



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDEKİ ÇELİK KONSTRÜKSİYON
PROFİLLERİNİN YAPISAL VE TOPOLOJİK OPTİMİSAZYONU

CENGİZ BAYRAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS-2023

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDEKİ ÇELİK KONSTRÜKSİYON
PROFİLLERİNİN YAPISAL VE TOPOLOJİK OPTİMİSAZYONU**



CENGİZ BAYRAM

Danışman: Doç. Dr. ERCAN KÖSE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS-2023

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Ercan KÖSE
(Danışman)

Üye: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ

Üye: Prof. Dr. Aydın ŞIK

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2023 tarih ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
.../.../2023

Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirimlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. ... / ... / 2023

İmza

Cengiz BAYRAM

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDEKİ ÇELİK KONSTRÜKSİYON PROFİLLERİNİN YAPISAL VE TOPOLOJİK OPTİMİZASYONU

CENGİZ BAYRAM

Yüksek Lisans Tezi, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ercan Köse

Temmuz 2023, 147 sayfa

İmalat sektöründe; imalatçılar ürün özelliklerini, müşteri taleplerini dikkate alırken daha düşük maliyetle ürünlerini geliştirme çabasına girmektedir. İmalatın ilk ayağı satıştır. Satılan üründen elde edilen geri dönüşlere göre imalatı yapılacak ürünün istenilen kalite özelliklerine ve standartlara göre elverişli tasarımların yapılması söz konusudur. İmalatın en uygun şekilde yapılması sürecinde güneş panellerin çelik konstrüksiyondaki C profilleri yapısal ve topoloji optimizasyon yöntemleri kullanarak oluşturulan modelleri sonlu eleman analizine tabi tutulup optimum tasarımı hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapısal, Topoloji Optimizasyon, Güneş Enerjisi Sistemlerindeki Çelik Konstrüksiyon Profilleri, Ağırlık Azaltma, İmalat Mühendisliği

ABSTRACT

STRUCTURAL AND TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF STEEL CONSTRUCTION PROFILES IN SOLAR ENERGY SYSTEMS

CENGİZ BAYRAM

Graduate School of Education Department of Manufacturing Engineering

Advisor: Associated Doç.Dr. Ercan Köse

July 2023, 147 pages

In the manufacturing sector; While the manufacturers take into account the product features and customer demands, they try to develop their products at a lower cost. The first step of production is sales. According to the feedback obtained from the product sold, it is possible to make suitable designs according to the desired quality characteristics and standards of the product to be manufactured. In the process of making the most appropriate production, the C profiles of the solar panels in the steel construction, which were created using structural and topology optimization methods, were subjected to finite element analysis and the optimum design was aimed.

Keywords : Structural, Topology Optimization, Steel Construction Profiles in Solar Energy Systems, Weight Reduction, Manufacturing Engineering

ÖNSÖZ

Dünyanın artan nüfusuna bağlı olarak ihtiyaçlar çeşitli şekillerde artarak ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçların giderilmesi için enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Dünyada ve ülkemizde enerjiye olan talep arttığından mevcut olan enerji kaynaklarına ek olarak alternatif kaynaklara yönelme isteği de artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisi, yaşayan tüm canlılar için hayati öneme sahiptir. Güneş enerjisinden ısı ve elektrik şeklinde faydalanmasının yanı sıra doğaya zarar vermemesinden dolayı yeşil enerji olarak da bilinmektedir. Bu faydalarından dolayı güneş enerjisinin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Güneş enerjilerine olan yatırımların artacağından bilinmesinden dolayı güneş panellerin kurulumu sırasında ortaya çıkan maliyet hesapları da önem arz etmektedir. Bu çalışmada güneş panellerin kurulumunda kullanılan çelik konstrüksiyon elemanlarından biri olan C profillerini optimizasyon süreçlerine tabi tutarak maliyetten kazanç elde edilebilecektir.

Tez süresince bana yardımcı olan Gaziantep İslahiye Fevzipaşa Çok Programlı Anadolu Lisesinde çalışan Matematik Öğretmeni Ceyhun AKGÖZ'e, Fizik Öğretmeni Adem ALTINTAŞ'a, Matematik Öğretmeni İsmail KÖSE' ye, iyi dileklerinden dolayı Biyoloji Öğretmeni Ender SÖYLEMEZ' e, Türk Dili ve Edebiyatı Öğretmeni Ahmet PIRNAZ'a ve Eşim Cihan BAYRAM'a teşekkür ederim.

Bu çalışmada Tarsus Üniversitesinde görev alan saygıdeğer, çok kıymetli hocam Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ 'ye, Prof. Dr. Funda KAHRAMAN'a, Doç. Dr. İrem ERSÖZ'e ve çalışmamda yol gösteren ve sabırlı davranan danışman hocam Doç. Dr. Ercan KÖSE'ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiv
EKLER LİSTESİ.....	xv
GİRİŞ.....	1

BÖLÜM I

KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

1.1.Optimizasyonun Tarihçesi	2
1.2. Literatür Taraması.....	6
1.2.1. Optimizasyonun Tanımı.....	6
1.2.2. Optimizasyonun İmalata Katkıları	6
1.2.2.1. İmalatçıya Katkıları	6
1.2.2.2. Kullanıcıya Katkıları.....	7
1.2.2.3. Çevreye Katkıları	7
1.2.3. Optimizasyonda Modelleme ve Analiz.....	7
1.2.4. Optimizasyon Terimleri	7
1.2.5. Meshleme	7
1.2.6. Güvenlik Faktörü	8
1.2.7. Akma Yüzdesi.....	8
1.2.8. Çekme Ve Basma	8
1.2.9. Kayma Gerilmesi	8
1.2.10. vonMises Hata Kriteri	9
1.2.11. Deformasyon Ve Deformasyon Ölçeği.....	9

1.2.12. Statik Gerinim	9
1.2.13. Statik Dügüm Stresi	9
1.2.14. Satik Yer Değiştirme.....	9
1.2.15. Optimizasyon Konusunda Farklı Sektörlerde Yapılan Çalışmalar	10
1.3. Yapısal Optimizasyon.....	11
1.4. Topoloji Optimizasyonu	12

BÖLÜM II

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. İçeriğın Oluşturulması	16
2.1.1. Optimizasyon Algoritması	18
2.1.2. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Boyutları	19
2.1.3. C Profillerin Özellikleri.....	22
2.1.4. Amaç Fonksiyonu	25
2.1.5. Kısıtlamalar	26
2.1.6. Tasarım Değişkenleri	29
2.1.7. Optimizasyon Alanı	29
2.1.8. Performans Ürünün Tespiti.....	30
2.2. Materyal Geliştirme	30
2.3. Yöntemin Uygulanması	34
2.3.1. Referans Modellerin Perspektif Görünüşleri	39
2.3.2. Modellerin Perspektif Arka Görünüşleri	42
2.3.3. Simulation Etüdü.....	46
2.4. Yöntemin Uygulanması	51
2.4.1. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi	51
2.4.1.1. Modelin ilk halinin Sonlu Elemanlar Analizi	52
2.4.1.2. Model-Q-1 Sonlu Elemanlar Analizi	53

2.4.1.3. Model-Q-2 Sonlu Elemanlar Analizi	54
2.4.1.4. Model-Q-4 Sonlu Elemanlar Analizi	55
2.4.1.5. Model-Q-6 Sonlu Elemanlar Analizi	56
2.4.1.6. Model-Q-8 Sonlu Elemanlar Analizi	57
2.4.1.7. Model-Q-10 Sonlu Elemanlar Analizi	58
2.4.1.8. Model-Q-12 Sonlu Elemanlar Analizi	59
2.4.1.9. Model-Q-14 Sonlu Elemanlar Analizi	60
2.4.1.10. Model-Q-16 Sonlu Elemanlar Analizi	61
2.4.1.11. Model-Q-18 Sonlu Elemanlar Analizi	62
2.4.1.12. Model-Q-20 Sonlu Elemanlar Analizi	63
2.4.1.13. Model-Q-22 Sonlu Elemanlar Analizi	64
2.4.1.14. Model-Q-24 Sonlu Elemanlar Analizi	65
2.4.1.15. Model-Q-26 Sonlu Elemanlar Analizi	66
2.4.1.16. Model-Q-28 Sonlu Elemanlar Analizi	67
2.4.1.17. Model-Q-30 Sonlu Elemanlar Analizi	68
2.4.1.18. Model-Q-32 Sonlu Elemanlar Analizi	69
2.4.1.19. Model-Q-34 Sonlu Elemanlar Analizi	70
2.4.1.20. Model-Q-36 Sonlu Elemanlar Analizi	71
2.4.1.21. Model-Q-38 Sonlu Elemanlar Analizi	72
2.4.1.22. Model-Q-40 Sonlu Elemanlar Analizi	73
2.4.1.23. Model-Q-42 Sonlu Elemanlar Analizi	74
2.4.1.24. Model-Q-44 Sonlu Elemanlar Analizi	75
2.4.1.25. Model-Q-46 Sonlu Elemanlar Analizi	76
2.4.1.26. Model-Q-48 Sonlu Elemanlar Analizi	77
2.4.1.27. Model-Q-50 Sonlu Elemanlar Analizi	78
2.4.1.28. Model-Q-52 Sonlu Elemanlar Analizi	79
2.4.1.29. Model-Q-54 Sonlu Elemanlar Analizi	80

2.4.1.30. Model-Q-56 Sonlu Elemanlar Analizi	81
2.4.1.31. Model-Q-58 Sonlu Elemanlar Analizi	82
2.4.1.32. Model-Q-60 Sonlu Elemanlar Analizi	83
2.4.1.33. Model-Q-62 Sonlu Elemanlar Analizi	84
2.4.1.34. Model-Q-64 Sonlu Elemanlar Analizi	85
2.4.1.35. Model-Q-66 Sonlu Elemanlar Analizi	86
2.4.1.36. Model-Q-68 Sonlu Elemanlar Analizi	87
2.4.1.37. Model-Q-70 Sonlu Elemanlar Analizi	88
2.4.1.38. Model-Q-72 Sonlu Elemanlar Analizi	89
2.4.1.39. Model-Q-74 Sonlu Elemanlar Analizi	90
2.4.1.40. Model-Q-76 Sonlu Elemanlar Analizi	91
2.4.1.41. Model-Q-78 Sonlu Elemanlar Analizi	92
2.4.1.42. Model-Q-80 Sonlu Elemanlar Analizi	93
2.4.1.43. Model-Q-82 Sonlu Elemanlar Analizi	94
2.4.1.44. Model-Q-84 Sonlu Elemanlar Analizi	95
2.4.1.45. Model-Q-86 Sonlu Elemanlar Analizi	96
2.4.1.46. Model-Q-88 Sonlu Elemanlar Analizi	97
2.4.1.47. Model-Q-90 Sonlu Elemanlar Analizi	98
2.4.1.48. Model-Q-92 Sonlu Elemanlar Analizi	99
2.4.1.49. Model-Q-94 Sonlu Elemanlar Analizi	100
2.4.1.50. Model-Q-96 Sonlu Elemanlar Analizi	101
2.4.1.51. Model-Q-98 Sonlu Elemanlar Analizi	102
2.4.1.52. Model-Q-99 Sonlu Elemanlar Analizi	103

BÖLÜM III

BULGULAR

3.1. C Profillerin Ağırlık Hesaplanma Bilgileri.....	104
3.2. Modellerin Ağırlıklarının Azaltılmış Grafiği	106
3.3. İmalatçıya Önerilen “ Model-Q-90 “ Ağırlık Hesabı	107
3.4. İmalatçıya Önerilen “ Model -Q- 90 “ Kazanç Miktarı	107
3.5. Modelin Panelsiz İz Düşüm Alanı	108
3.6. Modelin Panelli İz Düşüm Alanı	109
3.7. Daldırma Galvaniz Çeliğin Güncel Birim Fiyatı	110
3.8. Önerilen Modele Göre Kazanç Miktarı	110
3.9. Optimizasyon Sonucunda Kurulan Güneş Tarlalarının Dönüm Başlarına Kazançları	111
3.10. Yabancı Para Cinsinden Kazanç Hesabı.....	112
3.11. Grafiklerin Açıklanması	113
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	120
KAYNAKLAR	121
EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ	128

KISALTMALAR

CAD: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

CAE: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)

FEFA: Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)

Model-Q-99: Modelin Adı (Model-Çap-Çapın Boyutu)



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.2. Topoloji Optimizasyonu Sürecinde Tasarım Aşamaları	12
Şekil 1.3. Topoloji Optimizasyonu Fren Pedalı Süreci	12
Şekil 1.4. Hafif Hizmet Aracı Şasi Analizi Ve Optimizasyonu	13
Şekil 1.5. Hafif Ticari Bir Araç İçin Ön Burun Taşıyıcı Modül Geliştirme.....	13
Şekil 1.6. Süspansiyon Kontrol Kolu İçin Topoloji Optimizasyonu Örnekleri.....	14
Şekil 1.7. Fren Pedalı İçin Topoloji Optimizasyonu Örnekleri	14
Şekil 1.8. Yük Taşıma Aparatı Topoloji Optimizasyon Süreci	15
Şekil 2.1. İçeriğin Oluşturulması	17
Şekil 2.2. Optimizasyon Algoritması	18
Şekil 2.3. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Boyutları.....	20
Şekil 2.4. Seçilen Bir Modeldeki Tercih Edilen Güneş Panellerinin Boyutları	21
Şekil 2.5. C Profillerin Boyutları	22
Şekil 2.6. Alt Kısıtlama Uygulanacak “Model-Q-1” Adlı Model	28
Şekil 2.7. Üst Kısıtlama Uygulanacak “Model-Q-99” Adlı Model.....	28
Şekil 2.8. Modellerde Optimizasyona Tabi Tutulacak Alanlar	29
Şekil 2.9. Seçilen Örnek Parçanın Alt Profillerin Çizilmesi	30
Şekil 2.10. Seçilen Örnek Parçanın Alt Profillerin Oluşturulması	31
Şekil 2.11. Seçilen Örnek Parçanın C Profillerin Yerleştirilmesi	31
Şekil 2.12. Seçilen Örnek Parçanın C Profillerinden Boşaltılacak Alanların Belirlenmesi	32
Şekil 2.13. Seçilen Örnek Parçanın Boşaltılmış Hali	32
Şekil 2.14. Seçilen Örnek Parçanın Mesh Yapısının oluşturulması	33
Şekil 2.15. Referans Alınan Modelin İlk Hali	34
Şekil 2.16. Alt kısıtlama Uygulanan Model	34
Şekil 2.17. Üst Kısıtlama Uygulanan Model	35
Şekil 2.18. Mesh Uygulanan Modelin İlk Hali.....	35
Şekil 2.19. Mesh Uygulanan Alt Kısıtlı Model	36
Şekil 2.20. Mesh Uygulanan Üst Kısıtlı Model.....	36
Şekil 2.21. Modelin İlk Halinin Sonuçları.....	37
Şekil 2.22. Alt Kısıtlama Uygulanan Modelin Sonuçları	37
Şekil 2.23. Üst Kısıtlama Uygulanan Modelin Sonuçları	38

Şekil 2.24. Modelin İlk Halinin Perspektif Görünüşleri	39
Şekil 2.25. Alt Kısıtlama Uygulanan Modelin Perspektif Görünüşleri.....	40
Şekil 2.27. Alt Kısıtlama Uygulanan Model-Q-1 Perspektif Arka Görünüşü	42
Şekil 2.28. Model-Q-40 Perspektif Arka Görünüşü.....	43
Şekil 2.29. Model-Q-70 Perspektif Arka Görünüşü.....	43
Şekil 2.30. Model-Q-90 Perspektif Arka Görünüşü.....	44
Şekil 2.31. Üst Kısıtlama Uygulanan Model-Q-99 Perspektif Arka Görünüşü	45
Şekil 2.32. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Etüt Oluşturma	46
Şekil 2.33. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Sabit Fikstürlerin Seçilmesi	47
Şekil 2.34. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Kuvvet Uygulanması.....	47
Şekil 2.35. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Karışık Eğri Mesh Uygulaması..	48
Şekil 2.36. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Mesh oluşturma	48
Şekil 2.37. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Sonuçlar.....	49
Şekil 2.38. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle İstenilen Sonuçların Seçilmesi	49
Şekil 2.39. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Sonuçların Karşılaştırılması	50
Şekil 2.40. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Canlandırma	50
Şekil 2.41. Modelin ilk halinin Sonuçları.....	52
Şekil 2.42. Model-Q-1 Sonuçları.....	53
Şekil 2.43. Model-Q-2 Sonuçları.....	54
Şekil 2.44. Model-Q-4 Sonuçları.....	55
Şekil 2.45. Model-Q-6 Sonuçları.....	56
Şekil 2.46. Model-Q-8 Sonuçları.....	57
Şekil 2.47. Model-Q-10 Sonuçları.....	58
Şekil 2.48. Model-Q-12 Sonuçları.....	59
Şekil 2.49. Model-Q-14 Sonuçları.....	60
Şekil 2.50. Model-Q-16 Sonuçları.....	61
Şekil 2.51. Model-Q-18 Sonuçları.....	62
Şekil 2.52. Model-Q-20 Sonuçları.....	63
Şekil 2.53. Model-Q-22 Sonuçları.....	64
Şekil 2.54. Model-Q-24 Sonuçları.....	65
Şekil 2.55. Model-Q-26 Sonuçları.....	66
Şekil 2.56. Model-Q-28 Sonuçları.....	67
Şekil 2.57. Model-Q-30 Sonuçları.....	68

Şekil 2.58. Model-Q-32 Sonuçları.....	69
Şekil 2.59. Model-Q-34 Sonuçları.....	70
Şekil 2.60. Model-Q-36 Sonuçları.....	71
Şekil 2.61. Model-Q-38 Sonuçları.....	72
Şekil 2.62. Model-Q-40 Sonuçları.....	73
Şekil 2.63. Model-Q-42 Sonuçları.....	74
Şekil 2.64. Model-Q-44 Sonuçları.....	75
Şekil 2.65. Model-Q-46 Sonuçları.....	76
Şekil 2.66. Model-Q-48 Sonuçları.....	77
Şekil 2.67. Model-Q-50 Sonuçları.....	78
Şekil 2.68. Model-Q-52 Sonuçları.....	79
Şekil 2.69. Model-Q-54 Sonuçları.....	80
Şekil 2.70. Model-Q-56 Sonuçları.....	81
Şekil 2.71. Model-Q-58 Sonuçları.....	82
Şekil 2.72. Model-Q-60 Sonuçları.....	83
Şekil 2.73. Model-Q-62 Sonuçları.....	84
Şekil 2.74. Model-Q-64 Sonuçları.....	85
Şekil 2.75. Model-Q-66 Sonuçları.....	86
Şekil 2.76. Model-Q-68 Sonuçları.....	87
Şekil 2.77. Model-Q-70 Sonuçları.....	88
Şekil 2.78. Model-Q-72 Sonuçları.....	89
Şekil 2.79. Model-Q-74 Sonuçları.....	90
Şekil 2.80. Model-Q-76 Sonuçları.....	91
Şekil 2.81. Model-Q-78 Sonuçları.....	92
Şekil 2.82. Model-Q-80 Sonuçları.....	93
Şekil 2.83. Model-Q-82 Sonuçları.....	94
Şekil 2.84. Model-Q-84 Sonuçları.....	95
Şekil 2.85. Model-Q-86 Sonuçları.....	96
Şekil 2.86. Model-Q-88 Sonuçları.....	97
Şekil 2.87. Model-Q-90 Sonuçları.....	98
Şekil 2.88. Model-Q-92 Sonuçları.....	99
Şekil 2.89. Model-Q-94 Sonuçları.....	100
Şekil 2.90. Model-Q-96 Sonuçları.....	101

Şekil 2.91. Model-Q-98 Sonuçları.....	102
Şekil 2.92. Model-Q-99 Sonuçları.....	103
Şekil 3.1. Modellerin Ağırlıklarının Azaltılmış Grafiği	106
Şekil 3.2. Modelin Panelsiz İz Düşüm Alanı.....	108
Şekil 3.3. Modelin Panelli İz Düşüm Alanı.....	109



TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Boyutları	19
Tablo 2.2. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Ağırlıkları	20
Tablo 2.3. Malzeme Bilgileri	23
Tablo 3.1. Modellerin Ağırlıklarının Azaltılması İle İlgili Hesaplanma Bilgileri	104
Tablo 3.2. Çap Ağırlık Veri Seti	114
Tablo 3.3. Çap Statik Gerinim Veri Seti	115
Tablo 3.4. Çap Güvenlik Katsayısı Veri Seti	116
Tablo 3.5. Çap Deformasyon Ölçeği Veri Seti	117
Tablo 3.6. Çap Statik Dügüm Stresi Veri Seti	118
Tablo 3.7. Çap Statik Yer Değıştirme Veri Seti.....	119

EKLER LİSTESİ

Sayfa

EK A. Etüt Özellikleri	125
EK B. Birimler	125
EK C. Mesh Bilgisi	126
EK Ç. Mesh Bilgisi Detayları	126
EK D. Sonuç Grafiği	127



GİRİŞ

İmalat sektöründe üretim teknolojilerin gelişmesi ile birlikte ürünün kullanıcıya sunulmadan önce, ürün tasarım aşamalarında ürünün kendi işlevselliğini kaybettirmeden gerek malzemenin uygun seçimi gerekse toplam ağırlığına etki edecek elamanların parametrelerinde değişikliğe gidilerek ağırlıkları azaltılıp hem imalatçıya maliyet açısından hem kullanıcıya ergonomik kullanım sağlayabilme açısından hem de ekosisteme önemli katkılar sunulabilme açısından ürün tasarlama süreçleri önem arz etmektedir.

İmalatçılar; ürünlerin maksimum ve minimum potansiyellerini dikkate alarak rijit, direngenliği yüksek, ağırlık oranı azaltılmış ve düşük maliyetli ürünler ile optimizasyon hedeflerine ulaşabileceklerdir.

Optimizasyon uygulamalarına otomotiv sektöründe, havacılık sektöründe, bileşim sektöründe, deniz işletmeciliği sektöründe, raylı sistemlerde, otonom sistemlerinde, diğer taşıt sistemlerinde, çevre mühendisliği uygulamalarında, üretim teknolojilerinde kullanılan tezgahlarında ve enerji sistemlerinde görülebilmektedir.

Son zamanlarda güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaşmasıyla beraber kurulum maliyetlerinin azaltılması önemle üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir.

Güneş enerjisi santrallerinin kurulmasında açı, yükseklik, rüzgar hızı, kış aylarında yağış ve yüzey kirliliği, mevsim koşullarının değişmesinden dolayı diğer faktörler imalatı etkileyen önemli unsurlar olarak ortaya çıkar. Bundan dolayı maliyetlerin artacağını bilen üretici firmalar maliyeti düşürme için birçok yöntem ve teknik vasıtasıyla bunu gidermeye çalışacaktır.

Bu çalışmada güneş panellerinin kurulumu sırasında kullanılan çelik konstrüksiyonlarından biri olan C profillerin şekil ve topoloji yöntemleri ile ağırlıkları azaltılarak en iyi performans ürününü tasarlayarak maliyetinin azaltılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM I

KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

1.1.Optimizasyonun Tarihçesi

Yoğunluk metodu 1993 yılında Yang ve Chuang tarafından ortaya koyulmuştur (Yang ve Chuang,2013). Diğer metot olan homojenleştirme metodu ise Bendsoe ve Kikuchi tarafından 1998 yılında ortaya koyulmuştur (Bendsoe ve Kikuchi,2018). Bu çalışmada kullanılan sonlu elemanlar çözücüsü olan Optistruct, optimizasyon problemlerini malzeme dağılımı olarakta bilinen yoğunluk metodunu kullanarak çözmektedir (Albak,2019).

Topoloji optimizasyonu, üretilecek parçanın belli noktalarından boşaltma yaparak parçanın ağırlığının azaltılması işlemidir. Topoloji optimizasyon teorisi, yapısal kompliansı minimum yapan ya da rijitliği maksimum yapan bir Ω alanındaki boşluk ve katı bölgelerin konfigürasyonunu araştırır (Yildiz,2017).

Malzeme dağılım yönteminde, bir geçici malzeme yoğunluğu tasarım değişkenidir ve bu nedenle genellikle yoğunluk yöntemi olarak da adlandırılır. Malzeme yoğunluğu 0 ile 1 arasında değişmekte olup, 0, boşaltılacak durum ve 1 boşaltma olmayacak durumu temsil etmektedir. Yöntem rijitlik-yoğunluk arasındaki yoğunluğun 0-1 arasındaki değişimi tanımlamak için aşağıdaki ifadeyi kullanmaktadır (Optistruct, 2017; Albak, 2019).

$$K(\rho) = \rho^p K$$

Burada K elemanın cezalandırılmış rijitlik matrisi, 'K' elemanın gerçek rijitlik matrisi, 'p' yoğunluk ve 'p' ise penaltı katsayısıdır (her zaman $K > 1$) (Albak,2019).

Topoloji optimizasyonunda ilk adım tasarımcıların kendi tecrübeleriyle oluşturdukları tasarım üzerinden tasarım hacminin oluşturulmasıdır. Tasarım hacmi üzerinde topoloji optimizasyonunun uygulanacağı boşaltma istenen ve topoloji optimizasyonunun uygulanmayacağı boşaltma istenmeyen bölgeler belirlenir. Boşaltma istenen ve boşaltma istenmeyen bölgelere ayrılmış olan tasarımın sonlu elemanlar modeli oluşturulur. Sonlu elemanlar modeline parçanın çalışma koşullarındaki sınır şartları uygulanır. Tasarımdan beklenen dayanım şartları ve amaç, topoloji optimizasyonu için amaç fonksiyonu ve tasarım kısıtları olarak belirlenir ve topoloji optimizasyonu

çalıştırılır. Eğer şartlar sağlanıyorsa nihai tasarım elde edilmiştir aksi takdirde tasarım gözden geçirilerek yeniden oluşturulur (Albak,2019).

Tasarımı yapılan parçalara birtakım testler yapılarak riskli alanlar tespit edilir. Yorulma ömrünü iyileştirmek için topoloji optimizasyonu yapılır (Şen vd., 2018). Topoloji optimizasyonunu, parçanın ağırlığı azaltılarak diğer bileşenlere etkisiyle maliyeti düşürmektir. Taşıtların ağırlığı, yapısal mühendislik uygulamalarında yakıt tüketimi açısından etkili parametrelerden biridir (Doğru,2019).

Parça üzerinde değişik geometrik şekillerle boşaltma yapılacak bölgenin tespiti de önemlidir. Boşatılacak bu bölgelere diğer montajlanacak parçalarla ilişkisi büyük önem arz etmektedir. Kritik stres noktasının yeri bu nedenle önemlidir. Böylece motor, süspansiyon, transmisyon ve benzeri bileşenlerin montaj yerleri belirlenebilir ve optimize edilebilir (Rajappan ve Vivekanandhan 2013, Şen vd.,2018).

Optimize edilecek ürünün boyutlarında uzaltma ve kısaltma yapmaksızın, belli bölgelerden alanlar alarak dayanımı yüksek malzemler elde etmektir. Topoloji optimizasyonu ile hedeflenen, rijitliği maksimum yapan en uygun malzeme dağılımını bulmaktır (Topaç vd., 2019). Günümüzde çok daha gelişmiş teknikler kullanılmakta ve sonlu elemanlar yardımıyla yöntem, karmaşık problemlere uygulanabilir. Bu araçlardan biri olan optimizasyon, belirli bir amaç altında bir yapının faydasını maksimize etmek.

Yapısal optimizasyonda, “en iyi yapısal tasarım üç kategoriye göre seçilir: boyut optimizasyonu, şekil optimizasyonu ve topoloji optimizasyonu. Topoloji optimizasyonu uygulaması, en sevilen bir yapıda en iyi malzeme dağılımı. Ağırlıklı olarak, ağırlık tasarrufu bu yöntemlerin kullanılmasının bir sonucu olarak yönetilmektedir. Birçok uygulama bulunabilir (Bendse ve Sigmund, 2004, Chiandussi ve diğerleri, 2004, Fujii ve diğerleri, 2004, Duddeck, 2008, Volz ve Zimmer,2007). Şekil ve boyut optimizasyonu yöntemleri ilgi çekerken Parçaların kalınlıklarını ve sınırlarını optimize etmek, topoloji optimizasyonunun amacı, tüm geometri alanını kullanarak optimize edilmiş tasarımı elde etmek (Küçüköğlü vd.,2020).

Yapısal topoloji optimizasyonu, gereksiz malzeme kullanımını önleme ve bunu optimize etme veya yüklerin desteklere en iyi aktarmayı sağlayacak yapıyı oluşturma olarak ifade edilebilir. Böylece tasarım sınırlayıcılarını en iyi şekilde karşılayacak sistem yapısı elde etmeye yardımcı olmada kullanılır. Topoloji optimizasyonu ise parçanın minimum ağırlık maksimum mukavemet ile optimum yapıda oluşturulmasıdır (Şanlıer vd.,2021).

Topoloji optimizasyonu, bir dizi için statik olarak belirlenen kafes kirişleri inceleyen Michell tarafından öncülük edildi. yükleme ve destek koşulları. Michell kafes kirişleri olarak adlandırılan analitik sonuçları, değişen uzunluklarda sonsuz sayıda üyeye sahiptir. İçinde Michell kafes kirişler, her çubuk sabit bir gerilmeye (gerilme) maruz kalır (Tanskanen,2002). Michell Teori, yapısal topoloji optimizasyonunda önemli bir rol oynar. Sayısal çalışmaların çoğu Rozvany'nin makalesi gibi topolojik optimizasyon (1998), sonuçlarını doğrulamak için bu klasik Michell kafes kirişlerini kullanır (Zhou ve diğerleri, 2004; Özkal vd., 2009).

Parça üzerinde üst ve alt sınırların dışında önemsiz olan bölgelerden de ağırlıklar azaltarak parça toplam ağırlığını azaltmak önemlidir. Gerilmenin meydana gelmediği bölgelerde gereksiz olan kütlenin çıkarılarak sistemin hafifletilmesi amaçlanmaktadır (Karaoğlan vd.,2016). Yapısal optimizasyon genellikle ağırlıkla ilgilenir yapısal sistemlerin minimizasyonu. Bu amaç olabilir farklı özellikler (örn. boyut, şekil ve topoloji) istenen yapının boyut optimizasyonu, bu amacı en çok sistemin üyeleri için uygun kesit alanları. Düzen optimizasyonu, en uygun olanı bulmakla ilgilenir bir yere ulaşmak için yapısal eklemlerin düğüm koordinatları sistem için en uygun şekil. Topoloji optimizasyonu yapısal için en uygun konfigürasyonu bulmaya çalışır (Mortazavi, 2019). Parçanın toplam ağırlığın azaltılması bir çok parametreye etki ettiği bilinmektedir. Sistem içerisindeki parametrelerin birbirlerini etkilediği ve birbirlerinin sonuçları olduğu düşünüldüğünde; seçimler insansız kara aracının kullanım amacına eyleyicisine ve intikal konfigürasyonuna bağlı olarak belirlenecek alt sistemlerdir (Demir ve Bozdemir,2019).

Otomotiv sektöründe, kullanılan malzeme karışımlarında ağırlığı azaltacak elementler çelik yerine alüminyum tercih edildiğinde, bu ağırlık azalışı araç ömrü süresince CO2 emisyonlarını azaltabilir ve yakıt verimliği de sağlayabilir (Dede ve Özcanlı,2016).

Topoloji süreci, imalatı yapılacak parça üzerinde ihtiyaç duyulan bölgelerden boşaltma işlemi yaptıktan sonra kalan bölge üzerine gelecek yük dağılımı dengesini yazılımlarla test edilmelidir. Zamandan tasarruf sağlanarak maliyeti daha düşük ve hızlı bir çözüm bulmak için Solidworks® Simulation programı ile topoloji optimizasyonu çalışması yapılmıştır (Özsoy vd.,2020).

Belirlenmiş bir amaç fonksiyonu doğrultusunda kısıtlama alanları belirlenmiş olan bir tasarımın çökme ve gerilimlerin istenilen yapıya uygun olarak, hafif, deformasyona dirençli ve sağlam helikopter güvertesinin optimum tasarımı elde edilebilir (Hızır,2010).

Eklemeli imalat yöntemleri ile tasarım hataları tespit edilebilir. Modelleme seçenekleri sunması açısından kullanım pratikliği sağlamaktadır. Bisiklettteki arka şok emicilerin ağırlıkları azaltılarak verimi yüksek süspansiyon modeline ihtiyaç duyulmaktadır (Bozbuğa vd.,2019).

Bilgisayar ortamında elde edilen katı modellemeler ve bu modellerin sonlu eleman analizi yöntemi ile kullanımı sunulmadan önceki tasarımların maliyetini düşürmekle ve aynı zamanda test sayılarını ciddi oranda azaltmaktadır. Tramvayın çarpışma sönümleyici yapısının analizleri sonucunda hafif bir tasarım ortaya çıkmıştır (Dener, 2021).

Direksiyon mafsalının, otomobilin güvenliği de düşünülerek yapısal optimizasyon yöntemlerini kullanarak hem üreticiye hem kullanıcıya maliyet açısından avantaj hem de çevreye arılan gazın oranı düşmektedir (Keten, 2020).

Üretim teknolojilerinde parçanın işlevi aynı kalmak şartıyla alana uygun şekilde malzemenin dağıtılarak hafif parçaların tasarlanmasını sağlayan topoloji optimizasyonu imalat sektöründe etkin yöntemlerinden biridir (Top vd.,2019).

Esnek bir helikopter rotar palası belirli amaç fonksiyonları hedef alınarak pala kütlelerinin ve burulma şekil değişimi en aza indirilmesi sağlanmıştır (Süssler, 2008).

İmalatçılar geri dönüşüm makinalarını tasarlarken alt ve üst sınırlarını belirleyerek belli bir kuvvet ve zorlamalara tabi tutularak ergonomik, ekonomik ve optimum ürünler tasarlanabilmektedir (Kahraman ve Küçük,2020).

Kapı iç trim parçalarının tasarımı aşamasında çarpışma anında gelen enerjiyi uygun malzemeler kullanarak limitlerin üzerinde karşılayan ve ilk çarpışmada oluşan yüksek dereceli deformasyona neden olan değerleri aza indirgenecektir (Yıldızhan, 2017).

Rüzgar türbinlerdeki göbek kütlelerinin fazla olması sistem performansını negatif yönde etkilemesi nedeniyle güvenlik emniyet katsayısı istenilen düzeyde değildir. Göbeğin mukavemeti ile kütlesi arasında optimizasyon çalışmaları yapılarak sistem performansının üst seviye çıkarılması hedeflenmiştir (Demirci,2011).

Koltuk tasarımlarda kullanıcıların konfor talepleri dikkate alındığında imalatçıların bu doğrultuda toplam yükü hafifletecek malzeme ve tasarımlara yönelmesi optimizasyon süreçlerine bağlıdır (Balkan,2018).

Seçilen malzeme; tasarlanması düşünülen ürünün maliyetini, ağırlığını, dayanımını, ergonomisini ve birçok özelliğini doğrudan etkilemektedir. Havacılık sektöründe daha çok tercih edilen alüminyum malzeme ile hafif ürünler tasarlanır (Yalçınkaya,2020).

Kullanılan malzeme ve ihtiyaç fazlası yüklerin takım tezgahların ömrüne negatif yönde korelasyon ilişkisi kurduğundan çalışma ömürlerinin zamanla azalacağı düşünülmektedir (Yavuzcan vd.,2015).

1.2. Literatür Taraması

1.2.1. Optimizasyonun Tanımı

Mevcut durumdaki bir ürünün, alt ve üst kısıtlamaların duyarlılık tespiti yapıldıktan sonra belli koşullar altında zorlamalara tabi tutularak ürünün kullanıcıya sunulmadan önce gerek malzeme seçimi gerekse toplam kütlede ağırlıkları azaltılarak en iyi performans ürünün oluşturulması sürecidir.

1.2.2. Optimizasyonun İmalata Katkıları

Optimizasyonun imalata katkıları üç şekilde oluşabilmektedir;

1.2.2.1. İmalatçıya Katkılar

1.2.2.2. Kullanıcıya Katkıları

1.2.2.3. Çevreye Katkıları

1.2.2.1. İmalatçıya Katkıları

Optimizasyonda iyi malzeme seçimi yapılarak ARGE faaliyetlerine, toplam ağırlıkları azaltma çalışmaları yapılarak hafifletme doğrultusunda hammaddeden kazanç, üretim teknolojilerinde kullanılan tezgahların kullanım ömürlerine katkısı olduğundan imalatçıya maliyet noktasında avantaj sağlayabilmektedir.

1.2.2.2. Kullanıcıya Katkıları

Optimizasyon sonucunda elde edilen performans ürünü kullanıcıya konfor sağlayabilmektedir.

1.2.2.3. Çevreye Katkıları

Optimizasyon sonucunda elde edilen tasarım ürünü hem hammadde konusunda kaynakların doğru işlenmesi hem de çevreye salınan zehirli gazların miktarlarında azalışa etki yaparak doğal yaşama katkı sağlamaktadır.

1.2.3. Optimizasyonda Modelleme ve Analiz

Üretim teknolojilerinde yazılımların kullanılmasıyla birlikte tasarımcıya birden çok seçenek sunulmaktadır. Tasarımcı teknolojinin gelişmesi ile birlikte özgün tasarımlar koyabilmektedir. Oluşturulan modeller simülasyon yazılımları ile analiz edilip ürünün birden çok analiz sonuçları raporlaştırılabilir. Analiz sonuçlarına bakarak tasarımcı tecrübelerle edinilmiş olan referans modellerine göre varsa hataları tespit edip gözden geçirildikten sonra tasarım değişkenlerine gerekli müdahaleler yaparak nihai performans ürününün geliştirilmesi sağlanabilir.

1.2.4. Optimizasyon Terimleri

Optimizasyon terimlerini dört kısımdan oluşur.

1.2.4.1. Kısıtlamalar

1.2.4.2. Tasarım değişkenleri

1.2.4.3. Optimizasyon alanı

1.2.4.4. Performans ürününün tespiti.

1.2.5. Meshleme

Modellerin analizleri için kritik bir basamaktır. Parçanın uzunluğu, toleransı ve yerinde yapılan mesh kontrolü üretim teknolojilerindeki süreçte üretilen ürünün teknik şartnamede belirtilen özellikleri detaylı olarak gösterilmesini sağlar.

Mesh kontrolü; düğüm noktaları, tepe noktaları, yüzeyler, kenarlar için farklı elaman boyutlarının belirtilmesini sağlar (help.solidworks.com,16.01.2023).

1.2.6. Güvenlik Faktörü

Güvenlik faktörü, modeldeki her bir parçanın üzerinde oluşan gerilim değerlendirilerek ve belirtilen bölge için verim gerilimindeki korelasyona göre hesaplanır.

Güvenlik Faktörü ($F.S = \text{akma gerilimi} / \text{hesaplanan gerilim}$) (Balkan,2018).

$F.S < 1.0$ olduğu durumlarda hasarlı alanlar tespiti için Kırmızı ile gösterilecektir (Balkan,2018).

1.2.7. Akma Yüzdesi

Güvenlik faktörü tersidir.

Akma yüzdesi = $(\text{hesaplanan gerilim} / \text{akma gerilimi}) \times 100$

Malzeme özelliklerine göre akma detayları değişir.

%Akma yüzdesi düşükse, parçanın başarılı sonuçlar verme ihtimalide yüksek olur (Balkan,2018).

1.2.8. Çekme Ve Basma

Tasarımın hangi bölgelerinde gergin, hangi bölgelerinde sıkıştırılmış olduğu tasarımcıya gösterir (Balkan,2018).

1.2.9. Kayma Gerilmesi

Parçanın bulunduğu eksene paralel olarak uygulanan yüklerin oluşturduğu gerilmelerdir (Balkan,2018).

1.2.10. vonMises Hata Kriteri

Sünek malzemelerin verimini hesaplamak için kullanılır. vonMises gerilimi akma gerilimine ulaştığı zaman, hataların arttığı ve malzemenin akmaya başladığı söylenebilir (Balkan,2018).

1.2.11. Deformasyon Ve Deformasyon Ölçeği

Deformasyon, bir malzemeye yük uygulandığında şeklindeki bozulmalardır.

Uygulanan yük ortamdan çekildiğinde tekrar eski pozisyonuna dönüşüyorsa deforme kalıcı değildir. Eski haline dönebilir.

Deformasyon ölçeği, deforme alanının ölçeklendirmek için kullanılan ölçek faktörünü ifade eder (help.solidworks.com,16.01.2023).

1.2.12. Statik Gerinim

Bir parçaya yük uygulayarak zorlanmasına maruz bırakıldığında, o parçanın ilk haline göre ne oranda değiştiğinin ifade edilmesidir.

Başka bir deyişle; bir parçanın piksellerden oluştuğunu düşünürsek yük uyguladıktan sonra o piksellerin matematik olarak yer değiştirilmesini ifade edilebilir.

1.2.13. Statik Düğüm Stresi

Modeldeki birleşim noktalarının yüke bağlı olarak zorlanmasını ve düğümlerin tepki davranışlarının ifade edilmesidir.

1.2.14. Statik Yer Değiştirme

Uygulanan yüke bağlı zorlanmalara maruz kalınan parçanın ekseninde kaymasıdır.

1.2.15. Optimizasyon Konusunda Farklı Sektörlerde Yapılan Çalışmalar

1- Otomotiv Sektörü; ön süspansiyon sistemlerinde salıncak kolunun ağırlığı, formula SAE aracında fren pedalının ağırlığı, dorsedeki şasilerin ağırlığı, kamyon şasilerin ağırlığı, özel tip bir yarı römorkta süspansiyonun ağırlığı, hafif ticari araçlarda ön burun taşıyıcıların ağırlığı, şehirlerarası otobüslerde koltukların ağırlıkları, direksiyon mafsalının ağırlığı, el freninin ağırlığı, ticari araç sürücü koltuklarının ağırlıkları azaltılmıştır. Kapı iç trim parçalarındaki çarpışma sönümleyicilerin uygun şekilde tasarlanmıştır.

2- Havacılık Sektörü: Uçak koltukların ağırlıklarının azaltılması, helikopter rotor palasının yapısal olarak tasarlanmıştır.

3- Bilişim Sektörü: Dizüstü bilgisayar sehpasında malzeme eksilterek ağırlıklarının azatılması, 3B yazıcı teknolojisi için N95 maske üzerine bir çalışma ile hafifletme yapılmıştır.

4- Deniz İşletmeciliği Sektörü: Askeri gemilerde helikopter güvertesinde hafifletme yapılmıştır.

5- Demiryolu İşletmeciliği: Çarpışma sönümleyicilerin uygun konstrüksiyonu ile raylı sistemler sektöründe hafifletmeye gidilmiştir.

6- Otonom Sistemler: İnsansız kara aracının ağırlığı azaltılmıştır.

7- Diğer Taşıtlar: Bisiklet arka şok emici braketinin hafifletilerek ağırlık azaltılmıştır.

8- Enerji Sektörü: Rüzgâr türbini göbeğinin ağırlığı azaltılmıştır.

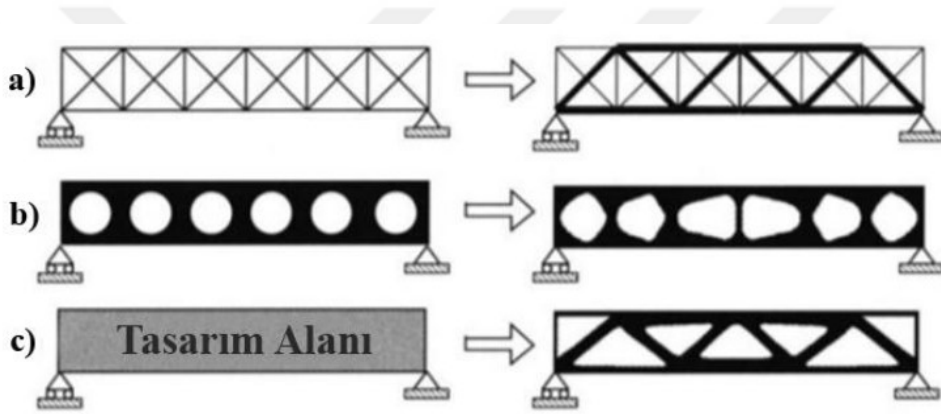
9- Çevre Mühendisliği: Geri dönüşüm makinelerinde malzeme kullanımını azaltarak ağırlık azaltılmıştır.

10- Üretim Teknolojileri: Jant üretiminde kullanılan yatık ağız açma ve kalibre etme tezgâhındaki düzlem taşıyıcı sistemin desteklerinde toplam ağırlık azaltılmıştır.

Yukardaki çalışmalarda ağırlıkların optimizasyon yöntemi ile azaltılarak hafifletme yoluna gidilerek hammadeden kazanç, hammaddeye bağlı olarak parça üretiminde artış, enerji tasarrufu, insan gücünün etkin kullanılması, taşıma girdilerinde tasarruf, montajlamada pratiklik sağlanması, takım tezgâhlarının kullanım ömürlerinin süresinde artış sağlanması, ürünün kullanıcıya sunulmadan önce prototip üretiminde maliyeti düşürmesi, çevreye salınan gazların oranında azaltma sağlanması ile çevrecidir.

1.3. Yapısal Optimizasyon

Optimizasyon, mevcut kaynaklarla mümkün olabilecek en iyi, en kaliteli, en performanslı ürünü tasarlamaktır. Yapısal Optimizasyon, boyut, şekil, topoloji ve topografi optimizasyon çeşitlerini kapsamaktadır. Boyut optimizasyonu, tasarımdaki profillerin optime edilmesini, şekil optimizasyonu, radius ve deliklerin optimum tasarımlarını, topoloji optimizasyonu, tasarım hacmi içerisinde en uygun malzeme dağılımını elde edilmesi, topografi optimizasyonu, saç plakaları üzerinde en uygun tasarımların elde edilmesi için kullanılır.

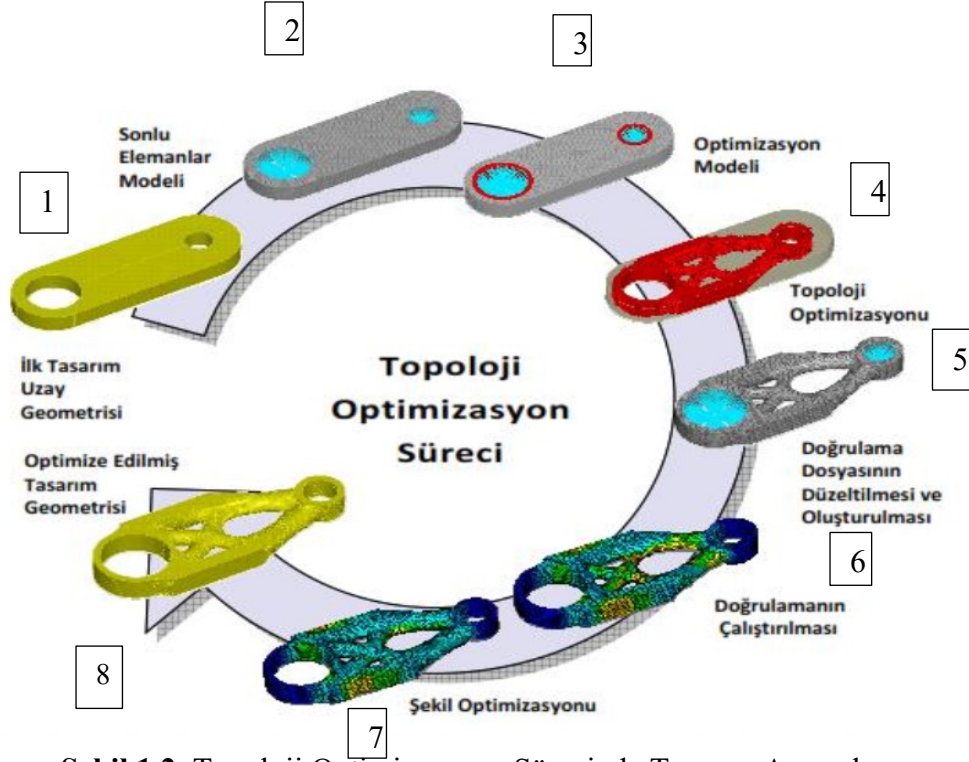


Şekil 1.1. Yapısal Optimizasyon

Kaynak: Kahraman, 2020

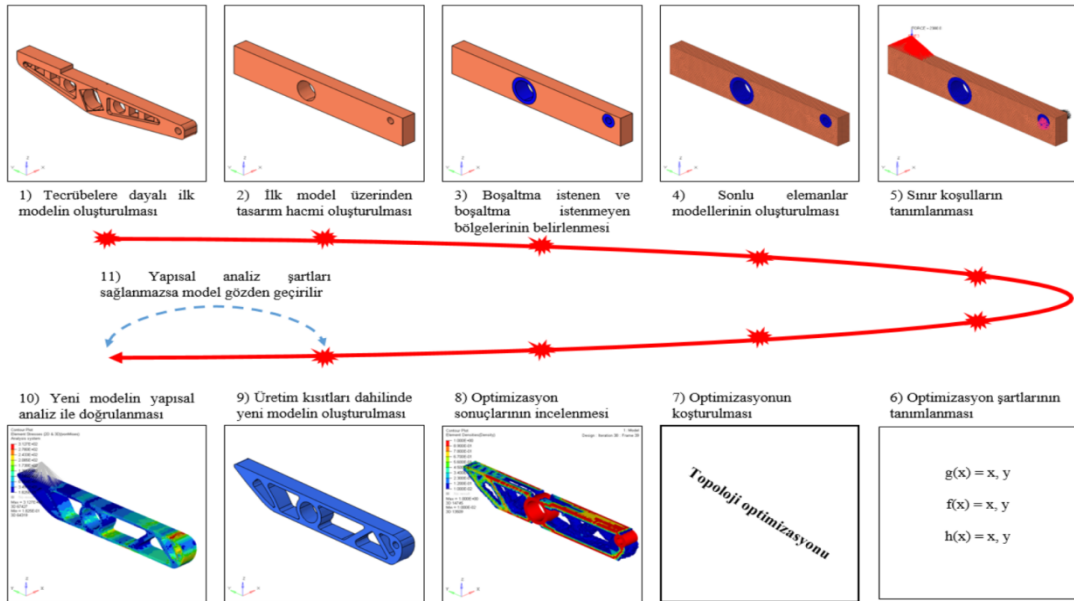
1.4. Topoloji Optimizasyonu

Tanımlanan kısıtlamalar ve hedefler altında en uygun malzeme dağılımı, en iyi tasarımın elde edilmesini, kaliteli ve yüksek performanslı ürünlerin oluşturulması, eklemeli imalat sektörlerinde tercih edilen optimizasyon yöntemidir.



