....	9
2.5.5. Katlanmış Plak Genişliği.....	9
2.5.6. Malzeme Kalitesi.....	9
2.6. Katlanmış Plakların Geometrik Açınımı.....	10
2.7. İnşa Edilmiş Katlanmış Plak Örnekleri.....	11
3. KATLANMIŞ ÇELİK PLAĞIN ANSYS PROGRAMI İLE ANALİZİ.....	18
3.1. Giriş.....	18
3.1.1. Analizde Kullanılacak Malzemenin Seçilmesi.....	18
3.2. ANSYS Programı ile Analiz.....	18
3.2.1. Shell63 Elemanının Özellikleri.....	19
3.2.2. Mekanik APDL Kullanılarak Katlanmış Çelik Plağın Analizi.....	22
4. OPTİMİZASYON.....	39

4.1. Optimizasyon Nedir?.....	40
4.1.1. Bilinmeyenler ya da Değişkenler.....	41
4.1.2. Sınırlayıcılar.....	41
4.1.3. Amaç Fonksiyonu.....	41
4.2. ANSYS Programı ile Optimizasyon.....	42
4.2.1. Optimizasyon Değişkenleri.....	42
4.2.1.1. Dizayn Değişkenleri (DV).....	42
4.2.1.2. Durum Değişkenleri (SV).....	43
4.2.1.3. Amaç Fonksiyonu (OBJ).....	44
4.2.2. Optimizasyon Metotları.....	44
4.2.2.1. Alt Problem Yaklaşımı Metodu.....	44
4.2.2.2. Birinci Mertebe Metodu.....	45
4.2.2.3. Kullanıcı Tanımlı Metot.....	45
4.3. Lineer ve Lineer Olmayan Analiz ve Optimizasyon.....	45
4.3.1. Lineer Analiz ve Optimizasyon.....	46
4.3.2. Lineer Olmayan Analiz ve Optimizasyon.....	50
4.3.3. Lineer ve Lineer Olmayan Optimizasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması..	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÖZET

Bu çalışmada, katlanmış çelik plağın lineer ve geometrik bakımdan lineer olmayan optimizasyonu yapılmıştır. Katlanmış çelik plağın analizinde ANSYS paket programı kullanılmıştır. Boyutlandırma probleminin matematiksel modelinde amaç fonksiyonu olarak yapı hacmi, sınırlayıcılar olarak gerilme ve deplasmanlar göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, katlanmış plağın kullanılmasının amacı açıklanmıştır. Ayrıca katlanmış plağa neden ihtiyaç duyulduğu birkaç örnek ile açıklanmıştır.

İkinci bölümde, katlanmış plaklar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Plağın boyutlandırılmasına etki eden (plağın kalınlığı, yüksekliği, genişliği, açısı, vb.) özellikler açıklanmıştır. Daha sonra inşa edilmiş katlanmış plak örnekleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde, katlanmış çelik plağın ANSYS Parametrik Tasarım Dili (APDL) kullanılarak analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarında bulunan deplasman ve gerilme değerleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, aynı çelik plağın hem lineer hem de geometrik bakımdan lineer olmayan analizi ve optimizasyonu yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde ise yapılan tez çalışmasının sonuçları değerlendirilmiş ve algoritmanın çeşitli yapısal sistemlere uygulanabilirliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Katlanmış Çelik Plak, Optimizasyon, ANSYS, Yapısal Analiz, Lineer ve Lineer Olmayan Analiz

SUMMARY

Geometrical Linear and Nonlinear Optimization of Folded Steel Plate with ANSYS Program

In this study, linear and geometric nonlinear optimization of the folded steel plate was performed. ANSYS package program was used for the analysis of folded steel plate. In the mathematical model of the dimensioning problem, structure volume, stresses and displacements as limiters are taken into consideration as the objective function. The study consists of five chapters.

In the first section, the purpose of using the folded plate is explained. It is also illustrated by a few examples of why a folded plate is needed.

In the second section, general information about folded plates is given. Properties which influence the size of the plate (thickness, height, width, angle, etc.) of the plate are described. Then, built folded plaque samples are given.

In the third section, the folded steel plate was analyzed using ANSYS Parametric Design Language (APDL). As a result of the analysis, displacement and stress values at 901, 918, 2735, 4553, 6371 joints were examined.

In the fourth chapter, nonlinear analysis and optimization of the same steel plate both linearly and geometrically is done and the results are compared.

In the fifth chapter, the results of the thesis study were evaluated and the applicability of the algorithm to various structural systems was emphasized.

Keywords: Folded Steel Plate, Optimization, ANSYS, Structural Analysis, Linear and Nonlinear Analysis

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Elde tutulan bir kâğıdın bir kenarından düz olarak tutulması	2
Şekil 1.2.	Elde tutulan bir kâğıda yukarı doğru eğrilik verilmesi.....	2
Şekil 1.3.	Elde tutulan bir kâğıdın katlanması	2
Şekil 2.1.	Prizmatik katlanmış plak	3
Şekil 2.2.	Piramit katlanmış plak	3
Şekil 2.3.	Kesik piramit katlanmış plak	3
Şekil 2.4.	Katlanmış plakların esas elamanları.	5
Şekil 2.5.a.	Çok açıklıklı katlanmış plaklar.....	6
Şekil 2.5.b.	Çok gözlü katlanmış plaklar.....	6
Şekil 2.6.a-f.	Katlanmış plaklarda kullanılan enkesit biçimleri	7
Şekil 2.7.	Sandviç plak.	10
Şekil 2.8.	Üçgen kesitli katlanmış plak.....	10
Şekil 2.9.	Z- enkesitli katlanmış plak.	11
Şekil 2.10.	Çokgen enkesitli katlanmış plak.....	11
Şekil 2.11.	Riverside müzesi (İskoçya).	12
Şekil 2.12.	Virum spor salonu (Danimarka).	12
Şekil 2.13.	ABD hava kuvvetleri akademisi.....	13
Şekil 2.14.	Den Helder istasyonu (Hollanda).	13
Şekil 2.15.	Stuttgart uluslararası kongre ve fuar merkezi.....	14
Şekil 2.16.	ABD Florida eyaleti eski bir mağaza.	14
Şekil 2.17.	ABD Florida eyaleti mevcut mağaza.	15
Şekil 2.18.	Spor salonu ve kafeterya için katlanmış plak çatı örneği.	15
Şekil 2.19.a.	Arçelik mensası çatı inşaatının betonlamadan önceki görünümü.	16
Şekil 2.19.b.	Arçelik mensası inşaatı dış görünümü.....	16
Şekil 2.19.c.	Arçelik mensası inşaatı iç görünümü.	17
Şekil 2.20.	Milano pellegrino istasyonu.	17
Şekil 3.1.	Katlanmış çelik plağın geometrisi.	18
Şekil 3.2.	ANSYS akış şeması.....	19
Şekil 3.3.	Shell63 elemanının geometrisi.	19
Şekil 3.4.	Shell63 gerilme çıkışı.	21

Şekil 3.5.	ANSYS düğüm noktası görüntüsü	25
Şekil 3.6.	ANSYS eleman görüntüsü	26
Şekil 3.7.	ANSYS mesnet görüntüsü.....	27
Şekil 3.8.	ANSYS düzgün yayılı yük görüntüsü	27
Şekil 3.9.	ANSYS analiz sonuçları.....	28
Şekil 3.10.	Plak kalınlığı=8 mm için ANSYS analiz sonuçları.....	29
Şekil 3.11.	Plak kalınlığı=12 mm için ANSYS analiz sonuçları.....	30
Şekil 3.12.	Plak kalınlığı=16 mm için ANSYS analiz sonuçları.....	30
Şekil 3.13.	Plak kalınlığı=20 mm için ANSYS analiz sonuçları.....	31
Şekil 3.14.	Katlanma açısı=20° (0.3490658504 rad) için ANSYS analiz sonuçları....	31
Şekil 3.15.	Katlanma açısı=25° (0.436332313 rad) için ANSYS analiz sonuçları.....	32
Şekil 3.16.	Katlanma açısı=30° (0.523598776 rad) için ANSYS analiz sonuçları.....	32
Şekil 3.17.	Katlanma açısı=35° (0.6108652382 rad) için ANSYS analiz sonuçları....	33
Şekil 3.18.	Katlanma açısı=40° (0.6981317008 rad) için ANSYS analiz sonuçları....	33
Şekil 3.19.	Katlanma açısı=45° (0.7853981634 rad) için ANSYS analiz sonuçları....	34
Şekil 3.20.	Kalınlığın düşey deplasman üzerinde etkisi	35
Şekil 3.21.	Kalınlığın gerilme üzerindeki etkisi	36
Şekil 3.22.	Açının deplasman üzerinde etkisi.....	37
Şekil 3.23.	Açının gerilme üzerindeki etkisi.....	38
Şekil 4.1.	Optimizasyon eğrisi.....	40
Şekil 4.2.	Lineer analiz ve optimizasyon sonuçları	50
Şekil 4.3.	Lineer olmayan analiz ve optimizasyon sonuçları	54

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Shell63 gerçek sabitler	20
Tablo 3.2. Shell63 eleman çıktı tanımları	21
Tablo 3.3. Katlanmış çelik plağın analizi için geliştirilen algoritma	22
Tablo 3.4. Kalınlığın düşey deplasman üzerinde etkisi	34
Tablo 3.5. Kalınlığın gerilme üzerinde etkisi.....	35
Tablo 3.6. Açının düşey deplasman üzerindeki etkisi.....	36
Tablo 3.7. Açının gerilme üzerinde etkisi	38
Tablo 4.1. Lineer analiz ve optimizasyon için geliştirilen algoritma.....	47
Tablo 4.2. Lineer olmayan analiz ve optimizasyon için geliştirilen algoritma	51
Tablo 4.3. Lineer ve lineer olmayan analiz ve optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması	55

SİMGELER LİSTESİ

EX	: Malzemenin elastisite modülü
NUXY	: Malzemenin poisson oranı
T	: Plağın kalınlığı
ALF	: Plağın katlanma açısı
H	: Plağın yüksekliği
L	: Plağın uzunluğu
W	: Plağın yatay genişliği
I	: Plağın eğik genişliği
DX, DY, DZ	: Düğüm noktasının x, y ve z yönünde ötelenmesi
SQRT	: Herhangi bir sayının karekök içine alınması
N	: Düğüm noktası
NGEN	: Düğüm noktası dizisi
E	: Eleman
EGEN	: Eleman dizisi
VOL	: Plağın hacmi
f(x)	: Amaç fonksiyonu
x	: Optimizasyon değişkeni
gi(x), hi(x), ki(x)	: Sınırlayıcı fonksiyonu

KISALTMALAR LİSTESİ

ANSYS	: Mühendislik Sistemleri İçin Genel Amaçlı Paket Program
APDL	: ANSYS Parametrik Tasarım Dili
DV	: Dizayn Değişkeni
SV	: Durum Değişkeni
OBJ	: Amaç Fonksiyonu
OPFIRST	: Optimizasyon Metodu
OPT	: Optimizasyon
OPTYP	: Optimizasyon Tipi
OPVAR	: Minimum ve Maksimum Sınır Değerleri
DISP1	: 901. düğüm noktasındaki düşey deplasman
DISP2	: 918. düğüm noktasındaki düşey deplasman
DISP3	: 2735. düğüm noktasındaki düşey deplasman
DISP4	: 4553. düğüm noktasındaki düşey deplasman
DISP5	: 6371. düğüm noktasındaki düşey deplasman
STRSS1	: 901. düğüm noktasındaki gerilme
STRSS2	: 918. düğüm noktasındaki gerilme
STRSS3	: 2735. düğüm noktasındaki gerilme
STRSS4	: 4553. düğüm noktasındaki gerilme
STRSS5	: 6371. düğüm noktasındaki gerilme

1. GİRİŞ

Katlanmış plak yapılarının kullanım amacının iki önemli özelliği vardır. Bunlardan birincisi, yapıların basit kalıplarla ve az malzeme ile büyük açıklıklı alanların ekonomik olarak örtülmesidir. İkincisi ise mimarları cezbeden estetik görünüşlerinin olmasıdır [1].

Katlanmış plaklar, kalınlığı diğer boyutlarına göre küçük düzlem elemanlarla teşkil edilen uzay yüzeysel taşıyıcılardır. En basit geometrik şekilleri, en kesiti V veya tersi olan taşıyıcı yapılardır.

Katlanmış plakların çalışma şekillerinin kabuklara benzeyen bir yapısı vardır. Kalınlığı diğer elemanlara göre oldukça küçük olan bu özellik kabuklarda da benzer şekildedir ve kabuklar gibi yüzeysel taşıyıcı sistemlerdir. Katlanmış plaklar düz yüzeylerden oluştukları için kalıp giderleri kabuklara göre çok azdır. Dolayısıyla katlanmış plaklar çok az malzeme ile büyük açıklıkların ekonomik örtülmesinde kullanılır.

Katlanmış plakların analizinde plakların iki ayrı şekilde çalıştığı kabul edilir. Bunlardan birincisi, enlemsel olarak bir doğrultuda çalışan plaklar gibi ve ikincisi, boyuna doğrultuda kirişler gibi hesaplanır [1].

Katlanmış plakları kısaca Şekil 1.1-3'de ki örnekler ile açıklayabiliriz. Şekil 1.1'de ki gibi elimize bir kâğıt alıp bu kâğıdı bir kenarından düz olarak tutalım. Elimizde tuttuğumuz bu kâğıt kolay şekilde eğilir ve kendi ağırlığını bile taşıyamaz. Aynı kâğıdı Şekil 1.2'de ki gibi yukarı doğru kıvrıdığımız zaman kendi ağırlığın yanında ilave olarak belli bir miktar yük de taşıyabilir. "Bu taşıma kapasitesi kullanılan malzemeyi arttırarak değil, aynı malzemeye uygun bir şekil vererek ortaya çıkarılmıştır. Yukarı doğru eğrilik, kâğıdın rijitliğini ve yük taşıma kapasitesini arttırmıştır. Bunun nedeni, eğrilik sonucu bir kısım malzeme tarafsız eksenden uzaklaşmış ve böylece eğilme rijitliği bir kiriş gibi göz önüne alındığında büyük oranda artmıştır." [2]. Daha sonra aynı kâğıdı Şekil 1.3'te ki gibi katlanmış bir plak şeklinde katlayalım. Katlama sonucunda kâğıdın taşıyabileceği yük taşıma kapasitesi diğer şekillere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 1.1. Elde tutulan bir kâğıdın bir kenarından düz olarak tutulması



Şekil 1.2. Elde tutulan bir kâğıda yukarı doğru eğrilik verilmesi

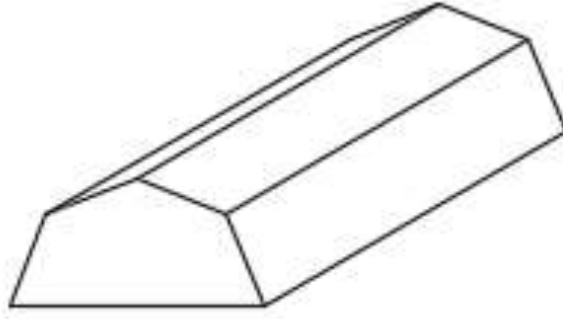


Şekil 1.3. Elde tutulan bir kâğıdın katlanması

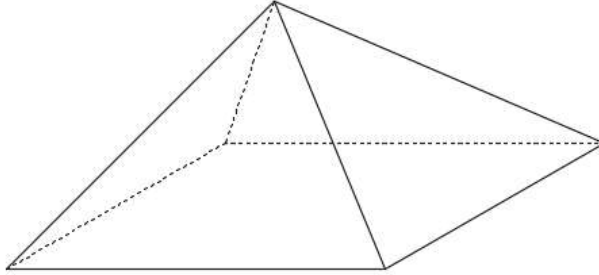
2. KATLANMIŞ PLAKLAR

2.1. Giriş

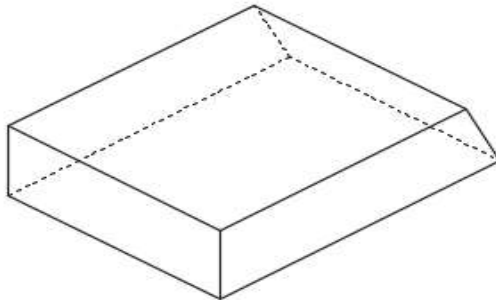
Katlanmış plaklar, kalınlığı diğer boyutlarına göre küçük düzlem elemanlarla teşkil edilen uzay yüzeysel taşıyıcılardır. Düzlem elemanlar çok çeşitli şekilde kullanılabilirler. Dikdörtgen levhalarla teşkil edilen tiplerine prizmatik katlanmış plaklar adı verilir (Şekil 2.1). Piramit ve kesik piramit tipleri ise Şekil 2.2’de ve Şekil 2.3’te gösterilmiştir [3].



Şekil 2.1. Prizmatik katlanmış plak



Şekil 2.2. Piramit katlanmış plak



Şekil 2.3. Kesik piramit katlanmış plak

Şekillerde gösterilen katlanmış plakların ana biçimlerinden başka çeşitli katlanmış plak biçimlerinden ileri kısımlarda bahsedilecektir.

Katlanmış plakların tarihi çok eski zamanlara dayanmayıp, bu tür yapılar yeni sayılırlar. Katlanmış plakların hesap metotları ilk defa 1930'lu yıllarda G. Ehlers ve H. Craemer tarafından ortaya konmuştur [3]. Fabrika, spor salonu, oditoryum gibi büyük açıklıklı hacimlerin örtülmesinde katlanmış plaklar, ekonomik ve estetik amaçlar için uygulanmıştır.

Katlanmış plaklar betonarme, çelik ve ahşaptan yapılırlar. Bunlar içerisinde en uygun olanı bütün alanı tek bir parça halinde inşa etme imkanını veren ve eğilmeye, çekmeye ve basınca karşı mukavemetli olan betonarmedir [4].

Bir katlanmış plağın kalıp masrafları, yaklaşık olarak bir yatay döşeme kalıbının masrafları kadar fiyatlandırılabilir. Ayrıca aynı açıklık için, daha az beton ve donatı kullanılarak ekonomik avantaj sağlanır. Katlanmış plaklar düz yüzeylerden oluşurken kabuklar ise katlanmış plaklara göre eğri bir yapı sistemi içindedirler. Dolayısıyla katlanmış plaklarda donatı yerleşimi ve beton dökümü, kabuklara oranla daha kolay ve zahmetsizdir [3].

Katlanmış plaklar ile kabukların çalışma şekilleri ve hesap yöntemleri birbirlerine benzerdir. Katlanmış plakların ve kabukların kalınlıkları diğer boyutlarına göre oldukça küçüktür. Katlanmış plaklar düz yüzeylerden, kabuklar ise eğri yüzeylerden oluşur. Dolayısıyla katlanmış plakların kalıp giderleri kabuklara göre çok azdır. Katlanmış plaklar çok az malzeme ile büyük alanların ekonomik örtülmesinde kullanılır [4].

2.2. Katlanmış Plakların Tarihi

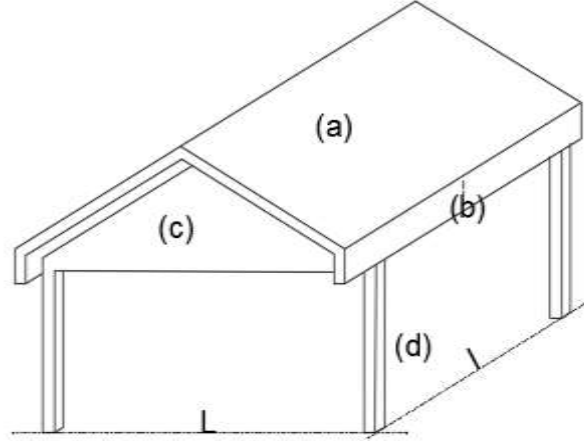
Katlanmış plakların tarihi çok eski zamanlara dayanmayıp, bu tür yapılar yeni sayılırlar. Katlanmış plakların tarihçesi aşağıda verilmiştir.

- 1930'da G. Ehlers ve H. Craemer ilk katlanmış plakların hesap yöntemini yayımladı.
- İkinci Dünya Savaşından sonra katlanmış plaklar Amerika Birleşik Devletleri'nde yüksek performans nedeniyle iyi bir yapısal sistem kabul edildi.
- 1947'de Amerika Birleşik Devletleri'ndeki katlanmış plakların tasarım yöntemi, G. Winter ve M. Pei tarafından yazıldı.
- 1954'te I. Gaafer, eklemlerin deplasmanlarını içeren ilk tasarım yöntemini yayımladı.

- 1959’da E. Traum, katlanmış plak yapısının basitleştirilmiş eğilme teorisi ile analizini tanıttı.

2.3. Esas Elemanlar

Bir katlanmış plak sistemindeki başlıca elemanlar Şekil 2.4’te ki gibidir.



Şekil 2.4. Katlanmış plakların esas elemanları [3].

Şekil 2.4’te ki;

- a) Eğik plakları,
- b) Kenar elemanları,
- c) Plakları yerinde tutan ve yükleri mesnetlere aktaran uç rijitleştiricileri (alın levhaları veya alın çerçeveleri),
- d) Sistemi mesnetlendiren kolonları

göstermektedir. Burada l , kolonlar arasında plakların boyuna doğrultusundaki uzaklığı, L ise göz genişliğini ifade etmektedir.

2.4. Hesap Metotları

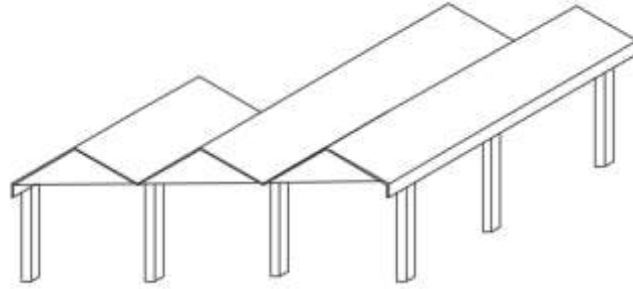
Katlanmış plaklar için çeşitli hesap yolları geliştirilmiştir. Katlanmış plakların hesap ve konstrüksiyon prensipleri ilk defa 1930’lu yıllarda G. Ehlers ve H. Craemer tarafından ortaya konmuştur. Genel olarak hesap metotları aşağıdaki gibidir.

1. Elemanter Kiriş Metodu
2. Kuvvet Metotları
3. Deplasman Metotları
4. İterasyon Metotları

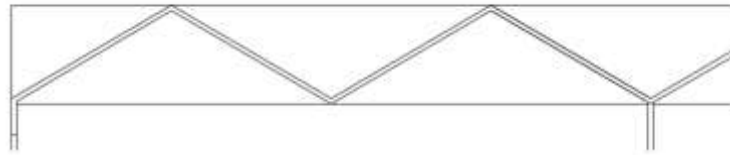
- a. Klasik İterasyon
- b. Yakınsak İterasyon

2.5. Katlanmış Plakların Boyutlandırılması

Katlanmış plaklar çeşitli yerlerde değişik şekillerde uygulanmış ve geniş yayılma alanı bulmuştur. Böyle bir sistemin tek gözlü ve tek açıklıklı olarak düzenleneceği gibi, birkaç gözün yan yana gelmesi ve çok açıklıklı olarak düzenlenmesi de mümkündür (Şekil 2.5.a-b).



