

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVİRİMSEL VE TOPOLOJİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE EĞİLMEYE
ÇALIŞILAN BOŞLUKLU KİRİŞLERİN BOYUT ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ender ÇELİK

152143108

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Konstrüksiyon ve İmalat

Danışman: Prof. Dr. Vedat SAVAŞ

AĞUSTOS-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVİRİMSSEL VE TOPOLOJİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE EĞİLMEYE ÇALIŞILAN
BOŞLUKLU KİRİŞLERİN BOYUT ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ender ÇELİK

152143108

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Temmuz 2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Ağustos 2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vedat Savaş (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Faruk KARACA (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Zülküf DEMİR (B.Ü)



AĞUSTOS -2017

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bana çalışmamı öneren, çalışmamın her aşamasında beni büyük bir özveriyle destekleyen, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım kıymetli hocam ve danışmanım Sayın Prof.Dr. Vedat SAVAŞ'a, yüksek lisans öğrenimim sürecinde her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Doç.Dr. Ulaş ÇAYDAŞ Yrd.Doç.Dr. Emre TURGUT, ve Yrd.Doç.Dr. Sedat SAVAŞ'a değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tüm okul hayatım boyunca yanımda olan, her zaman yaşantıma rehber olan tertemiz yüreğiyle bir iyilik abidesi, eşi bulunmaz bir insan, ülkemizin bekası milletimizin refahı uğruna 8 Şubat 2017'de El-Bab'da şehit düşen Şehit P. Ütğm. Tarık KOÇOĞLU'na sonsuz şükranlarımı sunarım. Ruhu Şad olsun.

Beni yetiştiren bu günlere getiren annem Müzeyyen ÇELİK ve babam Yaşar ÇELİK'e, sevgili eşim Devran ÇELİK'e ve varlığıyla yaşam sebebim olan minik oğlum Rüzgar ÇELİK'e kucak dolusu teşekkürlerimi sunarım iyi ki varsınız.

Ender ÇELİK

Elazığ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
1.GİRİŞ	1
1.1. Petek Kirişlerin Tanıtılması.....	1
1.2. Altıgen Boşluklu Petek Kirişler (Castellated Beams)	2
1.3. Dairesel Boşluklu Petek Kirişler (Cellular Beams)	2
1.4. Petek Kirişlerin Faydaları Ve Yapılarda Kullanılma Sebepleri.....	2
1.5. Petek Kirişlerin Kullanım Alanları	6
1.6. Literatür Taraması	9
2. PETEK KİRİŞLERİN MÜHENDİSLİK YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ	19
2.1. Petek Kiriş İmalinde Ölçülendirme	19
2.2. Petek Kirişlerde Statik Hesaplamalar	20
2.2.1. Giriş	20
2.2.2. İzostatik Hesaplama Yöntemi.....	21
2.2.3. Pratik hesaplama Yöntemi	23
2.2.4. Gerilme Hesapları	26
2.2.5. Son Kontrollerin yapılması.....	28
2.2.6. Petek Kiriş Sehim Hesaplamaları	28
3. OPTİMİZASYON PROBLEMİNİN OLUTURULMASI	33
3.1. Optimizasyon Kavramı	33
3.2. Yapısal Optimizasyon.....	38
3.3.Yapılan Çalışmada Evrimsel Topolojik Optimizasyon Uygulanmasının Sebepleri	41
4.PETEK KİRİŞLERİN OPTİMİASYONU	43
4.1. İş Parçası.....	43
4.1.2. Modelleme	43

4.2. Evrimsel Topolojik Algoritmanın Oluşturulması ve Uygulanması.....	45
4.3. Optimal Gz Boşluğunun Boyutlandırılması	50
4.4. Tüm iş Parçalarının Modellenmesi	53
4.4.1 Petek Kirişlerin Modellenmesi	53
4.5. Analizlerin Yapılması.....	55
4.5.1. Gerilme Analizi	55
4.5.2. Sehim Analizleri	60
4.5.2.1. Normal Gerilmeler Altında Sehim Analizi.....	60
4.5.2.2. Yanal Kesme Kuvveti Altında Sehim Analizi.....	65
4.5.3. Ekonomiklik Faktörü	70
4.5.4. Sehim Faktörü.....	71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	75
ZGEMİş	80

ÖZET

Dünyanın hızla artan nüfusuna paralel olarak üretimin de artması kaçınılmazdır. Üretimin artması ile birlikte özellikle büyük şehirlerde üretim tesislerinin sayısının artmasının yanında bu tesislerin büyüklükleri de artmaktadır. Sanayileşmenin yanında artan nüfusa paralel olarak barınma yerlerinin daha yüksek ve daha büyük açıklığa sahip olması kaçınılmazdır.

Zaman ilerledikçe bu yüksek ve geniş açıklığa sahip üretim, barınma ve sosyo-kültürel yerlerin inşasında kullanılan çelik elemanların ekonomiklik faktörü de göz önünde bulundurularak kullanılmasına önem verilmektedir.

Bu gün gelişen ve gelişmekte olan ülkelerde büyük açıklık ve yüksekliğe sahip binaların taşıyıcı sistemlerinde kullanılan çelik elemanların ekonomiklik seviyesini arttırmak için petek kirişler kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı klasik petek kirişlerin üretildiği 1 profilleri evrimsel topolojik optimizasyon uygulayarak taşıma kapasitesi daha yüksek ve bunun yanında ağırlığı daha az olacak şekilde optimal göz boşluğunun şekil ve açıklığını belirlemektir. Elde edilen optimal göz şekil ve açıklığının etkileri, tasarlanan evrimsel topolojik optimizasyonunun, sonlu elemanlar yöntemi ile standart 1 profile uygulanması ile elde edilmiş olup, yine sonlu eleman yöntemi ile elde edilen optimal göz şekil ve açıklığa sahip optimal kiriş ile piyasada yaygın olarak kullanılan kirişlerin gerilim ve deplasman analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma; optimal kirişin ağırlık/taşıma kapasitesinin yaygın kullanılan petek kirişlere göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Topoloji optimizasyonu ile alışageldik petek kiriş geometrisi değişime uğramış ve de mukavimlik artmıştır.

Anahtar Sözcükler: Optimizasyon, Petek Kiriş, Evrimsel Topolojik Optimizasyon, Yapısal Optimizasyon

SUMMARY

Dimension Analysis Of Bending Perforated Beams With The Evolutionary Topological Optimization Method

It is inevitable that production will increase in parallel with the increasing demand of the world's rapidly increasing population. Along with the increase in production, the number of production facilities in major cities also increases and their size increases. In parallel with the growing population, it is inevitable that the places of welfare have higher and greater clearance

As time progresses, it is emphasized that steel elements used in production, accommodation and socio-cultural places with high and wide clearance should be taken into account in consideration of economy factor.

In today's developing and developing countries perforated beams are used to increase the economical level of the steel elements used in the bearing systems of buildings with large openings and heights. The aim of this study is to determine the optimal shape and clearance of the web openings in order to both increase the carrying capacity and decrease the weight of classic perforated beams by using evolutionary topological optimization technique. The effects of the optimal shape and web openings has been obtained by the application of the evolutionary topological optimization through finite elements method, and then the obtained optimal beam has been compared with widely used perforated beams in the market by using stress and displacement analysis. The designed beam was seemed to have more advantages then the widely used ones in industry with a less weight and higher carrying capacity. With the topology optimization, the usual classic perforated beams' geometry has been changed and stiffness was improved.

Key Words: Optimization, Castellated Beam, Cellular Beam, Perforated Beam, Evolutionary Optimization, Topology Optimization, Structural Optimization.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Petek Kirişlerin İmali	1
Şekil 1.2 Petek Kirişlere Ara Levha Eklenmesi	3
Şekil 1.3 Yükseklik-Mukavemet Momenti Grafiği.....	4
Şekil 1.4 Petek Kiriş Geometrisi	5
Şekil 1.5 15m Açıklıklığa Sahip Bir İnşaat, Londra.....	6
Şekil 1.6 ASTA Alışveriş Merkezi, Tamworth	6
Şekil 1.7 Bir Eğrisel Petek Kiriş Uygulaması, Winchester	7
Şekil 1.8 Blockpoo Otoparkı, Cork	7
Şekil 1.9 Stamford Bridge Stadyumu, Londra	8
Şekil 1.10 Bir stadyumda petek kirişlerin konsol dizaynı, Dumferline	8
Şekil 2.1 Ara Levha ve Ara Levhasız Petek Kiriş İmali	19
Şekil 2.2 Petek Kiriş İmalinde Ölçülendirme.....	20
Şekil 2.3 Yükün Oluşturduğu Moment ve Kesme Kuvvetine Ait Grafikler	22
Şekil 2.4 Petek Kiriş Başlık ve Dikmeleri.....	25
Şekil 2.5 Moment Diyagramı	29
Şekil 2.6 Kesme Kuvveti Diyagramı.....	30
Şekil 2.7 Her Bir Göze Etki Eden Kesme Kuvvet Diyagramını	30
Şekil 2.8 Her Göz İçin Yüksekli Etkisiyle Oluşan Momentler Diyagramı	31
Şekil2.9 Dikmelerde Meydana Gelen Kesme Kuvveti.....	31
Şekil 3.1 Örnek Optimizasyon Döngü Şemaları	34
Şekil 3.2 Amaç Fonksiyonu Çözüm Grafiği	36
Şekil 3.3 Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması.....	36
Şekil 3.4 Yapısal Optimizasyon Çeşitleri.....	38
Şekil 3.5 Topolojik Optimizasyon Uygulaması	39
Şekil 4.1 IPE 200 I Profili	43
Şekil 4.2 IPE 200 I Profilinin Modellenmesi	45
Şekil 4.3 Örnek Yapısal Optimizasyon Şeması.....	46
Şekil 4.4 IPE 200 I profiline Kısıt Değerlerin Uygulanması.....	48
Şekil 4.5 Evrimsel Topoloji Optimizasyon Döngü Şeması.....	49
Şekil 4.6 Evrimsel Topolojik Optimizasyon Uygulanacak Düzenek	50
Şekil 4.7 Optimal Göz Boşluğu.....	50

Şekil 4.8 Optimal Göz Boşluk Eğri Denklemi	52
Şekil 4.9 Optimal Petek Kiriş	52
Şekil 4.10 Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellenen Kiriş ve Özellikleri.....	54
Şekil 4.11 I Profil Gerilme Dağılımı	56
Şekil 4.12 Dairesel Boşluklu Petek Kiriş Gerilme Dağılımı	57
Şekil 4.13 Altıgen Boşluklu Petek Kiriş Gerilme Dağılımı	58
Şekil 4.14 Optimal Boşluklu Petek Kiriş Gerilme Dağılımı	59
Şekil 4.15 I Profil Dikey Sehım Dağılımı	61
Şekil 4.16 Dairesel Boşluklu Petek Kiriş Dikey Sehım Dağılımı	62
Şekil 4.17 Altıgen Boşluklu Petek Kiriş Dikey Sehım Dağılımı	63
Şekil 4.18 Optimal Boşluklu Petek Kiriş Dikey Sehım Dağılımı	64
Şekil 4.19 I Profil Yatay Sehım Dağılımı.....	66
Şekil 4.20 Dairesel Boşluklu Petek Kiriş Yatay Sehım Dağılımı	67
Şekil 4.21 Altıgen Boşluklu Petek Kiriş Yatay Sehım Dağılımı.....	68
Şekil 4.22 Optimal Boşluklu Petek Kiriş Yatay Sehım Dağılımı	69

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Altifilli Çalışmaları Sonuç Tablosu	9
Tablo 1.2 Topac ve Cooke Çalışmalarının Sonuç Tablosu	10
Tablo 1.3 Topac ve Cooke Çalışmalarının Sonuç Tablosu	11
Tablo 1.4 Shelbourne Çalışmaları Sonuç Tablosu	12
Tablo 1.5 Bazile ve Texier Çalışmalarının Sonuç Tablosu	12
Tablo 1.6 Husain ve Spair Çalışmalarının Sonuç Tablosu	13
Tablo 1.7 Husain ve Spair Çalışmalarının Sonuç Tablosu	14
Tablo 1.8 Galambos Çalışmalarının Sonuç Tablosu	14
Tablo 1.9 Zaarour ve Redwood Sonuç Tablosu	15
Tablo 1.10 Zaarour ve Redwood Sonuç Tablosu	15
Tablo 1.11 Zaarour ve Redwood Sonuç Tablosu	16
Tablo 1.12 Redwood ve Demirdijan Çalışmaları Sonuç Tablosu	16
Tablo 2.1 Petek Kiriş Moment Tablosu	25
Tablo 4.1 Petek Kiriş Ve Optimal Kirişimizin Bazı Özellikleri	53
Tablo 4.2 Gerilme Analiz Sonuçları	60
Tablo 4.3 Dikey Sehim Analiz Sonuçları	65
Tablo 4.4 Yatay Sehim Analiz Sonuçları	70
Tablo 4.5 Ekonomiklik Faktörü Grafiği	71
Tablo 4.6 Dikey ve Yatay Semin Faktörü	72

SEMBOLLER LİSTESİ

a : Başlıkların ağırlık merkezi arasındaki mesafe

f : Bir başlığın en kesit alanı

σ_m : başlığın ortalama emliyet gerilmesi

F_w : Peteklerin alanı

W_x : mukavemet momenti

$H_1; H_2, H_2$: Petek kiriş yüksekliği

v : Başlığa paralel kesişin üst başlığının dış kenarına mesafesi

F_{st} : Gövdenin dolu alanı

r : Dış yüksekliği

z : Ara parçası yüksekliği

h : Kesimden önceki kiriş yüksekliği

e : Tekrarlanan kesiş yolu birimi

G : Birim ağırlığı

P : Dikmeye etkiyen kuvvet

Q : Yayılı yük

M_m : M. gözdeki moment değeri

Q_m : M. dikme kesitindeki kiriş kesme kuvvetinin değeri

$N_{g,m}$: M. gözde başlık normal kuvveti

$M_{g,m}$: M. gözde başlık kuvveti

h_s : Kirişin iki başlığı arasındaki gövde yüksekliği

N : Dikme normal kuvveti

$\sigma_{g,1}$: Birinci gözdeki başlık kuvveti

$\sigma_{g,2}$: İkinci gözdeki başlık kuvveti

σ_{Pf1} : Birinci dikmede moment ve normal kuvvetten doğan gerilme değeri

$\sigma_{Pf,2}$: İkinci dikmede moment ve normal kuvvetten doğan gerilme değeri

M : Dikmeye etkiyen moment

σ_{em} : Emniyet gerilmesi

M_{max} : Dikmeye etkiyen maksimum moment

$W_k^{lüz}$: Petek kiriş seçimi için kullanılacak mukavemet momenti

L : Kirişin hesap açıklığı

h_k : K kesitine etkiyen yatay kuvvet

λ_k : Hirschfeld'e göre k kesitinin k-1 inci dikmeye olan uzaklığı

λ_k : Kesin hesap metodu matrisindeki kat sayılar

E : Elastisite modülü

I : Atalet momenti

I_{Pf} : Dikme en kesitlerinin gerçek atalet momenti

δ : Deplasman değeri

dx : İntegral sabiti

ΣQ_x : Toplam kesme kuvveti

J : Atalet momenti

h : Yapma kiriş hesap yüksekliği

h_{opt} : Yapma kiriş en kesiti optimum Yüksekliği

h_{min} : Yapma kiriş en kesiti minimum yüksekliği

W_t : Talep edilen mukavemet momenti

t_g : Gövde laması kalınlığı

t_b : Başlık laması kalınlığı

b_b : Başlık laması eni

h_g : Gövde laması yüksekliği

f : Sehim

c : Çubuk kesiti plastik şekil değiştirmelerini göz önüne alan katsayı

q : Uniform yayılı yük

A_b : Başlık laması kesit alanı

τ_{em} : Kayma emniyet gerilmesi

A_B : Mesnet reaksiyon kuvveti

l : Kiriş açıklığı

J_g : Gövde atalet momenti

J_b : Başlık atalet momenti

P : Tekil yük



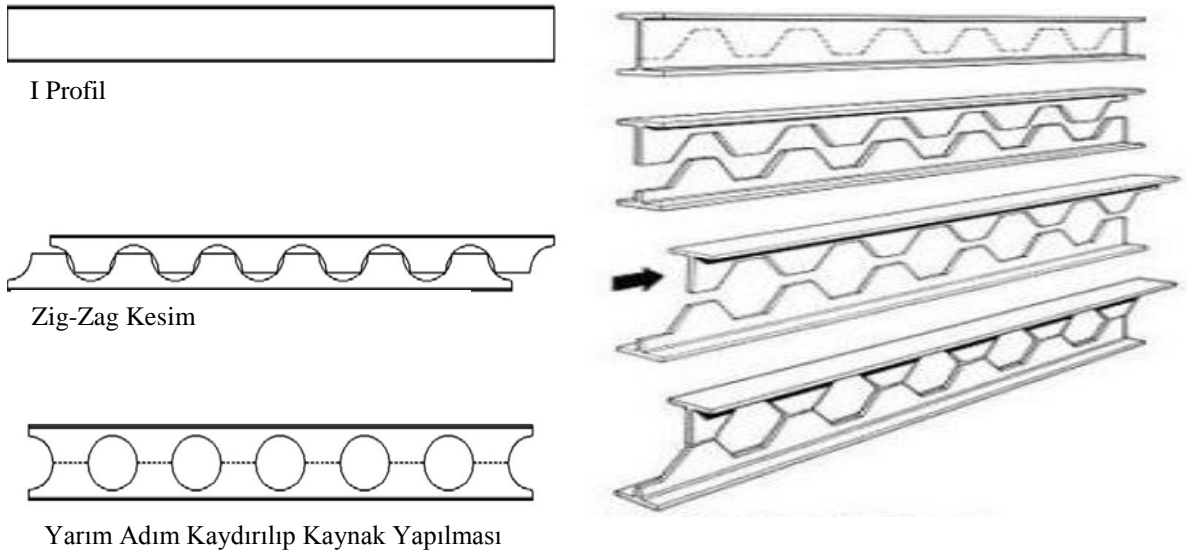
1.GİRİŞ

1.1. Petek Kirişlerin Tanıtılması

Mühendisliğin amacı kaliteyi en ucuza üretmek olarak özetlenebilir. Bu ilke doğrultusunda onlarca yıldır mühendisler araştırmalar yaptılar. Bu araştırmaların sonucu ortaya çıkan ürünlerden bir tanesi de petek kirişlerdir. Farklı geometride göz açıklığına sahip petek kirişler katların faydalı yüksekliğini arttırmak ve bina konstrüksiyonuna etkileyen daha az ağırlıklarıyla uzun yıllardır yapılarda kullanılmaktadır.

Petek kirişler I kesitli çelik profilin zig zag şeklinde kesilmesi, birbirine göre adım adım kaydırılıp tekrar kaynak yapılması Şekil 1.1’de gösterildiği gibi imal edilir. Bu işlem sonunda toplam profil yüksekliği artacak dolayısıyla orijinal kirişe göre mukavemeti daha büyük bir kiriş elde edilecektir.

Gövde boşluklarının altıgen olan kirişler bal peteklerinin şekline benzerliğinden dolayı petek kiriş olarak adlandırılmıştır. Genel anlamda göz açıklığının geometrisine göre iki tip petek kiriş vardır. Bunlar dairesel göz açıklığına, (İng. Cellular) ve de altıgen göz açıklığına (İng. Castellated) sahip petek kirişlerdir. Gelişen imalat teknolojisini de etkisiyle farklı geometrilere göz açıklığına sahip petek kirişler üretilmeye başlanmıştır. Bazı durumlarda petek kirişin yüksekliğini arttırmak için Şekil 1.2’de görüldüğü gibi kesilen kiriş çiftlerinin arasına ek levha da konabilir.



Şekil 1.1 Petek kirişlerin imali

1.2. Altıgen Boşluklu Petek Kirişler (Castellated Beams)

Çelik I profilin yatay eksenini merkez alacak biçimde testere dişine benzer bir şekilde zig zag olarak kesilip daha sonra bu iki yarımın tekrar kaynak yapılarak birleşmesi sonucu tekrar bütün bir kiriş oluşur. Bu işlem sonucunda oluşan kirişin yanal yüzeyinde altıgen şekline boşluklar oluşur ki kiriş ismini bu boşlukların geometrisinden alır.

Bu kesme ve yeniden kaynak yapma işlemleri kirişin yüksekliğini dolayısıyla da atalet momentini arttıracaktır. 1900 yılların başından beri bu işlem ile ağırlığı azalırken ağırlık/taşıma oranı yani ekonomiklik faktörü artan petek kirişler bir çok çelik konstrüksiyon yapıda kullanılmaktadır.

1.3. Dairesel Boşluklu Petek Kirişler (Cellular Beams)

Dairesel boşluklu petek kirişlerin ortaya çıkışı sanılanın aksine uzun statik hesapların değil de tamamen mimari estetik kaygılarının sonucudur. Bu petek kirişlerin üretimleri altıgen boşluklu petek kirişlere göre bir kademe daha zahmetlidir. Altıgen boşluklu petek kirişler de kesme işlemi bir kez uygulanırken dairesele boşluklu petek kirişlerde bu işlem iki kere uygulanır.

İş parçası olarak seçilen çelik I profilin yanal yüzeyinin ekseni merkez alınarak yarım daire şeklinde 2 defa kesim yapılır. Altıgen boşluklu petek kirişlerde olduğu gibi iki yarım parça birbirine göre yarım adım kaydırılır ve yeniden kaynak yapılarak dairesele boşluklu petek kiriş elde edilir. Dairesel boşluklu petek kirişlerde de altıgen boşluklu petek kirişlerde olduğu gibi kiriş yüksekliği arttırılarak ağırlık/taşıma oranı artırılmış daha hafif ve mukavemeti yüksek kiriş elde edilmektedir. Dünya genelinde dairesele boşluklu petek kirişlerin kullanıldığı bina sayısı üç bin beş yüzü geçmektedir[1]. Dairesel boşluklu petek kirişlerin estetik kaygıların etkisiyle de en çok kullanıldığı yapı tipleri ofisler, otoparkalar, alışveriş merkezleri, gibi asma katların kullanıldığı yapılardır.

1.4. Petek Kirişlerin Faydaları ve Yapılarda Kullanılma Sebepleri

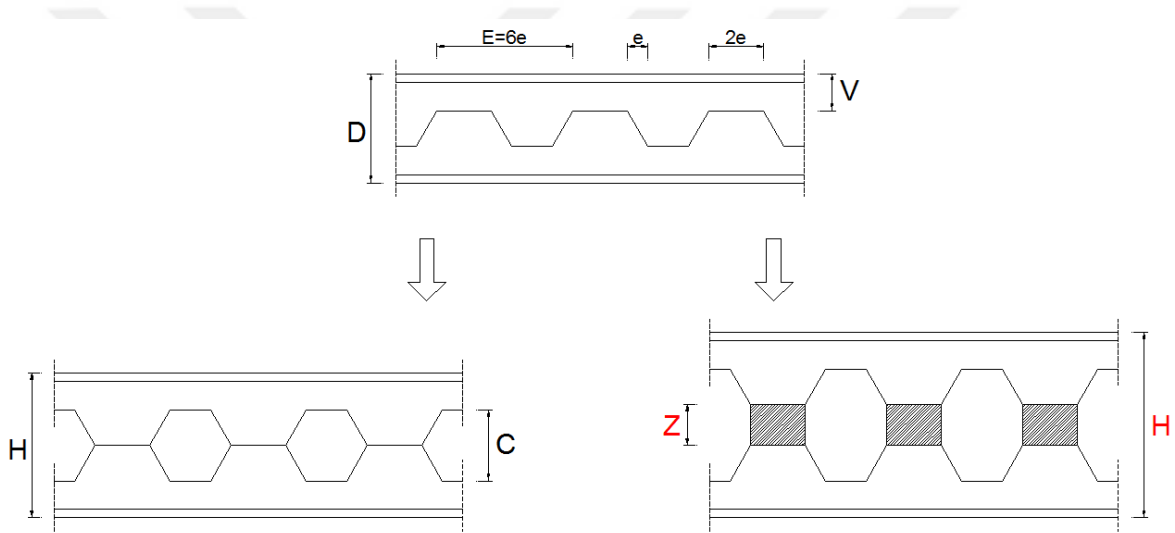
Petek kirişlerin avantajları

- Boşluklar nedeniyle boya yüzeyinin azalması,
- Daha az ağırlık ile daha fazla yük taşıyabilmeleri,
- Geniş açıklık ile bina yüksekliğini sağlayabilmeleri,

olarak sıralanabilir.

Petek kirişlerin imali I profillerin kullanılmasında bir dönüm noktasıdır. O kadar yararlı olmuştur ki ortaya atıldığı ilk yıllarda zekice fikir “brilliant idea” olarak değer görmüştür[2].

Eğilmeye çalışan kirişlerin taşıma kapasitesi, bir diğer ifade ile eğilme momentleri kiriş yüksekliğinin karesi ile doğru orantılıdır. Bu bağlamda çelik kirişlerin taşıma kapasitesini arttırmak için yüksekliğinin artırılması zorunluluğu ortaya çıkar. Fakat bu işlemi yaparken mühendislik ilkelerinden biri olan ekonomiklik faktörü de göz önünde tutulmalıdır. Bu alanda yapılan araştırmalar çelik kirişlerin doğmasına sebep olmuştur. Ancak yeterli ve sağlıklı araştırma yapılmazsa bu kazanım güvenliğin yeteri kadar olmamasından dolayı kayba dönüşür.



Şekil 1.2 Petek kirişlere ara levha eklenmesi

Genel olarak kirişin emniyetle taşıyabileceği yük, yani moment yaklaşık olarak

$$M = a * f * \sigma_m \quad (1.1)$$

Bu bağındaki simgelerin anlamları:

M: Kirişin taşıyabileceği moment

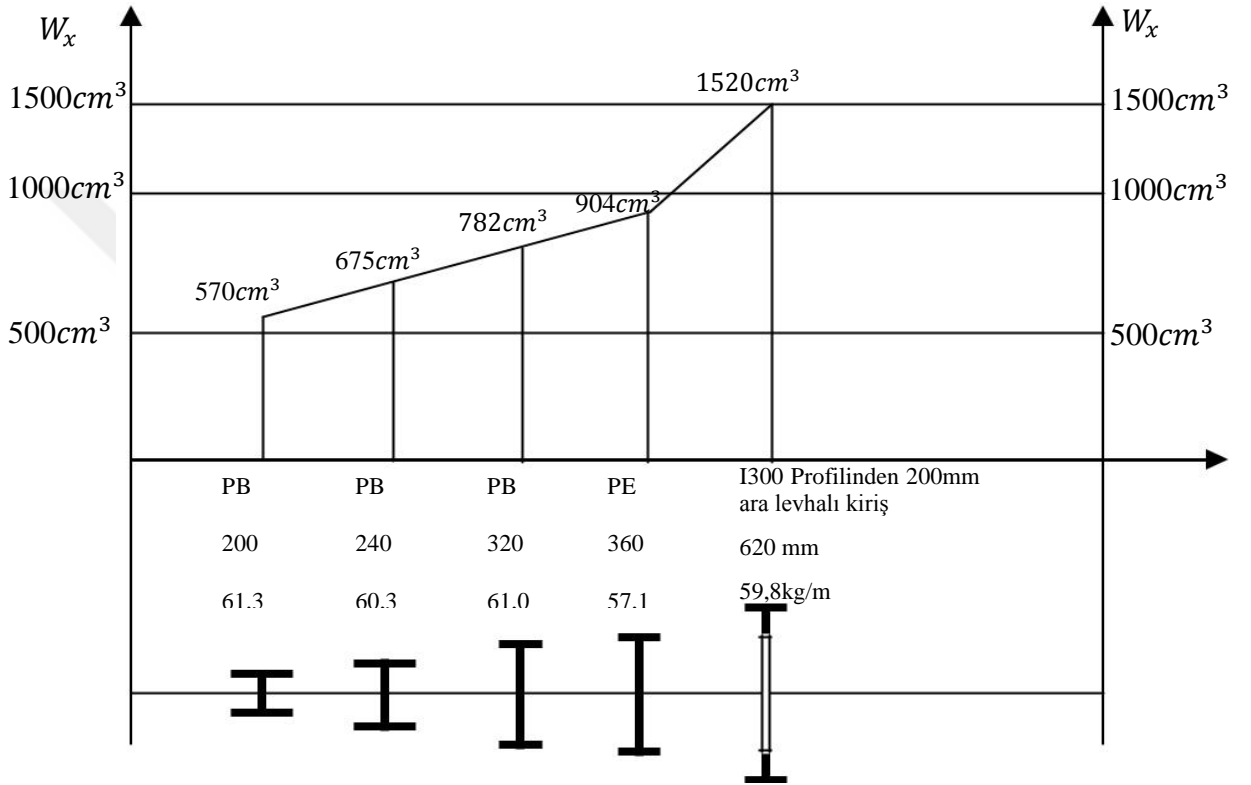
f: Kirişin üs bölüm en kesit alanı

a: Kirişin üst kısmı ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

σ_m :Kirişin emniyetli gerilmesi

Bu bağıntıdan anlayabileceğimiz gibi a mesafesi yani kirişin yüksekliği ne kadar artarsa taşıyabileceği momentte buna bağlı olarak artacaktır.

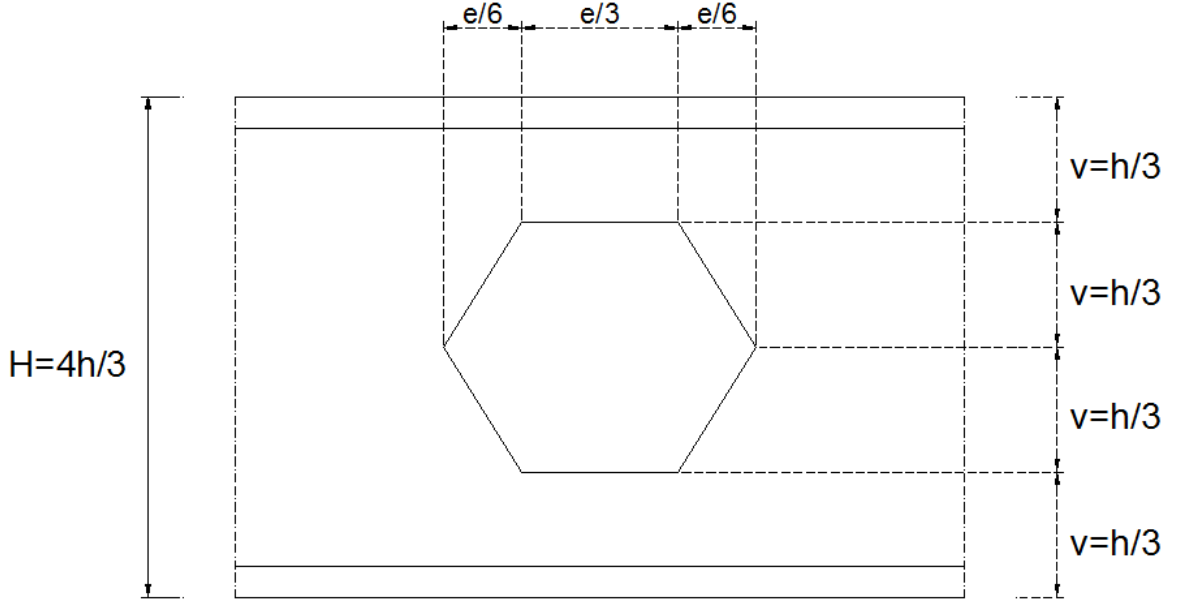
Şekil 1.3'ten de anlayabileceğimiz gibi yüksekliği daha da arttırmak için ara levha kullanılan kirişlerde mukavemet momentlerinin açıkça arttığını görüyoruz.