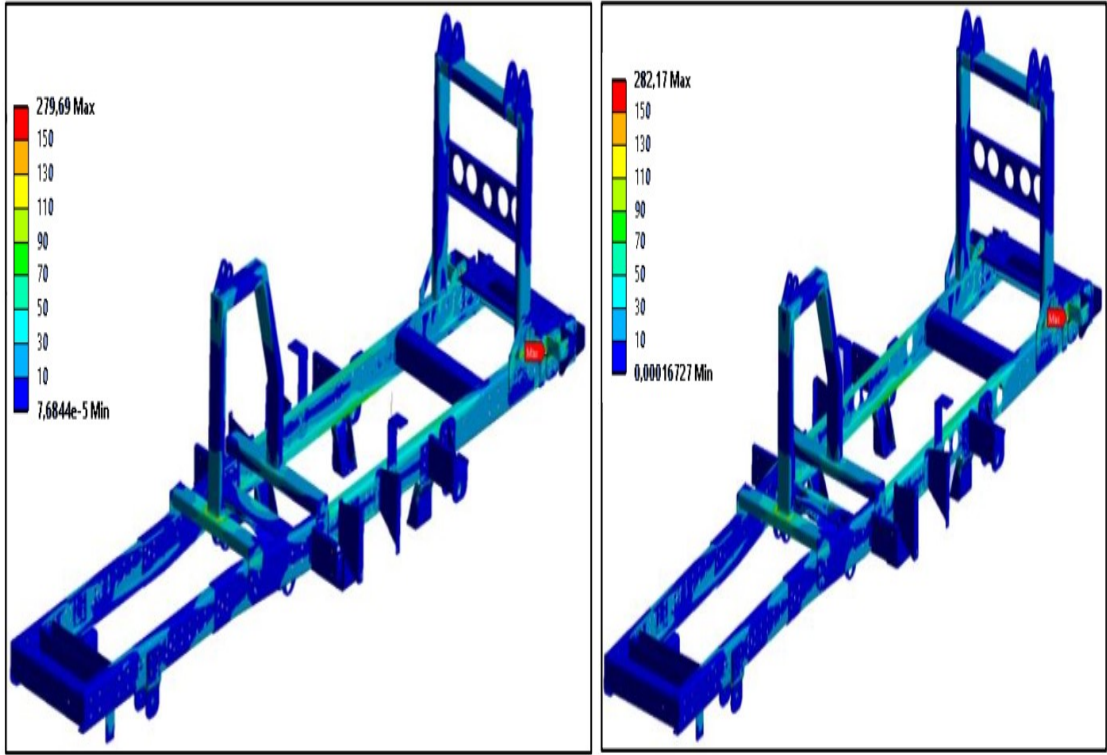
Şekil 1.2. Topoloji Optimizasyonu Sürecinde Tasarım Aşamaları

Kaynak: Kahraman, 2020



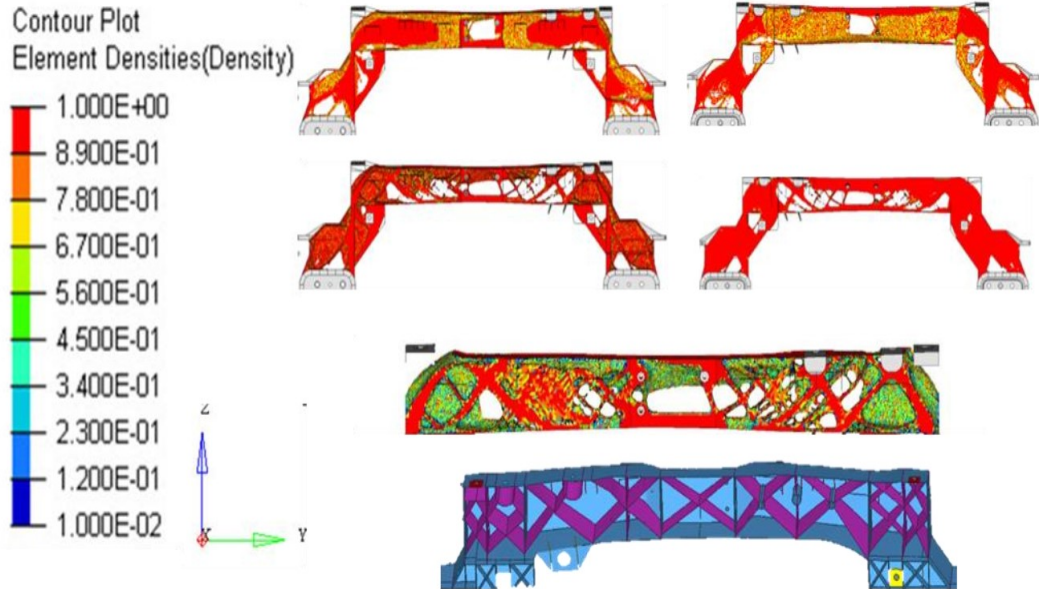
Şekil 1.3. Topoloji Optimizasyonu Fren Pedalı Süreci

Kaynak: Albak, 2019



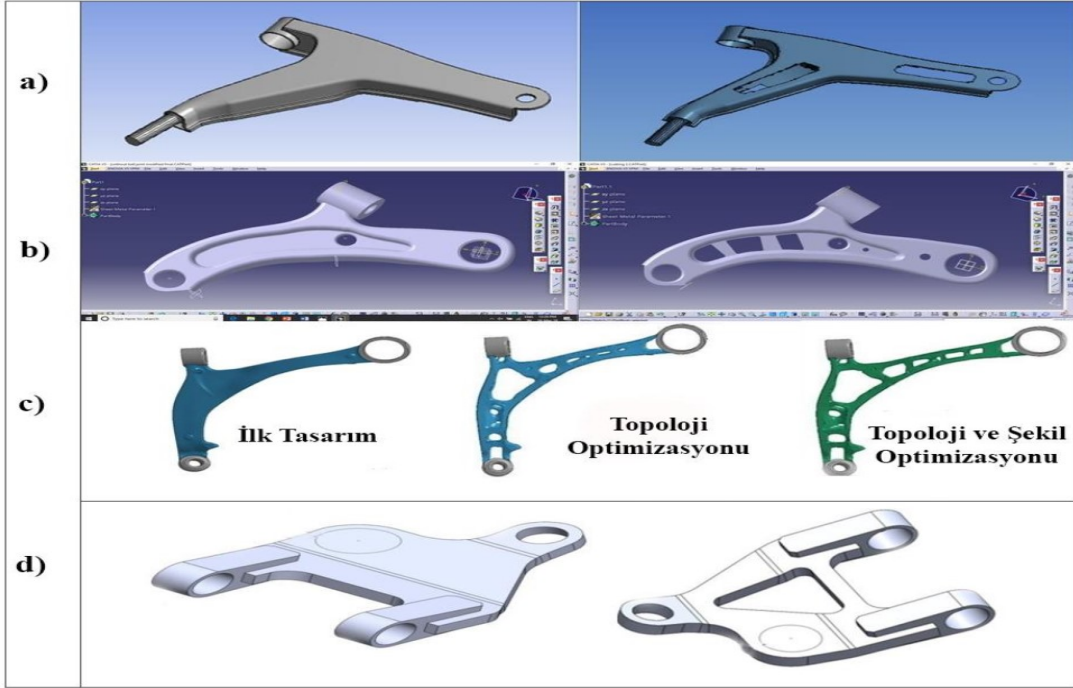
Şekil 1.4. Hafif Hizmet Aracı Şasi Analizi Ve Optimizasyonu

Kaynak: Mortazavi, 2019



Şekil 1.5. Hafif Ticari Bir Araç İçin Ön Burun Taşıyıcı Modül Geliştirme

Kaynak: Şanlıer vd., 2021



Şekil 1.6. Süspansiyon Kontrol Kolu İçin Topoloji Optimizasyonu Örnekleri

Kaynak: Kahraman, 2020



Şekil 1.7. Fren Pedalı İçin Topoloji Optimizasyonu Örnekleri

Kaynak: Kahraman, 2020



Orjinal yük taşıma aparatı



Belirlenen tasarım alanı



Topoloji optimizasyonu sonucu



Optimize edilmiş yük taşıma aparatı

1

2

3

4

Şekil 1.8. Yük Taşıma Aparatı Topoloji Optimizasyon Süreci

Kaynak: Top,Gökçe,Şahin,2019

BÖLÜM II

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada şekil, yapısal ve topoloji yöntemleri kullanarak nihai ürünün optimizasyonu hedeflenmiştir. Optimizasyon uygulama süreçlerini oluştururken önceden belirlen hedefler doğrultusunda analizler yapılarak hangi adımların atılacağı ve bu doğrultuda hangi teknik ve yöntemlerin kullanılacağı ve belirlenen hedef doğrultusunda hangi materyallerin geliştirileceği aşamaları belirtilmiştir.

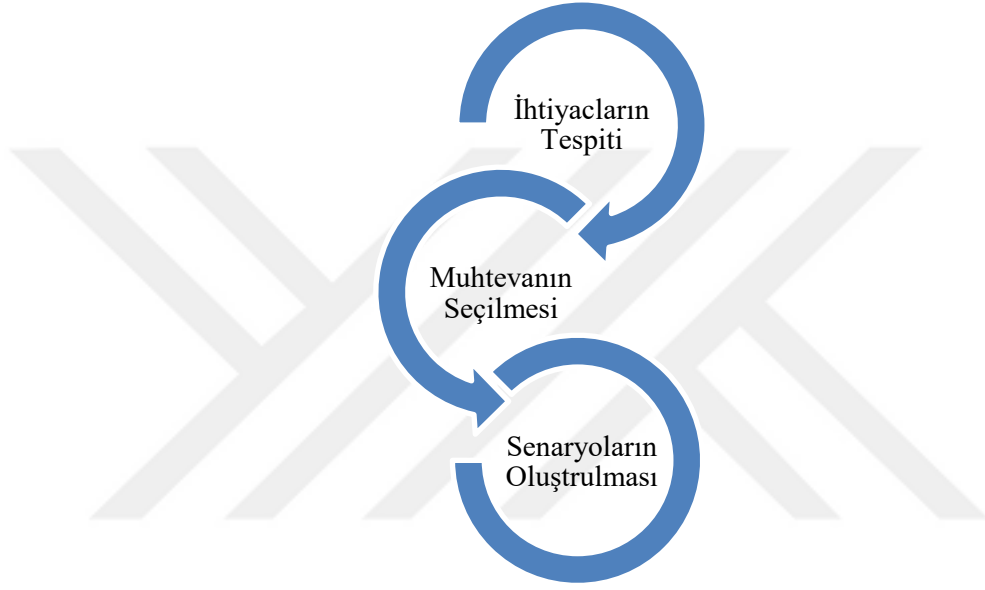
2.1. İçeriğin Oluşturulması

Son dönemlerde değişen dünya düzeninde enerjinin çok büyük ihtiyaç haline geldiği bilinmektedir. Enerjide dışarıya bağlı ülkelerin kendi içlerine yönelip kendi alternatif enerjilerini oluşturma gayretine gitmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Bunlardan biri de güneş enerjisidir. Bu enerjiden faydalanmak için yatırımlar artmaktadır. Bununla birlikte güneş panellerini sahaya yerleştirirken de maliyet hesapları ortaya çıkmaktadır. Güneş panellerinin sahaya kurulması esnasında çelik konstrüksiyonların optimum şekilde tasarlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada hammadde kaynakların doğru şekilde kullanılması amaçlanmıştır.

İçeriği belirleme aşamasında ağırlık azaltma ile ilgili hazırlanmış olan bilimsel makaleler incelendi. İncelenen makalelerde şekil, yapısal ve topoloji yöntemlerinin kullanılarak optimizasyon çalışmalarının nasıl oluşturulduğu belirlendi. Bunlar doğrultusunda güneş panellerinin konstrüksiyonların optimum tasarımlarına aktarılma yoluna gidildi.

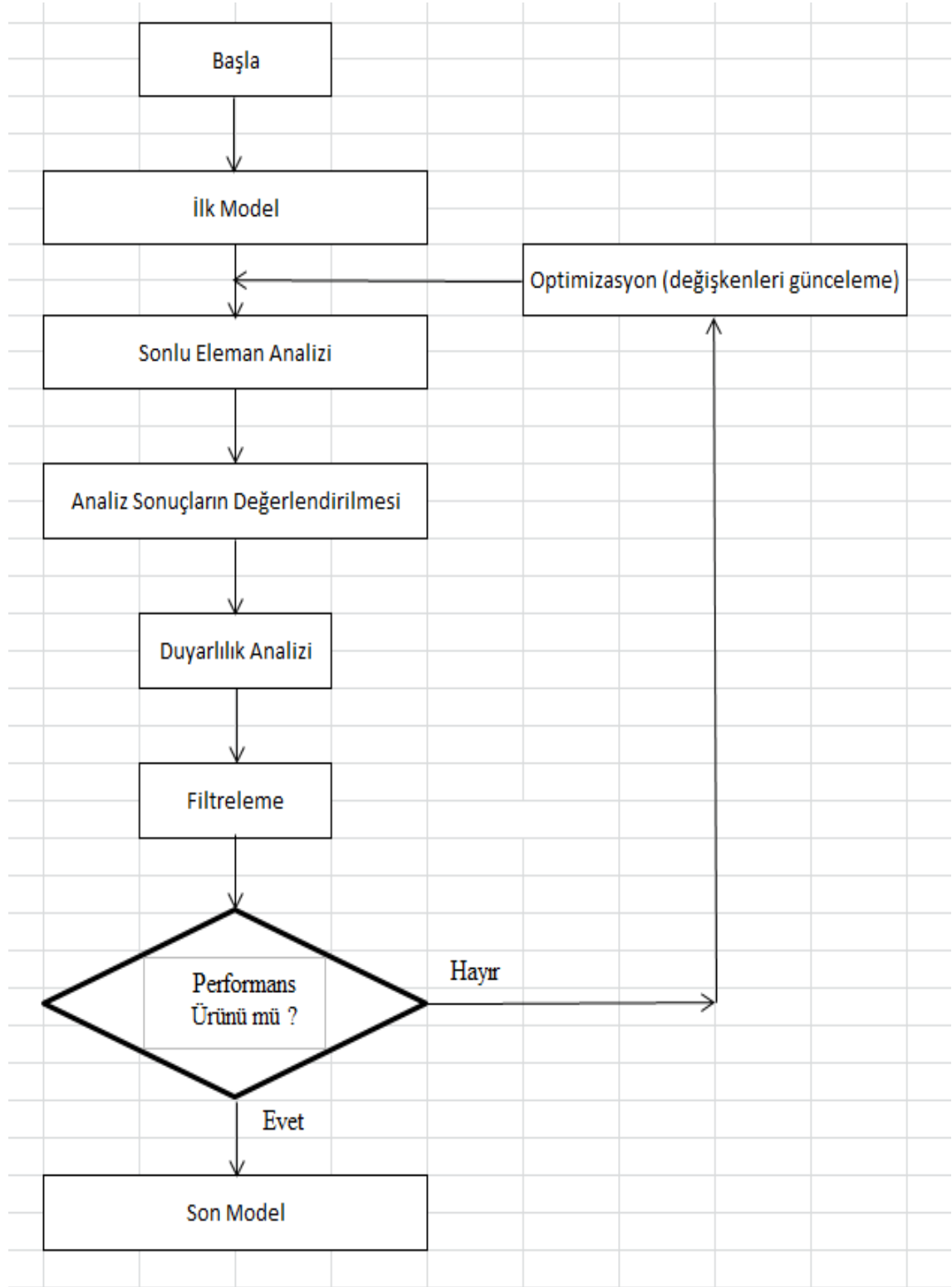
Bu çalışmada modelleri oluştururken bir katı modelleme olan bilgisayar destekli dizayn (CAD) ve bilgisayar destekli mühendislik (CAE) programı olan Solidworks yazılımı kullanıldı. Solidworks, katı model verileri oluşturulmasını sağlan, analiz edilmesine fırsat sunan, 2 ve 3 boyutlu katı modelleme yazılımıdır. Solidworks, tasarımları imalattan önce görmeyi sağlayarak fire verme noktasında imalatçılara geri dönüt vererek ürünlerin optimum tasarlanmasında mühendislere yol gösteren ve en çok tercih edilen yazılımdır.

Çalışmada oluşturulan modellerin analizlerini yapmak için Solidworks® Simulation programı kullanılmıştır. Solidworks® Simulation programı bir tasarımın imallattan önce gerçek ortamda maliyetli olacak analizlerin yapay ortama taşınarak onların stress durumlarını inceleyerek tahmin oluşturabilmesini sağlayan Sonlu Eleman Analizi (FEA) kullanan, doğrusal, doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz özellikleri sunan programdır.



Şekil 2.1. İçeriğin Oluşturulması

2.1.1. Optimizasyon Algoritması



Şekil 2.2. Optimizasyon Algoritması

2.1.2. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Boyutları

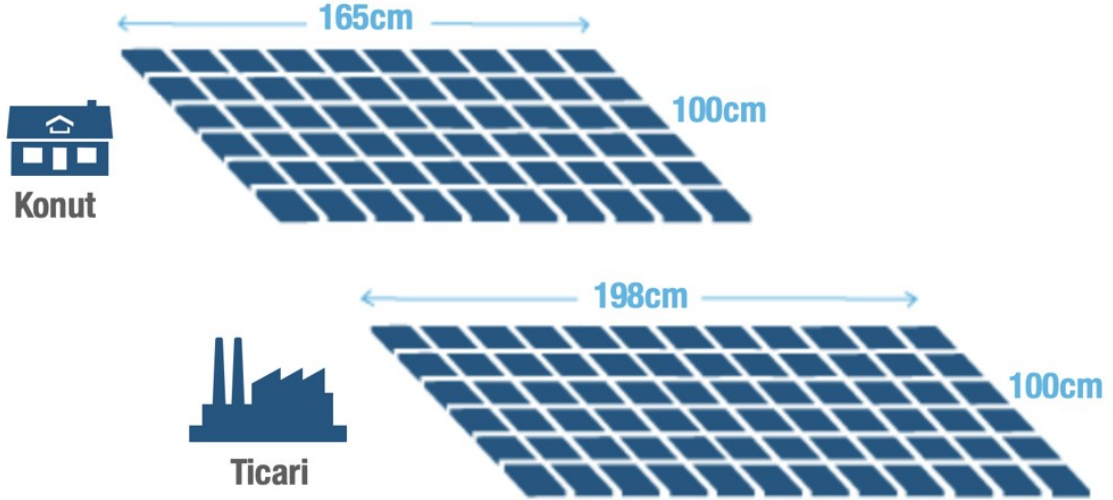
Aşağıdaki tabloda konut ve ticari alanda yaygın kullanılan paneller için güneş paneli boyutlarını derlenmiştir. Ortalama ölçülere yer verilen tabloda ilk göze çarpan husus, hücre sayısı ile panel ölçüleri arasında doğru orantı olduğudur. 72 hücreli paneller, 60 hücreli panellerden yaklaşık 33 cm daha uzun olduğu görülmektedir (Solaravm.com, 20.01.2023).

Tablo 2.1. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Boyutları

Panel Özelliği	Konut	Ticari
Hücre sayısı	60	72
Ortalama boy (cm)	165	198
Ortalama en (cm)	100	100
Ortalama kalınlık (cm)	3,5-5	3,5-5

Kaynak: Solaravm.com, 20.01.2023

Ev için güneş paneli hesaplama; 6kW gücünde bir sistem için yaklaşık 20 panel kullanılır. Kurulacak sistem yaklaşık olarak 8,5 metre genişliğinde 4 metre uzunluğunda olacaktır. Toplamda 33 metrekareye yakın alanı kaplayacaktır (Solaravm.com, 20.01.2023).



Şekil 2.3. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Boyutları

Kaynak: Solaravm.com, 20.01.2023

Aşağıda bazı panellerin ağırlıkları verilmiştir. 275W gücünde bir panel 20kg ağırlığındayken, 320W gücünde bir panelin ise 19 kg olduğu görülmektedir (Solaravm.com, 20.01.2023).

Tablo 2.2. Konut ve Ticari Alanda Kullanılan Güneş Panellerinin Ağırlıkları

Marka	Watt	Tür	Hücre Sayısı	Ağırlık (kg)
Elin plus	320	Monokristal	60	19
Elin plus	320	Monokristal	60	19
Alfasolar	275	Polikristal	60	20
Alfasolar	325	Monokristal	60	20
Jinko	405	Mono Perc	Half cell -144	22,5
Elin Plus	395	Monokristal	72	22,5
Alfasolar	400	Monokristal	72	24

Kaynak: Solaravm.com, 20.01.2023

Bu çalışmada ticari amaçla kurulan güneş enerjisi panelin boyutları kullanılmıştır. Modellerde kullanılan bir panelin boyutları, ağırlıkları ve özellikleri;

Eni = 1000 mm

Boyu = 1980 mm

Marka = Alfasolar

Tür = Monokristal

Hücre sayısı = 72

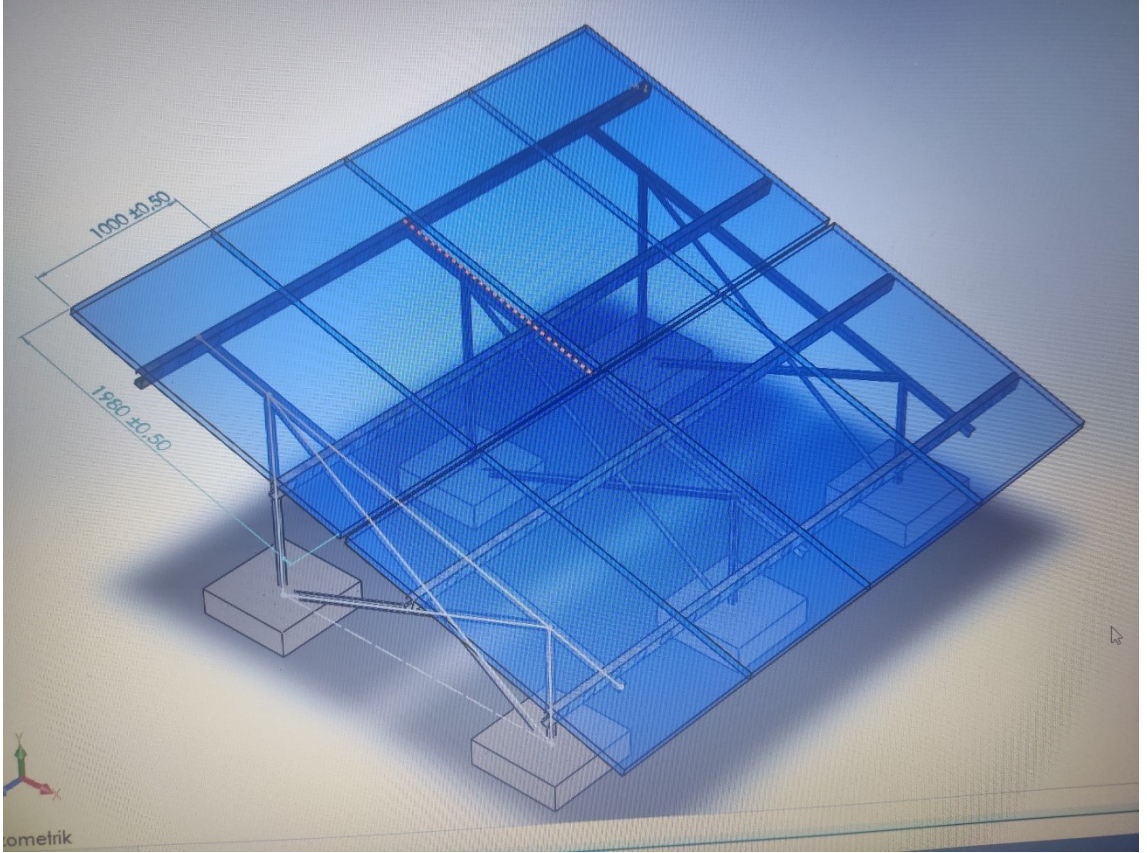
Ağırlık = 24 kg

Toplam ağırlık = $24 \times 8 = 192$ kg

Analiz için uygulanan kuvvet;

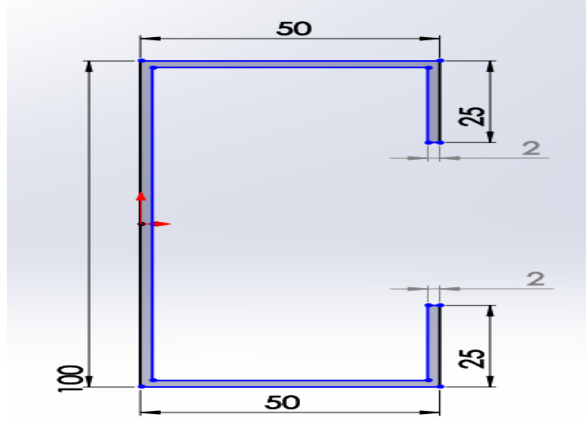
1 kg = 10 N

Uygulanan kuvvet = (Toplam ağırlık) \times (kg cinsinden Newton)
= $192 \times (10 \text{ N}) = 1920 \text{ N}$



Şekil 2.4. Seçilen Bir Modeldeki Tercih Edilen Güneş Panellerinin Boyutları

2.1.3. C Profillerin Özellikleri



Şekil 2.5. C Profillerin Boyutları

Kaynak: SolarCelik.com, 2022

Modelde kullanılan C profilinin özellikleri;

Malzeme Tipi = Daldırma galvaniz çelik

Boyutu = 4000 mm

Eni = 250 mm

Kalınlığı = 2 mm

Malzeme Özgül Ağırlığı = 7,6 gr / cm³

Boyutu 1000 mm C profilinin ağırlığı = 3,80 kg/m

Kullanılan 4000 mm C profilinin ağırlığı = 15,200 kg/m

Modelde kullanılan 4 Adet 4000 mm C profilinin ağırlığı ;

$$= 4 \times 15,200 = 60,800 \text{ kg/m}$$

Modelde kullanılan 1 adet C profilinden 20 adet dairesel form kesilmiştir.

Modelde kullanılan 4 adet C profilinden toplam 80 adet dairesel form kesilmiştir.

Tablo 2.3. Malzeme Bilgileri

Malzeme Bilgileri				
Modelin Adı	Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Malzeme Türü	Malzemenin Boyutları ve Uzunluğu	Malzeme Özgül Ağırlığı (gr/cm³)
Model Adı-İlk Hali	İlk Hali	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-1	1	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-2	2	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-4	4	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-6	6	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-8	8	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-10	10	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-12	12	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-14	14	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-16	16	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-18	18	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-20	20	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-22	22	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-24	24	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-26	26	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-28	28	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-30	30	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-32	32	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-34	34	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-36	36	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-38	38	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-40	40	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-42	42	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-44	44	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-46	46	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-48	48	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6

Malzeme Bilgileri				
Modelin Adı	Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Malzeme Türü	Malzemenin Boyutları ve Uzunluğu	Malzeme Özgül Ağırlığı (gr/cm³)
Model Adı-Q-50	50	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-52	52	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-54	54	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-56	56	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-58	58	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-60	60	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-62	62	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-64	64	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-66	66	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-68	68	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-70	70	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-72	72	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-74	74	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-76	76	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-78	78	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-80	80	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-82	82	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-84	84	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-86	86	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-88	88	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-90	90	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-92	92	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-94	94	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-96	96	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-98	98	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6
Model Adı-Q-99	99	Galvaniz Çelik	C100*50*25*2mm-4000mm	7,6

2.1.4. Amaç Fonksiyonu

Optimizasyon sürecinin nihai hedefi şeklinde ifade edilir. Örneğin kullanıcı konforluğu, üreticiye maliyet avantajı ve çevre dostu şeklinde ifade edilir.

Genel bir optimizasyon problemi; x değişkeni kısıtlamalara bağlı olan ve aşağıdaki gibi yazılabilen bir $f(x)$ fonksiyonunu en küçük veya en büyük yapma olarak tanımlanabilir (Öğüçlü, Yıldırım, 2020).

$f(x)$; amaç fonksiyonu olarak tanımlanır. Amaç fonksiyonu türü, problemin doğasına bağlıdır. Bu çalışmada amaç fonksiyonumuz maliyeti düşürmektir (Öğüçlü, Yıldırım, 2020).

$f(x)$ fonksiyonunu en küçük veya en büyük yapan değerdir.

$$x = [x_{1,2,3,4..n}]$$

2.1.5. Kısıtlamalar

Analiz uygulanacak modellerin, belli bir yük ve zorlamalar altında tasarım değişkenlerinin referans alınan modellerin yani hiç kısıtlamama yapılmamış model, modelin ilk hali, alt kısıtlama yapılmış model ve üst kısıtlama yapılmış model olarak düşünülmektedir. Bu referans modellere göre de, diğer tasarım değişkenlerin cevap verebilme durumudur.

Alt kısıtlama uygulanacak model optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkarılacak en küçük çaplı ($Q=1$ mm) dairesel kesitlerdir.

Şekil 2.6'te gösterilmiştir.

Üst kısıtlama uygulanacak model optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkarılacak en küçük çaplı ($Q=99$ mm) dairesel kesitlerdir.

Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

X değerleri bulunur. Burada X aşağıdaki kısıtlamalara uymalıdır;

$$\begin{array}{ll} 1 < g_j(X) < 100; & j= 2,4,6,\dots,99,9 \quad \text{üst kısıtlama çap (Q=99mm) alındı.} \\ 0 < l_j(X) < 1; & j= 0.1, 0.2,\dots,1 \quad \text{alt kısıtlama çap (Q=1mm) alındı.} \\ l_j(X) = 0; & j= 0 \quad \text{modelin ilk hali çap (Q=0 mm) alındı.} \end{array}$$

X ; tasarım sürecinde bulunan bir dizi değişkeni temsil eden tasarım vektörü olarak bilinen n-boyutlu bir vektördür (Öğüçlü ve Yıldırım,2020).

$g_j(X)$ ve $l_j(X)$; sırasıyla eşitsizlik ve eşitlik kısıtlamaları olmaktadır. Bu tasarım kısıtlamaları, kabul edilebilir bir tasarım elde etmek için karşılanması gereken kısıtlamalardır (Öğüçlü ve Yıldırım,2020).

Genel bir Topoloji Optimizasyonu problemi ifadesinde, ağ oluşturma aşamasında üretilen her sonlu elemana (i), modelin dahili bir sözde yoğunluğu olan bir tasarım değişkeni (η_i) atanır. Sözde yoğunluk "0" ile "1" arasındadır, burada $\eta_i = 0$; tasarımdan atılacak malzemeyi ve $\eta_i = 1$; tasarımda tutulacak malzemeyi temsil eder (Öğüçlü ve Yıldırım,2020).

Topoloji optimizasyonu yöntemi aşağıdaki gibi de ifade edilebilir:

$f(\eta_i)$ fonksiyonunu en küçük / en büyük yapan değerdir.

$$0 < \eta_i \leq 1; \quad i=1,2,4,6,\dots, N$$

$$g_{aj} < g_j \leq g_{uj}; \quad j=1,2,3, \dots, M$$

denklemlerde;

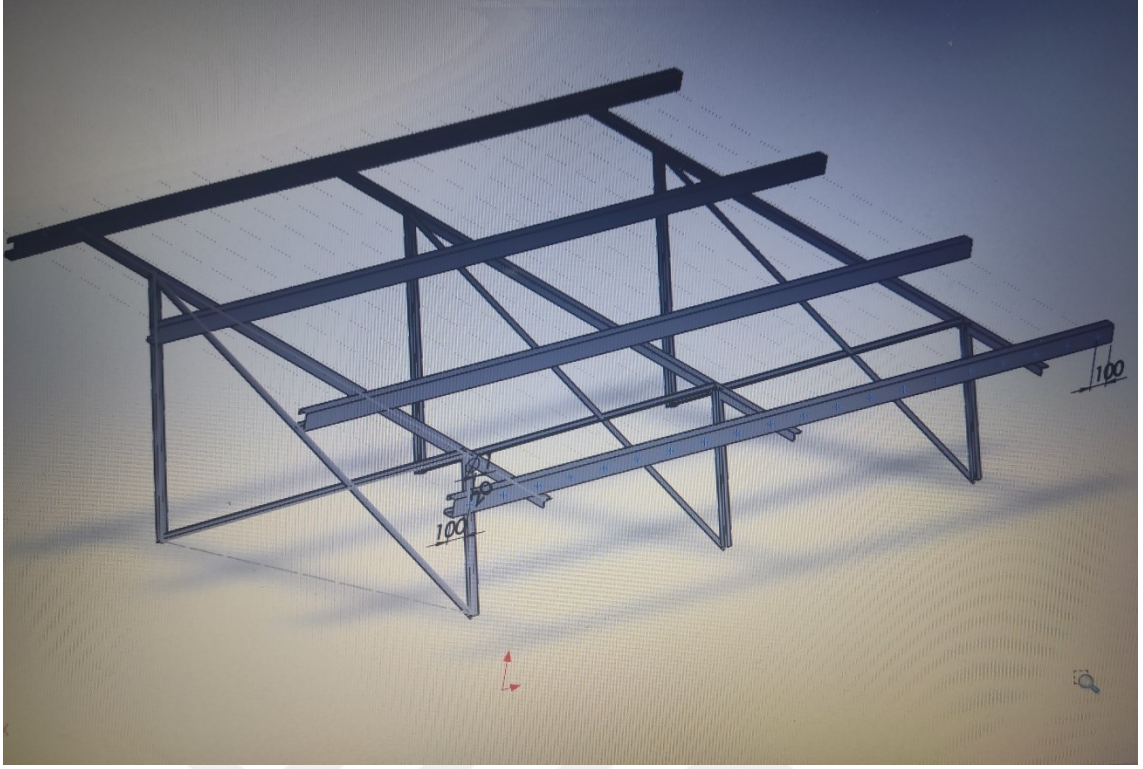
N = sonlu eleman sayısı

M = kısıtlama sayısı

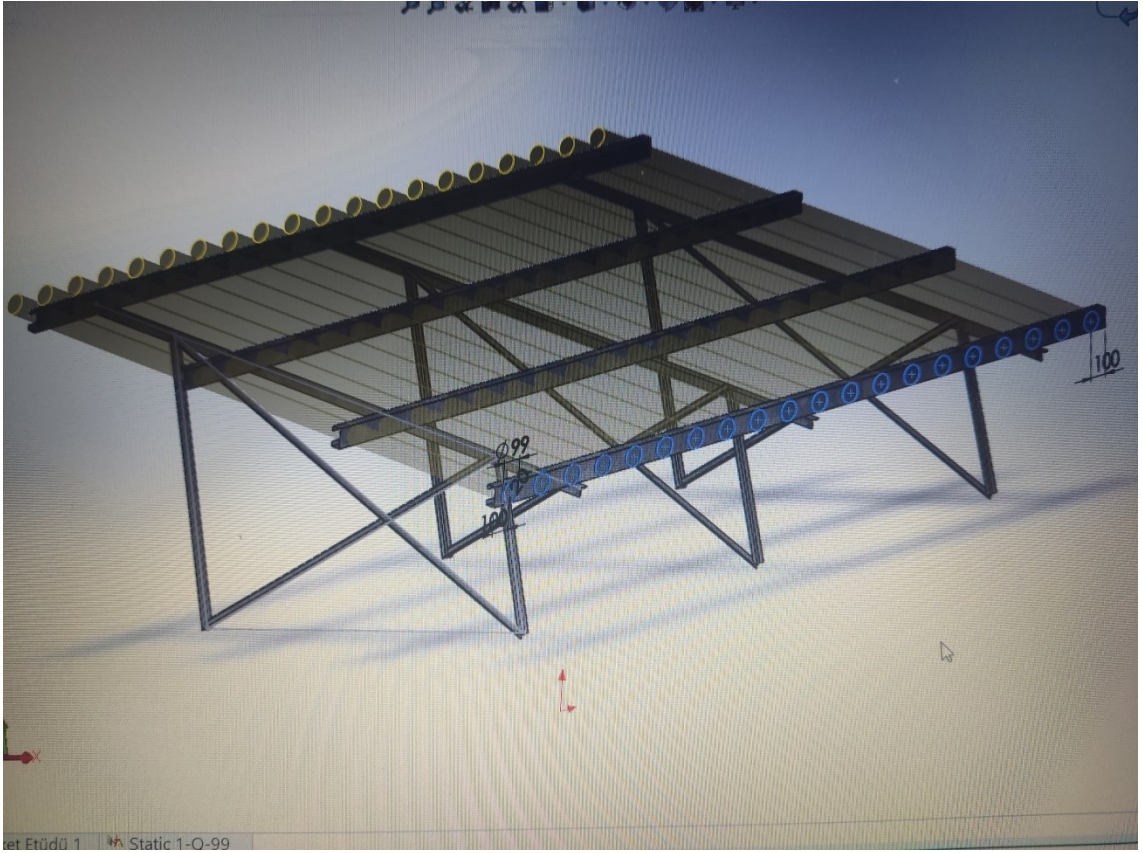
g_j = hesaplanan kısıtlama değeri

g_{aj} ve g_{uj} = alt ve üst kısıtlama sınırları

olarak tanımlanır (Öğüçlü ve Yıldırım,2020).



Şekil 2.6. Alt Kısıtlama Uygulanacak “Model-Q-1” Adlı Model



Şekil 2.7. Üst Kısıtlama Uygulanacak “Model-Q-99” Adlı Model

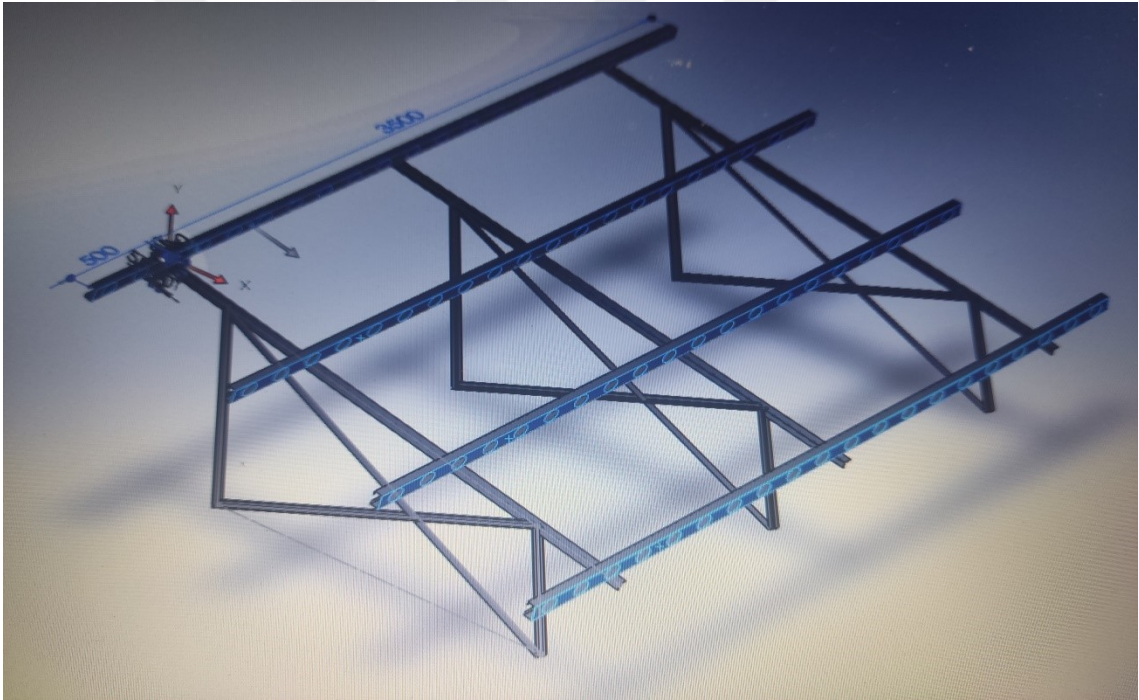
2.1.6. Tasarım Değişkenleri

Bir modelin malzeme seçimi veya sabit yük altında referans alınan modellerin dışında değiştirilebilen parametrelerdir. Güneş panellerinde kullanılan malzeme galvaniz çelik ve değişen parametrelerde C profillerinden çıkartılan dairelerin çaplarıdır.

Alt ve üst kısıtlama uygulanan modellerin dışında optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkarılacak çap (Q =2 mm)'den çap (Q=98 mm)'ye kadar çıkarılacak olan dairesel kesitlerdir.

2.1.7. Optimizasyon Alanı

Tasarımın cevap veremeyecek sınırları dışında kalan alanın değişen parametrelere göre topoloji optimizasyonunun uygulanacağı bölgelerdir.



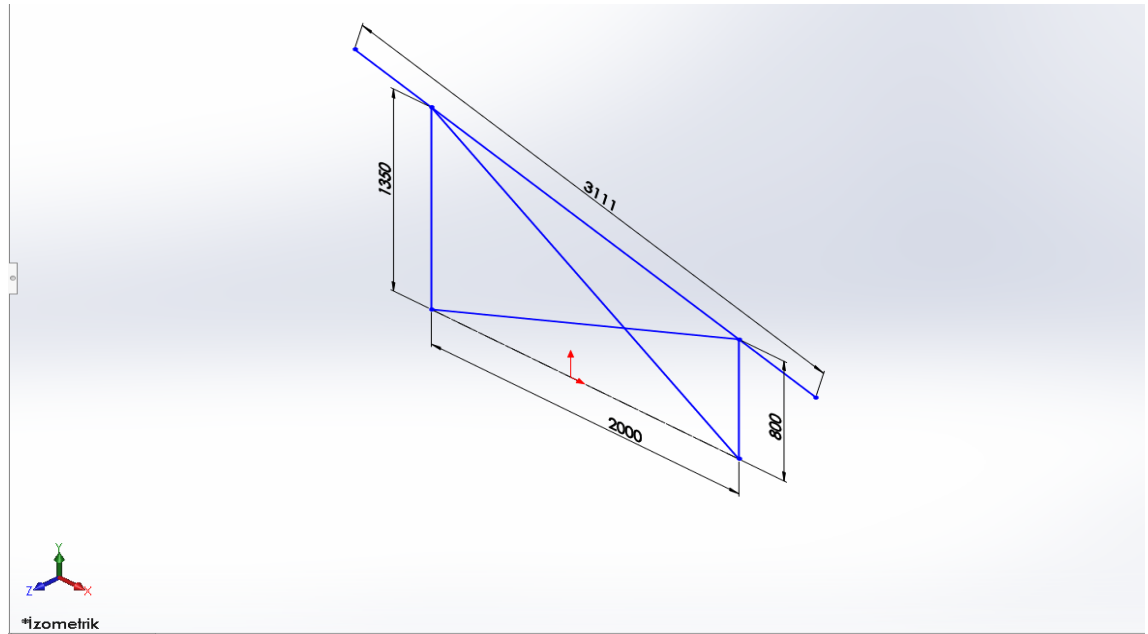
Şekil 2.8. Modellerde Optimizasyona Tabi Tutulacak Alanlar

2.1.8. Performans Ürünün Tespiti

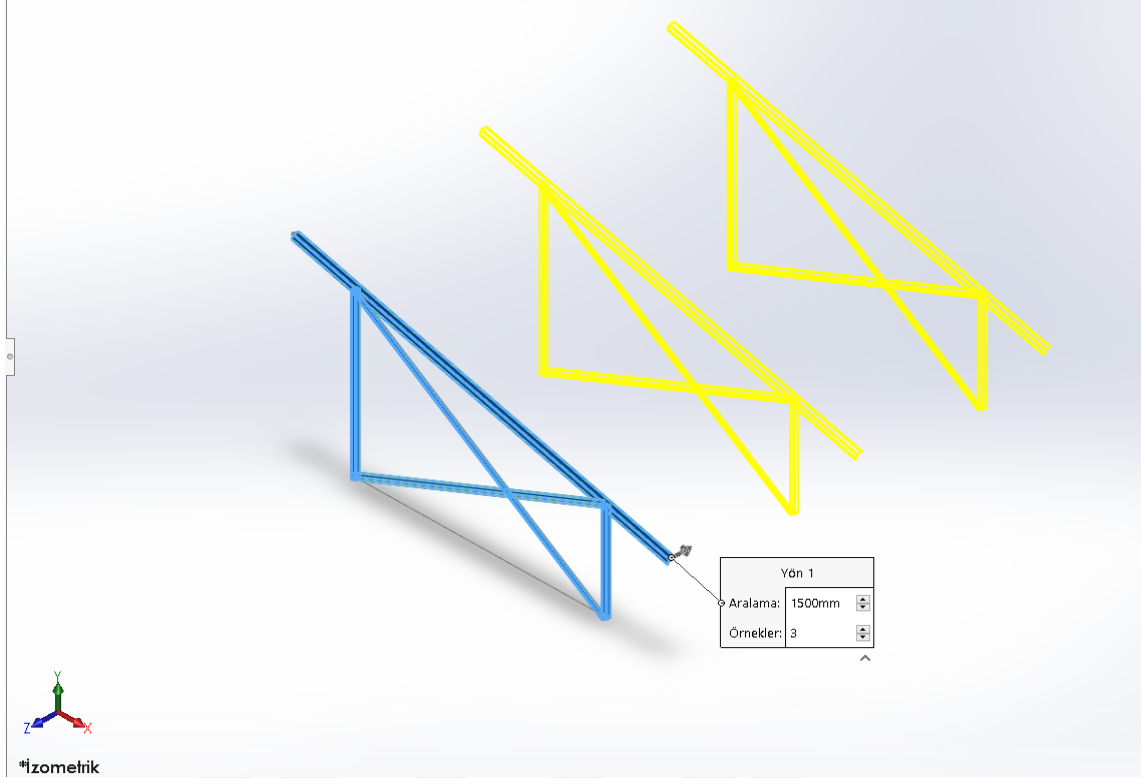
İmalatçı, kullanıcının istediği konforu gözeterek üretim teknolojilerini optimum tasarım elde edecek şekilde düzenleyip analiz sonuçlarına göre imalatçıya, kullanıcıya, doğaya istenilen cevabı verebilen en iyi ürün diğer bir deyişle optimum ürün veya performans ürünü olarak tanımlanabilir.

2.2. Materyal Geliştirme

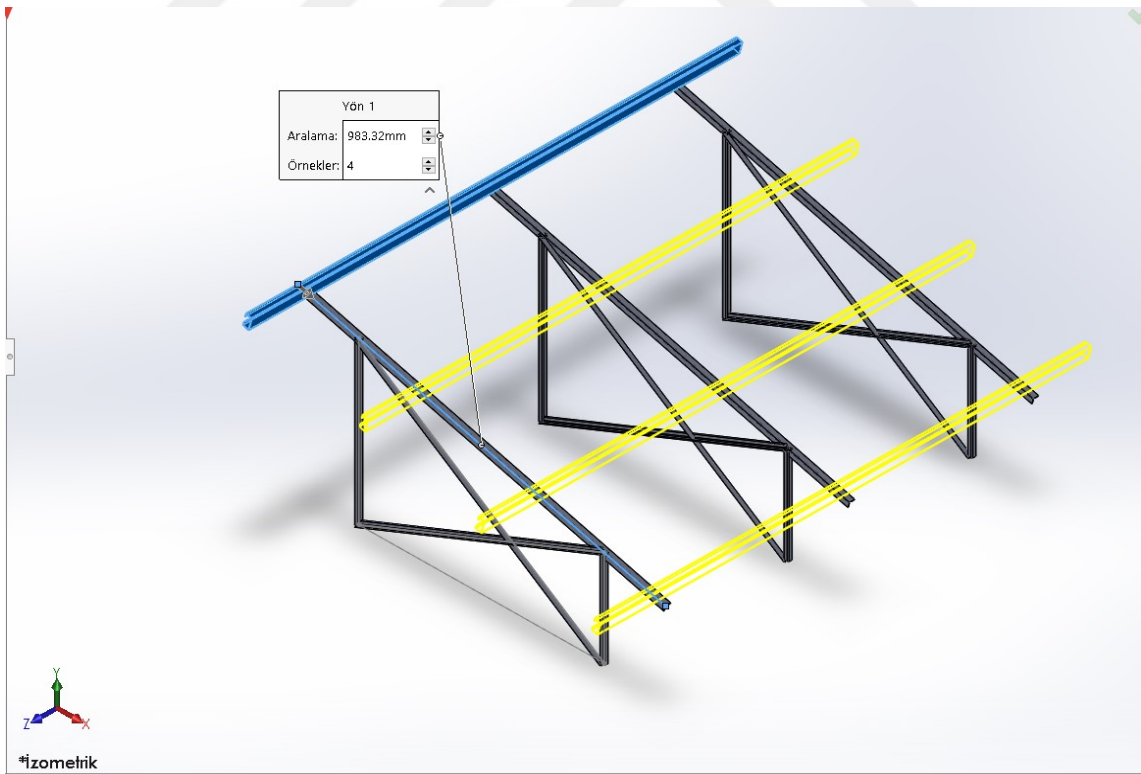
Bu çalışmada galvaniz çelik malzeme ile oluşturulmuş 52 model, Solidworks katı modelleme yazılımı ile üç boyutlu olarak tasarlanmıştır. Modellerdeki 4 adet C profillerin her birinden konumları sabit kalmak koşulu ile 20 adet dairesel geometrik form kullanarak boşaltma yoluna gidilmiştir. 4 adet C profilinde toplam 80 adet dairesel form oluşturulmuştur. Daire çapları en küçük 1mm'den başlayarak en büyük çap 99 mm'ye kadar her seferinde çap arttırılarak toplam ağırlık azaltma yoluna gidilmiştir. Her seferinde de 1920 N toplam kuvvet uygulanarak Solidworks® Simulation programında C profillerin kuvvet altındaki fiziksel davranışları analiz edilip grafiklerle gösterilmiştir.