Şekil 2.5.a. Çok açıklıklı katlanmış plaklar [3].



Şekil 2.5.b. Çok gözlü katlanmış plaklar [3].

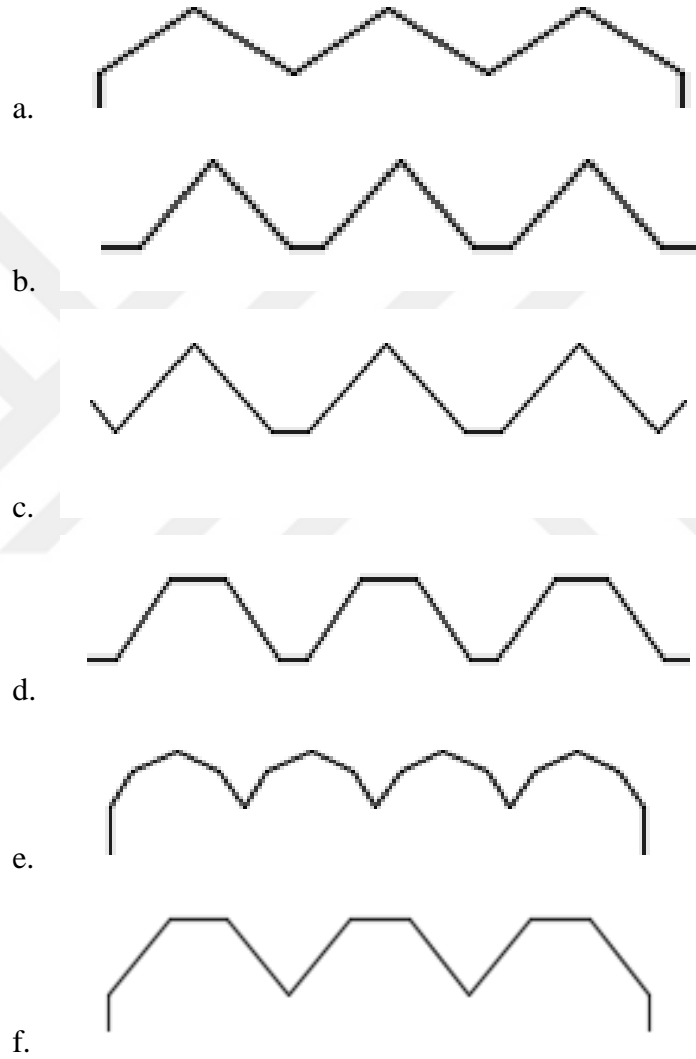
“Birkaç göz yan yana gelirse, genel olarak dış kenardakiler hariç olmak üzere kenar elemanlar yapılmayabilir. Kenar elemanlar düşey, yatay veya eğik olabilir.” [3].

Kolonlar arasında enine doğrultuda alın levhaları veya çekmeye ve basınca mukavemetli olan kirişler bulunmalıdır. Boyuna doğrultuda çok açıklıklı bir katlanmış plak sisteminde yalnız kenar kolonlarda değil, orta kolonlarda alın levhaların ya da kirişlerin konulması gereklidir. Açıklıklarda böyle bir enine bağlantıya ihtiyaç yoktur. Bunlar enine doğrultudaki momentin düzgün yayılışını bozmaktan başka işe yaramazlar.

Enine doğrultuda büyük açıklık meydana gelmesi ve aradaki kolonların kaldırılması isteniyorsa, birkaç gözü taşıyan taşıyıcının alın levhası yerine bir kiriş olarak düzenlenmesi zorunludur (Şekil 2.5.b).

“Katlanmış plaklar, ucunda bir rijitleştirici olmaksızın alın levhaları üzerinden dışarıya doğru uzatılarak konsol şeklinde de yapılabilir. Bu saçak, kiriş gibi düşünülen sistemin açıklık momentini azaltıcı olarak da yararlıdır.” [3].

Katlanmış plakların birçok kullanılan enkesit biçimleri vardır. Katlanmış plaklarda enkesit biçimleri Şekil 2.6.a-f ‘de ki gibidir.



Şekil 2.6.a-f. Katlanmış plaklarda kullanılan enkesit biçimleri

Plaklarda statik boyutlandırmayı belirleyici gerilme türü eğilmedir. Bu nedenle plağın serbest açıklığı arttıkça kalınlığı da artmalıdır. Aksi halde ise burkulma yaşanır. Burkulma, bir basınç elemanının malzemesinin teknik özelliklerine bağlı olarak

taşıyabileceği yük sınırına ulaşmadan taşıyıcılık özelliğini kaybetmesine yol açan olumsuz bir etkidir.

Katlanmış plakların boyutlandırılmasını ve taşıma gücünü etkileyen faktörler [7]:

1. Katlanma sayısı
2. Katlanma açısı
3. Katlanmış plak yüksekliği
4. Katlanmış plak kalınlığı
5. Katlanmış plak genişliği
6. Malzeme kalitesi

2.5.1. Katlanma Sayısı

Plaklarda katlanma sayısı arttıkça plağın yük taşıma kapasitesi de artacaktır. Şekil 1.1’de gösterildiği bir kenarından düz olarak tutulan bir kâğıdın kolayca eğildiği ve kendi ağırlığını bile taşıyamadığı görülmektedir. Aynı kâğıt Şekil 1.2’de ki gibi kıvrılarak, hafifçe yukarı doğru eğri bir biçim alacak olursa, kendi ağırlığına ek olarak belirli bir düzeyde yük de taşıyabildiği görülmektedir. Şekil 1.3’te gösterildiği gibi elde tutulan bir kâğıt katlanarak katlanmış bir plak halini almıştır. Katlanmış kâğıdın yük taşıma kapasitesi, diğer şekillerdeki katlanmamış kağıtların yük taşıma kapasitesine göre daha fazladır. Kâğıdın katlanma sayısı eğer daha da arttırılmış olsaydı, taşıyabileceği yük kapasitesi daha da artmış olacaktı.

Katlanma sayısının arttırılması, plak kalınlığının azaltılmasını gerekli kılar. Çünkü İki mesnet arasında yani alın doğrultusundaki katlanmış yüzeylerin sayısı arttıkça yük taşıma kapasitesi büyüyecek, ekonomik tasarım açısından plak kalınlığının azaltılmasını gerekli kılacaktır [7].

2.5.2. Katlanma Açısı

Betonarme katlanmış plaklarda plak ve perde çalışması aynı anda izlenir. Katlanmış plakların hem plak hem de perde çalışmasını uygun bir biçimde yapacağı açı, 0° ile (plak çalışmasının maksimum olduğu durum) 90° ’nin (perde çalışmasının maksimum olduğu durum) açıortayı olan 45° olacaktır. Pratikte ise bu açı daha küçük alınmaktadır. Katlanma açısı küçüldüğünde katlanmış plağın perde gibi çalışma özelliği de azalır. Bu nedenle katlanma açısı uygulamada 20° ’den az alınmaz. Plağın maksimum eğimi, beton dökümü esnasında üstte ikinci bir kalıp gerektirmeyecek duruma göre belirlenir. Yoksa

sistem ekonomik olmaktan çıkar. Açı 45° oluncaya kadar tek kalıpla beton dökülebilir fakat bu çok özel itina gerektirir. Dolayısıyla 40° 'yi aşmamak ve pratik olarak 3/4 (3 düşey, 4 yatay) eğimini (yaklaşık 37°) maksimum kabul etmek tavsiye edilir.

Bu nedenle açıda alt sınır 20° - 25° , üst sınır 40° - 45° derecedir. [7].

2.5.3. Katlanmış Plak Yüksekliği

Katlanmış plakların yük taşıma kapasitesi, yükseklikleriyle doğru orantılıdır. “Ön boyutlandırma için katlanmış plağın yüksekliği yaklaşık geçilen serbest uzun açıklığın 1/10’nu şeklinde verilmektedir.” [24].

2.5.4. Katlanmış Plak Kalınlığı

Katlanmış plak kalınlığı deprem etkili olmayan bölgelerde minimum 6 cm, deprem etkili bölgelerde ise minimum 8 cm alınmalıdır [25].

Plak kalınlığının arttırılması, plağın taşıyabileceği yük kapasitesini arttırır. Ancak plak kalınlığının çok arttırılması, plak ölü yükünün artmasına neden olacağından dolayı plak kalınlığının belli bir sınırdan tutulması gerekmektedir. Dolayısıyla katlanmış plak kalınlığının üst sınırını 20 cm de tutmak tavsiye edilir [7].

O halde ülkemiz için katlanmış plak kalınlığı:

Deprem etkili olmayan bölgelerde: 6-20 cm,

Deprem etkili bölgelerde: 8-20 cm alınabilir.

2.5.5. Katlanmış Plak Genişliği

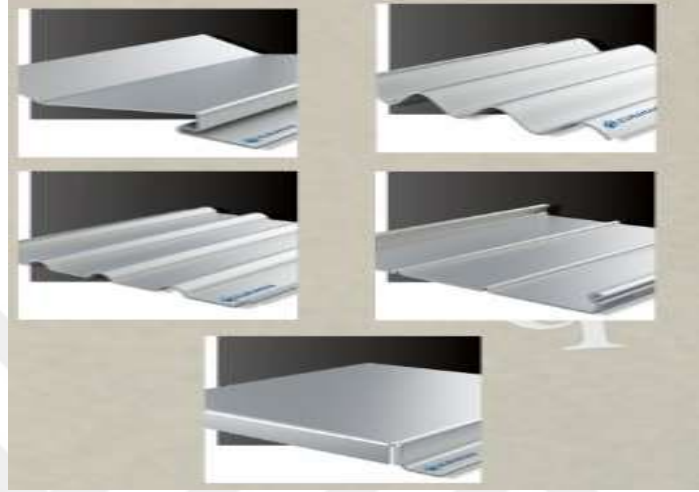
Yapı elemanlarının boyutları arasında narinlik denilen bir oran vardır. Buna burkulma boyu da denilebilir.

- Narinlik(λ): plak genişliği / plak kalınlığı
- Betonarme yapılarda narinlik (λ) <30 olmalıdır [7].

2.5.6. Malzeme Kalitesi

Katlanmış plaklar, betonarme, ahşap, metal ve plastik malzemedan yapılmış olabilir. Katlanmış plak yapıları için günümüzde en uygun malzeme betonarmedir. Betonarmenin çekmeye ve basınca mukavemetli olmasından dolayı, bu malzeme katlanmış plak yapıları için ideal bir malzeme olmaktadır. Katlanmış plaklarda

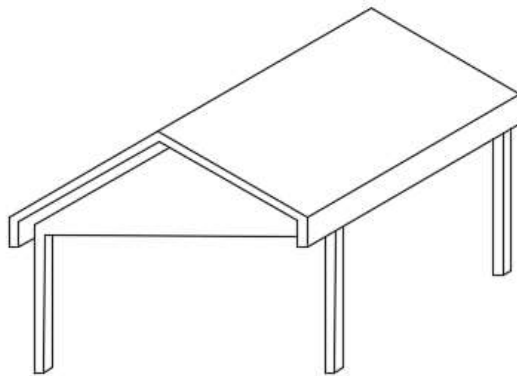
kullanılacak minimum beton kalitesi C20/25 olup bundan daha da kaliteli beton kullanılmasında yarar vardır [7]. Metal malzemede ise “sandviç plak” şeklinde bir kullanım vardır. Çelik levhalarda burkulma ve buruşma sorununu azaltmak için Şekil 2.7’de ki gibi ince saclardan oluşan sandviç plaklar kullanılabilir [6].



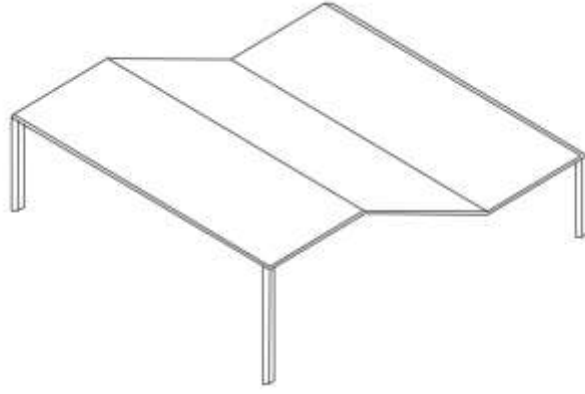
Şekil 2.7. Sandviç plak [8].

2.6. Katlanmış Plakların Geometrik Açınımı

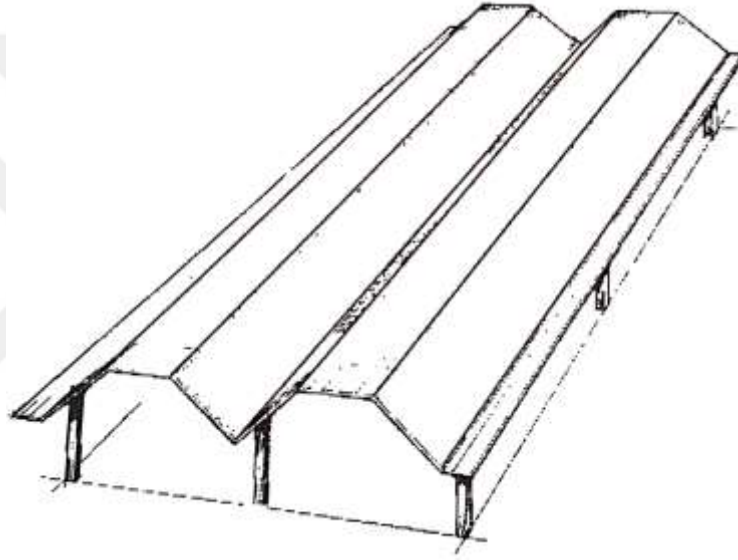
Katlanmış plaklar; geometrik şekillerine göre prizmatik, piramidal, üçgensel ve çerçeve\kemer biçiminde ayrılabilirler. Prizmatik katlanmış plakların yüzeyleri dikdörtgen şeklinde olup bu tür yapılar en sık kullanılan katlanmış plak türüdür. Bunların enkesit biçimleri farklılık gösterebilir. Enkesit bakımından üçgen, çokgen ve z şeklinde geometrileri vardır [7]. Prizmatik katlanmış plakların geometrik şekilleri Şekil 2.8-10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Üçgen kesitli katlanmış plak [7].



Şekil 2.9. Z- enkesitli katlanmış plak [7].



Şekil 2.10. Çokgen enkesitli katlanmış plak [7].

2.7. İnşa Edilmiş Katlanmış Plak Örnekleri

Katlanmış plaklar, hem ekonomik olarak büyük açıklıklı yapıların örtülmesinden hem de mimarları cezbeden estetik görünüşlerinin olmasından dolayı dünyanın birçok yerinde sıkça kullanılmaktadır. Dünyanın birçok yerinde inşa edilmiş katlanmış plak örnekleri Şekil 2.11-20’de gösterilmiştir.



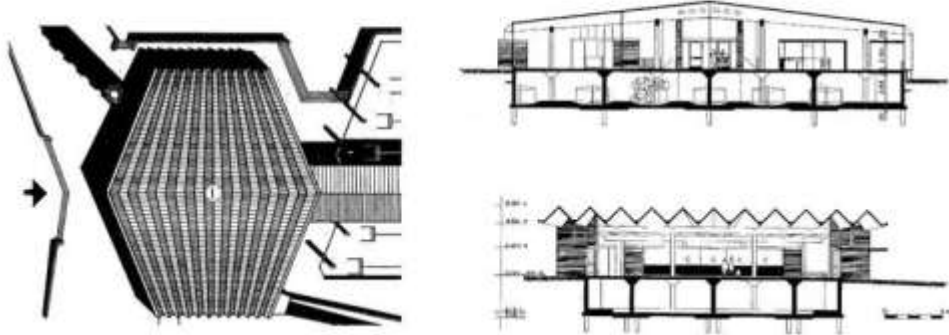
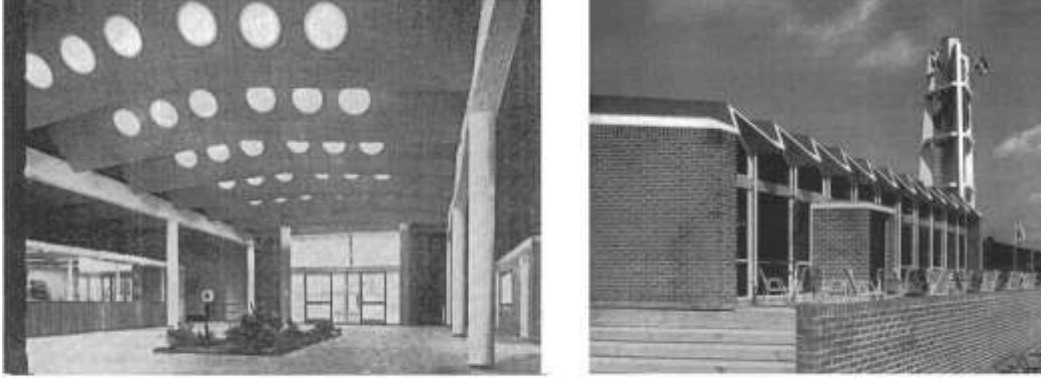
Şekil 2.11. Riverside müzesi (İskoçya) [9].



Şekil 2.12. Virum spor salonu (Danimarka) [10].



Şekil 2.13. ABD hava kuvvetleri akademisi [11].



Şekil 2.14. Den Helder istasyonu (Hollanda) [12].



Şekil 2.15. Stuttgart uluslararası kongre ve fuar merkezi [13].



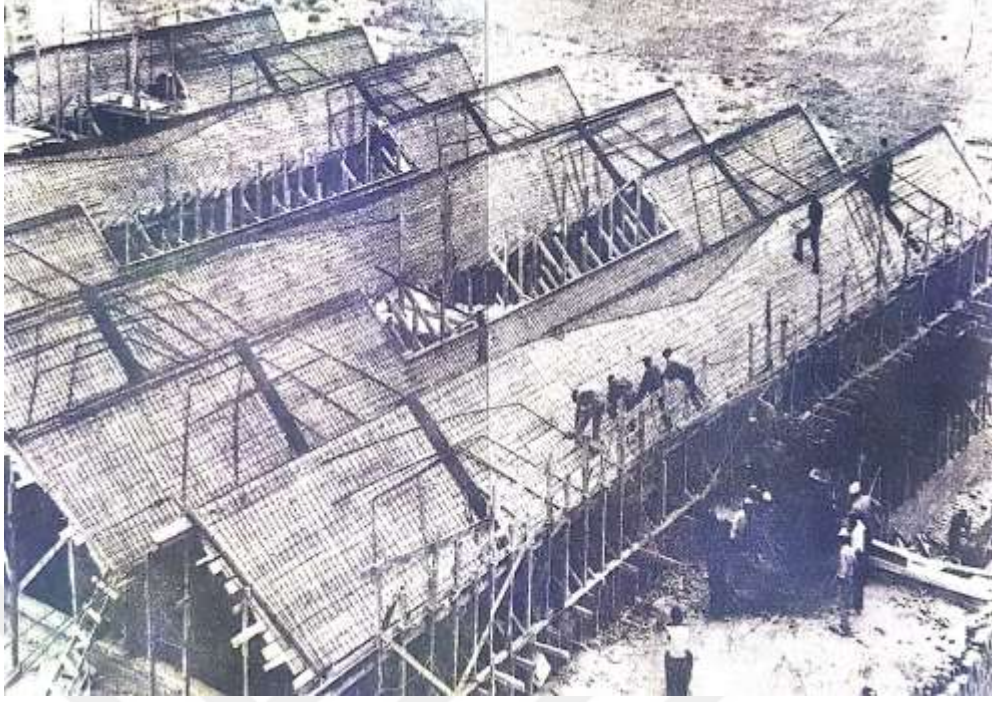
Şekil 2.16. ABD Florida eyaleti eski bir mağaza [14].



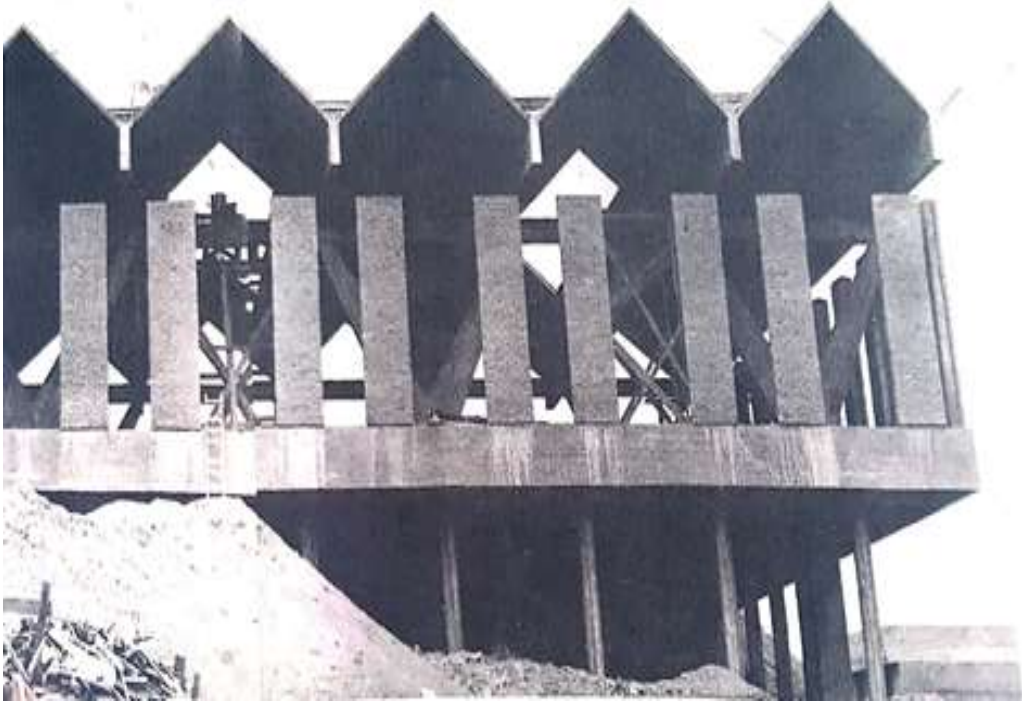
Şekil 2.17. ABD Florida eyaleti mevcut mağaza [14].



Şekil 2.18. Spor salonu ve kafeterya için katlanmış plak çatı örneği [15].