Şekil 1.3 Yükseklik-mukavemet momenti grafiği

Petek kirişlerin orijinal I profillere göre yüksekliklerindeki 30-40% artışın bize aynı oranda taşıma kapasitesi olarak geri dönmektedir[3]. Yaklaşık aynı ağırlığa sahip bu dört kirişin tek farkı yalnızca gövde yüksekliklerinin artmış olmasıdır. Bu da ağırlığı sabit tutarak taşıma kapasitesini arttırmanın en iyi yolunun gövde yüksekliğinin arttırmak olduğunu bizlere göstermektedir.

Gövde yüksekliğini arttırılması sonucu oluşan ve kirişlere ismini veren göz boşlukların estetik güzellikleri yanında diğer faydaları da vardır. Bunlardan bir tanesi kirişin yanal alanın azaltılmasıdır.



Şekil 1.4 Petek kiriş geometrisi

Şekil 1.4’de tipik bir petek kirişin geometrisi görülmektedir. Şekil 1.4’ten aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$v = \frac{h}{3}, e = \frac{4h}{3}, h = h + \frac{h}{3} = \frac{4h}{3} \quad (1.2)$$

Olarak alınırsa gövde boşluğunun alan yaklaşık olarak

$$F_w = \frac{h}{3} * \frac{4h}{3} = \frac{4h^2}{9} \quad (1.3)$$

Olarak bulunur dolu alan ise

$$F_{st} = H * e = \frac{4h}{3} * \frac{4}{3} = \frac{16h^2}{9} \text{ olduğu görülür.} \quad (1.4)$$

Bağıntılardan petek kiriş üretim işlemi sonucunda kirişin yanal yüzeyinden yaklaşık %25 gibi bir kazanç sağladığı görülmektedir. Ara levha kullanılması halinde bu oran daha da artacaktır.

Petek kirişlerin kullanım faydaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Kiriş ağırlığına kıyasla rijitliğin yüksek sehimin düşük olması
- Yanal alandaki azalmadan dolayı boya ve koruyucu giderlerin azalması
- Bina içinde kullanılan bütün tesisatların içinden geçirilerek faydalı kat yüksekliğinin artırılması

- Ağırlığın azaltılmasının bir sonucu olarak çelik malzeme fiyatının düşük olması, yapı eleman ağırlığının düşürülmesi ve taşıyıcı elemanlara daha az yük binmesi
- Estetik görünüşüdür

1.5. Petek Kirişlerin Kullanım Alanları

Petek kirişler daha önce bahsettiğimiz gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. İnşalarda ise genel olarak çatı aşıkları, hal kafes kirişleri, hal kolonları, Şekil 1.5'te olduğu gibi kat kirişleri, kemer şeklinde kirişler gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.



Şekil 1.5 15m açıklıklığa sahip bir inşaat, Londra

Petek kirişler düşük maliyetleri nedeniyle çatı kirişi olarak da kullanılabilir. Petek kirişler Şekil 1.6'da görüldüğü gibi çatı uygulamalarında mükemmel bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadırlar. Bu uygulama ile petek kirişler orijinal I profillere göre muazzam bir tasarruf sağlarken kolonlara minimum yük binmektedir



Şekil 1.6 ASTA alışveriş merkezi, Tamworth



Şekil 1.7 Bir eğrisel petek kiriş uygulaması, Winchester

Petek kirişler otopark gibi geniş açıklığa sahip yapılar için önemli bir yapı elemanıdır. (Şekil 1.8) Petek kirişler modern yapılarda düşük ağırlıklarının yanında tam olması gerektiği kadar petek yüksekliği, hafiflik ve de insan sağlığı için hayati öneme sahip iç hava sirkülasyonunun oluşmasını sağlarlar.



Şekil 1.8 Blockpoo otoparkı, Cork

Düşük maliyeti ve yapısal etkinliği petek kirişleri Şekil 1.9 ve Şekil 1.10'da görüldüğü gibi büyük yükseklik ve açıklığa sahip spor tesislerinde kullanılmasını kaçınılmaz kılar. Kullanılan petek kirişler orijinal peteğe nazaran çok daha hafif ve mükavimliğe sahiptir.



Şekil 1.9 Stamford Bridge Stadyumu, Londra



Şekil 1.10 Bir stadyumda petek kirişlerin konsol dizaynı, Dumferline

1.6. Literatür Taraması

Boşluklu çelik kirişler mühendisler tarafından ilk olarak 1940lı yıllarda çelik yapılarda maliyeti düşürmek maksadıyla kullanıldı[1]. Çelik kirişin ağırlığında herhangi bir artış olmaksızın rijitliğindeki artış tasarımcıların petek kirişi tercih etmelerinde daima ön planda tutukları bir husus olmuştur. Kompozit olmayan boşluklu kirişler ile ilgili yapılan çalışmalar literatürde kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Kirişlerle ilgili yapılan bu çalışmaların neden sonuç ve amaçları ana hatları ile kronolojik olarak sıralanmıştır.

Boşluklu kompozit olmayan kirişlerle ilgili olarak Altifilli'nin yaptığı çalışma ilk olarak gösterilebilir. Bu çalışmanın ana amacı petek kirişlerin yapılar içinde elastik ve plastik bölgelerdeki gerilme ve hasar durumlarını incelemektir[3]. Bu çalışmada genel olarak 3 farklı fabrikasyon kiriş için kiriş yüksekliğinin etkileri, göz açıklığı geometrisi ve de göz açıklığının büyüklük oranlarının etkileri incelenmiştir. Birinci iş parçası için burulma rijitliği incelendi. Bu iş parçası t başlığında oluşan kenar çekme ve kenar burulmaların etkisiyle hasara uğradı. İkinci iş parçası için üç çeşit test gerçekleştirildi. Fakat testlerden bir tanesi kiriş hasar görene kadar yükleme içerdiği için kayıtlardan çıkarıldı. Diğer iki testte ise elastik bölgede kirişin eğilme ve gerilme analizleri doğrulanmıştır. Üçüncü tip iş parçası yine elastik bölgede ikinci tip iş parçasına benzer şekilde 2 teste tabi tutulmasının yanında hasara uğrayacağı üçüncü tip bir teste de tabi tutuldu. Basma gerilmesi altında göz açıklıklarını n köşelerinde oluşan yerel kesme kuvveti bu çalışma ile tanımlandı. Tüm bu çalışmalar sonucunda yüksekliği artırılan kirişlerin %10-35 daha fazla moment dolayısıyla daha fazla yük taşıdıklarını görülmüştür. Bu çalışmada yapılan ve elde edilen değerler Tablo 1.1'de görülmektedir.

Tablo 1.1 Altifilli çalışmaları sonuç tablosu[3].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ
d_a	330,20 mm	374,65 mm	412,75 mm
b_f	100,33 mm	100,33 mm	100,33 mm
t_w	4,57 mm	4,57 mm	4,57 mm
t_f	5,18 mm	5,18 mm	5,18 mm
e	85,73 mm	88,90 mm	251 mm
h_0	158,75 mm	247,65 mm	323,85 mm
s	330,20 mm	425,45 mm	501,65 mm
φ	45°	45°	45°
$F_{v-aöz}$	326,81 Mpa	326,81 Mpa	326,81 Mpa
$F_{v-kenar}$	297,51 Mpa	297,51 Mpa	297,51 Mpa
Maksimum Yük	199,6 Mpa	-	252,5 Mpa
Hasar Tipi	Kenar Burkulma	-	Kenar Burkulma

Daha sonraki yıllarda Topac ve Cooke 10 ayrı kirişi dört farklı noktada yükleyerek petek kirişlerin yükleme kapasiteleri ile optimum göz açıklıklarını araştırmışlardır. Bu çalışmanın deneysel sonuçları ile teorik hesaplamalarını karşılaştırılmıştır. İlk iki kirişte yanal burkulmalar nedeniyle oluşan hasarlardan dolayı bu kirişler çalışmadan çıkarılmıştır. Üçüncü testin son değerleri kayıt altına alınmasına rağmen, konu hakkında detaylı bilgi verilmemiştir. Uygulanan yük en yüksek değere ulaştığında basma kuvvetinin etkisiyle oluşan burkulma sonucu kenarlarda hasar olduğu görülmüştür. 5. numunede eğilme bölgesindeki akma ve kenar burulması tanımlanmıştır. 6. numunede sabit moment bölgesinde basma kuvvetinin etkisiyle kenarlarda burulmanın etkisiyle hasarların meydana geldiği görülmüştür. 7. numune de göz açıklıklarında Vierendeel mekanizması adı verilen etki yüzünden hasarlar tespit edilmiştir. 8. ve 9. numunelerde sabit moment bölgesinde basma kuvvetinin etkisiyle oluşan kenar burulmalarının yanında en yüksek kayma kuvveti bölgesinde Vierendeel eğilmesi gözlenmiştir. Bu çalışmaya ait detaylar aşağıdaki Tablo 1.2 ve 1.3'te verilmiştir[4].

Tablo 1.2 Topac ve Cooke çalışmalarının sonuç tablosu[4].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ	5.KİRİŞ
d_g	266,70 mm	281,94 mm	297,94 mm	335,28 mm	330,96 mm
b_f	101,60 mm	101,60 mm	100,33 mm	101,60 mm	100,33 mm
t_w	4,57 mm	4,50 mm	4,83 mm	4,34 mm	4,70 mm
t_f	5,13 mm	5,08 mm	5,13 mm	5,13 mm	5,11 mm
e	57,15	57,15 mm	57,15 mm	57,15 mm	57,15 mm
h_0	133,10 mm	143,26 mm	196,34 mm	247,40 mm	264,92 mm
s	247,40 mm	257,56 mm	310,64 mm	361,70 mm	379,22 mm
φ	45°	45°	45°	45°	45°
$F_{y-göz}$	274,14 Mpa	274,14 Mpa	274,14 Mpa	290,10 Mpa	290,10
$F_{y-kenar}$	274,14 Mpa	274,14 Mpa	274,14 Mpa	290,10 Mpa	290,10
Maksimum	-	-	-	215,1 Mpa	287,3 Mpa
Hasar Tipi	-	-	-	Kenar Burkulması	Kenar Burkulması

Tablo 1.3 Topac ve Cooke çalışmalarının sonuç tablosu[4].

KİRİŞ	6.KİRİŞ	7.KİRİŞ	8.KİRİŞ	9.KİRİŞ	10.KİRİŞ
d_g	297,18 mm	330,20 mm	295,91 mm	354,33 mm	200,91 mm
b_f	99,06 mm	101,60 mm	100,33 mm	100,33 mm	100,33 mm
t_w	4,70 mm	4,72 mm	4,45 mm	4,70 mm	4,70 mm
t_f	5,08 mm	5,08 mm	5,16 mm	5,13 mm	5,11 mm
e	57,15 mm	76,20 mm	38,10 mm	38,10 mm	-
h_0	195,58 mm	264,16 mm	194,31 mm	309,63 mm	-
s	347,98 mm	416,56 mm	270,51 mm	385,63 mm	-
φ	45°	45°	45°	45°	-
$F_{y-göz}$	290,10 Mpa	296,41 Mpa	296,41 Mpa	296,41 Mpa	-
$F_{y-kenar}$	290,10 Mpa	296,41 Mpa	296,41 Mpa	296,41 Mpa	-
Maksimum	-	320,6 Mpa	274,1 Mpa	406,8 Mpa	-
Hasar Tipi	-	Kesme mekanizması	Kenar Burkulma	Kesme mekanizması	-

1966 yılında Shelbourne yedi farklı numune için basit mesnetlenmiş kirişlerin eğilme mukavimliliğini test eden bir analiz yazılımı geliştirdi. Bu çalışmanın amacı farklı yük kombinasyonları altında petek kirişlerin davranışı üzerindeki kesme kuvveti ve momentler arasındaki etkileşimi incelemektir[5]. İlk numunede orta açıklıkta tek konsantrasyonlu yük altında birinci ve ikinci delik arasındaki diğer bir direğin ortasında verimlilik sağlayamadı. İkinci örnekte incelen momentin ikinci örnekte 2 noktada yoğunlaşmış yükün momente etkisi incelenmiştir. İkinci numunedeki hasar hem kesme kuvveti hem de momentin etkisi altında kalmasından kaynaklanmaktaydı. Üçüncü numune iki noktadan yükleme ile maksimum yüke maruz bırakıldı ve göz açıklığında oluşan burulmanın etkisiyle hasara uğradı. Dördüncü numune de hasarın sebebi olan burulma tüm göz boşlukları boyunca incelendi. Bu çalışmalara ek olarak Shelbourne üç numuneyle daha eğilme momentini incelemek için deneyler yaptı. İlk iki testte eğilme mekanizmalarının etkisiyle parça hasara uğradığı şekliyle kayıt altına alındı. Tüm bu çalışmaların verileri aşağıdaki Tablo 1.4 te verilmiştir.

Tablo 1.4 Shelbourne çalışmaları sonuç tablosu[5].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ
d_g	228,60 mm	228,60 mm	228,60 mm	228,60 mm
b_f	76,20 mm	76,20 mm	76,20 mm	76,20 mm
t_w	5,84 mm	5,84 mm	5,84 mm	5,84 mm
t_f	9,58 mm	9,58 mm	9,58 mm	9,58 mm
e	38,10 mm	38,10 mm	38,10 mm	38,10 mm
h_0	152,40 mm	152,40 mm	152,40 mm	152,40 mm
s	164,59 mm	164,59 mm	164,59 mm	164,59 mm
φ	60°	60°	60°	60°
$F_{y-göz}$	283 Mpa	283 Mpa	283 Mpa	283 Mpa
$F_{y-kenar}$	283 Mpa	283 Mpa	283 Mpa	283 Mpa
Maksimum Yük	338,2 Mpa	366,8 Mpa	382,5 Mpa	362,9 Mpa
Hasar Tipi	Orta nokta Eğilmesi	Orta nokta Eğilmesi	Göz Burkulması	Göz Burkulması

Bazile ve Texier[6] çalışmalarında 2 farklı kiriş türü için, göz yüksekliği ve geometrisinin burulma mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada hasarların genellikle göz açıklıklarının maksimum kesme kuvvetine maruz kaldığı bölgede meydana geldiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen veriler Tablo 1.5'te görülmektedir.

Tablo 1.5 Bazile ve Texier çalışmalarının sonuç tablosu[6].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ
d_g	500 mm	600 mm	500 mm
b_f	300 mm	300 mm	135 mm
t_w	10 mm	10 mm	6,60 mm
t_f	18,50 mm	17,50 mm	10,20 mm
e	168 mm	168 mm	138 mm
h_0	300 mm	370 mm	320 mm
s	504 mm	507 mm	414 mm
φ	$60,80^\circ$	55°	$52,50^\circ$
$F_{y-göz}$	370 Mpa	302 Mpa	336 mm
$F_{y-kenar}$	299 Mpa	145 Mpa	249 mm
Maksimum Yük	297,7 Mpa	251,1 Mpa	211,9 Mpa
Hasar Tipi	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması

1971 yılında Husain ve Spair çeşitli yük koşullarında basitçe mesnetlenmiş altı farklı petek kiriş üzerinde kaynak noktalarının kopup kopmama durumlarını inceleyen bir çalışma yapmışlardır[7]. Her bir kirişin burulma mukavemetlerini arttırmak için yanıl destekler kullanılmış ve yataklar sertleştirilmiştir. İlk iki numune tek noktadan yüklemeye diğer numuneler ise iki noktadan yüklemeye tabi tutuldu. Kayma gerilmeleri her bir kiriş için kayıt altına alındı. Gerinim sertleşmesinden dolayı ölçülen kayma gerilmesi beklenen çekme gerilmesi değerlerinden daha yüksek olarak ölçülmüştür. Tüm bu çalışmalar sonucu boğaz genişliğinin daraltılmasının yük taşıma performansını arttırdığı belirlenmiştir. Çalışma sonucu elde edilen veriler Tablo 1.6 ve 1.7 de verilmiştir.

Tablo 1.6 Husain ve Spair çalışmalarının sonuç tablosu[7].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ
d_g	381 mm	381 mm
b_f	101,60 mm	101,6 mm
t_w	4,88 mm	5,33 mm
t_f	6,83 mm	6,83 mm
e	68,33 mm	50,55 mm
h_0	254 mm	254 mm
s	390,53 mm	247,65 mm
φ	60,80°	60°
F_y	248,21 Mpa	248,21 Mpa
Maksimum Yük	441 Mpa	330,1 Mpa
Hasar Tipi	Göz Burkulması	Göz Burkulması

Tablo 1.7 Husain ve Spair çalışmalarının sonuç tablosu[7].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ
d_g	381 mm	381 mm	381 mm	381 mm
b_f	101,60 mm	101,60 mm	101,60 mm	101,60 mm
t_w	4,88 mm	4,88 mm	4,88 mm	4,88 mm
t_f	6,83 mm	6,83 mm	6,83 mm	6,83 mm
e	68,33 mm	68,33 mm	68,33 mm	68,33 mm
h_0	254 mm	254 mm	254 mm	254 mm
s	390,53 mm	390,53 mm	390,53 mm	390,53 mm
φ	45°	45°	45°	45°
F_y	248,21 Mpa	248,21 Mpa	248,21 Mpa	248,21 Mpa
Maksimum Yük	407,5 Mpa	407 Mpa	478,1 Mpa	344,3 Mpa
Hasar Tipi	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması

Galambos vd. 1975 yılında W10x45 kesitli profilden üretilmiş dört petek kiriş üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın amacı elastik ve plastik bölgedeki gerinim oranının belirlenmesine yönelik analitik analizleri deneysel olarak da doğrulamaktır[8]. Tüm kirişlerin orta noktasına tekil yük uygulanmış, deney boyunca kirişin açıklığı ve kaynak noktaları sabit kabul edilmesine rağmen kirişin yüksekliği farklı genişleme oranlarına bağlı olarak değişmiştir. Her bir numune için en son yük taşıma kapasitesi değerleri kaydedilmesine rağmen uğradıkları hasar hakkında değerlendirme yapılmamıştır. Bu çalışmaya ait değerlerin kayıtları Tablo 1.8’de daha detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1.8 Galambos çalışmalarının sonuç tablosu[8].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ
d_a	302,65 mm	354,58 mm	381 mm	381 mm
b_f	101,60 mm	101,60 mm	101,60 mm	101,60 mm
t_w	5,84 mm	5,84 mm	5,84 mm	5,84 mm
t_f	6,86 mm	6,86 mm	6,86 mm	6,86 mm
e	152,40 mm	152,40 mm	452,40 mm	152,40 mm
h_0	100,89 mm	202,59 mm	176,58 mm	302,51 mm
s	425,45 mm	425,45 mm	425,45 mm	425,45 mm
φ	39,9°	59,30°	55,68°	68,30°
F_y	333,43 Mpa	333,43 Mpa	333,43 Mpa	333,43 Mpa
Maksimum Yük	225,2 Mpa	244,6 Mpa	238,9 Mpa	266,8 Mpa
Hasar Tipi	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması

Zaarour ve Redwood açıklıklar arasındaki direklerin burkulmasını incelemek amacıyla on dört petek kiriş üzerinde çalışma yürütmüşlerdir[9]. Bu kirişlerin yarısında kaynaklanmış ara levha bulunmaktaydı. Kirişlerin orta noktalarına tekil yük uygulanmış, her kirişin mukavemet değerleri yük kapasitelerine bağlı olarak ölçülmüştür. İlk iki testin uygulanan en büyük eğilme momentleri boyunca göz açıklıklarının üzerindeki T kesitin yerel olarak bükülmesi ile hasara uğradığı görülmüştür. En son iki deney yanal burulma nedeniyle göz ardı edilmiştir. Bu çalışmalarda sonlu eleman analizi son göz açıklığı burkulma yükünü hesaplamak amacıyla kullanılmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaların sonuç larıda Tablo 1.9, 1.10, ve 1.11 de incelenebilir.

Tablo 1.9 Zaarour ve Redwood sonuç tablosu[9].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ
d_g	302,64 mm	359,66 mm	307,34 mm	358,9 mm
b_f	59,44 mm	58,42 mm	58,42 mm	58,93 mm
t_w	3,43 mm	3,48 mm	3,51 mm	3,48 mm
t_f	4,69 mm	4,72 mm	4,57 mm	4,72 mm
e	48,51 mm	48,26 mm	57,40 mm	58,67 mm
h_0	222,25 mm	270,26 mm	222,25 mm	270 mm
s	224,02 mm	222,25 mm	342,90 mm	342,90 mm
φ	60,1°	60,1°	44°	44°
F_y	374,40 Mpa	374,40 Mpa	374,40 Mpa	374,40 Mpa
Maksimum Yük	248,6 Mpa	178,4 Mpa	205,9 Mpa	145,4 Mpa
Hasar Tipi	Kesme Mekanizması	Göz Burkulması	Kesme Mekanizması	Göz Burkulması

Tablo 1-10 Zaarour ve Redwood sonuç tablosu[9].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ
d_g	370,59 mm	417,83 mm	376,43 mm	425,45 mm
b_f	69,09 mm	69,85 mm	70,61 mm	70,61 mm
t_w	3,58 mm	3,61 mm	3,61 mm	3,68 mm
t_f	4,39 mm	3,98 mm	4,45 mm	4,27 mm
e	58,17 mm	57,66 mm	57,91 mm	58,93 mm
h_0	245,87 mm	295,15 mm	260,53 mm	308,10 mm
s	254 mm	254 mm	368,30 mm	368,30 mm
φ	60,30°	60,30°	45,40°	45,40°
F_y	357,10 Mpa	357,10 Mpa	357,10 Mpa	357,10 Mpa
Maksimum Yük	217,6 Mpa	190,6 Mpa	213,8 Mpa	182,9 Mpa
Hasar Tipi	Kesme Mekanizması	Göz Burkulması	Kesme Mekanizması	Göz Burkulması

Tablo 1-11 Zaarour ve Redwood sonuç tablosu[9].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ
d_g	476,25 mm	527,81 mm	449,58 mm	501,65 mm
b_f	78,49 mm	77,98 mm	78,23 mm	77,98 mm
t_w	4,69 mm	4,59 mm	4,62 mm	4,69 mm
t_f	5,33 mm	5,36 mm	5,35 mm	5,33 mm
e	73,41 mm	74,42 mm	71,37 mm	68,33 mm
h_0	352,81 mm	403,86 mm	302,51 mm	349,75 mm
s	355,60	355,60 mm	438,15 mm	438,15 mm
φ	59,90°	59,90°	45,20°	45,20°
F_y	311,60 Mpa	311,60 Mpa	311,60 Mpa	311,60 Mpa
Maksimum Yük	214,4 Mpa	217,3 Mpa	192,8 Mpa	189 Mpa
Hasar Tipi	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması

1998'de Redwood ve Demirdijan, delikler arasındaki ağ ve moment-kesme oranını belirlemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır[10]. Kesitleri aynı fakat farklı açıklık sayılarına sahip dört farklı petek kiriş test edildi. Tüm kirişler basitçe mesnetlendi ve merkezi bir noktaya tekil yük ile yüklendi. Dört delikli, 1., 2., 3. kirişler altı açıklığı olan 4.kiriş burkulma modunda hasara uğramıştır. Daha sonra test edilen kirişlerin sonlu elemanlar analizi yapılmış olup deneysel analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu kirişlerin test verileri ve sonuçları Tablo 1.12'de daha ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 1.12 Redwood ve Demirdijan çalışmaları sonuç tablosu[12].

KİRİŞ	1.KİRİŞ	2.KİRİŞ	3.KİRİŞ	4.KİRİŞ
d_g	380,50 mm	380,50 mm	380,50 mm	380,50 mm
b_f	66,90 mm	66,90 mm	66,90 mm	66,90 mm
t_w	3,56 mm	3,56 mm	3,56 mm	3,56 mm
t_f	4,59 mm	4,59 mm	4,59 mm	4,59 mm
e	77,80 mm	77,80 mm	77,80 mm	77,80 mm
h_0	266,20 mm	266,20 mm	266,20 mm	266,20 mm
s	306,40 mm	306,40 mm	306,40 mm	306,40 mm
φ	60,20°	60,20°	60,20°	60,20°
$F_{y-göz}$	352,90 Mpa	352,90 Mpa	352,90 Mpa	352,90 Mpa
$F_{y-kenar}$	345,60 Mpa	345,60 Mpa	345,60 Mpa	345,60 Mpa
Maksimum Yük	338,2 Mpa	366,8 Mpa	382,5 Mpa	362,9 Mpa
Hasar Tipi	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Göz Burkulması	Başlık Kenar Burkulması

Lagaros ve I kesitli kirişlere sahip 3B çelik yapıların optimum tasarımını yapmışlardır[11]. Optimizasyon problemi, kombine bir boyutlandırma, şekil ve topoloji optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Kirişlerin ağ açıklıklarının sayısı ve boyutu sırasıyla topoloji ve şekil tasarım değişkenlerini oluştururken, kolonların ve kirişlerin enine kesit boyutları, boyutlandırma tasarım değişkenlerini oluşturmaktadır.

Alternatif yaklaşım olarak Erdal vd. yaptığı çalışmalardan biri olan harmoni optimizasyonunun kullanıldığı petek kirişlerin optimizasyonudur. Petek kirişlerin tasarım problemi optimum tasarım problemi olarak formüle edilmiştir. Tasarım probleminin çözümünde armoni arama ve parçacık sürüsü optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu iki tekniğe dayanan tasarım algoritmaları, genel yüklemeye tabi tutulan bir hücrel kirişin, optimum delik çapının ve hücrel kirişteki optimum delik sayısının üretilmesinde kullanılacak optimum bölümünü seçer. Ayrıca, bu seçim aynı zamanda tasarım sınırlamaları sağlanmış ve petek kirişin ağırlığı en düşük olacak şekilde gerçekleştirilmiştir[12].

Kingmin vd. standart I profillerin topoloji optimizasyon çalışmasının sonuçlarına dayanan bir kiriş web tasarımını önermişlerdir. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analiz tekniği, yaygın olarak kullanılan geleneksel, hücrel tip kirişe kıyasla optimize edilmiş kirişin yük taşıma performansını belirlemek için kullanılmıştır. Optimize edilmiş kirişin, yük taşıma kapasiteleri ve gerilme yoğunlukları açısından performans gösterdiği bulunmuştur. Kiriş ağının rutin tasarımı için topoloji optimizasyon tekniğinin uygulanmasına yönelik engeller vurgulanmıştır. Pratikte bulunan geniş çaplı kiriş kesitleri için optimum açılış topolojisini belirlemek için bir parametrik topoloji optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bundan sonra, parametrik çalışmanın sonuçlarına dayanılarak geliştirilmiş optimum ağ açıklığı konfigürasyonu önerilmiştir. Bu optimum ağ açıklığı konfigürasyonu ile kirişlerin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için bir şekil optimizasyon çalışmasına ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir[13].

2015 yılında ise Travdaridis vd. eliptik açıklıklı ve sonlu eleman modeli içeren geleneksel petek kirişlerin yerini almaya yönelik girişim olarak delikli I profilini tasarlamak için yapısal topoloji optimizasyon tekniğinin uygulamış, bükme ve kesme hareketlerine maruz kalan kirişin ilgili mekanizmaları daha iyi anlamak üzerine odaklanmışlardır. Parametrik çalışmaların sonuçlarına dayanarak optimum ağ açıklığı konfigürasyonu önerilmektedir. Optimize edilmiş kirişin geleneksel petek kirişe kıyasla

performansını belirlemek için bir sonlu eleman analizi kullanılmıştır. Optimize edilmiş kirişin yük taşıma kapasiteleri, deformasyonlar ve gerilme yoğunlukları bakımından daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Kiriş ağının rutin tasarımı için topoloji optimizasyon tekniğinin uygulanmasına yönelik engeller vurgulanmıştır[14].

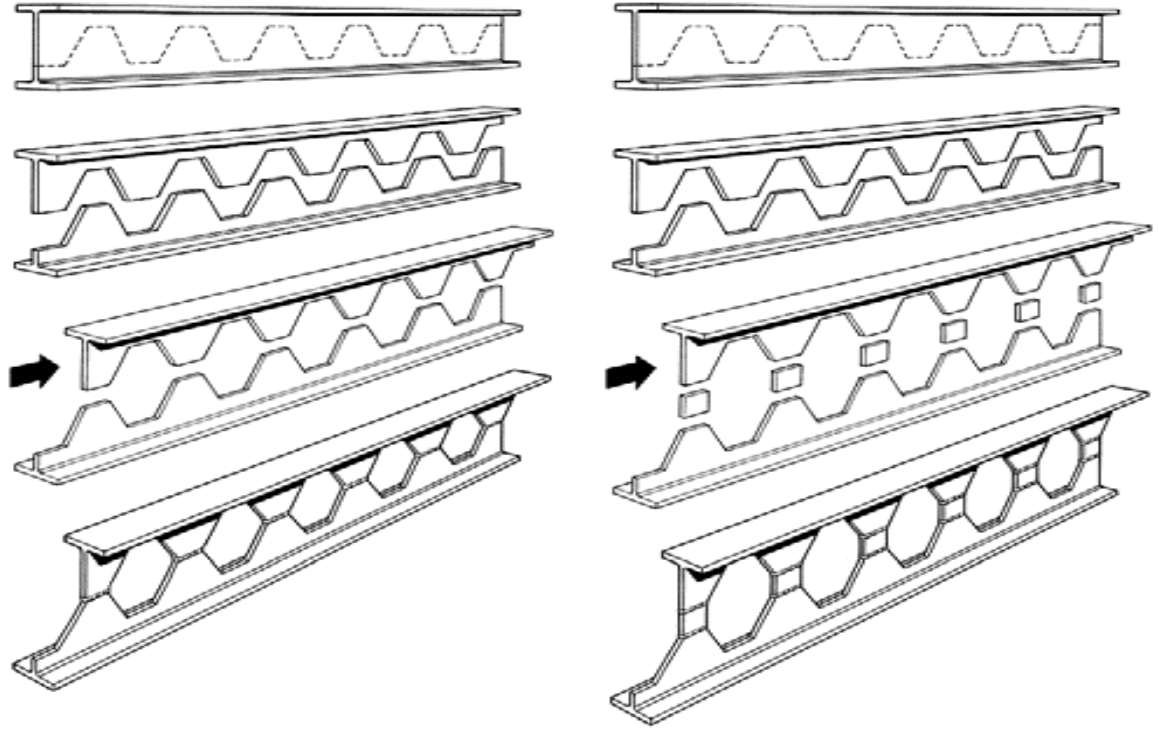
Bu çalışmanın amacı klasik petek kirişlerin üretildiği ı profilleri evrimsel topolojik optimizasyonu uygulayarak taşıma kapasitesini arttırmasını, bunun yanında kirişin ağırlığını azalmasını sağlayacak optimal göz açıklık geometri ve ölçülerini elde etmektir. Ayrıca elde edilecek optimal petek kirişin geleneksel petek kirişlerin üretim teknikleri ile üretilmesi de hedeflenmektedir.