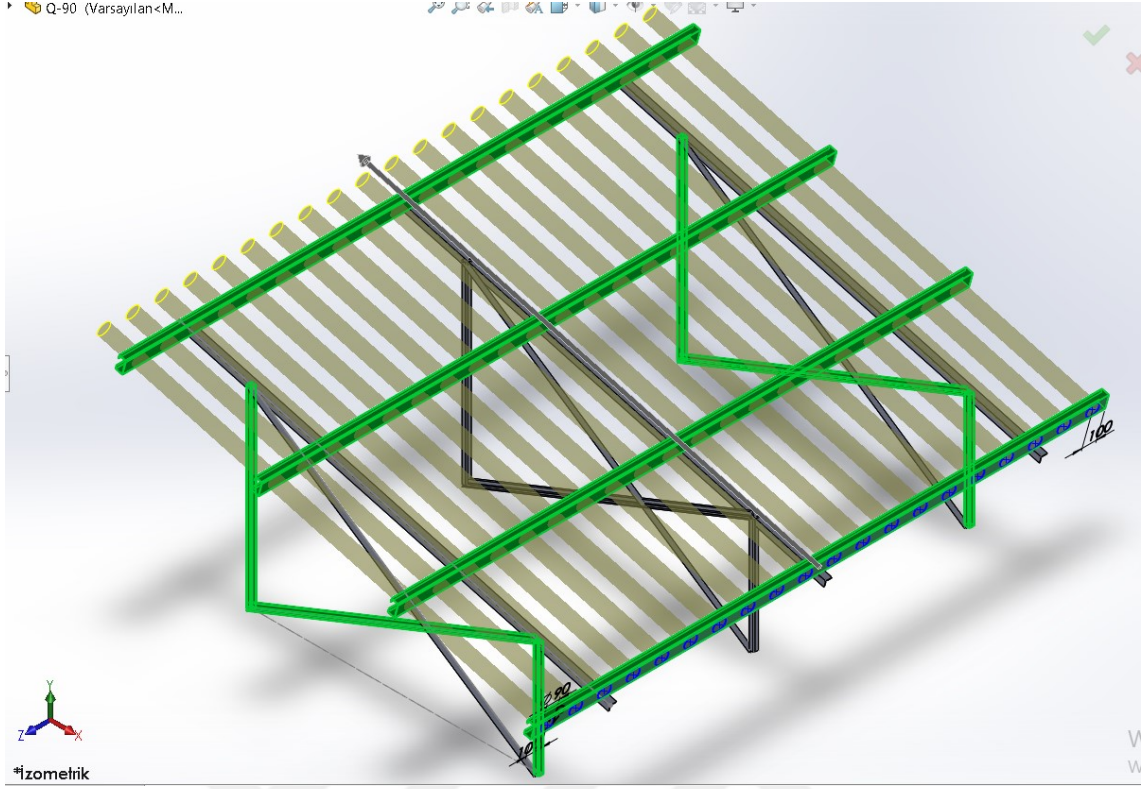
Şekil 2.9. Seçilen Örnek Parçanın Alt Profillerin Çizilmesi



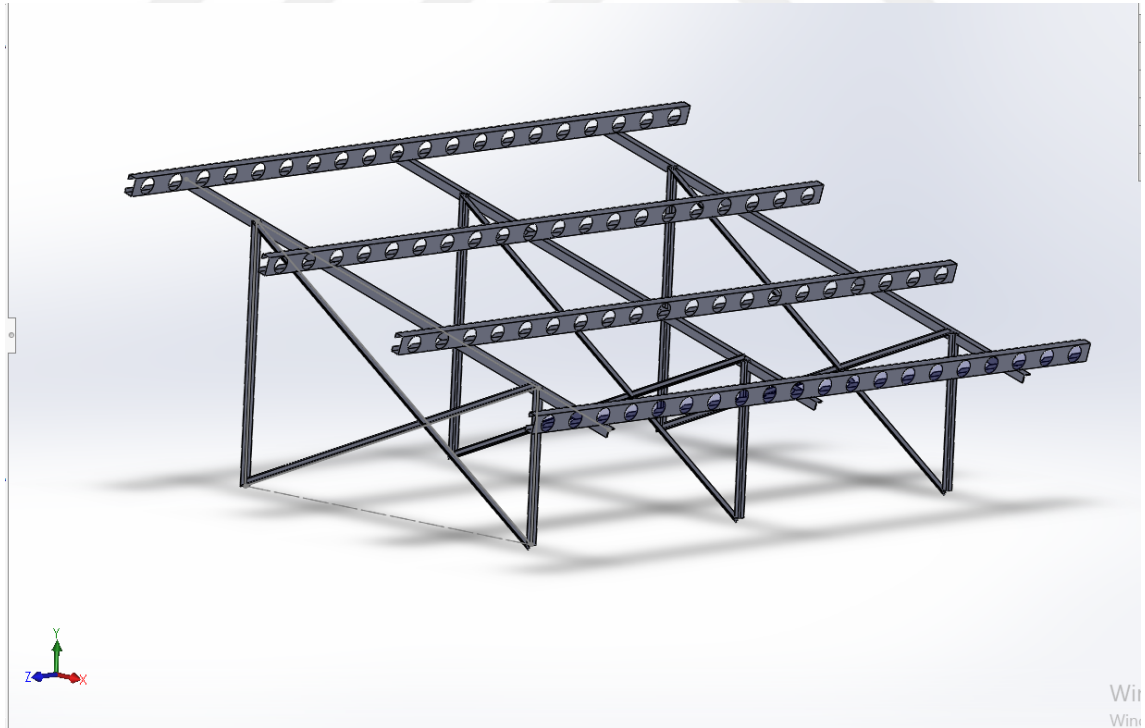
Şekil 2.10. Seçilen Örnek Parçanın Alt Profillerin Oluşturulması



Şekil 2.11. Seçilen Örnek Parçanın C Profillerin Yerleştirilmesi

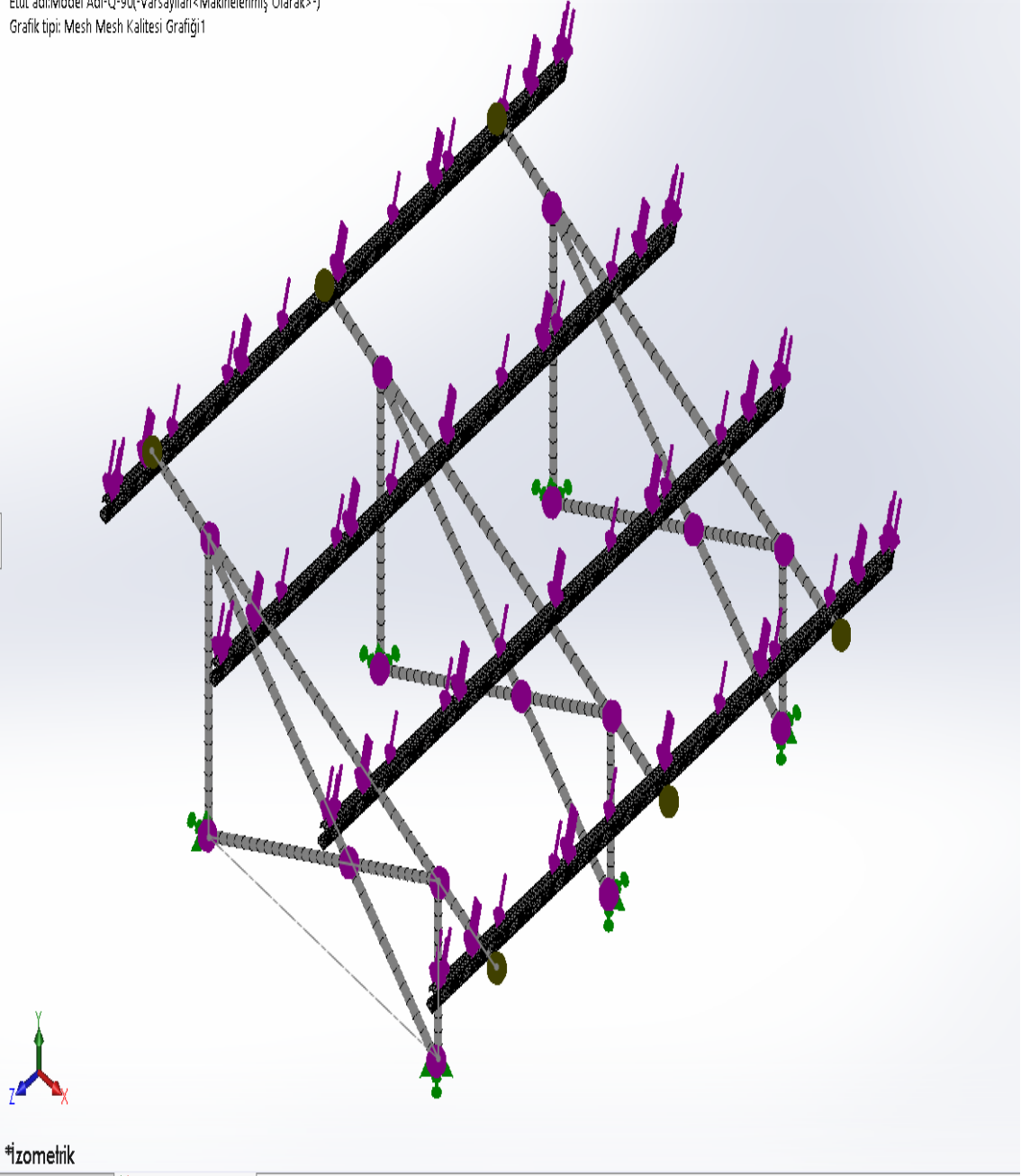


Şekil 2.12. Seçilen Örnek Parçanın C Profillerinden Boşaltılacak Alanların Belirlenmesi



Şekil 2.13. Seçilen Örnek Parçanın Boşaltılmış Hali

Model adı:Q-90
Etüt adı:Model Adı-Q-90(-Varsayılan <Makinenmiş Olarak>)
Grafik tipi: Mesh Mesh Kalitesi Grafiği1

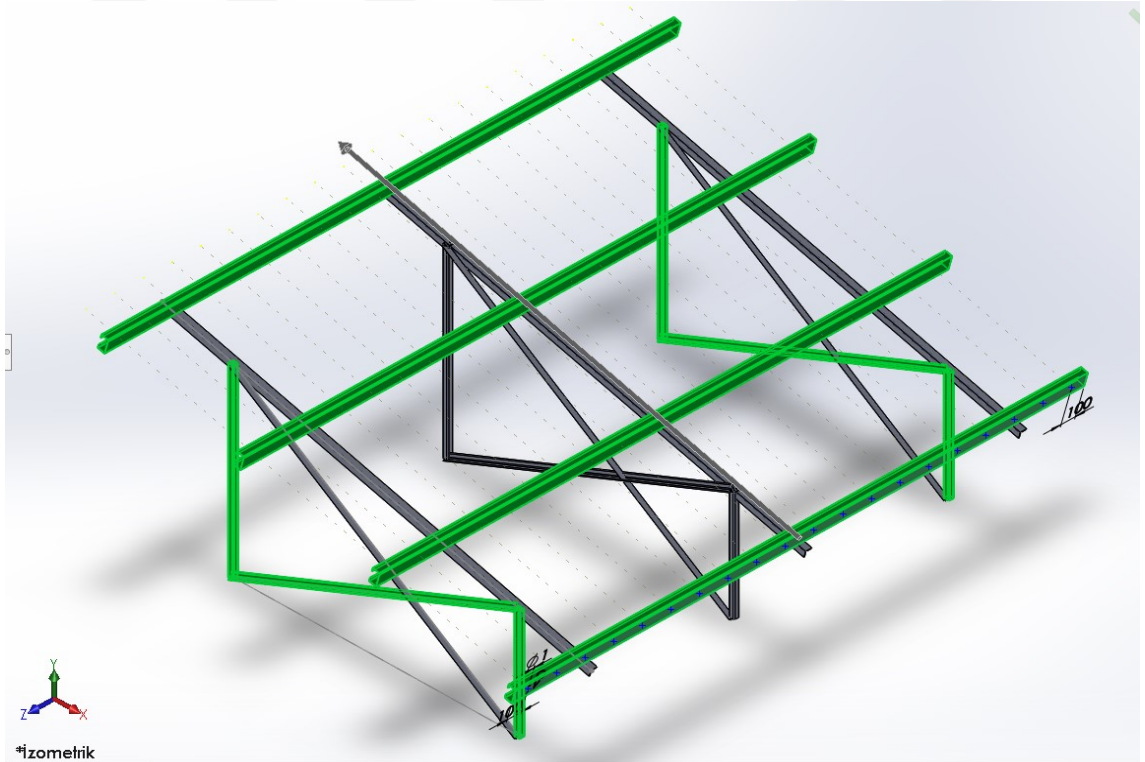


Şekil 2.14. Seçilen Örnek Parçanın Mesh Yapısının oluşturulması

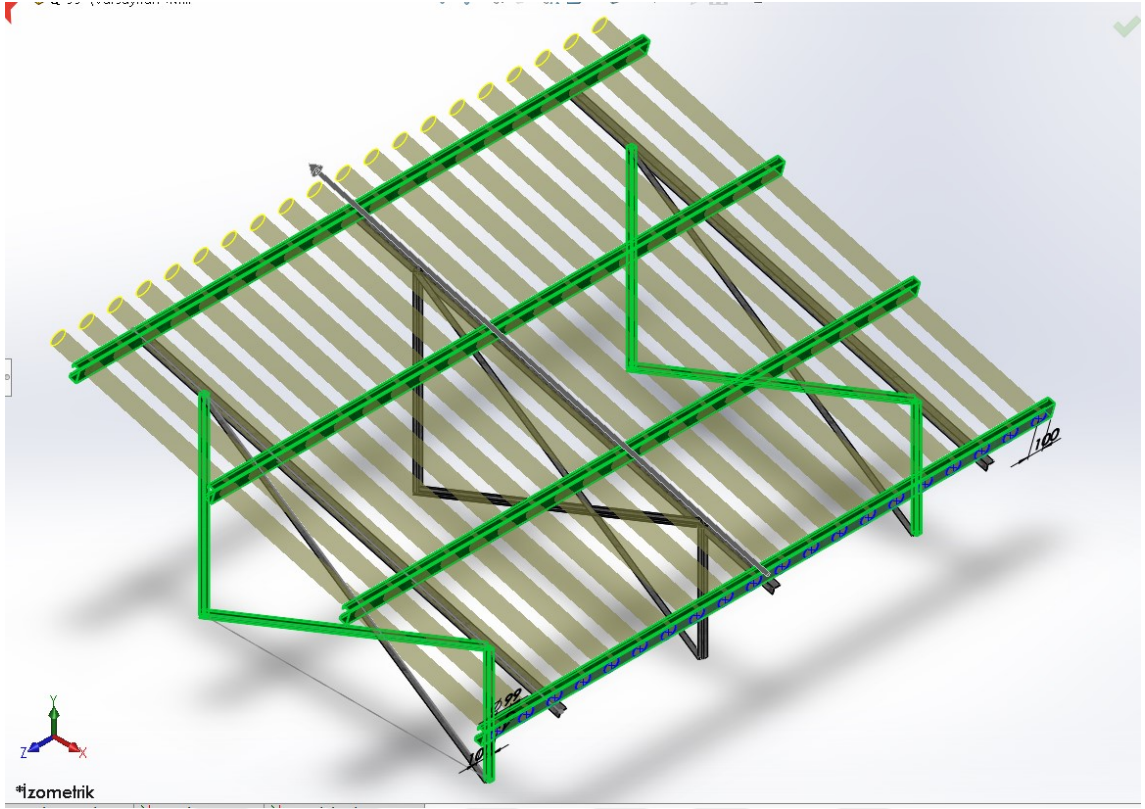
2.3. Yöntemin Uygulanması



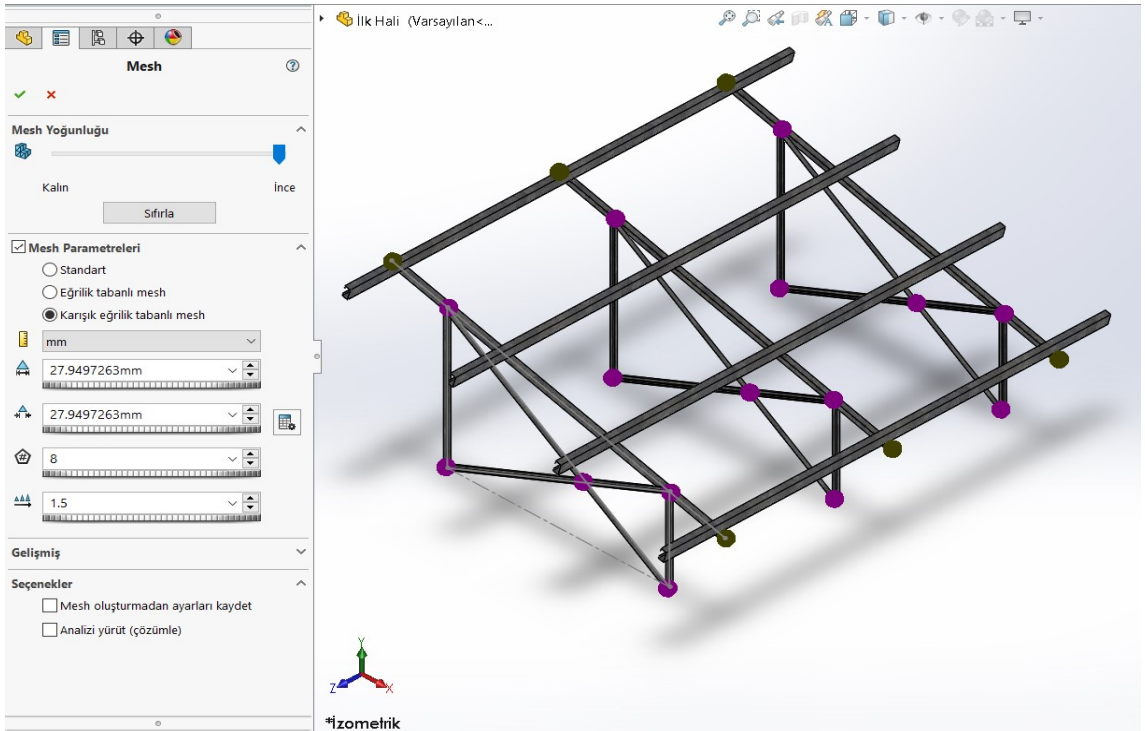
Şekil 2.15. Referans Alınan Modelin İlk Hali



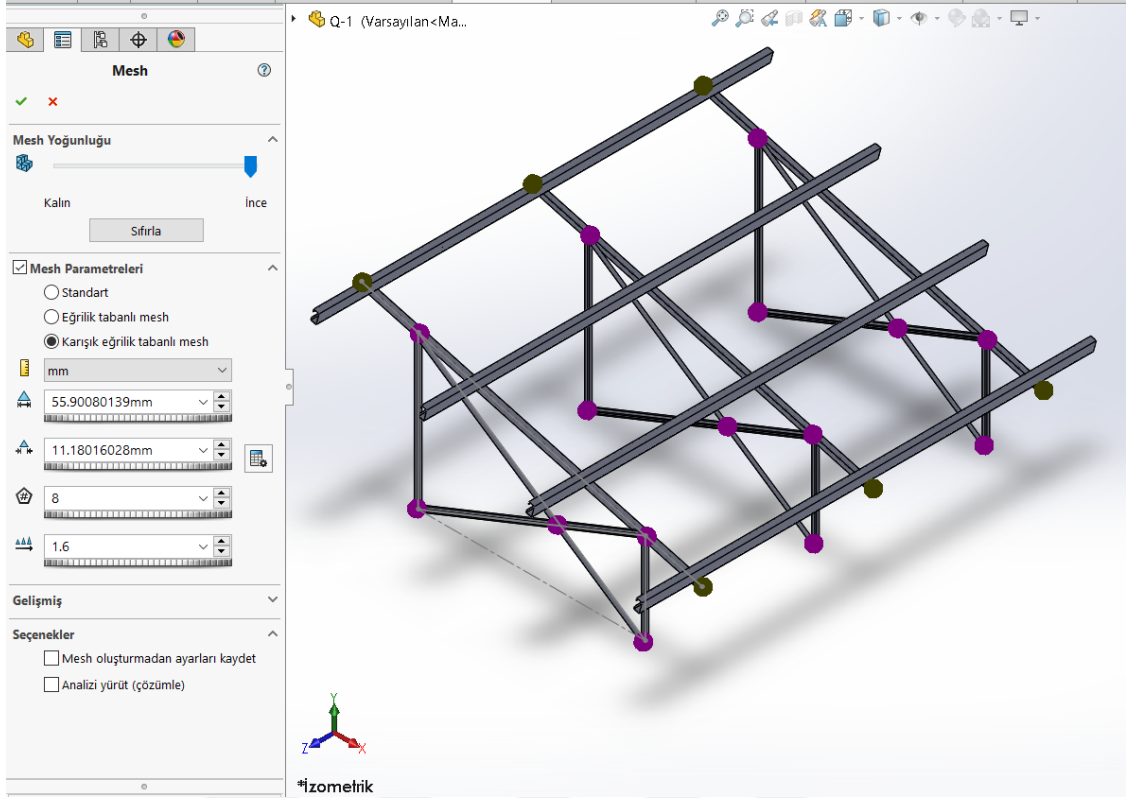
Şekil 2.16. Alt kısıtlama Uygulanan Model



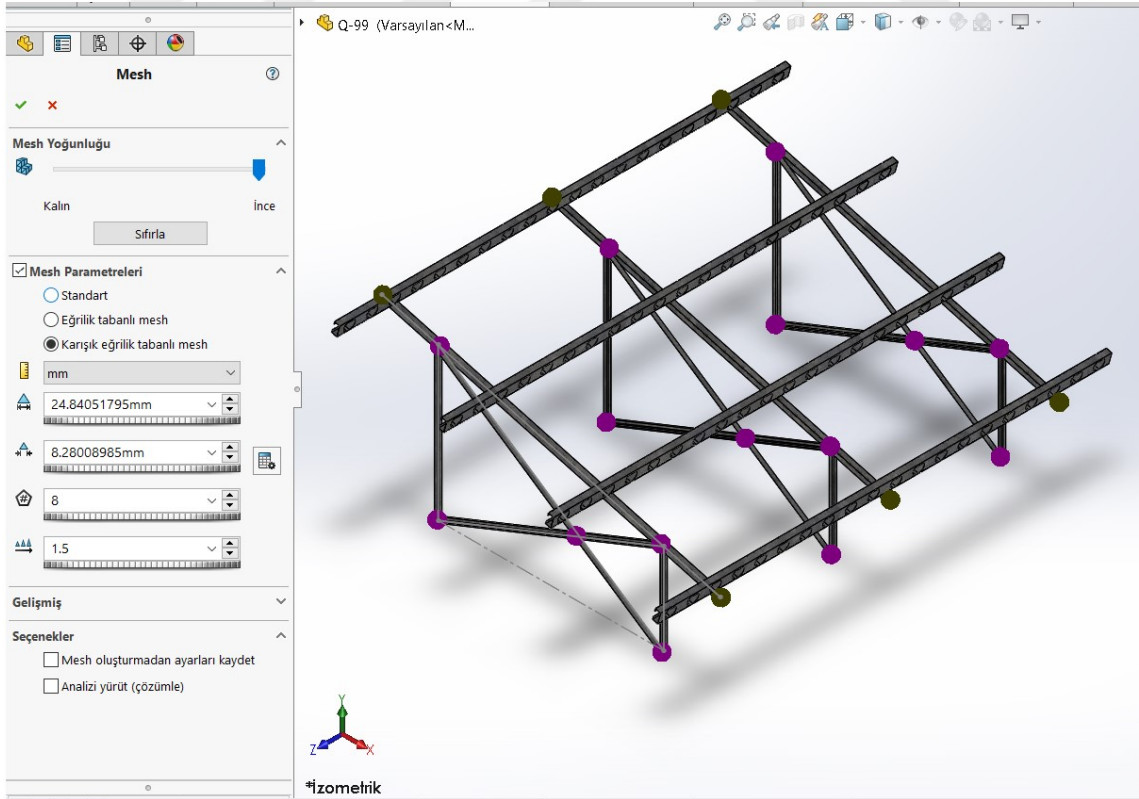
Şekil 2.17. Üst Kısıtlama Uygulanan Model



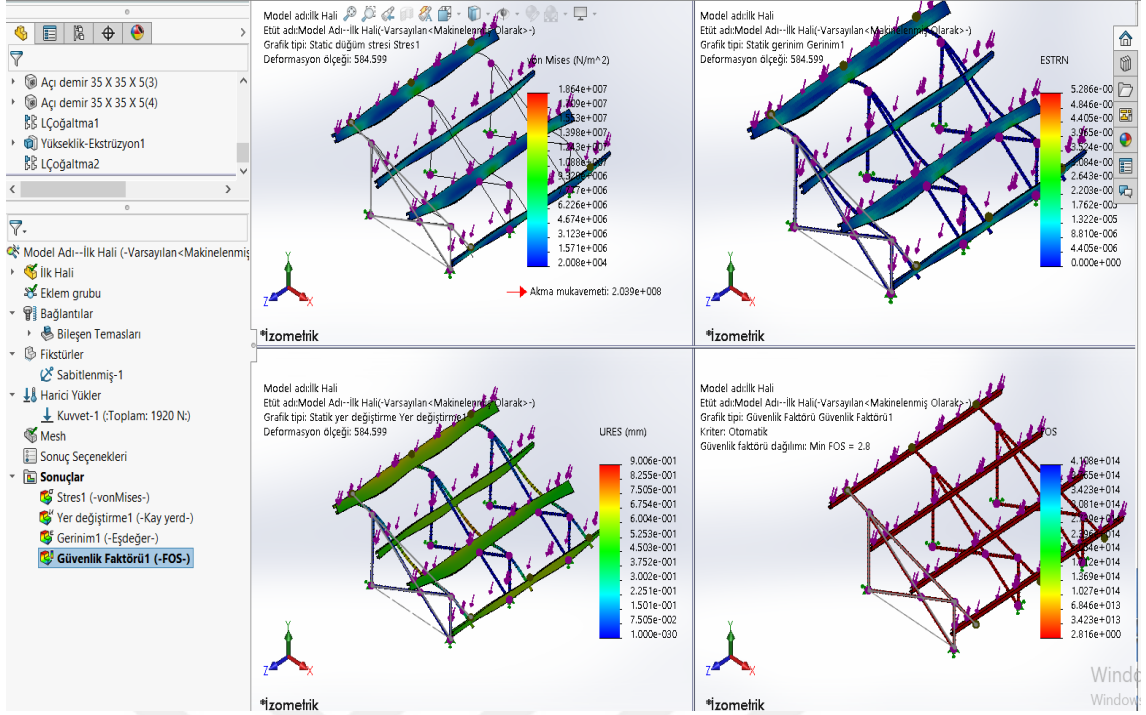
Şekil 2.18. Mesh Uygulanan Modelin İlk Hali



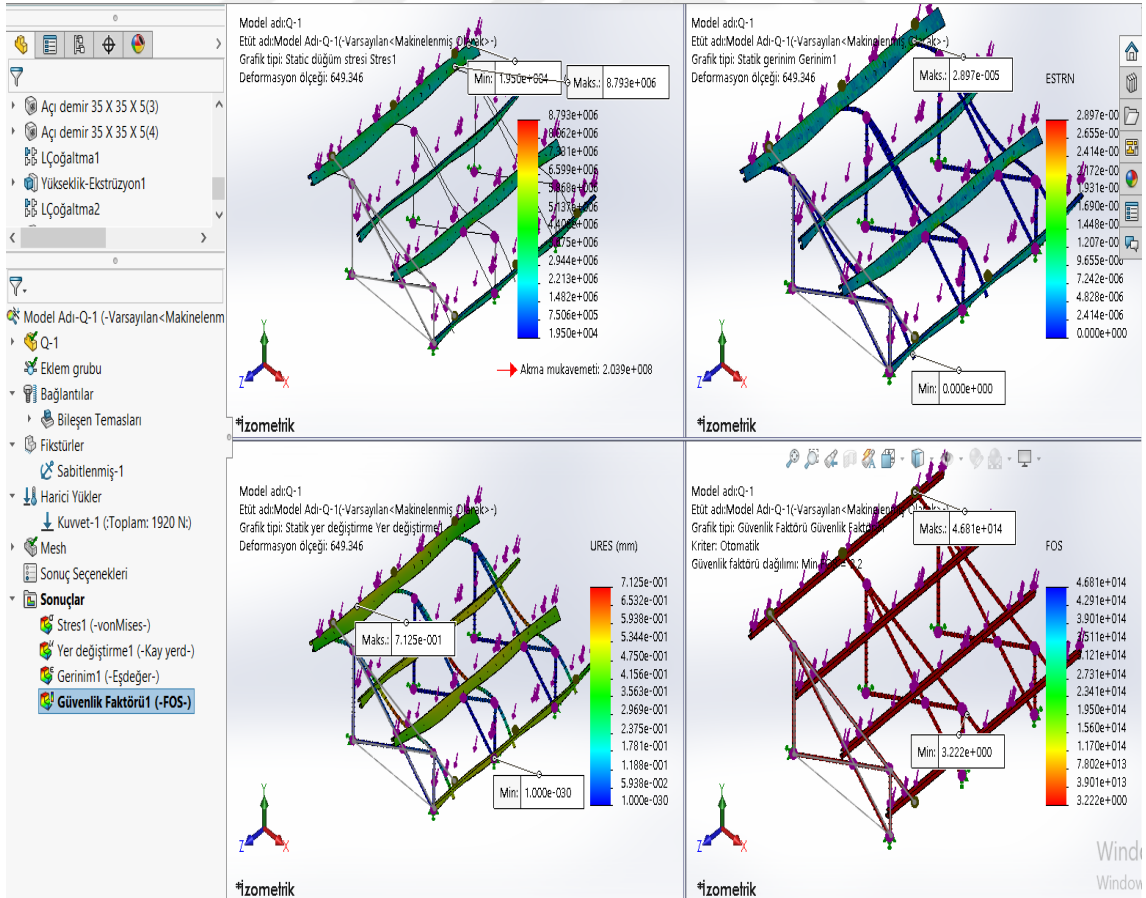
Şekil 2.19. Mesh Uygulanan Alt Kısıtlı Model



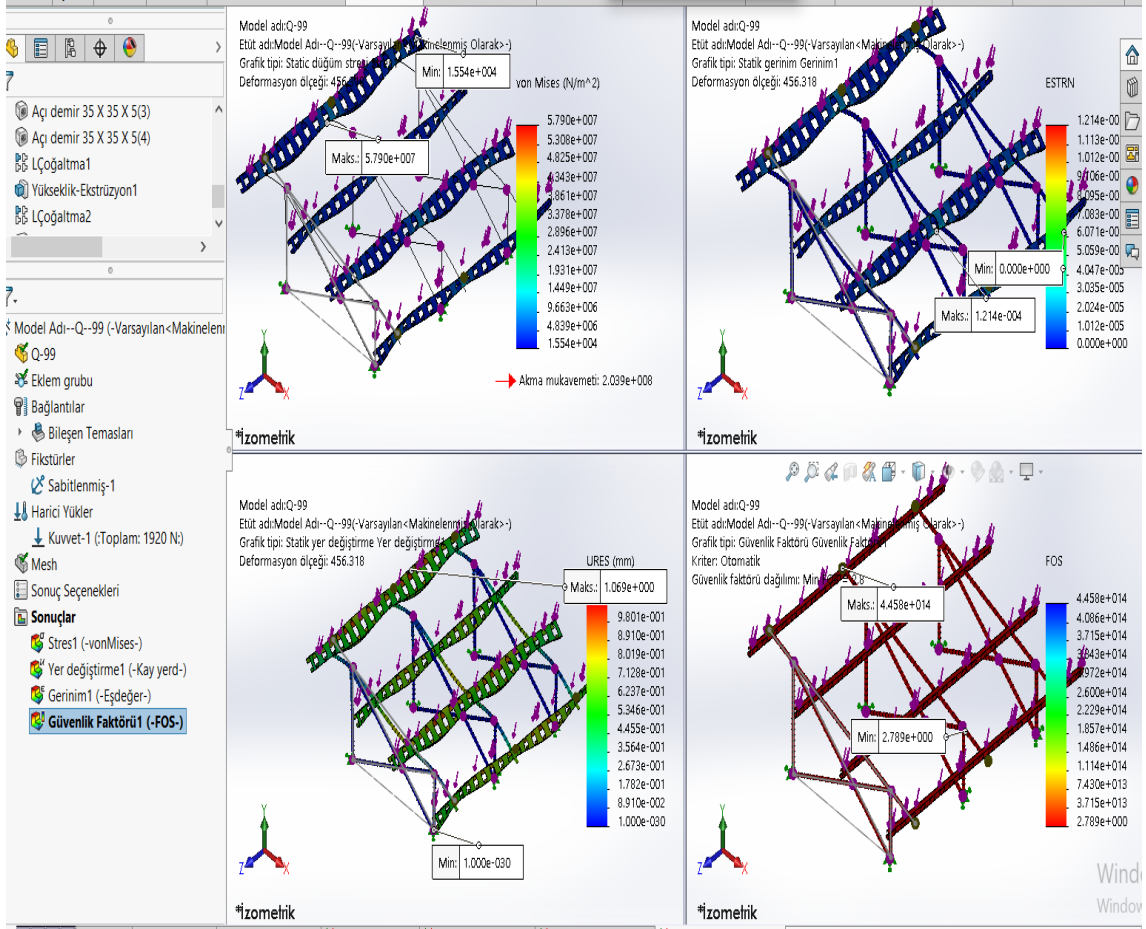
Şekil 2.20. Mesh Uygulanan Üst Kısıtlı Model



Şekil 2.21. Modelin İlk Halinin Sonuçları

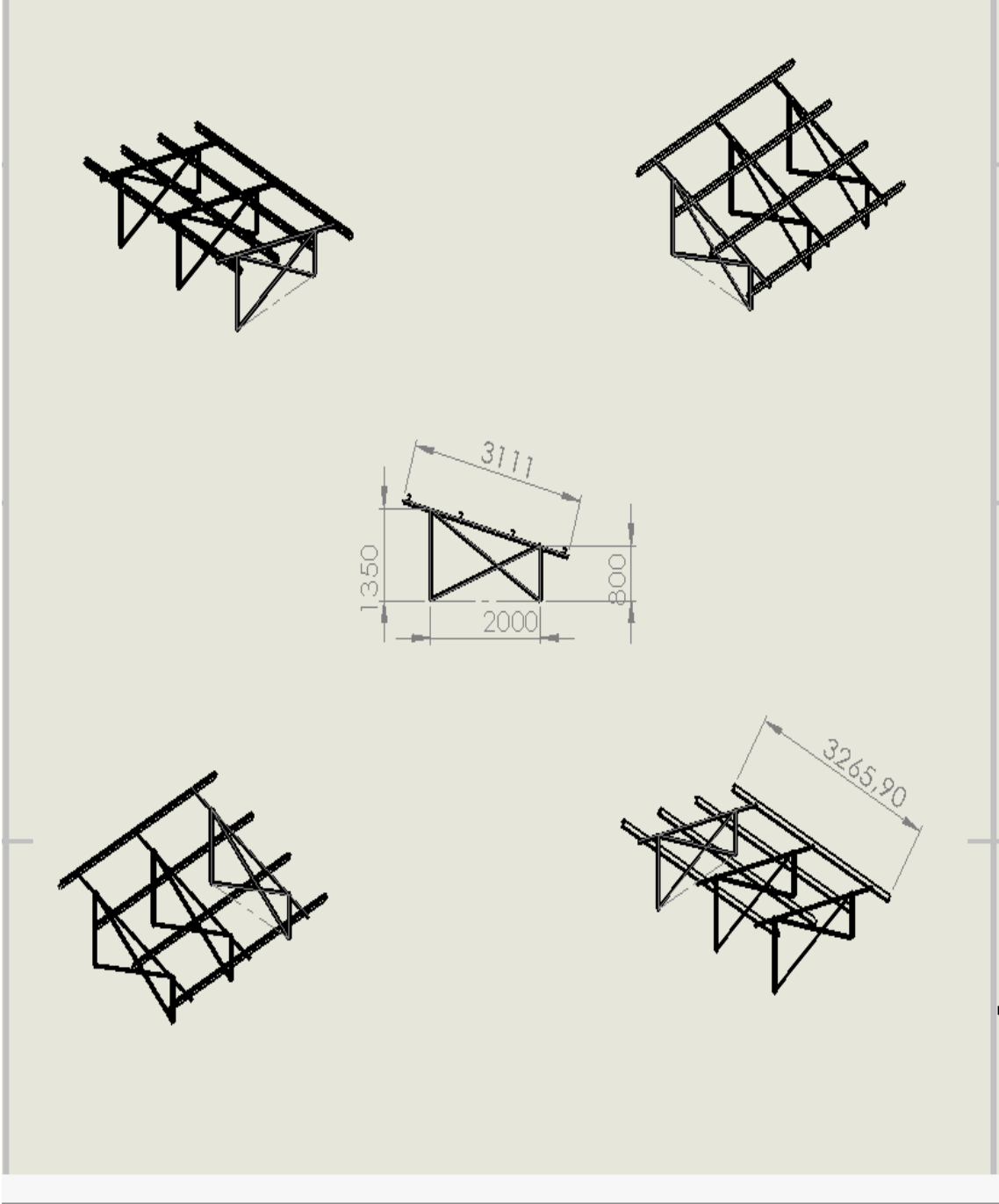


Şekil 2.22. Alt Kısıtlama Uygulanan Modelin Sonuçları

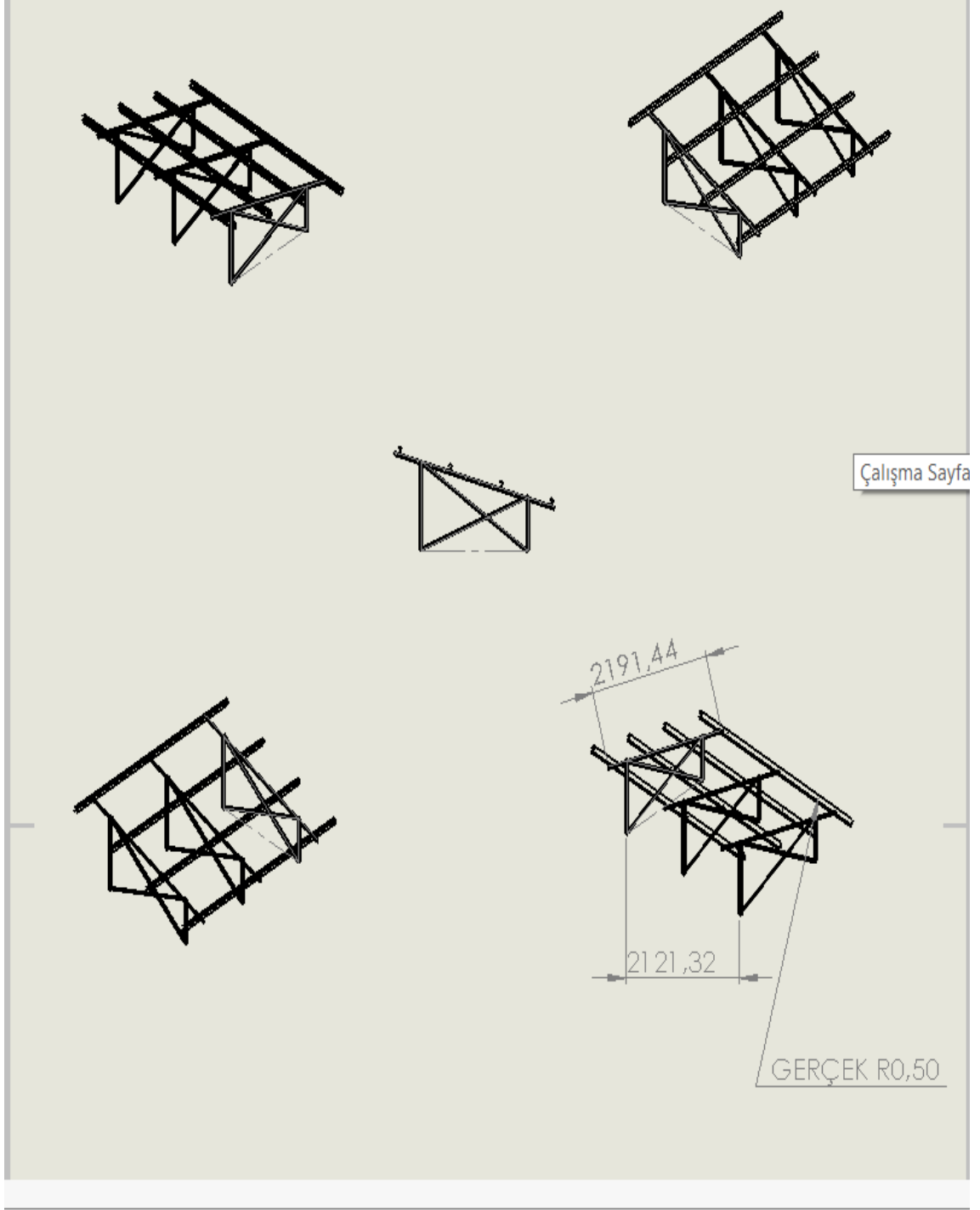


Şekil 2.23. Üst Kısıtlama Uygulanan Modelin Sonuçları

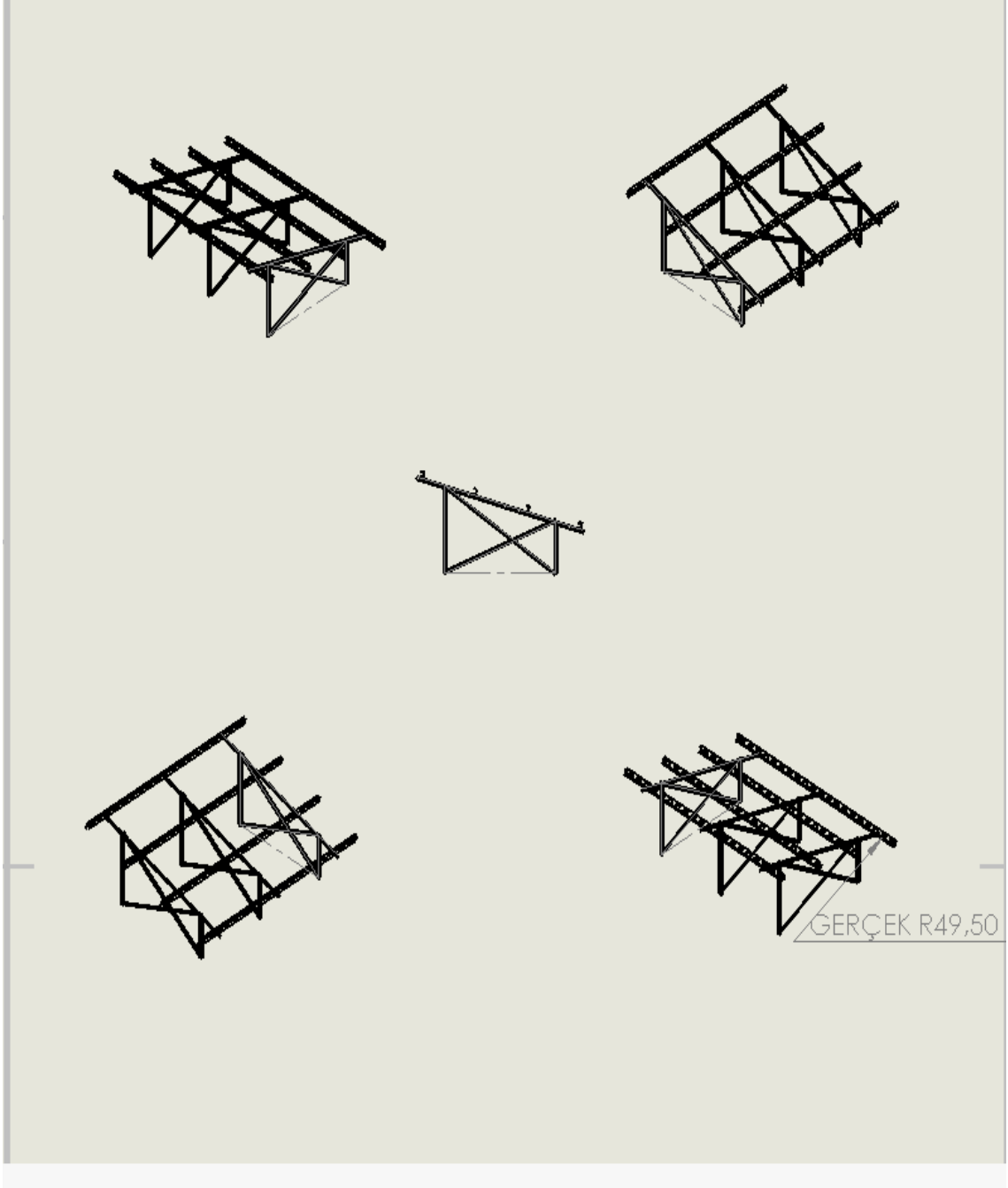
2.3.1. Referans Modellerin Perspektif Görünüşleri