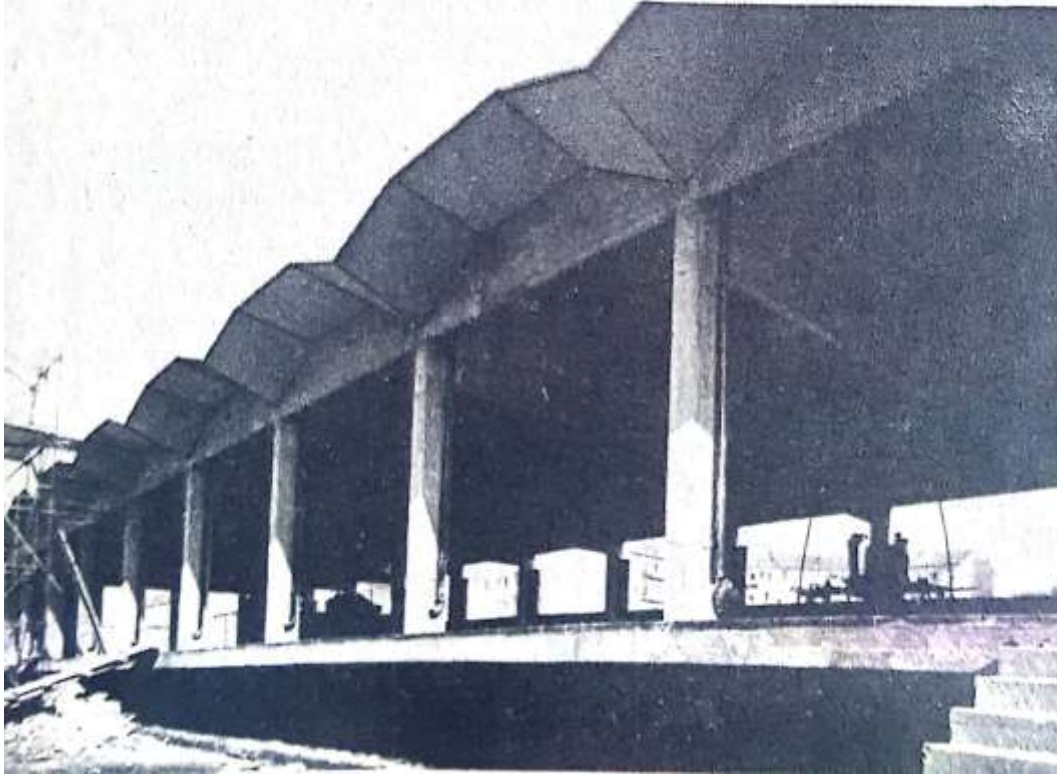
Şekil 2.19.a. Arçelik mensası çatı inşaatının betonlamadan önceki görünümü [3].



Şekil 2.19.b. Arçelik mensası inşaatı dış görünümü [3].



Şekil 2.19.c. Arçelik mensajı inşaatı iç görünümü [3].



Şekil 2.20. Milano pellegrino istasyonu [3].

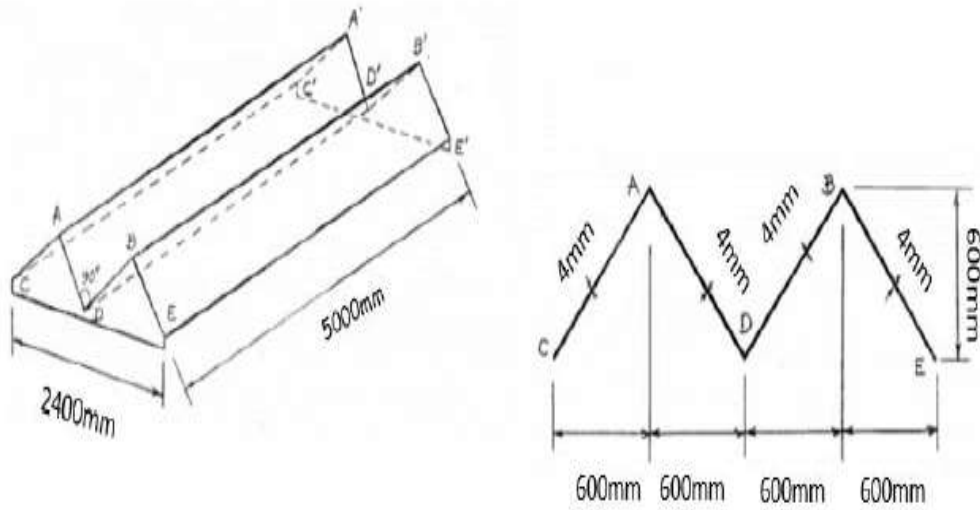
3. KATLANMIŞ ÇELİK PLAĞIN ANSYS PROGRAMI İLE ANALİZİ

3.1. Giriş

Katlanmış plaklar, belli bir açı altında birleşerek ek bir ihtiyaca duymadan yükleri taşıyabilecek birçok avantaja sahip düz yüzeylerden oluşan çok kullanışlı bir yapı sistemidir. Katlanmış plaklar, çoğunlukla çatılarda kullanılır. Bu çalışmada katlanmış çelik çatı sisteminin ANSYS programı ile analizi yapılacaktır.

3.1.1. Analizde Kullanılacak Malzemenin Seçilmesi

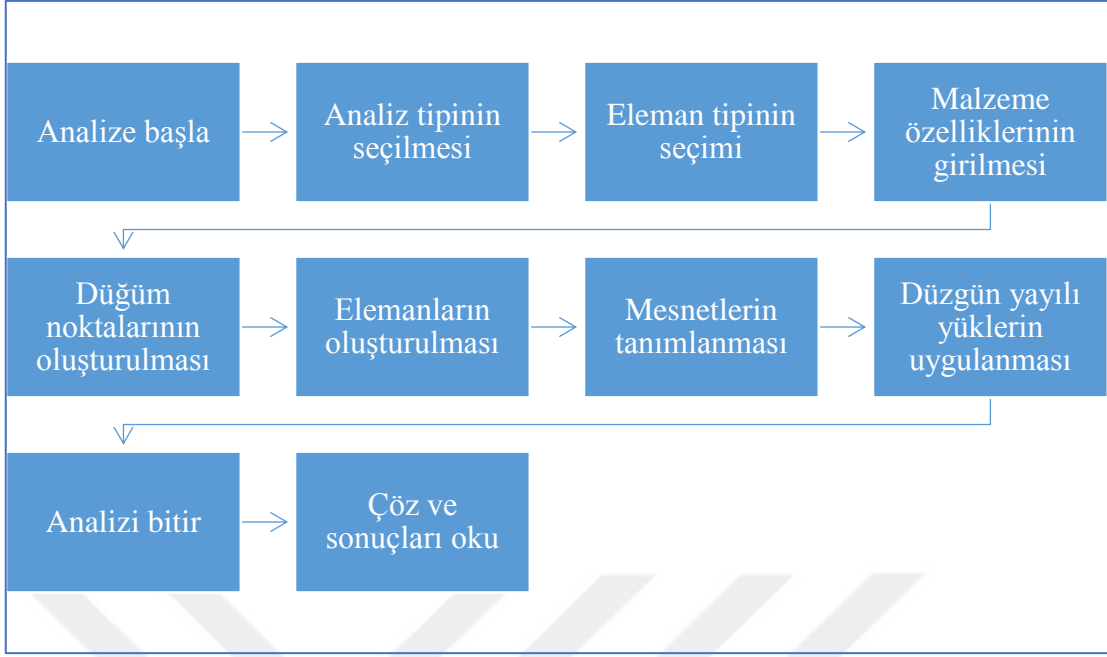
Bu tez çalışmasında, sayısal örnek olarak Şekil 3.1’de gösterilen Chulsoo Yu [38], Imad ve Feirushah [5] yaptıkları çalışma göz önüne alınmıştır. Katlanmış çelik plağın analizinde kullanılacak algoritma ANSYS paket programının parametrik dili ile oluşturulacaktır.



Şekil 3.1. Katlanmış çelik plağın geometrisi [5].

3.2. ANSYS Programı ile Analiz

Bu bölümde Şekil 3.1’de ki gibi geometrisi verilen katlanmış çelik plağın ANSYS 19.2 versiyonu kullanılarak analizi yapılacaktır. Analiz yapılırken kullanılan akış şeması Şekil 3.2’de ki gibidir.

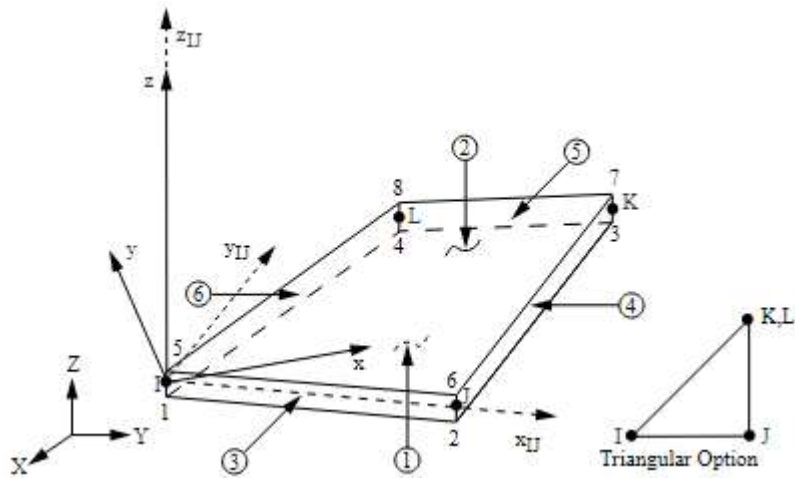


Şekil 3.2. ANSYS akış şeması

Akış semasında belirtilen eleman tipi için Shell63 parametresi kullanılacaktır.

3.2.1. Shell63 Elemanının Özellikleri

Shell63 elemanının 4 düğüm noktası vardır. Bu elemanın her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi vardır. Bunlar x, y, z yönündeki dönmeler ve ötelenmelerdir. Shell63 kabuk elemanı hem yüzeye dik hem de yüzeye paralel yüklere izin verir. Yani hem plak gibi hem de levha gibi çalışır. Shell63 elemanın geometrisi Şekil 3.3'te ki gibidir [16].



Şekil 3.3. Shell63 elemanının geometrisi [16].

Shell63 elemanının giriş özellikleri:

Düğüm noktası

I, J, K, L

Özgürlük derecesi

UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

Gerçek sabitler

TK(I), TK(J), TK(K), TK(L), EFS, THETA, RMI, CTOP, CBOY, ADMSUA

Malzeme özellikleri

EX, EY, EZ, (PRXY, PRYZ, PRXZ ya da NUXY, NUYZ, NUXZ), ALPX, ALPY, ALPZ (ya da CTEX, CTEY, CTEZ ya da THSX, THSY, THSZ), DENS, GXY, BETD, ALPD

Yüzey yükü

Basınçlar-

Yüz 1(IJKL) (alt+ Z yönünde), yüz 2 (IJKL) (üst, -Z yönünde), yüz 3 (JI), yüz 4 (KJ), yüz 5 (LK), yüz 6 (IL)

Vücut yükleri

Sıcaklıklar-

T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8

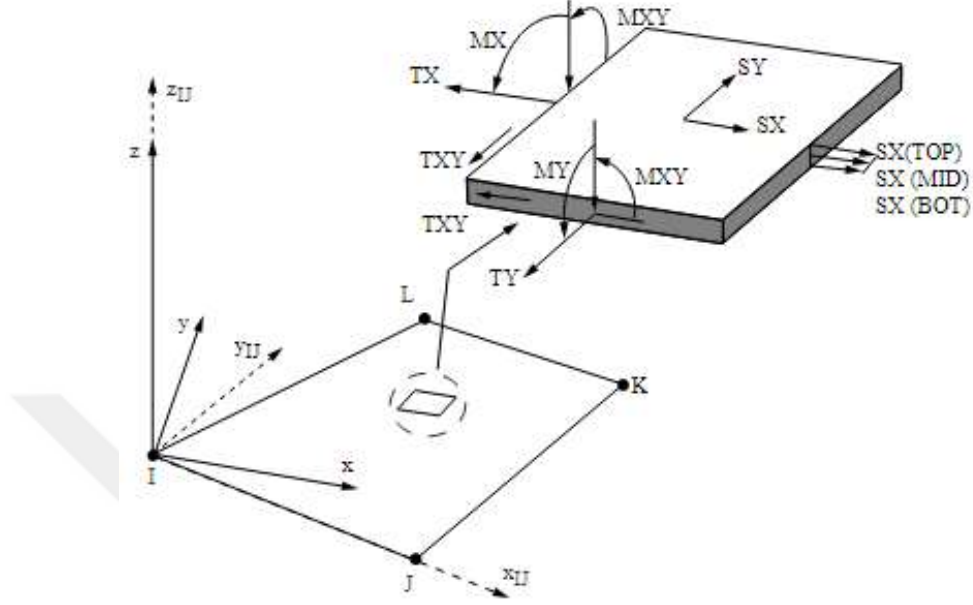
Shell63 elemanının giriş özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Shell63 gerçek sabitler

Numara	İsim	Açıklama
1	TK (I)	I düğümündeki kabuk kalınlığı
2	TK (J)	J düğümündeki kabuk kalınlığı
3	TK (K)	K düğümündeki kabuk kalınlığı
4	TK (L)	L düğümündeki kabuk kalınlığı
5	EFS	Elastik vakıf sertliği
6	THETA	X eksenini etrafında elemanın döndürülmesi
7	RMI	Eğilme atalet momenti oranı
8	CTOP	Orta yüzeyden üst kısma olan mesafe
9	CBOT	Orta yüzeyden alt kısma olan mesafe
10	ADMSUA	Eklenen kütle / birim alanı

Shell63 elemanın çıkış özellikleri:

Şekil 3.4'te kabuk elemanın gerilme çıkışı verilmiştir.



Şekil 3.4. Shell63 gerilme çıkışı [16].

Shell63 elemanın çıktı tanımları Tablo 3.2'de ki gibidir.

Tablo 3.2. Shell63 eleman çıktı tanımları

İsim	Tanım	O	R
EL	Eleman numarası	Y	Y
DÜĞÜM	Düğüm, I-J-K-L	Y	Y
MAT	Malzeme numarası	Y	Y
ALAN	Alan	Y	Y
XC, YC, ZC	Sonuçların bildirildiği yer	Y	1
PRES	Basınçlar	Y	Y
TEMP	Sıcaklıklar T1, T2, ..., T8	Y	Y
T (X, Y, XY)	Düzlem içi eleman, X, Y ve XY kuvvetleri	Y	Y
M (X, Y, XY)	Moment	Y	Y
FOUND.PRES	Temel basıncı	Y	-
LOC	Üst, orta veya alt	Y	Y
S: X, Y, Z, XY	Eğilme gerilmesi	Y	Y
S: 1, 2, 3	Asal gerilme	Y	Y
S: INT	Gerilme yoğunluğu	Y	Y
S: EQV	Eşdeğer gerilme	Y	Y
EPEL: X, Y, Z, XY	Ortalama elastik gerilme	Y	Y
EPEL: EQV	Eşdeğer elastik gerilme	-	Y
EPTH: X, Y, Z, XY	Ortalama termal gerilme	Y	Y
EPTH: EQV	Eşdeğer termal gerilme	-	Y

Burada:

O sütunu, Jobname. OUT dosyasındaki öğelerin kullanılabilirliğini gösterir. R sütunu ise sonuçlar dosyasındaki öğelerin kullanılabilirliğini gösterir.

O veya R sütununda, “Y”, öğenin her zaman kullanılabilir olduğunu, bir sayı öğenin koşullu olarak ne zaman kullanılabilir olduğunu ve “-”, öğenin mevcut olmadığını gösterir.

3.2.2. Mekanik APDL Kullanılarak Katlanmış Çelik Plağın Analizi

Bu bölümde mekanik APDL (ANSYS Parametrik Tasarım Dili) kullanılarak katlanmış çelik plağın analizi yapılacaktır. Analiz yapılırken oluşturulan algoritma Tablo 3.3’te ki gibidir.

Tablo 3.3. Katlanmış çelik plağın analizi için geliştirilen algoritma

```
/PREP7
/TITLE, PLAK ANALIZI
ANTYPE, STATIC
ET,1, SHELL63,,1
MP, EX,1,200000 ! Elastisite modülü
MP, NUXY,1,0.3 ! Poisson oranı
MAT,1
TYPE,1
T=4
R,1, T
ALF= (45*3.141592653589793238462643383279502884) /180
W=600
H=W*TAN(ALF)
L=5000
I=SQRT((H*H) +(W*W))
DX=W/17
DY=(TAN(ALF)*W) /17
DZ=L/100
N,1,0,0,0
NGEN,18,1,1,18,1, DX, DY,0
NGEN,101,18,1,101,1,0,0, DZ
```

N, 1819, W+DX, H-DY, 0
 NGEN,17,1,1819,1835,1, DX, -DY,0
 NGEN,101,18,1819,1919,1,0,0, DZ
 N, 3637 ,2*W+DX, DY, 0
 NGEN, 17, 1, 3637, 3653, 1, DX, DY, 0
 NGEN, 101,18, 3637, 3737, 1, 0, 0, DZ
 N, 5455, 3*W+DX, H-DY, 0
 NGEN, 17, 1, 5455, 5471, 1, DX, -DY, 0
 NGEN,101,18,5455,5555,1,0,0, DZ
 E,1,2,20,19
 EGEN,17,1,1,17,1
 EGEN,100,18,1,17,1
 E,18,1819,1837,36
 E,1819,1820,1838,1837
 EGEN,16,1,1702,1717,1
 EGEN,100,18,1701,1717,1
 E,1835,3637,3655,1853
 E,3637,3638,3656,3655
 EGEN,16,1,3402,3417,1
 EGEN,100,18,3401,3417,1
 E,3653,5455,5473,3671
 E,5455,5456,5474,5473
 EGEN,16,1,5102,5117,1
 EGEN,100,18,5101,5117,1
 D,1, UX,,,18,1, UY, UZ,,,
 D,18, UX,,,1819,1801, UY, UZ,,,
 D,1819, UX,,,1835,1, UY, UZ,,,
 D,1835, UX,,,3637,1802, UY, UZ,,,
 D,3637, UX,,,3653,1, UY, UZ,,,
 D,3653, UX,,,5455,1802, UY, UZ,,,
 D,5455, UX,,,5471,1, UY, UZ,,,
 D,1801, UX,,,1818,1, UY, UZ,,,
 D,1818, UX,,,3619,1801, UY, UZ,,,
 D,3619, UX,,,3635,1, UY, UZ,,,
 D,3635, UX,,,5437,1802, UY, UZ,,,
 D,5437, UX,,,5453,1, UY, UZ,,,

```
D,5453, UX,,,7255,1802, UY, UZ,,,
D,7255, UX,,,7271,1, UY, UZ,,,
F, 18, FY, -100,,1818,18
VOL=(I*L*T) *4
FINISH
/SOLU
SOLVE
FINISH
/POST1
/OUT
*GET, DISP1, NODE,901, U, Y
*GET, DISP2, NODE,918, U, Y
*GET, DISP3, NODE,2735, U, Y
*GET, DISP4, NODE,4553, U, Y
*GET, DISP5, NODE,6371, U, Y
DISP1=ABS(DISP1)
DISP2=ABS(DISP2)
DISP3=ABS(DISP3)
DISP4=ABS(DISP4)
DISP5=ABS(DISP5)
*GET, STRSS1, NODE,901, S, Z
*GET, STRSS2, NODE,918, S, Z
*GET, STRSS3, NODE,2735, S, Z
*GET, STRSS4, NODE,4553, S, Z
* GET, STRSS5, NODE,6371, S, Z
STRSS1=ABS(STRSS1)
STRSS2=ABS(STRSS2)
STRSS3=ABS(STRSS3)
STRSS4=ABS(STRSS4)
STRSS5=ABS(STRSS5)
NSEL, ALL, ALL
ESEL, ALL, ALL
LGWRITE, SIMP, LGW
FINISH
```

Katlanmış çelik plağın ANSYS programında analizinin yapılması için gerekli kodlar txt dosyasında yazılmıştır. Yazılan kodlar ANSYS programından çağırılmış ve analiz yapılmıştır. Plağın analizi sırasında uygulanmış adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Adım: Analize başla

/PREP7: ön model işlemcisi

2. Adım: Analiz tipinin seçilmesi

ANTYPE, STATIC: Statik analiz

3. Adım: Eleman tipinin seçimi

ET,1, SHELL63, 1

4. Adım: Malzeme özelliklerinin girilmesi

MP, EX, 1, 200000: Çelik malzemenin elastisite modülü

MP, NUXY, 1, 0.3: Çelik malzemenin poisson oranı

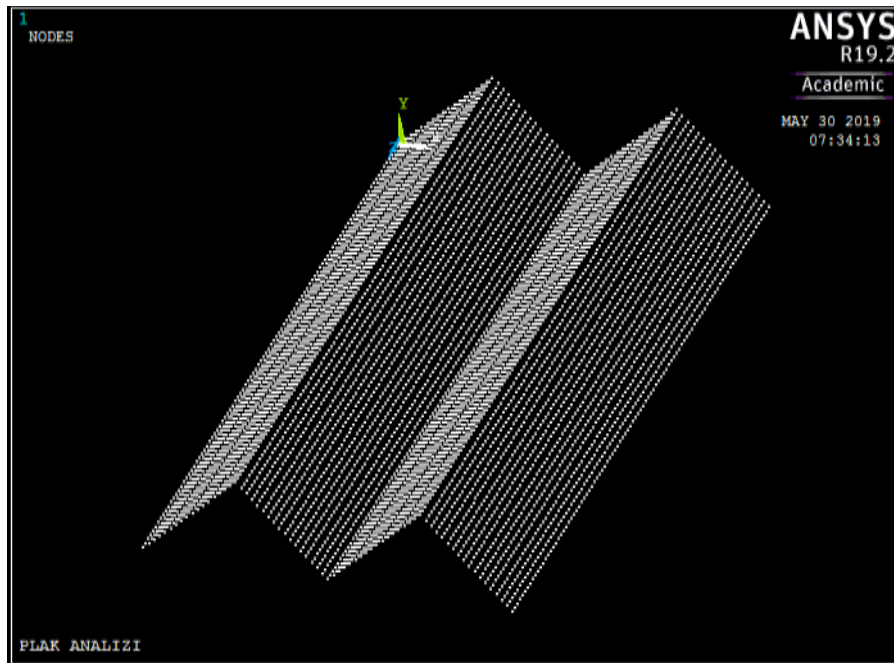
5. Adım: Düğüm noktalarının oluşturulması

N, 1, 0, 0, 0: Birinci düğüm noktasının x, y, z koordinatları

NGEN, 18, 1, 1, 18, 1, DX, DY, 0: X ve Y yönünde düğüm dizisi oluşturur.

NGEN, 101, 18, 1, 101, 1, 0, 0, DZ: Z yönünde düğüm dizisi oluşturur.