2. PETEK KİRİŞLERİN MÜHENDİSLİK YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ

2.1. Petek Kiriş İmalinde Ölçülendirme

Petek kirişler ana profilin zig zag ve ya yarım daire şeklinde kesilmesi, kesilen yarımların birbirinden ayrılarak yine birbirlerine göre yarım adım kaydırılıp isteğe ve hesaplamalara bağlı olarak yüksekliği artırmak amacıyla bir ara levha ile kaynak yapılarak birleştirilmesiyle Şekil 2.1’de görüldüğü gibi imal edilir.



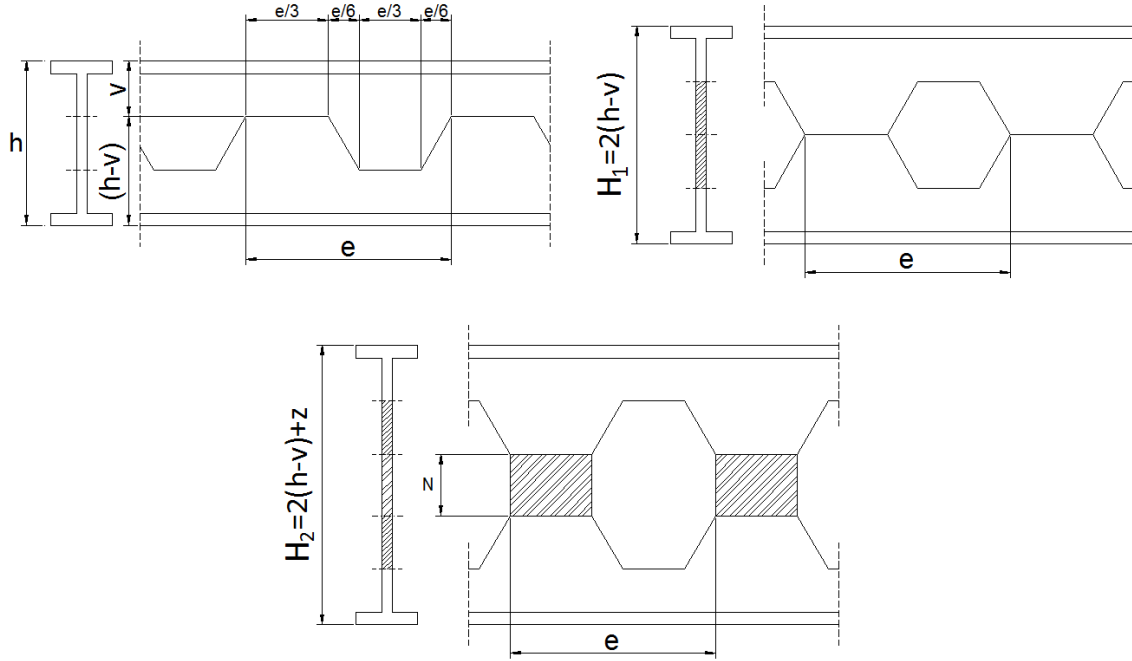
Şekil 2.1 Ara levha ve ara levhasız petek kiriş imali

Petek kirişlerin imalatında sıcakta çekilen çeşitli I profilleri kullanılabilir:

- Dar I profilleri, DIN1025 yaprak I
- Geniş başlıklı IBP profilleri, DIN 1025 yaprak 2
- Geniş başlıklı, hafif IPBI profilleri, DIN 1025 yaprak 3
- Orta genişlikte IPE profilleri, DIN 1025 yaprak 5
- Geniş IHE profilleri, Euronorm 53-62

Petek kirişlerin imalatı üç şekilde yapılabilir bunlar el ile kesme, özel imal edilmiş tam otomatik bir makine ile, son olarak dev presler kullanmaktır. El ile kesmede petek kirişin üretim safhaları olan kesme ve kaynak tamamen el ile yapılır. Bu üretim sistemi

üretim bandı kurmaya değmeyecek kadar az sayıda petek kiriş ihtiyacı duyulduğunda kullanılabilir. Tam otomatik özel makinelerde kesme de ise fazla sayıda petek kiriş üretimine ihtiyaç duyuldu durumlarda kullanılır ve bu yöntemde yapım aşamasında oluşabilecek işçilik hatalarının da büyük oranda önlenir.



Şekil 2.2 Petek kiriş imalinde ölçülendirme

Şekil 2.2 de gösterilen ölçülendirme kullanılarak dış yüksekliği ve diğer ölçüler hesaplanır. v mesafesi, h büyüklüğünün %26-33'ü arasında değişir. z ara parçasının yüksekliği, gerekli mukavemet momentine bağlı olarak 50 ile 200 mm arasında seçilir.

2.2. Petek Kirişlerde Statik Hesaplamalar

2.2.1. Giriş

Statik şartlarda yüklemeye maruz kalan Petek kiriş bakıldığında petek kirişin düğüm noktaları normal boyutlu bir Vierendeel kirişine nazaran daha büyük düğüm noktalarına sahip bir çerçeve kiriş olduğunu görürüz.

Petek kiriş statik hesaplama yöntemi ile incelerken aşağıdaki maddeler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

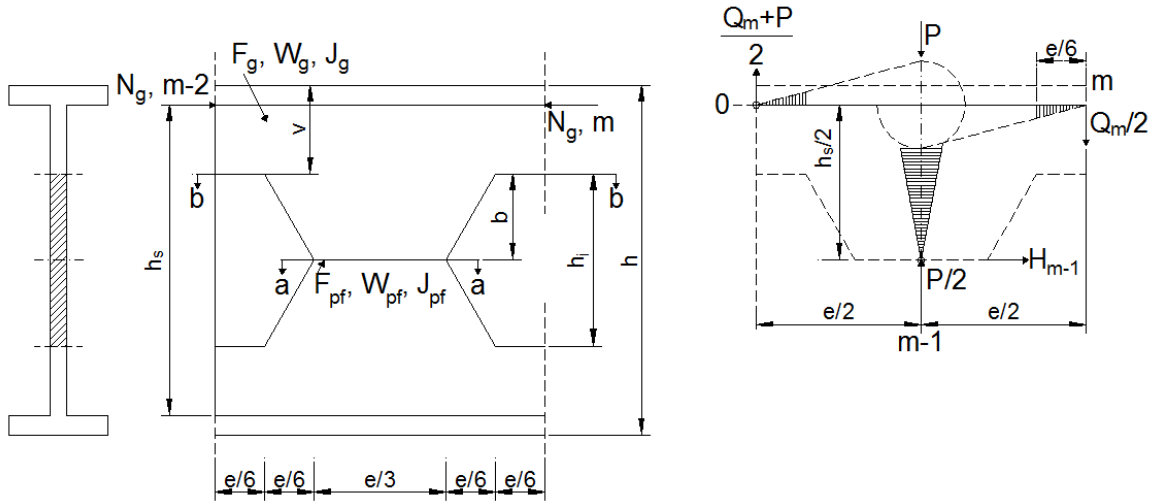
- Dikey kiriş eksenine göre simetri,
- Yatay kiriş eksenine göre simetri,

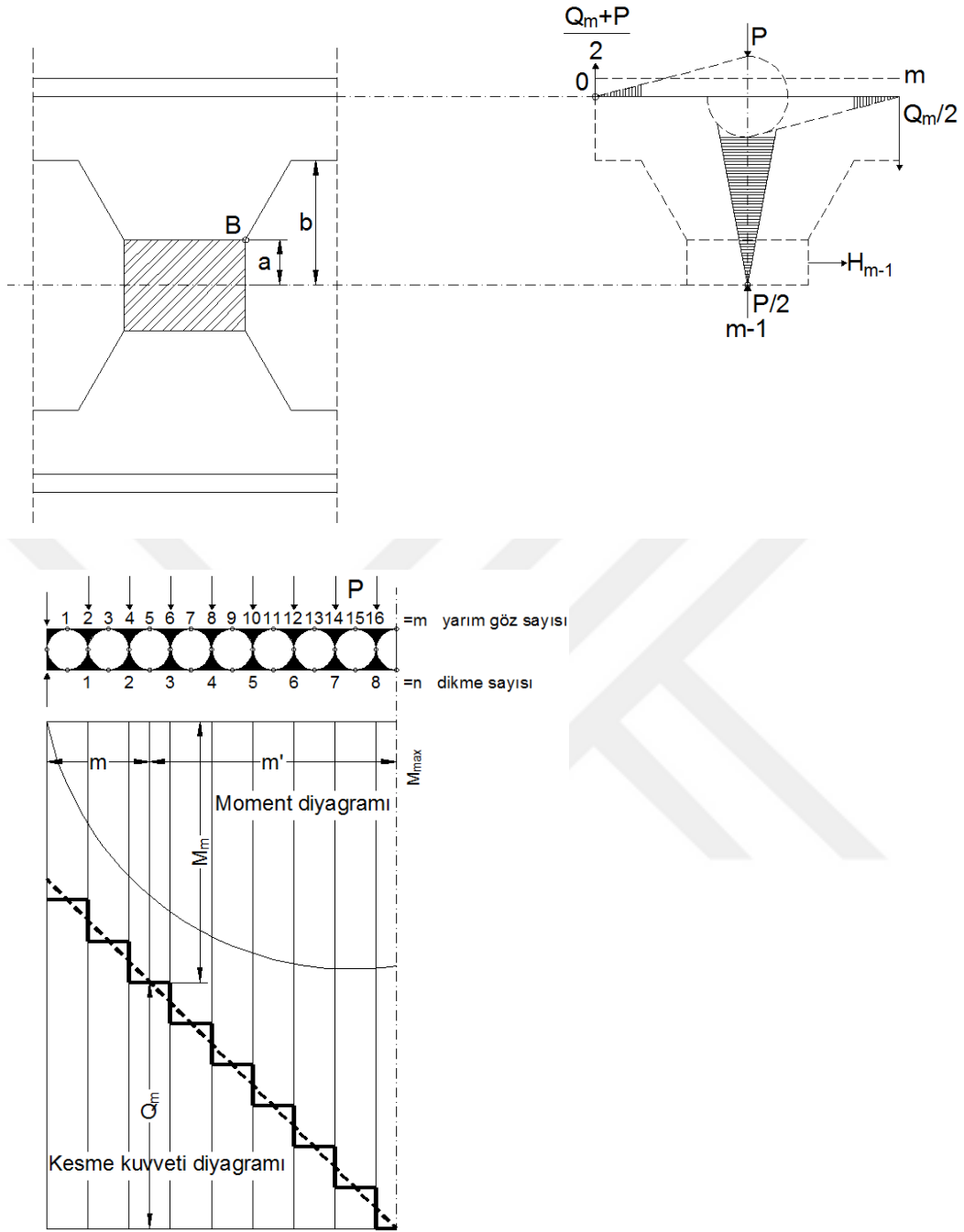
- Kiriş başlıklarının simetrik olması, bu durumda I_g , F_g ve de I_g/F_g de sabit olacak,
- Göz boşluklarının arasındaki dikmelerin orta noktalarında moment oluşmadığı kabul edilebilir,
- Yine dikmelerdeki normal kuvvet etkisiyle oluşacak küçük deformasyonlar da ihmal edilebilir.

Yükün kiriş yatay eksenine dik, ve kiriş boyunca düzgün yayılı lakin yalnızca düğün noktalarına tesir ettiği kabul edilecektir.

2.2.2. İzostatik Hesaplama Yöntemi

Normal durumlarda, başlıkların orta noktasında oluştuğu kabul edilen moment sıfır noktaları ile meydana gelen izostatik sistem ile hesaplamalar yapılabilir.





Şekil 2.3 Yüknün oluşturduğu moment ve kesme kuvvetine ait grafikler

Şekil 2.3 de on yedi boşluklu bir petek kirişin yarısı üzerinde düzgün yayılı yükün oluşturduğu moment ve kesme kuvvetine ait grafikler gösterilmiştir.

Bu tablolardan elde edilen eşitlikler ise:

$$p = q * e \quad (2.1)$$

Burada q yayılı yükü temsil etmektedir. Bu q yükünün düğüm noktalarına etki ettiği kabul edilmiştir.

Q_m , ve m'inci dikme kesitine etki eden kesme kuvvetinin büyüklüğüdür. m'inci göz başlığına etki eden normal kuvvet denklem 2.2 de görüldüğü gibi,

$$N_{g,m} = M_m/h_s \quad \sigma_{g,m} = N_{g,m}/F_g \quad (2.2)$$

m'inci gözde etki eden başlık kuvveti denklem 2.3'te olduğu gibidir.

$$M_{m,g} = \frac{e*Q_m}{2*6} = \frac{Q_m*e}{12}; \quad \sigma_{g,2} = M_{g,m}/W_g \quad (2.3)$$

Dikme normal kuvveti denklem 2.4'te verilmiştir.

$$N_{pf} = P/2; \quad \sigma_{pf,1} = N_{pf}/F_{pf} \quad (2.4)$$

(m-1)'inci dikme mafsalında yatay kuvvet için denklem 2.5 ve 2.6'ya bakılmalıdır.

$$H_{m-1} = \frac{2}{h_s} \left(\frac{\sigma_{m*e}}{2*2} + \frac{\sigma_{m+P}}{2} * \frac{e}{2} \right) = \frac{e}{2h_s} (2Q_{m+P}); \quad (2.5)$$

$$\tau_{m-1} = \frac{H_{m-1}}{F_{pf}} \quad (2.6)$$

(m-1)'inci dikmede dikey moment için denklem 2.7 aşağıdadır.

$$M_{pf,m-1} = H_{m-1} * \alpha \text{ veya } \sigma_{pf,2} = M_{pf}/W_{pf} \quad (2.7)$$

F_g , I_g , W_g gibi başlık statik değerleri bulunur veya herhangi bir tablodan bulunur. a-a ve b-b kesitleri için dikey atalet momentlerinin hesaplanması fazla da zor değildir. Baş kısımların içteki köşeleri esas alınarak hesaplanan mukavemet momentleri ile $e/3$ dikmelerinde bulunan mukavemet momentleri kiriş yüksekliklerine ait fonksiyon olarak gösterilmiştir. I, PB, PE, profillerden eşit yükseklikte üretilen petek kirişler için baş kısım büyüklüğü ve e uzunluğu eşit olarak kabul edilmiştir.

2.2.3. Pratik hesaplama Yöntemi

Yurdumuzda petek kiriş kullanmadan önce statik hesabın yalnızca eğilme hesabıyla yapıldığı aşikardır. Yalnızca eğilme hesabı yapmak petek kiriş yüzey ve gövde iç kesimlerine etki edebilecek diğer gerilmeleri hesaba katmadığından dolayı dayanımı tam olarak gösteremez. Petek kirişler ile ilgili hesaplar dört safhadan oluşmaktadır. Bunlar

- Üretimin yapılacağı kök I profilin seçimi,
- Göz açıklıklarının belirlenmesi,
- Gerilmelerin hesaplanması,
- Son kontrollerin yapılmasıdır.

Hesaplamalara başlamadan önce imal edilecek kirişin ne şekilde üretileceğine karar verilmelidir. Öncelikle petek kirişe ait olan eğilme momentinin en yüksek değeri yani M_{max} bulunur. Daha sonra yapıda kullanılacak petek kirişin ölçüleri için emniyet katsayısı da dikkate alınarak mukavemet momenti bulunur. Hesaplanan mukavemet momenti kullanmak için seçilen petek kirişin mukavemet değerinden daha düşük olmalıdır. Yapılan hesaplamalarda emniyet katsayısı genelde $K=1,5$ olarak kabul edilir. Petek kirişlerin mukavemet momentleri denklem 2.7 ile hesaplanabilir.

$$W_k^{lüz} = \frac{M_{max}}{\sigma_{em}}, \quad (2.7)$$

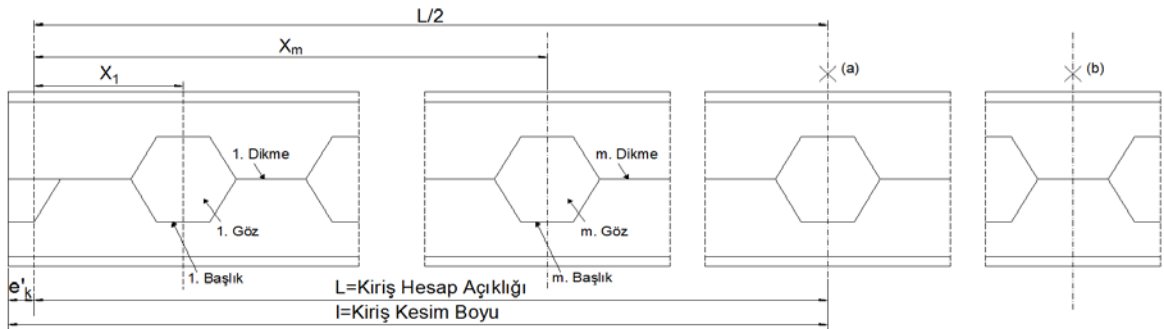
Petek kirişin kesiti, imalatçı operatörün tecrübelerine dayanarak deneme yanılma yöntemiyle de belirlenebilir. Bu karışık hesapların yapılması tasarım aşamasında doğru malzemeyi en kısa sürede seçmeyi sağlayacaktır.

Petek kirişi, seçilen I profilin sadece mukavemet momentine göre belirlemek yetersiz olabilir. En çok da yükün az açıklığına fazla olduğu yapılarda sehim daha da önem kazanır. Tablo 2.1 pratik seçimler için kullanılabilir. Bu tabloda değişik yükler ve açıklıklar için kullanılacak petek kirişin sahip olması gereken mukavemet ve eğilme momentleri yer almaktadır. Tablo 2.1'in içinde yer alan karede ki değerlerden yukardaki cm^4 biriminde atalet momenti, aşağıdaki ise cm^3 biriminde mukavemet momentinin değeridir[15].

Tablo 2.1 Petek kiriş moment tablosu

Petek Kiriş Seçim Tablosu												
	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
0,1 5	306 42,3	419 52,2	557 63,0	723 75,0	926 88,0	1149 102,2	1413 117,3	1714 133,4	2056 150,6	2441 168,8	2871 188,0	3348 208,4
0,2 0	407 56,3	558 69,5	743 84,0	965 100,0	1235 117,4	1532 136,2	1884 156,3	2286 177,8	2742 200,7	3255 225,0	3828 250,7	4467 277,8
0,2 5	508 70,4	698 86,8	929 105,0	1206 125,0	1544 146,7	1914 170,2	2354 195,4	2857 222,3	3247 250,9	4068 281,3	4785 313,4	5580 347,3
0,3 5	712 98,5	977 121,6	1300 147,0	1688 175,0	2161 205,4	2680 238,3	3296 273,5	4000 311,2	4780 351,3	5695 393,8	6698 438,8	7812 486,2
0,5 0	1017 140,7	1395 173,7	1857 210,2	2411 250,0	3088 293,5	3628 340,4	4709 390,7	5714 444,5	6854 501,8	8136 562,6	9569 626,8	11160 694,5
0,7 5	1526 210,9	2093 260,5	2786 315,2	3616 375,0	4631 440,2	5742 510,5	7063 585,9	8571 666,7	10281 752,6	12204 752,6	12204 843,8	14353 940,2
1,0 0	2034 281,3	2709 347,3	3714 420,2	4822 500,0	6175 686,8	7656 680,6	9417 781,3	11428 889,0	13708 1004	16272 1125	19137 1253	22320 1389
1,2 5	2543 351,6	3488 434,0	4642 525,3	6027 625,0	7718 733,6	9570 850,7	11771 976,6	14285 1111	17135 1254	20340 1406	23921 1567	27900 1736
1,5 0	3051 421,9	4185 520,9	5571 630,3	7232 745,0	9262 880,3	11484 1021	14125 1172	17142 1333	20561 1505	24407 1688	28705 1880	33480 2083
1,7 5	3560 492,3	4883 607,7	6499 735,3	8437 875,0	10806 1027	13398 1191	16479 1367	19999 1556	23988 1756	28475 1969	33490 2194	39060 2431

Tüm bu hesaplamalara başlamadan önce yapılması gereken en önemli hususlardan biri de göz açıklık sayısını ve de mesnede en yakın göz açıklığının mesnede olan mesafesinin belirlenmesidir. Böylece petek kirişin tam ortasına göz açıklığı mı yoksa dikmenin mi geleceği de belirlenmiş olur. Bu belirlemede petek kirişin üretileceği zig zag kesim şekli de önemli bir rol oynar[15].



Şekil 2.4 Petek kiriş başlık ve dikmeleri

Petek kirişler ya başka bir yapı elamanının üstüne oturacak şekilde, ya da başka bir elemanın gövdesine ankastre olarak mesnetlenir. İkinci durumda kiriş hesap açıklığını petek kirişin kesim boyuna eşit kabul edilebilir.

Kirişlerin göz adedi denklem 2.8 ile belirlenir.

$$n = \frac{l-2h}{e} = \frac{l-2h}{1,5h} \quad (2.8)$$

Bu hesaplama sonucunda göz boşluğu sayısı tek sayı olarak bulunursa simetri eksenini tam ortadaki göz boşluğundan geçer. Tam aksine çift sayı çıkar ise bu durumda simetri eksenini tam ortadaki dikmeden geçer. Kullanılan kirişin ucundan m'inci başlık veya gözün mesnete mesafesi ise denklem 2.9 ile bulunur.

$$x_m = (e_k - e'_k) + (1,5m + 0,25)h \quad (2.9)$$

Simetri ekseninin bir dikmeden geçmesi durumunda bu dikmenin mesnete uzaklığı boyun yarısı kadar yani (L/2) kadar alınır. Tam tersi durumda yani göz açıklığı olması durumunda en uzak dikmenin mesnede mesafesi için m=(n/2) alınır.

2.2.4. Gerilme Hesapları

Petek kirişlerde gerilme hesapları yapılırken maksimum gerilme ve maksimum moment noktaları ile birlikte başka bir ara kesitte yapılmalıdır. Diğer bir ifade ile kirişin ortasına veya orta noktasına en yakın başlıkta, mesnet noktasına en yakın dikmede ve bunlara ek olarak bir de ara kesitteki bir başlıkta gerilmeler kontrol edilmelidir. Kontrol esnasında kullanılacak olan eşitlikler denklem 2.10 ve 2.11'de görülmektedir.

$$M_m = \frac{ql}{2} x_m - q \frac{x_m^2}{2} = \frac{1}{2} q x_m (L - x_m) \quad (2.10)$$

$$Q_m = \frac{qL}{2} - qx_m = q \left(\frac{L}{2} - x_m \right) \quad (2.11)$$

Buna göre göz boşluğu adedi çift sayı ise m=(n/2) olarak alınabilir. Bu durumda x_m ise $x_m = (e_k - e'_k) + (1,5m + 0,25)h$ eşitliğinden bulunur. Mukavemet moment değeri denklem 2.10 ile hesaplanırken maksimum gerilme ise yaklaşık olarak sıfır kabul edilir.

Göz boşluğu sayısının tek sayı olduğu durumlarda ise $m=(n/2)+0,5$ eşitliğine bağlı kalınarak hesaplanır. Ve hesaplanan değer denklem 2.10'da kullanılır. Yine burada da maksimum gerilme değeri sıfır olarak kabul edilebilir.

Petek kirişlerde en hassas durum hem gerilme hem de mukavemet momenti etkileri altındaki başlık kesitinde meydana gelmektedir. Bundan dolayı mukavemet momenti ve gerilmeye maruz kalan en hassas kesiti hesaplamak bir zorunluluktur.

Yapılarda kullanılan eşit eğilme momenti farklı yük ve açıklığa sahip petek kirişlerde, yük fazla fakat açıklığı az olanlarda bu hassas kesit mesnede daha yakın buna karşın yükün göreceli az açıklığın ise büyük olduğu durumlarda ise orta noktaya daha yakındır. Petek kirişlerde genel anlamda yükün göreceli olarak az açıklığın ise büyük olduğu için hassas nokta kesiti toplam kiriş açıklığının 1/3-1/4 arası kabul edilir.

Petek kirişler ile ilgili hesaplamalarda hassas kesitler olan momentin en yüksek değere ulaştığı simetri eksenini ile mesnede en yakın gözlerde denklem 2.11-2.15'ten faydalanılarak yapılır[15].

Mesnede en yakın göz için

$$H_{mG} = \frac{3h}{4h_1} (2Q_m - 1,5qh) \quad (2.11)$$

$$\tau_{kay} = \frac{H_{mG}}{F_g} \quad (2.12)$$

$$\sigma_{kay} = \frac{N_{mG}}{F_g} \quad (2.13)$$

$$N_{mG} = 0,75qh \quad (2.14)$$

$$\sigma_h = \frac{1}{2} (\sigma_{kay} + \sqrt{(\sigma_{kay}^2 + 4\tau_{kay}^2)}) \leq \sigma_{hem} \quad (2.15)$$

Momentin en yüksek değere ulaştığı gözde

$$N_{mB} = \frac{M_m}{h_1} \quad (2.16)$$

$$\sigma_{mB} = \frac{N_{mB}}{F_B} > \sigma_{em} \quad (2.17)$$

Denklem 2.16 ve 2.17 kullanılır.

2.2.5. Son Kontrollerin yapılması

Petek kiriş ile ilgili hesaplamaların son safhası gerilmelerin kontrolüdür. Birinci safha olarak petek kirişin imal edileceği I profil belirlenmiştir. Ardından ikinci safha olarak petek kirişin göz açıklıkları ve diğer geometri ölçüleri belirlenmiştir. Sonraki safhada ise yukardaki eşitlikler kullanılarak hassas nokta olarak nitelendirdiğimiz simetri eksenine en yakın başlıkta, mesnede en yakın dikmede ve 1/3-1/4 arasındaki bir başlıkta gerilme değerleri hesaplanır. Dikme ve başlık kesitleri için ilgili tablodan mukavemet değerleri alınarak hesaplan değerler karşılaştırılır ve son kontroller yapılır.

Yapılan tüm bu kontroller sonrasında hesaplanan gerilmeler emniyetli gerilme çizgisinden düşük yöne doğru uzaklaşıyorsa birinci safhada belirlenen profilin numarası küçültülmeli ve tüm safhalar tekrardan baştan işletilmelidir. Fakat tam tersi olarak emniyetli gerilme çizgisinden büyük olacak şekilde uzaklaşıyorsa bu durumda seçilen profilin numarasının büyütülmesi veya ara levhasız bir üretim şekli seçildi ise ara levhalı üretim esaslarına göre dört safhanın yeniden işletilmesi gerekmektedir.

2.2.6. Petek Kiriş Sehimi Hesaplamaları

Petek kirişlerin sehimi hesaplamalarının yapılmasında daha önce yapılan statik hesaplamaların doğruluğu önemli bir rol oynar. Eğer petek kiriş üzerine düzgün bir yayılı yükün etki ettiğini kabul edersek petek kirişin yaklaşık sehimi hesabı denklem 2.8'e uygun olarak yapılır.

$$f = \frac{5}{384} * \frac{Pl^3}{EI} \quad (2.18)$$

Denklem 2.8'de kullanılan atalet momenti değeri boşluklu ve boşluksuz kirişlerin sahip olduğu atalet momentlerinin ortalama değeridir. Eğer sehimi bu eşitlik ile hesaplanırsa bulunan değer çok küçük olacaktır. Peteklerin başlık kısımlarındaki ve dikmelerindeki eğilme momentleri ve bunun yanında kesme kuvvetleri denklem 2.8 ile hesaplanan değeri daha da büyütür. Ekstradan oluşacak sehimi değeri başlığa etki eden normal kuvvetlerinde göz önünde bulundurulmasından dolayı denklem 2.19 ile hesaplanır.

$$f = \int \frac{N\bar{N}}{EF} dx + \int \frac{M\bar{M}}{EI} dx + \int \frac{Q\bar{Q}}{GF} dx \quad (2.19)$$

Alt ve üst başlığa etki eden normal kuvvetlerin sehime yaptığı etkide mutlaka hesaba katılmalıdır. Bu bölüme etki eden normal kuvvetler denklem 2.20 ve 2.21 ile hesaplanır.

$$N = \frac{M}{h} = \frac{Pl}{8h} \quad (2.20)$$

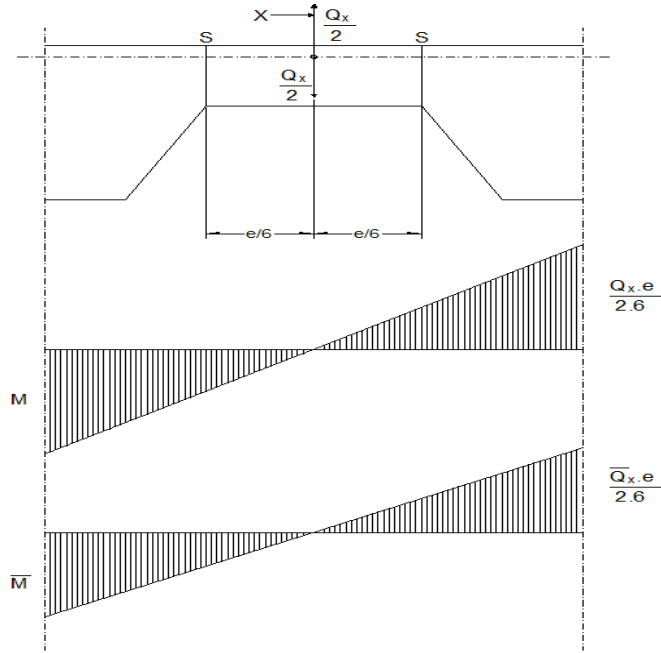
$$\bar{N} = \frac{\bar{M}}{h} = \frac{l}{4h} \quad (2.21)$$

Başlıklara uygulanan normal kuvvelerin etkisiyle oluşan sehim $f_{g,1}$ ile ifade edilir ve denklem 2.22 ile hesaplanabilir.

$$f_{g,1} = \frac{Pl^3}{F_{g,h^2}} * 0124.10^{-7} \quad (2.22)$$

Denklem 2.22 başlığa etkiyen normal kuvvetlerin etkisini fazla vermesinin sebebi düğüm noktalarının büyüklüğüdür. Bu neden emniyetli çizginin küçük tarafında kalmaktadır.