Şekil 2.24. Modelin İlk Halinin Perspektif Görünüşleri



Şekil 2.25. Alt Kısıtlama Uygulanan Modelin Perspektif Görünüşleri

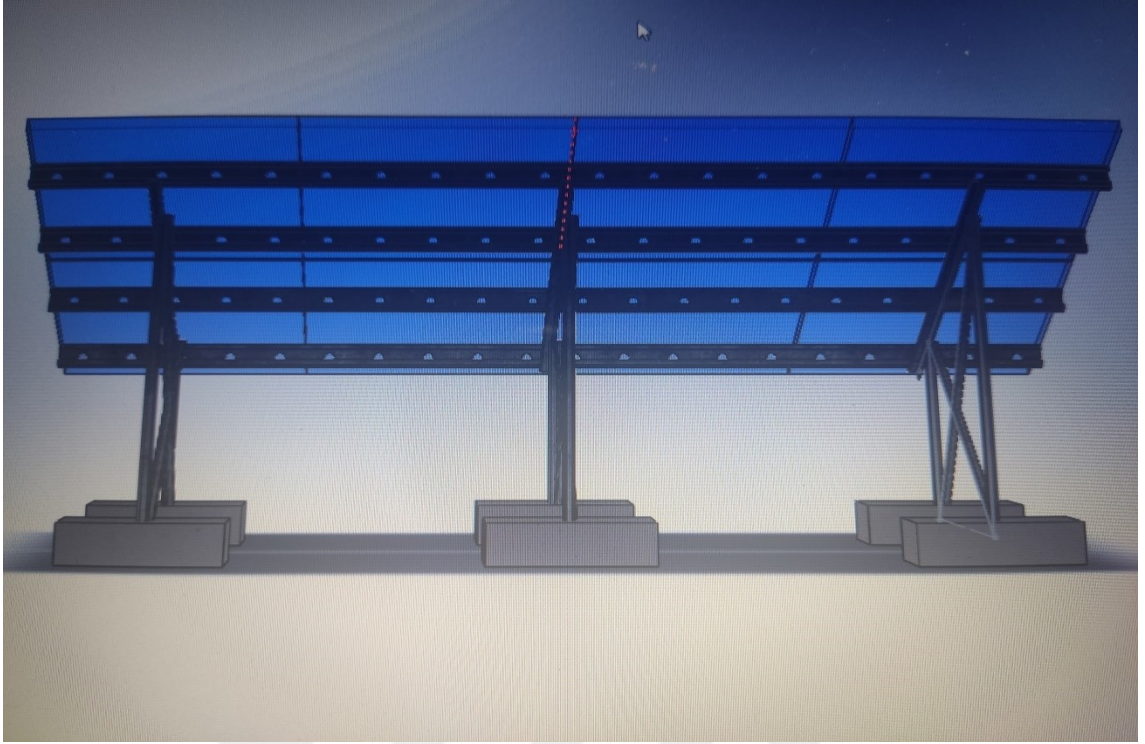


Şekil 2.26. Üst Kısıtlama Uygulanan Modelin Perspektif Görünüşleri

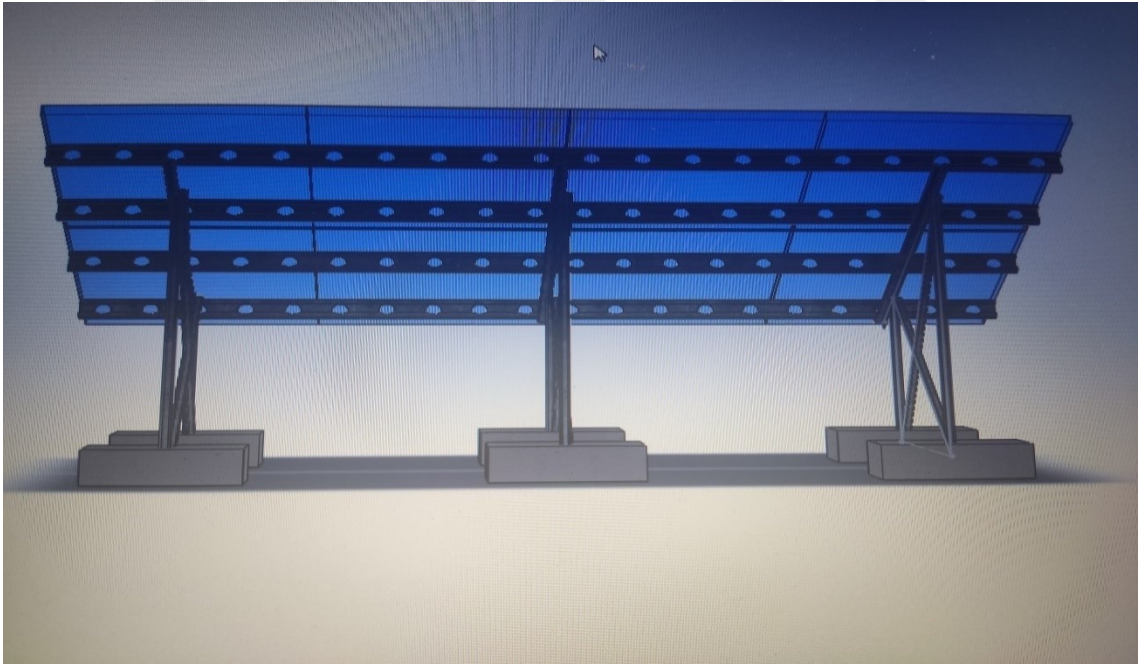
2.3.2. Modellerin Persfektif Arka Görünüşleri



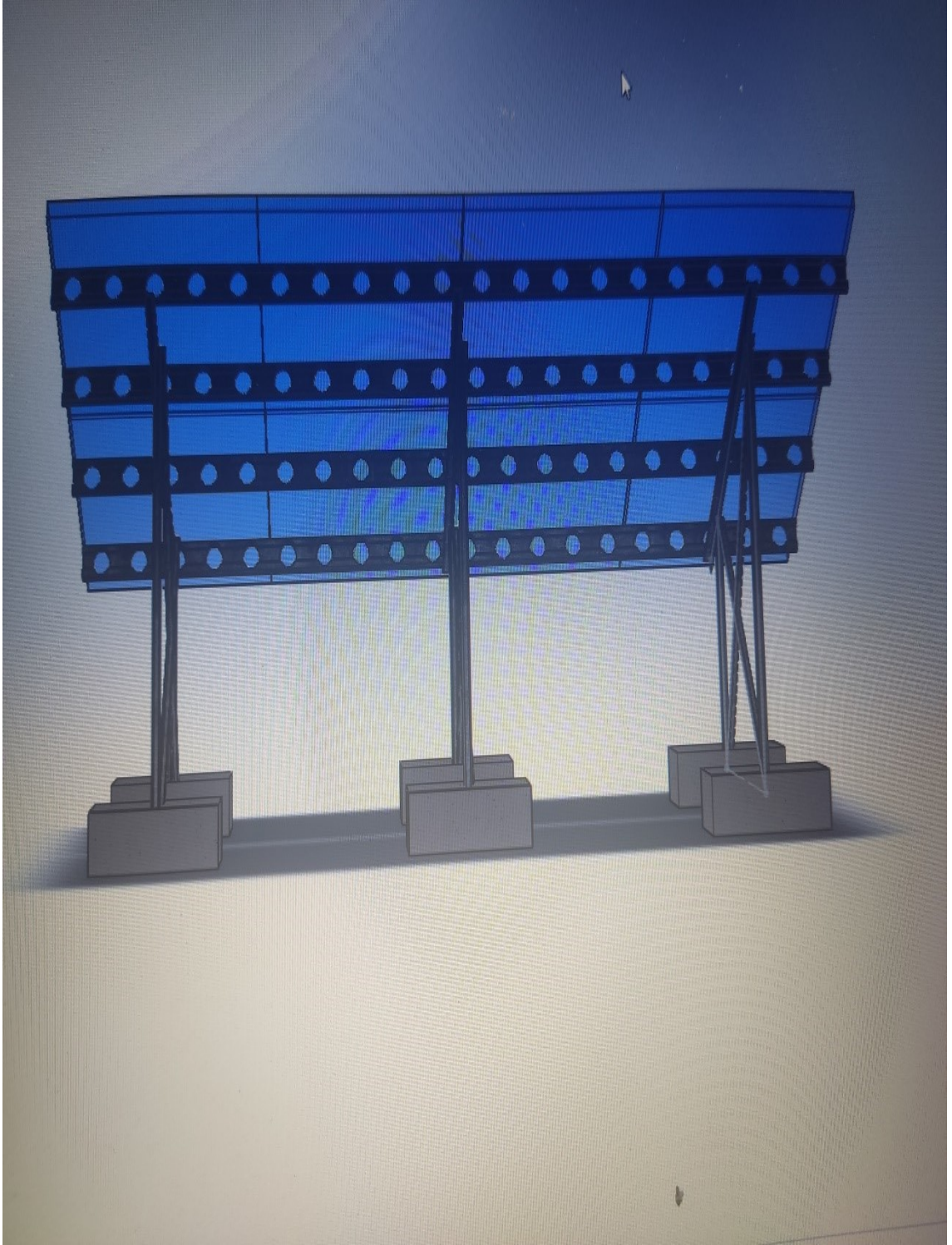
şekil 2.27. Alt Kısıtlama Uygulanan Model-Q-1 Persfektif Arka Görünüşü



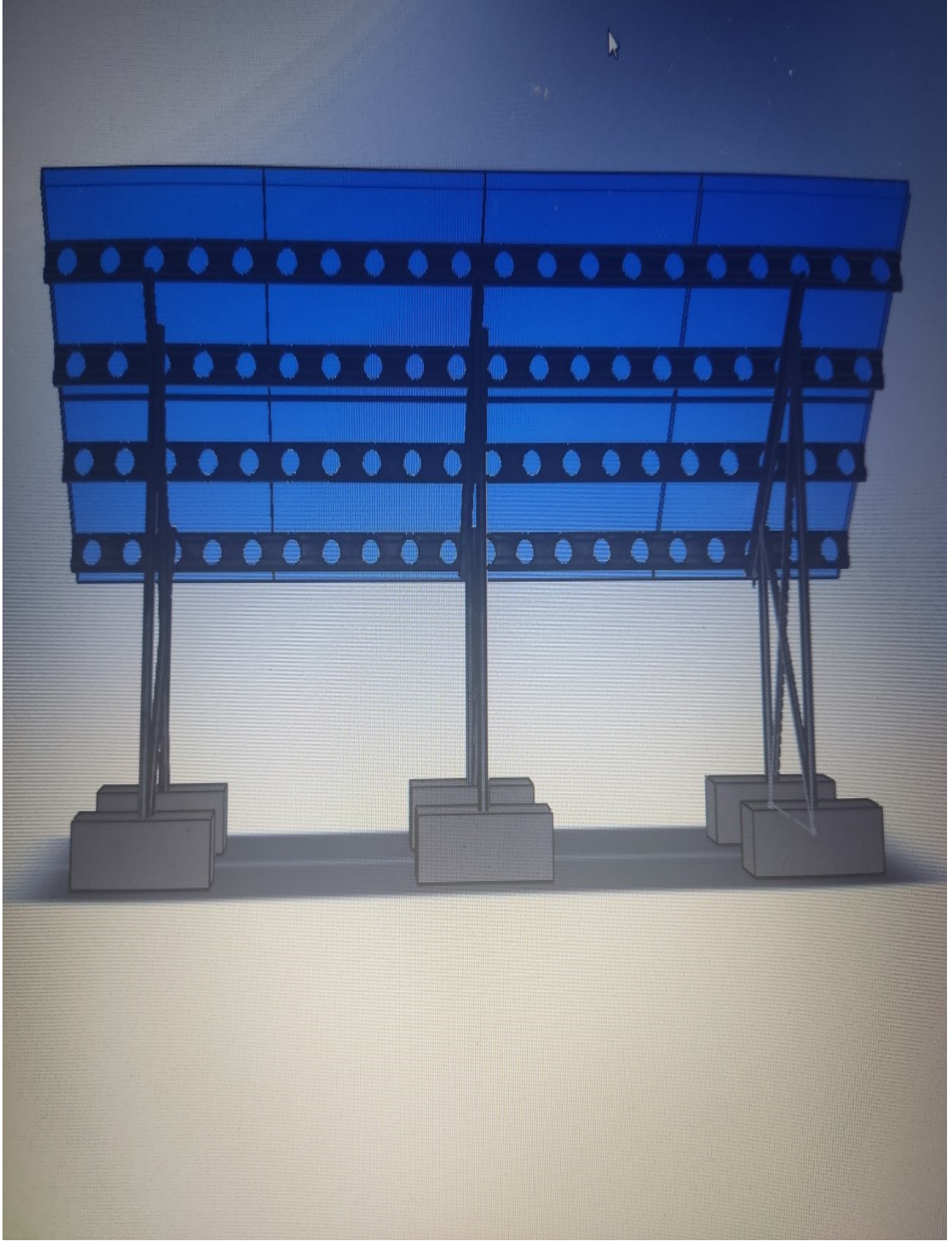
Şekil 2.28. Model-Q-40 Perspektif Arka Görünüşü



Şekil 2.29. Model-Q-70 Perspektif Arka Görünüşü

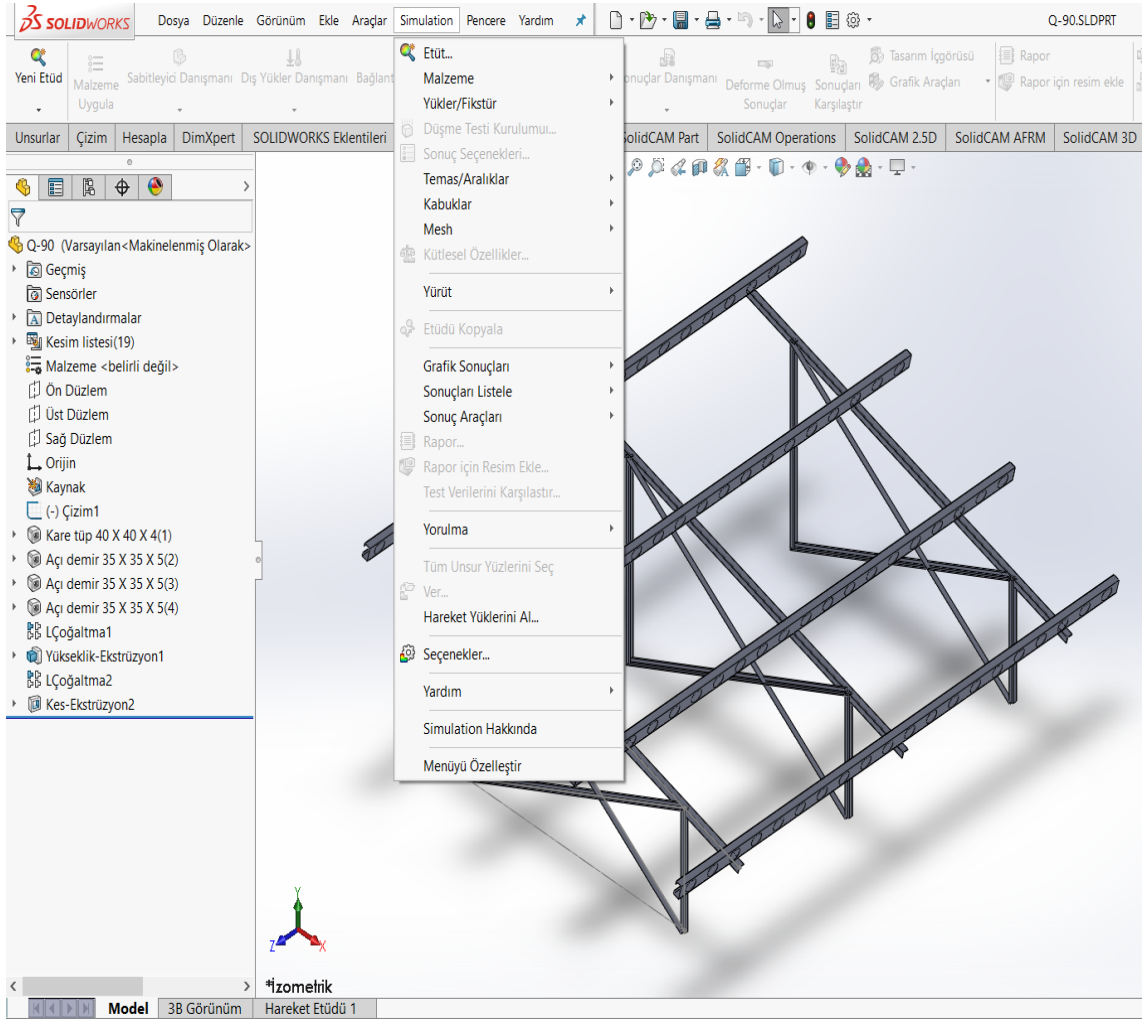


Şekil 2.30. Model-Q-90 Perspektif Arka Görünüşü

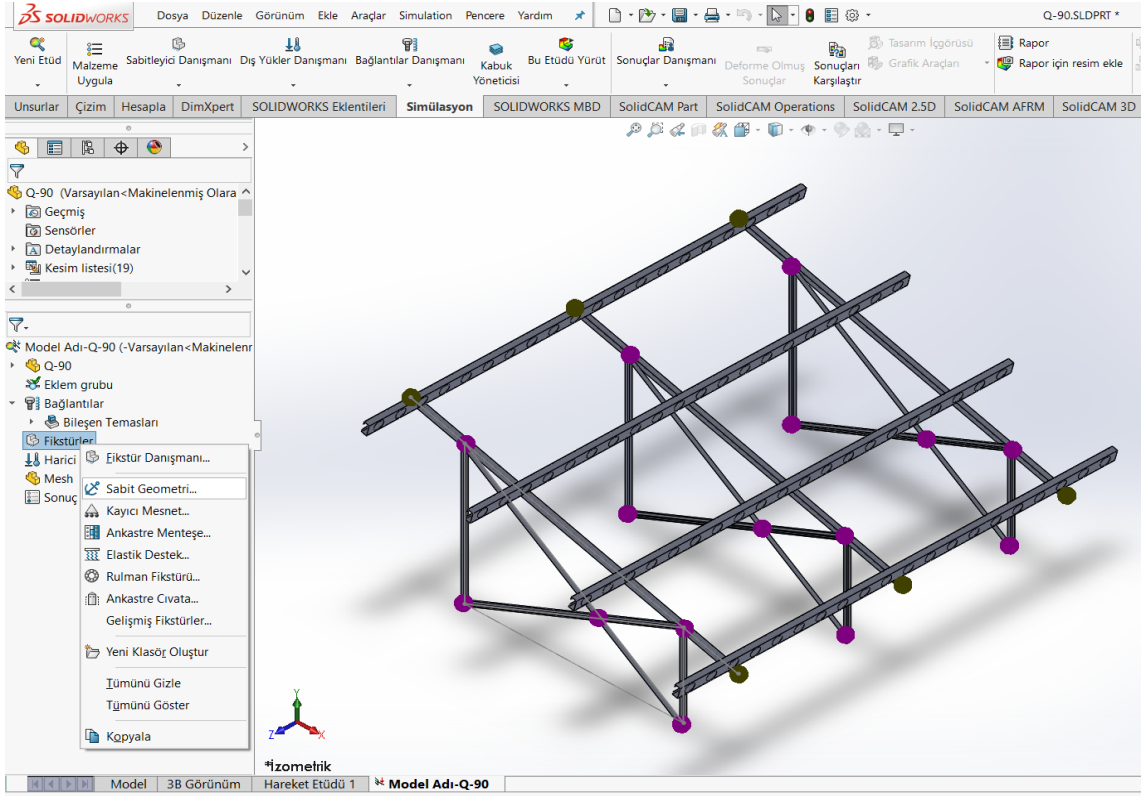


Şekil 2.31. Üst Kısıtlama Uygulanan Model-Q-99 Perspektif Arka Görünüşü

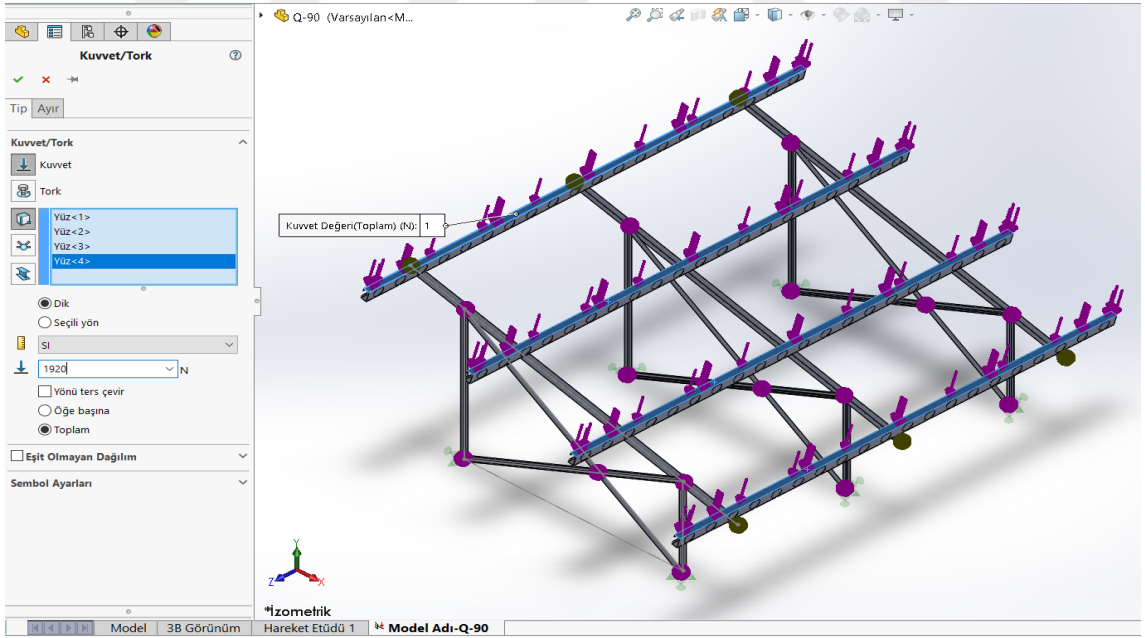
2.3.3. Simulation Etüdü



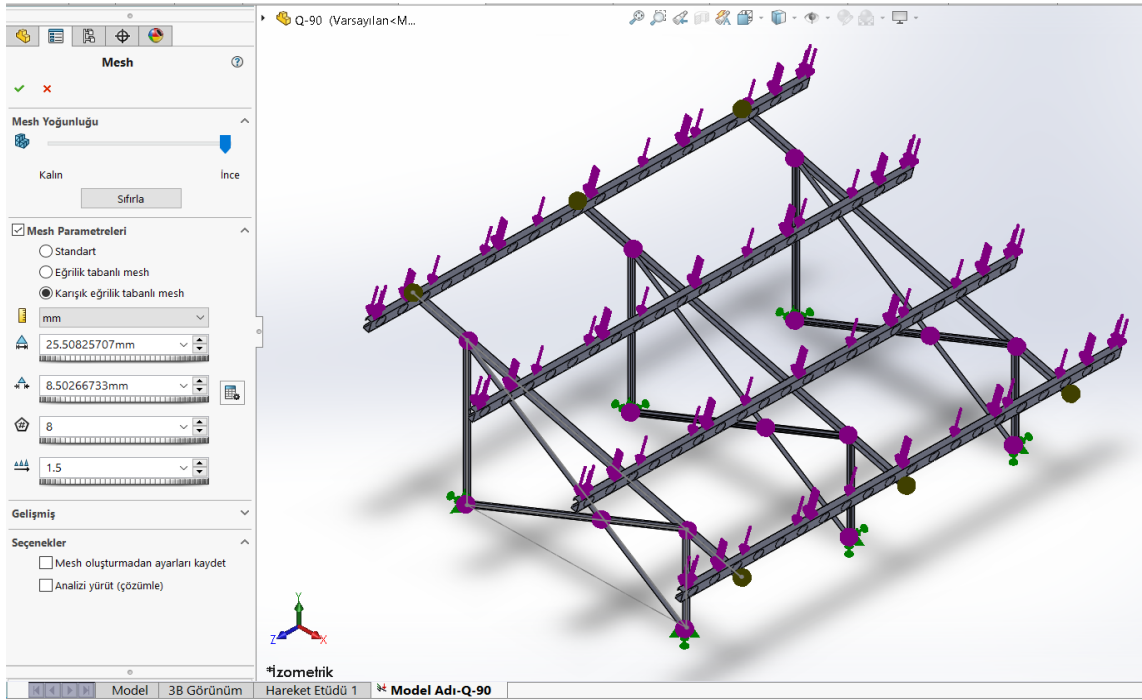
Şekil 2.32. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Etüt Oluşturma



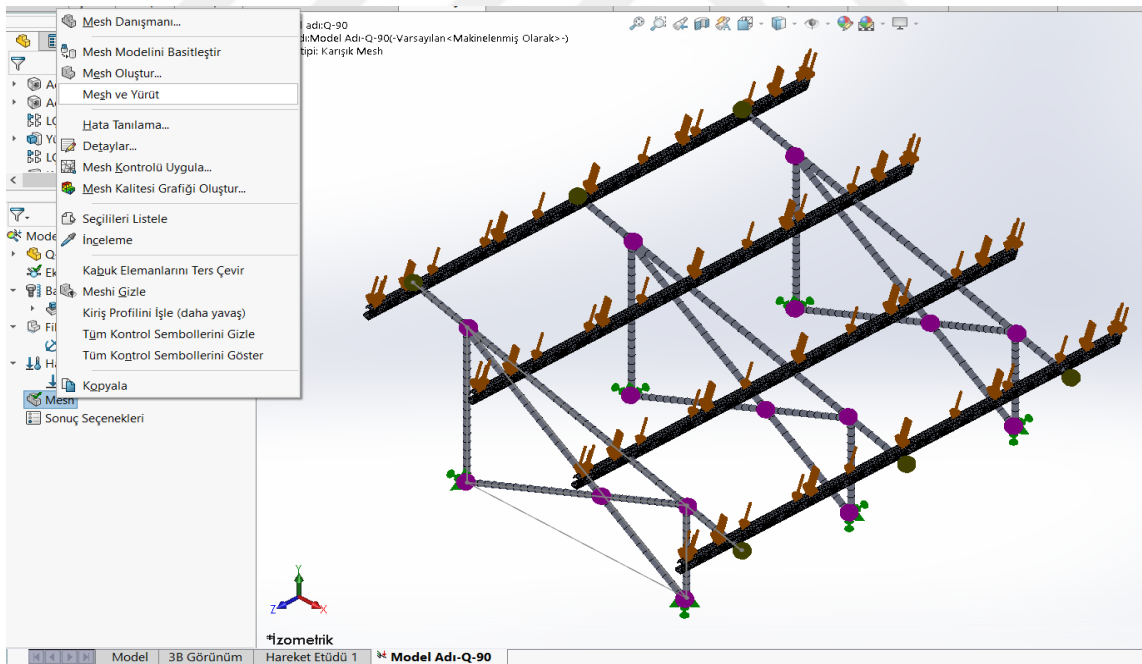
Şekil 2.33. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Sabit Fikstürlerin Seçilmesi



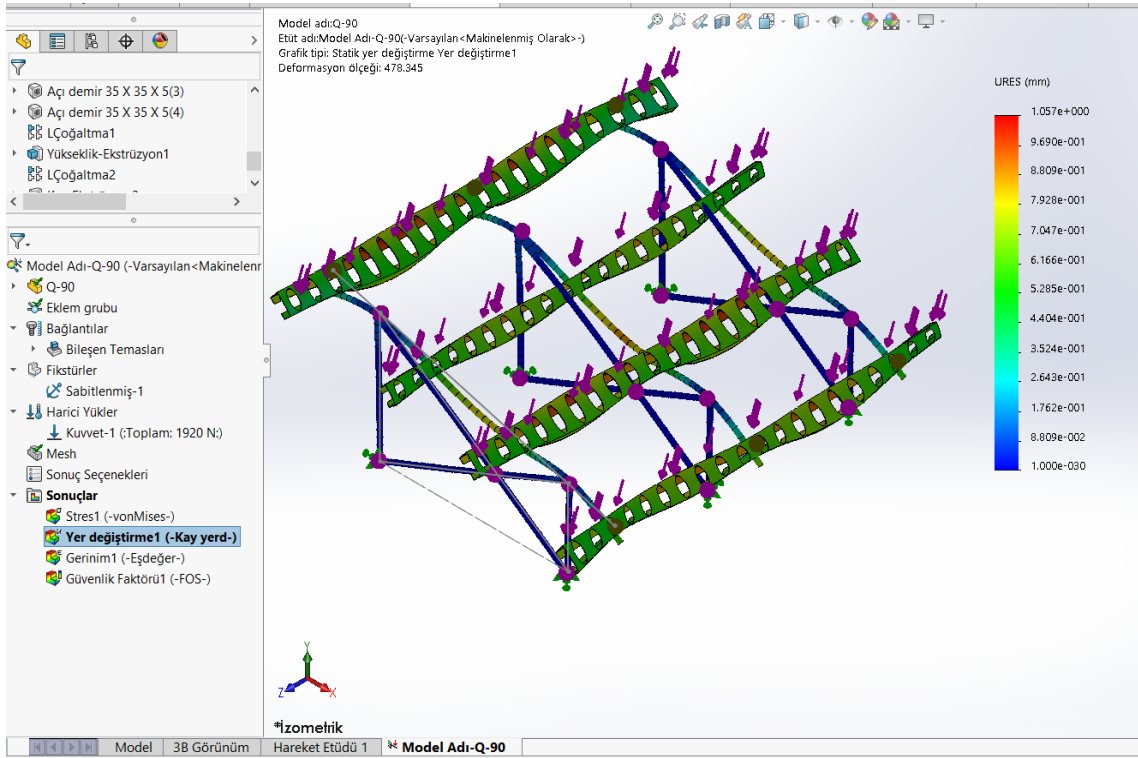
Şekil 2.34. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Kuvvet Uygulanması



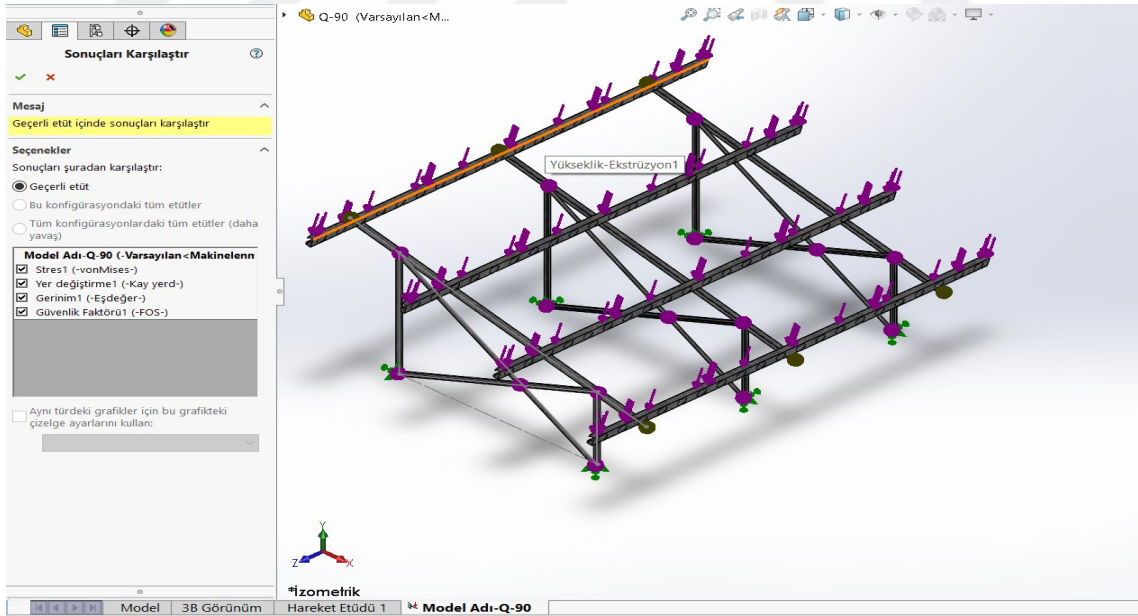
Şekil 2.35. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Karışık Eğrili Mesh Uygulaması



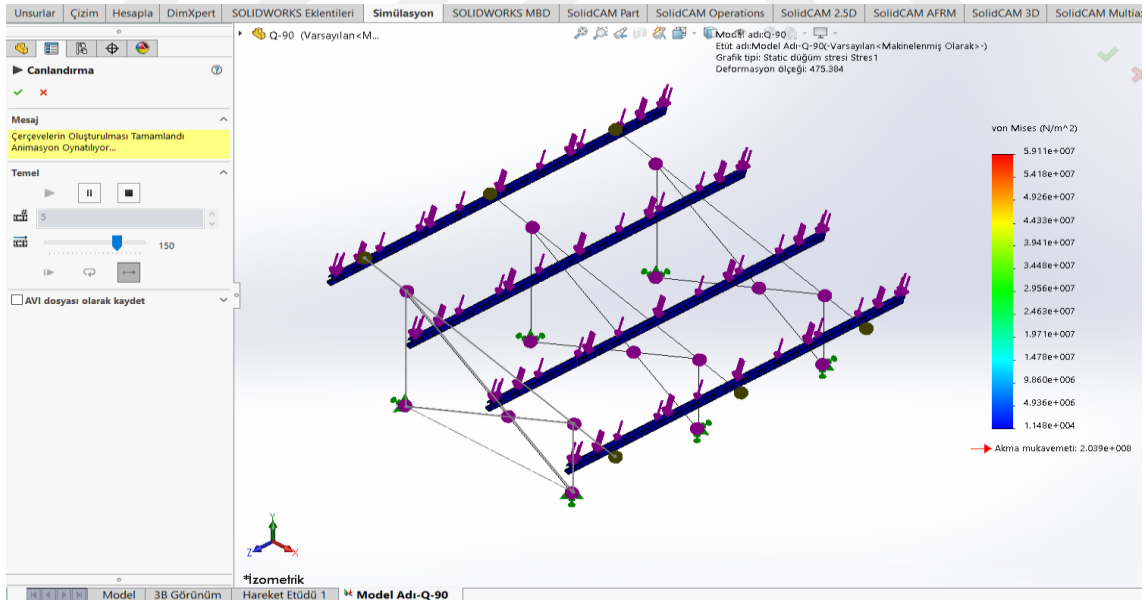
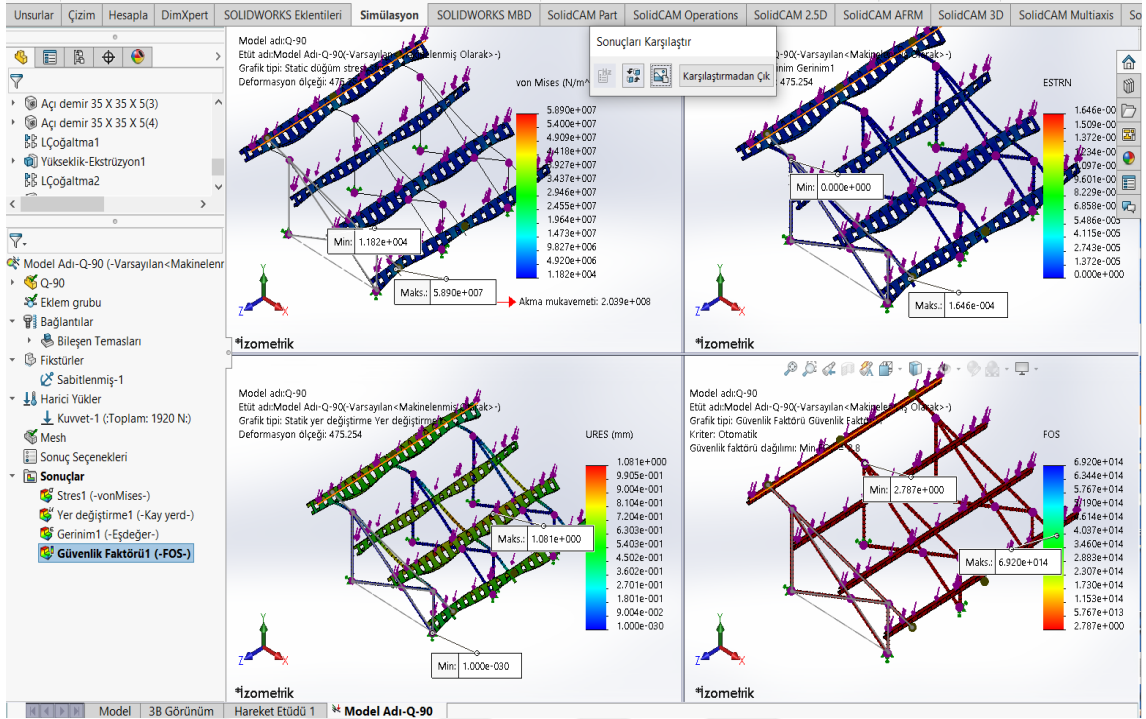
Şekil 2.36. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Mesh oluşturma



Şekil 2.37. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle Sonuçlar



Şekil 2.38. Seçilen Parçanın Simülasyon Süreci İle İstenilen Sonuçların Seçilmesi



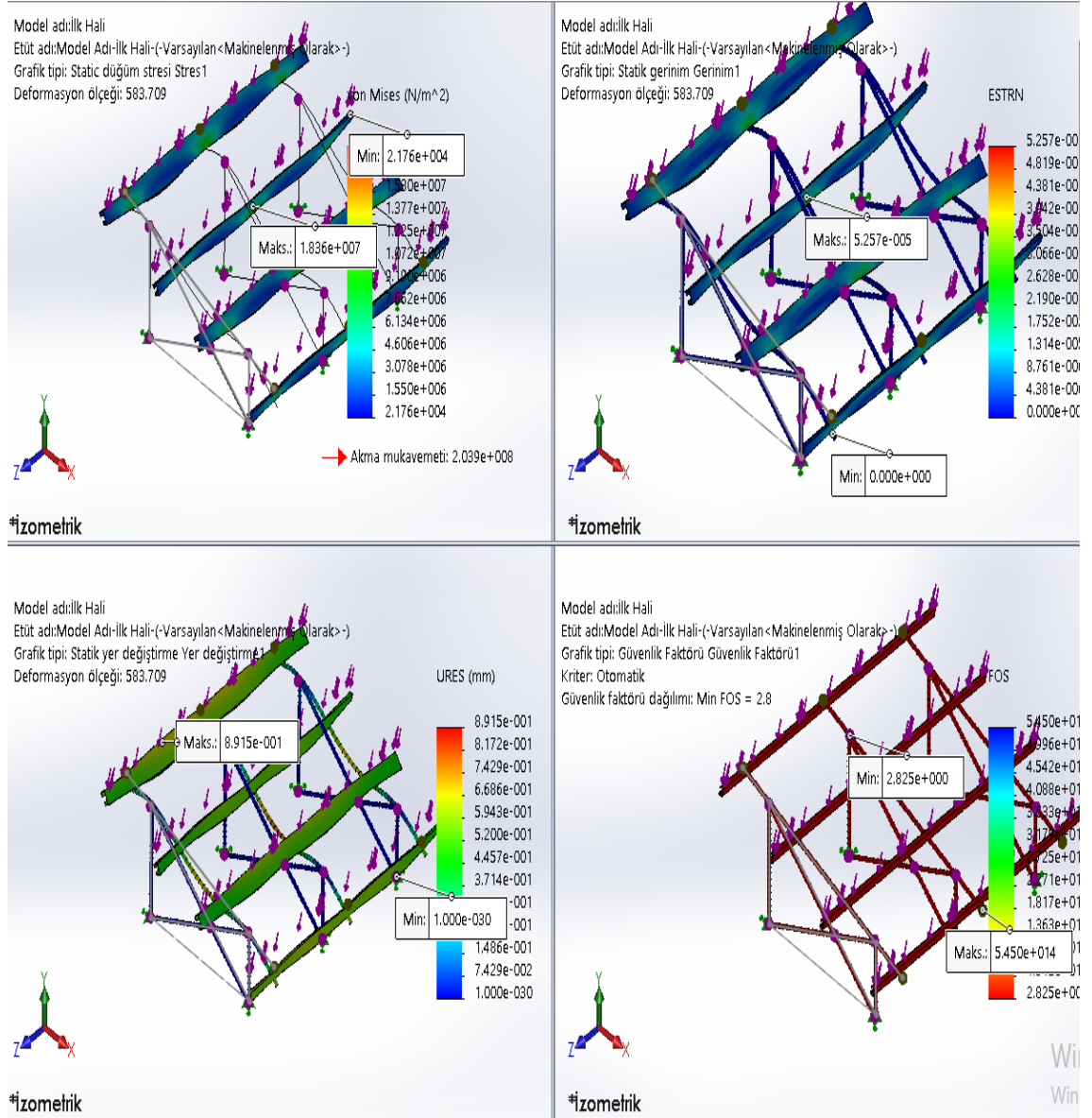
2.4. Yöntemin Uygulanması

2.4.1. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi

Tasarımı oluşturan tüm parçaların bir araya gelmesiyle birlikte oluşan modelin, belli kuvvet ve zorlamalara karşı davranışlarını tasarımcıya üretimden önce fikir oluşturmasına yaran yöntemdir.

İçerik doğrultusunda hazırlanan 52 adet CAD model tasarımları oluşturulmuştur. Tasarlanan CAD modellerine karışık eğrilik tabanlı mesh yapısı uygulanmaktadır. Hazırlanan senaryolar doğrultusunda modellere Solidworks® Simulation programında sonlu elemanlar analizine tabi tutulup her bir modelin; Statik düğüm stresi, Statik gerinimi, Statik yer değişimi, Güvenlik faktörleri şeklinde sonuç grafikleri elde edilmiştir.

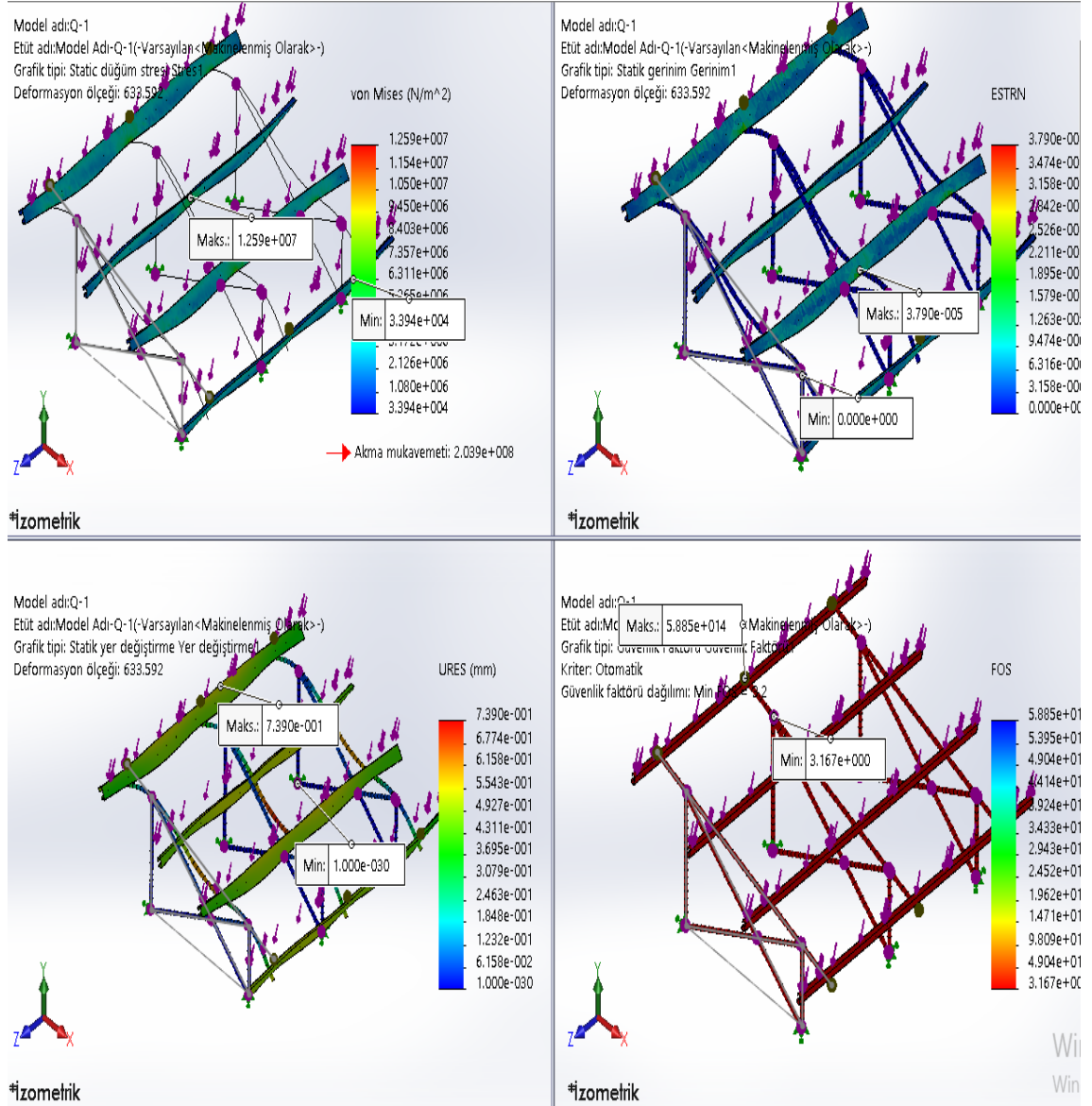
2.4.1.1. Modelin ilk halinin Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.41. Modelin ilk halinin Sonuçları

Modelin İlk halinin statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.41’de gösterilmiştir.

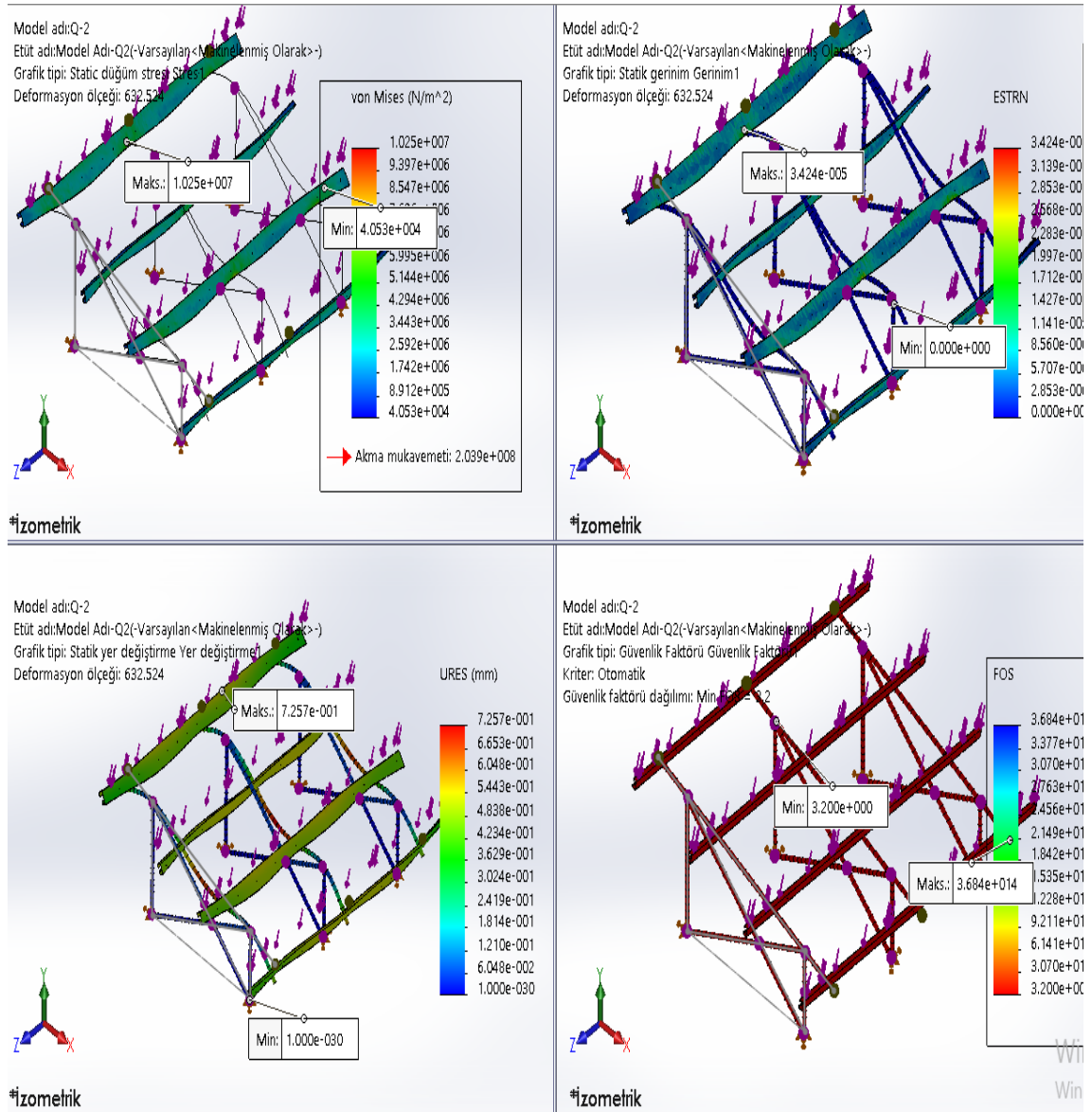
2.4.1.2. Model-Q-1 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.42. Model-Q-1 Sonuçları

Model-Q-1 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.42’de gösterilmiştir.

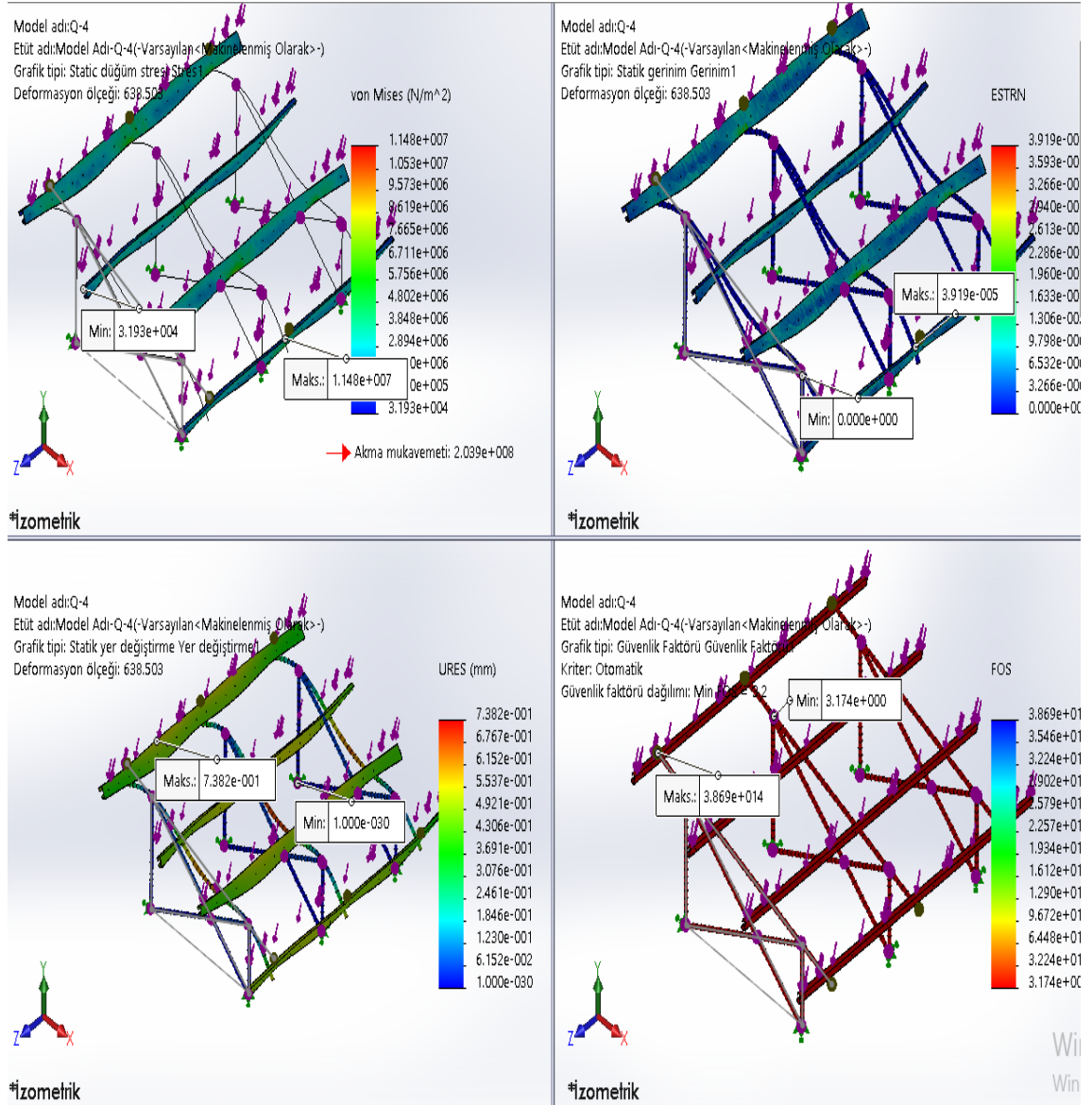
2.4.1.3. Model-Q-2 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.43. Model-Q-2 Sonuçları

Model-Q-2 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.43'te gösterilmiştir.