Şekil 3.5'te ANSYS 'de oluşturulan düğüm noktalarının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.5. ANSYS düğüm noktası görüntüsü

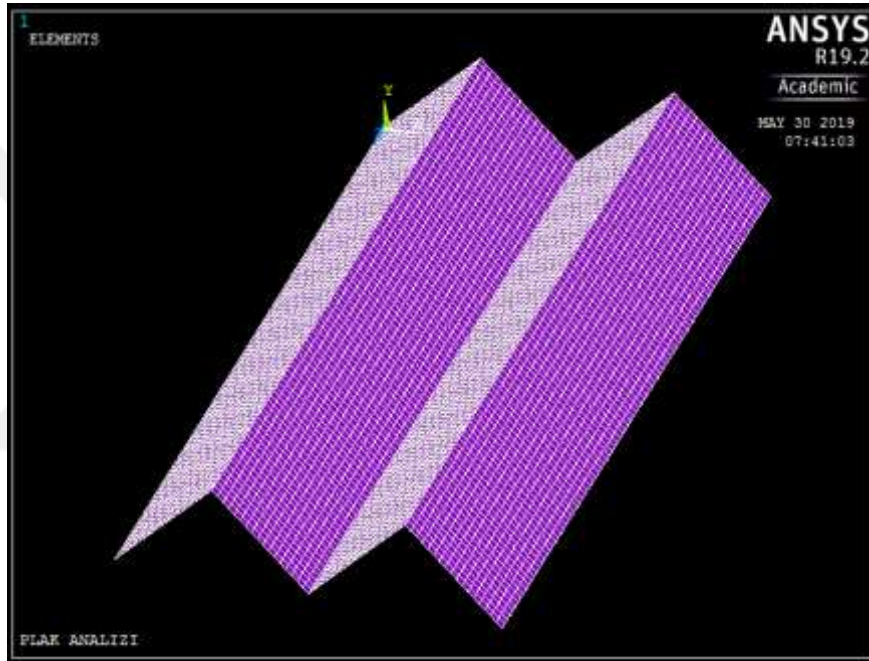
6. Adım: Elemanların oluşturulması

E, 1, 2, 20, 19: Elemanın 4 düğüm noktası

EGEN,17,1,1,17,1: İlk eleman 1, son eleman 17, düğüm sayıları arasındaki artış 1, elemanlar arasındaki artış 1 olmak üzere 17 tane eleman dizisi oluşturur.

EGEN,100,18,1,17,1: İlk eleman 1, son eleman 17, düğüm sayıları arasındaki artış 18, elemanlar arasındaki artış 1 olmak üzere 100 tane eleman dizisi oluşturur.

Verilen kodlar katlanmış plağın bütün kodları değildir. Sadece eleman oluşumu hakkında bilgi verilmek için sınırlandırılmıştır. Şekil 3.6'da ANSYS programıyla oluşturulan elemanların görüntüsü verilmiştir.



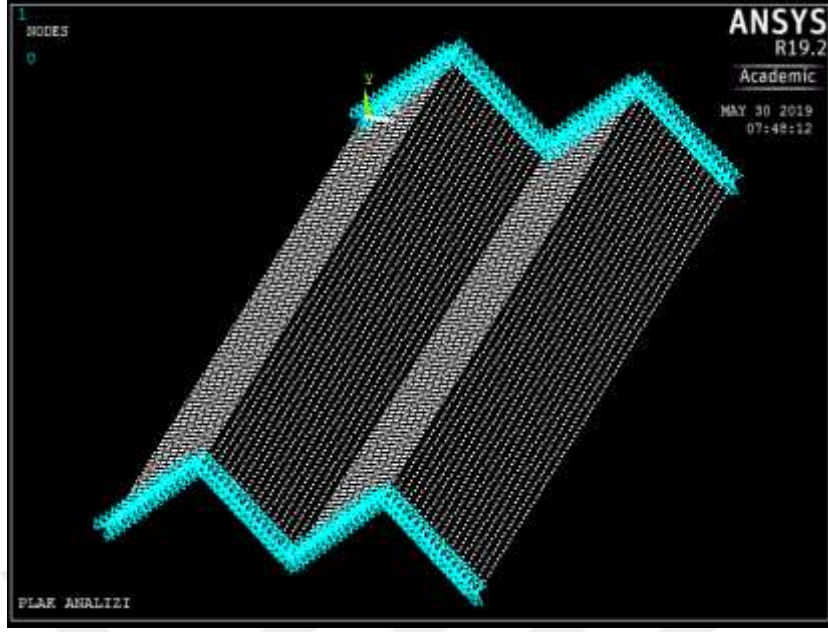
Şekil 3.6. ANSYS eleman görüntüsü

7. Adım: Mesnetlerin tanımlanması

Şekil 3.7'de $Z=0$ ve $Z=5000$ koordinatlarında bütün düğüm noktaları sabit mesnet ile mesnetlenmiştir. Yani sistem x, y ve z yönünde dönebilmekte fakat hareket edememektedir. ANSYS'de mesnetler "D" harfi ile tanımlanır. Mesnetlerin tanımlanmasını sağlayan kodların birkaç gösterimi şöyledir.

D,1, UX,,,18,1, UY, UZ,,,

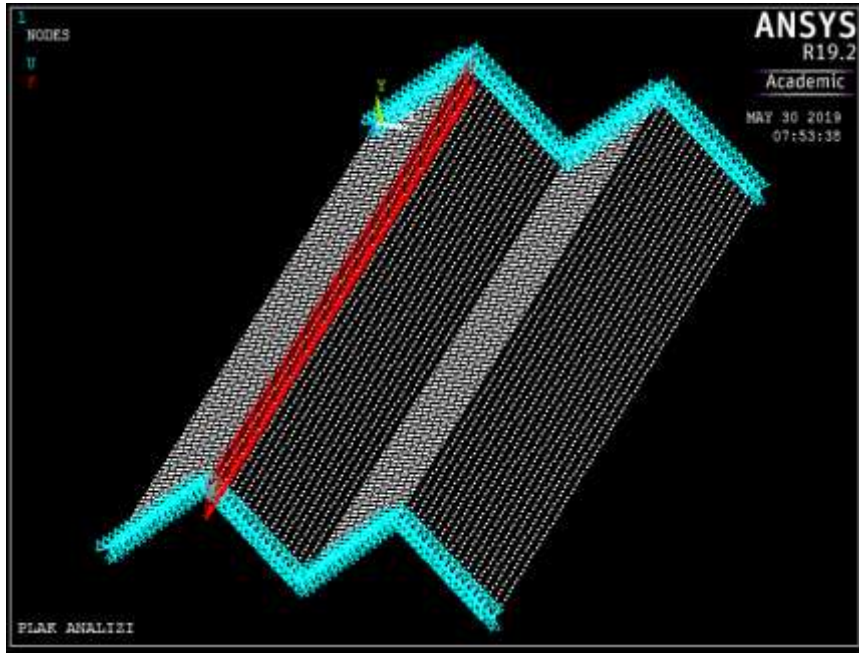
D,18, UX,,,1819,1801, UY, UZ,,,



Şekil 3.7. ANSYS mesnet görüntüsü

8. Adım: Düzgün yayılı yüklerin uygulanması

F,18, FY, -100,,1818,18: İlk düğüm noktası 18, son düğüm noktası 1818, düğüm sayıları arasındaki aritmetik artış 18, - Y yönünde 100 N düzgün yayılı yük uygulanır. Düğüm sayıları arasındaki mesafe 50 mm olduğundan mm'ye 2 N'lik yük gelecek şekilde düzgün yayılı yük etki ettirilir. Sisteme etkileyen düzgün yayılı yükün gösterimi Şekil 3.8'de ki gibidir.



Şekil 3.8. ANSYS düzgün yayılı yük görüntüsü

9. Adım: Analizi bitir

FINISH

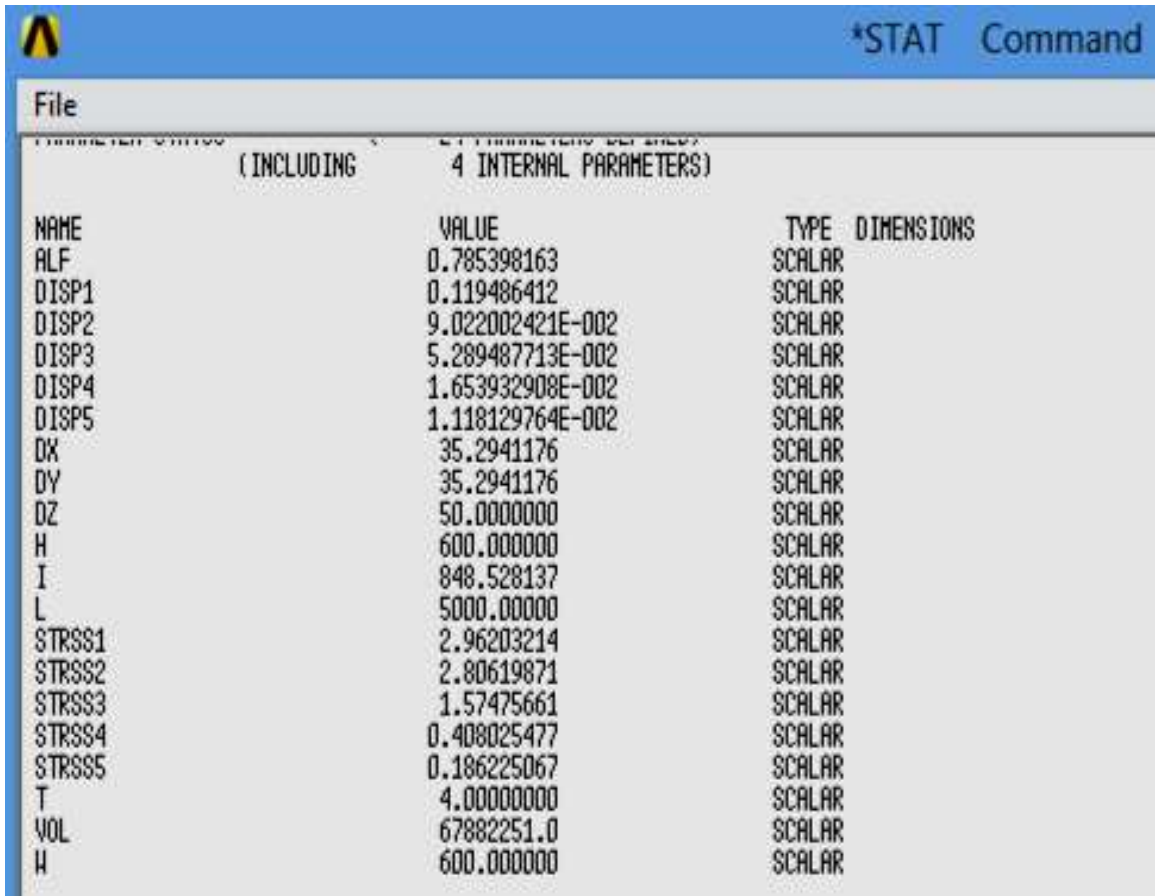
10. Adım: Çöz ve sonuçları oku

/SOLU

SOLVE

FINISH

Algoritması yazılmış katlanmış çelik plağın ANSYS paket programı ile modeli oluşturulmuş ve analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Şekil 3.9'da ki gibidir.



The screenshot shows the ANSYS *STAT Command window with a table of results for 4 internal parameters. The table has columns for NAME, VALUE, TYPE, and DIMENSIONS. The results are as follows:

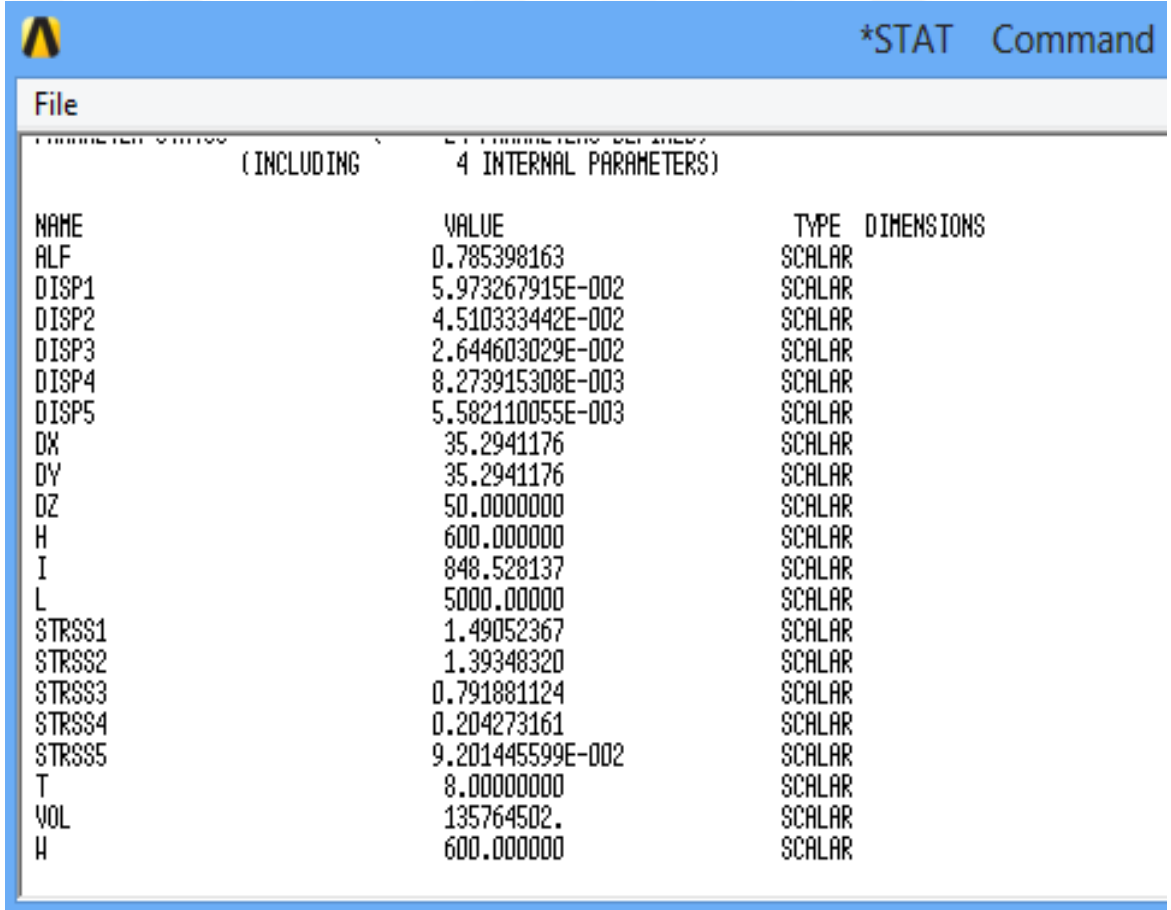
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.785398163	SCALAR	
DISP1	0.119486412	SCALAR	
DISP2	9.022002421E-002	SCALAR	
DISP3	5.289487713E-002	SCALAR	
DISP4	1.653932908E-002	SCALAR	
DISP5	1.118129764E-002	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	35.2941176	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	
I	848.528137	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	2.96203214	SCALAR	
STRSS2	2.80619871	SCALAR	
STRSS3	1.57475661	SCALAR	
STRSS4	0.408025477	SCALAR	
STRSS5	0.186225067	SCALAR	
T	4.00000000	SCALAR	
VOL	67882251.0	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	

Şekil 3.9. ANSYS analiz sonuçları

Algoritma yazılırken 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki gerilme ve deplasman değerlerine bakılmıştır. 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktaları, sistemin merkezindeki düğüm noktalarıdır. Yani Şekil 3.1'de ki gibi katlanmış çelik plağın geometrisinde ifade edilen C-C' doğrultusunun merkezi 901 numaralı düğüm noktasını, A-A' doğrultusunun merkezi 918 numaralı düğüm noktasını,

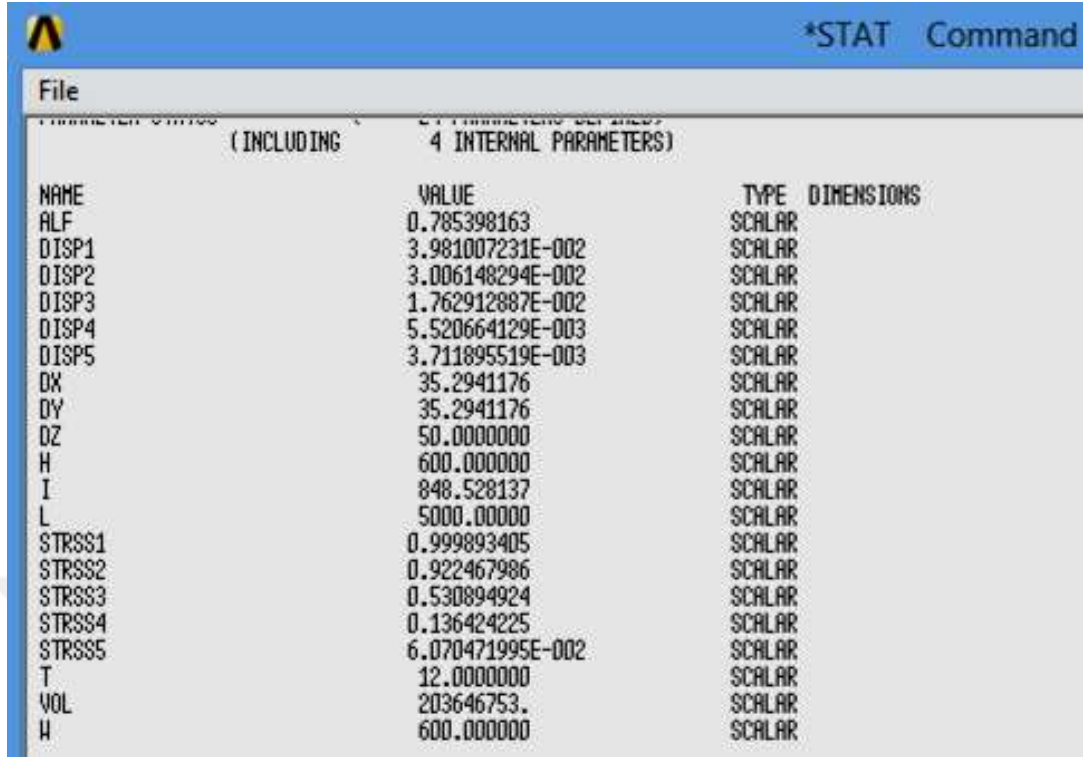
D-D' doğrultusunun merkezi 2735 numaralı düğüm noktasını, B-B' doğrultusunun merkezi 4553 numaralı düğüm noktasını, E-E' doğrultusunun merkezi 6371 numaralı düğüm noktasını ifade etmektedir.

Analiz yapılırken plağın kalınlığı 4 mm ve katlanma açısı 45° alınmıştır. Fakat algoritma yazılırken açı derece cinsinden değil de radyan cinsinden yazılmıştır. Bunun nedeni ANSYS radyan cinsinden hesaplamalar yapmaktadır. Plak kalınlığının ve katlanma açısının deplasmanlar ve gerilmeler üzerinde ne gibi bir değişiklik meydana getireceğini belirlemek için geliştirilen algoritmadaki plağın kalınlığının ve katlanma açısının değerleri değiştirilmiş ve değiştirilen her bir değer için tekrar analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları Şekil 3.10-19'da ki gibidir.



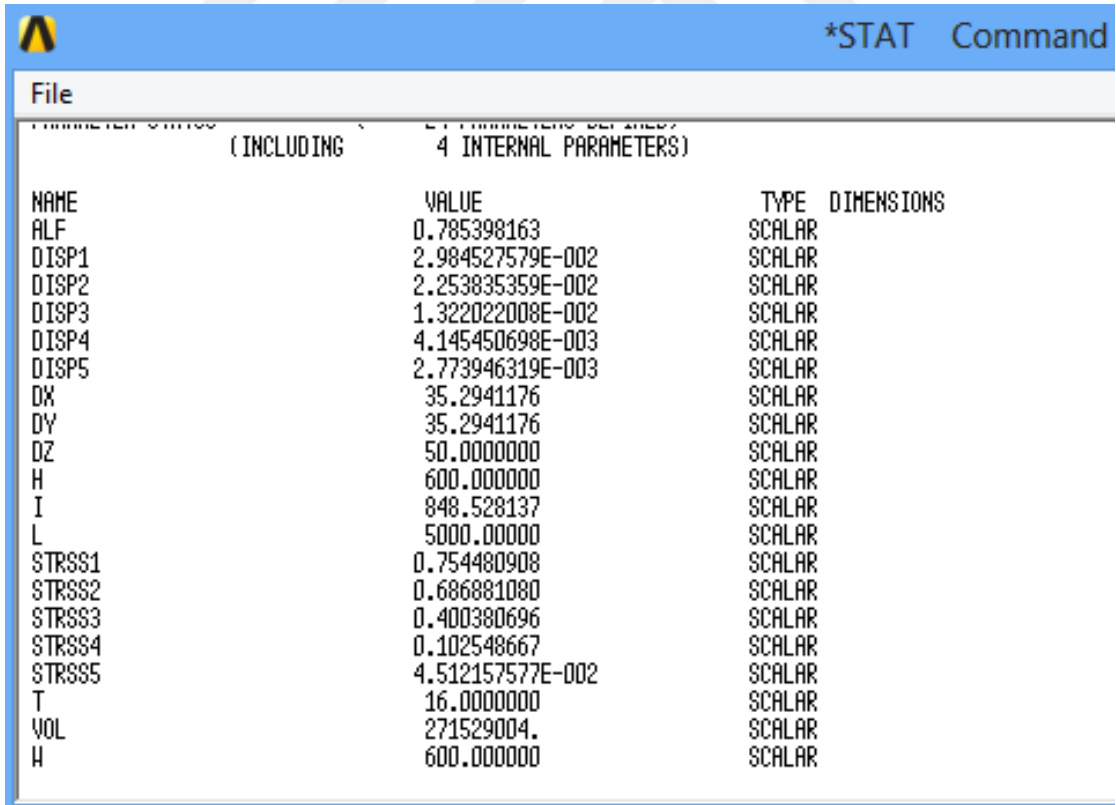
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.785398163	SCALAR	
DISP1	5.973267915E-002	SCALAR	
DISP2	4.510333442E-002	SCALAR	
DISP3	2.644603029E-002	SCALAR	
DISP4	8.273915308E-003	SCALAR	
DISP5	5.582110055E-003	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	35.2941176	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	
I	848.528137	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	1.49052367	SCALAR	
STRSS2	1.39348320	SCALAR	
STRSS3	0.791881124	SCALAR	
STRSS4	0.204273161	SCALAR	
STRSS5	9.201445599E-002	SCALAR	
T	8.00000000	SCALAR	
VOL	135764502.	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	

Şekil 3.10. Plak kalınlığı=8 mm için ANSYS analiz sonuçları



NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.785398163	SCALAR	
DISP1	3.981007231E-002	SCALAR	
DISP2	3.006148294E-002	SCALAR	
DISP3	1.762912887E-002	SCALAR	
DISP4	5.520664129E-003	SCALAR	
DISP5	3.711895519E-003	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	35.2941176	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	
I	848.528137	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	0.999893405	SCALAR	
STRSS2	0.922467986	SCALAR	
STRSS3	0.530894924	SCALAR	
STRSS4	0.136424225	SCALAR	
STRSS5	6.070471995E-002	SCALAR	
T	12.0000000	SCALAR	
VOL	203646753.	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	

Şekil 3.11. Plak kalınlığı=12 mm için ANSYS analiz sonuçları



NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.785398163	SCALAR	
DISP1	2.984527579E-002	SCALAR	
DISP2	2.253835359E-002	SCALAR	
DISP3	1.322022008E-002	SCALAR	
DISP4	4.145450698E-003	SCALAR	
DISP5	2.773946319E-003	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	35.2941176	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	
I	848.528137	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	0.754480908	SCALAR	
STRSS2	0.686881080	SCALAR	
STRSS3	0.400380696	SCALAR	
STRSS4	0.102548667	SCALAR	
STRSS5	4.512157577E-002	SCALAR	
T	16.0000000	SCALAR	
VOL	271529004.	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	