Başlıklarda oluşan momentlerde sehime etki eder. Oluşan bu momentlerin nedeni bu bölgelere etki eden Q ve \bar{Q} yayılı yük kesme kuvvetleridir. Bu bölgede oluşan moment diyagramı Şekil 2-5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Moment diyagramı

Bu durumda her bir göz boşluğu için sehim hesaplanmak istenir denklem 2.23 kullanılır.

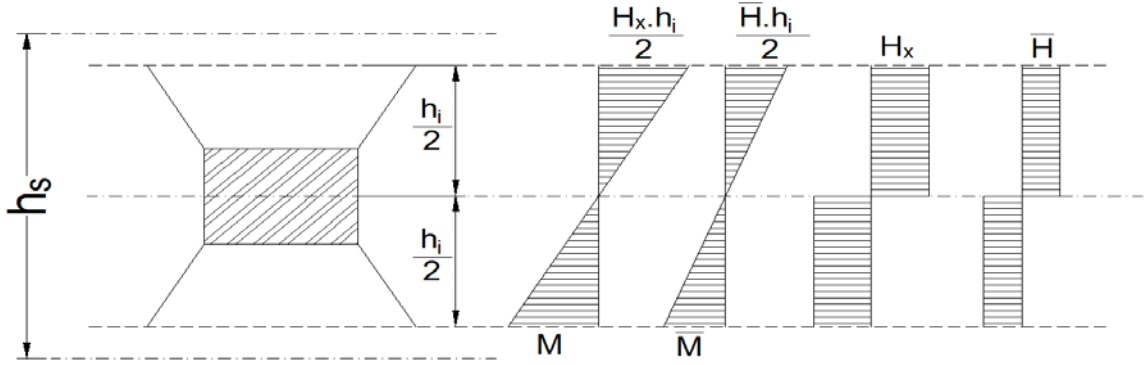
$$f_{g,m} = 2 \int_0^e \frac{M\bar{M}}{EI_g} dx = \frac{2}{EI_g} * \frac{1}{3} * \frac{e}{6} * \frac{Q_x e}{12} * \frac{e}{24} = \frac{Q_x e^3}{EI_g} * \frac{1}{2592} \quad (2.23)$$

Bu eşitliğe ait kesme kuvveti diyagramı da Şekil 2.6 gibidir.

Bu diyagramı inceledikten sonra başlığa etki eden kesme kuvvetinin sehime yaptığı etkiyi aşağıdaki eşitliği kullanarak hesaplayabiliriz.

$$f_{g,q} = 2 \int_0^{e/6} \frac{xQ\bar{Q}}{GF_g} dx = \frac{2e}{6} * \frac{x}{GF_g} * \frac{Q_x}{2} * \frac{1}{4} = \frac{xeQ_x}{24GF_g} \quad (2.25)$$

Başlıklarda olduğu gibi dikmeler etki eden momentler de sehime etki eder. Bu etkiyi daha iyi anlayabilmek için öncelikle Şekil 2.8’de ayrı ayrı göz için yükseklik etkisiyle oluşan momentlerin gösterildiği diyagram incelemelidir.

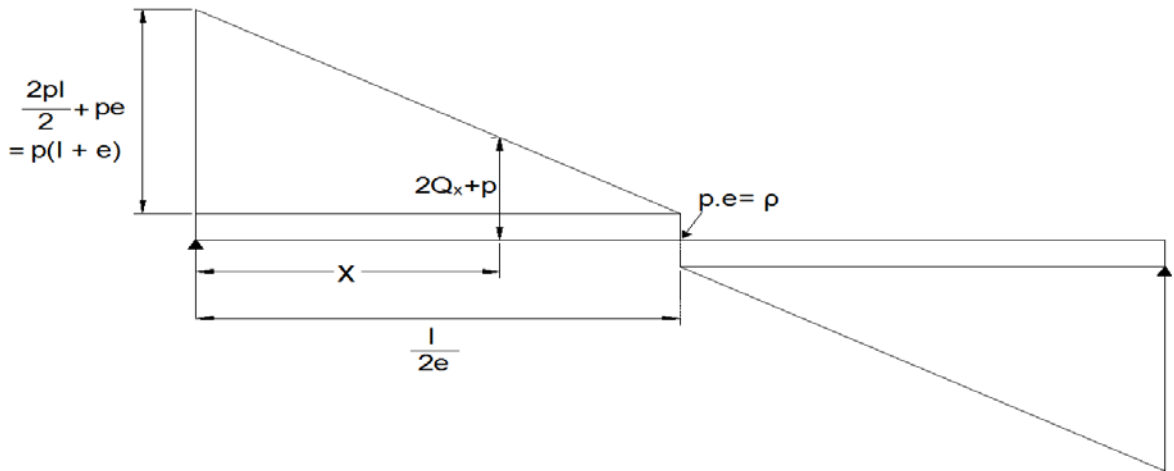


Şekil 2.8 Her göz için yüksekli etkisiyle oluşan momentler diyagramı

Oluşan momentin sehime etkisi denklem 2.26 yardımıyla hesaplanabilir.

$$f_{pt,m} = 2 \int_0^{h_i/2} \frac{M \cdot \bar{M}_i}{EI_{pt}} dh = \frac{2h_i}{2} * \frac{1}{3} * \frac{H_x h}{2} * \frac{1}{EI_{pt}} = \frac{h_i^3 H_x \bar{H}}{12EI_{pt}} \quad (2.26)$$

Dikmelerde meydana gelen kesme kuvvetinin sehime etkisi Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Dikmelerde meydana gelen kesme kuvveti

Buraya kadar incelenip hesaplamaları yapılan sehim değerini bulmak için en başta belirtilen denklem 2.18 kullanılır. Fakat konstrüksiyon hesaplamalarında bulunan değeri %20 oranında artırmakta fayda vardır. Nihai olarak kullanılacak sehim değeri denklem 2.27 yardımcı ile hesaplanabilir.

$$f = \frac{5Pl^3}{384EI} * 1,2 \quad (2.27)$$

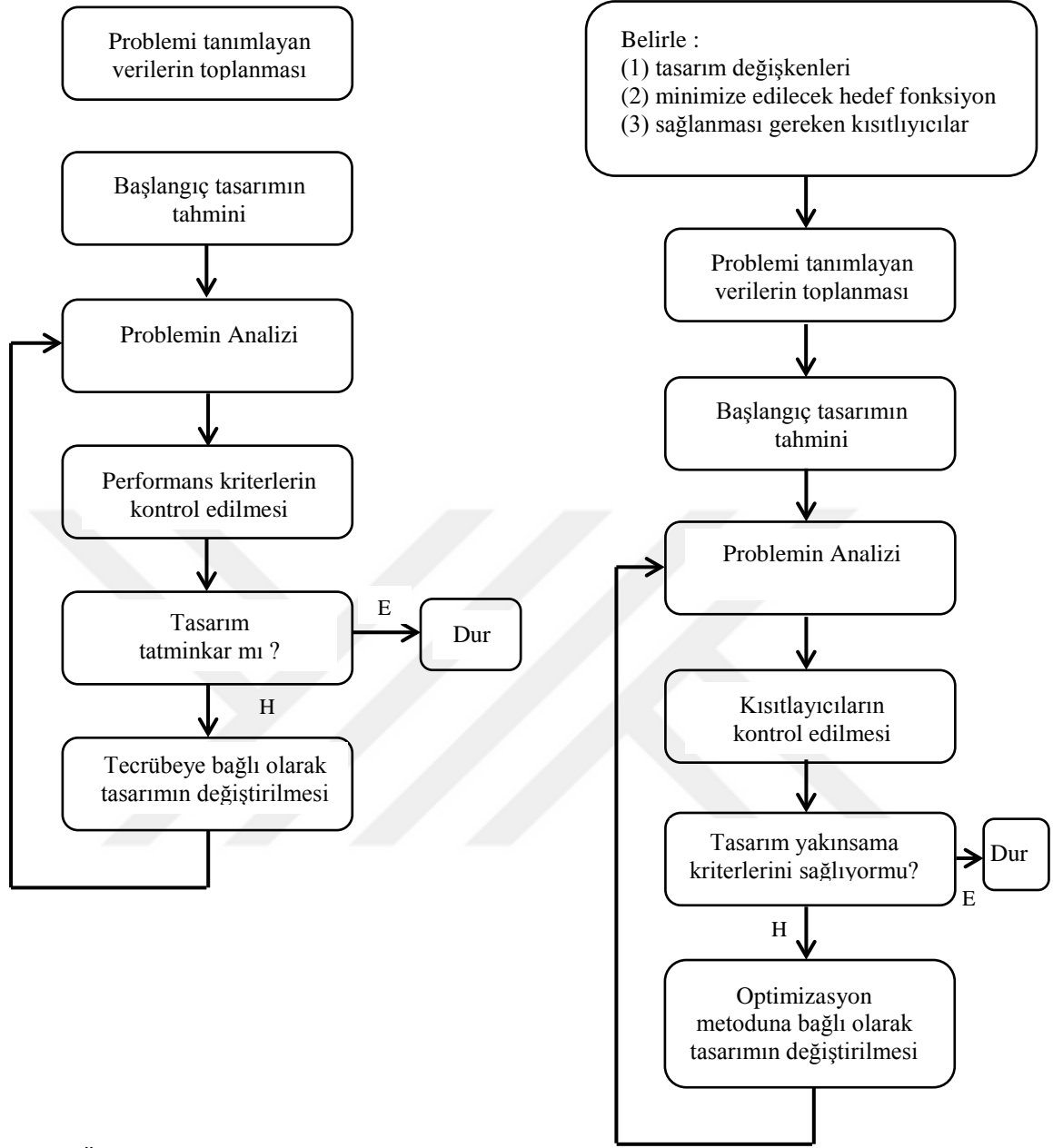


3. OPTİMİZASYON PROBLEMİNİN OLUTURULMASI

3.1. Optimizasyon Kavramı

Optimizasyon âdemoğlunun en iyiye ulaşmak isteğiyle ilişkili bir kavramdır. Optimum kelimesi köken olarak Latince'dir ve nihai ideal anlamı taşımaktadır. Optimizasyon işlemi bir çok sektörde farklı şekillerde yer alır. Rutin hayatımızda yaptığımız hemen hemen tüm aktivitelerin içeriğinde optimizasyon yer alır. Optimizasyon mühendislik özelinde incelendiğinde ise görülür ki mühendisliğin tanımı aslına başlı başına optimizasyon kavramını ifade eder. Mühendis kaliteyi en az maliyetle üretmeyi amaçlayan kişidir. Dolayısıyla optimizasyon hedeflenen amacı maksimum ve ya minimum yapacak şartları bulma işlemi olarak tanımlanabilir.

Optimum değerleri hesaplamada yararlanılan yöntemler matematiksel programlama yöntemi olarak adlandırılır ve operation reseach yani yöneylem araştırmasının bir alt koludur. Sayısal optimizasyon yöntemleri tasarım süreci için hesaplamalı bir yöntemdir. Ve önceleri içgüdüye veya tecrübeye istinaden oluşturulan kararlara daha derli toplu bir yaklaşımı sağlar. Bu yaklaşımın bir örneği Şekil 3.1'te görülmektedir.



Şekil 3.1 Örnek optimizasyon döngü şemaları

Tasarım optimizasyonu çalışırken en önemli noktalardan biride analiz ve tasarımı birbirinden ayırmaktır. Analizin tanımı kısaca bir sistemin maruz kaldığı etkilere verdiği tepki tasarım ise o sistemi yaratmaktır. Öngörülen titreşime dayanacak uzun ömürlü bir elemanın boyutlandırılıp sisteme dahil edilmesi tasarım. Bu elemanın sistem içindeki davranışını incelemek ise analizdir.

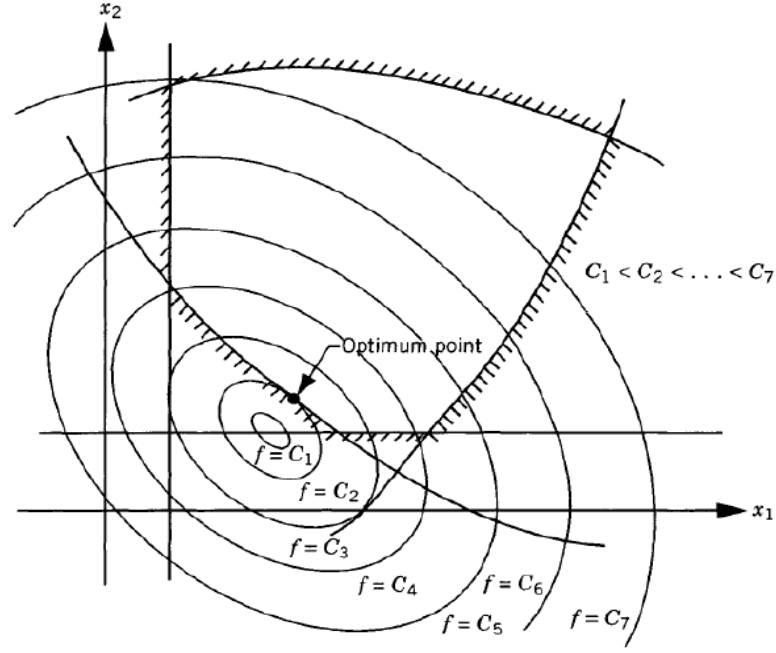
Optimizasyon belirli kısıt değerler içinde oluşturulan bir amaç fonksiyonunun değerini maksimize veya minimize etmektir. Optimizasyonun temel tanımlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Optimize edilecek büyüklük hedef fonksiyon olarak tanımlanır. Genel olarak $f(x)$ simgesi ile gösterilir.
- Amaç fonksiyonu sonunda oluşacak optimum değeri elde etmek için sahip oldukları değerleri değiştirilen parametrelere tasarım değişkeni adı verilir ve x ile ifade edilir.
- Parametrelerin sahip oldukları değerler üzerine konulan sınırlamalara ise kısıtlayıcılar denir. Eşitsizlikler için $g_j(x)$ eşitlikler için ise $h_k(x)$ simgeleri kullanılır.

Tasarım değişkenleri sistemi tanımlayan değişken setidir. Bu değişkenler birden fazla tasarım değişkeninin kullanılması durumunda mutlaka birbirinden bağımsız olmalıdır. Eşitlik kısıtları tasarım değişkeninin açık bir fonksiyonu ise tasarım değişken sayını düşürmek için kullanılabilir.

Bir sistem Şekil 3.2’de görüldüğü gibi birden fazla çözüme sahip olabilir. Bunlardan bazıları diğerlerine göre daha fazla marjinal faydaya sahip olabilirler. Tüm bu çözümleri karşılaştıracak bir evsaf özellik olmalıdır. İşte çözümlerin sahip olduğu evsafi belirten bu olguya amaç fonksiyonu denir. Yapılmak istene optimizasyona göre en yüksek ya da en düşük değer aranır. Amaç fonksiyonları tasarım değişkeninin bir kapalı veya açık fonksiyonu olabileceği gibi doğrusal olmayan veya doğrusal fonksiyonları da olabilirler.

Kısıt fonksiyonu tasarım değişkenlerinin sahip olabileceği değerleri sınırlayan fonksiyonlardır.



Şekil 3.2 Amaç fonksiyonu çözüm grafiği

Üzerinde çalışabilecek bir çok optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Ancak belli problemlerin çözümünde ancak belli algoritmalar kullanılabilir. Problemin doğru çözümü için en uygun optimizasyon algoritmasını seçilmesi gerekir. Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

KARAKTERİSTİĞİ	ÖZELLİĞİ	SINIFLANDIRMA
Tasarım değişkeninin sayısı	Bir	Tek değişkenli
	Birden fazla	Çok değişkenli
Tasarım değişkenin türü	Sürekli	Sürekli
	Tamsayı	Tamsayı veya kesikli
	Hem sürekli hem de tam sayı	Karışık tamsayı
Hedef ve kısıtlayıcı fonksiyonlar	Doğrusal Fonksiyon	Doğrusal
	Kuadratik fonksiyon	Kuadratik
	Doğrusal olmayan fonksiyon	Doğrusal olmayan
Problem formülasyon	Kısıtlama var	Kısıtlamalı
	Kısıtlama yok	kısıtlamasız

Şekil 3.3 Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması

Tasarım değişkenin adedi ile eşitlik kısıtlayıcılarının sayısı arasında tasarlanan optimizasyon probleminin çözümü safhasında bir takım ilişkiler vardır. Bunları kısaca özetlersek;

- Eğer bir optimizasyon problemi eşitlik kısıtlayıcısına sahipse problemin çözüm şartı eşitlik kısıtlayıcısının tasarım değişkeninden az olmasıdır.
- Tersine bir durum yani tasarım değişkeni eşitlik kısıtlayıcısından küçük ise problem aşırı tanımlı olur.
- Eğer bu iki değer birbirine eşit ise optimizasyon probleminin oluşturulması gereksizdir. Çünkü eşitlik kısıtlayıcılar optimum çözüm için gerek şarttır. Bu durumlarda basit denklem çözümleri ile de sonuç bulunabilir.
- Eşitsizlik kısıtlayıcıları çoğu optimizasyon yönteminde sıfırdan küçük eşit olarak (≤ 0) şeklinde ifade edilir. Çözümler bu tanıma göre üretilir. Başka bir vaziyet olan ≥ 0 olması durumunda eşitlik kısıtlayıcıları -1 ile çarpılarak ilk açıklaması yapılan duruma dönüştürülür.
- Eşitlik kısıtlayıcıları için tasarım değişkeni ile ilişkileri sınırlar olmasına rağmen eşitsizlik kısıtlayıcıları böyle bir ilişkiye sahip değildir. Optimizasyon problemi çözüm aşamasında birtakım eşitsizlik kısıtlayıcıları aktif olabilir. Bu ifadeyi açıklayacak olursak problem çözümü sonucunda bulunan optimum değer bu eşitsizliklere yazıldığında sıfır değerini görebiliriz. Genellikle aktif kısıtlayıcıların sayısı tasarım değişkeni sayısına maksimum eşit ve ya daha azdır.
- Kısıtlamasız optimizasyon problemi olarak adlandırılan problemler kısıtlayıcılara sahip değildir.
- Doğrusal optimizasyon problemlerinde fonksiyonların tümü doğrusal olarak tasarım değişkenine bağımlıdır. Bu tür problemlerin çözümü nispeten daha kolaydır.

Bir çok optimizasyon probleminde başlangıçtaki tasarım değişkenini tanımlamak bir şarttır. Tanımlanan bu değerler bir bakıma yola çıkış noktası olarak düşünülerek iterasyon yapılır, ve tasarım her adımda mutlaka yenilenir. İterasyon işleminin en özet hali denklem 3.1’de gösterilmiştir.

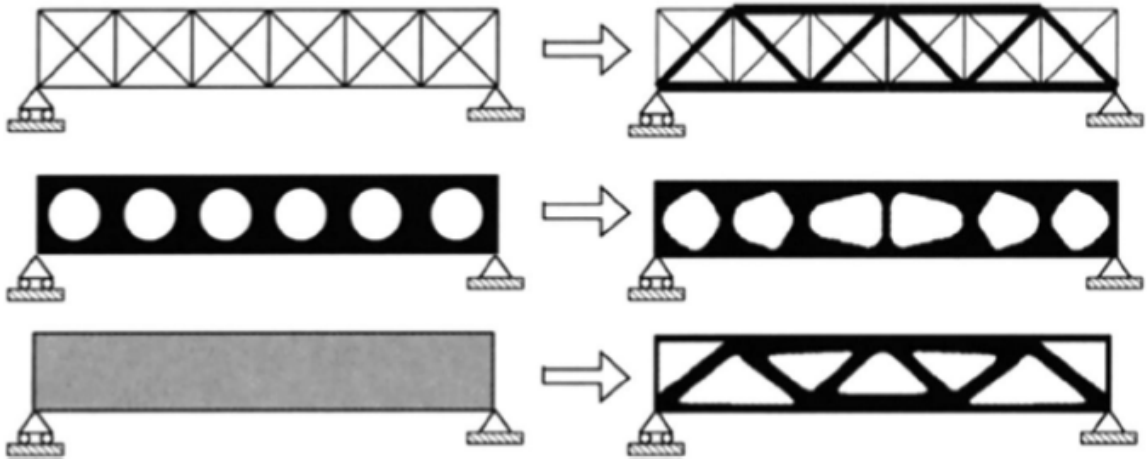
$$X^q = X^{q-1} + \alpha^* \cdot S^q \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte q iterasyon sayısını, S tasarım bölgesindeki vektörel araştırma yönünü a^* araştırma yönü üzerindeki hareket miktarını gösteren skaler bir büyüklüğü temsil eder.

Denklem 3.1'e sadık kalındığında doğrusal olmayan optimizasyon problemleri araştırma yönünün belirlenmesi ve hareket miktarının belirlenmesi olarak temek iki safhaya ayrılabilir. Bu işlem hiçbir sınırı göz ardı etmeden araştırma yönünde $F(x)$ in bulunmasını sağlar. Böylece çok değişkenli bir problem hareket miktarına bağlı bir değişkenli optimizasyon problemine indirgenmiş olur.

3.2. Yapısal Optimizasyon

Genel anlamda 2 çeşit optimizasyon yöntemi vardır. Bunlar herhangi bir tahmine dayanmayan kesinlikçi diyebileceğimiz deterministik, ve daha çok olasılığa dayanan probabilistiktir optimizasyondur[11]. Bu çalışmada optimizasyon problemin çözümünde kullanılan evrimsel tabanlı topoloji optimizasyonu en çok kullanılan metot olan probabilistic içinde yer almaktadır. Bunun yanında Boyut, şekil ve topolojik olmak üzere tasarım tabanlı 3 çeşit optimizasyon bulunmaktadır.

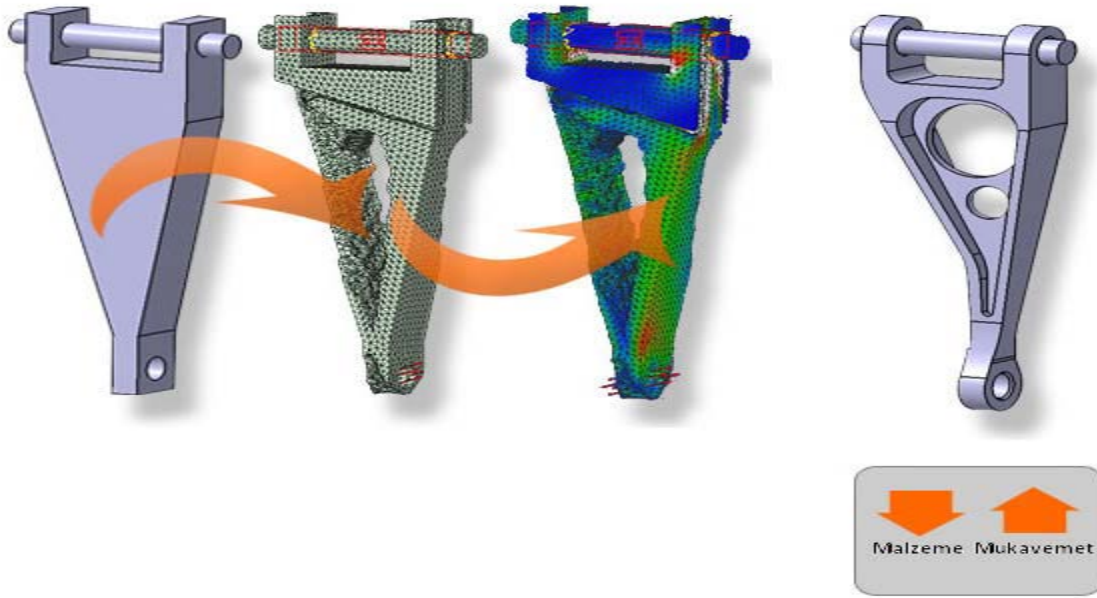


Şekil 3.4 Yapısal optimizasyon çeşitleri
Yukardan aşağıya boyut, şekil, topolojik optimizasyon

Tasarım tabanlı optimizasyonlar ile yapılan çalışma, özellikle küçük bir kazancın büyük baremlerde çok daha büyük kazanca dönüştüğü seri üretimlerde imalat maliyetinin düşürülmesi hedeflenir[17]. Boyut optimizasyonda amaç, belirli sınır değerleri altında ağırlığı mümkün olan en küçük değere çekmektir. Şekilsel optimizasyon da ise çalışmanın

amacı iş parçasının performansını o parçanın şeklini değiştirerek artırılmasıdır (Bknz Şekil 3.5)

Topolojik optimizasyonda ise tasarımcı, imalatı için en uygun iş parçasını tasarlamayı hedefler[18]. Yapısal topolojik optimizasyon, bu çalışmada kullanılmak üzere dizayn edilebilir sayıda ve yerde göz açıklığını belirlemek için kullanılabilir[19-22].



Şekil 3.5 Topolojik optimizasyon uygulaması

Tasarım tabanlı optimizasyonda ilk önce başlangıç topolojisi oluşturulur. Daha sonra bu topoloji bilgisayarda modelleme teknikleri ile işlenir. Nihayetinde tasarıma dönüştürülür.

Boyut optimizasyonunda konfigüre edilmiş bir yapıya uygulanır. Yapının sınırlarının veya yapı içinde yer alan boşlukların şekillerinin tekrar tanımlanmasına olanak sağlamaz. Önceden belirlenmiş geometriden en iyi tasarımı elde etmeye çalışır.

Şekil optimizasyonunun uygulanması bir yapının dış sınırları ve boşlukların şekilleri değişir. Eğri doğrultular ve yüzeyler üzerine uygulanabildiğinden boyut optimizasyonunun biraz daha geliştirilmiş hali olarak adlandırılabilir.

Topoloji optimizasyonu ise bir yapının sahip olduğu boşlukların sayısı, giriş ve bağlantıların sayısı ile tanımlanır. Bir yapının sahip olduğu boşlukların adedi aynı kalmak şartı ile yalnızca boşlukların geometrisini farklılaştırarak başka bir yapıya dönüşmesi sonucunda o yapının topolojisi değişmez.

Geometri ve malzeme dağılımının yani topolojinin sistemlerin performansı üzerinde çok büyük etkileri vardır. Topoloji optimizasyonunda mümkün olan bütün varyasyonları kapsayan ve kullanıcı tarafından tanımlanan konfigürasyon seti arasından yükleme koşulları içinde en uygun yapıyı tasarlayıp imal etmeyi amaçlar.

Topoloji optimizasyonunda genel anlamda dört yöntem kullanılır. Bunlar;

- Genetik algoritmalar yöntemi,
- Homojenleştirme yöntemi,
- Optimallik kriteri yöntemi,
- Evrimsel optimizasyon yöntemidir.

Genetik algoritmalar yönteminde sistemin her kromozomun mümkün optimal bir çözümü temsil ettiği bir popülasyonun optimizasyonunu kapsamaktadır. Bu yöntemde her kromozom 0 veya 1'leden oluşan binary dizilim ile tanımlanır. En doğru kromozom ileriki adımlar boyunca üretilmeye çalışılarak yapının mutasyona uğraması sağlanır. Bu işlem optimal topoloji üretilene kadar devam eder[23-48].

Özellikle geçtiğimiz 20 yılda topoloji optimizasyonu homojenleştirme yönteminden çok etkilenmiştir. Bu yöntem ile eş zamanlı olarak bir sistemin şekil topoloji ve boyut optimizasyonu yapılabilmektedir. Optimal malzeme dağılımının bulunduğu temel ardışık ikinci dereceden programlama ile matematiksel programlama tekniklerinin kullanılmasıdır. Bu metodun gelişmesi için birçok çalışma yapılmıştır[23-33,44-45].

Topoloji optimizasyonunun kullanımına bir örnek de bu metot optimallik kriteri yöntemidir. Matematiksel programlama yöntemine bütünüyle yüklenmiş bir sistem gibi birçok kriterleri yerine getirmesiyle bir alternatiftir. Çok sayıdaki tasarım değişkeni Optimallik kriteri metodu ile basitçe işleme alınabilir.

Aynı zamanda bu çalışmada da kullanılacak yöntem olan evrimsel optimizasyon yöntemi analizleri için sonlu elemanlar metodunu kullanır. Yapıyı optimize etmesi belli bir yük ve kısıtların olduğu şartlarda tekrarlanan eleman çıkarma esasına dayanır. Verimi az veya verimsiz elemanların yapıdan çıkarılmasıyla sistemin optimal bir sonuca ulaşması beklenir. Bu cümlede geçen verimsiz ifadesi çok genel bir ifade olup sisteme tanımlanan tasarım değişkeni kısıtlarına göre çok farklı değerlere ve tanımlamalara sahip olabilirler[23-46].

3.3.Yapılan Çalışmada Evrimsel Topolojik Optimizasyon Uygulanmasının Sebepleri

Şu an kullanılan ve hale geliştirilmekte olan yapısal optimizasyon yöntemleri arasında bir tanesi geliştirilmeye açık olması ve basitlik gibi özellikleriyle hemen hemen hepsinin önüne geçmiştir. Orijinalinde her elemanın gerilme seviyelerinin von mises prensibine göre hesaplanıp belirlene kısıda göre elemanın çıkarılması şeklinde kullanıldı. Daha sonradan tasarlanacak sistemin özelliklerine göre

- Dayanım,
- Gerilme azaltma,
- Gerinim,
- Burulma,
- Sıkıştırılmaz akışkanların akış problemleri,
- Elektrostatik ve magnetostatiktir.

Problemleri de evrimsel topolojik optimizasyona dahil edilmiştir[19-52]. Aynı zamanda evrimsel topolojik optimizasyon farklı durumlarda farklı yük durumlarının etkisinde olan yapıların ve farklı zamanlarda görünümle desteklenen yapıların optimizasyonuna da olanak vermektedir.