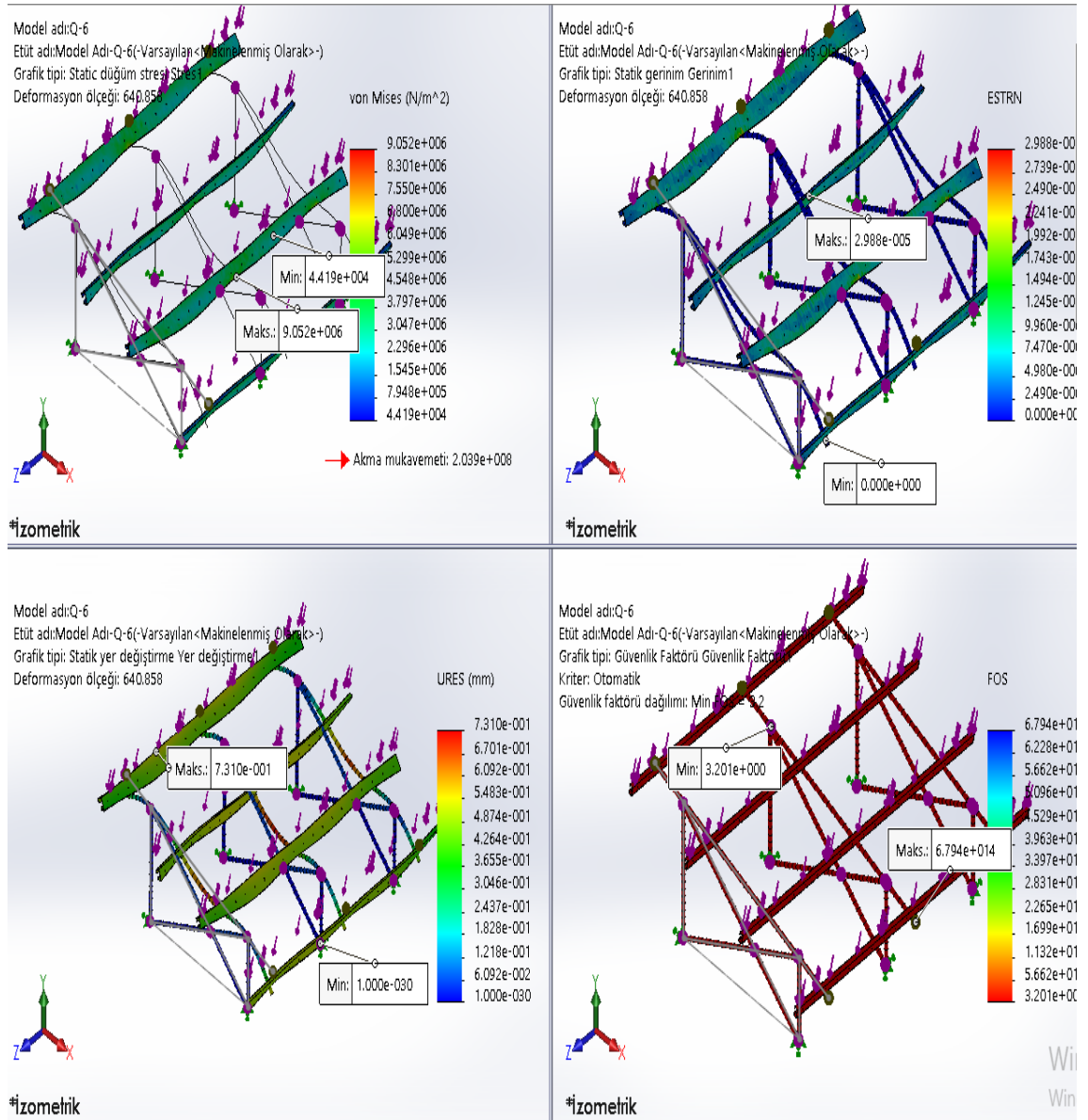
2.4.1.4. Model-Q-4 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.44. Model-Q-4 Sonuçları

Model-Q-4 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değıştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minumum değerleri Şekil 2.44'te gösterilmiştir.

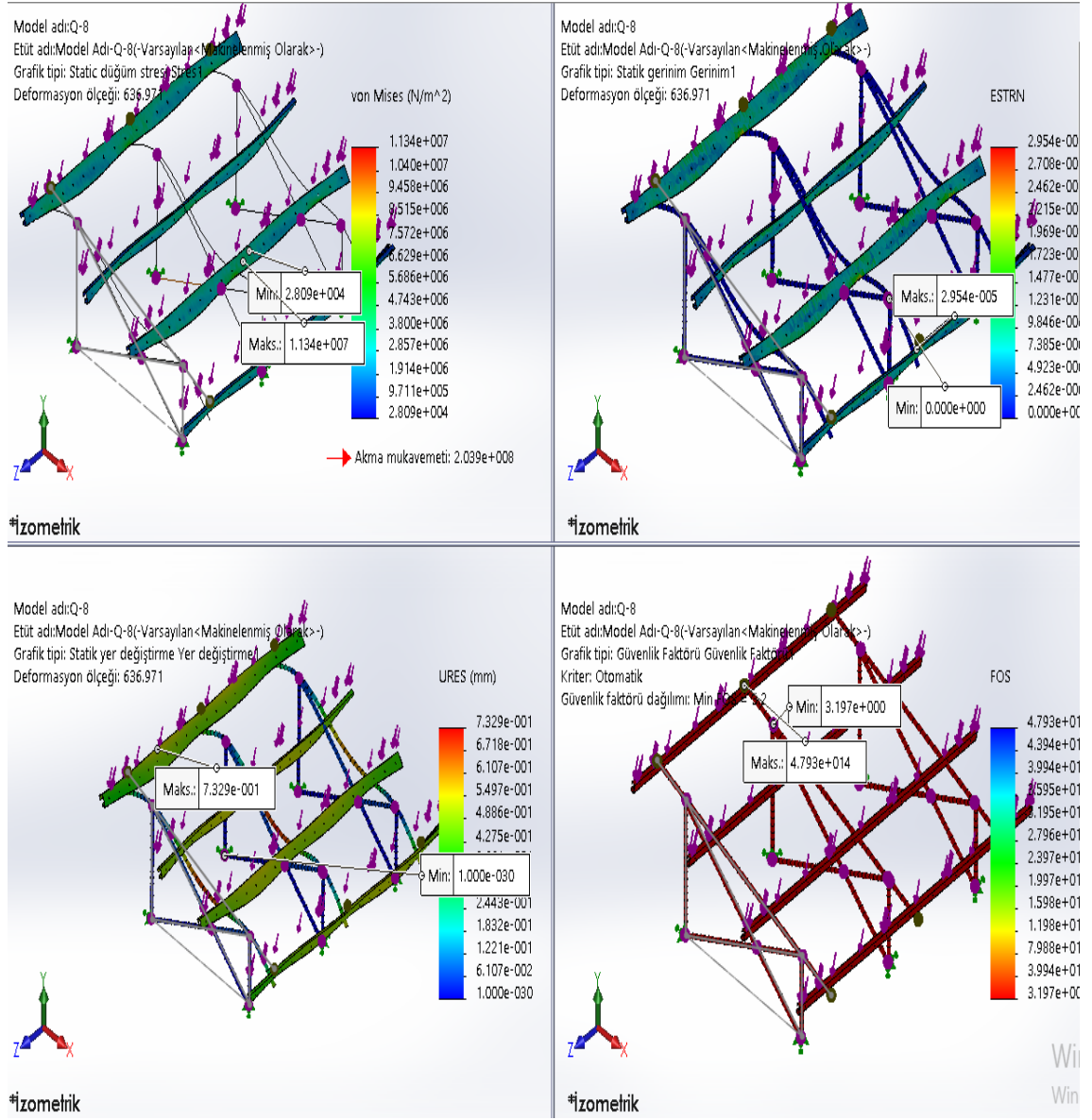
2.4.1.5. Model-Q-6 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.45. Model-Q-6 Sonuçları

Model-Q-6 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minumum değerleri Şekil 2.45'te gösterilmiştir.

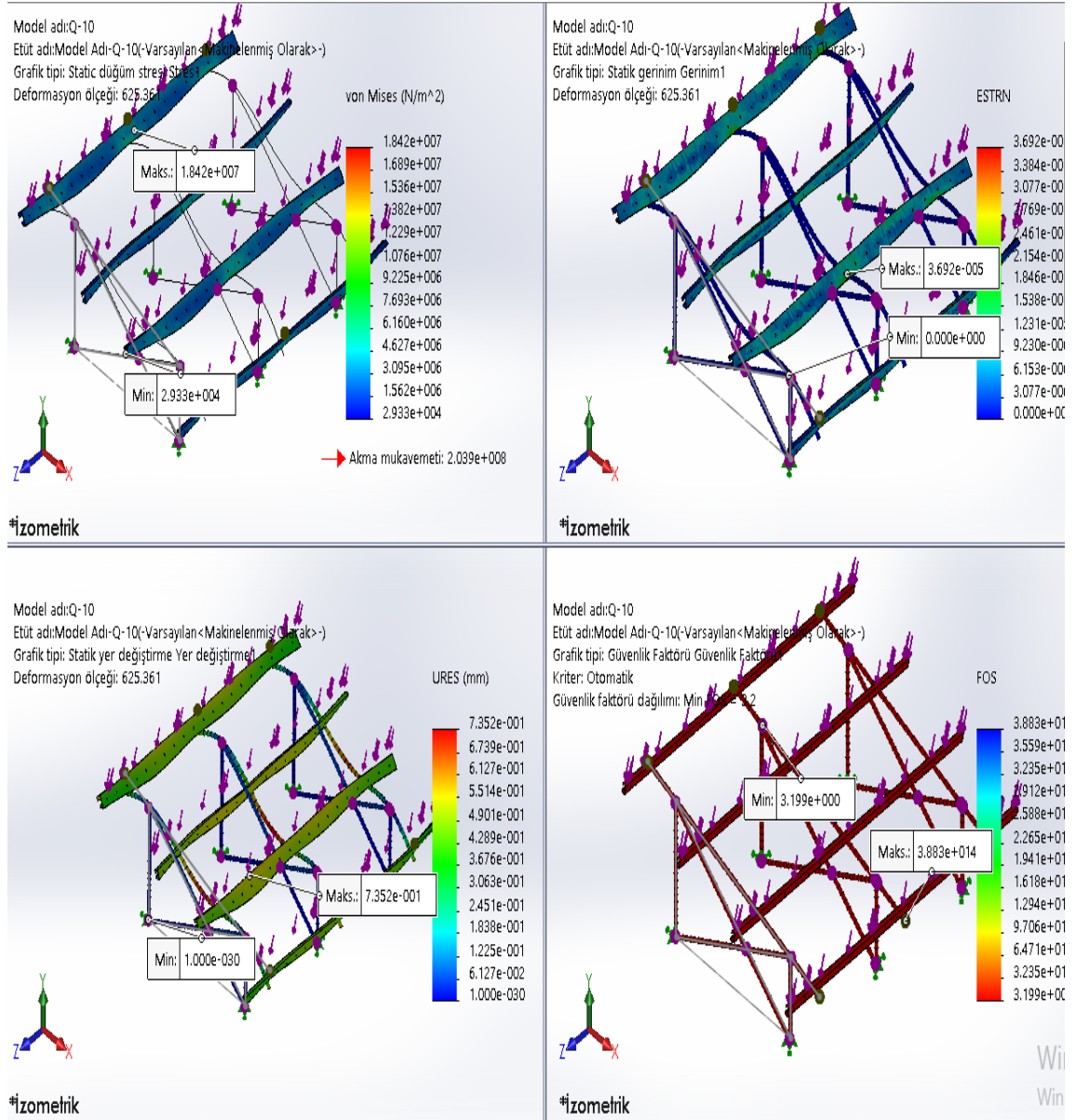
2.4.1.6. Model-Q-8 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.46. Model-Q-8 Sonuçları

Model-Q-8 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minumum değerleri Şekil 2.46’da gösterilmiştir.

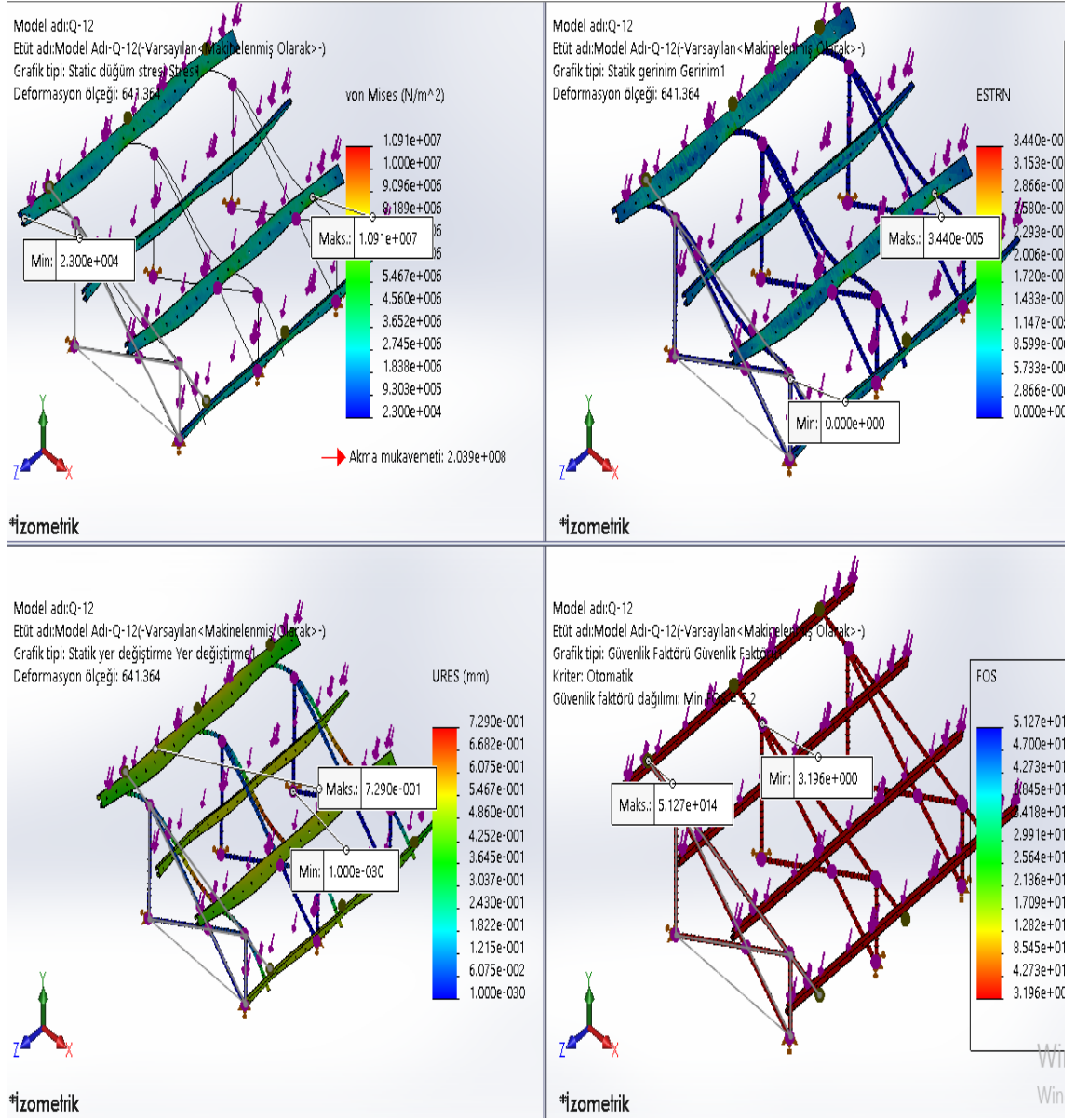
2.4.1.7. Model-Q-10 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.47. Model-Q-10 Sonuçları

Model-Q-10 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.47’de gösterilmiştir.

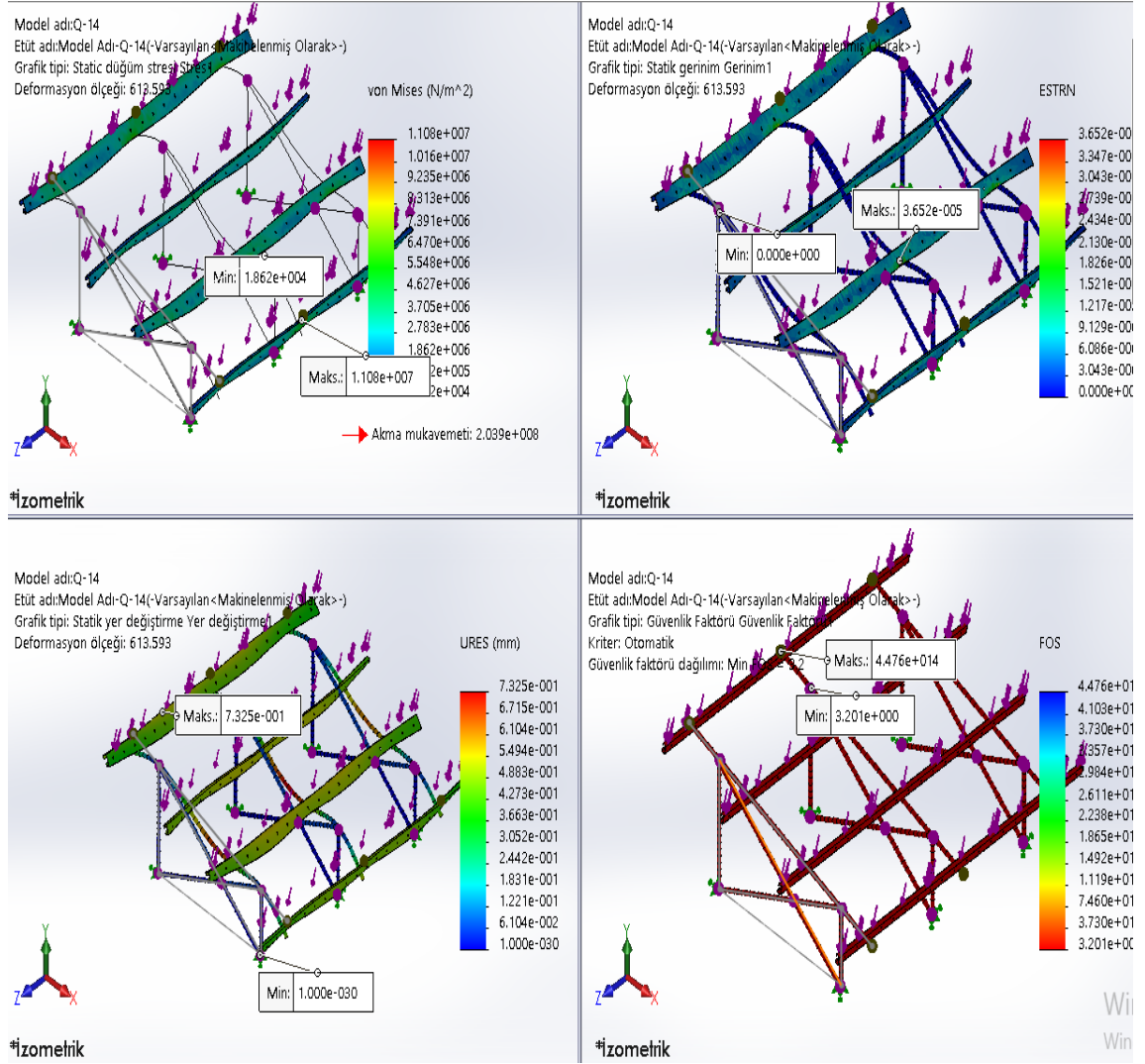
2.4.1.8. Model-Q-12 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.48. Model-Q-12 Sonuçları

Model-Q-12 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.48’de gösterilmiştir.

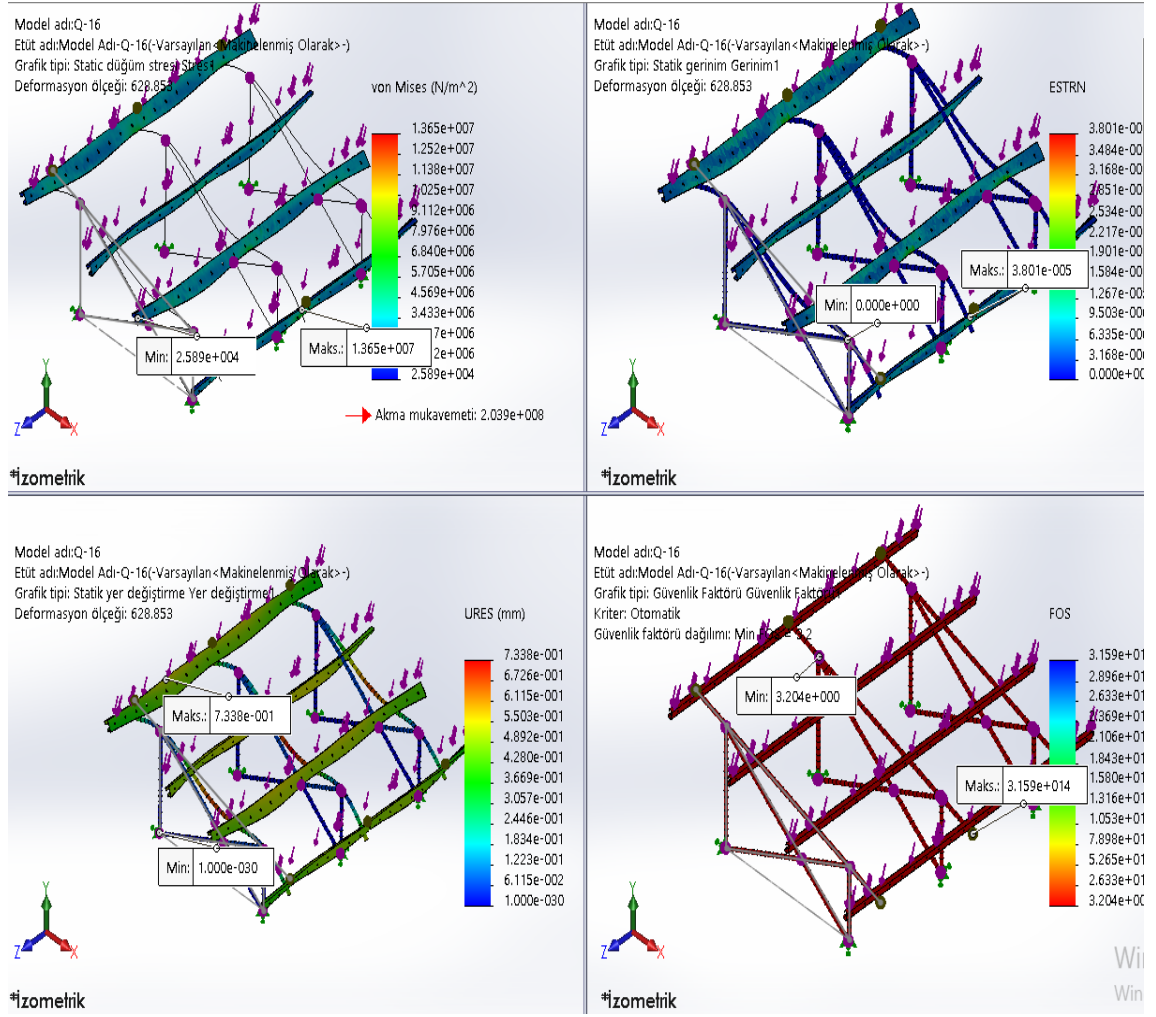
2.4.1.9. Model-Q-14 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.49. Model-Q-14 Sonuçları

Model-Q-14 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.49’da gösterilmiştir.

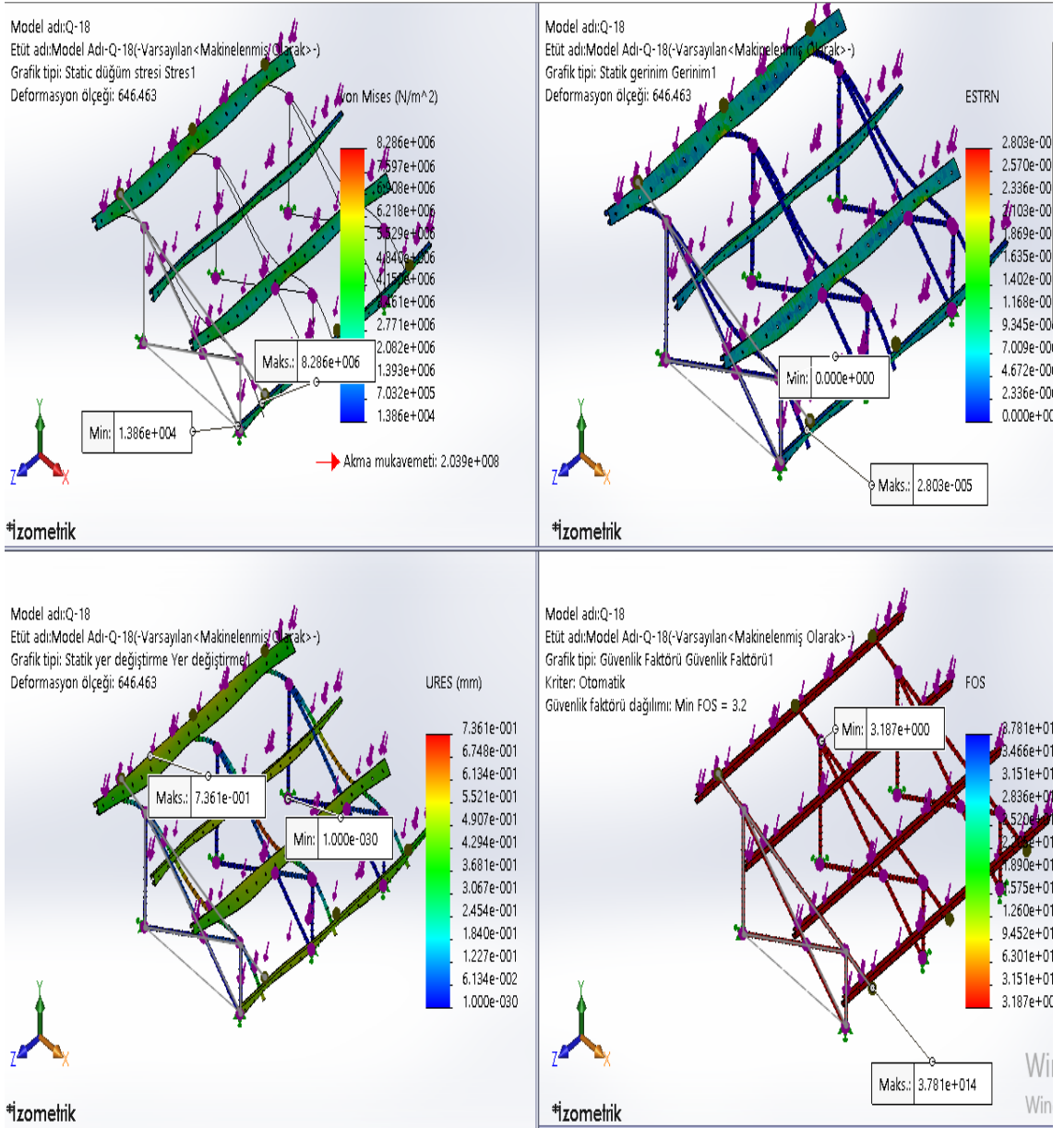
2.4.1.10. Model-Q-16 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.50. Model-Q-16 Sonuçları

Model-Q-16 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.50’da gösterilmiştir.

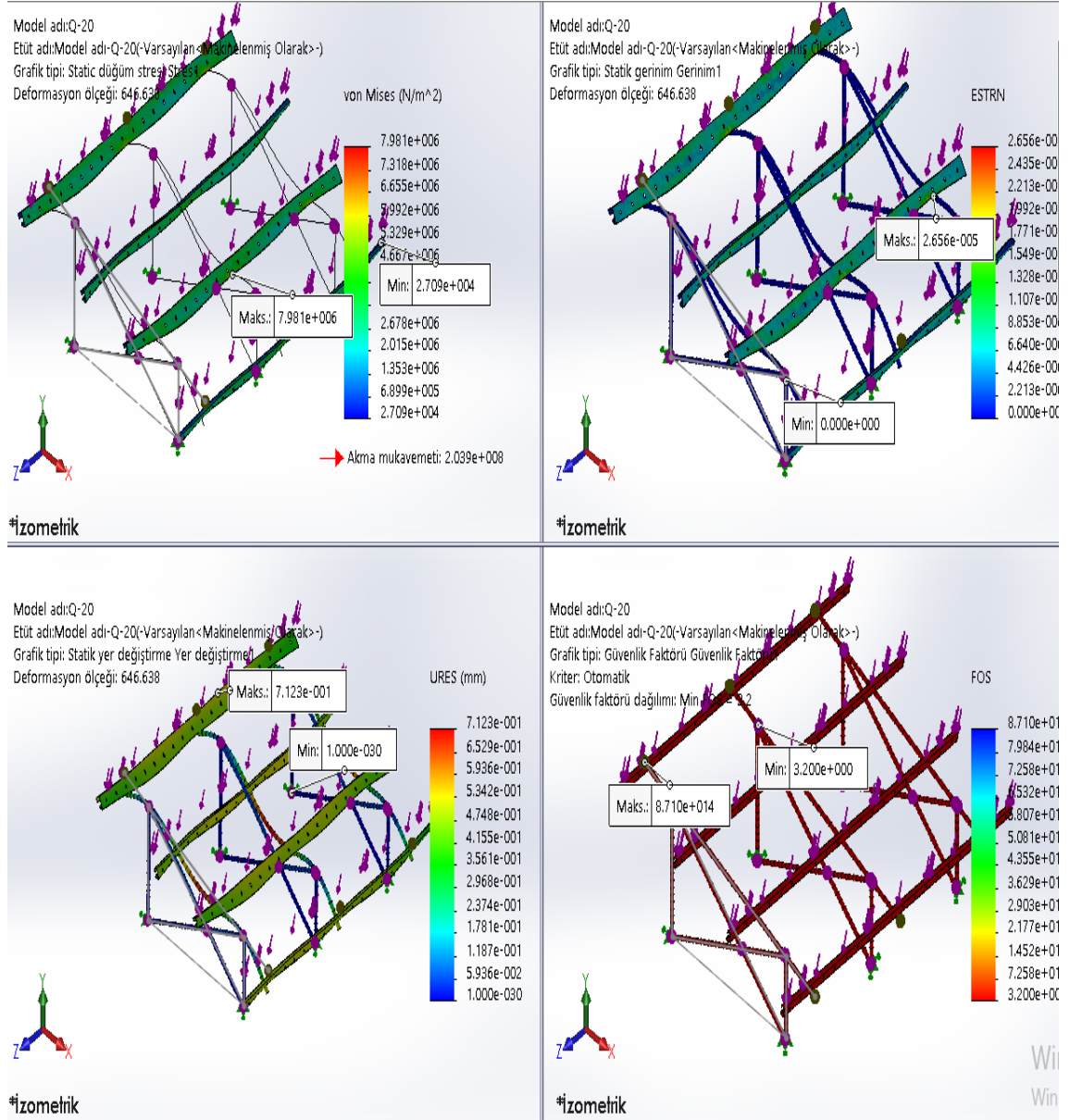
2.4.1.11. Model-Q-18 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.51. Model-Q-18 Sonuçları

Model-Q-18 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minumum değerleri Şekil 2.51’de gösterilmiştir.

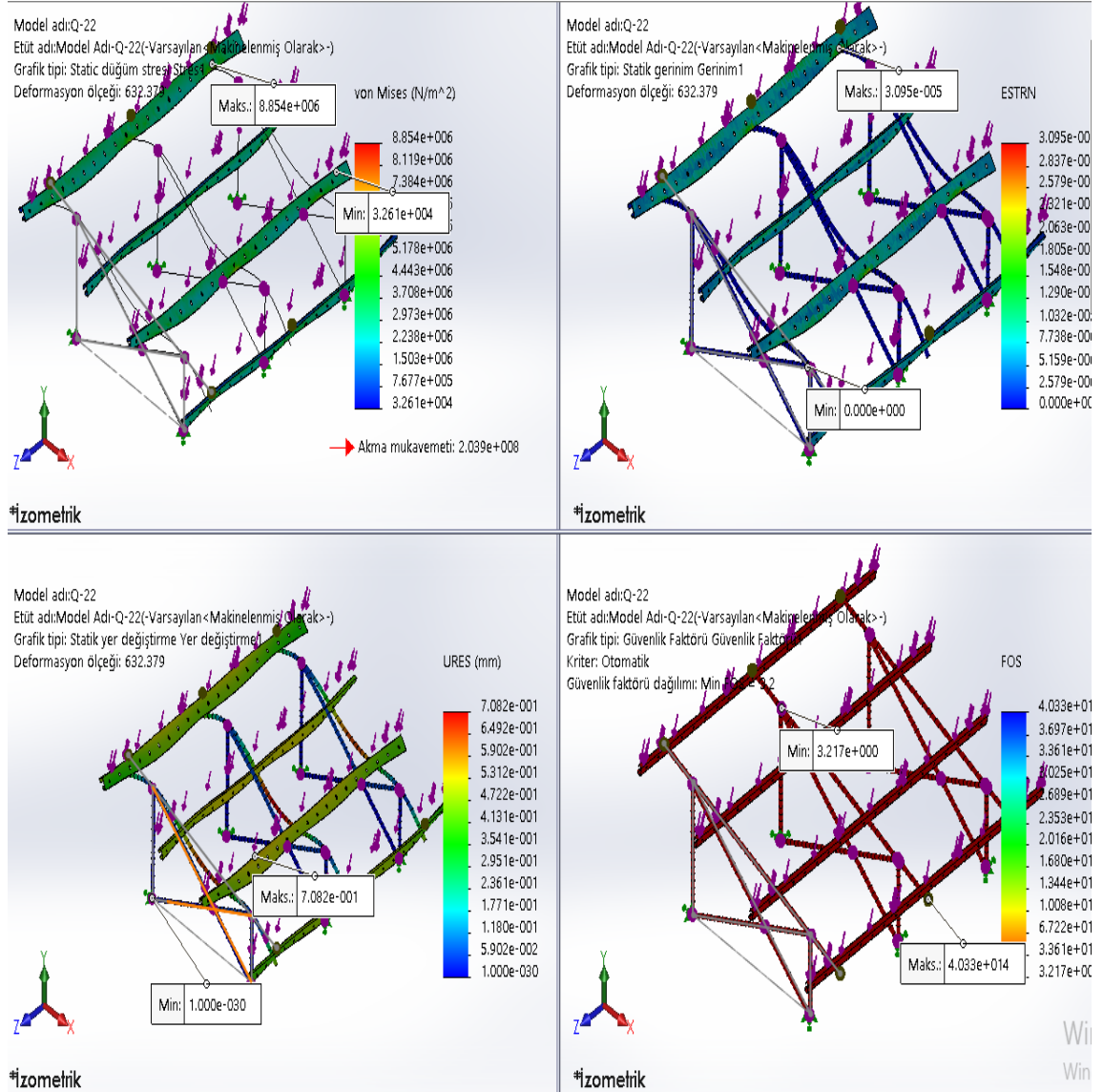
2.4.1.12. Model-Q-20 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.52. Model-Q-20 Sonuçları

Model-Q-20 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minum değerleri Şekil 2.52'de gösterilmiştir.

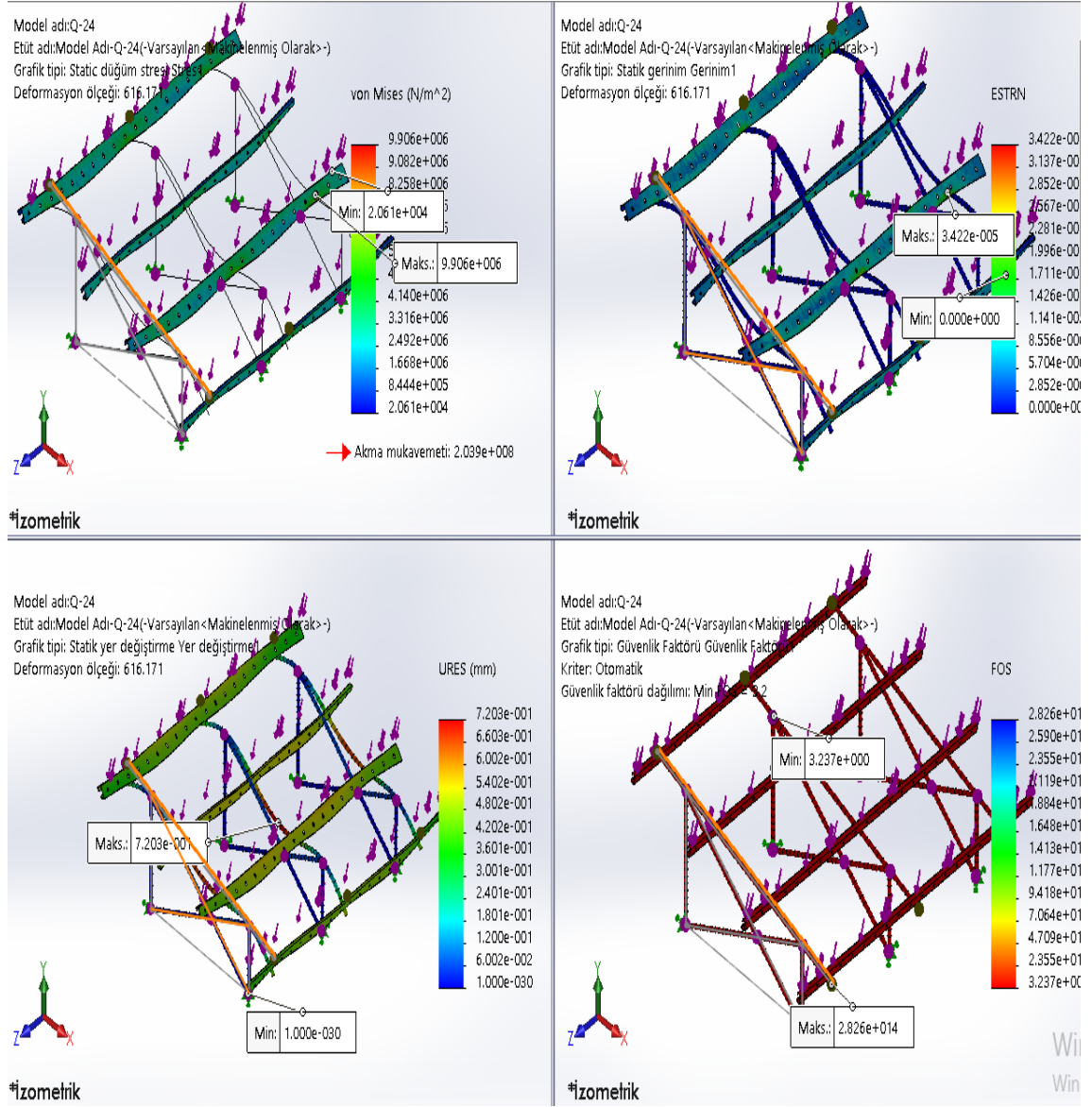
2.4.1.13. Model-Q-22 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.53. Model-Q-22 Sonuçları

Model-Q-22 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.53'te gösterilmiştir.

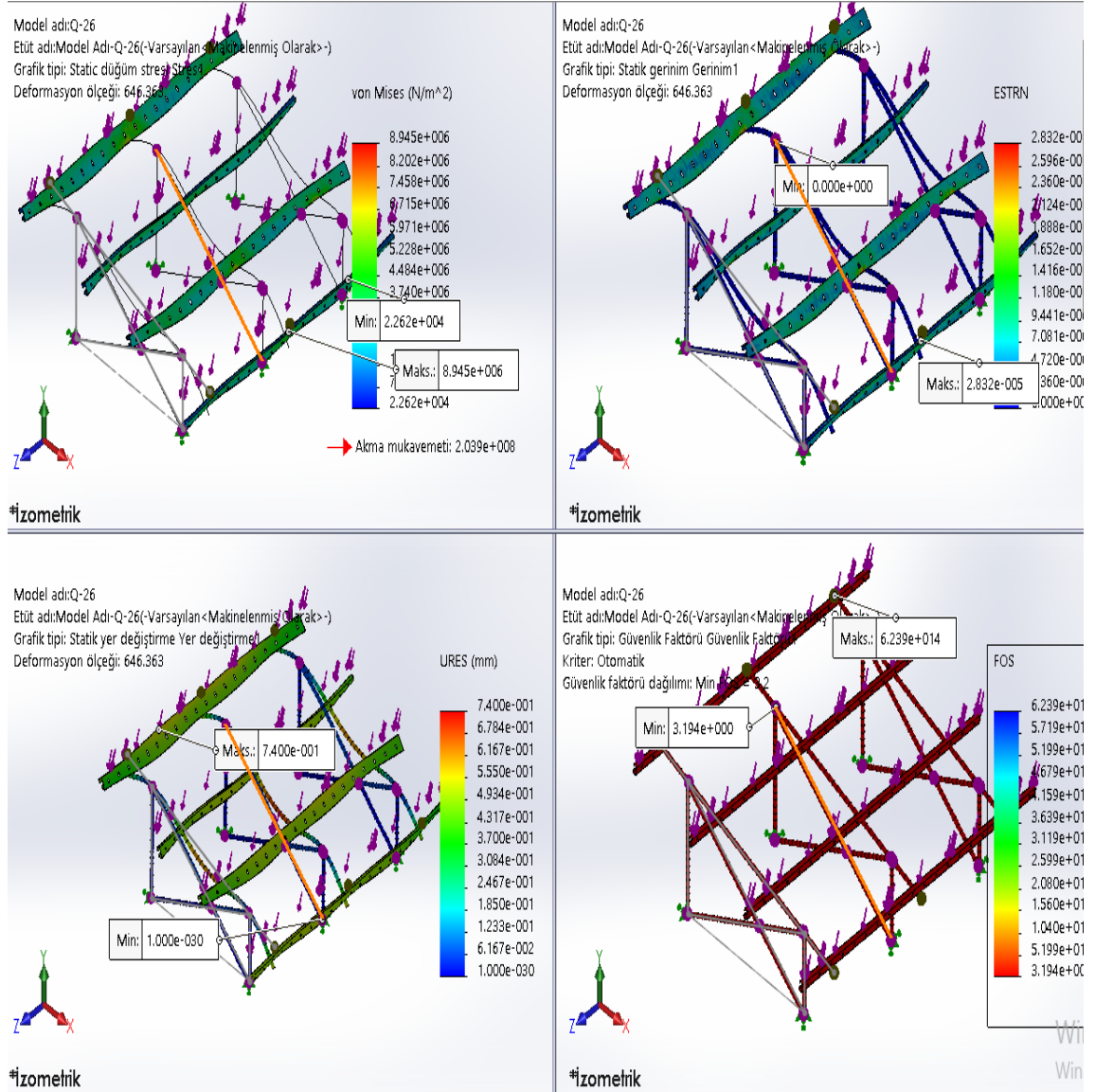
2.4.1.14. Model-Q-24 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.54. Model-Q-24 Sonuçları

Model-Q-24 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.54'te gösterilmiştir.

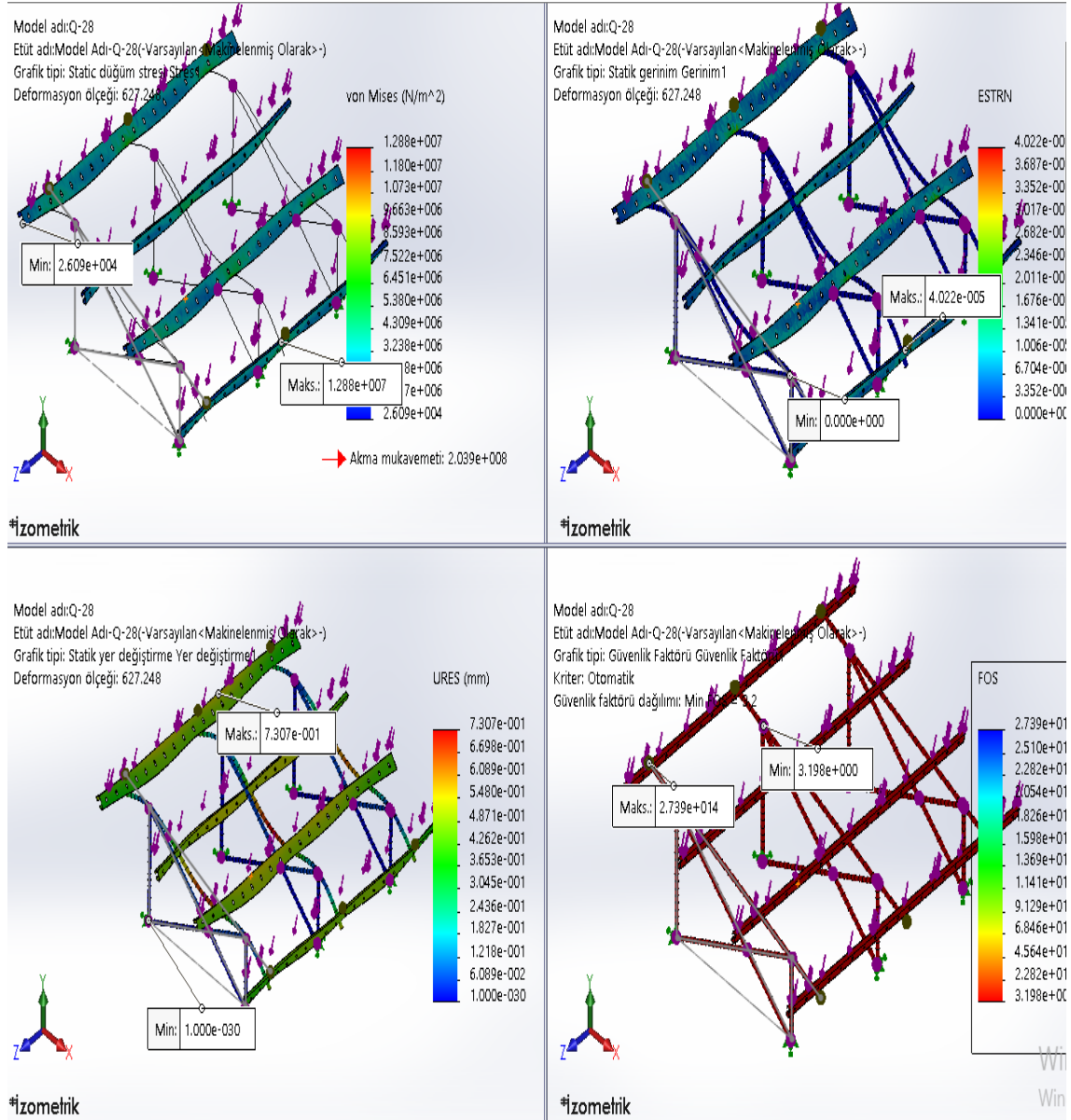
2.4.1.15. Model-Q-26 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.55. Model-Q-26 Sonuçları

Model-Q-26 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.55'te gösterilmiştir.