Şekil 3.12. Plak kalınlığı=16 mm için ANSYS analiz sonuçları

*STAT Command			
File			
PARAMETER VALUES		4 INTERNAL PARAMETERS	
(INCLUDING			
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.785398163	SCALAR	
DISP1	2.386362170E-002	SCALAR	
DISP2	1.802272550E-002	SCALAR	
DISP3	1.057451398E-002	SCALAR	
DISP4	3.321448431E-003	SCALAR	
DISP5	2.208916110E-003	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	35.2941176	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	
I	848.528137	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	0.607154196	SCALAR	
STRSS2	0.545467646	SCALAR	
STRSS3	0.322055008	SCALAR	
STRSS4	8.226095337E-002	SCALAR	
STRSS5	3.583007002E-002	SCALAR	
T	20.0000000	SCALAR	
VOL	339411255.	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	

Şekil 3.13. Plak kalınlığı=20 mm için ANSYS analiz sonuçları

*STAT Command			
File			
PARAMETER VALUES		4 INTERNAL PARAMETERS	
(INCLUDING			
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.349065850	SCALAR	
DISP1	1.06159597	SCALAR	
DISP2	0.783153201	SCALAR	
DISP3	0.474053913	SCALAR	
DISP4	0.168102818	SCALAR	
DISP5	8.604372321E-002	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	12.8460083	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	218.382141	SCALAR	
I	638.506663	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	10.8074988	SCALAR	
STRSS2	9.78391195	SCALAR	
STRSS3	5.77538693	SCALAR	
STRSS4	1.52173995	SCALAR	
STRSS5	0.731056922	SCALAR	
T	4.0000000	SCALAR	
VOL	51080533.1	SCALAR	
H	600.0000000	SCALAR	

Şekil 3.14. Katlanma açısı=20° (0.3490658504 rad) için ANSYS analiz sonuçları

*STAT Command				
File				
PARAMETER STATUS		BY PARAMETER DEFINED?		
(INCLUDING		4 INTERNAL PARAMETERS)		
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS	
ALF	0.436332313	SCALAR		
DISP1	0.631790908	SCALAR		
DISP2	0.467194042	SCALAR		
DISP3	0.281845542	SCALAR		
DISP4	9.862365863E-002	SCALAR		
DISP5	5.225751284E-002	SCALAR		
DX	35.2941176	SCALAR		
DY	16.4579173	SCALAR		
DZ	50.0000000	SCALAR		
H	279.784595	SCALAR		
I	662.026751	SCALAR		
L	5000.00000	SCALAR		
STRSS1	8.10870951	SCALAR		
STRSS2	7.42689601	SCALAR		
STRSS3	4.33111709	SCALAR		
STRSS4	1.14569478	SCALAR		
STRSS5	0.546372855	SCALAR		
T	4.00000000	SCALAR		
VOL	52962140.1	SCALAR		
H	600.000000	SCALAR		

Şekil 3.15. Katlanma açısı=25° (0.436332313 rad) için ANSYS analiz sonuçları

*STAT Command				
File				
PARAMETER STATUS		BY PARAMETER DEFINED?		
(INCLUDING		4 INTERNAL PARAMETERS)		
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS	
ALF	0.523598776	SCALAR		
DISP1	0.400567811	SCALAR		
DISP2	0.297158327	SCALAR		
DISP3	0.178466082	SCALAR		
DISP4	6.135983741E-002	SCALAR		
DISP5	3.395302007E-002	SCALAR		
DX	35.2941176	SCALAR		
DY	20.3770683	SCALAR		
DZ	50.0000000	SCALAR		
H	346.410162	SCALAR		
I	692.820323	SCALAR		
L	5000.00000	SCALAR		
STRSS1	6.24942448	SCALAR		
STRSS2	5.77651063	SCALAR		
STRSS3	3.33574469	SCALAR		
STRSS4	0.882618926	SCALAR		
STRSS5	0.417652011	SCALAR		
T	4.00000000	SCALAR		
VOL	55425625.8	SCALAR		
H	600.000000	SCALAR		

Şekil 3.16. Katlanma açısı=30° (0.523598776 rad) için ANSYS analiz sonuçları

*STAT Command			
File			
PARAMETER STATUS (INCLUDING 4 INTERNAL PARAMETERS)			
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.610865238	SCALAR	
DISP1	0.263451486	SCALAR	
DISP2	0.196269509	SCALAR	
DISP3	0.117180448	SCALAR	
DISP4	3.936406039E-002	SCALAR	
DISP5	2.298774914E-002	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	24.7132072	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	420.124523	SCALAR	
I	732.464753	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	4.87488682	SCALAR	
STRSS2	4.54260658	SCALAR	
STRSS3	2.59962784	SCALAR	
STRSS4	0.685761336	SCALAR	
STRSS5	0.321542572	SCALAR	
T	4.00000000	SCALAR	
VOL	58597180.3	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	

Şekil 3.17. Katlanma açısı=35° (0.6108652382 rad) için ANSYS analiz sonuçları

*STAT Command			
File			
PARAMETER STATUS (INCLUDING 4 INTERNAL PARAMETERS)			
NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.698131701	SCALAR	
DISP1	0.176735627	SCALAR	
DISP2	0.132414979	SCALAR	
DISP3	7.844290014E-002	SCALAR	
DISP4	2.555393825E-002	SCALAR	
DISP5	1.594388379E-002	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	29.6152811	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	503.459779	SCALAR	
I	783.244374	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	3.81077276	SCALAR	
STRSS2	3.57940263	SCALAR	
STRSS3	2.02957131	SCALAR	
STRSS4	0.531833751	SCALAR	
STRSS5	0.246505796	SCALAR	
T	4.00000000	SCALAR	
VOL	62659549.9	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	

Şekil 3.18. Katlanma açısı=40° (0.6981317008 rad) için ANSYS analiz sonuçları

NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.785398163	SCALAR	
DISP1	0.119486412	SCALAR	
DISP2	9.022002421E-002	SCALAR	
DISP3	5.289487713E-002	SCALAR	
DISP4	1.653932908E-002	SCALAR	
DISP5	1.118129764E-002	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	35.2941176	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	
I	848.528137	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	2.96203214	SCALAR	
STRSS2	2.80619871	SCALAR	
STRSS3	1.57475661	SCALAR	
STRSS4	0.408025477	SCALAR	
STRSS5	0.186225067	SCALAR	
T	4.00000000	SCALAR	
VOL	67882251.0	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	

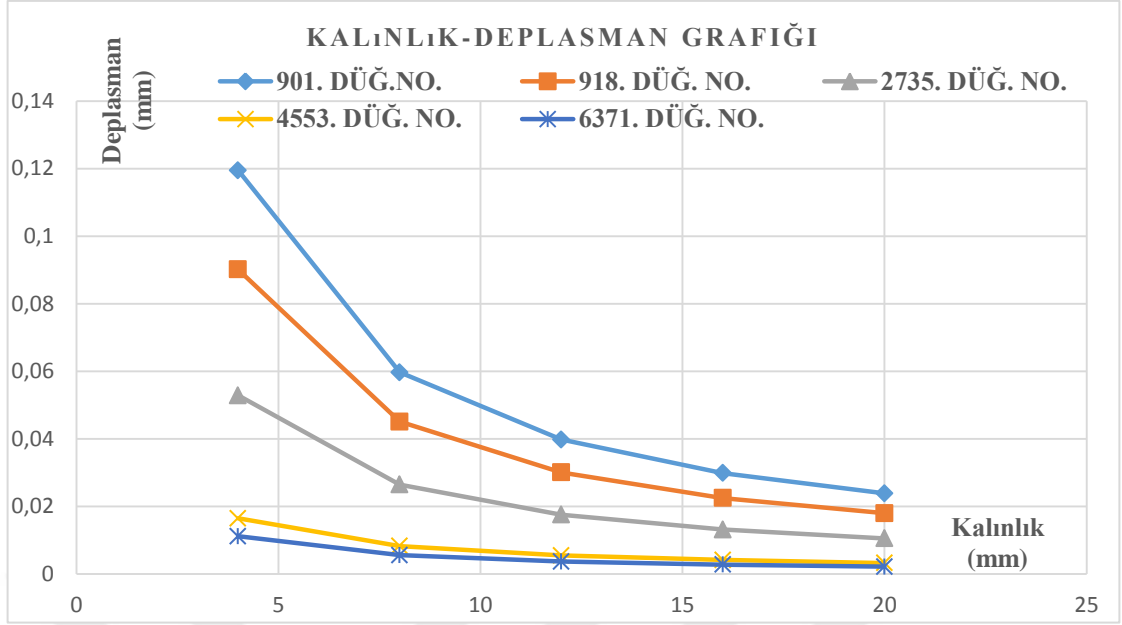
Şekil 3.19. Katlanma açısı=45° (0.7853981634 rad) için ANSYS analiz sonuçları

Kalınlığın düşey deplasman üzerindeki etkisini görebilmek için Tablo 3.4 oluşturulmuştur.

Tablo 3.4. Kalınlığın düşey deplasman üzerinde etkisi

Kalınlık (T) (mm)	Düğüm Noktası (mm)				
	901	918	2735	4553	6371
4	0,1195	0,0902	0,0529	0,0165	0,0112
8	0,0597	0,0451	0,0265	0,0083	0,0056
12	0,0398	0,0301	0,0176	0,0055	0,0037
16	0,0299	0,0225	0,0132	0,0042	0,0028
20	0,0239	0,0180	0,0106	0,0033	0,0022

Tablo 3.4'te ki değerler yardımıyla Şekil 3.20'de ki kalınlık- deplasman grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.20. Kalınlığın düşey deplasman üzerindeki etkisi

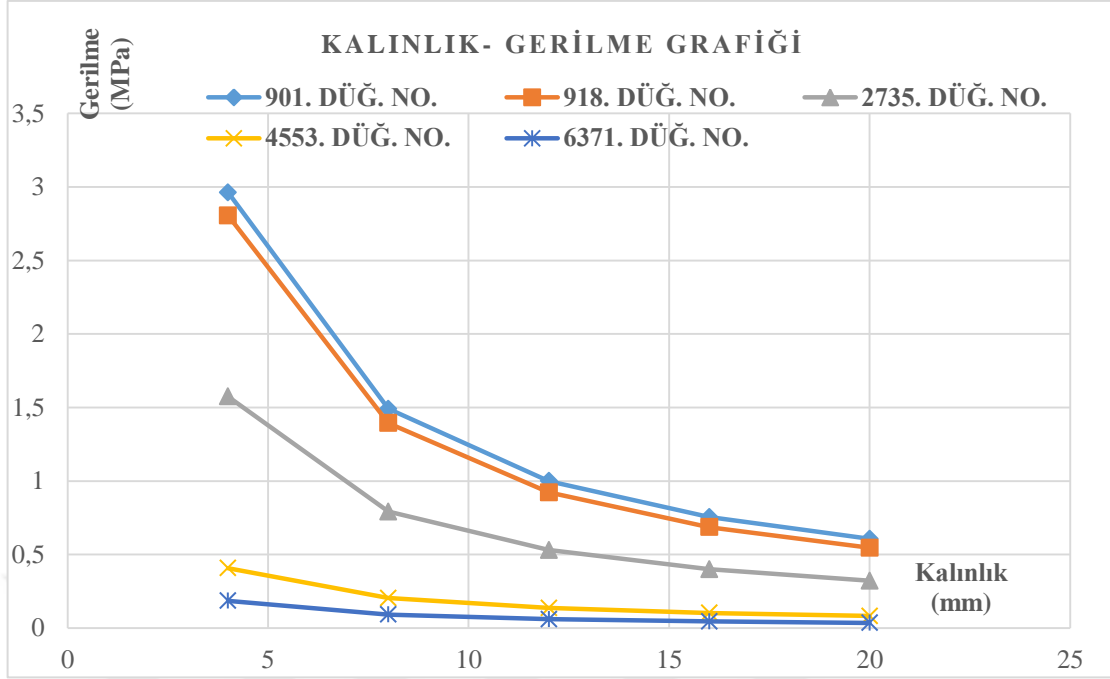
Şekil 3.20’de ki grafik, katlanmış plak kalınlığının 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki düşey deplasmanlar üzerindeki etkisine karşı çizilen grafiğidir. Kalınlık arttıkça düğüm noktalarındaki düşey deplasmanlar (Y yönündeki) azalmakta, kalınlık azaldıkça düğüm noktalarındaki düşey deplasmanlar artmaktadır. Kalınlığın artmasıyla yapının rijitliği artmış dolayısıyla yapılan deplasmanlar azalmıştır.

Kalınlığın gerilme üzerindeki etkisini görebilmek için Tablo 3.5 oluşturulmuştur.

Tablo 3.5. Kalınlığın gerilme üzerindeki etkisi

Kalınlık (T) (mm)	Düğüm Noktası (MPa)				
	901	918	2735	4553	6371
4	2,9620	2,8062	1,5748	0,4080	0,1862
8	1,4905	1,3935	0,7919	0,2043	0,0920
12	0,9999	0,9225	0,5309	0,1364	0,0607
16	0,7545	0,6869	0,4004	0,1025	0,0451
20	0,6072	0,5455	0,3221	0,0823	0,0358

Tabloda 3.5’te ki değerler yardımıyla Şekil 3.21’de ki kalınlık- gerilme grafiğidir çizilmiştir.



Şekil 3.21. Kalınlığın gerilme üzerindeki etkisi

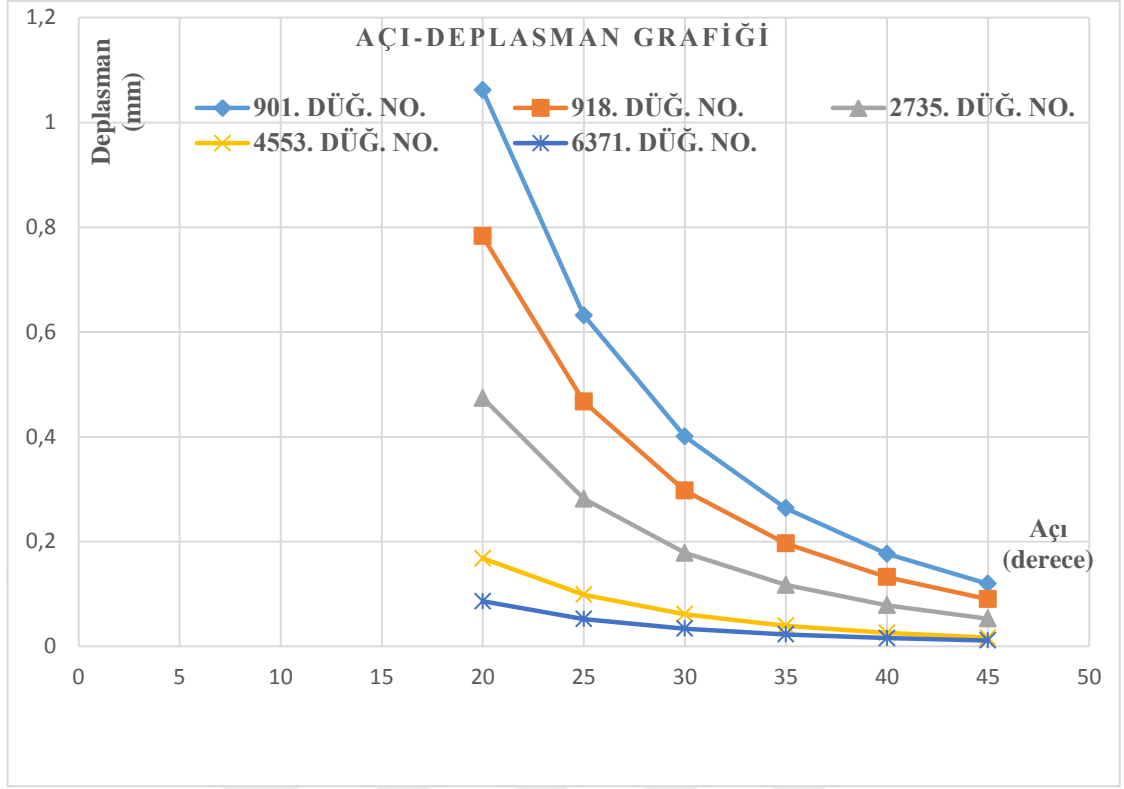
Şekil 3.21’de ki grafik, katlanmış plak kalınlığının 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki gerilme üzerindeki etkisine karşı çizilen grafiği vermektedir. Kalınlık arttıkça düğüm noktalarındaki gerilmeler azalmakta, kalınlık azaldıkça düğüm noktalarındaki gerilmeler artmaktadır.

Katlanma açısının düşey deplasman üzerindeki etkisini görebilmek için Tablo 3.6 oluşturulmuştur.

Tablo 3.6. Açının düşey deplasman üzerindeki etkisi

Açı (Derece)	Düğüm Noktası (mm)				
	901	918	2735	4553	6371
20	1,0616	0,7832	0,4741	0,1681	0,0860
25	0,6318	0,4672	0,2818	0,0986	0,0523
30	0,4006	0,2972	0,1785	0,0614	0,0340
35	0,2635	0,1963	0,1172	0,0394	0,0230
40	0,1767	0,1324	0,0784	0,0256	0,0159
45	0,1195	0,0902	0,0529	0,0165	0,0112

Tablo 3.6’da ki değerler yardımıyla Şekil 3.22’de ki açı-deplasman grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.22. Açının deplasman üzerinde etkisi

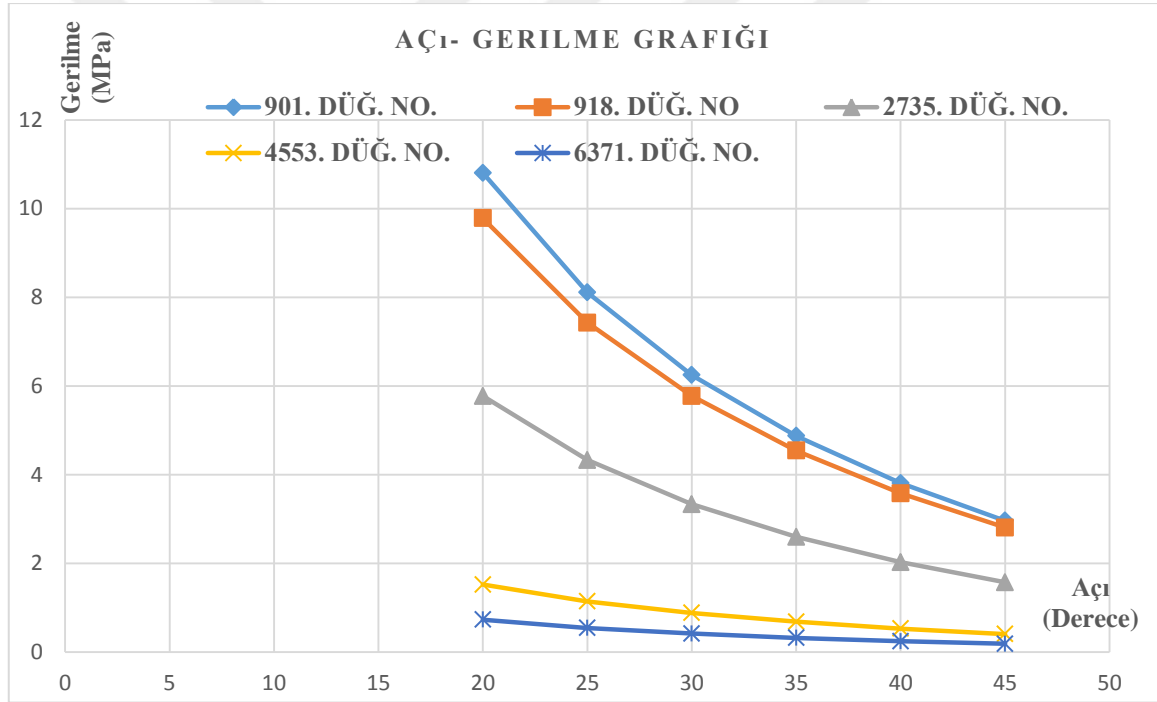
Şekil 3.22’de ki grafik, plağın katlanma açısının 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki deplasman üzerindeki etkisine karşı çizilen grafiği vermektedir. Açının değeri arttıkça düğüm noktalarındaki düşey deplasmanlar azalmakta, açının değeri azaldıkça düğüm noktalarındaki düşey deplasmanlar artmaktadır. Katlanma açısının artması plak yüksekliğinin artmasına neden olmaktadır. Yüksekliğin artması plak atalet momentinin büyümesine sebep olduğundan yapı daha rijit davranacaktır. Dolayısıyla açının artması deplasmanın azalmasına neden olmaktadır. Tabloda gösterilen açı değerleri derece cinsinden yazılmıştır. Oysa txt dosyasında yazılan algorithmada açının birimi radyan cinsinden yazılmıştır. ANSYS radyan cinsinden hesaplamalar yaptığından dolayı açının birimi dereceden radyana dönüştürülmüştür. Fakat açının daha rahat kavranabilmesi açısından tablodaki değerler radyan cinsinden değil de açı cinsinden yazılmıştır.

Katlanma açısının gerilme üzerindeki etkisini görebilmek için Tablo 3.7 oluşturulmuştur.

Tablo 3.7. Açının gerilme üzerindeki etkisi

Açı (Derece)	Düğüm Noktası (MPa)				
	901	918	2735	4553	6371
20	10,8075	9,7839	5,7754	1,5217	0,7311
25	8,1087	7,4269	4,3311	1,1457	0,5464
30	6,2494	5,7765	3,3357	0,8826	0,4177
35	4,8749	4,5426	2,5996	0,6858	0,3215
40	3,8108	3,5794	2,0296	0,5318	0,2465
45	2,9620	2,8062	1,5748	0,4080	0,1862

Tablo 3.7’de ki değerler yardımıyla Şekil 3.23’te ki açı-gerilme grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.23. Açının gerilme üzerindeki etkisi

Şekil 3.23’te ki grafik, plağın katlanma açısının 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki gerilme üzerindeki etkisine karşı çizilen grafiği vermektedir. Açının değeri arttıkça düğüm noktalarındaki gerilmeler azalmakta, açının değeri azaldıkça düğüm noktalarındaki gerilmeler artmaktadır.

Bu bölümdeki yapılan çalışmayı kısaca şöyle özetleyebiliriz:

- Şekil 3.1’de ki geometrisi verilen katlanmış çelik plağın ANSYS paket programı ile modeli oluşturulmuş ve analizi yapılmıştır.