Evrimsel topolojik optimizasyonunun şekil optimizasyonuna benzer fakat onun bir gelişmiş versiyonu olarak adlandırabileceğimiz bir özelliği vardır. Bu özellik şekil optimizasyonunun aksine çıkarılacak elemanlar bir anda değil optimizasyon adımları ilerledikçe yavaş yavaş çıkarılmasıdır. Her ne kadar her daim eleman çıkarılmasından bahsedilse bu yöntemde malzeme eklenmesine de izin verilmektedir.

Araştırmacıların evrimsel topolojik optimizasyona şüpheli yaklaşımları sonucunda bi-directional yani çift yönlü evrimsel topolojik optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir[53,54]. Bu yöntemde eleman çıkarılmasının yanında eleman eklem de gerçekleştirilmektedir. Ancak elde edilen son optimum tasarımda bu yöntem ile yalnızca çıkarma yönteminin elde ettiği sonuçlar aynıdır[23].

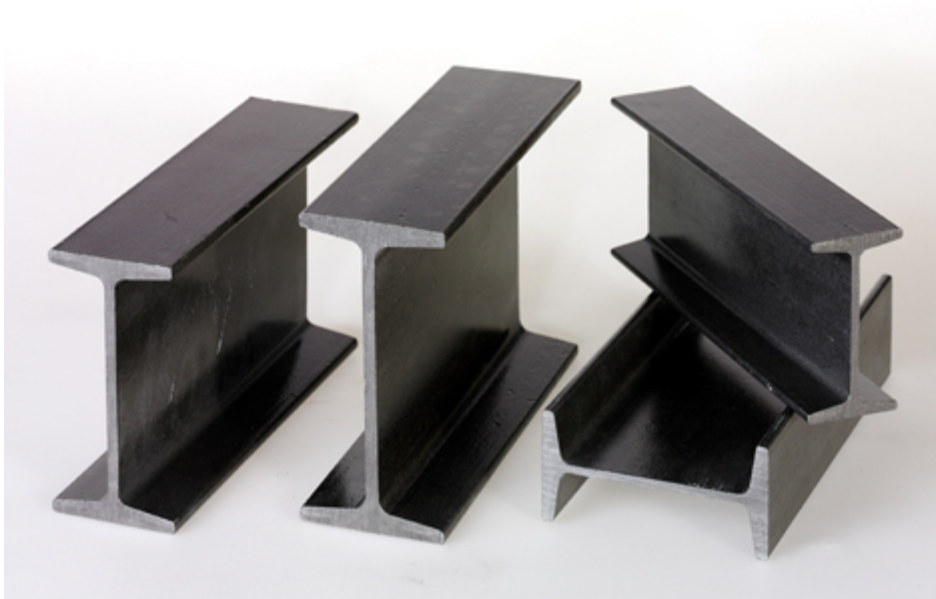
Yapısal optimizasyonunun önemli bir kısmını sistemlerin topolojik optimizasyonu oluşturmaktadır. Daha ekonomik bir tasarım elde etmenin bir yolu da topolojik optimizasyondur. Bu yöntem, verimsiz malzemenin yapıdan kademeli olarak çıkartılarak, geride kalan yapının daha ekonomik doğrultuda kullanılmasını içeren süreci temel

almaktadır[46]. Evrimsel topolojik optimizasyon yöntemi diğer optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında, kavramsal olarak basit ve uygulanması kolay bir yöntem olduğu görülür. Bunun sebebi karmaşık matematiksel işlemler ve denklemler bulunmamasıdır. Sistemik olarak etkisiz elemanların çıkartılarak sistemin tam gerilmeli hale gelmesinden oluşur. Son yıllarda evrimsel topolojik optimizasyon konusunda bir çok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların temel ilkesi dış şartlara uyum sağlamaktır. Evrimsel topolojik optimizasyon ile sistemlerin nasıl bir şekil alacağını yanında sistemin mümkün olan en ekonomik faktörü de göz önünde bulundurarak en iyi yapısal performans elde etmektir. Evrimsel topolojik optimizasyonun da hedef başlangıçta belirlenen sınırlayıcıları sağlayıp, var olan elemanları en uygun şekilde dağıtarak en hafif ve de en rijit sistemi elde etmektir. Evrimsel topoloji optimizasyon da diğer optimizasyon yöntemlerinde olduğunun aksine ilk başta verilen şekli geliştirmek yerine en mükemmel şekli aramayı hedefler son sistemin şekli başlangıçtan oldukça farklı olabilir[23]. Farklı çevre koşullarında, farklı yapısal formlara sahip sistemlerde ise Evrimsel topolojik optimizasyon yöntemi kolaylıkla uygulanabilir.

4.PETEK KİRİŞLERİN OPTİMİASYONU

4.1. İş Parçası

Evrimsel topoloji optimizasyonu uygulayacağımız petek kirişin üretileceği ana profil olarak tüm çalışma boyunca ST-37 çelik alaşımından imal edilmiş IPE 200 I profilidir (Bknz Şekil 4.1). ST37 çeliğin genel yapı malzemelerinde kullanılan 7 türünden bir tanesidir. Sıcak iş çeliğinin tekrardan işleme alınarak soğuk çekme işlemi uygulanarak elde edilen malzeme ST-37 çelik alaşımıdır. Bu işleme transmisyon adı verilir. Bu işlem bir nevi sıkıştırma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Soğuk çekme tekniği sonucunda çelik yeni özellikler kazanarak daha dayanıklı hale getirilmiş olur. Bu işlem ile ST37 çelik alaşımı hassas ölçü toleranslarına gelmiş olur, sıcak haddedeki halinden daha üst düzey bir yüzey kalitesine sahip olur, ürünün çekme kalitesi arttırılmış olur, ürünün sertliği artar ve sünme durumu azalmış olur. Bu profilin boyutları 200mm x 100mm x 3000mm (YxGxD) değerlerine sahiptir.



Şekil 4.1 IPE 200 I Profili

4.1.2. Modelleme

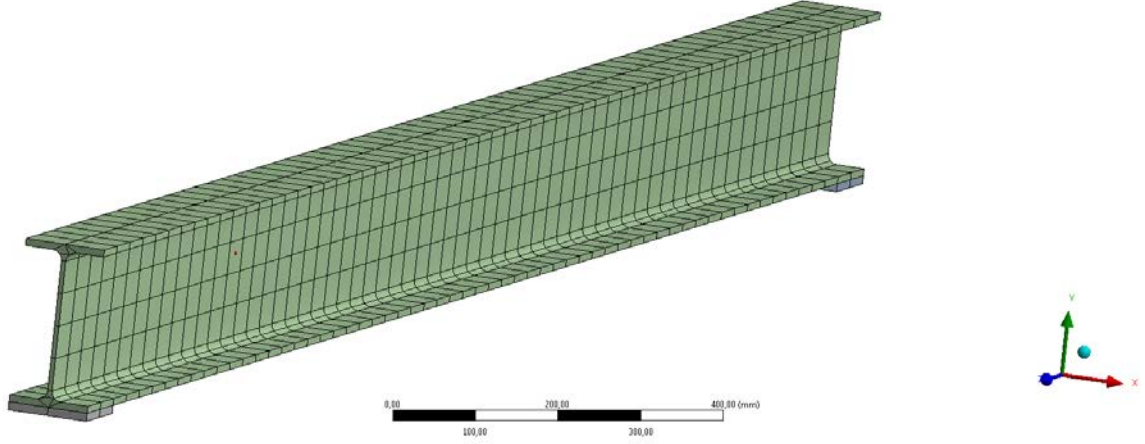
Yapılan çalışma da tüm iş parçaları 3D solid olarak modellenmişlerdir. Bunun sebebi 2D Shell olarak modellenen iş parçalarının bilgisayar üzerinde tabii tutuldukları analiz sonucun Vierendeel etkisi örneğinde olduğu gibi gerçek deney sonuçlarını vermekten uzak kalabilmesidir[55].

Topolojik optimizasyon uygulanacak IPE 200 profilinin modellenmesinde sonlu eleman metodu tabanlı ANSYS mechanical bilgisayar programı kullanılmıştır. Her sonlu eleman analizi işleminin sonunda program sonlu eleman analiz sonuçlarını tayin eder ve sistemdeki kısıt değerleri sağlayamayan malzemeyi çıkarmak için evrimsel topolojik optimizasyonu sağlayacak algoritmayı kullanır. Evrimsel topoloji optimizasyonunu çalıştırmak sonlu eleman analizini defalarca çalıştırmaktan daha kolaydır.

Sonlu elemanlar analizi bir hesap yöntemidir. Bu yöntem sistemimi bilgisayarda sayısal olarak modeller ve sistemi devamlı olarak küçük bölüm olarak adlandırabileceğimiz elemanlardan oluşan bir yığına dönüştürür. Yeniden oluşturulan bu elemanların her biri üçgen veya dörtgen gibi basit temel geometrilere sahiptirler. Böylece yapılacak analiz daha da basitleşir. Sonlu eleman analizinde bir çok matematiksel denklem üretilir. Bu denklemlerin çözümü ancak matematik ile mümkündür. Sonlu eleman analizi gerilme analiz yöntemini kendine merkez olarak kabul eder. Ancak bu analizlere bu günlerde gelişen bilgisayar teknolojisinin de yardımıyla ısı transferi, sıvıların akışkanlığı, elektrik ve manyetik alan içeren analizlerde eklenmiştir. Çok karmaşık problemlerin klasik analiz yöntemleri ile çözümünde artık rutin olarak sonlu elemanlar analizi kullanılmaktadır.

Modelleme yapılırken meshi oluşturan tüm node ve elementlerin oluşturulması program yönetimine bırakılmamış hepsi manuel olarak oluşturulmuştur. Başlıklar için meshi oluşturan element ölçüleri 47,2mm x 5*5mm dir. IPE 200 Profilin gövdesinde ise 5mm x 5mm x5mm ölçülerinde elementler kullanılarak meshleme manuel olarak yapılmıştır. Meshleme işleminin manuel olarak yapılmasının sebebi uygulanan evrimsel topolojik optimizasyonda her bir elementin numarasını bir bakıma adresinin bilinmesinin zorunluluğundan kaynaklanmamaktadır.

Bu durumda optimizasyon yapmak maksadıyla modellenen IPE 200 kirişimize evrimsel olarak optimal göz boşluk ve şekillerinin oluşacağı 13 adet 15mm x 65mm boyutunda boşluk açılır. Bir bakıma sınır değeri eklenir. Modelleme de 456989 node ve 78400 eleman (Bknz Şekil 4.2) kullanılmıştır.



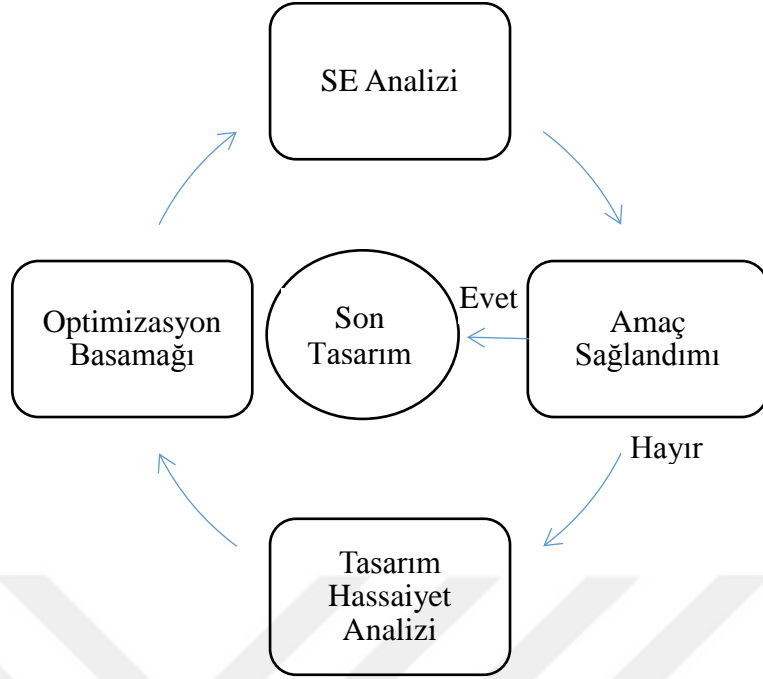
Şekil 4.2 IPE 200 I Profilinin modellenmesi

Elde ettiğimiz optimal petek kiriş ile piyasada yaygın olarak kullanılan diğer petek kirişlerin karşılaştırmalı analizlerinde ise sonlu elemanlar metodu tabanlı ansys workbench kullanılmış olup meshleme ölçüsü otomatik olarak 5mm değeri ile sınırlandırılmıştır.

4.2. Evrimsel Topolojik Algoritmanın Oluşturulması ve Uygulanması

Genel olarak mühendislik optimizasyonlarında amaç fonksiyonu olarak en düşük ağırlık veya hacim kullanılır. Kısıtlar ise sistemin yapısına, çevre koşullarına, ekonomiklik şartlarına göre rijitlik, gerilme, kalınlık, frekans olarak tanımlanabilirler. Fakat çoğunlukla eleman sayısı, eleman kalınlığı ve eleman hacmi gibi değişkenlerde kullanılabilirler.

Çoğu yapısal optimizasyon algoritması Şekil 4.3'de gösterilen döngü kullanılarak çözülebilir. En baştaki sitem, derilme, deplasman gibi fonksiyonların hesaplanması için sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilir. Optimizasyon algoritması kısıt fonksiyonlarını sağlayacak ve buna ek olarak yapısal ihtiyaçları karşılayacak şekilde tekrar ve tekrar çalışır.



Şekil 4.3 Örnek yapısal optimizasyon şeması

Bu şemayı daha iyi açıklamak gerekirse iterasyon adımları şu şekildedir.

- Fiziksel problemin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü,
- Yakınsama testi ile algoritmanın yakınsayıp yakınsamadığının kontrolü,
- Tasarım duyarlılık analizi,
- Yaklaşık optimizasyon probleminin çözümü,
- En başa dönüş ve tekrarlamanın yapılmasıdır.

Optimizasyon algoritmalarında amaç fonksiyonu problemin sonucunda sistemde arzu edilen hedefi ifade eder. Petek kirişler için yaptığımız bu çalışmada yapı sektöründe ki birçok çalışmada olduğu gibi yapı elemanının hafifletilmesi ve de rijitliğin artırılması evrimsel topolojik optimizasyon algoritmasının temel hedefidir. Sonuç olarak başlangıçtaki sistemden ne kadar çok eleman çıkartılırsa yapı elemanı o denli hafiflemiş olacaktır.

Geliştirilen evrimsel topolojik optimizasyon algoritmasının çözüme ulaşacağı süreyi azaltmak ve optimizasyon maliyetini azaltmanın en kolay yolu tüm tasarım kısıtlarının eksiksiz ve doğru olarak algoritmaya tanımlanmasıdır. Bu çalışmada tasarım kısıdı olarak kirişin sol tarafında 3 eksen yönünde de hareketi kısıtlayan mesnet sağ tarafında ise yalnızca x eksen yönünde harekete izin veren kayar mesnet ile sabitlenmesi tanımlanmıştır. Ayrıca kiriş üzerine daha önce belirttiğimiz eşitlikler yardımıyla hesaplanan göz boşluğu sayısı olan 13 adet 15mm x 65mm boyutunda boşluk oluşturuldu.

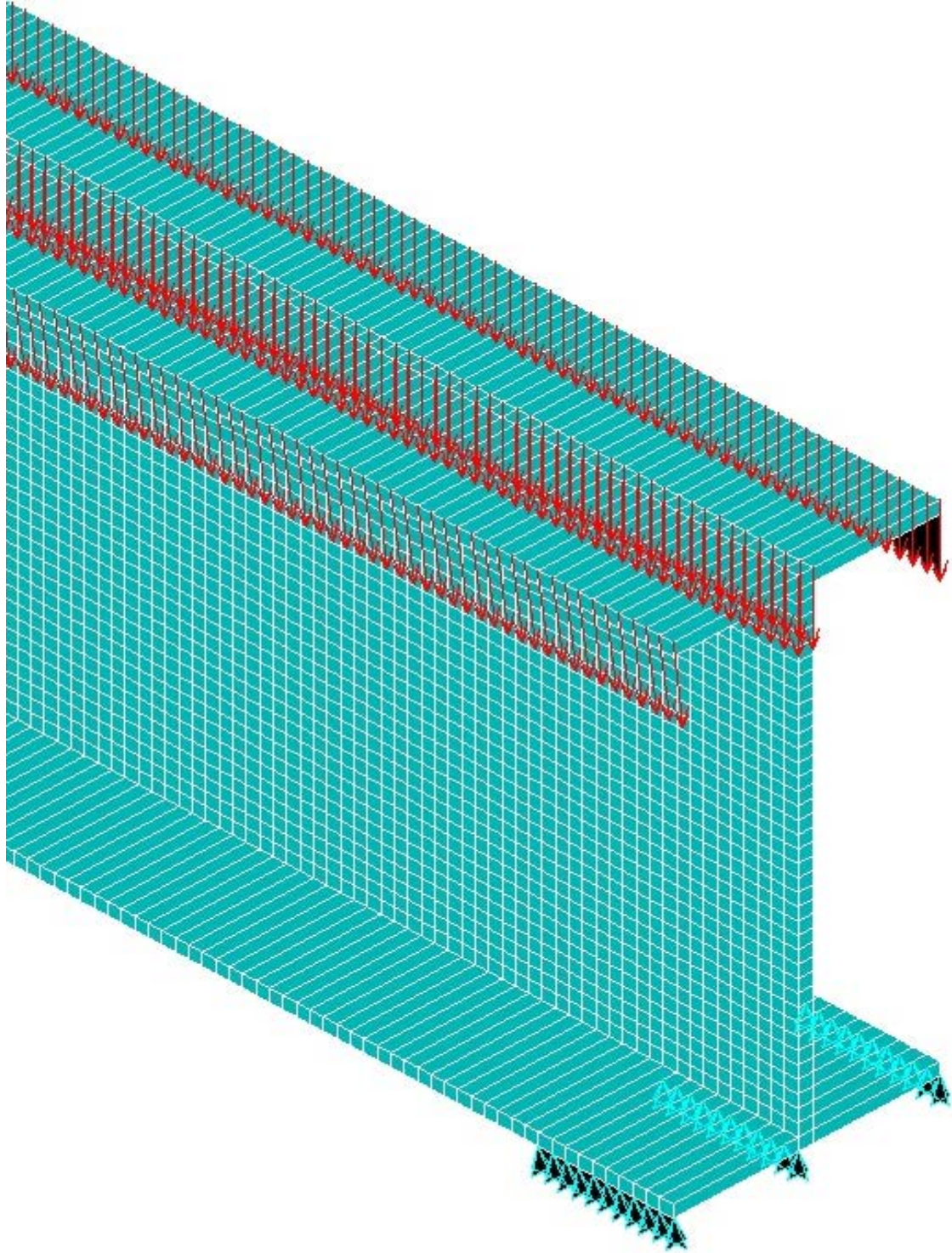
Bu boşluğun sebebi evrimsel topolojik optimizasyon algoritmasının eleman çıkarmaya bu boşluk çevresinden başlamasını sağlamaktır. Aksi halde daha önce yapılan literatür çalışmalarında defalarca görülebileceği gibi I profilimizden castellation işlemi ile imalinin mümkün olmayan kafes yapı benzeri bir topolojiye sahip yapı elde edilecektir.

Amaç fonksiyonuna ulaşabilmemiz için hakkında değişiklikler yapılabilecek ve algoritmanın en iyi sonucu elde etmesini engellemeyecek değişkenler tasarım değişkenleridir. Malzeme cinsi bu çalışmada kullanılan tasarım değişkenlerinin ilkidir. Bu çalışmada evrimsel topolojik optimizasyon uygulanacak başlangıç I profilinin malzemesi St-37 çelik alaşımıdır. Optimizasyon probleminde yapının malzemesinin değişimi amaca yaklaşmamıza yada uzaklaşmamıza sebep olabilir. İkinci tasarım kısıdımız ise iş parçasını modellediğimiz sonlu elemanlar analiz yöntemindeki her bir elemanın boyutudur. En doğru sonuç için en fazla elemana sahip olmalıyız. Ancak eleman sayısı arttıkça bilgisayarın algoritmayı çalıştırma süresi artacak hatta belli bir sayıdan sonra imkansız olacaktır. Bu çalışmada küp şeklinde tasarlanan eleman boyutu bir kenar için 5mm olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen evrimsel topolojik optimizasyon algoritmasının oluşturulmasında FORTRAN programlama dili kullanılmıştır. Kullanılan evrimsel topoloji optimizasyon algoritması gerilme değeri bazlı bir algoritma olarak tasarlanmıştır. Parça üzerinde parçayı boyutlandırarak kritik yükleme durumundaki yükler oluşturulmuştur. Algoritmanın uygulanacağı IPE 200 profiline etki edecek gerilmenin hesabında denklem 4.1'den yararlanılmıştır.

$$\sigma = \frac{M \frac{h}{2}}{I} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte I atalet momentini, $\frac{h}{2}$ gerilmenin en yüksek noktaya ulaştığı değeri yani başlık yüzeyinden kütle merkezine olan mesafeyi M eğilme momentini ifade etmektedir. Bu eşitlik ile yapılan işlemler sonucu iş parçasına uygulayacağımız kuvvet yaklaşık olarak 22 N'dur.



Şekil 4.4 IPE 200 I profiline kısıt değerlerin uygulanması

Her elman için maksimum çekme ve basma gerilmeleri bilgisayar yardımı ile hesaplanmasına müteakip, bu gerilmelerin büyüklüklerinin mutlak değeri alınmalıdır. Gerilmelerin mutlak değerinin alınmasının sebebi algoritmanın sınır değer ile kontrol

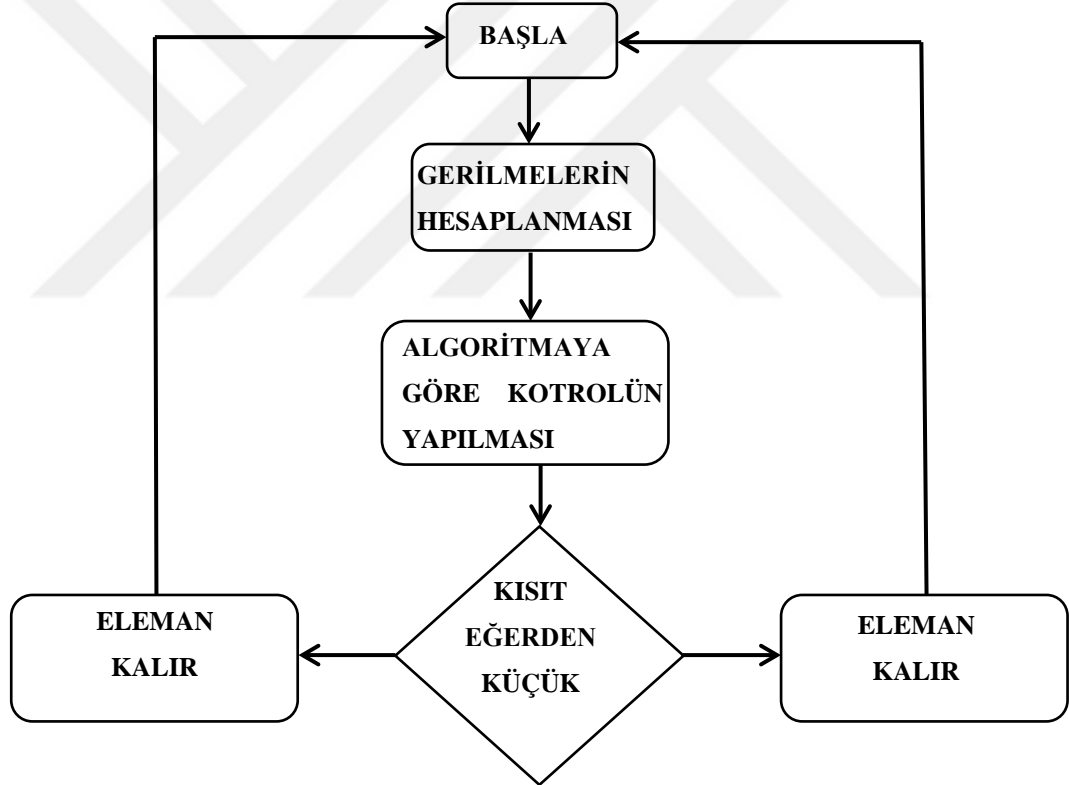
esnasında hesap kolaylığı sağlanmasıdır. Tüm bu işlemin özeti denklem 4.2, 4.3 ve 4.4'te gösterildiği gibidir.

$$1. \sigma_t = I\sigma_t I \quad (4.2)$$

$$2. \sigma_c = I\sigma_c I \quad (4.3)$$

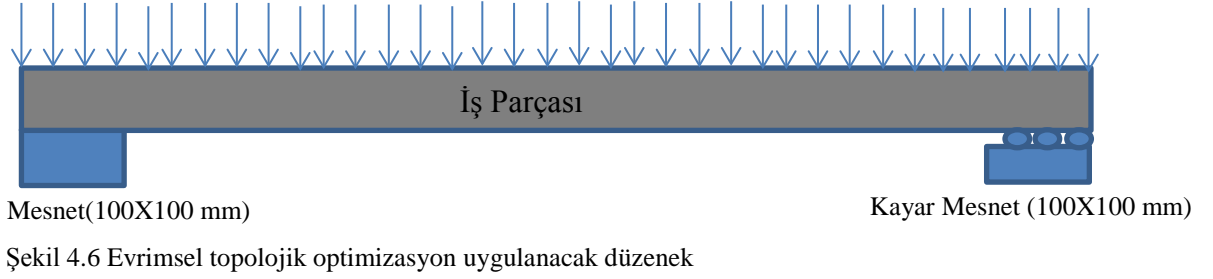
$$3. \sigma_t < F_1 \wedge \sigma_c < F_1 \quad (4.4)$$

Bu üç ifadenin sağlanması durumunda o element silinir ve algoritma en baştan tekrar başlar. Dönü yaklaşık olarak Şelik 4.5'te görüldüğü gibidir. Burada F_1 değeri akma sınırı olan 235 Mpa 1,5 emniyet katsayısına bölünmesi sonucu 156 Mpa olarak belirlenmiştir. Pratikte yükün kademeli olarak değil de bir anda kirişe yüklendiği için iterasyon adedi iki olarak belirlenmiştir.

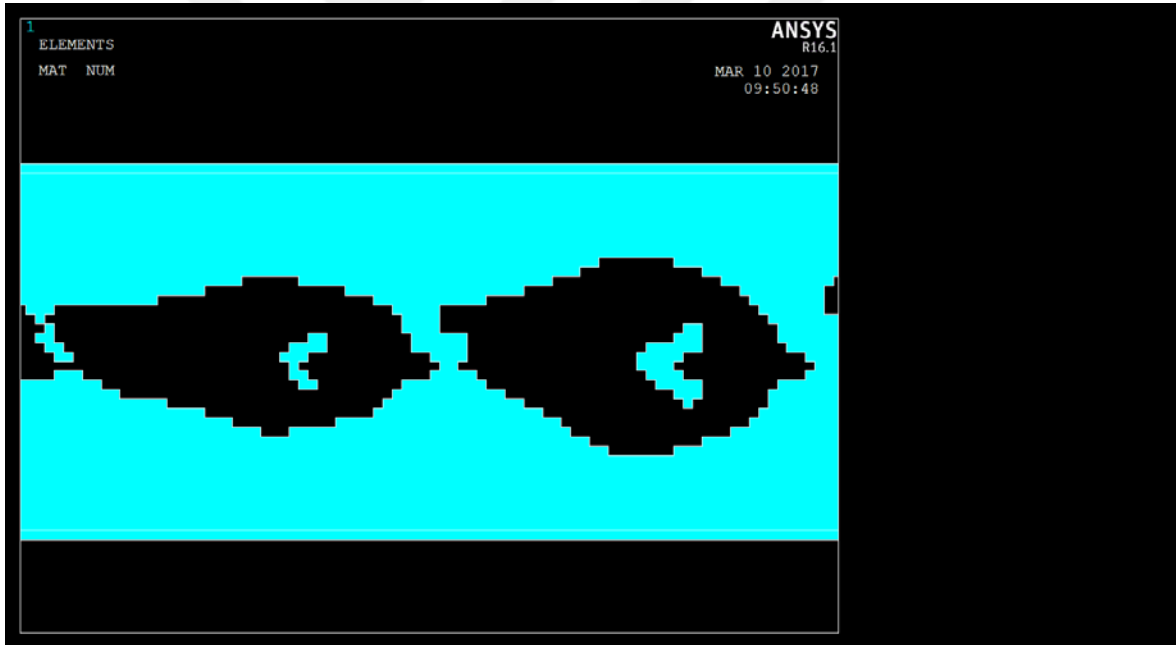


Şelik 4.5 Evrimsel topoloji optimizasyon döngü şeması

Yaklaşık olarak evrimsel topolojik optimizasyon uygulanacak düzenek Şelik 4.6'da gösterildiği gibidir.



Başlangıç olarak seçtiğimiz st-37 IPE 200 I profilimizin optimizasyonu için amaç fonksiyonunun oluşturulması tasarım değişkeni ve kısıtların da girilmesine müteakip çalıştırdığımız evrimsel topoloji optimizasyon algoritmasından elde ettiğimiz optimal göz boşluğu geometrisi Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bu boşlukları referans alırken statik hesapların pratikçe yapıldığı 1/3 1/4 arasında yer alan göz boşluğu geometri ve ölçüsü seçilmiştir.



Şekil 4.7 Optimal göz boşluğu

4.3. Optimal Göz Boşluğunun Boyutlandırılması

Geliştirilen evrimsel topoloji optimizasyonu sayesinde optimal göz boşluk geometrisi tüm kısıtlara ve tasarım değişkenlerine uygun olarak elde edildi. Fakat üretime geçmeden önce boyutlandırma ve elde edilen göz boşluğunun ölçülerinin ne olacağı sorusu ile karşılaşıldı. Bu sorunun cevabını ancak curve fitting yani eğri uydurma yöntemi ile bulunabilir.