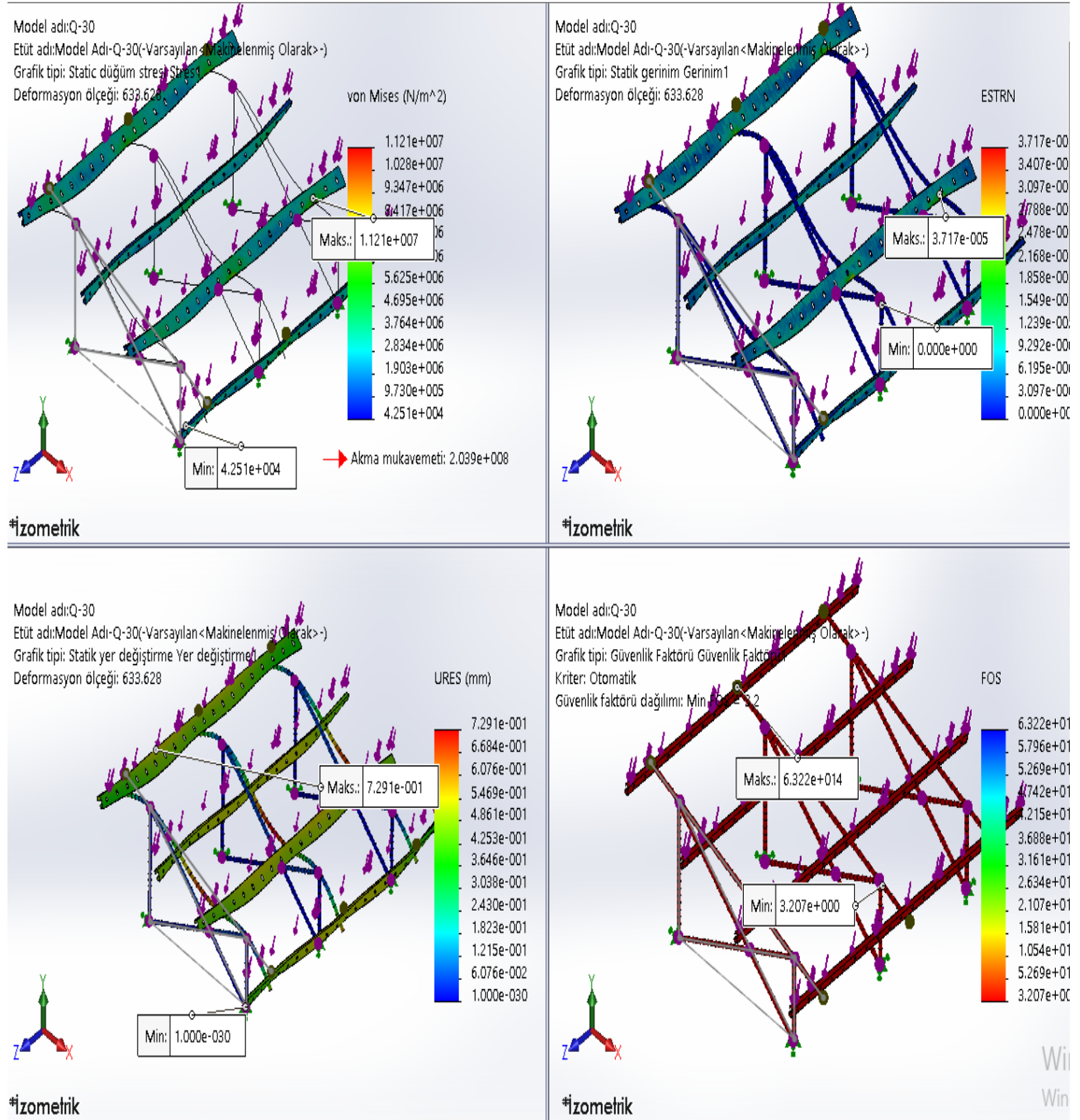
2.4.1.16. Model-Q-28 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.56. Model-Q-28 Sonuçları

Model-Q-28 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.56'da gösterilmiştir.

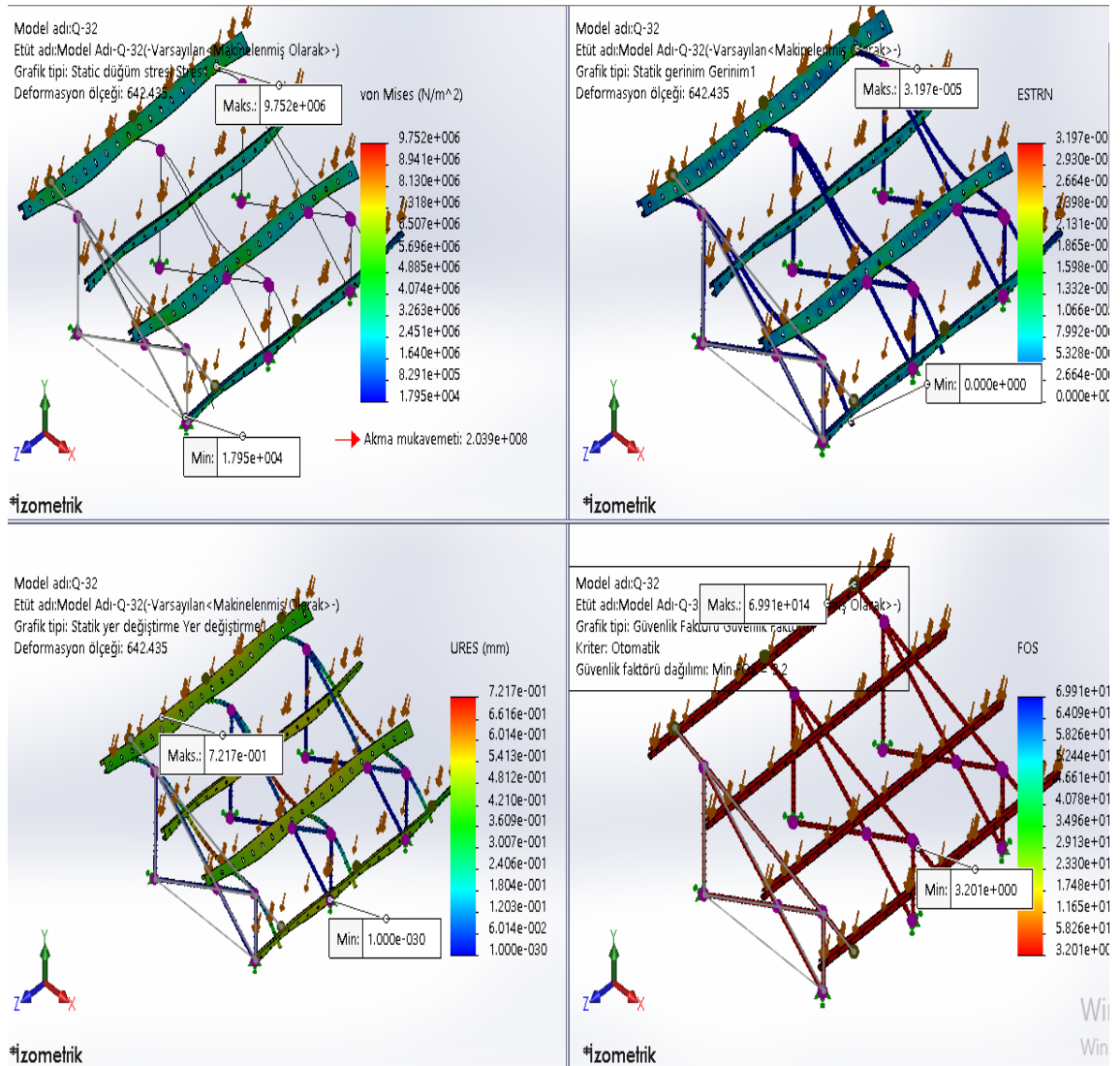
2.4.1.17. Model-Q-30 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.57. Model-Q-30 Sonuçları

Model-Q-30 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.57’de gösterilmiştir.

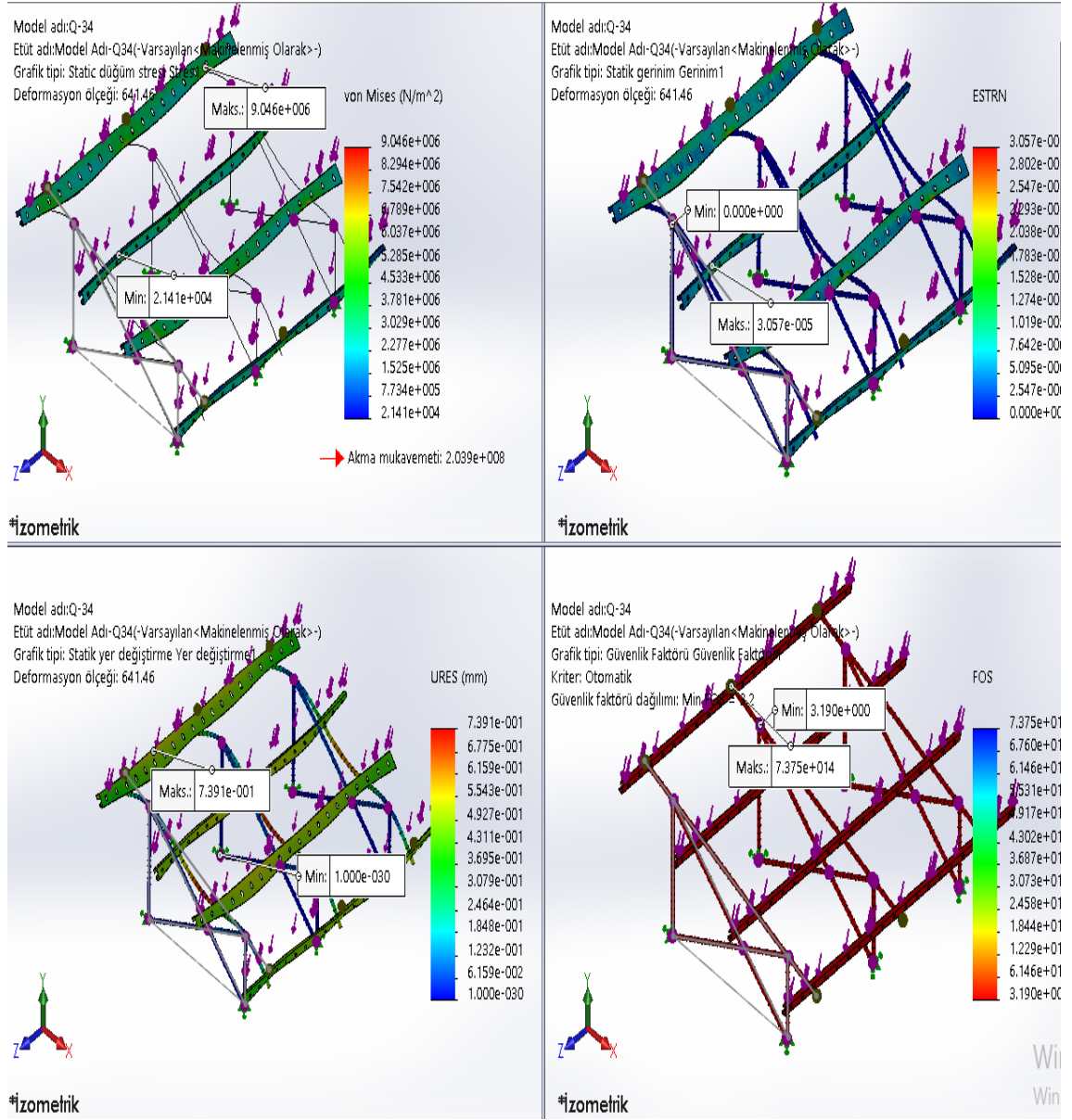
2.4.1.18. Model-Q-32 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.58. Model-Q-32 Sonuçları

Model-Q-32 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.58’de gösterilmiştir.

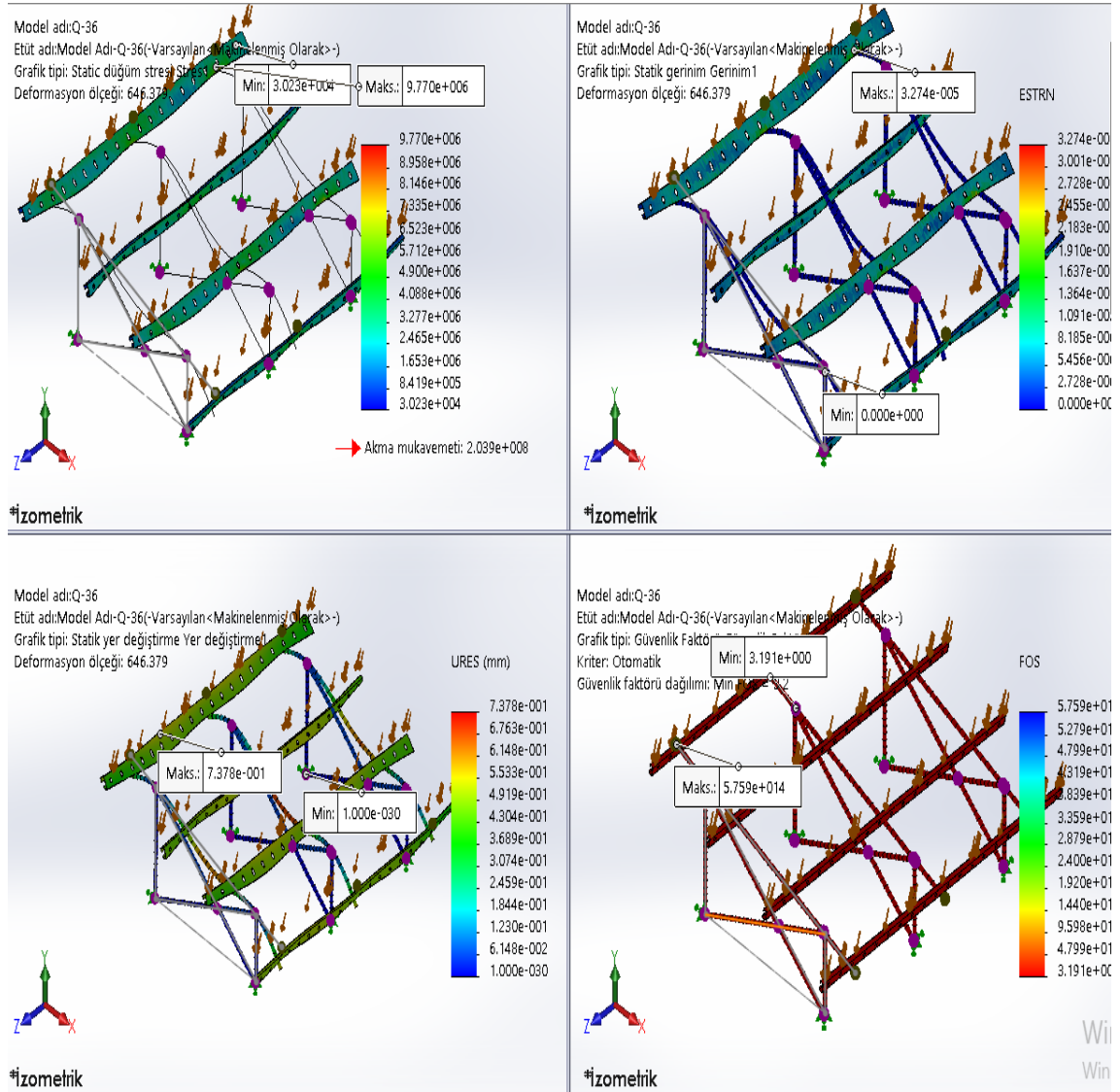
2.4.1.19. Model-Q-34 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.59. Model-Q-34 Sonuçları

Model-Q-34 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktör ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.59’da gösterilmiştir.

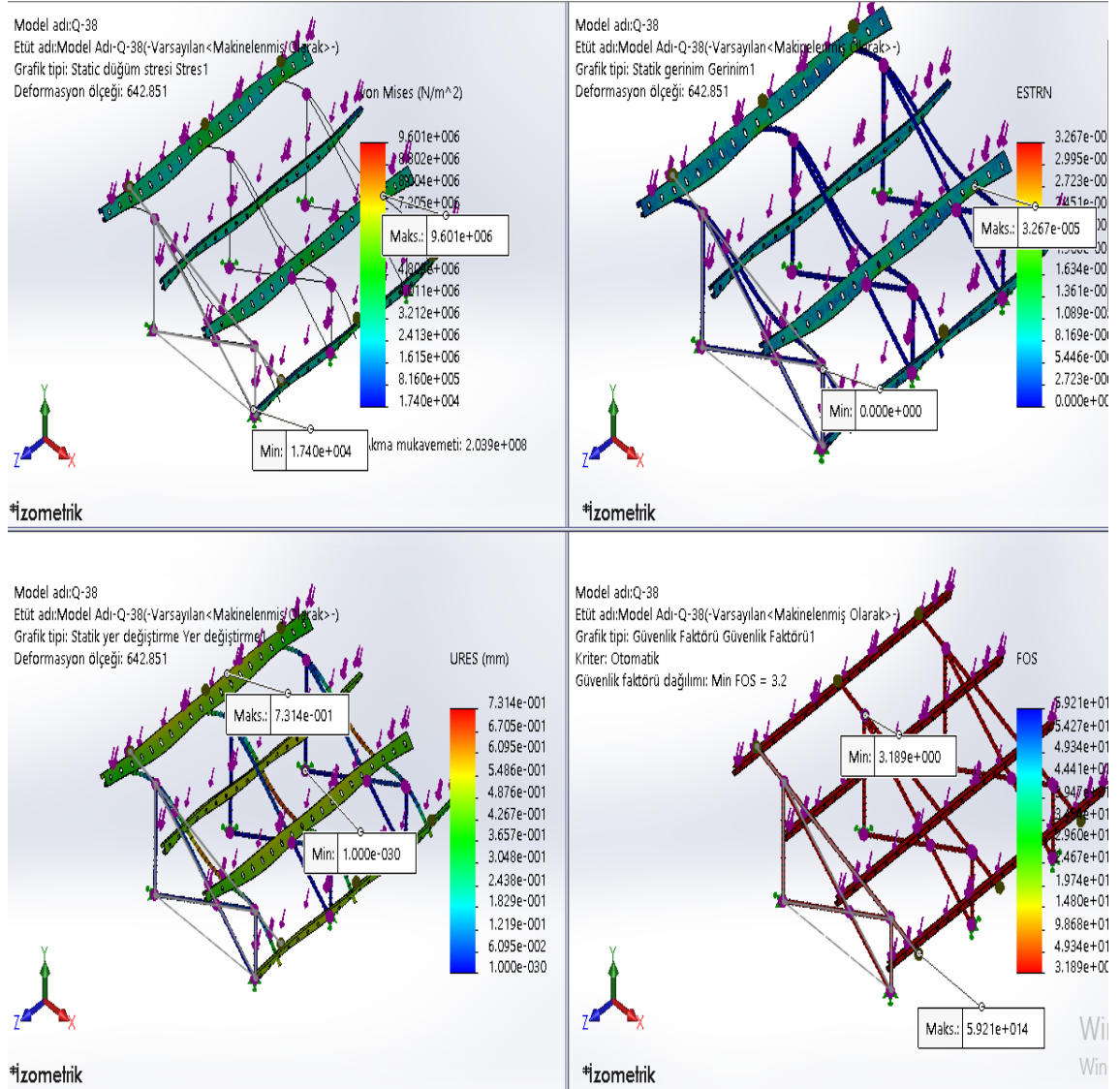
2.4.1.20. Model-Q-36 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.60. Model-Q-36 Sonuçları

Model-Q-36 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.60’de gösterilmiştir.

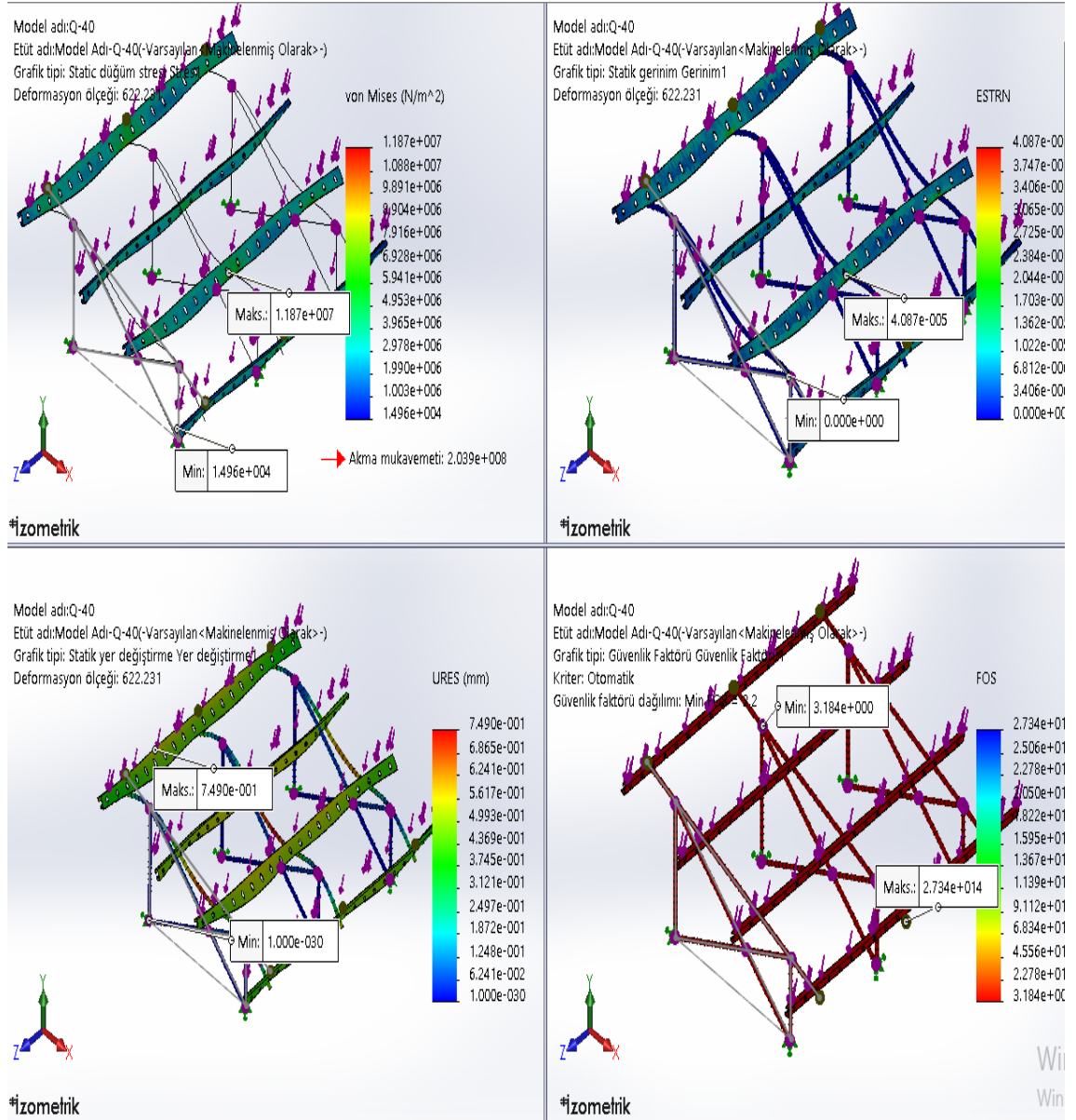
2.4.1.21. Model-Q-38 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.61. Model-Q-38 Sonuçları

Model-Q-38 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.61’de gösterilmiştir.

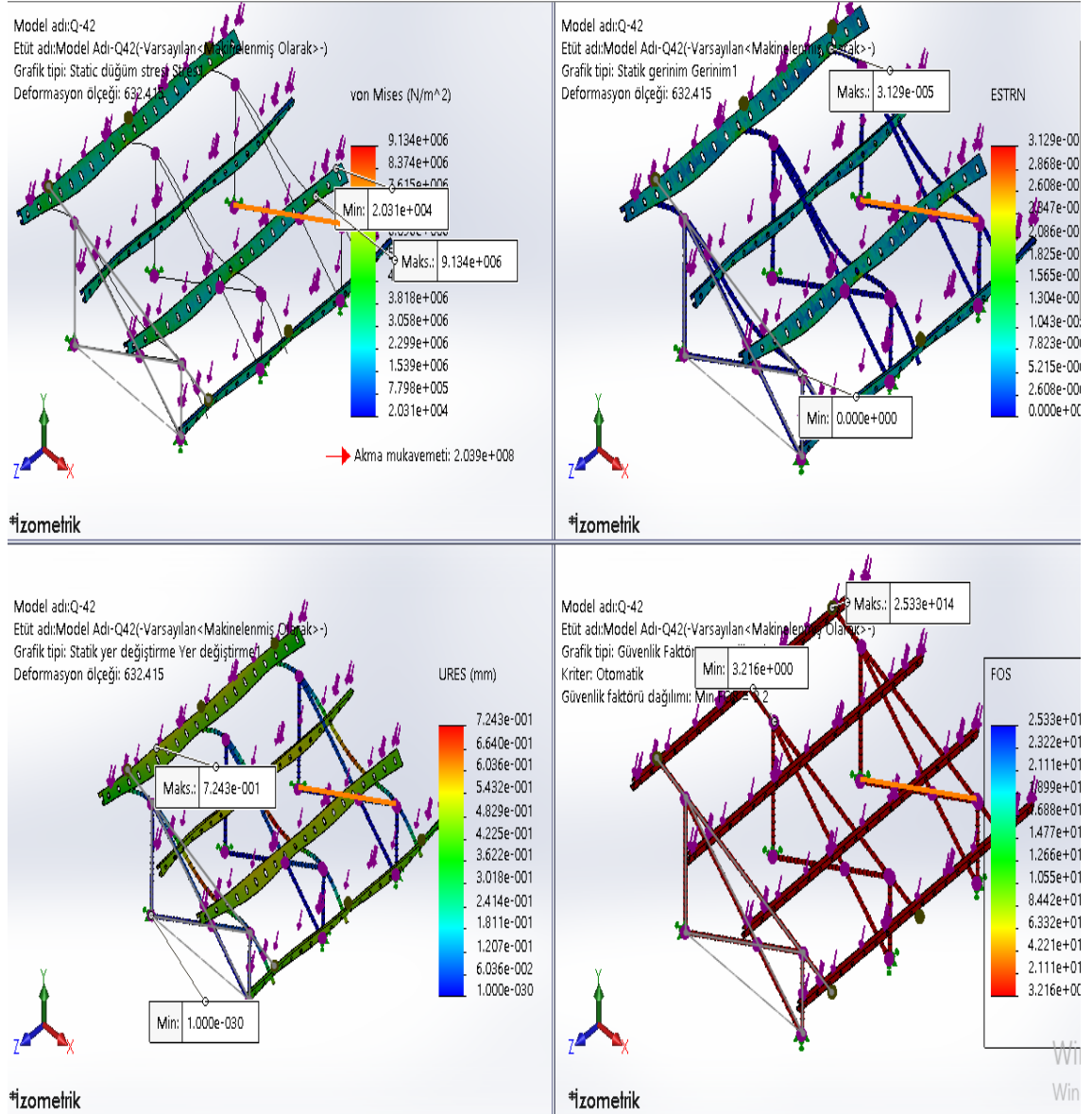
2.4.1.22. Model-Q-40 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.62. Model-Q-40 Sonuçları

Model-Q-40 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.62’de gösterilmiştir.

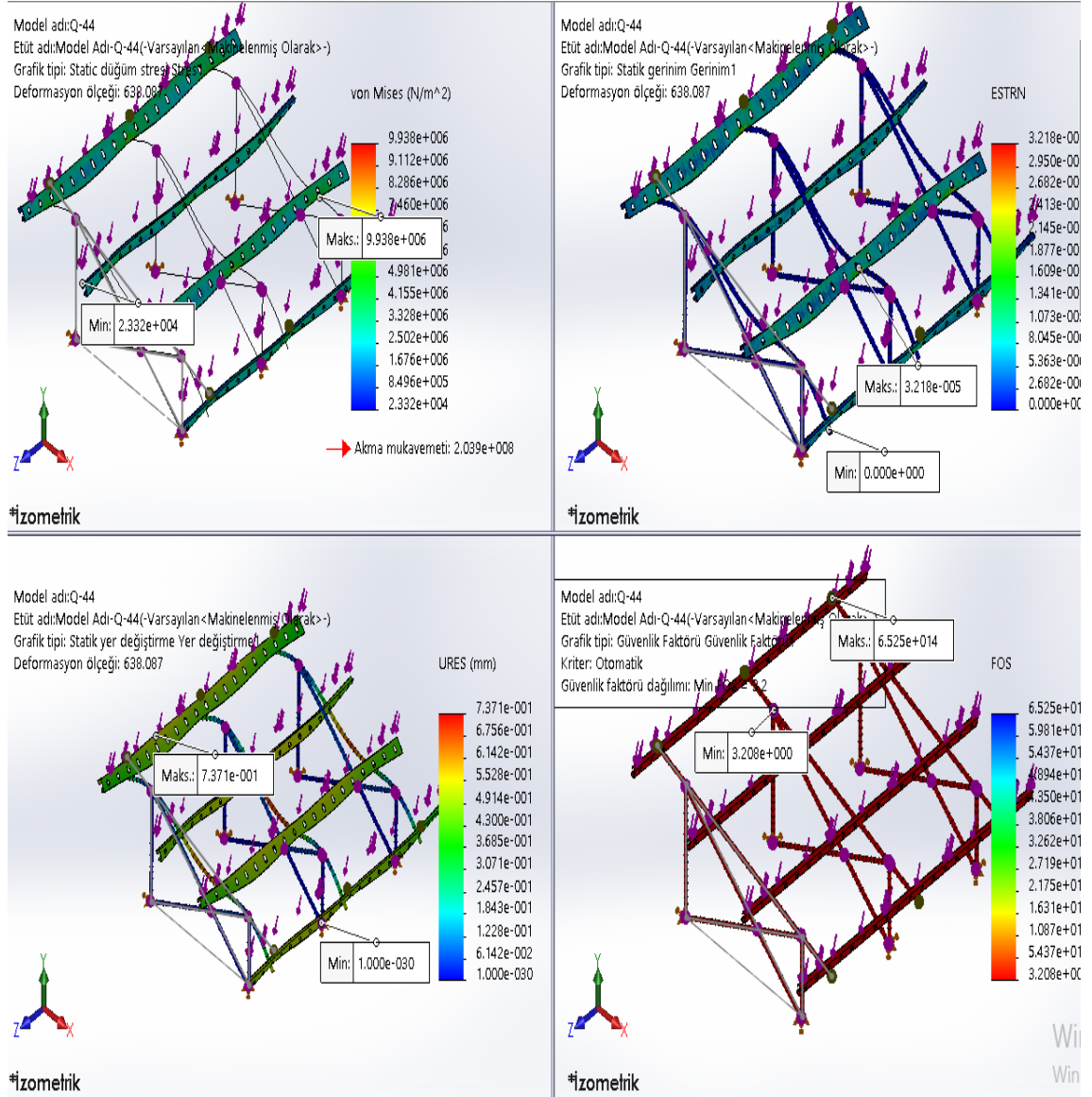
2.4.1.23. Model-Q-42 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.63. Model-Q-42 Sonuçları

Model-Q-42 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.63'te gösterilmiştir.

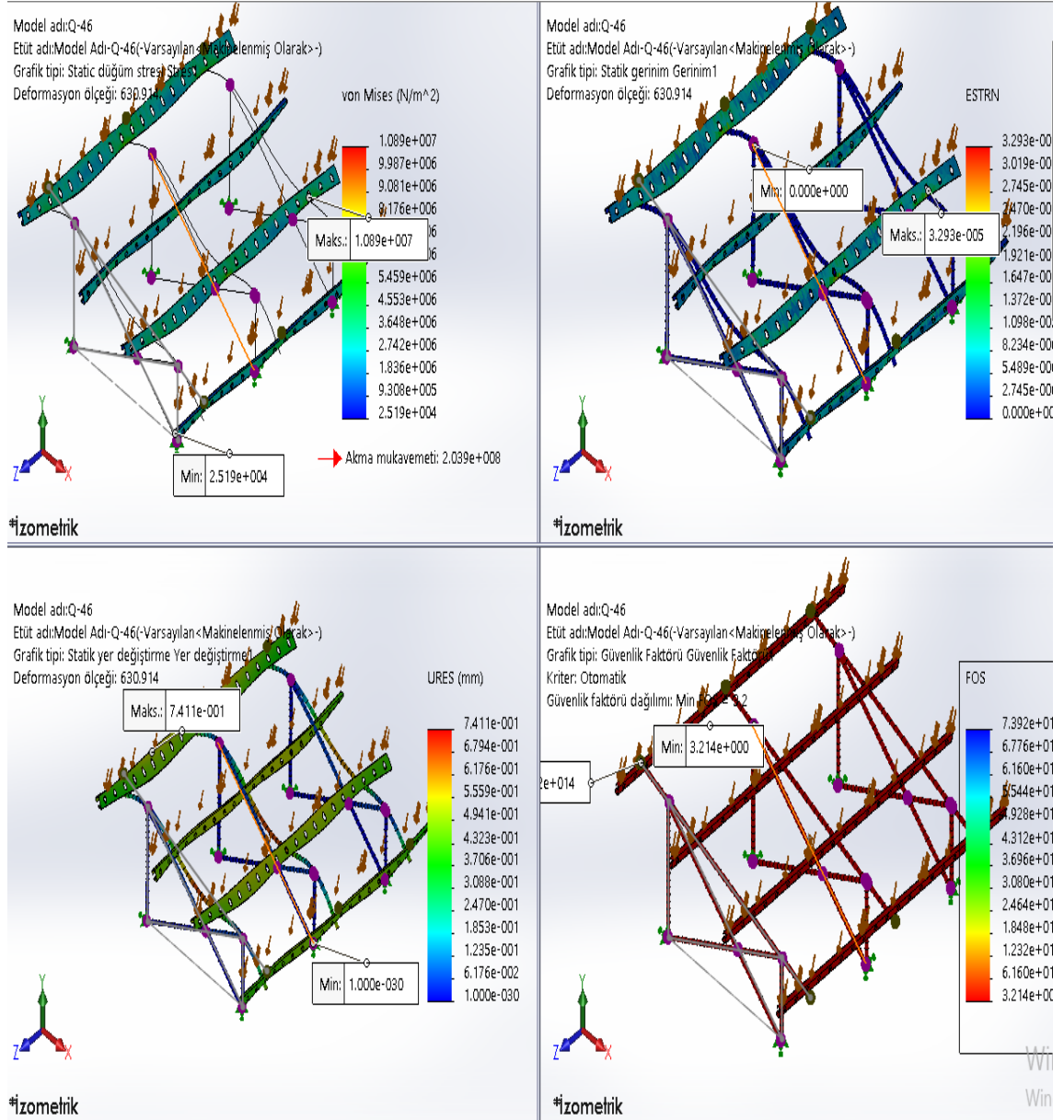
2.4.1.24. Model-Q-44 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.64. Model-Q-44 Sonuçları

Model-Q-44 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değıştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğeye ilişkin maximum ve mininum değeri Şekil 2.64'te gösterilmiştir.

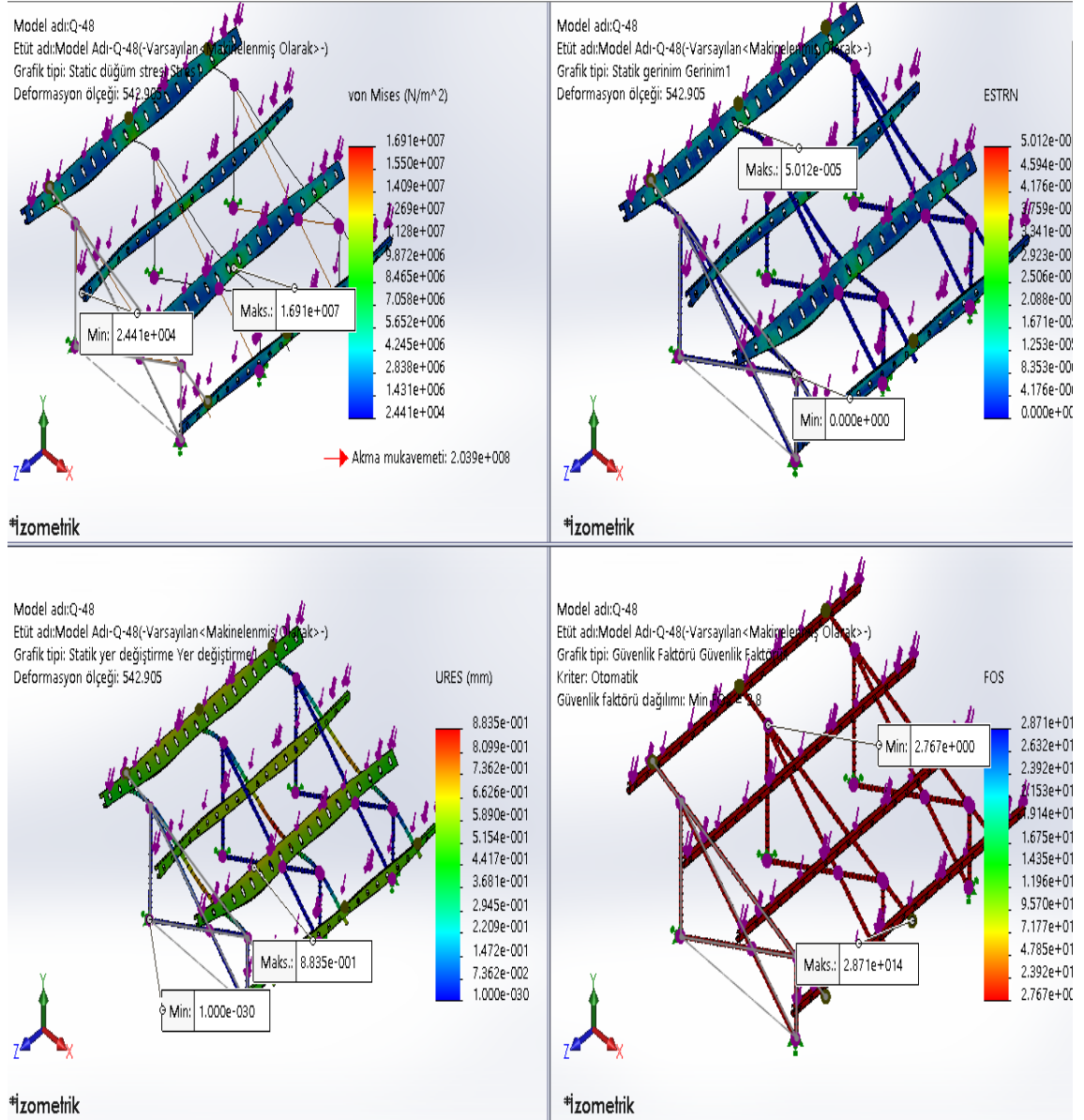
2.4.1.25. Model-Q-46 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.65. Model-Q-46 Sonuçları

Model-Q-46 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.65'te gösterilmiştir.

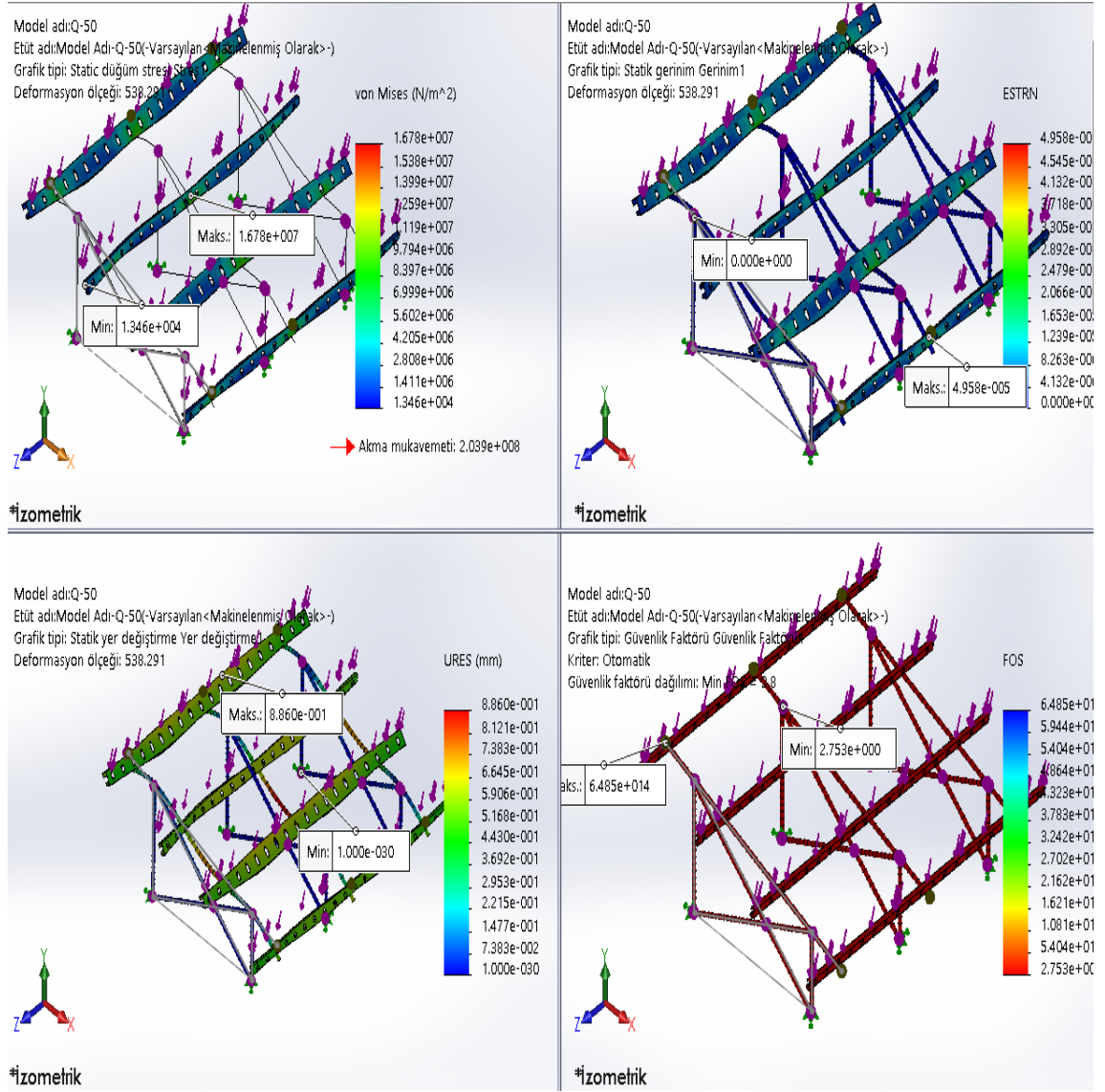
2.4.1.26. Model-Q-48 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.66. Model-Q-48 Sonuçları

Model-Q-48 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktör ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.66’da gösterilmiştir.

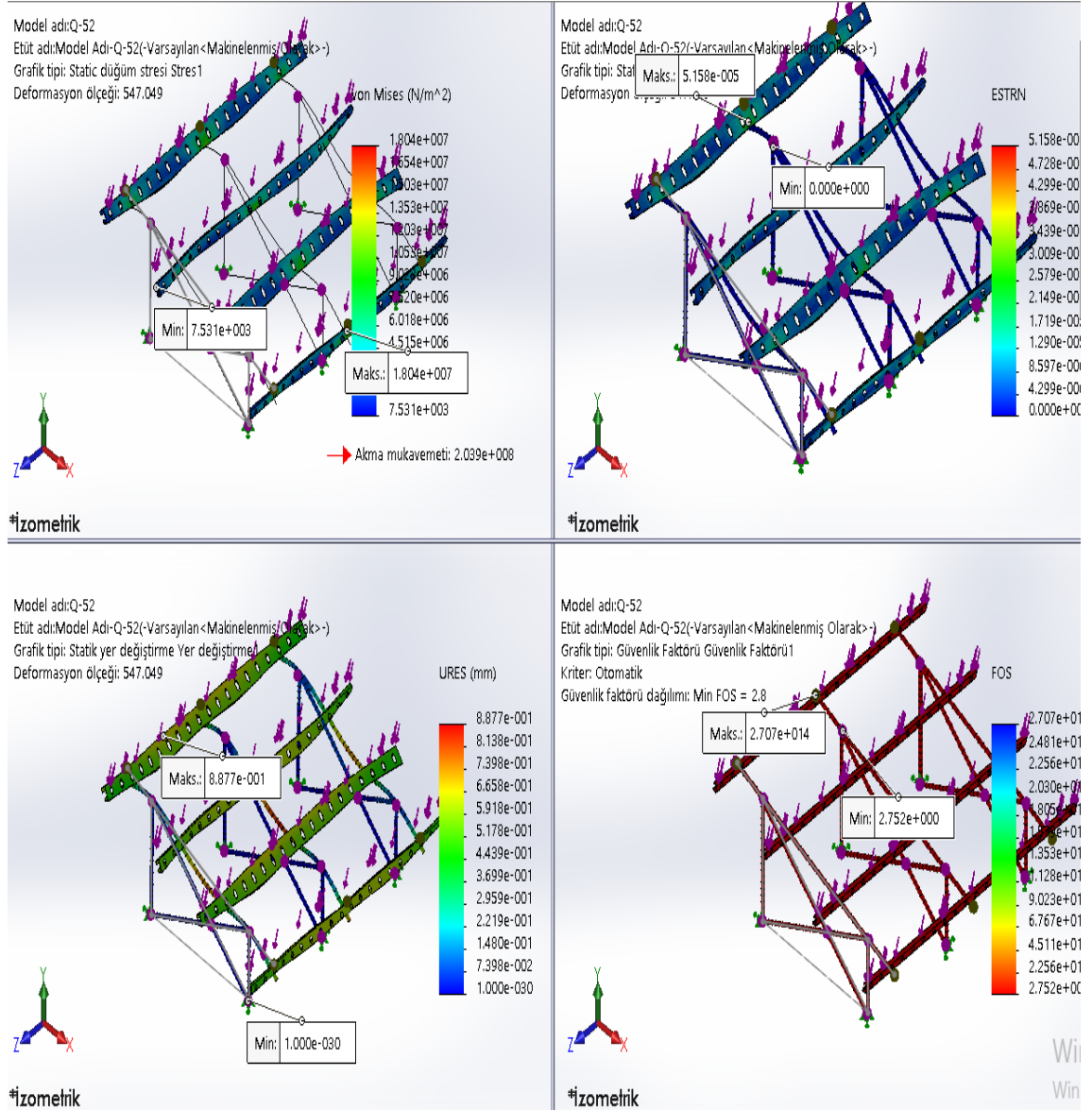
2.4.1.27. Model-Q-50 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.67. Model-Q-50 Sonuçları

Model-Q-50 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.67’de gösterilmiştir.

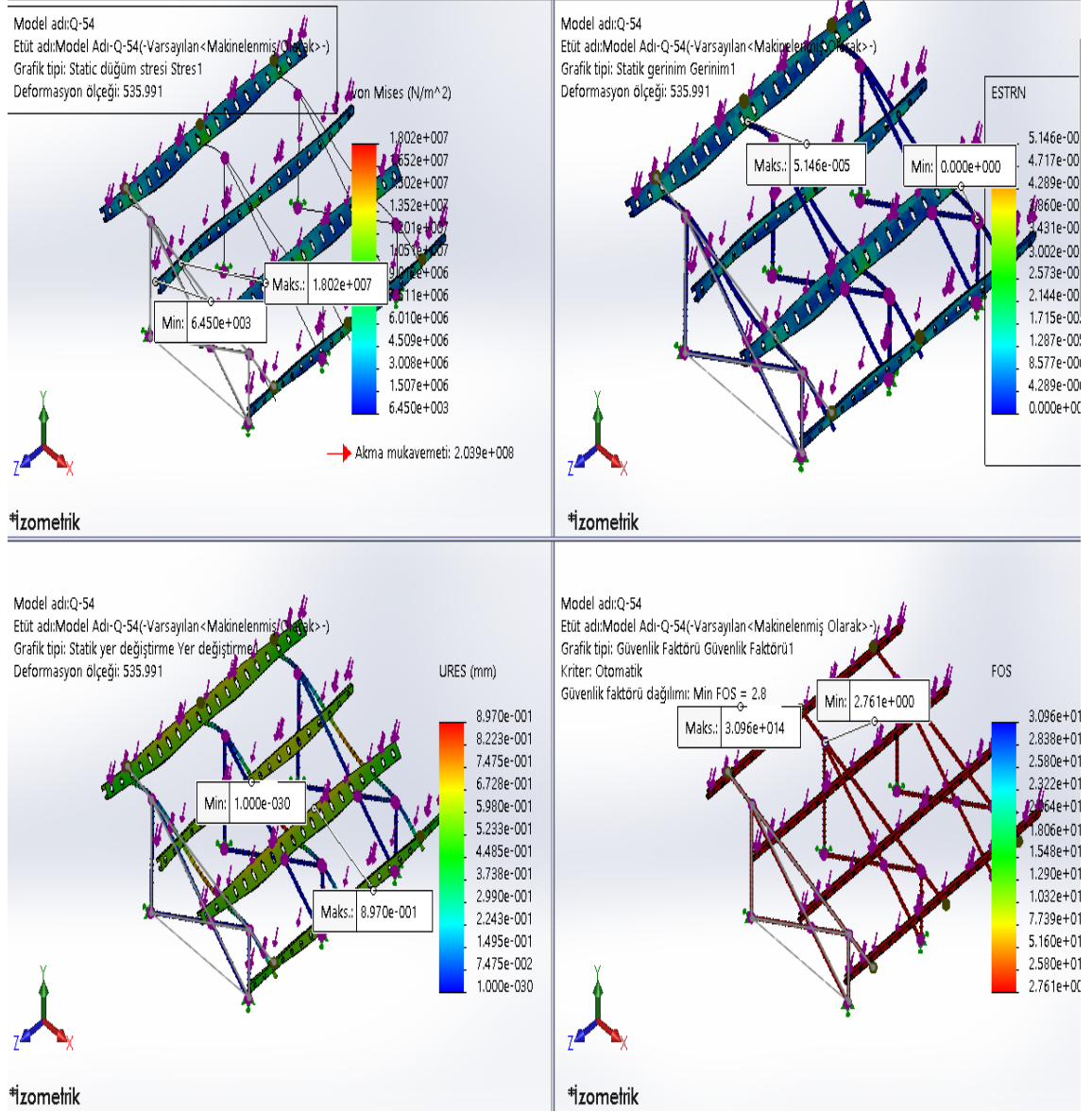
2.4.1.28. Model-Q-52 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.68. Model-Q-52 Sonuçları

Model-Q-52 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.68’de gösterilmiştir.