- ANSYS programında analiz yapılırken plak kalınlığının gerilme ve deplasman üzerindeki etkisini görebilmek için, Plak kalınlığı 4 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm ve 20 mm alınıp ANSYS programında bu beş farklı plak kalınlığı için analiz yapılmıştır. Daha sonra kalınlık- deplasman ve kalınlık- gerilme grafiğı çizilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.
- ANSYS programında analiz yapılırken plağın katlanma açısının gerilme ve deplasman üzerindeki etkisini görebilmek için, Plağın katlanma açısı 20°, 25°, 30°, 35°, 40° ve 45° alınıp ANSYS programında bu altı farklı açı değerleri için analiz yapılmıştır. Daha sonra açı-deplasman ve açı-gerilme grafiğı çizilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



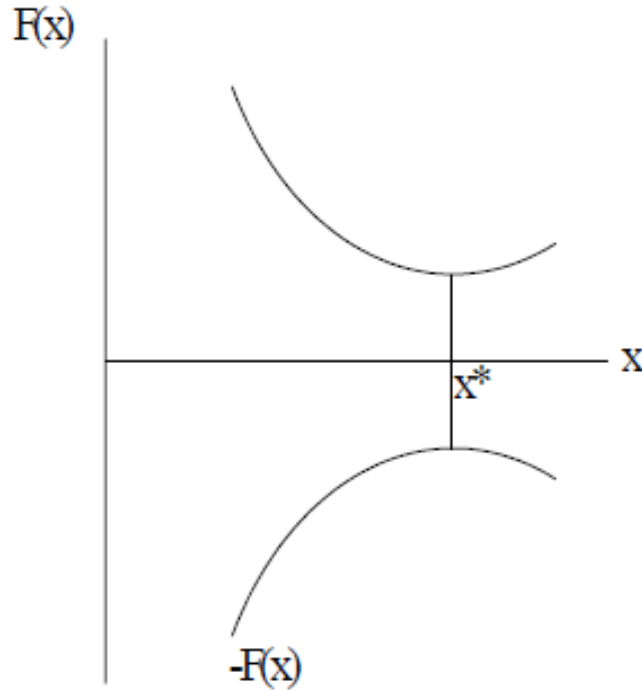
4. OPTİMİZASYON

4.1. Optimizasyon Nedir?

Optimizasyon kelimesinin anlamı farklı şekillerde izah edilebilir. Optimizasyon, eldeki kısıtlı kaynakları en verimli şekilde kullanmak olarak ifade edilebilir. Optimizasyonun matematiksel anlamı ise herhangi bir fonksiyonun maksimize ya da minimize edilmesini sağlayan durumların bulunması işlemidir. Optimizasyonun mühendislik anlamı ise “verilen koşullar altında en iyi sonucu elde etme işidir.” [17].

Optimizasyon yapılırken bazı durumlarda fonksiyonun maksimum bazı durumlarda minimum yapılması istenir. Örnek olarak mühendislik uygulamasında kâr oranının ve verimin maksimum olması istenirken maliyet oranının ise minimum olması istenir. Dolayısıyla optimizasyon, amaç fonksiyonunu maksimum ya da minimum yapan durumları bulma işlemi olarak ifade edilir.

Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi optimizasyon eğrisinde $F(x)$ fonksiyonunu minimum değeri, $-F(x)$ fonksiyonunun maksimum değerine eşittir [17].



Şekil 4.1. Optimizasyon eğrisi [17].

Optimizasyon problemlerinde 3 ana bileşen vardır. Bu 3 bileşenler aşağıdaki gibidir.

1. Bilinmeyenler ya da değişkenler
2. Sınırlayıcılar
3. Amaç fonksiyonu

4.1.1. Bilinmeyenler ya da Değişkenler

Optimizasyon yapılırken problemdeki bağımsız değişkenlerdir. Bu tez çalışmasında katlanmış plağın optimizasyonu yapılırken plağın hacminin minimum olması istenmektedir. Plağın hacmini etkileyen değişkenler, plağın yüksekliği(H), kalınlığı(T), katlanma açısı (ALFA) birer değişkenlerdir. Genel olarak değişkenler;

$$x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (4.1)$$

olarak ifade edilir. Burada, n= değişken sayısını ifade eder.

4.1.2. Sınırlayıcılar

Optimizasyon yapılırken probleme getirilen sınırlamalardır. Bu tez çalışmasında katlanmış plağın hacminin minimum yapılması hedeflenirken, gerilme ve deplasman değerlerine sınırlamalar getirilmiştir. Gerilmeler ve deplasmanlar birer sınırlayıcı olarak tanımlanmaktadır. Gerilmelerin ve deplasmanların belirli aralıkta olması istenmektedir. İşte bu durumlara sınırlayıcılar denir.

Genel olarak sınırlayıcılar, eşitlik ve eşitsizlik sınırlayıcıları olmak üzere;

$$g_i(x) = 0 ; \quad i = 1,2,3, \dots, j \quad (4.2)$$

$$h_i(x) \leq 0 ; \quad i = 1,2,3, \dots, j \quad (4.3)$$

$$k_i(x) \geq 0 ; \quad i = 1,2,3, \dots, j \quad (4.4)$$

Olarak ifade edilir. Burada, j= sınırlayıcı sayısı olarak ifade edilmektedir.

4.1.3. Amaç Fonksiyonu

“Boyutlandırması veya optimizasyonu yapılacak sistemin iyilik derecesini belirtir.” [23]. Amaç fonksiyonu bazı durumlarda maksimum bazı durumlarda ise minimum olabilir. Bu çalışmada katlanmış bir plağın optimizasyonu yapılırken hedeflenen amaç, yapı hacminin minimum değer almasıdır. Fakat bu her zaman böyle olmayabilir. Hedeflenen amaca göre optimizasyon yapılacağı için bazı durumlarda amaç maksimum

da olabilir. Örneğin kârın maksimum olması isteniyor olabilir. Bu durumda amaç fonksiyonumuzu maksimum yapan bir boyutlandırma yapılmalıdır.

Genel olarak amaç fonksiyonu;

$$\text{Maksimum/minimum } Z = f(x) ; f(x) = x_1, x_2, x_3, \dots, x_m \quad (4.5)$$

Olarak ifade edilir.

4.2. ANSYS Programı ile Optimizasyon

Optimizasyon modeli (/OPT), optimum boyutlandırmayı sağlayan önemli bir bölümdür. ANSYS programında optimum boyutlandırma yapılırken üç tip karakteristik değişken kullanılır. Bunlar dizayn değişkenleri (DV), durum değişkenleri (SV) ve amaç fonksiyonu (OBJ) olarak ifade edilir. Optimum boyutlandırma yapılırken çeşitli optimizasyon metotları kullanılır. Bunlar birinci merteye metodu (first order method), alt problem yaklaşımı metodu (subproblem approximation method) ve kullanıcı tanımlı metodu (user defined) olmak üzere 3 metot kullanılmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında first-order çözüm metodu kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında mekanik APDL (ANSYS Parametrik Tasarım Dili) 19.2 versiyonu kullanılarak katlanmış bir çelik plağın optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon probleminin daha iyi anlaşılması için optimizasyon kısmında kullanılacak olan kavramlara değinmekte fayda vardır.

4.2.1. Optimizasyon Değişkenleri

ANSYS, hangi değişkenlerin optimizasyon için kritik öneme sahip olduğunu bilmelidir. Dolayısıyla kullanıcı bu değişkenleri ANSYS programına tanıtmalıdır. Bir problemin optimizasyonu yapılırken 3 çeşit optimizasyon değişkenleri kullanılır. Bunlar dizayn değişkenleri (design variables), durum değişkenleri (state variables) ve amaç fonksiyonu (objective function), olmak üzere 3 kısma ayrılır [17].

4.2.1.1. Dizayn Değişkenleri (DV)

Dizayn değişkenleri (design variables), kısaca DV olarak ifade edilmektedir. Dizayn değişkenleri, amaç fonksiyonunu doğrudan etkileyen bağımsız değişkenlerdir. Bu çalışmada plağın yüksekliği, kalınlığı, katlanma açısı birer dizayn değişkenlerini (DV) ifade eder. Her bir dizayn değişkenin değiştirilmesi çözüm sonuçlarının değişmesine neden olacaktır.

- **Dizayn değişkenlerin (DV) seçiminde dikkat edilmesi gerekenler:**

- Dizayn değişkenleri genel olarak uzunluk, genişlik, yükseklik, kalınlık, çap gibi geometrik büyüklüklerdir. Bu değişkenlerin pozitif değer alması gerekmektedir. Mümkün mertebede az dizayn değişkeni kullanılmalıdır. Çok fazla dizayn değişkeninin kullanılması, iterasyonu arttırır, iterasyonun artması bilgisayarın optimizasyon süresini arttırır [17].
- Optimizasyon probleminde DV'lere mantıklı sınırlamalar (min., maks., tolerans) verilmelidir. Bu çalışmada plak yüksekliği, plak kalınlığı, plak katlanma açısı DV olarak seçilmiştir [17].
- DV'lere OPVAR komutu ile sınırlamalar getirilir. Minimum sınır değerinin bulunduğu alana bir şey yazılmazsa yani o alan boş bırakılırsa alt sınır yok anlamı taşır. Benzer bir şekilde maksimum sınır değerinin olduğu alan boş bırakılırsa üst sınır yok anlamı taşır [17].

OPVAR, H, DV, 100, 1000, 0.1 !100≤H≤1000 ve tolerans =0.1

OPVAR, H, DV,, 1000, 0.1 !H≤1000 ve tolerans =0.1

OPVAR, H, DV, 100,, 0.1 !100≤H ve tolerans =0.1

4.2.1.2. Durum Değişkenleri (SV)

Durum değişkenleri (state variables), kısaca SV olarak ifade edilmektedir. Durum değişkenleri, DV'leri değiştirmenin sonucu olarak değişen bağımlı değişkenlerdir. Bu tez çalışmasında gerilmeler ve deplasmanlar SV olarak tanımlanmıştır. Optimizasyon yapılırken SV'lerin belirli aralıkta olması istenmektedir.

- **Durum değişkenlerin (SV) seçiminde dikkat edilmesi gerekenler:**

- Mümkün mertebede az durum değişkeni kullanılmalıdır. Çok fazla durum değişkeninin kullanılması, iterasyonu arttırır, iterasyonun artması bilgisayarın optimizasyon süresini arttırır [17].
- Optimizasyon probleminde SV'lere mantıklı sınırlamalar (min., maks., tolerans) verilmelidir. Bu çalışmada gerilmeler ve deplasmanlar SV olarak seçilmiştir.
- SV'lere OPVAR komutu ile sınırlamalar getirilir. Minimum sınır değerinin bulunduğu alana bir şey yazılmazsa yani o alan boş bırakılırsa alt sınır yok anlamı taşır. Benzer bir şekilde maksimum sınır değerinin olduğu alan boş bırakılırsa üst sınır yok anlamı taşır [17].

OPVAR, STRESS, SV, 0.1, 235, 0.001 !0.1≤STRESS≤235, tolerans=0.001
OPVAR, STRESS, SV,, 235, 0.001 !STRESS≤235, tolerans =0.001
OPVAR, STRESS, SV, 0.1,, 0.001 !0.1≤STRESS ve tolerans =0.001

- Optimizasyon yapılırken yeterli sayıda SV tanımlanmalıdır.
- Eğer bir SV'ye hem alt sınır hem de üst sınır getirilmişse, çok dar bir sınırlamalardan kaçınmak gerekir. Örneğin alt sınırı *0.1 MPa*, üst sınırı *235 MPa* olan bir gerilme değeri, alt sınırı *200 MPa*, üst sınırı *235 MPa* olan bir gerilme değerinden daha uygun bir tasarımıdır. Sınırlamalar çok dar tutulmamalıdır [17].

4.2.1.3. Amaç Fonksiyonu (OBJ)

Amaç fonksiyonu, optimizasyonda en aza indirilmesi gereken değişken olarak tanımlanır. Bu çalışmada katlanmış plağın hacminin minimum yapılması amaçlanmıştır.

- **Amaç fonksiyonunun (OBJ) seçiminde dikkat edilmesi gerekenler**
 - Optimizasyon yapılırken amaç fonksiyonu pozitif bir değer almalıdır.

4.2.2. Optimizasyon Metotları

ANSYS programında bir problemin optimizasyonu yapılırken kullanılan 3 farklı metot vardır.

1. Alt problem yaklaşımı metodu (subproblem approximation method),
2. Birinci mertebe metodu (first order method),
3. Kullanıcı tanımlı metot (user defined method)

Olmak üzere 3 metot kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında first order çözüm metodu kullanılmıştır.

4.2.2.1. Alt Problem Yaklaşımı Metodu

Alt problem yaklaşım metodu, “sıfırıncı mertebeden (türev içermeyen) olan ve tüm bağımlı değişkenlere yaklaşımlar kullanan bir metottur.” [17]. Bu metotta iki önemli özellik vardır. Bunlardan ilki, bağımlı değişkenler için yaklaşımların kullanılması, ikincisi sınırlanmış bir optimizasyon probleminin sınırlanmamış bir optimizasyon problemine dönüşmesidir. Öncelikle değişkenler, en küçük kareler yöntemi kullanılarak yaklaşımlarla değiştirilir, ardından sınırlandırılmış optimizasyon problemi

sınırlandırılmamış optimizasyon problemine dönüştürülür. Daha sonra alt problem olarak ifade edilen yaklaşımlı son fonksiyon kullanılarak optimizasyon yapılır.

4.2.2.2. Birinci Mertebe Metodu

First-order metodu, dizayn değişkenlerine (DV) göre bağımlı değişkenlerin türevlerini yani eğimlerini içeren bir optimizasyon metodudur. Eğimler birinci dereceden türevi ifade ettiklerinden dolayı, bu metodun ismi buradan gelmektedir. Birinci mertebe metodu, bağımlı değişkenlerin geniş aralıklarda sınırlandırılmış problem tiplerinde iyi çözümler verir. Bu metotta oluşturulan her bir iterasyon, fonksiyonların türevlerini içeren alt iterasyonlardan oluşur. Alt problem yaklaşımı metoduna göre bu metot daha kesin ve doğru sonuçlar verir. Dolayısıyla kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilir. Bu çalışmada da birinci mertebe metodu kullanılmıştır [17].

4.2.2.3. Kullanıcı Tanımlı Metot

Alt problem yaklaşımı metodu ve birinci mertebe metodundan başka kullanıcılar kendi yazdıkları algoritmalarla kendi optimizasyon metotlarını oluşturabilirler. Kullanıcıların kendi yazdıkları optimizasyon metoduna kullanıcı tanımlı metot denir.

4.3. Lineer ve Lineer Olmayan Analiz ve Optimizasyon

Bölüm 3'te Katlanmış çelik plağın ANSYS paket programıyla analizi yapıp deplasmanlar ve gerilmeler hakkında sonuçlar elde edilmiştir. Bu bölümde ise yapılan analize ilave olarak katlanmış çelik plağın lineer ve geometrik bakımdan lineer olmayan optimizasyonu yapılacaktır.

Sonlu elemanlar programı olan ANSYS'de analiz yapılırken, doğrusal bir analiz mi yoksa doğrusal olmayan bir analiz mi yapmalıyım ilk akla gelen sorulardır. Bu çalışmada sonuçların karşılaştırılması açısından hem doğrusal analiz hem de doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Optimizasyon kısmına geçilmeden önce doğrusal ve doğrusal olmayan davranış durumlarına değinmekte fayda vardır.

Malzemeler veya elemanlar, belirli yüklere maruz kalması sonucunda şekil değişikliğine uğrarlar. Meydana gelen bu şekil değişikliği, yüklenme ortadan kalktıktan hemen sonra tamamen ortadan kalkabileceği gibi kalıcı da olabilir.

Doğrusal davranış durumunda hooke kanunu geçerlidir. Yani malzemenin gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin doğrusal olmasıdır. Bu çalışmada çelik malzeme kullanıldığından malzemeyi çelik olarak tanımlarsak, örnek olarak çelik malzemede 2 N'lik yüke karşı 1mm şekil değişikliği, 4 N'lik yüke karşı 2 mm şekil değişikliği meydana geliyorsa ve yük kalktığında sistem ilk haline dönüyorsa burada hooke kanunu geçerlidir ve doğrusal elastik davranıştan söz edilebilir. Fakat her zaman doğrusal bir davranış olmayabilir. Çelik malzemenin gerilme-şekil değiştirme ilişkisinde doğrusal davranış, orantılılık sınırına kadar devam eder. Akma gerilmesinden sonra malzemenin gerilmesinde artma olmamasına karşın, şekil değişikliğinde artmalar meydana gelmektedir. Bu olay ise doğrusal davranışa aykırı bir durumdur.

Doğrusal olmayan davranışta ise ilk önce malzemenin gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin doğrusal olduğu bölge kullanılır. Bu bölgede gerilme ve şekil değiştirme doğrusal orantılıdır. Daha sonra analize devam edilir ve akma gerilmesinden sonra gerilmenin değerinde küçük artmalar meydana gelirken şekil değişikliğinde ise büyük artmalar meydana gelir. Yani gerilme ve şekil değiştirme aynı oranda değişmez.

Bir yapı sisteminin dış yüklemeler altında lineer davranış göstermemesi, genellikle iki nedenden kaynaklanır:

1. Malzeme bakımından lineer olmayan davranış
2. Geometrik bakımından lineer olmayan davranış

“Malzeme bakımından lineer olmayan davranış, genel olarak elastik- plastik veya visko- elastik davranıştan meydana gelmektedir.” [18]. Geometrik bakımdan lineer olmayan davranış ise, şekil değiştirmelerin yapı geometrisi üzerinde önemli değişikliklere neden olmasından kaynaklanmaktadır. Denge denklemleri, yapının şekil değiştirmiş durumuna göre yazılmalıdır. Lineer olmayan davranış hem malzeme bakımından hem de geometri bakımından olabildiği gibi her iki bakımdan da olabilmektedir [18].

4.3.1. Lineer Analiz ve Optimizasyon

Katlanmış çelik plağın lineer analizi ve optimizasyonu için yazılan kodlar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Lineer analiz ve optimizasyon için geliştirilen algoritma

```
/PREP7
/TITLE, KATLANMIS PLAGIN LINEER OPTIMIZASYONU
ANTYPE, STATIC
ET,1, SHELL63,,1
MP, EX,1,200000      ! Elastisite modülü
MP, NUXY,1,0.3      ! Poisson oranı
MAT,1
TYPE,1
T=4
R,1, T
ALF= (45*3.141592653589793238462643383279502884) /180
W=600
H=W*TAN(ALF)
L=5000
I= SQRT((H*H) +(W*W))
DX=W/17
DY=(TAN(ALF)*W) /17
DZ=L/100
N,1,0,0,0
NGEN,18,1,1,18,1, DX, DY,0
NGEN,101,18,1,101,1,0,0, DZ
N,1819, W+DX, H-DY,0
NGEN,17,1,1819,1835,1, DX, -DY,0
NGEN,101,18,1819,1919,1,0,0, DZ
N,3637,2*W+DX, DY,0
NGEN,17,1,3637,3653,1, DX, DY,0
NGEN,101,18,3637,3737,1,0,0, DZ
N,5455,3*W+DX, H-DY,0
NGEN,17,1,5455,5471,1, DX, -DY,0
NGEN,101,18,5455,5555,1,0,0, DZ
E,1,2,20,19
EGEN,17,1,1,17,1
EGEN,100,18,1,17,1
E,18,1819,1837,36
E,1819,1820,1838,1837
```

```

EGEN,16,1,1702,1717,1
EGEN,100,18,1701,1717,1
E,1835,3637,3655,1853
E,3637,3638,3656,3655
EGEN,16,1,3402,3417,1
EGEN,100,18,3401,3417,1
E,3653,5455,5473,3671
E,5455,5456,5474,5473
EGEN,16,1,5102,5117,1
EGEN,100,18,5101,5117,1
D,1, UX,,,18,1, UY, UZ,,,
D, 18, UX,,,1819,1801, UY, UZ,,,
D,1819, UX,,,1835,1, UY, UZ,,,
D,1835, UX,,,3637,1802, UY, UZ,,,
D,3637, UX,,,3653,1, UY, UZ,,,
D,3653, UX,,,5455,1802, UY, UZ,,,
D,5455, UX,,,5471,1, UY, UZ,,,
D,1801, UX,,,1818,1, UY, UZ,,,
D,1818, UX,,,3619,1801, UY, UZ,,,
D,3619, UX,,,3635,1, UY, UZ,,,
D,3635, UX,,,5437,1802, UY, UZ,,,
D,5437, UX,,,5453,1, UY, UZ,,,
D,5453, UX,,,7255,1802, UY, UZ,,,
D,7255, UX,,,7271,1, UY, UZ,,,
F,18, FY, -100,,1818,18
VOL=(I*L*T) *4
FINISH
/SOLU
SOLVE
FINISH
/POST1
/OUT
*GET, DISP1, NODE,901, U, Y
*GET, DISP2, NODE,918, U, Y
*GET, DISP3, NODE,2735, U, Y
*GET, DISP4, NODE,4553, U, Y

```

```

*GET, DISP5, NODE,6371, U, Y
DISP1=ABS(DISP1)
DISP2=ABS(DISP2)
DISP3=ABS(DISP3)
DISP4=ABS(DISP4)
DISP5=ABS(DISP5)
*GET, STRSS1, NODE,901, S, Z
*GET, STRSS2, NODE,918, S, Z
*GET, STRSS3, NODE,2735, S, Z
*GET, STRSS4, NODE,4553, S, Z
*GET, STRSS5, NODE,6371, S, Z
STRSS1=ABS(STRSS1)
STRSS2=ABS(STRSS2)
STRSS3=ABS(STRSS3)
STRSS4=ABS(STRSS4)
STRSS5=ABS(STRSS5)
NSEL, ALL, ALL
ESEL, ALL, ALL
LGWRITE, SIMP, LGW
FINISH
/OPT
OPANL, SIMP, LGW
OPVAR, T, DV,1,10,0.001           ! Dizayn değişkeni
OPVAR, H, DV,100,1000,0.001
OPVAR, ALF, DV,0.0872664626,1.047197551,0.001
OPVAR, DISP1, SV,0,0.5,0.0001     ! Durum değişkeni
OPVAR, DISP2, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, DISP3, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, DISP4, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, DISP5, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, STRSS1, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS2, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS3, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS4, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS5, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, VOL, OBJ,,,200             ! Amaç fonksiyonu

```

OPSAVE, SIMP, OPT	
OPTYPE, FIRST	! Optimizasyon metodu
OPFRST,45	! İterasyon
OPPRNT, ON	
OPEXE	
OPLIST, ALL,,1	
FINISH	

Tablo 4.1’de gösterilen kodlar, txt dosyasında yazılmıştır. Daha sonra analiz ve optimizasyon yapılması için ANSYS programından txt dosyası çağırılarak katlanmış çelik plağın analizi ve optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon yapıldıktan sonra bulunan sonuçlar Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Ayrıca detaylı lineer optimizasyon sonuçları çalışmanın sonunda Ek-1’de sunulmuştur.

NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.674009831	SCALAR	
DISP1	0.386471347	SCALAR	
DISP2	0.497527853	SCALAR	
DISP3	0.295393969	SCALAR	
DISP4	9.710758986E-002	SCALAR	
DISP5	1.926587777E-002	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	28.1930004	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	479.220843	SCALAR	
I	767.888414	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	13.6791919	SCALAR	
STRSS2	12.9839223	SCALAR	
STRSS3	7.27172343	SCALAR	
STRSS4	1.92887921	SCALAR	
STRSS5	0.904908123	SCALAR	
T	1.18531591	SCALAR	
VOL	18203807.1	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	

Şekil 4.2. Lineer analiz ve optimizasyon sonuçları

4.3.2. Lineer Olmayan Analiz ve Optimizasyon

Katlanmış çelik bir plağın geometrik bakımından lineer olmayan analizi ve optimizasyonu için yazılmış kodlar Tablo 4.2’de ki gibidir.