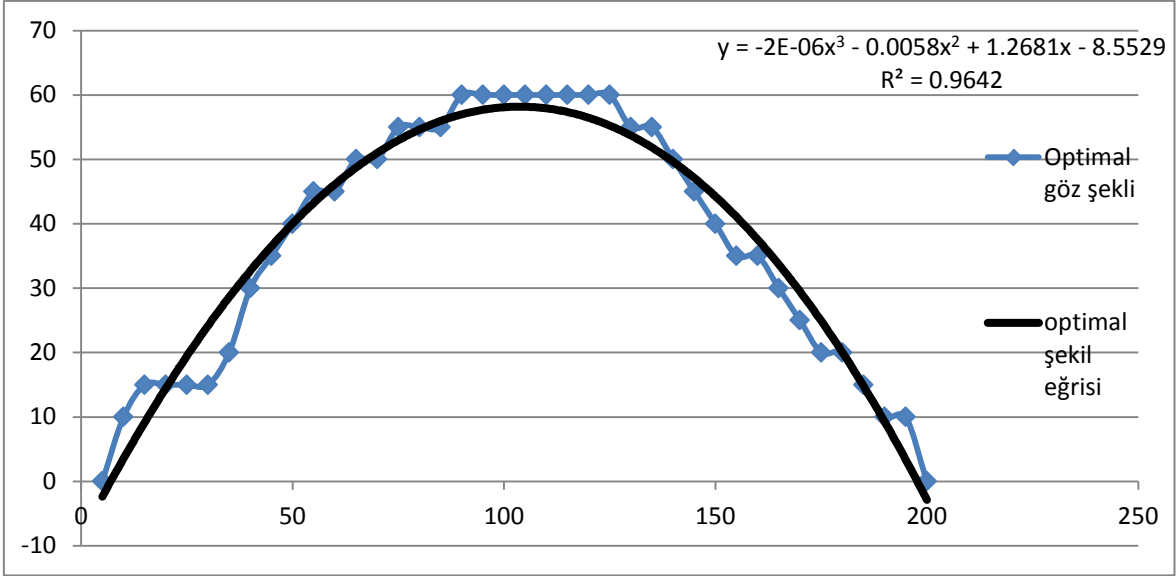
Eğri uydurma kısaca zaman ya da uzay değişkenine göre çizilebilen herhangi bir istatistiksel veri kümesini matematiksel bir eğriye uydurma olarak tanımlanabilir. Burada hata paylarının karesinin toplamının minimum olması, yazılan fonksiyondaki katsayıların en iyi verileri sağlayan fonksiyon anlamına gelir. Bu ifadeyi kullanan ve en popüler metot olan en küçük kareler yöntemi bu çalışma da kullanılmıştır. En küçük kareler metodu bir çok farklı tipte Deney sonucu elde edilen x;y noktaları sürekli bir fonksiyon ile gösterilmesi istenirse bu ancak enterpolasyon ile mümkün olur. En küçük kareler metodu birçok farklı tipteki fonksiyonları kullanılarak veriye uygun eğri uydurmak için kullanılabilir. Bunun anlamı en küçük kareler yöntemi istenen formattaki eğriler için kullanılabilir.

En küçük kareler metodu birinci dereceden polinomlar (doğrusal fonksiyonlar) için değil aynı zamanda polinomlar için de kullanılabilir. Polinom fonksiyonu uydurmanın dezavantajı k-dereceden bir eğri uyduruluyorsa k+1 dereceden bir doğrusal denklem takımı çözme zorunluluğudur. Ayrıca dikkat edilmesi gereken nokta kullanılacak polinomun derecesi her zaman için verilen noktaların sayısında bir eksik olmalıdır. Yani n adet nokta varsa, uydurulacak eğrinin derecesi k her zaman $k \leq n-1$ olmalıdır.

Yukarıda verilen nazari bilgiden de anlaşılacağı gibi eğri uydurma çok da basit bir işlem değildir. Bu yüzden bu çalışmada eğri uydurma yöntemi uygulanırken MS EXCELL programı kullanılmıştır.

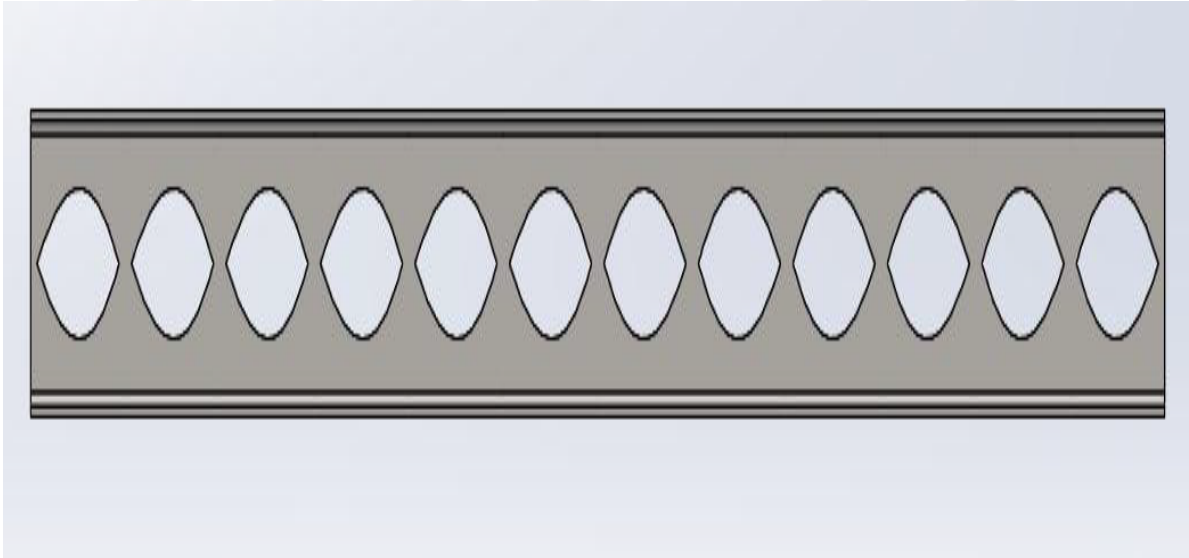
Elde edilen optimal geometrideki göz boşluğu koordinat sistemine taşınmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi her bir elemanın boyunun 5 mm olmasından dolayı her bir eleman koordinat sisteminde 5 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra optimal göz boşluğu şeklini oluşturan elemanların yükseklik-y eksen ve genişlik-x eksen boyunca noktaları çıkarılmış ve eğri uydurma işlemine tabi tutulduktan sonra aşağıda gösterilen eğrinin denklemi elde edilmiştir.

$R^2=0,9642$ doğrulukla şekli oluşturan eğrinin denklemi MS Excel programı kullanılarak hesaplanır (Bknz Şekil 4.8) ve yeniden bilgisayar üzerinde modellenir (Bknz Şekil 4.9). Böylece optimal petek kiriş elde edilir.



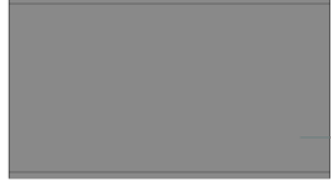
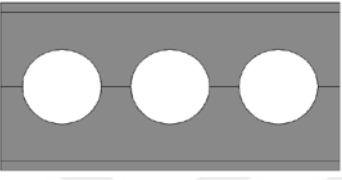

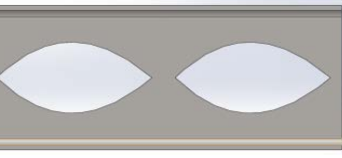
Şekil 4.8 Optimal göz boşluk eğri denklemi

Evrimsel topolojik optimizasyon yöntemi ile elde ettiğimiz optimal göz açıklık geometrisini ve ölçülerini de hesapladıktan sonra artık optimal kirişin geometrisi solidworks yazılımını kullanarak modellenilebilir. Tablo 4.1’de petek kiriş ve optimal kirişin bazı özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.9 Optimal petek kiriş

Tablo 4.1 Petek kiriş ve optimal kirişimizin bazı özellikleri

Petek Kiriş Çeşidi	Görünüş	Ağırlık (Kg)	Yükseklik (mm)	Boy (mm)	Atalet Momenti (mm⁴)
I Profil		66,6	200	3000	18.455.902,27
Dairesel		64,7	293,4	3156	44.360.828,88
Altıgen		68,3	300	3000	46.700.528,93
Optimal		59,6	260	2760	33.588.598,27

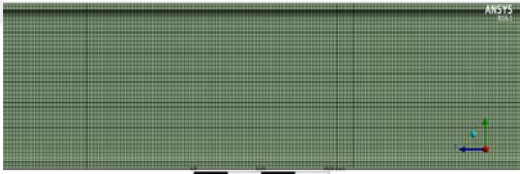
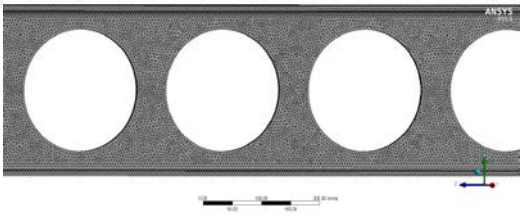
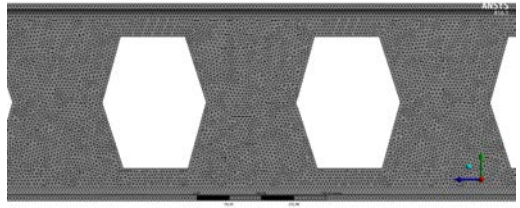
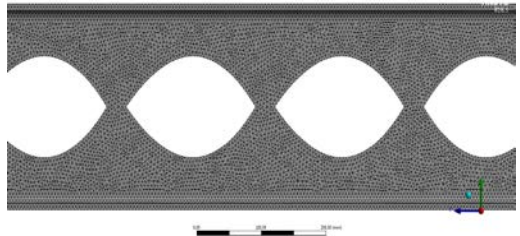
4.4. Tüm İş Parçalarının Modellenmesi

4.4.1 Petek Kirişlerin Modellenmesi

Her olay kendine ait büyüklükler yardımıyla cebirsel, diferansiyel veya integral denklemler yardımıyla ifade edilebilir. Karmaşık bir problem, bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayrılarak daha kolay çözülebilir bir hale getirilebilir. Oluşturulan alt problemler çözümlü birleştirilerek esas problem çözülebilir. Örneğin; gerilme problemi, basit kiriş, silindir, küre gibi geometrisi bilinen şekillerle sınırlandırılabilir. Bu elde edilen sonuçlar çoğu kez problemin yaklaşık çözümüdür ve bazen doğrudan bazen de bir katsayı ile düzeltilerek kullanılır. Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı sebebiyle genellikle problemlerin tam çözümü

yerine, kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözüm tercih edilir. Burada anlatılanlar yaklaşık olarak sonlu elemanlar analizinin bir tanımı olabilir.

Bu çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan petek kirişler ve elde edilen optimum boşluklu petek kirişler Ansys workbench bilgisayar programı yardımıyla mesh kontrolü programa bırakılarak modellenmiştir. Profil açıklığı olarak da yaklaşık olarak 3 metre seçilmiştir. Açıklığın yaklaşık olarak ifade edilmesinin sebebi değişik türdeki petek kirişlerin göz açıklığının şekline bağlı olarak ufak değişiklikler sergilemesidir. Örnek olarak bu çalışmada standart I profilin açıklık boyu 3 metre iken; IPE200 den üretilen dairesel boşluklu petek kirişin açıklık boyu 3.156 metredir.

KİRİŞ TÜRÜ	Kesit Görünüm	Node Sayısı	Eleman Sayısı
Standart I profili		456989	78400
Dairesel boşluklu		1042777	626014
Altıgen boşluklu		1106779	661536
Optimum boşluklu		963849	577360

Şekil 4.10 Sonlu eleman yöntemiyle modellenen kiriş ve özellikleri

4.5. Analizlerin Yapılması

4.5.1. Gerilme Analizi

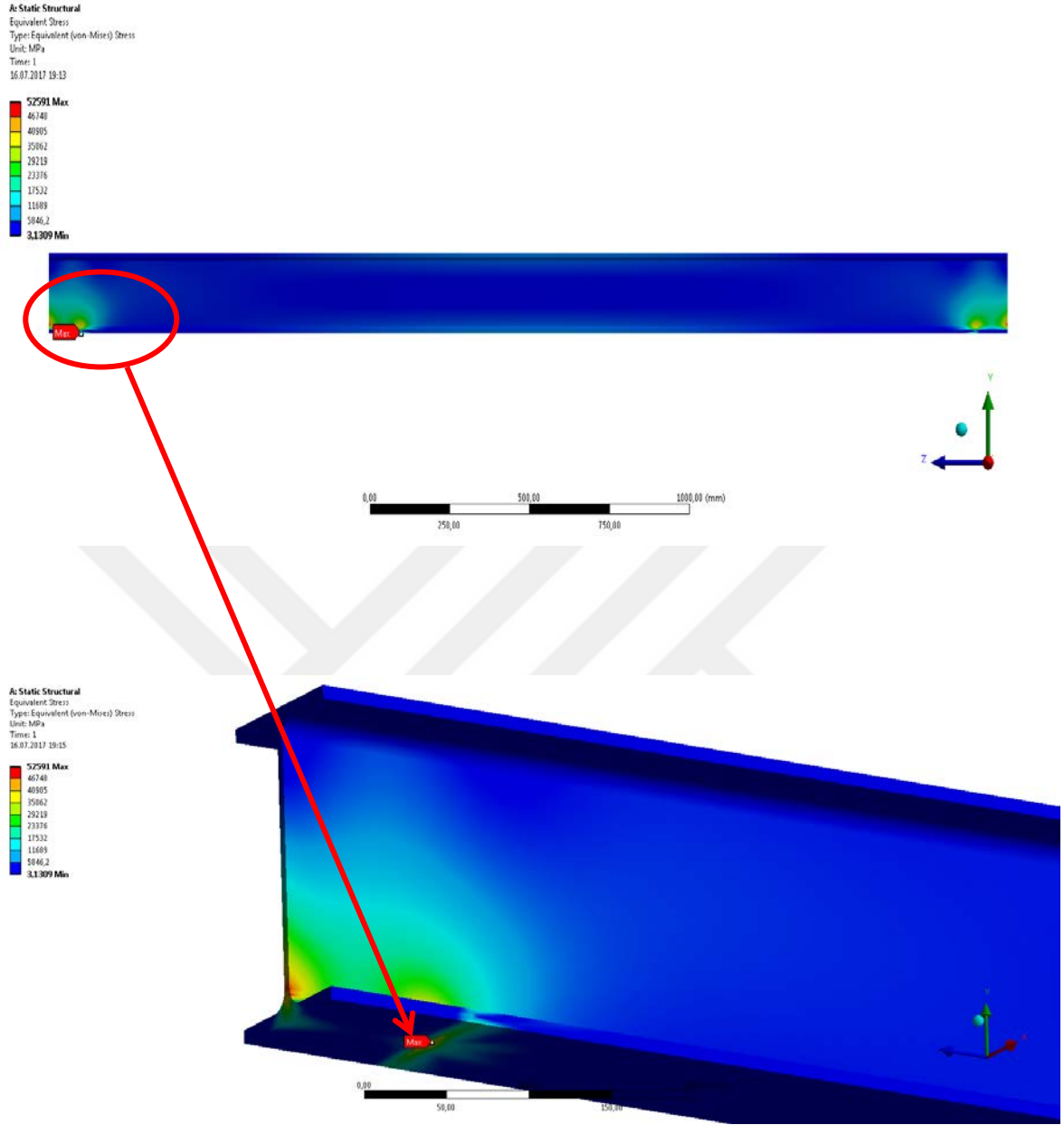
Gerilme analizleri, bir yapının tümü, yapıyı karakterize eden bir bölümü veya incelenmesi gereken yerel bir bölgesi üzerinde yapılabilir. Bir yapının tümü üzerinde yapılacak analizler sınır şartları kabulleri açısından hiç kuşkusuz en sağlıklıdır. Ancak bilgisayar imkan ve yetenekleri ile, modelleme zamanı açısından yapıyı karakterize eden bir bölümünün veya incelenmesi gerekli yerel bir bölgenin analizinin yapılması genel olarak uygulanan yöntemdir.

Gerilme analizlerinde amaç, gerçeği en iyi şekilde temsil edecek şekilde ağ örgüsü ile sonlu sayıda elemana bölünmüş ve sınır şartları verilmiş yapı üzerine uygulanan dış veya iç statik kuvvetlere karşı yapının göstereceği davranışı ve yapı üzerinde oluşacak gerilmeleri incelemektir.

Elastik bir cisim, en genel halde bir kuvvet sisteminin ve bağ kuvvetlerinin etkisinde dengede olsun. Cisimde genelde noktadan noktaya değişen bir gerilme hali, bunun sonucu olarak da şekil değiştirme meydana gelecektir. Mühendislik problemlerinde cismin herhangi bir noktasındaki gerilme halini analiz etmek için (gerilme bileşenlerini, asal gerilmeleri ve doğrultularını vs. bulmak için); gerilmelerin ölçülmesi mümkün değildir. Bunun için birim uzamalar (strains) ölçülerek, gerilme analizi yapılır.

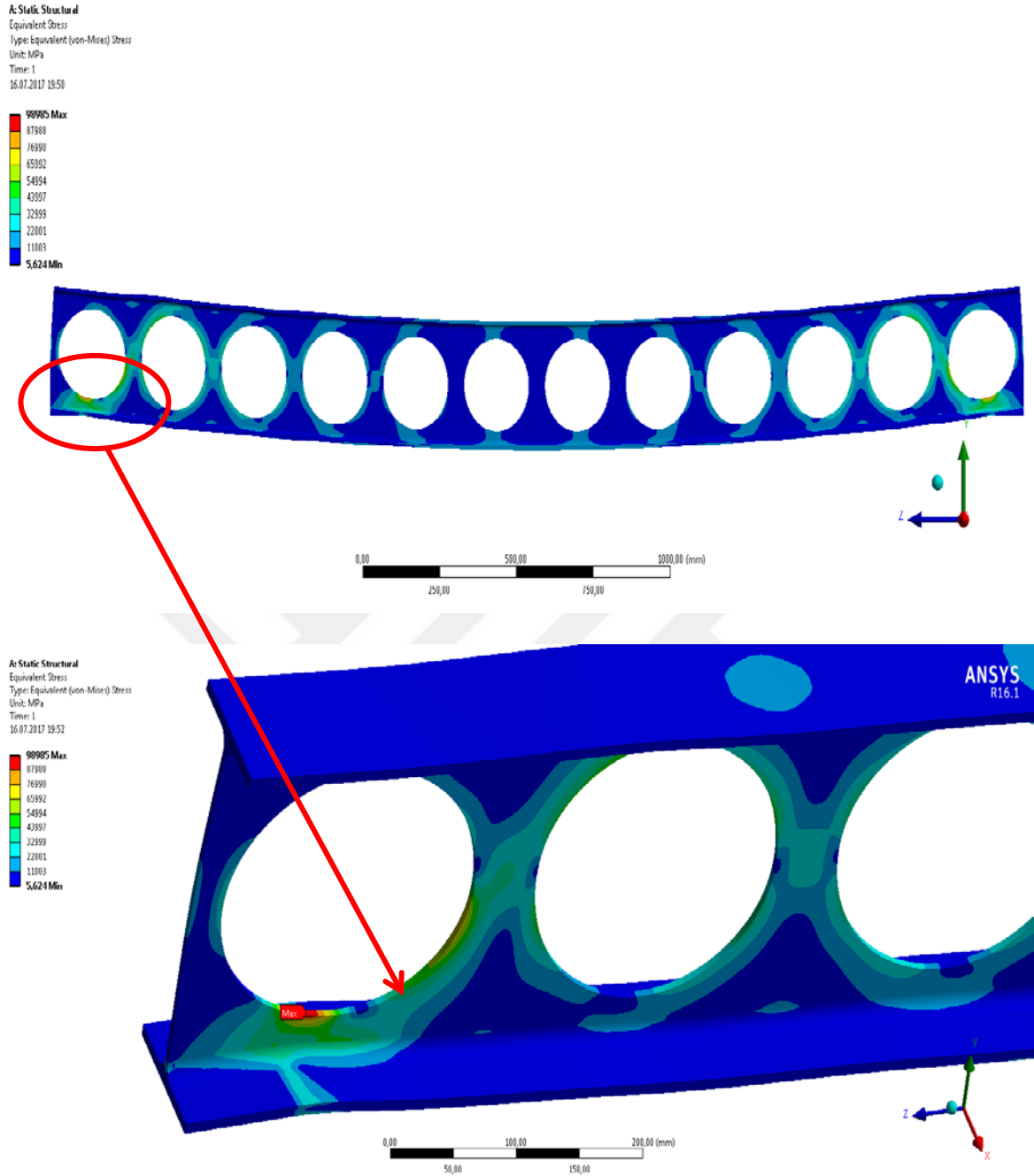
Fakat bu çalışmada gerilme analizini deneysel olarak değil de sonlu elemanlar yöntemini kullanarak bilgisayar yardımı ile yapılmıştır. Uygulanacak kuvvet daha önce belirtilen denklem 4.1 yardımıyla hesaplanarak emniyet katsayısı 1 olarak kabul edilerek kirişlere uygulanmıştır.

Sonlu eleman analiz yöntemi ilk uygulanan kiriş başlangıç kirişi olarak ele aldığımız standart IPE 200 I profil. Akma sınırını 22,13 Mpa olarak hesaplanarak üst yüzeye uygulanmıştır. Analiz sonunda maksimum gerilmenin mesnedin hemen yanı başında meydana geldiği gözlenmektedir. Buradaki gerilme değeri 52591 Mpa olarak okunur. (Bknz Şekil 4.11)



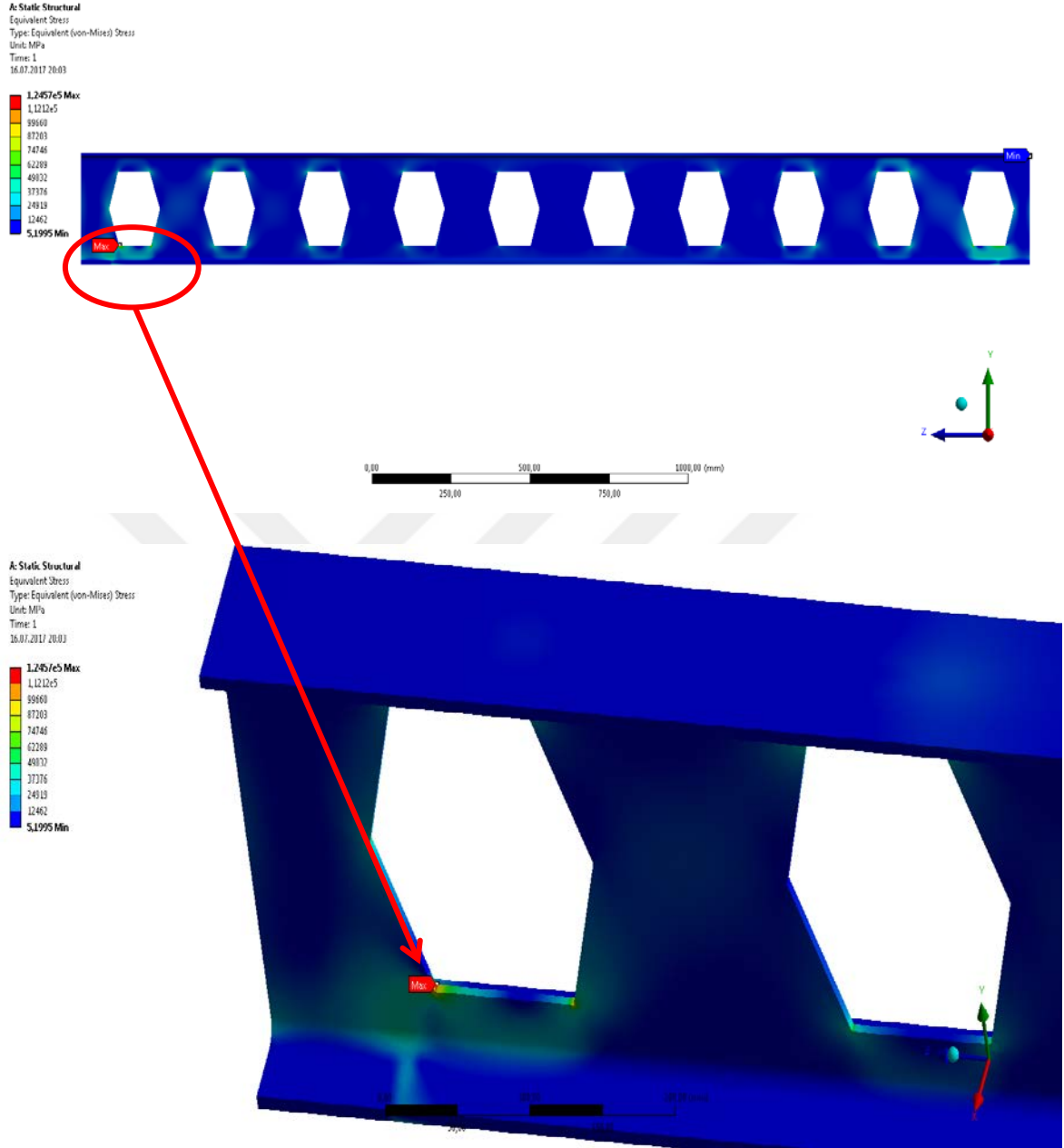
Şekil 4.11 I Profil gerilme dağılımı

Sonlu elemanlar analiz yöntemi uygulanacak ikinci kiriş dairesel boşluğa sahip petek kiriştir. Dairesel petek kirişin akma gerilmesi yaklaşık olarak 35,64Mpa olarak hesaplanmış ve analizde uygulanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlarda maksimum gerilmenin yaklaşık olarak sabit mesnedin tam üstüne gelen göz boşluğunun kenarında 98985 Mpa olduğu görülmektedir. Mesnetten uzaklaştıkça gerilmeler azalmaktadır. (Bknz. Şekil 4.12)



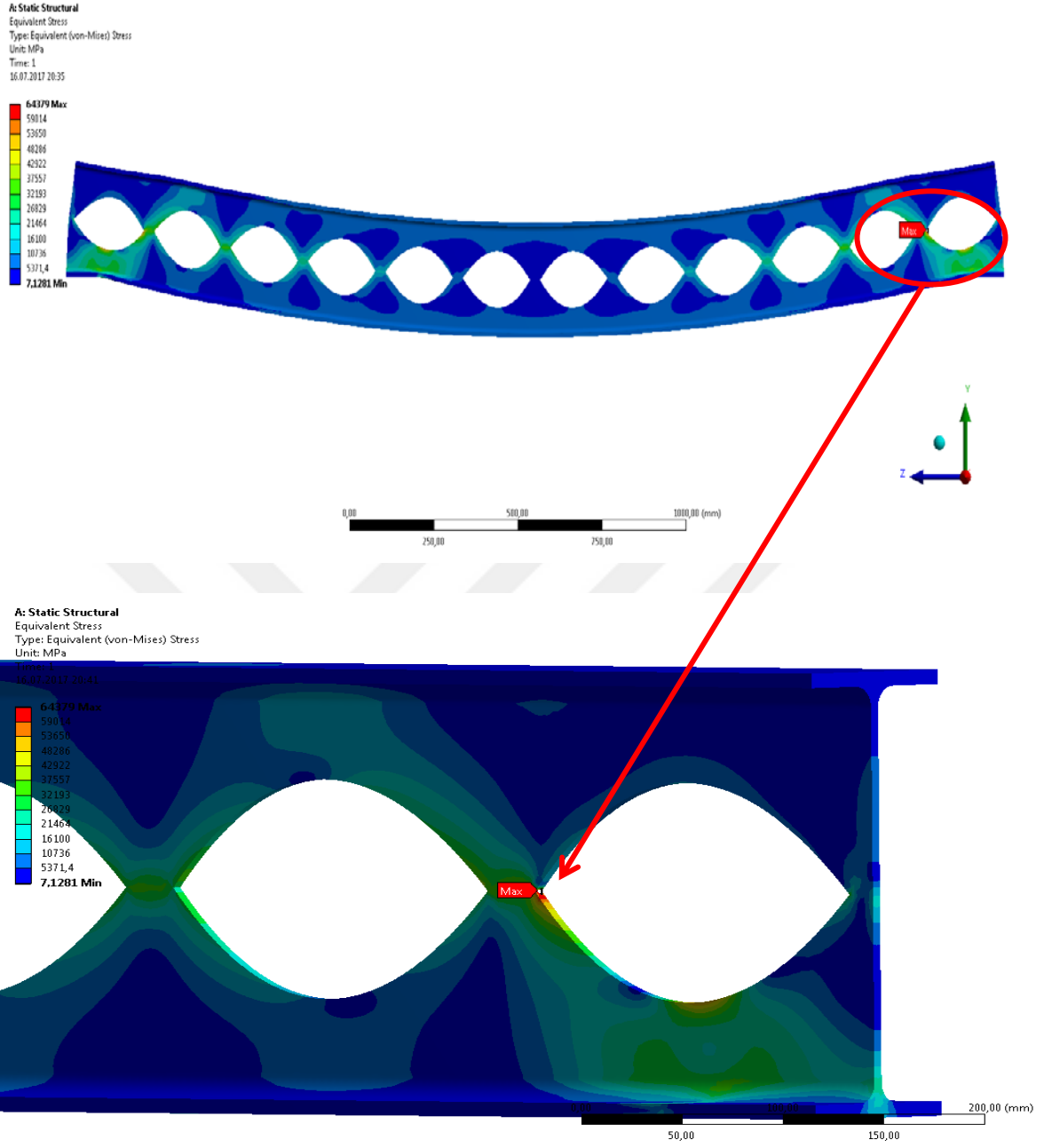
Şekil 4.12 Dairesel boşluklu petek kiriş gerilme dağılımı

Üçüncü olarak da petek kirişlerin ilk formu sayılacak olan altıgen göz boşluklu petek kiriş sonlu elamanlar analiz yöntemi uygulanmıştır. Yük olarak yine akma sınırı hesaplanmıştır. Bu kiriş için yük 37,33 Mpa'dır. Maksimum gerilme dairesel boşluklu petek kirişe benzer şekilde mesnedin hemen üzerindeki göz boşluğunun üzerinde 124570 Mpa olarak kaydedilmiştir. Fakat bu kirişte ek olarak göz boşlukları keskin köşeler içerdiğinden dolayı gerilme yığılması gözlenebilmektedir. (Bknz. Şekil 4.13)



Şekil 4.13 Altıgen boşluklu petek kiriş gerilme dağılımı

Son olarak ta geliştirdiğimiz evrimsel topolojik optimizasyonu algoritması ile elde edilen optimal petek kirişe sonlu eleman analizi uygulanmıştır. Akma sınırı 37,05 Mpa olarak hesaplanmıştır. Diğer kirişlerin aksine bu kirişte maksimum gerilme değeri kayar mesnedin hemen üzerine denk göz boşluğunun keskin kenarında 64379 Mpa olarak okunmuştur. (Bknz. Şekil 4.14)



Şekil 4.14 Optimal boşluklu petek kiriş gerilme dağılımı

Sonlu eleman analiz yöntemi ile yapılan gerilme analizlerinin sonuçları incelendiğinde;

- Aratan atalet momentinin de etkisiyle kirişin yüksekliği arttıkça taşıyabileceği yükün arttığı,
- Peteklerde bulunan göz boşluklarında ani kesit değişimi olduğunda gerilme yığılması gözlenebileceği,
- Gerilmelerin mesnetlere yakın noktalarda arttığı buna karşın mesnetten uzaklaştıkça azaldığı,

- Optimal göz açıklığına sahip kirişin nisbi olarak yüksek taşıma kapasitesi ve düşük gerilme ile öne çıktığı,

görölmüştür.