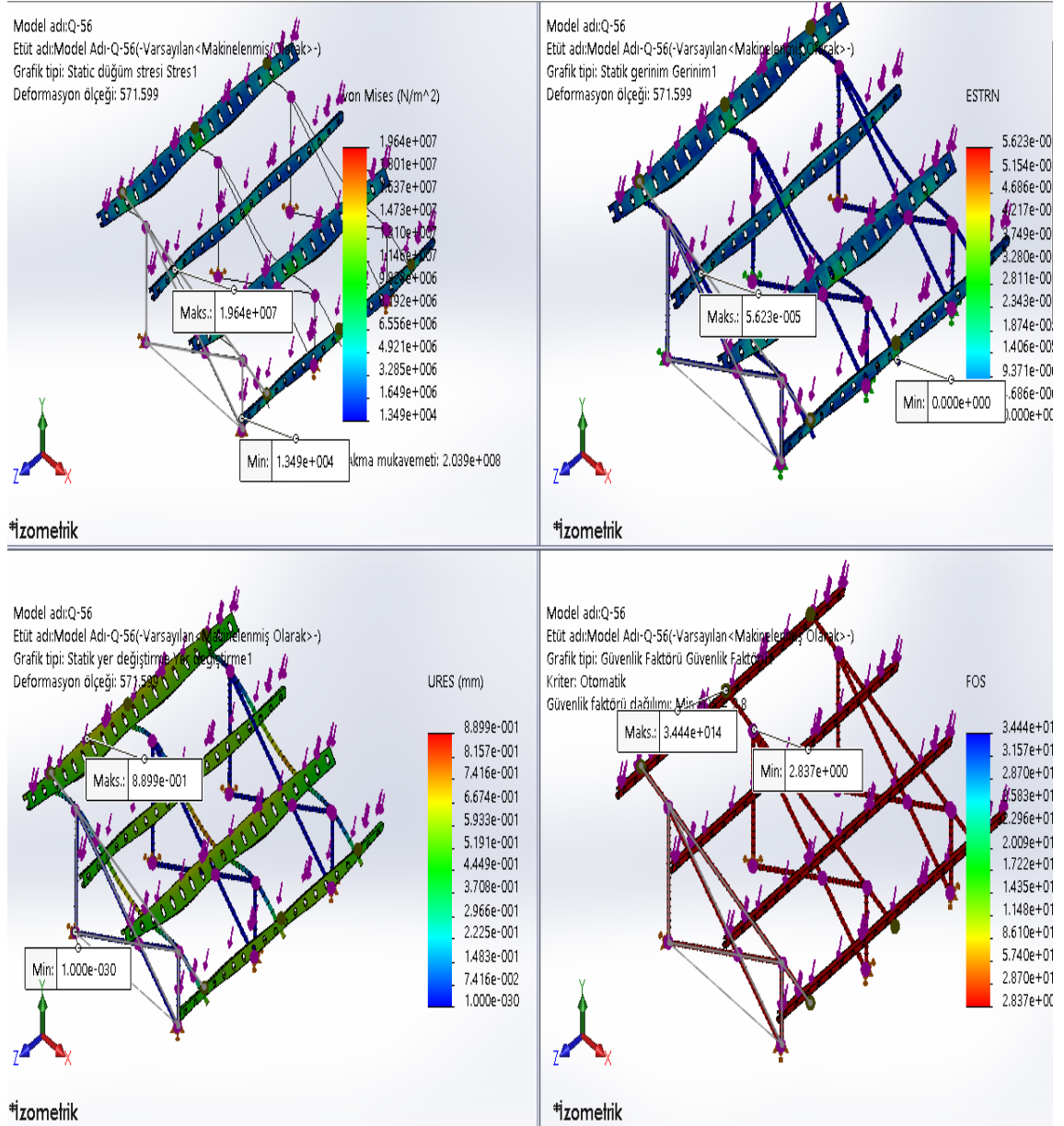
2.4.1.29. Model-Q-54 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.69. Model-Q-54 Sonuçları

Model-Q-54 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değıştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğre ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.69'da gösterilmiştir.

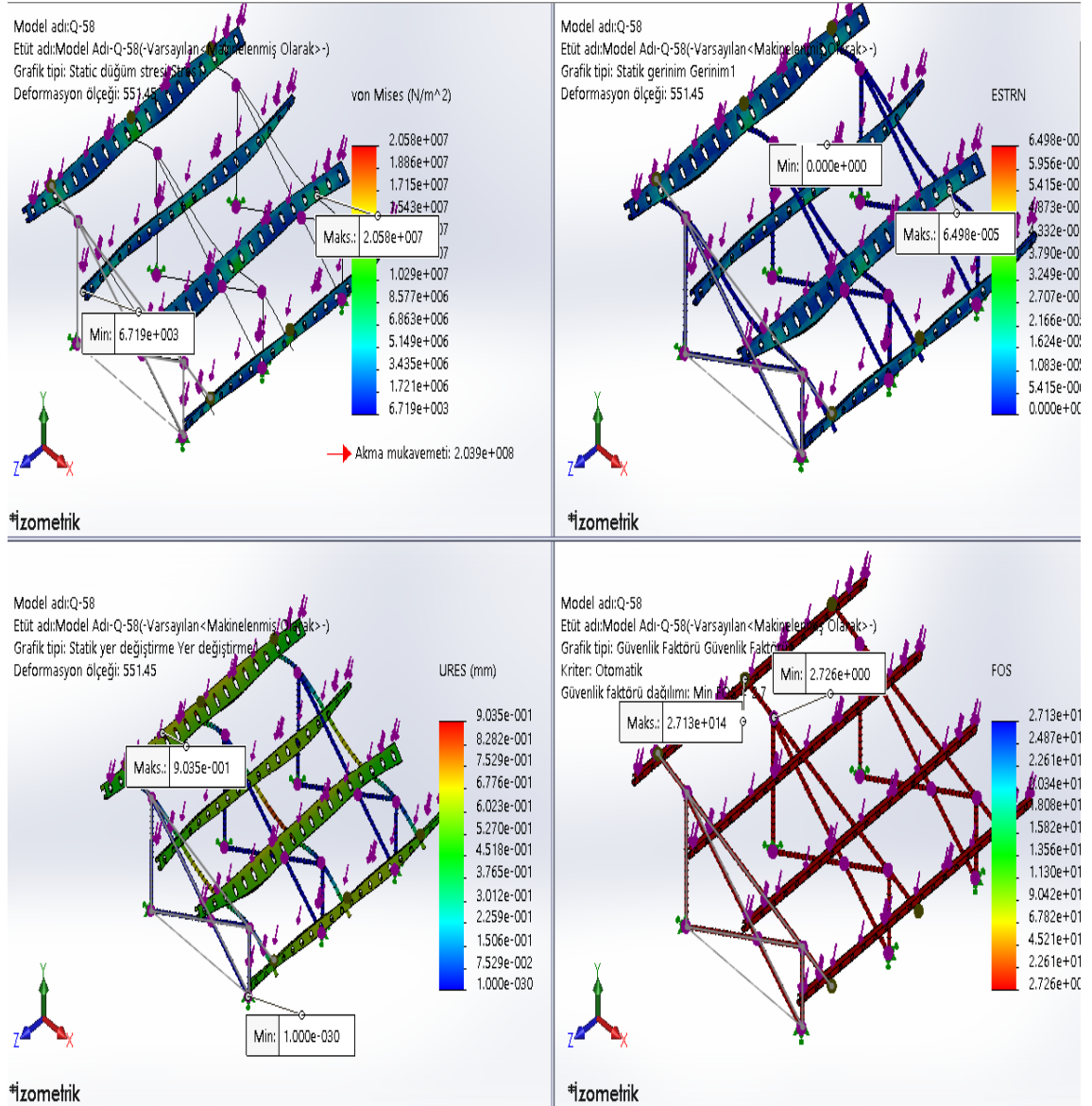
2.4.1.30. Model-Q-56 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.70. Model-Q-56 Sonuçları

Model-Q-56 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.70’da gösterilmiştir.

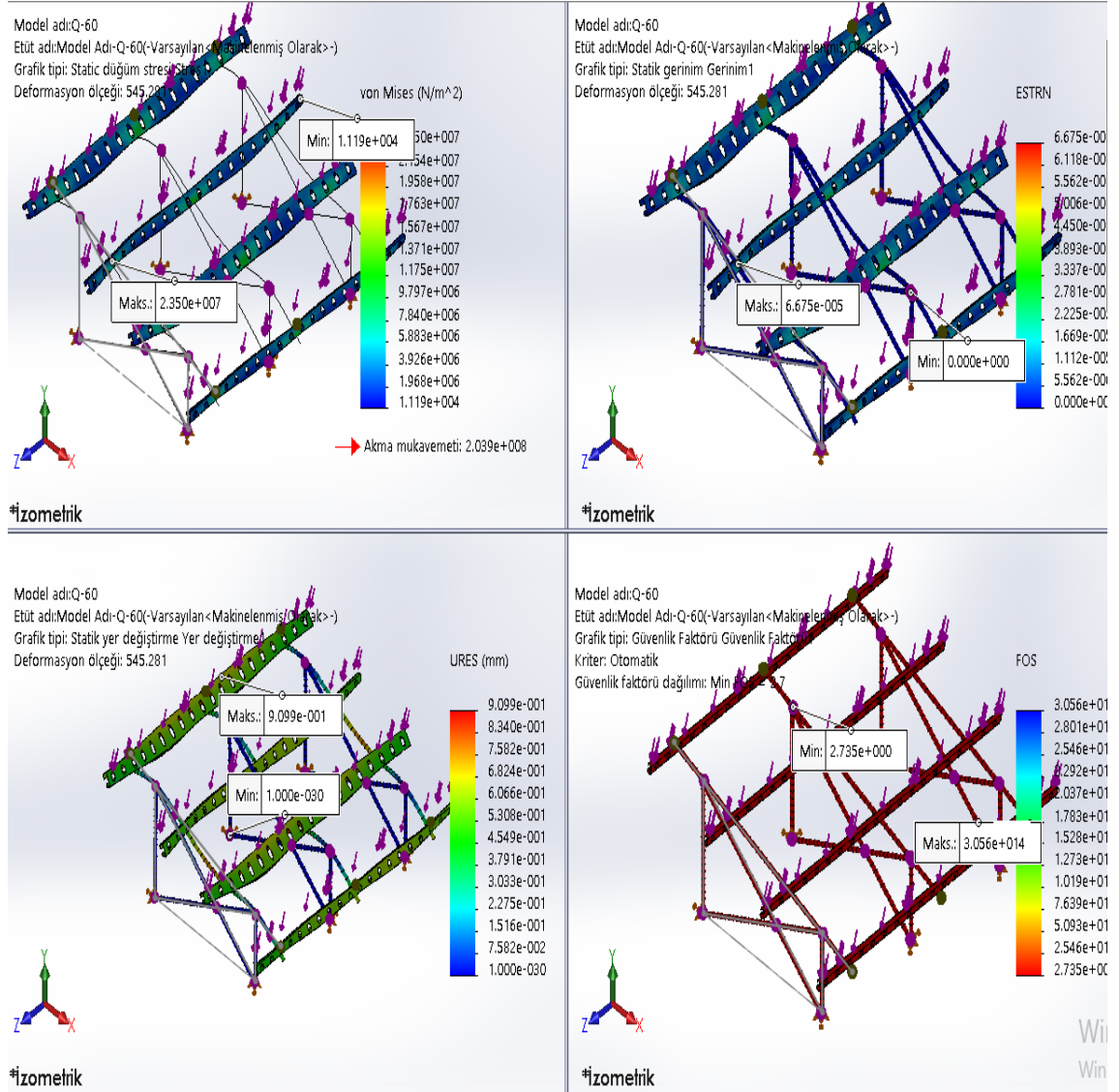
2.4.1.31. Model-Q-58 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.71. Model-Q-58 Sonuçları

Model-Q-58 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değıştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğeye ilişkin maximum ve mininum değıerleri Şekil 2.71’de gösterilmiştir.

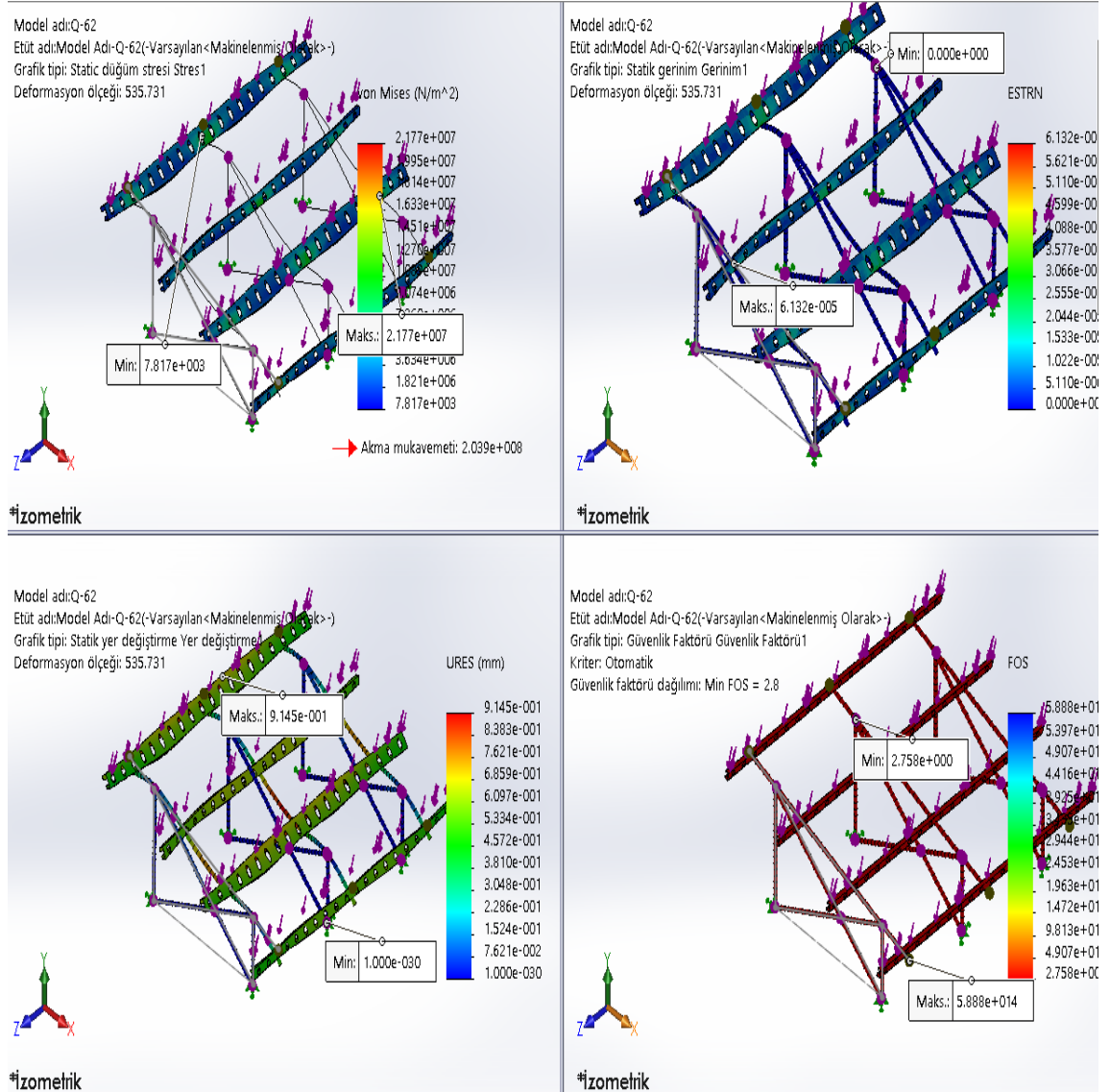
2.4.1.32. Model-Q-60 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.72. Model-Q-60 Sonuçları

Model-Q-60 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değıştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğ'e ilişkin maximum ve mininum değeri Şekil 2.72'de gösterilmiştir.

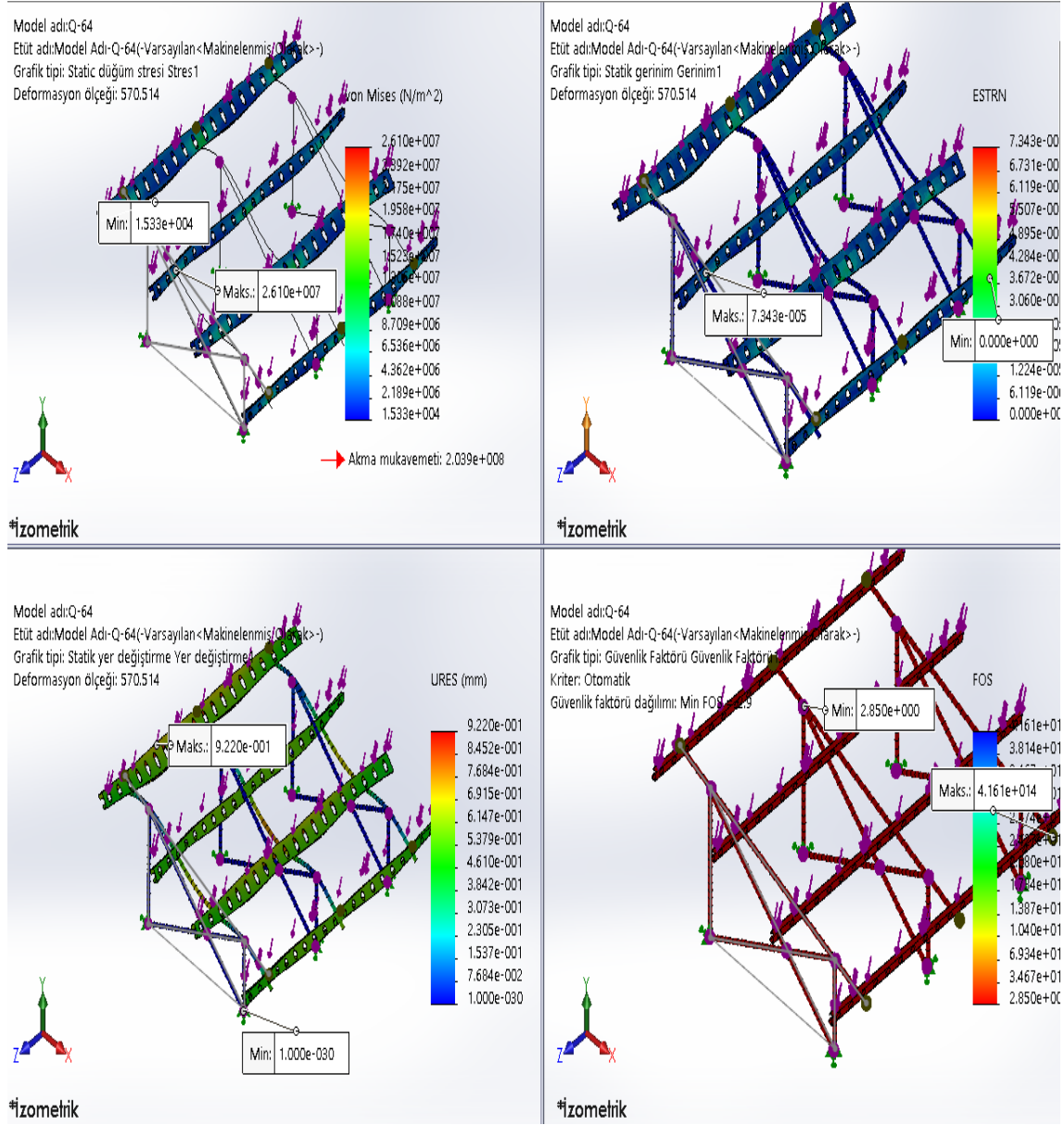
2.4.1.33. Model-Q-62 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.73. Model-Q-62 Sonuçları

Model-Q-62 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değıştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğ'e ilişkin maximum ve mininum değıerleri Şekil 2.73'te gösterilmiştir.

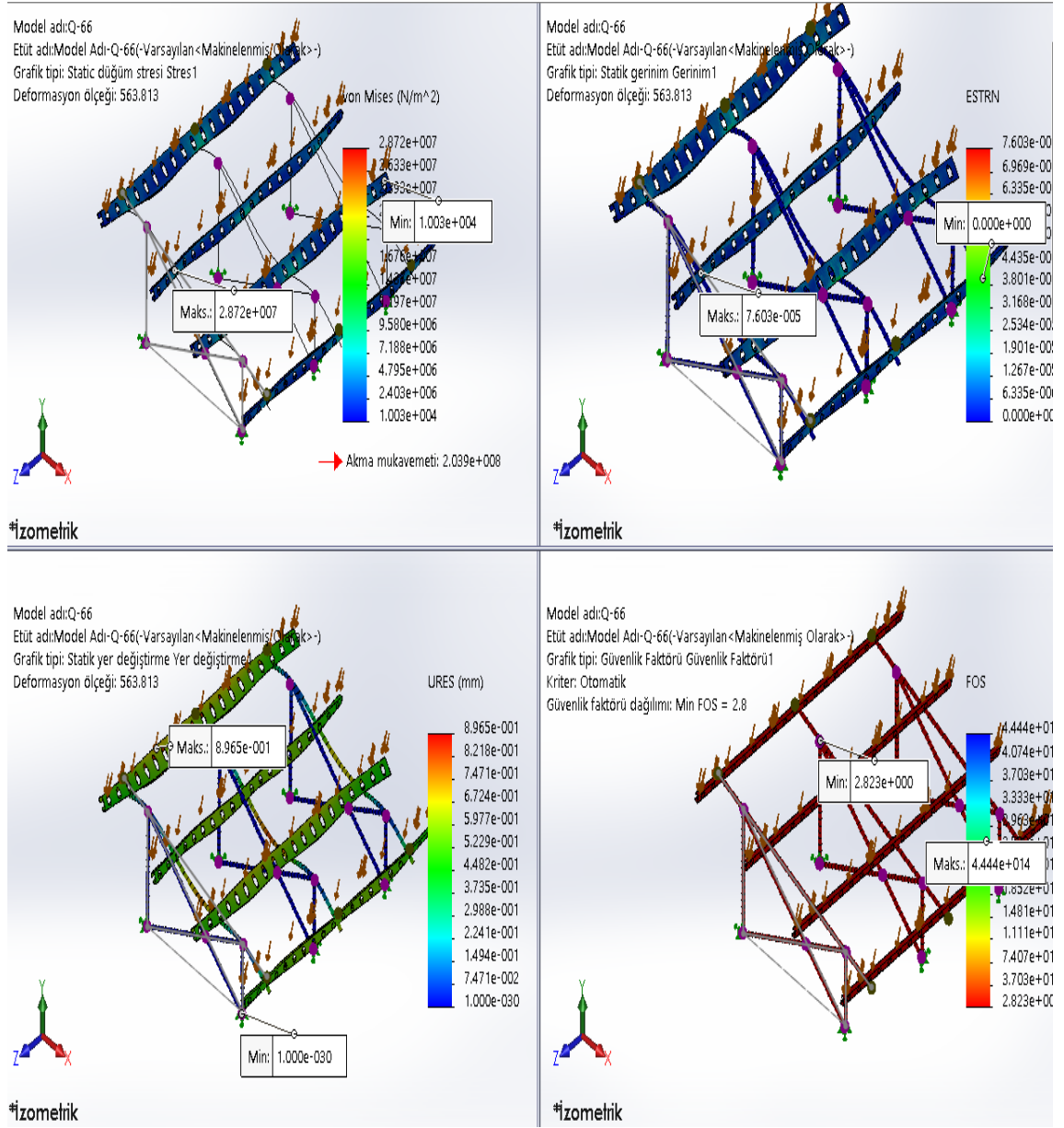
2.4.1.34. Model-Q-64 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.74. Model-Q-64 Sonuçları

Model-Q-64 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.74'te gösterilmiştir.

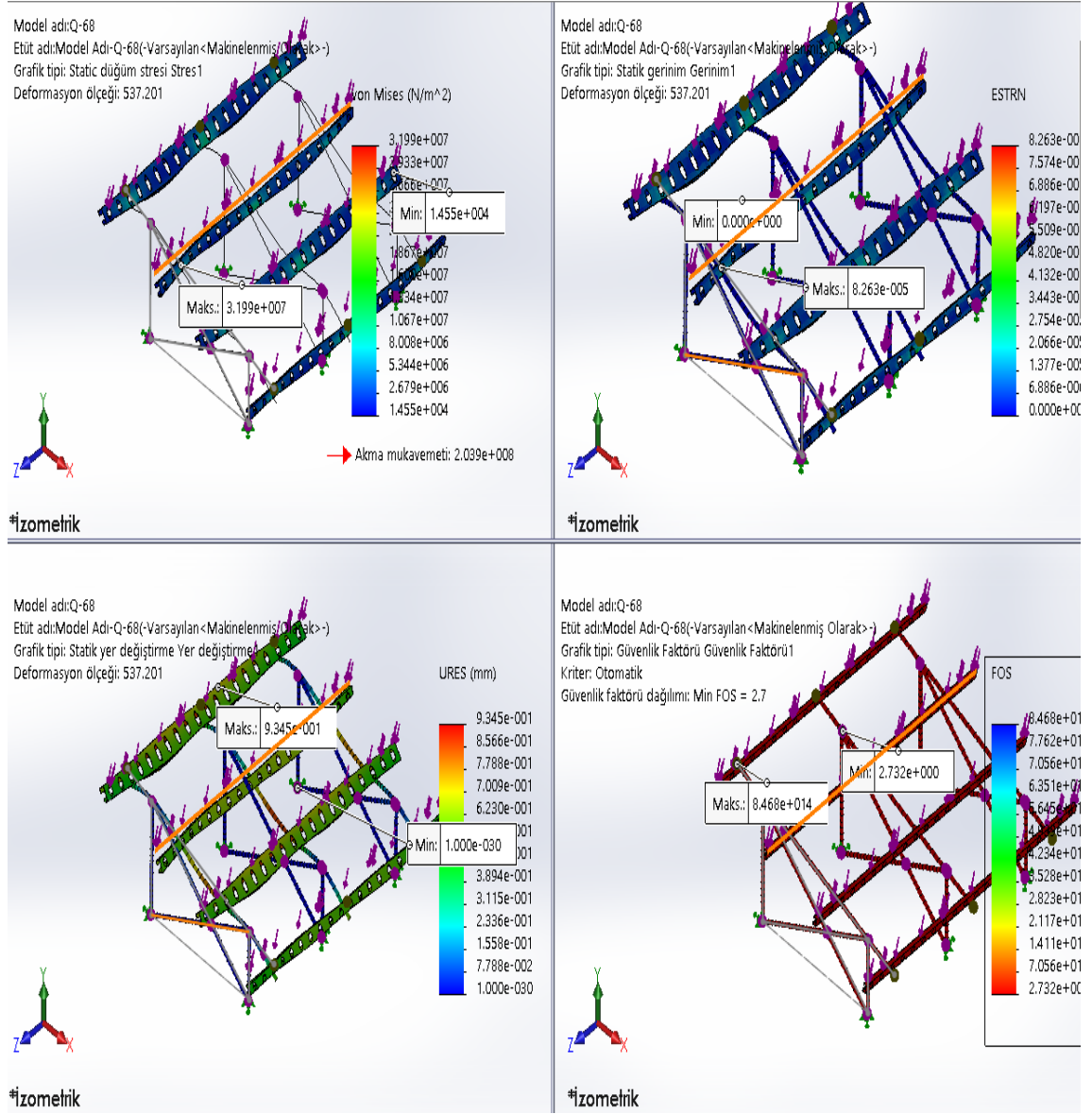
2.4.1.35. Model-Q-66 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.75. Model-Q-66 Sonuçları

Model-Q-66 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktör ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.75'te gösterilmiştir.

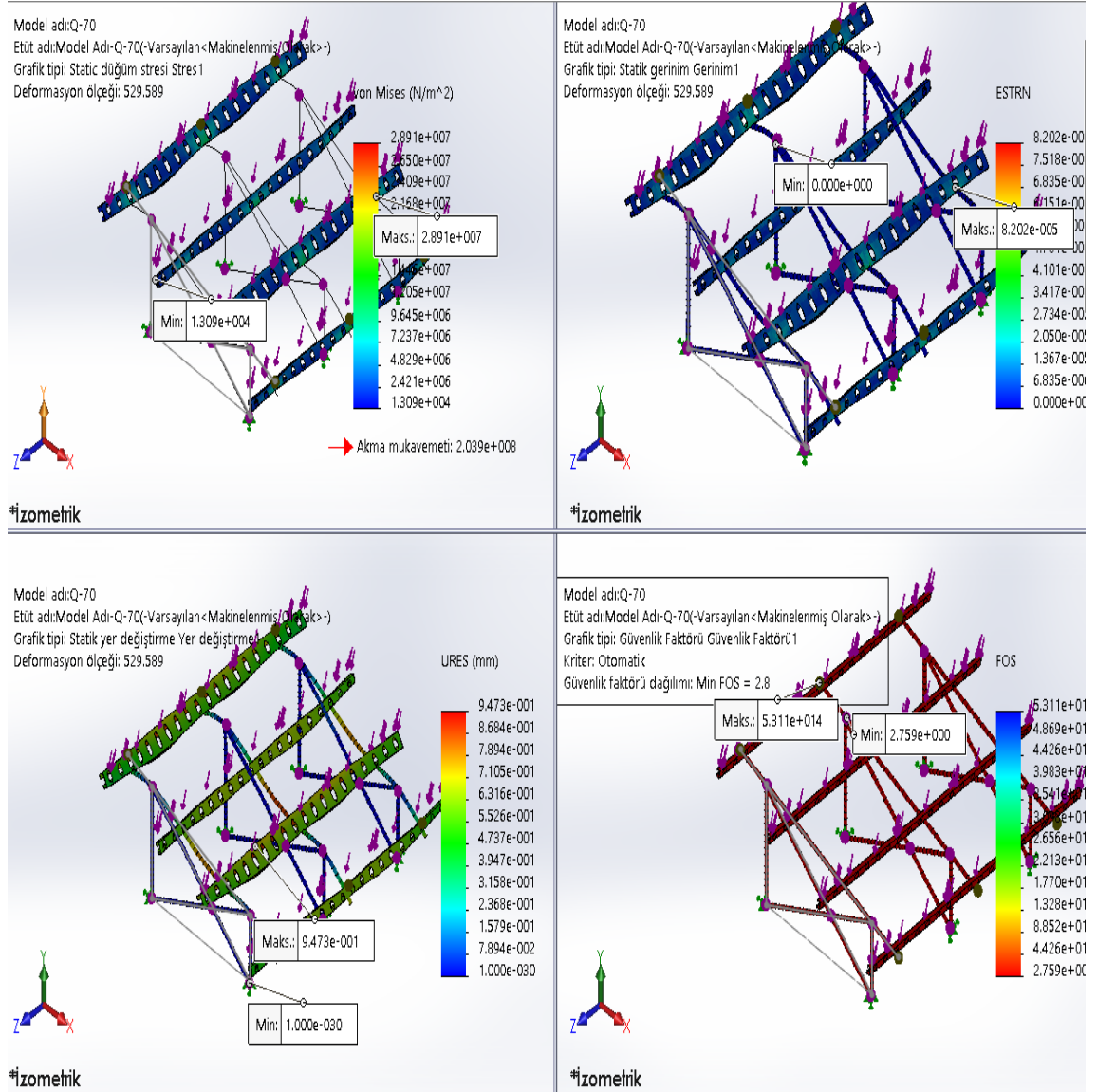
2.4.1.36. Model-Q-68 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.76. Model-Q-68 Sonuçları

Model-Q-68 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.76’da gösterilmiştir.

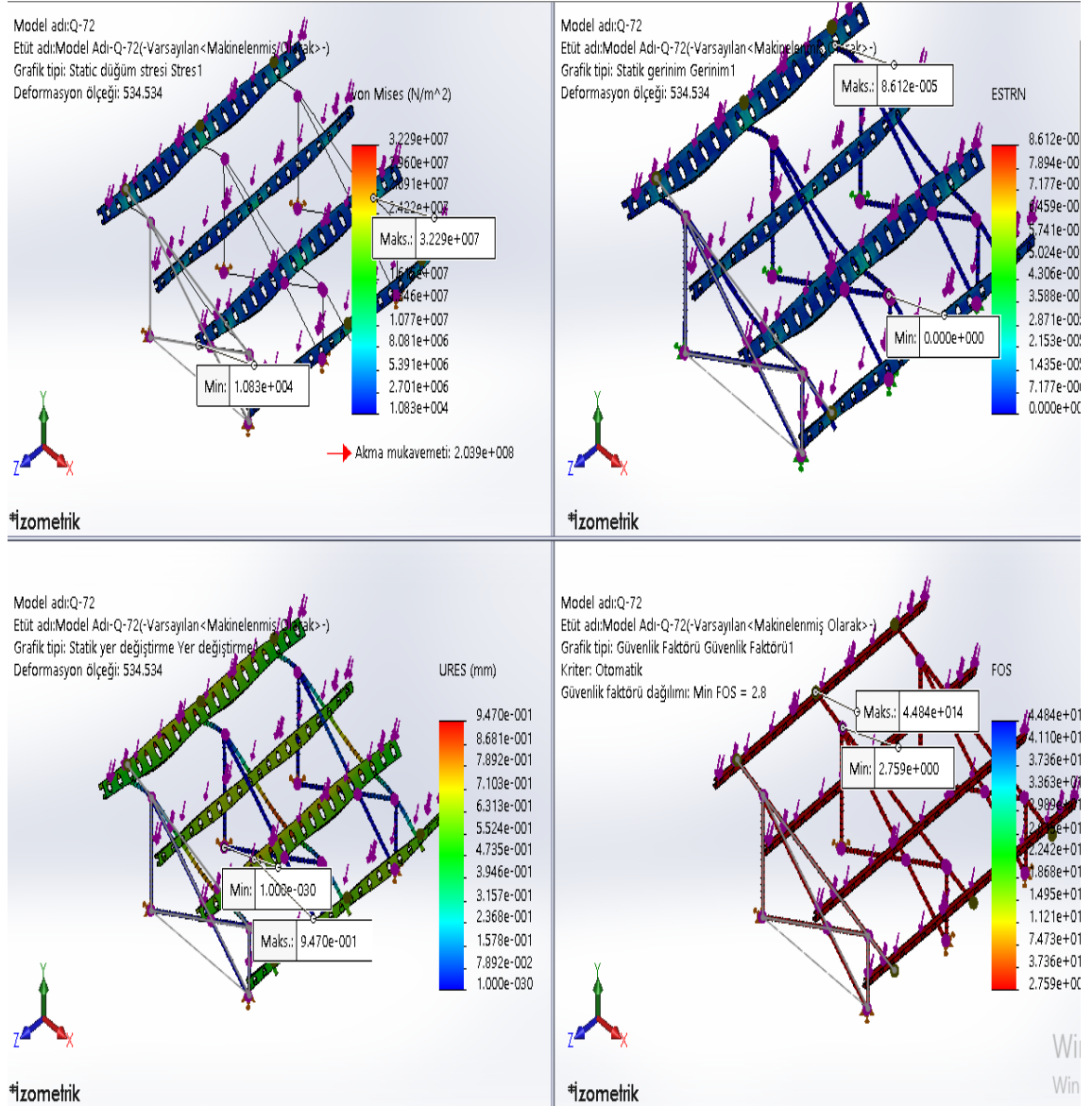
2.4.1.37. Model-Q-70 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.77. Model-Q-70 Sonuçları

Model-Q-70 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.77 'de gösterilmiştir.

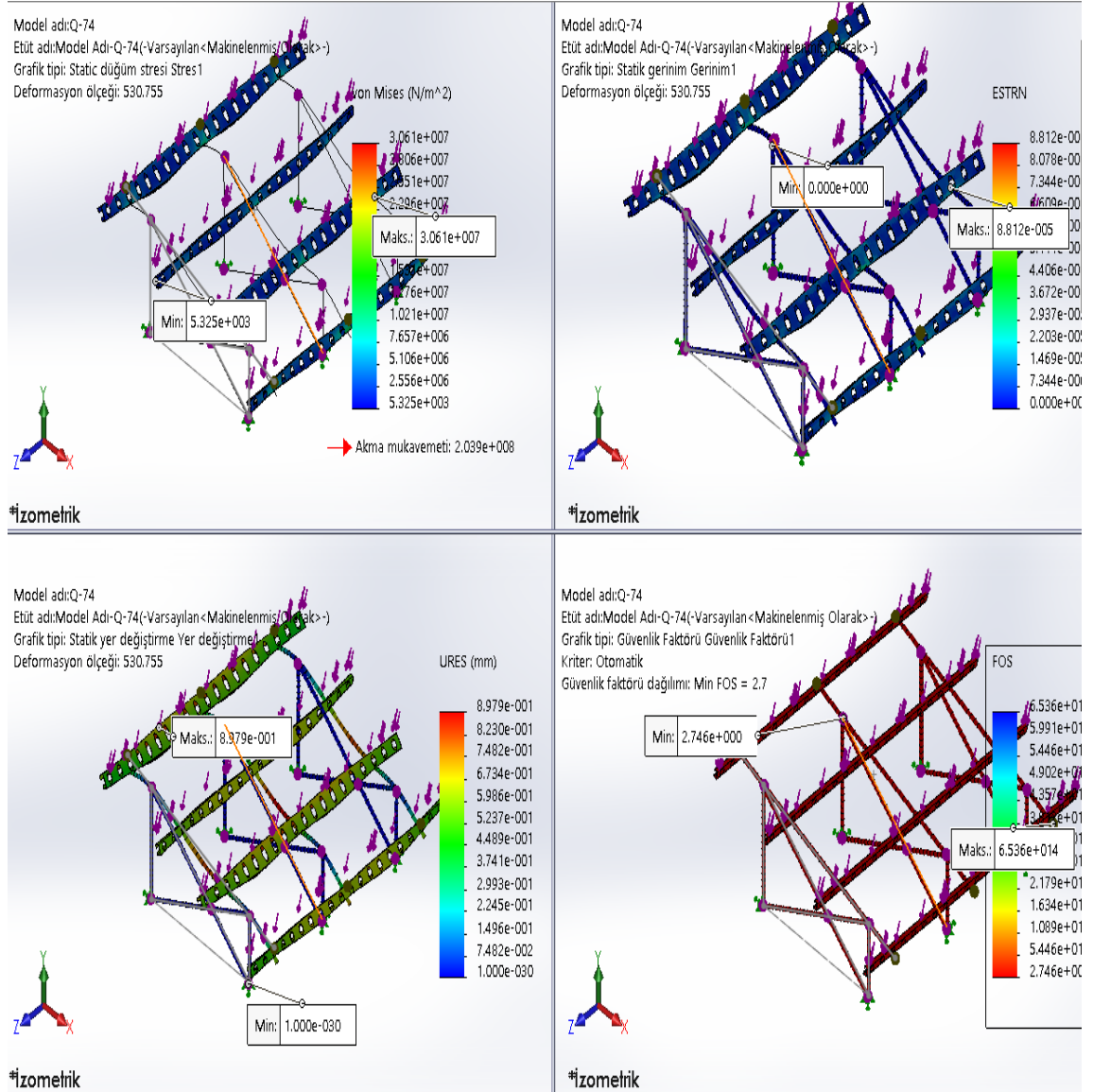
2.4.1.38. Model-Q-72 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.78. Model-Q-72 Sonuçları

Model-Q-72 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.78’de gösterilmiştir.

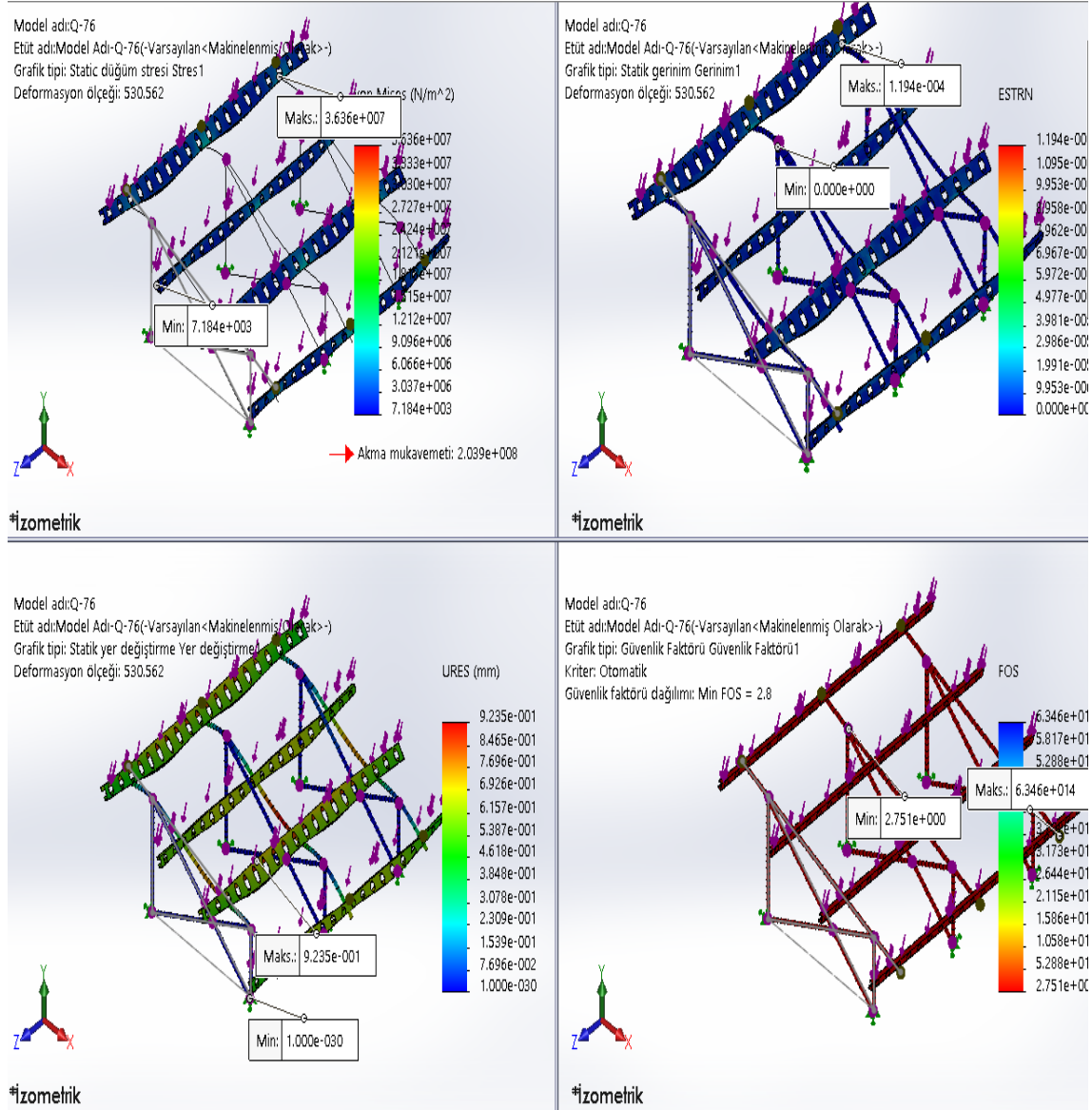
2.4.1.39. Model-Q-74 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.79. Model-Q-74 Sonuçları

Model-Q-74 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.79’da gösterilmiştir.

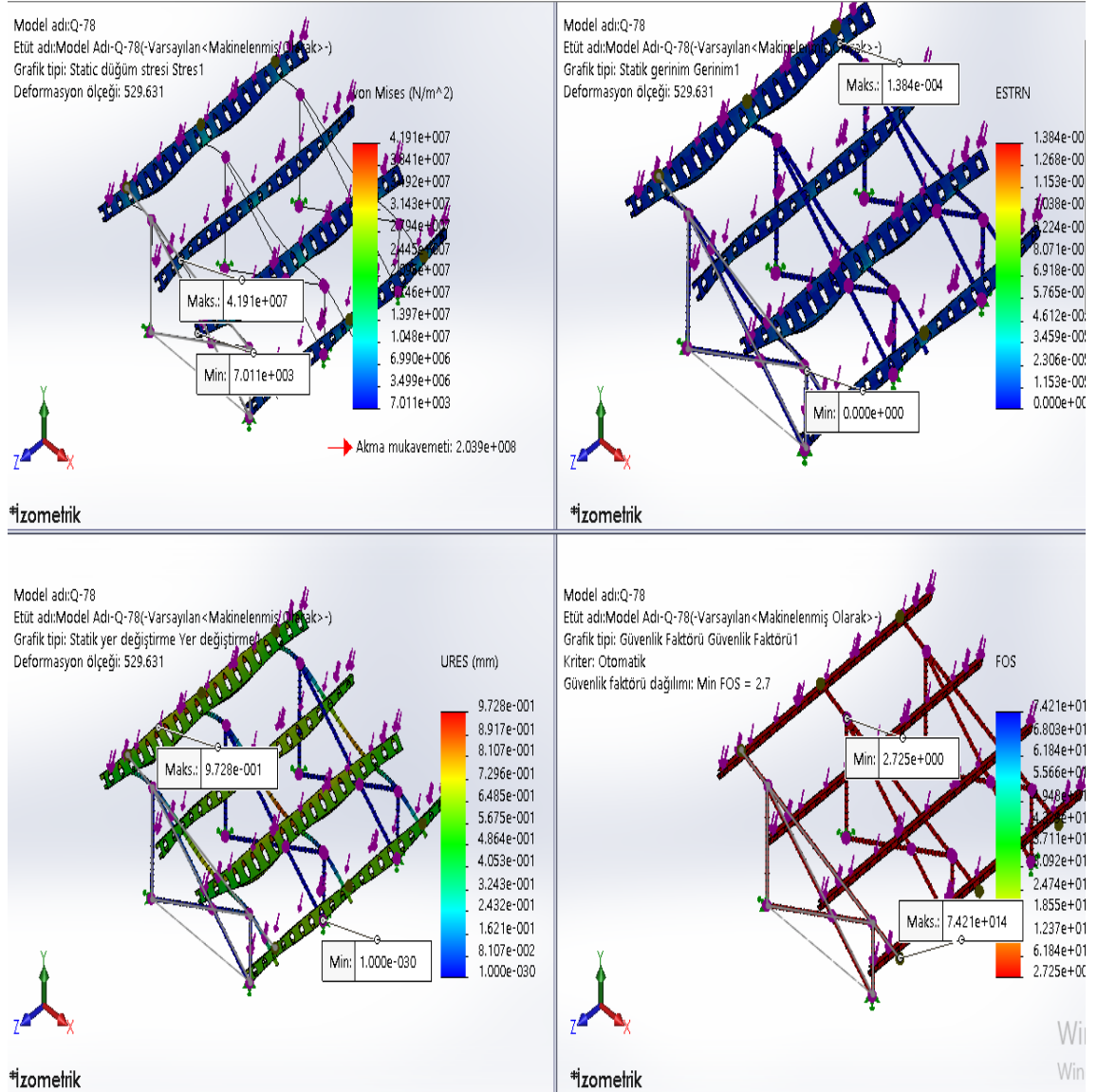
2.4.1.40. Model-Q-76 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.80. Model-Q-76 Sonuçları

Model-Q-76 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktör ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.80’de gösterilmiştir.