Tablo 4.2. Lineer olmayan analiz ve optimizasyon için geliştirilen algoritma

```
/PREP7
/TITLE, KATLANMIS PLAGIN NONLINEER OPTIMIZASYONU
ANTYPE, STATIC
NLGEOM, ON          ! Geometrik bakımdan lineer olmayan analiz
ET,1, SHELL63,,1
MP, EX,1,200000     ! Elastisite modülü
MP, NUXY,1,0.3      ! Poisson oranı
MAT,1
TYPE,1
T=4
R,1, T
ALF= (45*3.141592653589793238462643383279502884) /180
W=600
H=W*TAN(ALF)
L=5000
I= SQRT((H*H) +(W*W))
DX=W/17
DY=(TAN(ALF)*W) /17
DZ=L/100
N,1,0,0,0
NGEN,18,1,1,18,1, DX, DY,0
NGEN,101,18,1,101,1,0,0, DZ
N,1819, W+DX, H-DY,0
NGEN,17,1,1819,1835,1, DX, -DY,0
NGEN,101,18,1819,1919,1,0,0, DZ
N,3637,2*W+DX, DY,0
NGEN,17,1,3637,3653,1, DX, DY,0
NGEN,101,18,3637,3737,1,0,0, DZ
N,5455,3*W+DX, H-DY,0
NGEN,17,1,5455,5471,1, DX, -DY,0
NGEN,101,18,5455,5555,1,0,0, DZ
E,1,2,20,19
EGEN,17,1,1,17,1
EGEN,100,18,1,17,1
E,18,1819,1837,36
```

```

E,1819,1820,1838,1837
EGEN,16,1,1702,1717,1
EGEN,100,18,1701,1717,1
E,1835,3637,3655,1853
E,3637,3638,3656,3655
EGEN,16,1,3402,3417,1
EGEN,100,18,3401,3417,1
E,3653,5455,5473,3671
E,5455,5456,5474,5473
EGEN,16,1,5102,5117,1
EGEN,100,18,5101,5117,1
D,1, UX,,,18,1, UY, UZ,,,
D, 18, UX,,,1819,1801, UY, UZ,,,
D,1819, UX,,,1835,1, UY, UZ,,,
D,1835, UX,,,3637,1802, UY, UZ,,,
D,3637, UX,,,3653,1, UY, UZ,,,
D,3653, UX,,,5455,1802, UY, UZ,,,
D,5455, UX,,,5471,1, UY, UZ,,,
D,1801, UX,,,1818,1, UY, UZ,,,
D,1818, UX,,,3619,1801, UY, UZ,,,
D,3619, UX,,,3635,1, UY, UZ,,,
D,3635, UX,,,5437,1802, UY, UZ,,,
D,5437, UX,,,5453,1, UY, UZ,,,
D,5453, UX,,,7255,1802, UY, UZ,,,
D,7255, UX,,,7271,1, UY, UZ,,,
F,18, FY, -100.,1818,18
VOL=(I*L*T) *4
FINISH
/SOLU
SOLVE
FINISH
/POST1
/OUT
*GET, DISP1, NODE,901, U, Y
*GET, DISP2, NODE,918, U, Y
*GET, DISP3, NODE,2735, U, Y

```

```

*GET, DISP4, NODE,4553, U, Y
*GET, DISP5, NODE,6371, U, Y
DISP1=ABS(DISP1)
DISP2=ABS(DISP2)
DISP3=ABS(DISP3)
DISP4=ABS(DISP4)
DISP5=ABS(DISP5)
*GET, STRSS1, NODE,901, S, Z
*GET, STRSS2, NODE,918, S, Z
*GET, STRSS3, NODE,2735, S, Z
*GET, STRSS4, NODE,4553, S, Z
*GET, STRSS5, NODE,6371, S, Z
STRSS1=ABS(STRSS1)
STRSS2=ABS(STRSS2)
STRSS3=ABS(STRSS3)
STRSS4=ABS(STRSS4)
STRSS5=ABS(STRSS5)
NSEL, ALL, ALL
ESEL, ALL, ALL
LGWRITE, SIMP, LGW
FINISH
/OPT
OPANL, SIMP, LGW
OPVAR, T, DV,1,10,0.001           ! Dizayn değişkeni
OPVAR, H, DV,100,1000,0.001
OPVAR, ALF, DV,0.0872664626,1.047197551,0.001
OPVAR, DISP1, SV,0,0.5,0.0001     ! Durum değişkeni
OPVAR, DISP2, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, DISP3, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, DISP4, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, DISP5, SV,0,0.5,0.0001
OPVAR, STRSS1, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS2, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS3, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS4, SV,0.1,235,0.001
OPVAR, STRSS5, SV,0.1,235,0.001

```

OPVAR, VOL, OBJ,,,200	! Amaç fonksiyonu
OPSAVE, SIMP, OPT	
OPTYPE, FIRST	! Optimizasyon metodu
OPFRST,30	! İterasyon
OPPRNT, ON	
OPEXE	
OPLIST, ALL,,1	
FINISH	

Tablo 4.2’de katlanmış çelik bir plağın geometrik bakımdan lineer olmayan analizi ve optimizasyonu için gerekli kodlar yazılmıştır. Optimizasyon sonucunda bulunan değerler Şekil 4.3’te ki gibidir. Lineer olmayan optimizasyonun detaylı sonuçları çalışmanın sonunda Ek-2’de sunulmuştur.

NAME	VALUE	TYPE	DIMENSIONS
ALF	0.748906205	SCALAR	
DISP1	0.442108090	SCALAR	
DISP2	0.205407234	SCALAR	
DISP3	0.117810409	SCALAR	
DISP4	3.753727304E-002	SCALAR	
DISP5	5.152828004E-002	SCALAR	
DX	35.2941176	SCALAR	
DY	32.8078401	SCALAR	
DZ	50.0000000	SCALAR	
H	556.484866	SCALAR	
I	818.336976	SCALAR	
L	5000.00000	SCALAR	
STRSS1	6.40205073	SCALAR	
STRSS2	6.18173482	SCALAR	
STRSS3	3.18905234	SCALAR	
STRSS4	0.863346833	SCALAR	
STRSS5	0.413745546	SCALAR	
T	2.12067559	SCALAR	
VOL	34708545.0	SCALAR	
H	600.000000	SCALAR	

Şekil 4.3. Lineer olmayan analiz ve optimizasyon sonuçları

4.3.3. Lineer ve Lineer Olmayan Optimizasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Katlanmış çelik plağın Lineer ve lineer olmayan optimizasyon sonuçları Tablo 4.3 yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.3. Lineer ve lineer olmayan analiz ve optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

İsim	Lineer optimizasyon sonuçları	Lineer olmayan optimizasyon sonuçları
T (mm)	1.18531591	2,12067559
H (mm)	479.220843	556,484866
W (mm)	600	600
ALF (radyan)	0.674009831	0,748906205
I (mm)	767.888414	818,336976
L (mm)	5000	5000
DX (mm)	35,2941176	35,2941176
DY (mm)	28.1930004	32,8078401
DZ (mm)	50	50
VOL (mm ³)	18203807.1	34708545
DISP1 (mm)	0.386471347	0,442108090
DISP2 (mm)	0.497527853	0,205407234
DISP3 (mm)	0.295393969	0,117810409
DISP4 (mm)	0.0971075899	0,03753727304
DISP5 (mm)	0.0192658778	0,05152828004
STRSS1 (MPa)	13.6791919	6,40205073
STRSS2 (MPa)	12.9839223	6,18173482
STRSS3 (MPa)	7.27172343	3,18905234
STRSS4 (MPa)	1.92887921	0,863346833
STRSS5 (MPa)	0.904908123	0,413745546

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı katlanmış çelik bir plağın yapısal optimizasyon ile hacmini minimize etmektir. Dolayısıyla bu çalışmada ANSYS paket programı kullanılarak katlanmış çelik bir plağın lineer ve geometrik bakımdan lineer olmayan optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada bulunan sonuç ve öneriler aşağıdaki gibidir:

1. Başlangıçta plak kalınlığı 4 mm, plak yüksekliği 600 mm ve plağın katlanma açısı 45° alınarak çelik plağın analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki deplasman ve gerilme sonuçları incelenmiştir. Daha sonra plak kalınlığı 4 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm ve 20 mm alınarak teker teker analiz yapılmış ve plak kalınlığının deplasman ve gerilme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca plağın katlanma açısı 20° , 25° , 30° , 35° , 40° ve 45° alınarak plağın katlanma açısının deplasman ve gerilme üzerindeki etkisi incelenmiştir.
2. Yapılan analizlerde plak kalınlığının ve plağın katlanma açısının artmasıyla, 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki deplasmanların ve gerilmelerin azaldığı, plak kalınlığının ve plağın katlanma açısının azalmasıyla 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarındaki deplasmanların ve gerilmelerin arttığı görülmüştür.
3. Katlanmış çelik plağın ANSYS paket programı ile hem lineer hem de geometrik bakımdan lineer olmayan optimizasyonu yapılmış ve optimizasyon sonucunda bulunan değerler karşılaştırılmıştır. Optimizasyon yapılırken gerilmelere ve deplasmanlara sınırlamalar getirilmiştir. Deplasman sınırlayıcısının maksimum değeri 0.5 mm, gerilme sınırlayıcısının maksimum değeri ise 235 MPa seçilmiştir. Optimizasyon sonucunda 901, 918, 2735, 4553, 6371 numaralı düğüm noktalarının hiçbirinde 0,5 mm'den fazla deplasman ve 235 MPa'dan fazla gerilme değerinin çıktığı görülmemiştir.
4. Yapılan optimizasyon sonucunda minimize edilmesi amaçlanan yapı hacminin lineer optimizasyon sonrasında 18203807.1 mm^3 , lineer olmayan optimizasyon sonrasında ise 34708545 mm^3 bulunduğu görülmüştür. Deplasman ve gerilme değerlerinin ise Lineer olmayan optimizasyonda daha küçük çıktığı görülmüştür. Deplasmanların lineer olmayan optimizasyonda daha küçük çıkmasının sebebi, lineer olmayan optimizasyon sonucunda bulunan yapı hacminin lineer

optimizasyon sonucunda bulunan yapı hacminden daha fazla olmasından dolayı yapının daha rijit bir davranış göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. Katlanmış çelik plağın optimizasyon yapılmadan önceki toplam hacmi 67882251 mm^3 iken lineer optimizasyon sonrasındaki toplam hacmi 18203807.1 mm^3 'e, lineer olmayan optimizasyon sonrasındaki toplam hacmi ise 34708545 mm^3 'e indirgenmiştir. Bu durumda lineer optimizasyon sonucunda 73.18% hacimden tasarruf, lineer olmayan optimizasyon sonucunda ise $48,87 \%$ gibi hacimden tasarruf sağlanmıştır.
6. Bu çalışmada geliştirilen algoritma genel amaçlı olup birçok yapısal sistemlere uygulanabilirliği söz konusudur.
7. Bu çalışmada yalnız geometrik bakımdan lineer olmayan bir davranış göz önüne alınmış olsa da geometrinin yanında malzeme bakımından da lineer olmamayı içerecek şekilde plağın optimum boyutlandırılması yapılabilir.
8. Geliştirilen algoritma tek amaçlı bir optimizasyon problemine uygulanmış olup, çok amaçlı optimizasyon problemlerine de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1]. **Ulucan, Z. Ç.**, 1984. Betonarme Katlanmış Plakların Taşıma Gücüne Göre Hesabı, Seminer Notları, Haziran-Elâzığ.
- [2]. <https://docplayer.biz.tr/15925841-Elde-tutulan-bir-kagit-bir-kenarindan-duz-olarak-tutuldugunda-kolayca-egilir-ve-kendi-agirligini-bile-tasiyamaz-ayni-kagit-kivrilarak-hafifce.html>
- [3]. **Aka, İ., Keskinel, F. ve Arda, T. S.**, 1981. Betonarme Katlanmış Plaklar, Birsen Kitapevi, İstanbul.
- [4]. **Yıldırım, M. G.**, 2003. Taşıyıcı Sistem Seçimine Yönelik Çok Ölçütlü Bir Yaklaşım, *Yüksek Lisans Tezi*, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5]. **Imad, R. M. ve Feirushah, S.**, 2017. Comparison of Analysis of Folded Plate Structures By Simplified Bending Theory and ANSYS Program, International Journal of Civil Engineering and Technology (Ijci et), Volume 8, Issue 12.
- [6]. <http://mimarlikokulu.blogspot.com/2016/12/katlanmis-plaklar-katlanms-plaklar.html>
- [7]. **Türkçü, H. Ç.**, 2003. Çağdaş Taşıyıcı Sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [8]. <https://prezi.com/ij3xb9zna6mp/cagdas-katlanms-plaklar/>
- [9]. <https://www.milliyetemlak.com/dergi/riverside-muzesi/>
- [10]. <https://roofing-webservices.renolit.com/en/newref206-sports-hall-virum-dk>
- [11]. https://www.researchgate.net/figure/Air-Force-Academy-Chapel-Colorado-Springs-USA-19_fig2_319047090
- [12]. https://www.researchgate.net/figure/Den-Helder-station-Cement-1961-p-441-Shelling-1959-pp-16-18_fig2_322636638
- [13]. https://www.researchgate.net/figure/International-Convention-and-Exposition-Centre-Nanning-China-architects-Meinhard-von_fig6_281395871
- [14]. <https://www.slideshare.net/flemingprakash/miscellaneous-structures>
- [15]. <https://tr.pinterest.com/pin/437904763740450157/>
- [16]. https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/enus/help/ans_arch/Hlp_E_SH ELL63.html
- [17]. **Sipahi, E.**, 2004. Dip Klepesinin Ansys ile Dizayn Optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- [18]. **Esen, Y. ve Ülker, M.**, 2008. Çok Katlı Uzay Çerçevesinin Optimizasyonu, ISSN:1306-3111 E-Journal Of New World Sciences Academy 2008, Volume: 3, Number: 4 Article Number: A0096.
- [19]. **Esen, Y. ve Ülker, M.**, 2008. Malzeme ve Geometrik Özellikler Bakımından Lineer Olmayan Çok Katlı Çelik Uzay Çerçevesinin Optimizasyonu, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 2, 485-494, 2008.
- [20]. **Solmaz, M. Y. ve Turgut, A.**, 2007. Düzlem Kafes Sistemlerin ANSYS Paket Programı ile Optimum Geometri Tasarımı, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi (2), 201-207.
- [21]. **Çukur, C.**, 2006. Çelik Yapıların Nonlineer Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22]. **Sanal, Ö.**, 2006. Kayma Yükleme Altındaki Enine Desteklenmiş İzotropik ve Ortotropik Dikdörtgen İnce Plakların Ansys Sonlu Elemanlar Programı ile Burkulma Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [23]. **Cihangiroğlu, S.**, 2012. Uzay Kafes Yapıların Optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- [24]. **Aka, İ. ve Keskinel, F.**, 1968. Betonarme Katlanmış Plaklar. İ. T. Ü. Matbaası.
- [25]. **Aka, İ. ve Keskinel, F.**, 1977. Betonarme Yapı Elemanları. Arpaz Matbaacılık.
- [26]. <https://sites.ualberta.ca/~wmoussa/AnsysTutorial/CL/CAT/Optimization/Print.pdf>
- [27]. <https://sites.ualberta.ca/~wmoussa/AnsysTutorial/IT/NonLinear/Print.pdf>
- [28]. <https://sites.ualberta.ca/~wmoussa/AnsysTutorial/CL/CIT/NonLinearMat/Print.pdf>
- [29]. <https://sites.ualberta.ca/~wmoussa/AnsysTutorial/CL/CAT/Joints/Print.pdf>
- [30]. **Akarsu, M.**, 2013. Üniorm Sıcaklık Etkisindeki Kompozit Plakta Ansys Programı ile Isıl Gerilme Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [31]. **Bhavin, J. P. ve Kaushik, C. K.**, 2015. Cost Optimization Of V-Type Folded Plate Roof, International Journal of Advance Engineering and Research Development Volume 2, Issue 3, March-2015.

- [32]. **Erdoğan, A. S.**, 1975. Kirişlerin ve Katlanmış Plakların Hesabında Relatif Redör Metodu ve Katlanmış Plakların Hesabı, Elâzığ D. M. M. Akademisi, Yeterlik Çalışması, Elâzığ.
- [33]. **Akhoroz, E.**, 1999. ANSYS Programı ile Dizayn Optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34]. **Zeybek, Ö.**, 2011. Çok Katlı Çelik Yapıların Geometri Bakımından Doğrusal Olmayan Davranışın Artımsal ve Pratik 2. Mertebe Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [35]. **Erath, N.**, 1995. Katlanmış Plaklar İçin Sonlu Eleman Formülasyonu, *Doktora Tezi*, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36]. **Ruben, A. ve Gomez, P.E.**, 2013. Design Of Folded Plates.
- [37]. **Uçar, T.**, 2005. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [38]. **Chulsoo Yu, J. B.**, 1962. Investigation Of A Two-Bay Folded Plate Structure.
- [39]. **Winter, G. and M. Pei.**, 1947. Hipped plate construction. Journal of the American Concrete Institute 18: 505-531. 1947 (ACI Proceedings Vol. 43).
- [40]. **Gaafar, I.**, 1954. Hipped plate analysis considering joint displacements. Transactions of the American Society of Civil Engineers 119: 743-784.
- [41]. **Traum, E.**, 1959. The design of folded plates. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Structural Division 85: 103-123. October.
- [42]. **Keleşoğlu, Ö.**, 2002. Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Optimizasyonu, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.

EKLER

EK-1

KATLANMIS PLAGIN LINEER OPTİMİZASYONU

Optimization variables

Parameter	Min.	Max.	Toler.
DISP1	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP2	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP3	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP4	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP5	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
STRSS1	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS2	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS3	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS4	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS5	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
T	0.100000000E+01	0.100000000E+02	0.100000000E-02
H	0.100000000E+03	0.100000000E+04	0.100000000E-02
ALF	0.872664626E-01	0.104719755E+01	0.100000000E-02
VOL	0.000000000E+00	0.000000000E+00	0.200000000E+03

Parameters values for all current design sets

DISP1

0.119486412E+00	0.344855196E+00	0.459396130E+00	0.452464570E+00
0.463776279E+00	0.470076872E+00	0.476219576E+00	0.478225629E+00
0.487038625E+00	0.490007959E+00	0.487880456E+00	0.182007220E+00
0.471252391E+00	0.474588597E+00	0.477680985E+00	0.498141136E+00
0.502496311E+00	0.503654893E+00	0.317581956E+00	0.443684844E+00
0.515964639E-01	0.427473238E-01	0.455552600E-01	0.594737949E-01

0.670118345E-01	0.367655683E+00	0.466430676E+00	0.615460238E-01
0.375249334E+00	0.385849169E+00	0.385833405E+00	0.386043989E+00
0.386219961E+00	0.386364414E+00	0.386480327E+00	0.386570403E+00
0.386637008E+00	0.386682314E+00	0.386708225E+00	0.386716461E+00
0.386708590E+00	0.386685979E+00	0.386649884E+00	0.386601398E+00
0.386541596E+00	0.386471347E+00		

DISP2

0.902200242E-01	0.901946773E-01	0.911830299E-01	0.155383265E+00
0.159449738E+00	0.176166895E+00	0.333125412E+00	0.333500163E+00
0.350261257E+00	0.362328980E+00	0.390041318E+00	0.390586289E+00
0.393869651E+00	0.393921380E+00	0.394006807E+00	0.446904523E+00
0.459999248E+00	0.486559903E+00	0.488372512E+00	0.488489185E+00
0.489753800E+00	0.490331916E+00	0.490348885E+00	0.490408919E+00
0.490443514E+00	0.493907879E+00	0.495106196E+00	0.494428592E+00
0.496586667E+00	0.496885981E+00	0.496923632E+00	0.496962510E+00
0.497001494E+00	0.497040608E+00	0.497079876E+00	0.497119320E+00
0.497158963E+00	0.497198824E+00	0.497238924E+00	0.497279282E+00
0.497319915E+00	0.497360843E+00	0.497402083E+00	0.497443654E+00
0.497485571E+00	0.497527853E+00		

DISP3

0.528948771E-01	0.525991333E-01	0.527735614E-01	0.902980466E-01
0.939225381E-01	0.102801058E+00	0.196898696E+00	0.197120624E+00
0.207132716E+00	0.214343946E+00	0.230908955E+00	0.231455848E+00
0.233207326E+00	0.233235499E+00	0.233283974E+00	0.264831105E+00
0.272639363E+00	0.288479892E+00	0.289882203E+00	0.289678843E+00
0.290607087E+00	0.290985535E+00	0.290996610E+00	0.291037527E+00
0.291060704E+00	0.293210572E+00	0.293945828E+00	0.293454170E+00
0.294823513E+00	0.295006198E+00	0.295028929E+00	0.295052444E+00
0.295076017E+00	0.295099663E+00	0.295123397E+00	0.295147234E+00
0.295171186E+00	0.295195268E+00	0.295219491E+00	0.295243868E+00
0.295268408E+00	0.295293125E+00	0.295318028E+00	0.295343130E+00
0.295368440E+00	0.295393969E+00		

DISP4

0.165393291E-01	0.165974342E-01	0.168171789E-01	0.290448910E-01
0.301132150E-01	0.331409181E-01	0.643163294E-01	0.643906157E-01
0.677279821E-01	0.701323503E-01	0.756577999E-01	0.758103019E-01
0.764174938E-01	0.764272328E-01	0.764436768E-01	0.869107831E-01
0.895026038E-01	0.947612827E-01	0.952123040E-01	0.951801617E-01
0.954681790E-01	0.955938983E-01	0.955976067E-01	0.956119100E-01
0.956197419E-01	0.963491816E-01	0.966022220E-01	0.964452972E-01
0.969072671E-01	0.969714666E-01	0.969794393E-01	0.969876904E-01
0.969959621E-01	0.970042599E-01	0.970125892E-01	0.970209550E-01
0.970293621E-01	0.970378150E-01	0.970463183E-01	0.970548760E-01
0.970634922E-01	0.970721710E-01	0.970809163E-01	0.970897321E-01
0.970986219E-01	0.971075899E-01		

DISP5

0.111812976E-01	0.426034055E-01	0.584485229E-01	0.745951914E-01
0.551251164E-01	0.787909055E-01	0.922838237E-01	0.926020448E-01
0.952027487E-01	0.965896130E-01	0.984854681E-01	0.544825642E-01
0.963849279E-01	0.968693801E-01	0.973213156E-01	0.104340063E+00
0.105975293E+00	0.108185328E+00	0.100829759E-01	0.997276612E-01
0.432714373E-01	0.297120552E-01	0.293084899E-01	0.273069440E-01
0.262227682E-01	0.168562506E-01	0.310046021E-01	0.273511446E-01
0.177282789E-01	0.192314478E-01	0.192259352E-01	0.192529654E-01
0.192749942E-01	0.192924632E-01	0.193058028E-01	0.193153992E-01
0.193215919E-01	0.193246930E-01	0.193249751E-01	0.193226842E-01
0.193180441E-01	0.193112532E-01	0.193024891E-01	0.192919072E-01
0.192796624E-01	0.192658778E-01		