Tablo 4.2 Gerilme analiz sonuçları

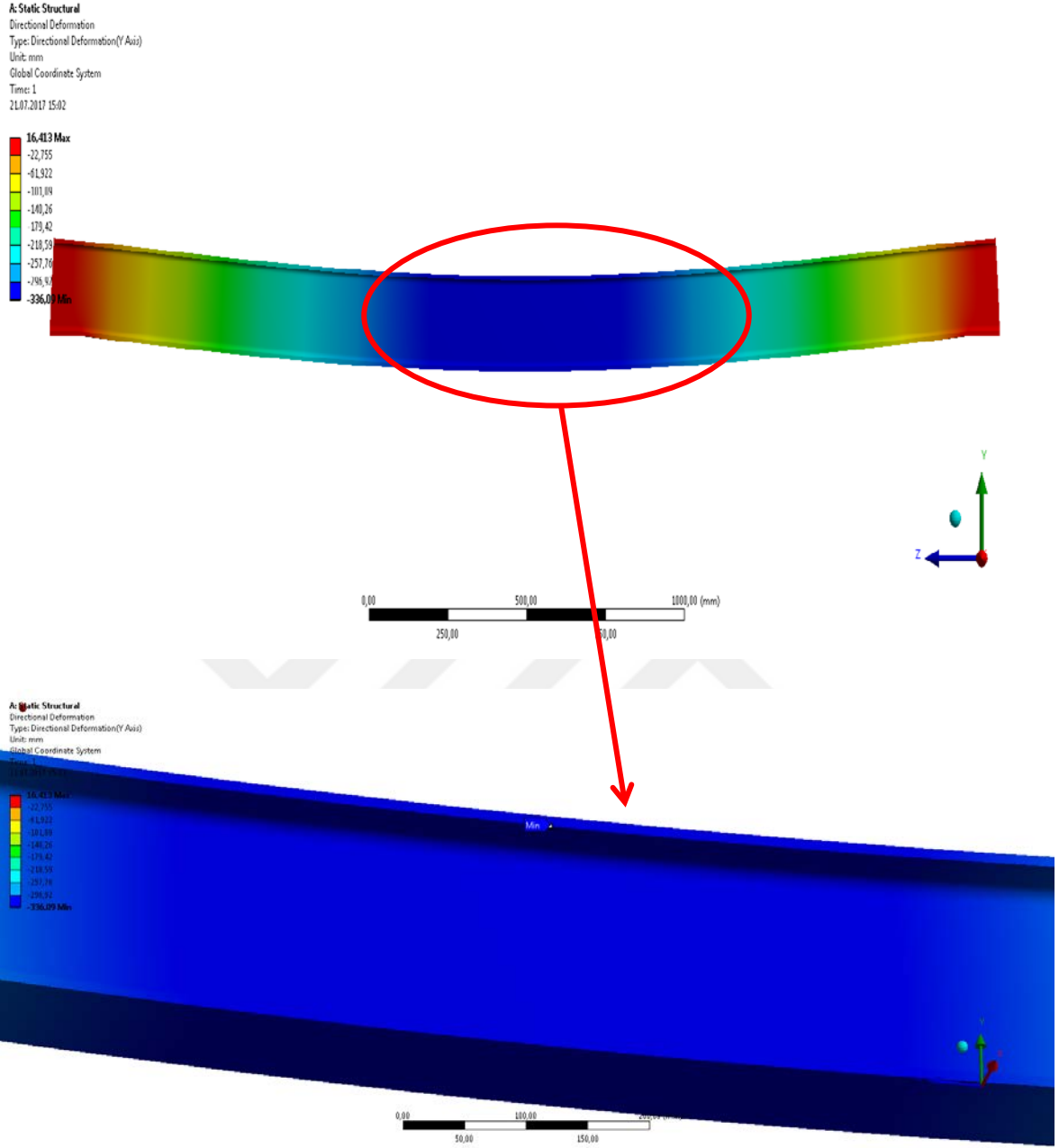
KİRİŞ TÜRÜ	TAŞINAN YÜK	MAKSİMUM GERİLME
I PROFİL	22,13	52591
Dairesel Boşluklu	35,64	98985
Altıgen Boşluklu	37,33	124570
Optimum Boşluklu	37,05	64379

4.5.2. Sehım Analizleri

4.5.2.1. Normal Gerilmeler Altında Sehım Analizi

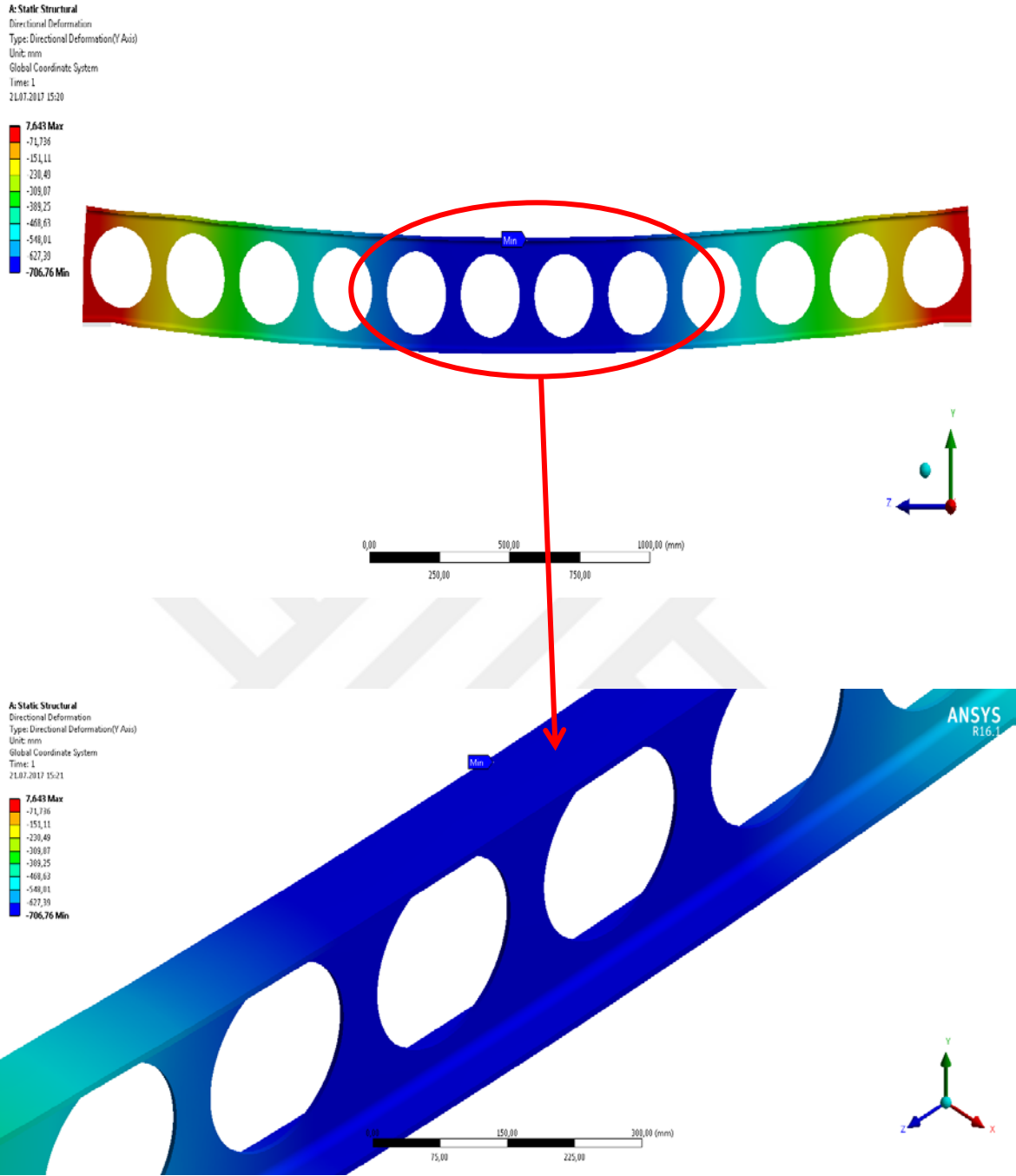
Bir sistemin ve sistem elemanlarının yer ve/veya şekil değiştirmeleri eleman eksenine dik doğrultudaki deformasyonuna sehım denir. Bir taşıyıcı sistemin ve elemanlarının şekil değiştirmelerini hesaplayabilmek için, malzeme, statik, dinamik ve mukavemet bilgileri gerekir. Bir sistemin bir elemanının şekil değişimlerini, deformasyonlarını hesaplayabilmek için, sisteme etki eden dış tesirlerin (servis yükleri ve öz ağırlıklar ile dinamik etkiler ile belki de uniform ve farklı sıcaklık) altında önce gerilme dağılımını hesaplamak gerekir. Ancak bundan sonra maruz kalınan dış tesirler altında elemanların şekil değiştirmeleri hesaplanabilecektir. Analiz yapılacak kirişlere gerilme analizinde olduğu gibi akma sınırında yükleme yapılacaktır.

İlk olarak orijinal IPE 200 I profilin sehım analizi yapılmıştır. Akma gerilmesi olarak hesaplanan 22,13 Mpa gerilme uygulanmıştır. Maksimum sehım beklendiği gibi kirişin orta noktası yani mesnetlere en uzak noktada 336 mm olarak meydana gelmiştir. . (Bknz. Şekil 4.15)



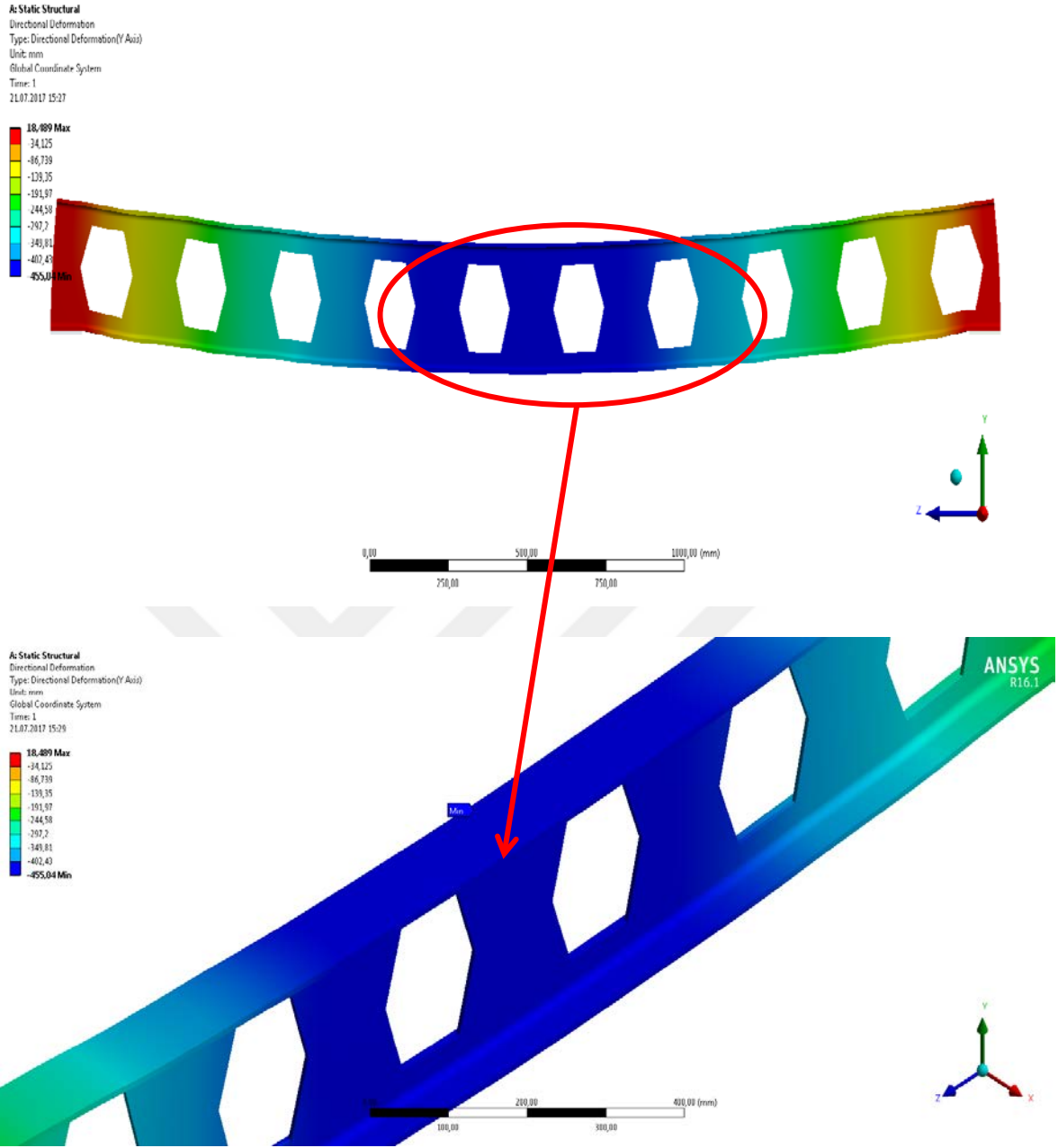
Şekil 4.15 I Profil dikey sehım dağılımı

Sonlu elemanlar yöntemiyle sehım analizine tabi tutulan ikinci kiriş, dairesel boşluklu kiriştir. Akma gerilmesi olarak hesaplanan 35 Mpa üst başlığa uygulanmıştır. En yüksek sehım miktarı tam orta noktadaki dikmenin üzerinde 706 mm olarak kaydedilmiştir. Mesnetlerden uzaklaştıkça sehım miktarının arttığını bir kez daha gözlemleyebiliyoruz. (Bknz. Şekil 4.16)



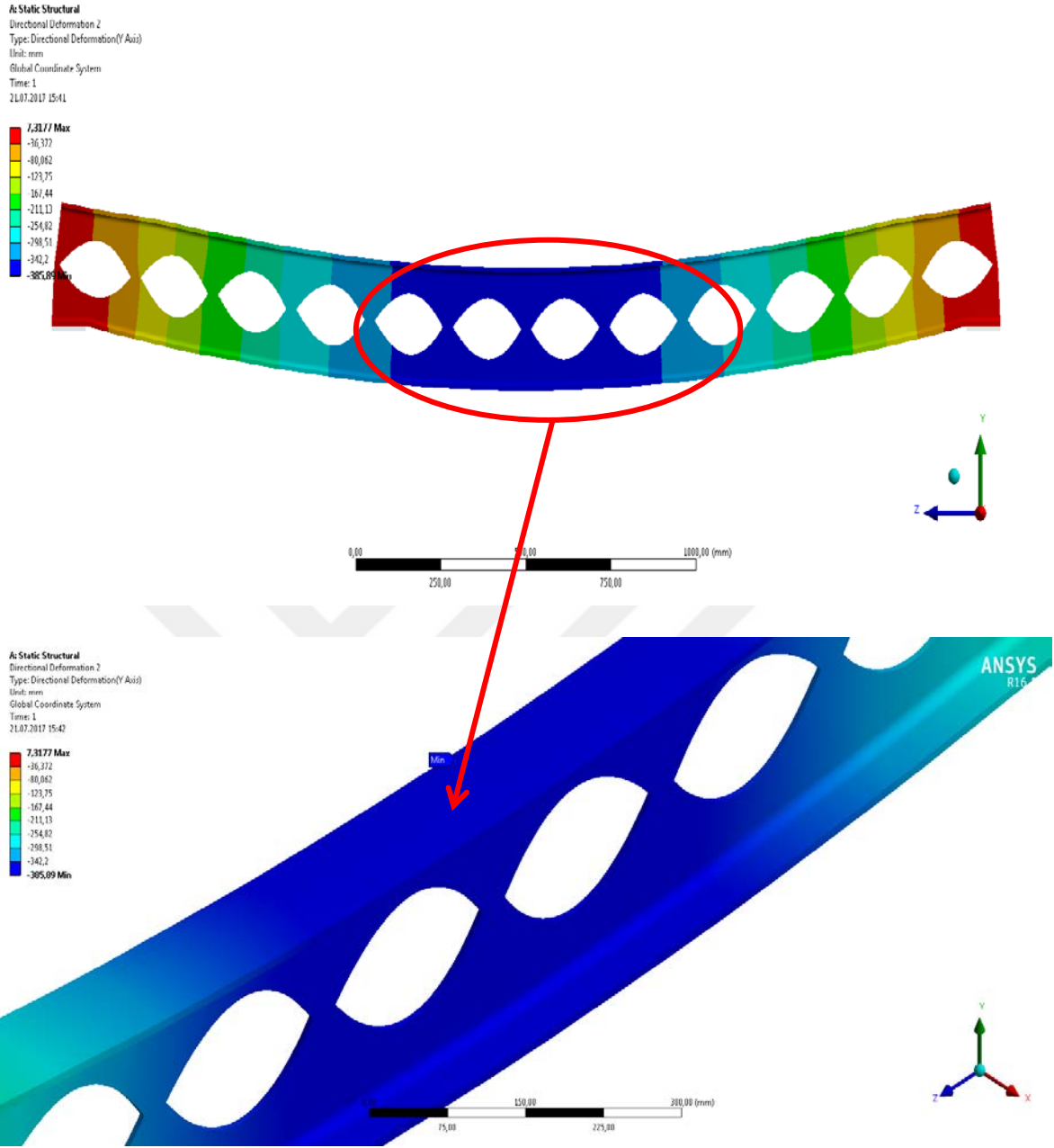
Şekil 4.16 Dairesel boşluklu petek kiriş dikey sehim dağılımı

Üçüncü olarak altıgen boşluklu petek kirişe sehim analizi uygulanmıştır. Bu kirişin sahip olduğu altıgen göz boşluklarının keskin kenarlarının sehim üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı görülmüştür. Kirişin üzerine uygulanan akma gerilmesi 37 Mpa etkisiyle orta eksenini oluşturan dikme üzerinde yaklaşık 455 mm bir sehim oluşmuştur. Oluşan sehimler aşağıdaki Şekil 4.17 gözlemlenebilmektedir



Şekil 4.17 Altıgen boşluklu petek kiriş dikey sehim dağılımı

Son olarak evrimsel topolojik optimizasyon algoritmasını uygulayarak elde edilen geometride göz boşluğuna sahip kirişe sehim analizi uygulanmıştır. Keskin köşe ve oval kenarın birleşimi ile oluşan göz boşluk geometrisinin de diğer kirişlerde olduğu gibi sehime etkisi olmamıştır. Sehime tam da beklendiği gibi mesnetten en uzak dikmenin üzerinde en yüksek değeri olan 385 mm olarak ölçülmüştür. (Bknz Şekil 4.18)



Şekil 4.18 Optimal boşluklu petek kiriş dikey sehime dağılımı

Sonlu eleman analiz yöntemi ile yapılan sehime analizlerinin sonuçları incelendiğinde;

- Aratan atalet momentinin de etkisiyle kirişin yüksekliği arttıkça taşıyabileceği yükün arttığı,
- Peteklerde bulunan göz boşluklarındaki ani kesit değişiminin sehime kayda değer bir etki yapmadığı,
- Sehime mesnetlere yakın noktalarda neredeyse sıfıra yakın olurken mesnetten uzaklaştıkça en yüksek değere ulaştığı,

- Optimal göz açıklığına sahip kirişin nisbi olarak yüksek taşıma kapasitesi ve düşük sehim ile öne çıktığı,

görölmüştür.

Tablo 4.3 Dikey sehim analiz sonuçları

KİRİŞ TÜRÜ	TAŞINAN YÜK	MAKSİMUM SEHİM
I PROFİL	22,13	336
Dairesel Boşluklu	35,64	706
Altıgen Boşluklu	37,33	455
Optimum Boşluklu	37,05	385

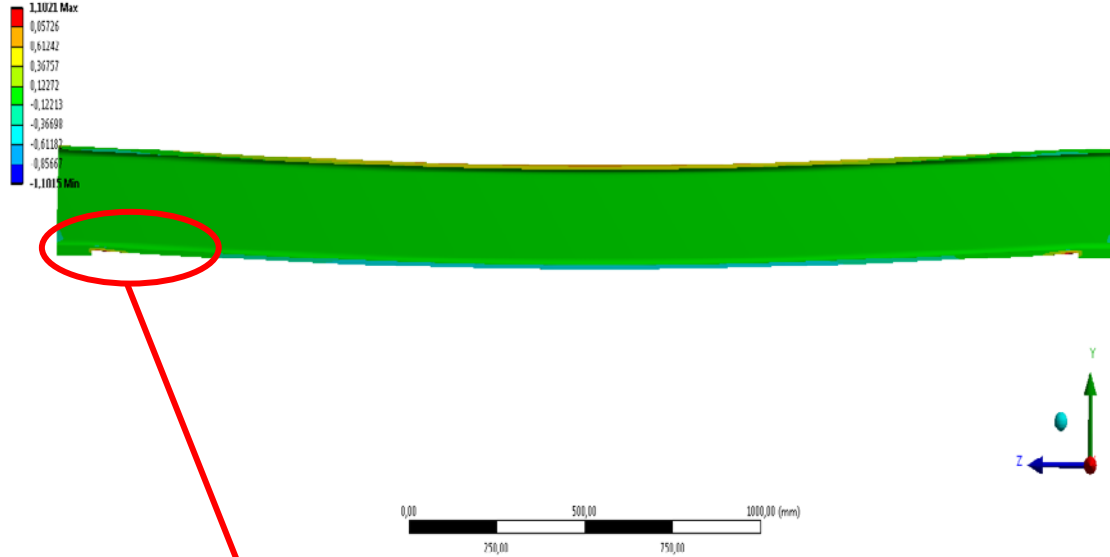
4.5.2.2. Yanal Kesme Kuvveti Altında Sehım Analizi

Kirişler genellikle hem momentinin hem de kesme kuvvetinin etkilerine maruz kalırlar. Kiriş en kesitinde oluşan V kesme kuvveti en kesitteki kesme gerilmelerinin bileşkesidir. En kesit üzerinde oluşan düşey kesme gerilmelerini dengeleyecek yatay kesme gerilmeleri de oluşmaktadır. Kesme gerilmelerinden dolayı kesme şekil değiştirmeleri oluşacak ve kiriş en kesiti karmaşık bir şekil alacaktır. Petek kirişlerde yanal kesme kuvveti petek kirişin başlık bölümündeki aksenal kuvvetlerin değişmesinden dolayı petek kirişin ana gövde bölümünde oluşur.

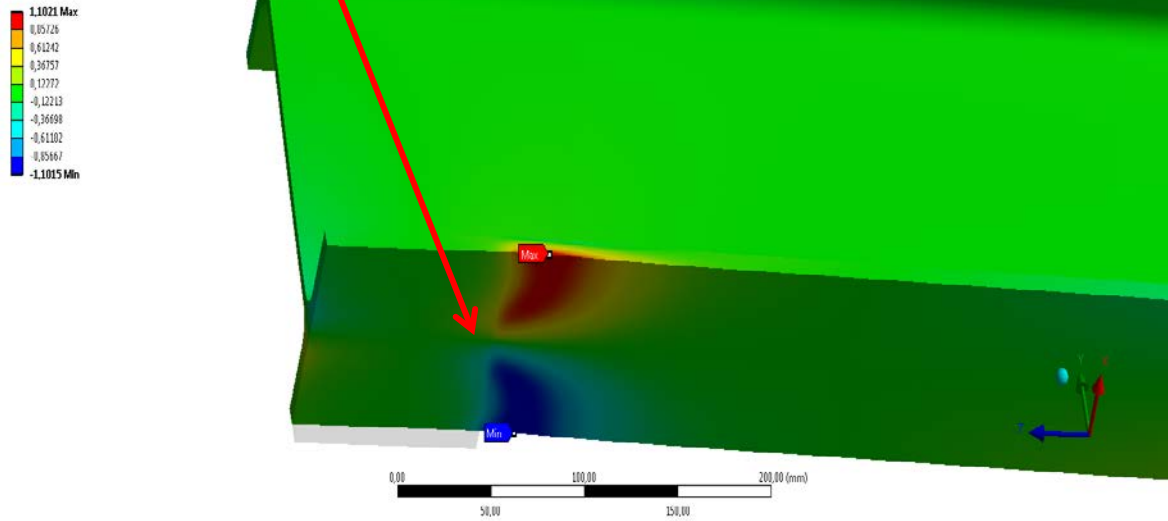
Gövde boşluksuz IPE 200 I profilinin yanal kesme kuvveti altında yan ekseninde gösterdiği sehım Şekil 4.19’da gösterilmektedir. Akma gerilmesi olan 22,13 Mpa gerilme altında yatay ekseninde yaklaşık olarak 1,1mm kadar bir sehım yapmaktadır.

En fazla deformasyon mesnet köşelerine temas eden alt başlık yüzeyinde meydana gelmiştir.

A: Static Structural
Directional Deformation 2
Type: Directional Deformation(X,Axiz)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
21.07.2017 20:34



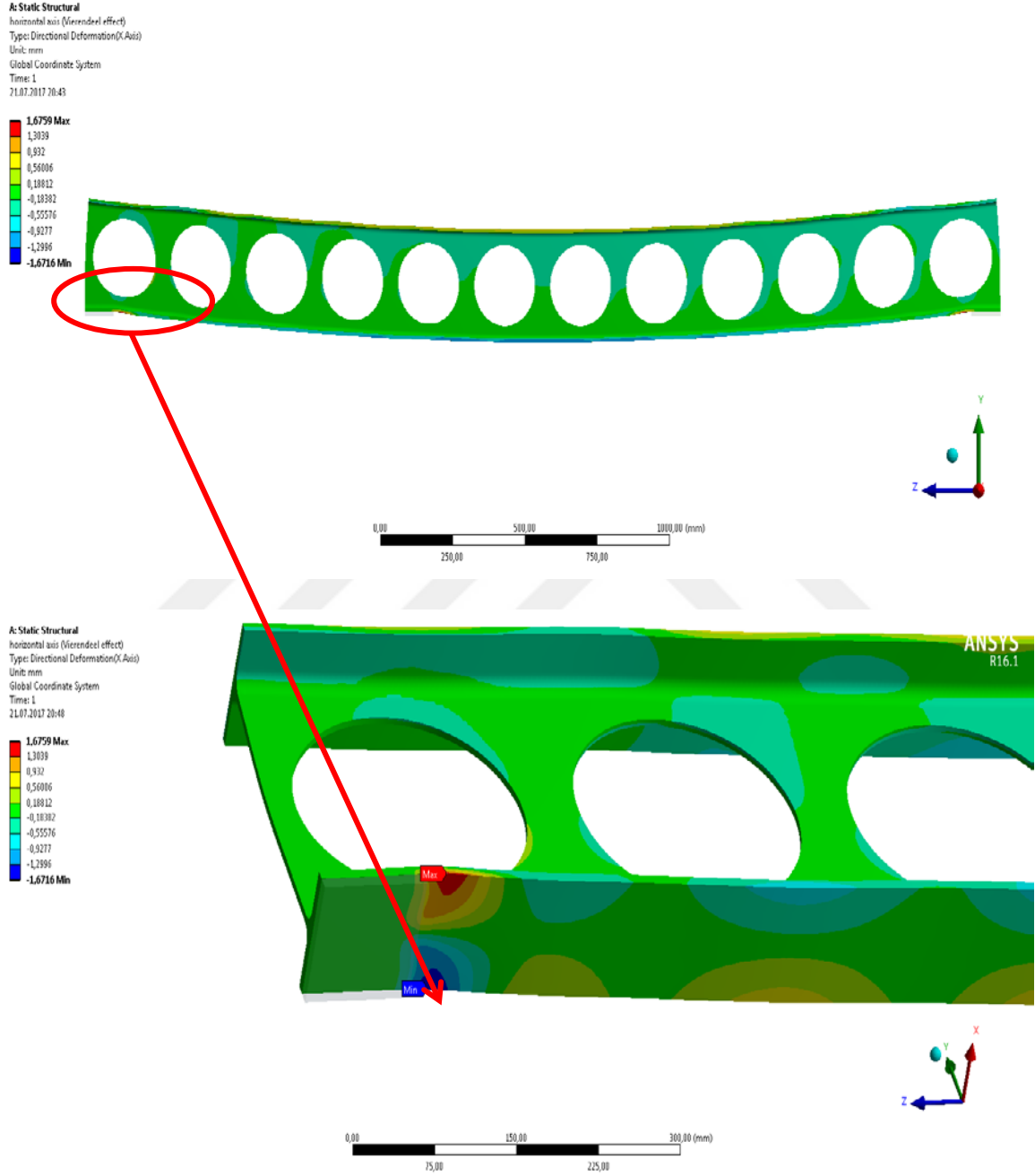
A: Static Structural
Directional Deformation 2
Type: Directional Deformation(X,Axiz)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
21.07.2017 20:39



Şekil 4.19 I Profil yatay sehim dağılımı

Dairesel boşluklu petek kirişe 35 Mpa akma gerilmesi uygulandığında yaklaşık 1,67mm bir deformasyon, I profilde gözlemlenen deformasyonun en yüksek değeri aldığı lokasyonla paralellik göstererek mesnet köşesinde oluşmuştur. Şekil 4.20’de ayrıntısıyla

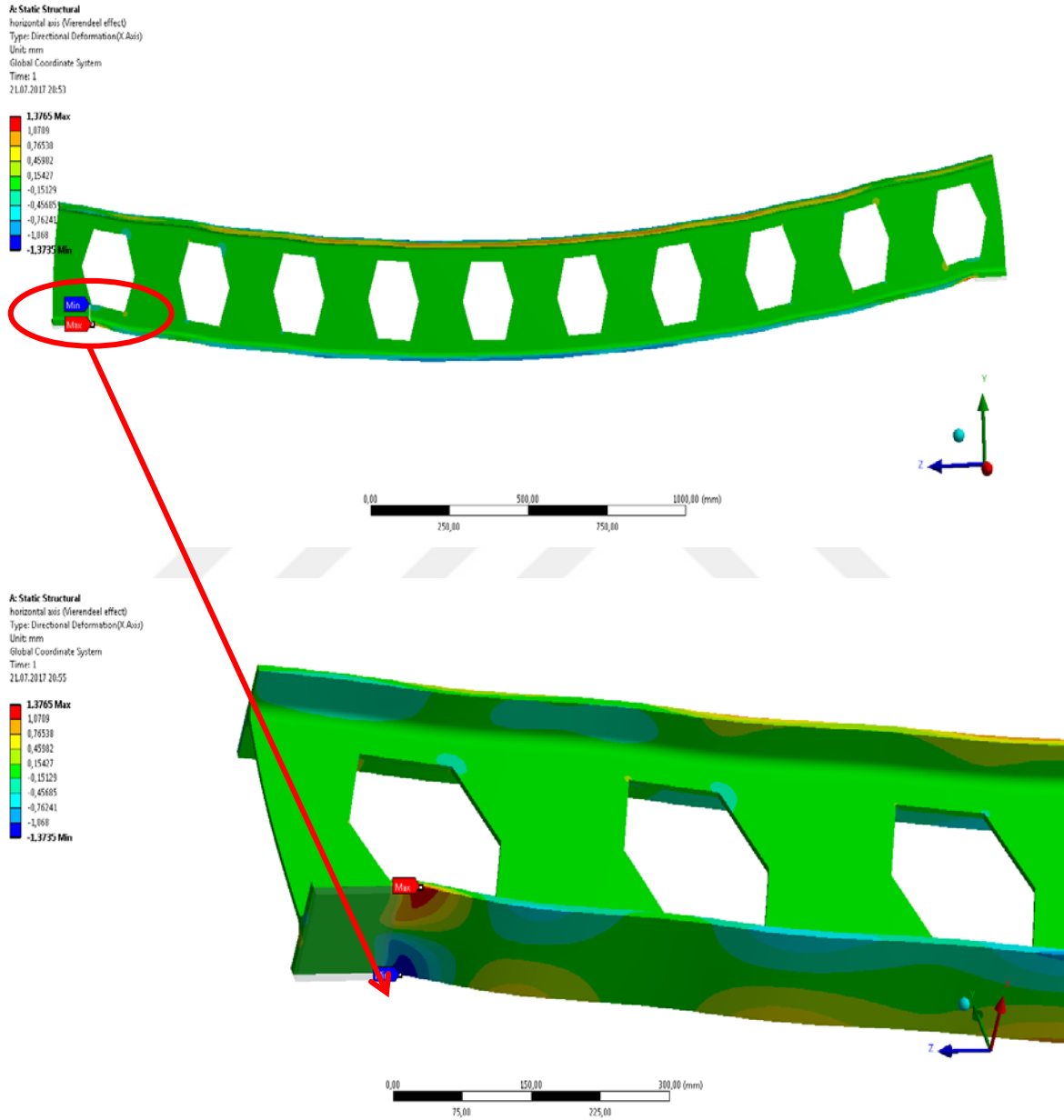
gözükten analiz sonucunda göz boşlukları çevresinde oluşan deformasyon göz ardı edilmemelidir.