STRSS1

0.296203214E+01	0.297639674E+01	0.300009056E+01	0.470951478E+01
0.490198892E+01	0.528262818E+01	0.942572854E+01	0.943531785E+01
0.986704683E+01	0.101772207E+02	0.108874488E+02	0.109099234E+02
0.109889770E+02	0.109902445E+02	0.109924060E+02	0.123824981E+02
0.127259200E+02	0.134218804E+02	0.134780779E+02	0.134582315E+02
0.134999356E+02	0.135155124E+02	0.135159600E+02	0.135172039E+02

0.135180937E+02	0.136046976E+02	0.136335331E+02	0.136033435E+02
0.136610373E+02	0.136669631E+02	0.136676835E+02	0.136684310E+02
0.136691795E+02	0.136699293E+02	0.136706810E+02	0.136714351E+02
0.136721920E+02	0.136729521E+02	0.136737157E+02	0.136744833E+02
0.136752553E+02	0.136760319E+02	0.136768135E+02	0.136776005E+02
0.136783932E+02	0.136791919E+02		

STRSS2

0.280619871E+01	0.279460178E+01	0.280382078E+01	0.450638793E+01
0.462800011E+01	0.504767405E+01	0.896615267E+01	0.897530390E+01
0.938472078E+01	0.967880548E+01	0.103520833E+02	0.103649605E+02
0.104480581E+02	0.104493535E+02	0.104514914E+02	0.117725549E+02
0.120989765E+02	0.127603889E+02	0.127957026E+02	0.127929405E+02
0.128241270E+02	0.128368511E+02	0.128372143E+02	0.128380716E+02
0.128387489E+02	0.129143148E+02	0.129394820E+02	0.129191355E+02
0.129671724E+02	0.129724964E+02	0.129731709E+02	0.129738660E+02
0.129745626E+02	0.129752611E+02	0.129759620E+02	0.129766656E+02
0.129773723E+02	0.129780823E+02	0.129787961E+02	0.129795139E+02
0.129802361E+02	0.129809629E+02	0.129816947E+02	0.129824316E+02
0.129831741E+02	0.129839223E+02		

STRSS3

0.157475661E+01	0.162675291E+01	0.166107431E+01	0.240420275E+01
0.264703372E+01	0.271069984E+01	0.493298720E+01	0.493792567E+01
0.516820221E+01	0.533394843E+01	0.571419143E+01	0.575298856E+01
0.577001643E+01	0.577040524E+01	0.577129409E+01	0.651378099E+01
0.669723340E+01	0.706953304E+01	0.715995864E+01	0.709318291E+01
0.714434178E+01	0.715957607E+01	0.716002082E+01	0.716170380E+01
0.716273144E+01	0.723083799E+01	0.725338336E+01	0.720759357E+01
0.726127709E+01	0.726519573E+01	0.726557646E+01	0.726598817E+01
0.726639781E+01	0.726680588E+01	0.726721285E+01	0.726761918E+01
0.726802525E+01	0.726843147E+01	0.726883815E+01	0.726924565E+01
0.726965425E+01	0.727006424E+01	0.727047590E+01	0.727088949E+01
0.727130526E+01	0.727172343E+01		

STRSS4

0.408025477E+00	0.404175116E+00	0.404627436E+00	0.666049865E+00
0.677533104E+00	0.746659861E+00	0.133160697E+01	0.133298322E+01
0.139421037E+01	0.143818146E+01	0.153883262E+01	0.153960432E+01
0.155305288E+01	0.155325806E+01	0.155358776E+01	0.175034140E+01
0.179896246E+01	0.189746632E+01	0.190030527E+01	0.190243067E+01
0.190584489E+01	0.190747104E+01	0.190751729E+01	0.190761242E+01
0.190769263E+01	0.191818480E+01	0.192170108E+01	0.192004505E+01
0.192629602E+01	0.192709425E+01	0.192719968E+01	0.192730763E+01
0.192741594E+01	0.192752467E+01	0.192763386E+01	0.192774357E+01
0.192785385E+01	0.192796474E+01	0.192807629E+01	0.192818854E+01
0.192830154E+01	0.192841533E+01	0.192852995E+01	0.192864544E+01
0.192876185E+01	0.192887921E+01		

STRSS5

0.186225067E+00	0.181284457E+00	0.179928837E+00	0.313489196E+00
0.310767754E+00	0.351350957E+00	0.626553167E+00	0.627212474E+00
0.656131386E+00	0.676886635E+00	0.724366148E+00	0.723319436E+00
0.730987073E+00	0.731098985E+00	0.731268428E+00	0.824047557E+00
0.846974055E+00	0.893394334E+00	0.891495486E+00	0.895563894E+00
0.895618559E+00	0.896017462E+00	0.896028361E+00	0.896020639E+00
0.896029259E+00	0.899833318E+00	0.901122056E+00	0.901968441E+00
0.903700840E+00	0.904045802E+00	0.904096918E+00	0.904148369E+00
0.904200134E+00	0.904252226E+00	0.904304659E+00	0.904357448E+00
0.904410607E+00	0.904464150E+00	0.904518091E+00	0.904572447E+00
0.904627230E+00	0.904682457E+00	0.904738144E+00	0.904794307E+00
0.904850960E+00	0.904908123E+00		

T

0.400000000E+01	0.399843506E+01	0.399305471E+01	0.280586379E+01
0.275608950E+01	0.256793845E+01	0.162483891E+01	0.162346177E+01
0.156468118E+01	0.152513448E+01	0.144200680E+01	0.144200258E+01
0.143023743E+01	0.143006202E+01	0.142978522E+01	0.128511302E+01
0.125382587E+01	0.119496269E+01	0.119500346E+01	0.119477182E+01
0.119299470E+01	0.119233360E+01	0.119231649E+01	0.119236461E+01

0.119234749E+01	0.118800468E+01	0.118669746E+01	0.118846026E+01
0.118569172E+01	0.118557999E+01	0.118556347E+01	0.118554696E+01
0.118553045E+01	0.118551394E+01	0.118549743E+01	0.118548092E+01
0.118546441E+01	0.118544790E+01	0.118543140E+01	0.118541490E+01
0.118539839E+01	0.118538190E+01	0.118536540E+01	0.118534890E+01
0.118533240E+01	0.118531591E+01		

H

0.600000000E+03	0.604209141E+03	0.604475612E+03	0.549715818E+03
0.549559043E+03	0.540540782E+03	0.498177239E+03	0.498114649E+03
0.495367548E+03	0.493506036E+03	0.489556100E+03	0.489271523E+03
0.489207860E+03	0.489205874E+03	0.489200663E+03	0.484937153E+03
0.484006229E+03	0.482239926E+03	0.481506645E+03	0.481402552E+03
0.481194316E+03	0.481069085E+03	0.481065024E+03	0.481031110E+03
0.481019829E+03	0.480326095E+03	0.480056027E+03	0.479955224E+03
0.479565449E+03	0.479455759E+03	0.479442145E+03	0.479428037E+03
0.479413876E+03	0.479399652E+03	0.479385356E+03	0.479370978E+03
0.479356508E+03	0.479341939E+03	0.479327262E+03	0.479312470E+03
0.479297553E+03	0.479282504E+03	0.479267317E+03	0.479251982E+03
0.479236494E+03	0.479220843E+03		

ALF

0.785398163E+00	0.787087717E+00	0.786417265E+00	0.743579036E+00
0.740868088E+00	0.734865477E+00	0.693462523E+00	0.693400870E+00
0.690645903E+00	0.688771651E+00	0.684775913E+00	0.684370474E+00
0.684413275E+00	0.684412459E+00	0.684408255E+00	0.680044800E+00
0.679089475E+00	0.677272859E+00	0.676345643E+00	0.676411386E+00
0.676111649E+00	0.675963434E+00	0.675958684E+00	0.675921201E+00
0.675908075E+00	0.675136954E+00	0.674840958E+00	0.674828156E+00
0.674362628E+00	0.674248808E+00	0.674234973E+00	0.674220585E+00
0.674206150E+00	0.674191659E+00	0.674177100E+00	0.674162463E+00
0.674147738E+00	0.674132916E+00	0.674117988E+00	0.674102945E+00
0.674087780E+00	0.674072484E+00	0.674057049E+00	0.674041467E+00
0.674025731E+00	0.674009831E+00		

VOL

0.678822510E+08	0.680941208E+08	0.680175943E+08	0.456653786E+08
0.448494657E+08	0.414762792E+08	0.253429154E+08	0.253201377E+08
0.243485510E+08	0.236970409E+08	0.223332393E+08	0.223279862E+08
0.221446637E+08	0.221419120E+08	0.221375321E+08	0.198284909E+08
0.193310842E+08	0.183970759E+08	0.183867296E+08	0.183816088E+08
0.183511589E+08	0.183391213E+08	0.183387975E+08	0.183390317E+08
0.183386002E+08	0.182615009E+08	0.182374018E+08	0.182629960E+08
0.182146797E+08	0.182113395E+08	0.182108843E+08	0.182104218E+08
0.182099586E+08	0.182094945E+08	0.182090293E+08	0.182085629E+08
0.182080952E+08	0.182076261E+08	0.182071554E+08	0.182066831E+08
0.182062089E+08	0.182057328E+08	0.182052547E+08	0.182047744E+08
0.182042919E+08	0.182038071E+08		

DX

0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02		

DY

0.352941176E+02	0.354135822E+02	0.353661276E+02	0.324590850E+02
0.322829166E+02	0.318959310E+02	0.293355506E+02	0.293318716E+02
0.291678552E+02	0.290566984E+02	0.288208624E+02	0.287970187E+02
0.287995351E+02	0.287994871E+02	0.287992399E+02	0.285436050E+02
0.284878777E+02	0.283821452E+02	0.283282975E+02	0.283321128E+02
0.283147210E+02	0.283061241E+02	0.283058487E+02	0.283036749E+02

0.283029137E+02	0.282582235E+02	0.282410837E+02	0.282403426E+02
0.282134030E+02	0.282068195E+02	0.282060193E+02	0.282051871E+02
0.282043523E+02	0.282035143E+02	0.282026723E+02	0.282018258E+02
0.282009743E+02	0.282001172E+02	0.281992540E+02	0.281983842E+02
0.281975073E+02	0.281966229E+02	0.281957304E+02	0.281948295E+02
0.281939196E+02	0.281930004E+02		

DZ

0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02		

I

0.848528137E+03	0.851509651E+03	0.851698752E+03	0.813749028E+03
0.813643129E+03	0.807579307E+03	0.779859322E+03	0.779819340E+03
0.778067483E+03	0.776883651E+03	0.774380511E+03	0.774200635E+03
0.774160404E+03	0.774159148E+03	0.774155856E+03	0.771468757E+03
0.770883927E+03	0.769776166E+03	0.769317002E+03	0.769251855E+03
0.769121557E+03	0.769043214E+03	0.769040673E+03	0.769019459E+03
0.769012403E+03	0.768578660E+03	0.768409910E+03	0.768346938E+03
0.768103521E+03	0.768035041E+03	0.768026543E+03	0.768017736E+03
0.768008896E+03	0.768000017E+03	0.767991093E+03	0.767982118E+03
0.767973087E+03	0.767963993E+03	0.767954832E+03	0.767945599E+03
0.767936289E+03	0.767926897E+03	0.767917418E+03	0.767907848E+03
0.767898181E+03	0.767888414E+03		

DISP5	0.192658778E-01
DX	35.2941176
DY	28.1930004
DZ	50.0000000
H	479.220843
I	767.888414
L	5000.00000
STRSS1	13.6791919
STRSS2	12.9839223
STRSS3	7.27172343
STRSS4	1.92887921
STRSS5	0.904908123
T	1.18531591
VOL	18203807.1
W	600.000000

EK-2

KATLANMIS PLAGIN NONLINEER OPTIMIZASYONU

Optimization variables

Parameter	Min.	Max.	Toler.
DISP1	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP2	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP3	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP4	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
DISP5	0.000000000E+00	0.500000000E+00	0.100000000E-03
STRSS1	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS2	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS3	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS4	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
STRSS5	0.100000000E+00	0.235000000E+03	0.100000000E-02
T	0.100000000E+01	0.100000000E+02	0.100000000E-02
H	0.100000000E+03	0.100000000E+04	0.100000000E-02
ALF	0.872664626E-01	0.104719755E+01	0.100000000E-02
VOL	0.000000000E+00	0.000000000E+00	0.200000000E+03

Parameters values for all current design sets

DISP1

0.114133717E+00	0.290758850E+00	0.436321159E+00	0.470483228E+00
0.471958920E+00	0.300104059E+00	0.477017095E+00	0.450754833E+00
0.468853676E+00	0.482207689E+00	0.448789632E+00	0.476003899E+00
0.314444780E+00	0.464433003E+00	0.345573851E+00	0.468156609E+00
0.234916190E+00	0.434638615E+00	0.190903343E+00	0.181473097E+00
0.358478545E+00	0.665679260E-01	0.297380515E+00	0.436335609E+00
0.438784314E+00	0.442108090E+00		

DISP2

0.902239549E-01	0.898281150E-01	0.908513312E-01	0.913388868E-01
0.110482752E+00	0.111038628E+00	0.121967438E+00	0.129162705E+00
0.131678332E+00	0.156680882E+00	0.156700678E+00	0.165095382E+00
0.165001865E+00	0.173792034E+00	0.175670162E+00	0.181542901E+00
0.181611873E+00	0.182662352E+00	0.183032775E+00	0.183703601E+00
0.183947715E+00	0.202206918E+00	0.204580078E+00	0.205374301E+00
0.205388611E+00	0.205407234E+00		

DISP3

0.528936883E-01	0.525040395E-01	0.526881550E-01	0.528436384E-01
0.632837949E-01	0.651311215E-01	0.703763429E-01	0.752913385E-01
0.761762414E-01	0.905560335E-01	0.920604405E-01	0.961836902E-01
0.971375368E-01	0.101668870E+00	0.103430290E+00	0.106363980E+00
0.106741671E+00	0.107485483E+00	0.107808432E+00	0.108032826E+00
0.107955814E+00	0.117271131E+00	0.117660925E+00	0.117804240E+00
0.117806876E+00	0.117810409E+00		

DISP4

0.165388844E-01	0.164939762E-01	0.167162275E-01	0.168127591E-01
0.201504781E-01	0.205384872E-01	0.223096701E-01	0.237181114E-01
0.239446918E-01	0.289790885E-01	0.293513633E-01	0.307180438E-01
0.309241221E-01	0.324244281E-01	0.329458348E-01	0.339105048E-01
0.340203714E-01	0.342412520E-01	0.343514022E-01	0.344352729E-01
0.344123192E-01	0.374226487E-01	0.375230727E-01	0.375366773E-01
0.375369519E-01	0.375372730E-01		

DISP5

0.111514207E-01	0.356297328E-01	0.556685866E-01	0.603461393E-01
0.681977301E-01	0.351764703E-01	0.621556317E-01	0.424101697E-01
0.354940792E-01	0.851777520E-01	0.607858818E-01	0.743184537E-01
0.379588465E-01	0.617625310E-01	0.387361313E-01	0.488043752E-01
0.225321707E-01	0.428979930E-01	0.201361357E-01	0.132805457E-01
0.309068350E-01	0.663893027E-01	0.615622810E-01	0.519377294E-01
0.517700422E-01	0.515282800E-01		

STRSS1

0.295633053E+01	0.294631635E+01	0.296362222E+01	0.297414642E+01
0.357879501E+01	0.355905626E+01	0.401232509E+01	0.408993347E+01
0.418265664E+01	0.486890825E+01	0.489813762E+01	0.514678955E+01
0.512682052E+01	0.544327125E+01	0.543328756E+01	0.571363073E+01
0.567382331E+01	0.562959938E+01	0.565659112E+01	0.573620831E+01
0.578117189E+01	0.623609453E+01	0.635279464E+01	0.640006255E+01
0.640091280E+01	0.640205073E+01		

STRSS2

0.280450227E+01	0.279545983E+01	0.280890835E+01	0.281817058E+01
0.330341166E+01	0.339681413E+01	0.359644707E+01	0.397046457E+01
0.406149715E+01	0.461873457E+01	0.461965174E+01	0.483117765E+01
0.487327853E+01	0.505112670E+01	0.518658207E+01	0.522821276E+01
0.526702665E+01	0.540836728E+01	0.538123110E+01	0.532475959E+01
0.529750141E+01	0.604066904E+01	0.614314047E+01	0.618022286E+01
0.618087937E+01	0.618173482E+01		

STRSS3

0.157428045E+01	0.161034988E+01	0.165152435E+01	0.166426157E+01
0.174986417E+01	0.193199618E+01	0.195652396E+01	0.220395528E+01
0.221191663E+01	0.244189362E+01	0.265108807E+01	0.260795840E+01
0.275353740E+01	0.277405977E+01	0.291757137E+01	0.291545640E+01
0.294820514E+01	0.302501270E+01	0.301420145E+01	0.299224889E+01
0.297562488E+01	0.317487425E+01	0.318004167E+01	0.318867446E+01
0.318882895E+01	0.318905234E+01		

STRSS4

0.407797926E+00	0.403764091E+00	0.403805002E+00	0.404709723E+00
0.492082716E+00	0.491871675E+00	0.539824106E+00	0.564309581E+00
0.570814633E+00	0.676427432E+00	0.675340404E+00	0.713299045E+00
0.711859348E+00	0.750189059E+00	0.755856960E+00	0.781256106E+00
0.782088499E+00	0.783993414E+00	0.787396174E+00	0.790535571E+00
0.791069959E+00	0.860608985E+00	0.862990848E+00	0.863331841E+00
0.863338843E+00	0.863346833E+00		

STRSS5

0.186583399E+00	0.182641804E+00	0.181079967E+00	0.181152933E+00
0.231264512E+00	0.225093759E+00	0.251530975E+00	0.261920510E+00
0.266906402E+00	0.321681699E+00	0.310018002E+00	0.336981861E+00
0.329418760E+00	0.352448029E+00	0.350809697E+00	0.365198556E+00
0.364716385E+00	0.364836292E+00	0.366557180E+00	0.368092329E+00
0.368658464E+00	0.410849150E+00	0.413497845E+00	0.413736830E+00
0.413741248E+00	0.413745546E+00		

T

0.400000000E+01	0.399870584E+01	0.399437234E+01	0.398622573E+01
0.344562335E+01	0.343333504E+01	0.318253229E+01	0.303152811E+01
0.300147270E+01	0.266586731E+01	0.266559847E+01	0.254437038E+01
0.254365387E+01	0.242811461E+01	0.240932709E+01	0.234357350E+01
0.234109940E+01	0.232985007E+01	0.232234603E+01	0.231823850E+01
0.231754783E+01	0.212532018E+01	0.212100260E+01	0.212068944E+01
0.212068252E+01	0.212067559E+01		

H

0.600000000E+03	0.603941896E+03	0.604301621E+03	0.604210402E+03
0.586381285E+03	0.586374685E+03	0.582446722E+03	0.580667340E+03
0.580125894E+03	0.562590079E+03	0.562717941E+03	0.560440556E+03
0.560390633E+03	0.559335034E+03	0.558130899E+03	0.557796777E+03
0.557230024E+03	0.556814312E+03	0.556775011E+03	0.556843664E+03
0.557184120E+03	0.556562363E+03	0.556494888E+03	0.556485234E+03
0.556485049E+03	0.556484866E+03		

ALF

0.785398163E+00	0.787424565E+00	0.786718435E+00	0.786426649E+00
0.776295512E+00	0.773311304E+00	0.771953286E+00	0.768970269E+00
0.768911483E+00	0.754782954E+00	0.752709489E+00	0.752346569E+00
0.751070694E+00	0.750937415E+00	0.749145814E+00	0.749235705E+00
0.748600994E+00	0.748049048E+00	0.748060797E+00	0.748164528E+00
0.748519738E+00	0.748791014E+00	0.748894139E+00	0.748905833E+00
0.748906025E+00	0.748906205E+00		

VOL

0.678822510E+08	0.680835685E+08	0.680301746E+08	0.678862649E+08
0.578143570E+08	0.576078536E+08	0.532251930E+08	0.506246881E+08
0.501001829E+08	0.438535610E+08	0.438538013E+08	0.417801923E+08
0.417666932E+08	0.398345705E+08	0.394868085E+08	0.383984987E+08
0.383398984E+08	0.381424900E+08	0.380183979E+08	0.379533202E+08
0.379527493E+08	0.347868019E+08	0.347141861E+08	0.347087824E+08
0.347086637E+08	0.347085450E+08		

DX

0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02	0.352941176E+02
0.352941176E+02	0.352941176E+02		

DY

0.352941176E+02	0.354374484E+02	0.353874365E+02	0.353667914E+02
0.346573562E+02	0.344510762E+02	0.343576024E+02	0.341531427E+02
0.341491254E+02	0.331966045E+02	0.330589503E+02	0.330349115E+02
0.329505309E+02	0.329417281E+02	0.328236077E+02	0.328295248E+02
0.327877657E+02	0.327514919E+02	0.327522637E+02	0.327590782E+02
0.327824233E+02	0.328002624E+02	0.328070463E+02	0.328078157E+02
0.328078283E+02	0.328078401E+02		

DZ

0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02	0.500000000E+02
0.500000000E+02	0.500000000E+02		

I

0.848528137E+03	0.851320042E+03	0.851575275E+03	0.851510546E+03
0.838953522E+03	0.838948909E+03	0.836208218E+03	0.834969795E+03
0.834593346E+03	0.822500819E+03	0.822588281E+03	0.821032044E+03
0.820997967E+03	0.820277807E+03	0.819457199E+03	0.819229665E+03
0.818843880E+03	0.818561041E+03	0.818534307E+03	0.818581007E+03
0.818812643E+03	0.818389677E+03	0.818343791E+03	0.818337226E+03
0.818337100E+03	0.818336976E+03		

L

0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
0.500000000E+04	0.500000000E+04		

W

0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03
0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03
0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03
0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03
0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03
0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03	0.600000000E+03
0.600000000E+03	0.600000000E+03		

Current parameter names and values

ALF	0.748906205
DISP1	0.442108090
DISP2	0.205407234
DISP3	0.117810409
DISP4	0.375372730E-01
DISP5	0.515282800E-01
DX	35.2941176

DY	32.8078401
DZ	50.0000000
H	556.484866
I	818.336976
L	5000.00000
STRSS1	6.40205073
STRSS2	6.18173482
STRSS3	3.18905234
STRSS4	0.863346833
STRSS5	0.413745546
T	2.12067559
VOL	34708545.0
W	600.000000

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet KARATAŞ, 05.01.1993 tarihinde Elazığ'ın Palu ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. Lisans eğitimine 2012- 2013 eğitim yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. Lisans eğitiminden 2015-2016 eğitim yılında bahar döneminde dereceyle mezun oldu. 2016-2017 eğitim yılında güz döneminde Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı Yapı Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.