Şekil 4.20 Dairesel boşluklu petek kiriş yatay sehım dağılımı

Üçüncü olarak da altıgen göz boşluklu petek kiriş sonlu elaman yöntemiyle yatay eksen de sehım analizi uygulanmıştır. Yük olarak akma gerilmesi olarak hesaplanan 37,33 Mpa uygulanmıştır sonuç olarak da 1,37 mm deformasyon kaydedilmiştir. Keskin kenar ve

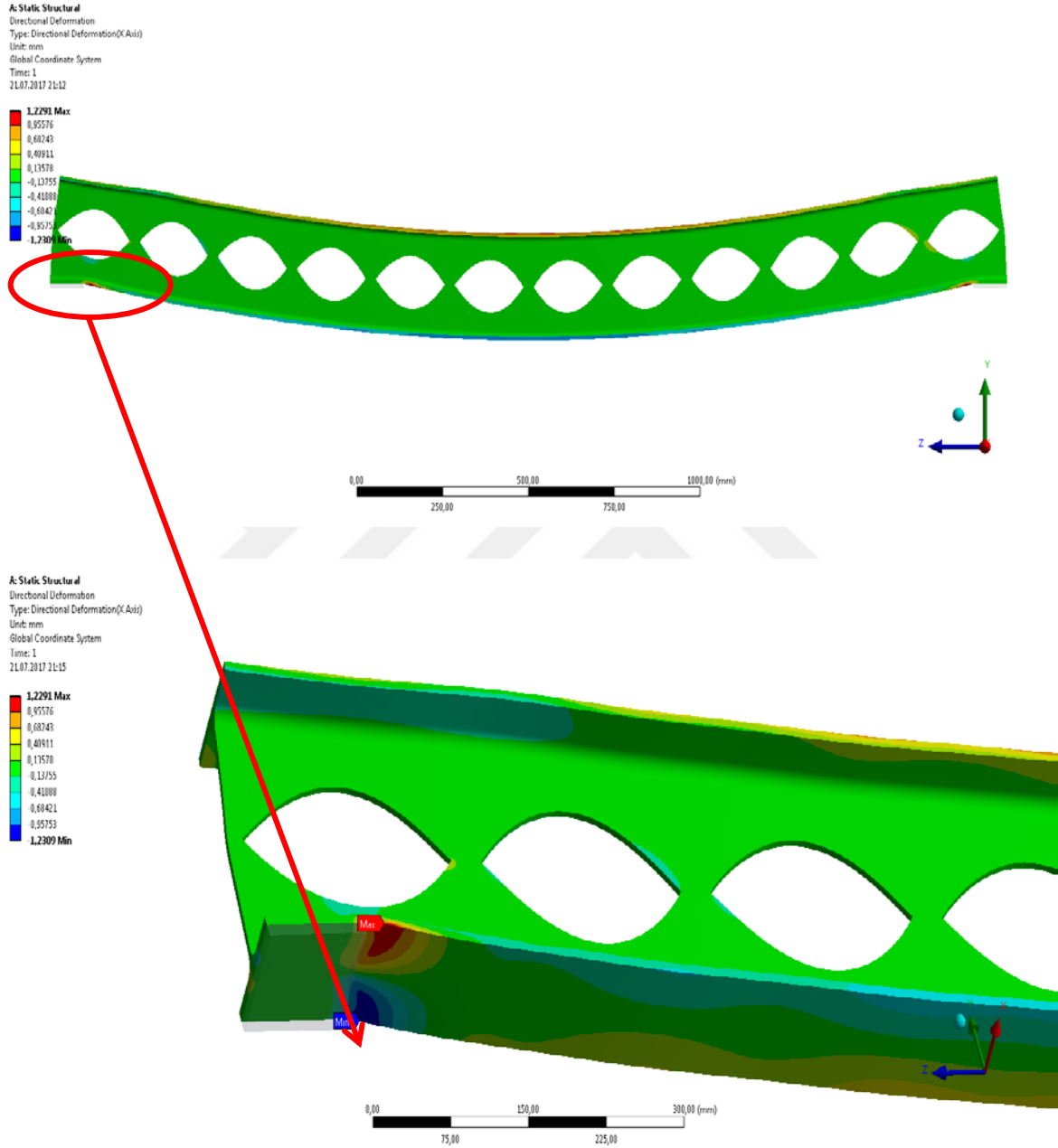
köşelerin yatay yöndeki bu deformasyona kayda değer bir etkisi olmamıştır. Analiz sonuçları Şekil 4.21’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Benzer şekilde mesnet kenarında en fazla deformasyon meydana gelmiştir.



Şekil 4.21 Altıgen boşluklu petek kiriş yatay sehim dağılımı

Son olarak da optimal göz boşluğuna sahip petek kirişe yanal deformasyon analizi uygulanmıştır. Yaklaşık olarak 37,05 Mpa akma gerilmesi sınırında bir yüklemeye maruz kalan optimal petek kiriş 1,2 mm deformasyon ölçülmüştür. Diğer tüm peteklere uygulanana

analiz sonuçlarıyla aynı doğrultuda mesnet köşesinde en fazla deformasyona uğramıştır. (Bknz Şekil 4.22)



Şekil 4.22 Optimal boşluklu petek kiriş yatay sehım dağılımı

Sonlu eleman analiz yöntemi ile yapılan yatay eksen sehım analizlerinin sonuçları incelendiğinde;

- Artan atalet momentinin de etkisiyle kirişin yüksekliği arttıkça taşıyabileceği yükün arttığı,

- Peteklerde bulunan göz boşluklarında ani kesit değişimi oluştuğunda yatay eksendeki sehim kayda değer bir etki yapmadığı, ancak dairesel göz boşluklu yatay kirişlerde göz boşlukları çevresinde diğer kirişlere nispeten daha fazla deformasyon gözlemlendiği
- yatay eksen sehim mesnedin köşesi ile alt başlığın temas ettiği noktada en yüksek değere ulaştığı, diğer noktalarda kayda değer bir deformasyon gözlemlenmediği
- Optimal göz açıklığına sahip kirişin nisbi olarak yüksek taşıma kapasitesi ve düşük sehim ile öne çıktığı,

görülmüştür.

Tablo 4.4 Yatay sehim analiz sonuçları

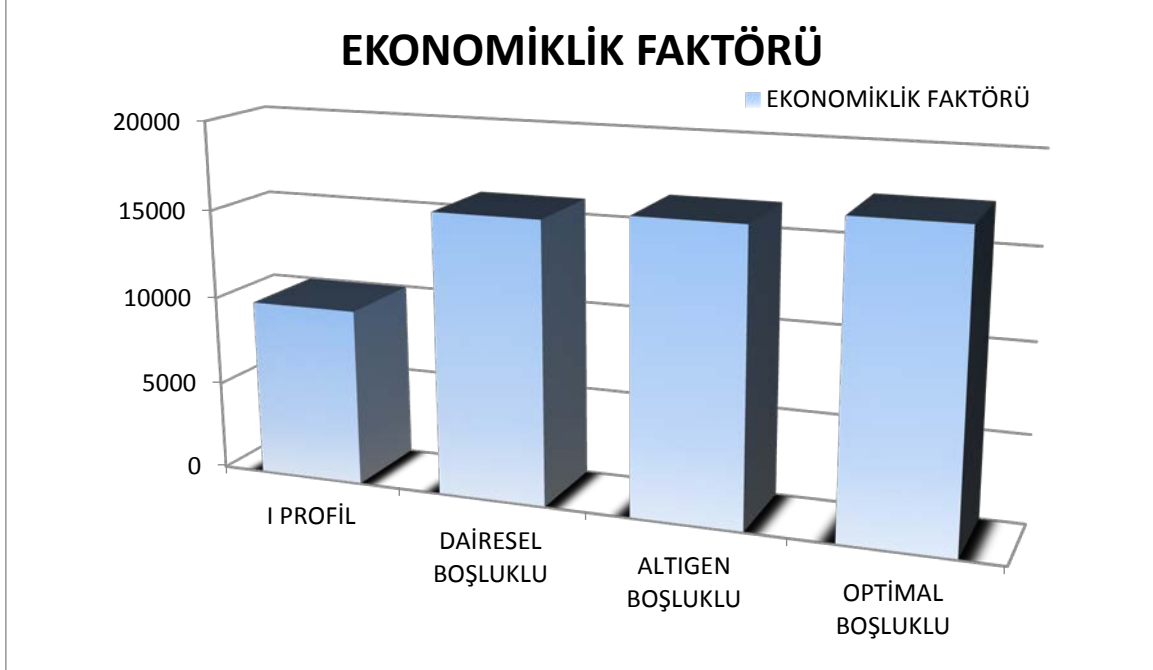
KİRİŞ TÜRÜ	TAŞINAN YÜK	MAKSİMUM SEHİM
I PROFİL	22,13	1,1
Dairesel Boşluklu	35,64	1,67
Altıgen Boşluklu	37,33	1,37
Optimum Boşluklu	37,05	1,2

4.5.3.Ekonomiklik Faktörü

Yapı çeliklerine petek kirişler tarafında getirilmiş en önemli özelliklerinden bir tanesi de ekonomik olmasıdır. I profiller genelde büyük açıklıkların emniyetli bir şekilde dizayn edilmesinde çok sık kullanılan çelik yapı elemanıdır. Standart bir I profilin mukavemet momenti yalnızca kesit yüksekliğinin artırılmasıyla yükseltilebilmektedir. Standart profilin kesit yüksekliğinin artması kirişin kendi ağırlığının da artması anlamına gelmektedir. Tam da bu noktada tasarımcıların imdadına petek kiriş uygulamaları yetişmektedir. Petek kiriş uygulamalarında kesit yüksekliği dolayısıyla mukavemet momenti de artarken ara levhasız formlar için ağırlıkta artış gözlemlenmezken ara levhalı formlarda ki artış da kayda değer olmaktan oldukça uzaktır. Eğilmeye çalışan boşluklu ve boşluksuz kirişlerin ekonomiklik faktörleri taşınan yükün ağırlıklarının birbirine oranlanması ile elde edilir. Yani kirişin taşıdığı yük başına düşen kirişin kendi ağırlığı ağırlık olarak da tanımlayabilir. Yapılan analizler sonucunda aşağıdaki grafikte de

görüldüğü gibi ekonomiklik faktörü en yüksek olan kiriş optimal göz boşluğuna sahip petek kiriştir.

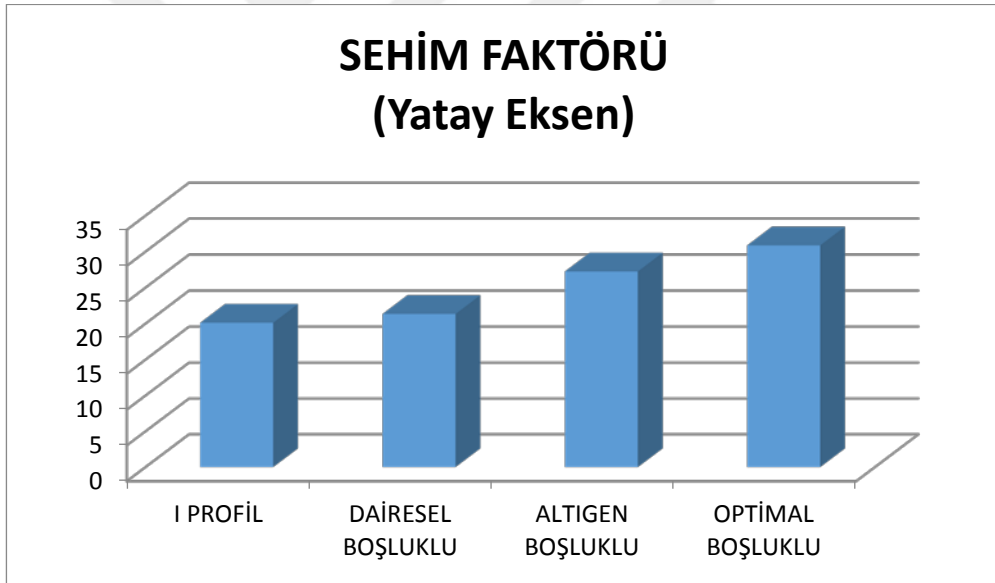
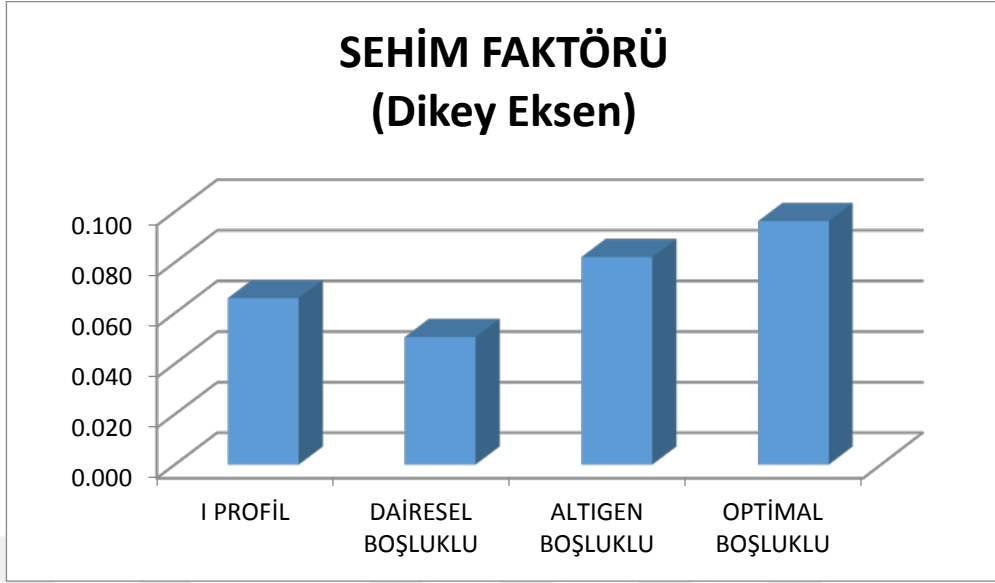
Tablo 4.5 Ekonomiklik faktörü grafiği



4.5.4. Sehim Faktörü

Ekonomiklik faktörünün yanında dikkat edilmesi gereken diğer hususlarda vardır. Bunlar yapıda arzu edilen sehim ve gerilme miktarlarına uyumdur. Ekonomiklik faktörüne benzer bir şekilde sehim başına düşen ağırlık da hesaplanarak bir grafik ile belirtilebilir. Bu durumda ekonomiklik adına kazanç veya kaybın olup olmadığını daha net görebilir. Şekil 4.6'da net olarak görülmektedir ki vazgeçilen her bir mm yatay veya dikey sehim başına yük taşıma kazanımı en fazla değere sahip olan kiriş optimal göz boşluklu petek kiriştir.

Tablo 4.6 Dikey ve yatay semin faktörü



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yurdumuzda sanayi tesislerinin zamanla büyümesi, metropollerin oluşumu ve sanayi alanlarının büyümesi uzun açıklık ve büyük yükseklikli üretim hanelerin sosyo kültürel alanların inşasını zorunlu hale getirmiştir.

Yapılan çalışmalarda bu tip açıklık ve yüksekliğe sahip yapılarda petek kiriş kullanılmasının neredeyse zorunluluk olduğunu göstermiştir. Fakat petek kirişlerin fikrinin ortaya atılıp ilk imalatın yapılmasından günümüze kadar genel olarak üretim tekniği ve estetik kaygılar ile bir göz boşluğu geometrisi belirlenmiştir. Oysaki petek kirişler mühendisliğin tanımı sayılabilecek ilke olan “En sağlamı en ucuza üret” direktifi ile yeniden çalışılmak zorundadır.

Bu çalışmada geliştirilen evrimsel topolojik optimizasyon algoritması sonlu elemanlar yöntemiyle Ansys bilgisayar programı üzerinde uygulanmış ve optimal olarak adlandırılabilir bir göz boşluğu geometrisi ve ölçüsüne ulaşılmıştır. Petek kirişlerin sahip olması istenen optimal göz açıklığını belirlemek amacıyla ortaya konan optimal boyutlandırma problemi, göz açıklığının yaklaşık olarak nerelerde olması gerektiği gibi geometrik ve davranışsal kısıtlayıcılar altında çözülmüştür. Elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında görülmüştür ki elde edilen optimal göz açıklığına sahip petek kiriş, gerek yük taşıma kapasitesi gerekse yük altında meydana gelen deplasmanlar ve de gerek yük altında oluşan iç gerilmeler hususunda yaygın olarak kullanılan petek kirişlerden daha gelişmiş özellikler sergilemiştir.

Ayrıca kirişin, kendi ağırlığı başına taşıyabildiği yük kapasitesinin de arttığı dolayısıyla kullanılacağı yapılarda da ekonomiklik faktörünün yükseldiği görülmektedir. Ulaşılan sonuçlar ışığında bilgisayar yardımıyla yapılan modellemede optimal göz boşluklu kiriş ve diğer kirişler gerilme ve sehim analizine sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmıştır.

Sonuçlar karşılaştırıldığında optimal petek kirişin

- Diğer kirişler nispeten daha rijit bir yapı sergilediği,
- Piyasada yaygın olarak kullanılan kirişlere göre boy/ağırlık oranının düşük olduğu,
- Üretiminin klasik petek kiriş üretim yöntemleri ile kolaylıkla yapılabileceği,

- Maruz kaldığı yükler altında uğradığı deformasyon sonucu oluşan sehım miktarının yük aşım kapasitesine oranlandığında diğer kirişlerden daha üstün olduğu,
- Yapılardaki diğer kirişlere göre yük/ağırlık oranının yüksek olduğu yani en düşük ağırlıkla en çok yükü taşıyabileceği,

görülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] Design of Cellular Beams. [Çevrimiçi] Macsteel Service Centers SA (Pty) Ltd., 2008. <http://www.macsteel.co.za/cellbeam>.
- [2] Failure of castellated beams due to. M.U. Husain and W.G. Speirs. 1, s.l. : Acier-Stahl-Steel, 1971.
- [3] An investigation of open. M.D. Altifillisch, B.R. Cooke and A.A. Toprac. 1957, Welding Research Council Bulletin, Cilt 47, s. 77-88.
- [4] An experimental investigation of openweb. Cooke, A.A. Toprac and B.R. New York : s.n., 1959, Welding Research Council Bulletin, s. 1-10.
- [5] The plastic behavior of castellated beams. Sherbourne, A.N. Inst. Of Welding. London : s.n., 1966. Cilt 2, s. 1-5.
- [6] Tests on castellated beams. A. Bazile and J. Texier. Paris : s.n., 1968, Constr. Métallique, Cilt 3, s. 12-25.
- [7] Failure of castellated beams due to. Speirs, M.U. Husain and W.G. 1971, Acier-Stahl-Steel, Cilt 1.
- [8] Optimum expansion ratio of castellated beams. A.R. Galambos, M.U. Husain and W.G. Spin. London : s.n., 1975, Engineering Optimization, Cilt 1, s. 213-225.
- [9] Web buckling in thin webbed castellated beams. W. Zaarour, R.G. Redwood. 8, 1966, Journal of Structural Engineering, Cilt 122, s. 860-866.
- [10] Castellated beam web buckling in shear. R.G. Redwood, S. Demirdjian. 1998, Journal of Structural Engineering, Cilt 124, s. 202-207.
- [11] Optimum design of steel structures with web openings. Lagaros ND, Psarras LD, Papadrakakis M, Panagiotou G. 2008, Eng Struct, Cilt 30, s. 2528-37.
- [12] Optimum design of cellular beams using harmony search and particle swarm optimizers. F. Erdal, E. Doğan, MP. Saka. 2011, Journal of Constructional Steel Research, Cilt 67, s. 237-247.
- [13] Application of topology optimisation to the design of steel I-section webs. KinKingman JJ, Tsavdaridis KD, Toropov VV. Sardinia : s.n., 2013. The 14th international conference of civil, structural and environmental engineering computing. s. 3-6.

- [14] Application of structural topology optimisation to perforated steel Beams. Tsavdaridis K.D, Kingman J.J.,Toropov V.V. 2015, Computers and Structures, Cilt 158, s. 108-123.
- [15] Odabaşı, Y. Petek Kirişler Hesap ve Yapım Yöntemleri. İstanbul : İTÜ, 1982.
- [16] A., Özgen. Özel Kirişler. Çelik Yapılar Seminer Notları. İstanbul : İTÜ, 1983. Cilt 1.
- [17] Belegundu AD, Chandrupatal TR. Optimisation concepts and applications in engineering. 2. New York : Cambridge University Press, 2011.
- [18] Structural optimization: A tool for evaluating seismic design procedures. Lagaros ND, Fragiadakis M, Papadrakakis M, Tsompanakis Y. 12, 2006, Engineering Structures, Cilt 28, s. 1623-33.
- [19] An evolutionary procedure for structural optimisation. Xie YM, Steven GP. 5, 1993, Comput Struct, Cilt 49, s. 885-896.
- [20] Bubble method for topology and shape optimisation of structures. Eschenauer HA, Kobelev HA,Schumacher A. 1, 1994, Struct Multidiscipl Optim, Cilt 8, s. 42-51.
- [21] A level set method for structural topology optimisation. 14Wang MY, Wang X, Guo D. 1-2, 2003, Comput Methods Appl Mech Eng, Cilt 192, s. 42-51.
- [22] A topological derivative method for topology optimisation. Norato JA, Bendsøe MP, Haber RB, Tortorelli DA. 4-5, 2007, Struct Multidiscipl Optim, Cilt 22, s. 375-386.
- [23] Çiftçi E., “Evolutionary algorithms in design”, Master of Science Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University, Ankara, 5-11 (2006).
- [24] Wasiutynski, Z., Brandt, A., “The Present State of Knowledge in the Field of Optimum Design of Structures”, Applied mechanics Review, 16 (5): 341–350 (1963).
- [25] Rabinovich, I. M. “On The Theory of Statically Indeterminate Lattices”, Centr.Inst. Transp. Stroit, 1-55 (1933).
- [26] Wasiutynski, Z., “The Strength Design (In Polish)”, Acad. Tech. Sci., Warsaw,Poland, 1-109 (1939).
- [27] Prager, W.,“Minimum Weight Design of Plates”, Applied Mechanics Review, 9:141-142 (1956).

- [28] Haftka, R. T., Kamat, M. P., "Elements of Structural Optimization", Martinus Nijhoff Publishers, The Netherlands, 1-133 (1985).
- [29] Rao, S. S., "Engineering Optimization, Theory and Practice 3rd ed.", John Wiley & Sons Inc. Press, USA, 1-129 (1996).
- [30] Vanderplaats, G. N., "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications", McGraw-Hill, USA, 50-330 (1984).
- [31] Belegundu, A. D., Chandrupatla, T. R., "Optimization Concepts and Applications in Engineering", Prentice Hall Inc., New Jersey, 250-432 (1999).
- [32] Haftka, R. T., Gürdal, Z., "Elements of Structural Optimization", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 300-450 (1990).
- [33] Allaire, G., Kohn, R. V., "Topology Optimization and Optimal Shape Design Using Homogenisation", Bendsøe, M. P., Mota Soares, C. A., (Eds.) Topology Design of Structures, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 207-218 (1993).
- [34] Charbonneau, P., "An Introduction to Genetic Algorithms for Numerical Optimization", NCAR Technical Note, Colorado, 17-27 (2002).
- [35] McCall, J., "Genetic Algorithms for Modelling and Optimization", Journal of Computational and Applied Mathematics, 184: 205-222 (2005).
- [36] Niu, M. C. Y., "Airframe Structural Design 2nd ed.", Con Milit Press, Hong Kong, 119-162 (1999).
- [37] Bruhn, E. F., "Analysis and Design of Flight Vehicle Structures", Tri-State Offset Company, U.S.A, 670-735 (1965).
- [38] Viana, F., Steffen, V., "Optimization of an Aircraft Structural components by using nature-inspired algorithms and multi-fidelity approximation", Springer Science & Business Media, 45(3): 427-449 (2008).
- [39] Gallagher, R. H., Zienkiewicz, R. H., "Optimum Structural Design", John Wiley and Sons, 133-358 (1973).
- [40] Huang X., Xie Y. M., "Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures: Methods and Applications", John Wiley & Sons, New Delhi, India, 5-150 (2010).
- [41] Prager, W., Rozvany, G. I. N., "Optimization of Structural Geometry", Bednarek, A. R., Cesarj, L., (Eds.) Dynamical Systems, Academic Press, New York, 265-293 (1977).

- [42] Rozvany, G. I. N., Bendsøe, M. P., Kirsch, U., "Layout Optimization of Structures", *Applied Mechanics Review*, 48 (2): 41-119 (1995).
- [43] Bendsøe, M. P., "Optimization of Structural Topology", *Shape and Material*, Springer, Berlin, Germany, Carmichael, D., G., "Computation of Pareto Optimal in Structural Design", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 15: 925-952 (1995).
- [44] Bendsøe, M. P., Kikuchi, N., "Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenisation Method", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71: 197-224 (1988).
- [45] Maute, K., Ramm, E., "Adaptive Topology Optimization", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 10: 100-112 (1995).
- [46] Xie, Y. M., Steven, G. P., "Evolutionary Structural Optimization", Springer Verlag, London, UK, 1-188 (1997).
- [47] Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, USA, 1-7 (1989).
- [48] Woon, S. Y., Tong, L., Querin, O. M., Steven, G. P., "Optimising Topologies Through a Multi-GA System, The Fifth World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO-5), Italy, 229-230 (2003).
- [49] Chu, D. N., Xie, Y. M., Hira, A., Steven, G. P., "Evolutionary Structural Optimization for Problems with Stiffness Constraints", *Finite elements in Analysis and Design*, 21: 239-251 (1996).
- [50] Li, Q., Steven, G. P., Xie, Y. M., "Evolutionary Shape Optimization A Stress Based Sensitivity Analysis Method", *Proceedings of the Second Australian Congress on Applied Mechanics ACAM '99*, Canberra, 40-50 (1999).
- [51] Manickarajah, D., Xie, Y. M., Steven, G. P., "An Evolutionary Method for Optimization of Plate Buckling Resistance", *Finite Elements in Analysis and Design*, 29: 205-230 (1998).
- [52] Li, Q., "Evolutionary Structural Optimization for Thermal and Mechanical Problems", *Doctorate Thesis, School of Aeronautical, Mechatronic and Mechanical Engineering, University of Sydney, Australia*, 1-47 (2000).
- [53] Querin, O. M., "Evolutionary Structural Optimisation: Stress Based Formulation and Implementation", *Doctorate Thesis, School of Aeronautical, Mechatronic and Mechanical Engineering, University of Sydney, Australia*, 15-184 (1997).

- [54] Young, V., Querin, O. M., Steven, G. P., Xie, Y. M., “3D and Multiple Load Case Bi-directional Evolutionary Structural Optimisation (BESO)”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 18: 183-192 (1999)
- [55] 20yy. *Construct. Steel Research* 4 (1984) 295-315 Failure Modes for Castellated Beams D. Kerdal* and D. A. Nethercott Department of Civil Engineering, University of Science and Technology, Oran, Algeria Department



ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Manisa’da tamamladı. 2005 yılında Maltepe Askeri Lisesinden 2009 yılında Kara Harp Okulundan mezun olarak Teğmen rütbesi ile Jandarma Genel Komutanlığı saflarına katıldı. 2012 yılında Üsteğmen, 2015 yılında Kıdemli Üsteğmen rütbesine terfi etti. 2013 yılında evlendi. Halen Elazığ İl Jandarma Komutanlığında Karargah Bölük Komutanı olarak görev yapan Ender ÇELİK bir çocuk babasıdır.

Adres : Olgunlar Mahallesi İshak SUNGUROĞLU Caddesi NO5/2 D:8
Merkez/ELAZIĞ

E-mail : endercelik13@gmail.com