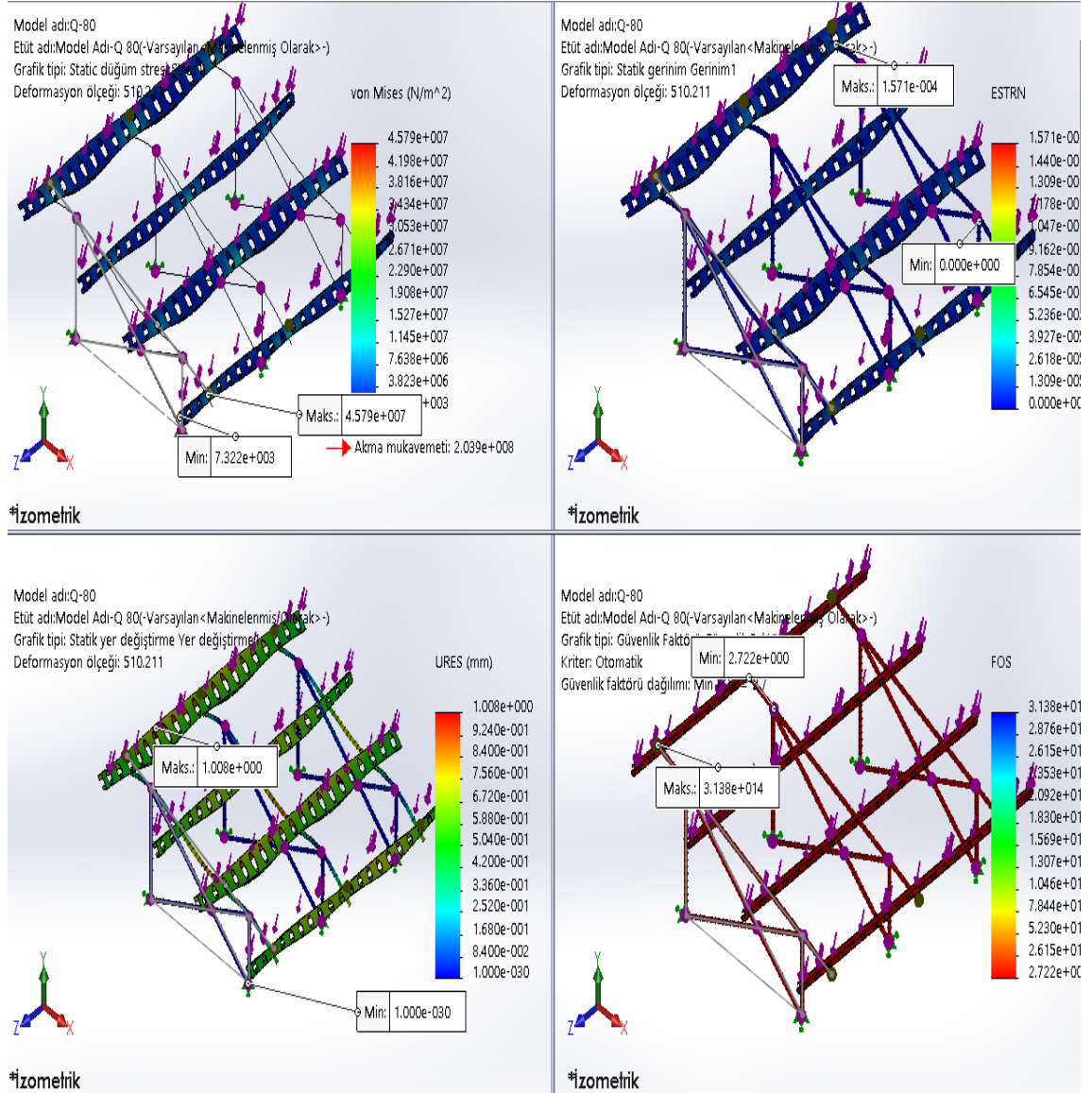
2.4.1.41. Model-Q-78 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.81. Model-Q-78 Sonuçları

Model-Q-78 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.81’de gösterilmiştir.

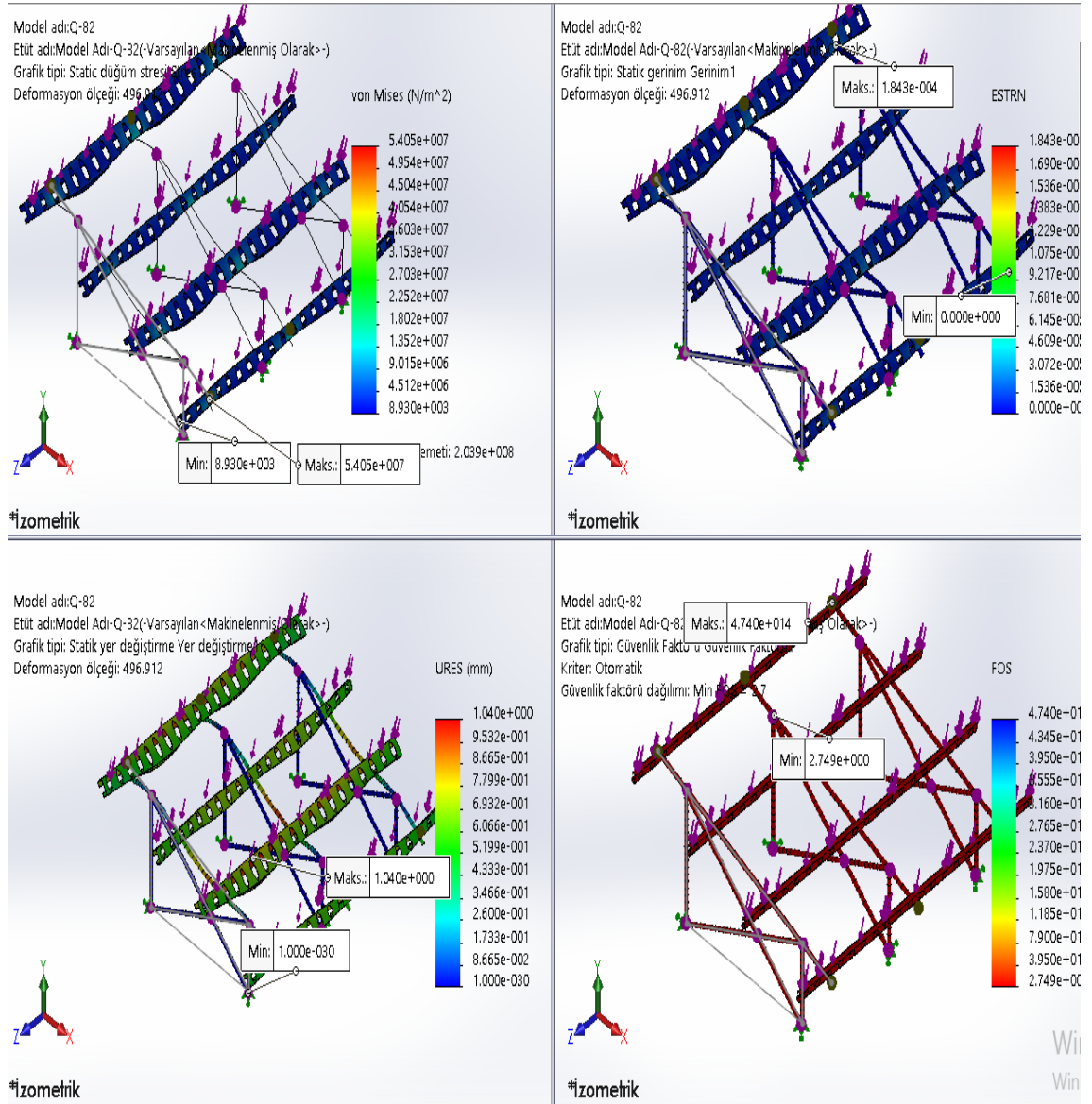
2.4.1.42. Model-Q-80 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.82. Model-Q-80 Sonuçları

Model-Q-80statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.82’de gösterilmiştir.

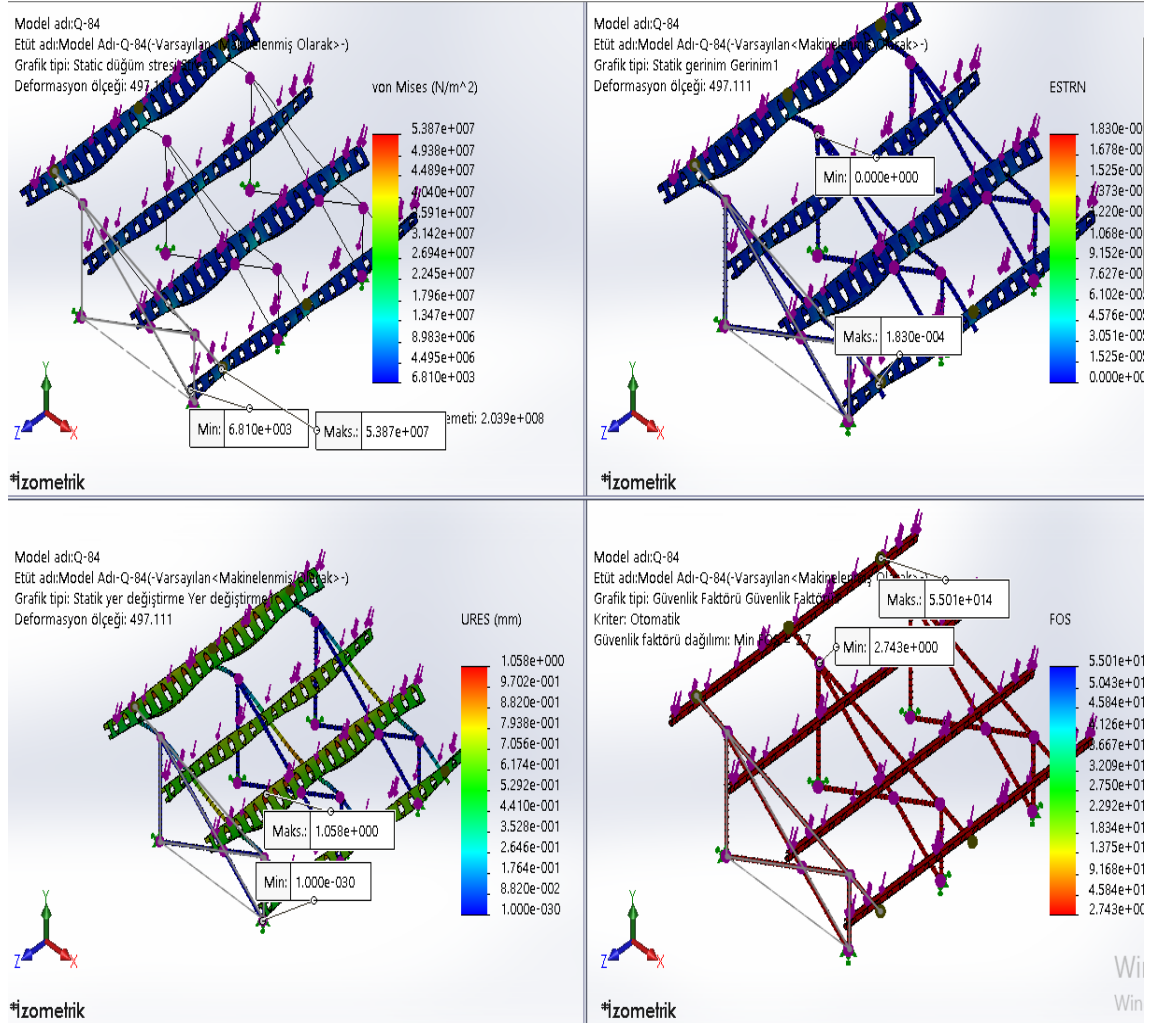
2.4.1.43. Model-Q-82 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.83. Model-Q-82 Sonuçları

Model-Q-82 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.83'te gösterilmiştir.

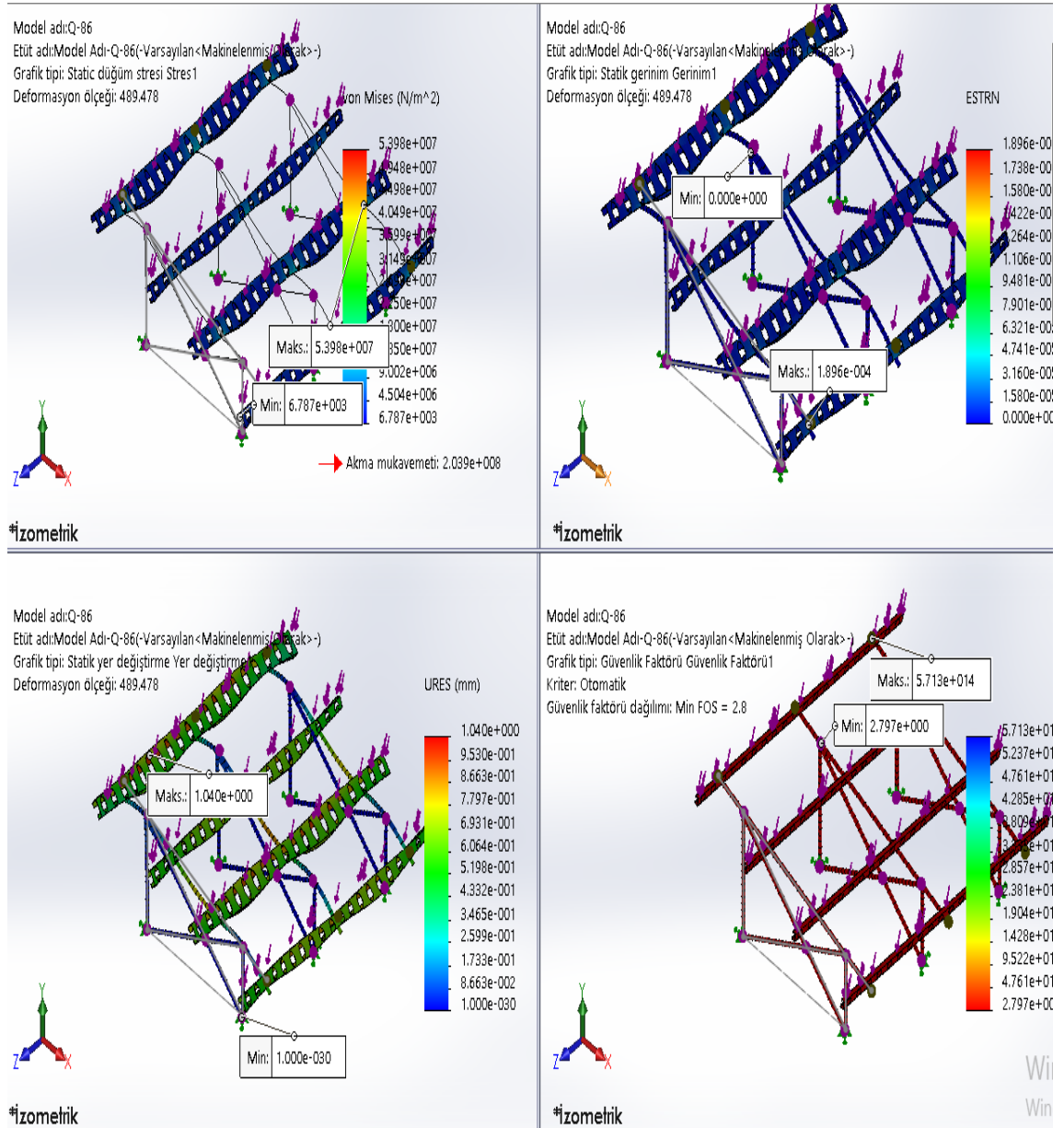
2.4.1.44. Model-Q-84 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.84. Model-Q-84 Sonuçları

Model-Q-84 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.84’te gösterilmiştir.

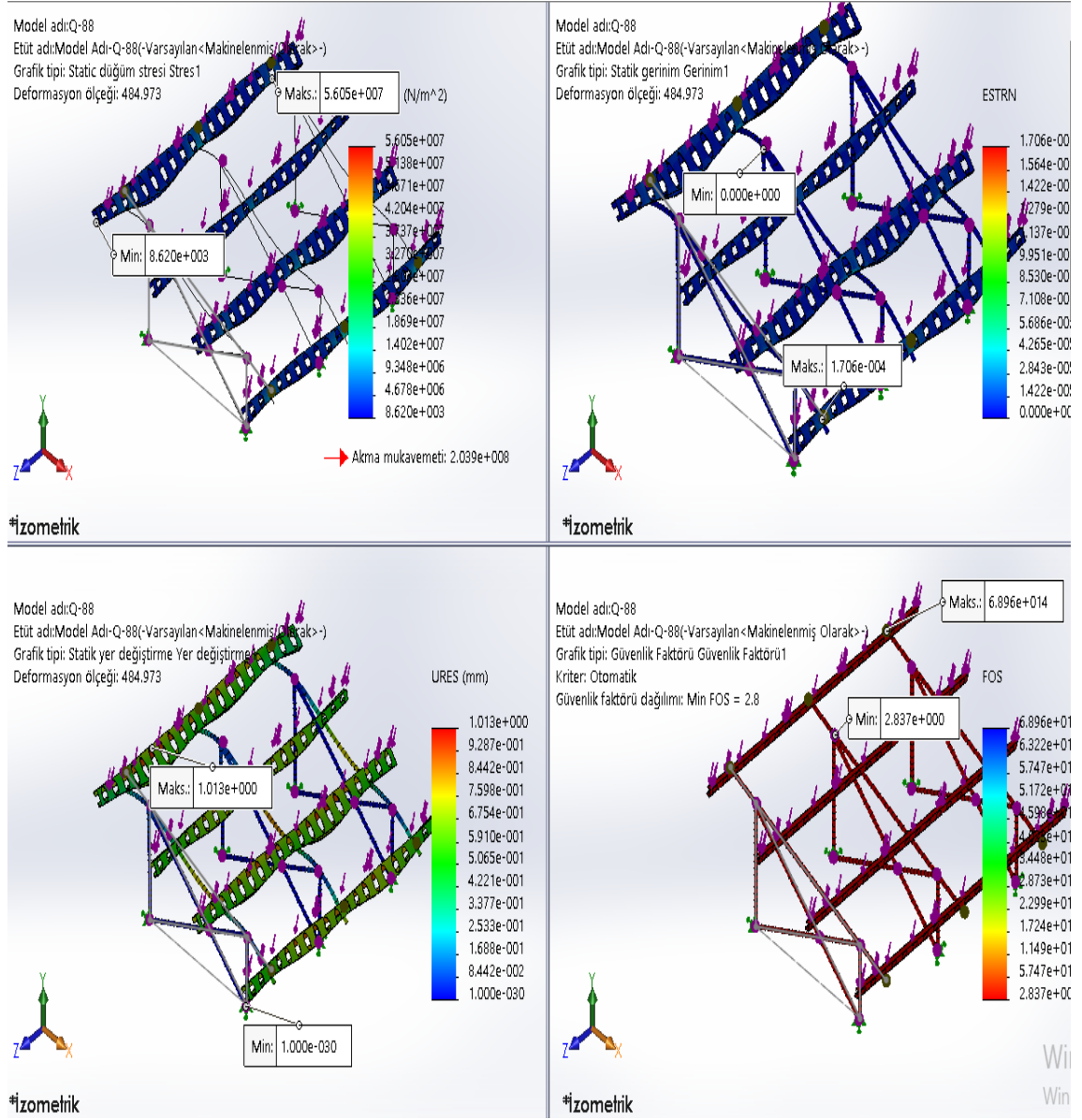
2.4.1.45. Model-Q-86 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.85. Model-Q-86 Sonuçları

Model-Q-86 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktör ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.85'te gösterilmiştir.

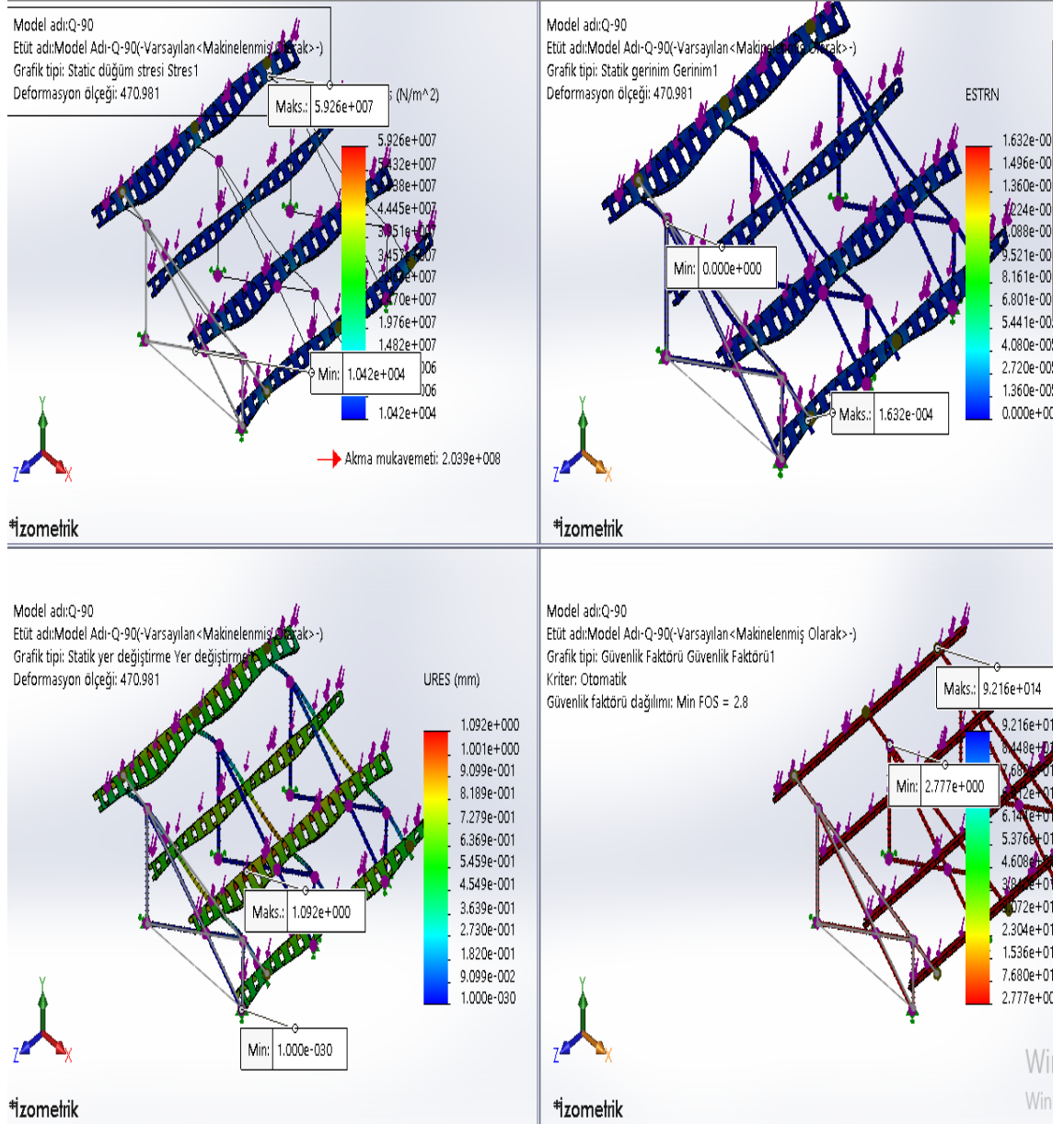
2.4.1.46. Model-Q-88 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.86. Model-Q-88 Sonuçları

Model-Q-88 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.86’da gösterilmiştir.

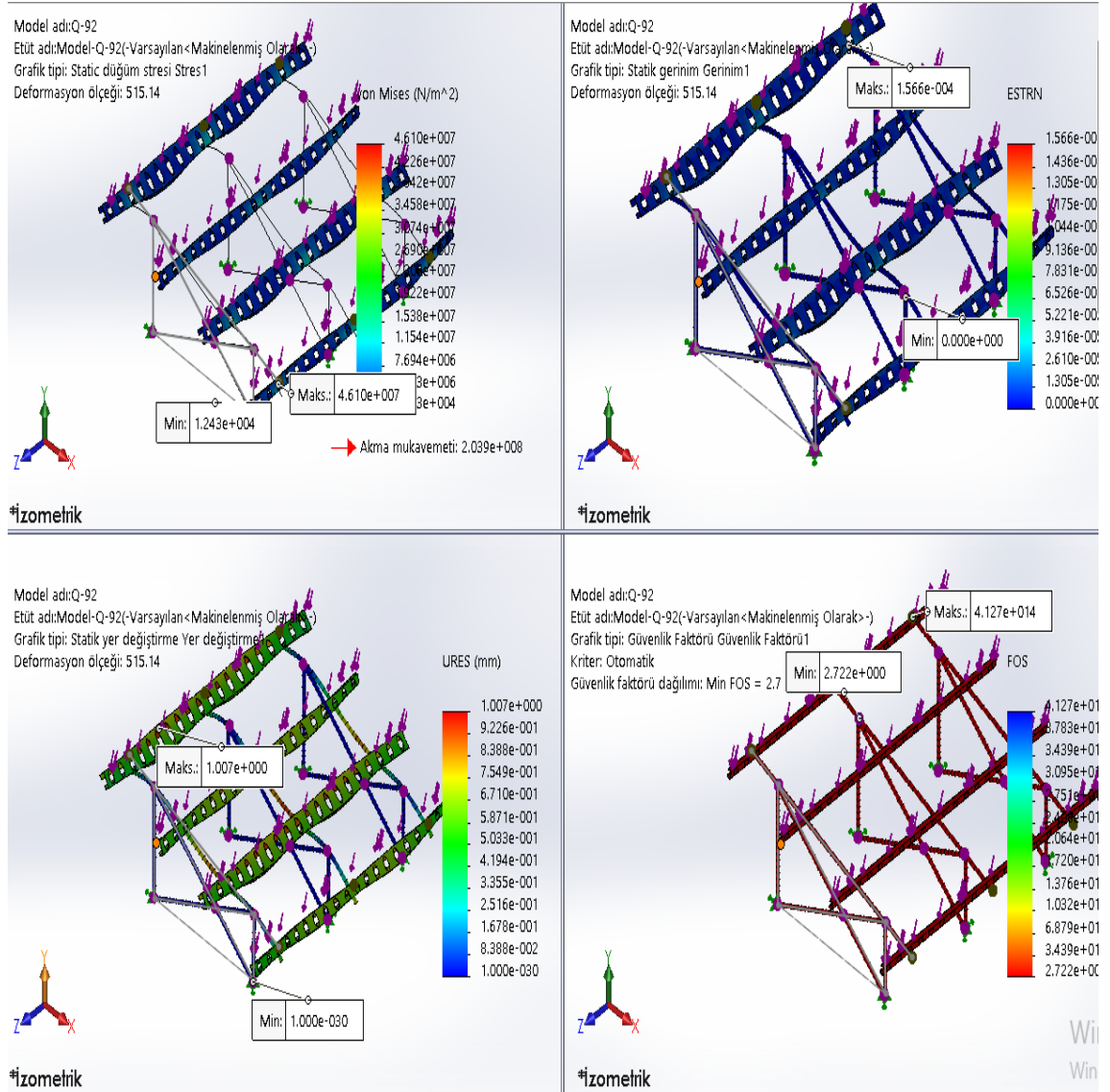
2.4.1.47. Model-Q-90 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.87. Model-Q-90 Sonuçları

Model-Q-90 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.87’de gösterilmiştir.

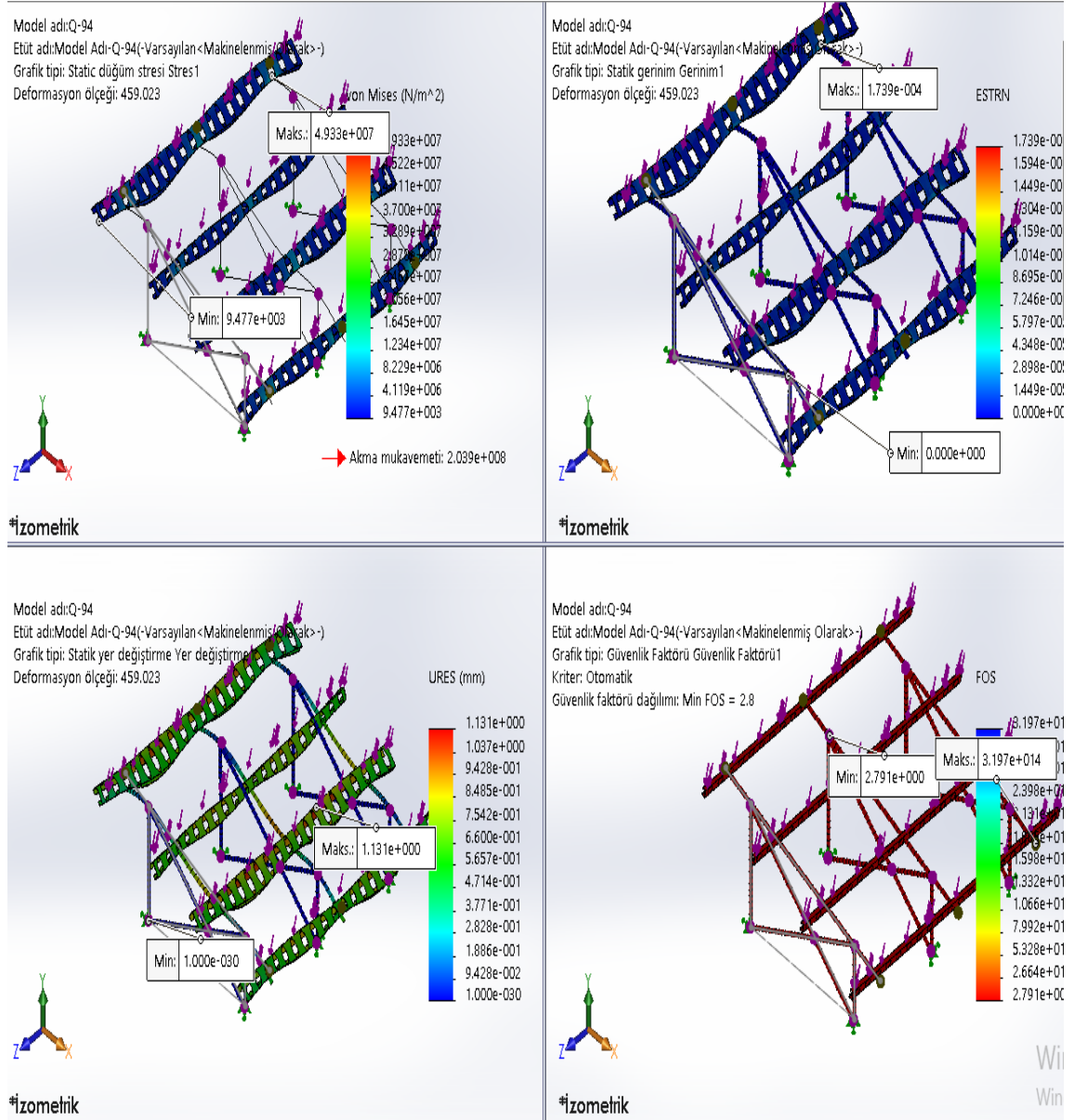
2.4.1.48. Model-Q-92 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.88. Model-Q-92 Sonuçları

Model-Q-92 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktör ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.88’de gösterilmiştir.

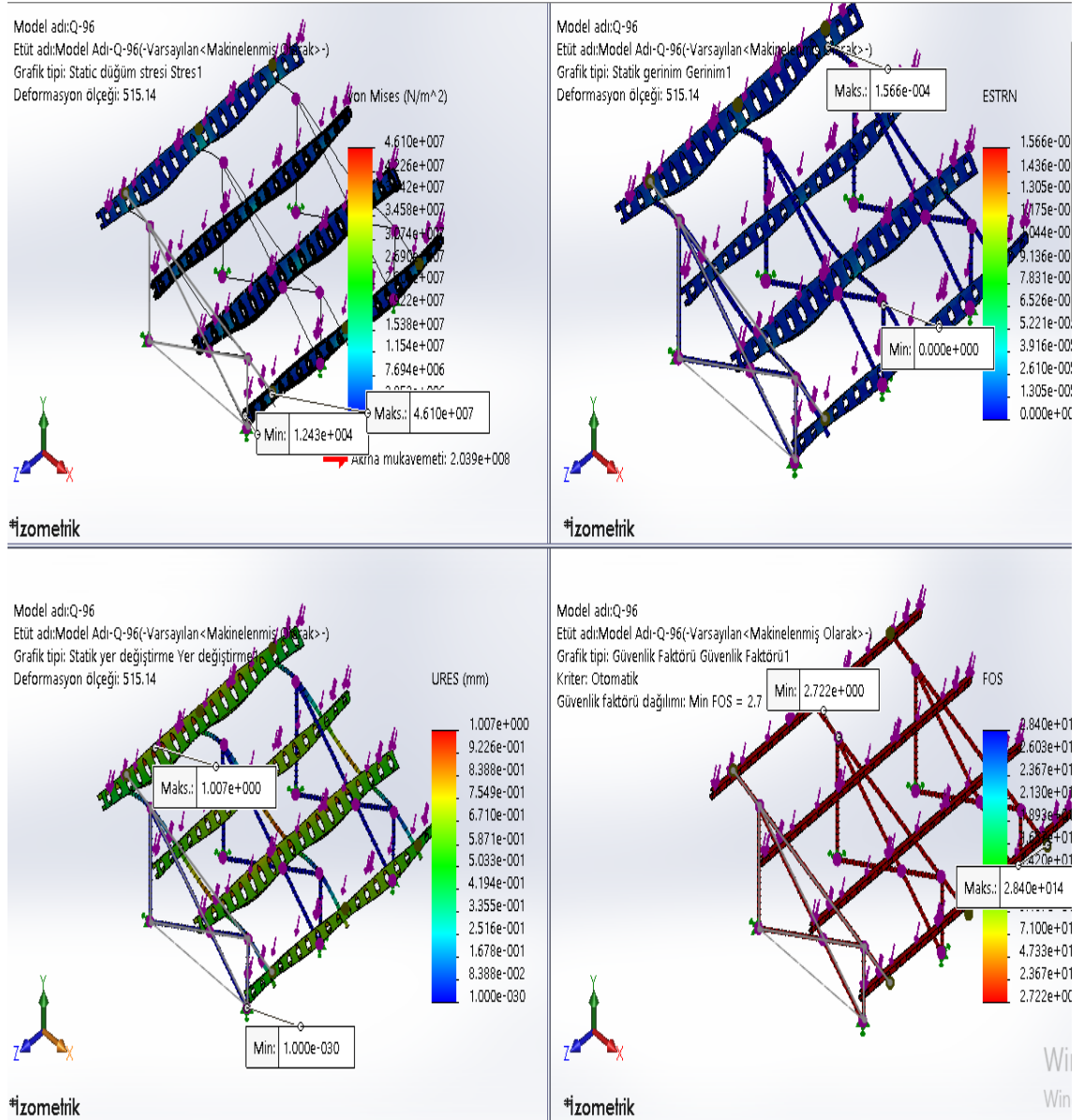
2.4.1.49. Model-Q-94 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.89. Model-Q-94 Sonuçları

Model-Q-94 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değıştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değıerleri Şekil 2.89’da gösterilmiştir.

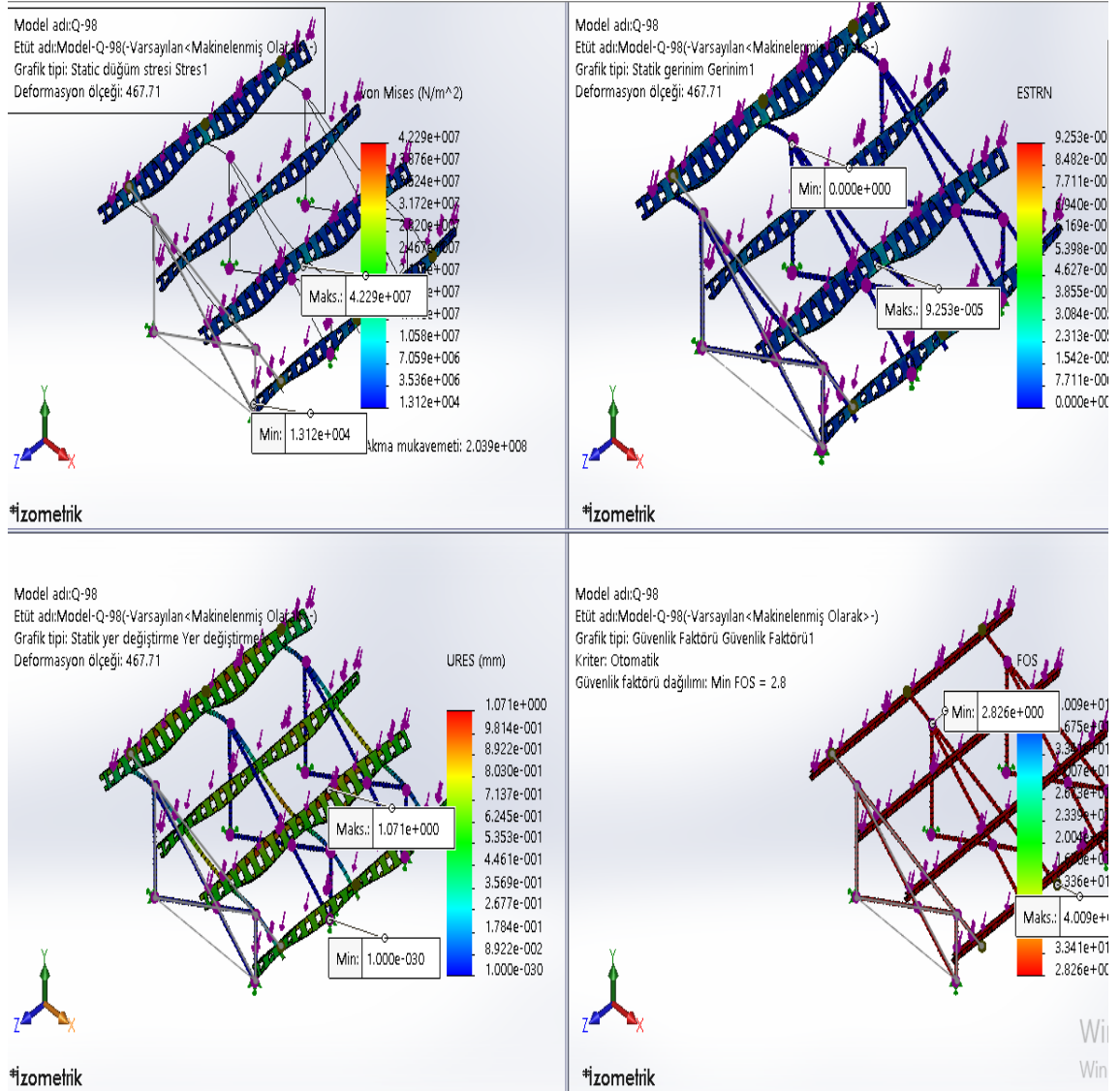
2.4.1.50. Model-Q-96 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.90. Model-Q-96 Sonuçları

Model-Q-96 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.90'da gösterilmiştir.

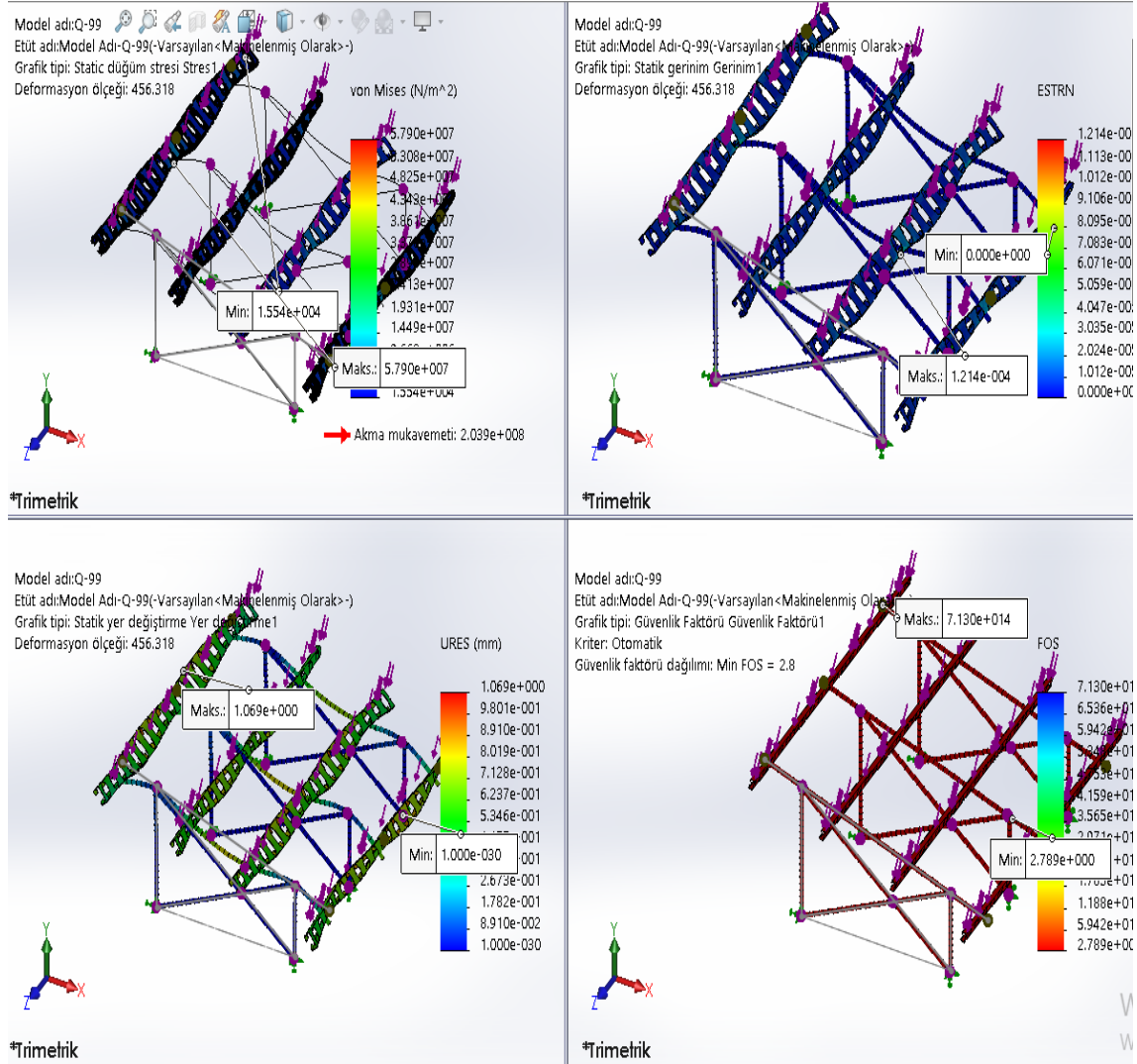
2.4.1.51. Model-Q-98 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.91. Model-Q-98 Sonuçları

Model-Q-98 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik faktörü ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve minimum değerleri Şekil 2.91’de gösterilmiştir.

2.4.1.52. Model-Q-99 Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 2.92. Model-Q-99 Sonuçları

Model-Q-99 statik düğüm stresi, statik gerinim, statik yer değiştirme ve güvenlik fakötür ile ilgili sonuç grafikleri ve her grafiğe ilişkin maximum ve mininum değerleri Şekil 2.92’de gösterilmiştir.

BÖLÜM III
BULGULAR

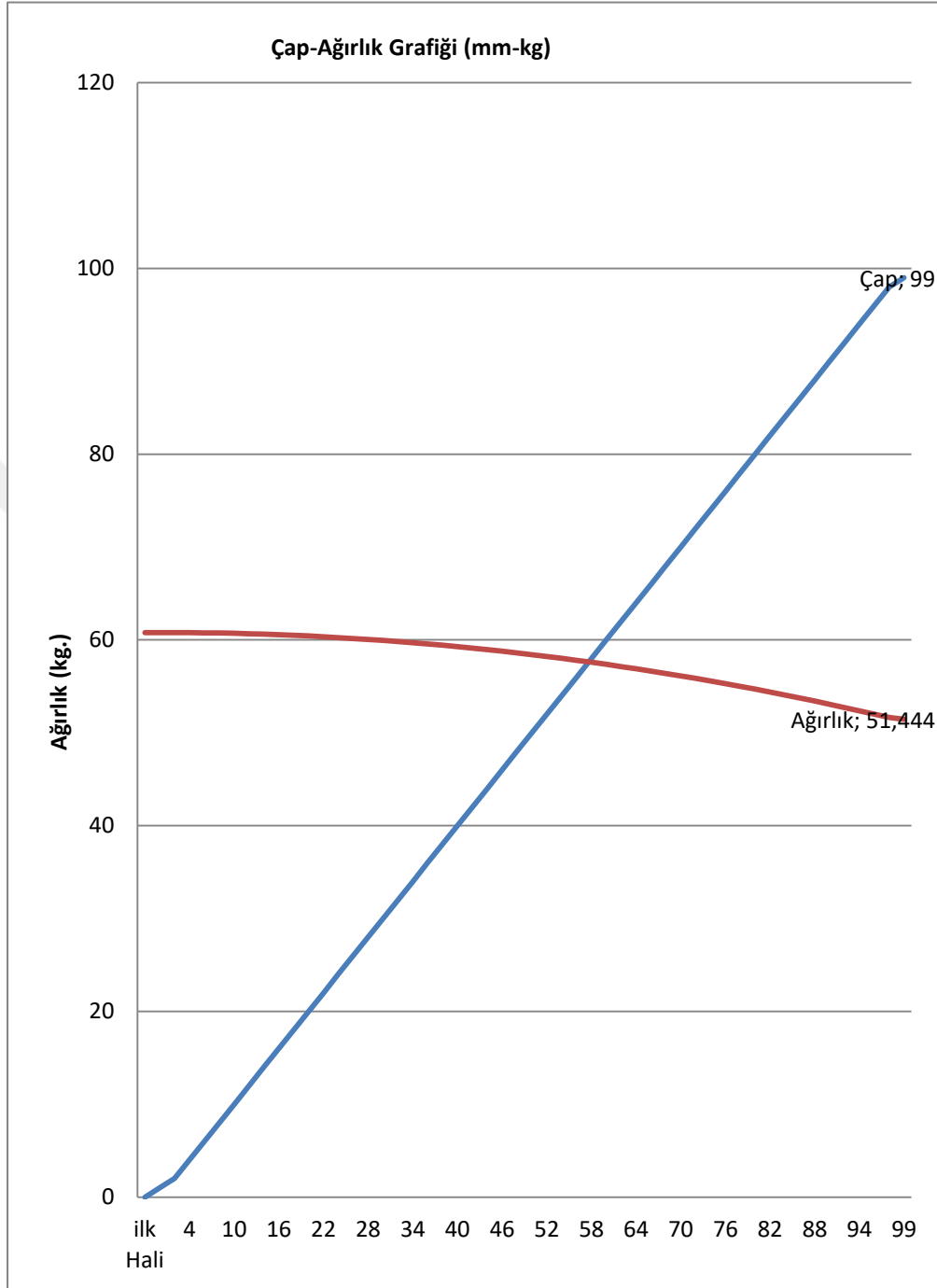
3.1. C Profillerin Ağırlık Hesaplanma Bilgileri

Tablo 3.1. Modellerin Ağırlıklarının Azaltılması İle İlgili Hesaplanma Bilgileri

Hesaplama Bilgileri						
Modelin Adı	Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Çıkarılan Parçanın Adı	Toplam Çıkarılan Parça Sayısı	Çıkarılan Parçanın Ağırlığı (kg)	Kalan Parçanın Ağırlığı (kg)	Açıklama
Model Adı-İlk Hali	İlk Hali	Hayır	Hayır	Hayır	60,800	Referans parçanın (İlk hali)
Model Adı-Q-1	1	Daire	80	0,0009546	60,799	Referans parçanın (alt sınırı)
Model Adı-Q-2	2	Daire	80	0,0038182	60,796	
Model Adı-Q-4	4	Daire	80	0,0152730	60,785	
Model Adı-Q-6	6	Daire	80	0,0343642	60,766	
Model Adı-Q-8	8	Daire	80	0,0610918	60,739	
Model Adı-Q-10	10	Daire	80	0,0954560	60,705	
Model Adı-Q-12	12	Daire	80	0,1374566	60,663	
Model Adı-Q-14	14	Daire	80	0,1870938	60,613	
Model Adı-Q-16	16	Daire	80	0,2443674	60,556	
Model Adı-Q-18	18	Daire	80	0,3092774	60,491	
Model Adı-Q-20	20	Daire	80	0,3818240	60,418	
Model Adı-Q-22	22	Daire	80	0,4620070	60,338	
Model Adı-Q-24	24	Daire	80	0,5498266	60,250	
Model Adı-Q-26	26	Daire	80	0,6452826	60,155	
Model Adı-Q-28	28	Daire	80	0,7483750	60,052	
Model Adı-Q-30	30	Daire	80	0,8591040	59,941	
Model Adı-Q-32	32	Daire	80	0,9774694	59,823	
Model Adı-Q-34	34	Daire	80	1,1034714	59,697	
Model Adı-Q-36	36	Daire	80	1,2371098	59,563	
Model Adı-Q-38	38	Daire	80	1,3783846	59,422	
Model Adı-Q-40	40	Daire	80	1,5272960	59,273	
Model Adı-Q-42	42	Daire	80	1,6838438	59,116	
Model Adı-Q-44	44	Daire	80	1,8480282	58,952	
Model Adı-Q-46	46	Daire	80	2,0198490	58,780	
Model Adı-Q-48	48	Daire	80	2,1993062	58,601	

Hesaplama Bilgileri						
Modelin Adı	Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Çıkarılan Parçanın Adı	Toplam Çıkarılan Parça Sayısı	Çıkarılan Parçanın Ağırlığı (kg)	Kalan Parçanın Ağırlığı (kg)	Açıklama
Model Adı-Q-50	50	Daire	80	2,3864000	58,414	
Model Adı-Q-52	52	Daire	80	2,5811302	58,219	
Model Adı-Q-54	54	Daire	80	2,7834970	58,017	
Model Adı-Q-56	56	Daire	80	2,9935002	57,806	
Model Adı-Q-58	58	Daire	80	3,2111398	57,589	
Model Adı-Q-60	60	Daire	80	3,4364160	57,364	
Model Adı-Q-62	62	Daire	80	3,6693286	57,131	
Model Adı-Q-64	64	Daire	80	3,9098778	56,890	
Model Adı-Q-66	66	Daire	80	4,1580634	56,642	
Model Adı-Q-68	68	Daire	80	4,4138854	56,386	
Model Adı-Q-70	70	Daire	80	4,6773440	56,123	
Model Adı-Q-72	72	Daire	80	4,9484390	55,852	
Model Adı-Q-74	74	Daire	80	5,2271706	55,573	
Model Adı-Q-76	76	Daire	80	5,5135386	55,286	
Model Adı-Q-78	78	Daire	80	5,8075430	54,992	
Model Adı-Q-80	80	Daire	80	6,1091840	54,691	
Model Adı-Q-82	82	Daire	80	6,4184614	54,382	
Model Adı-Q-84	84	Daire	80	6,7353754	54,065	
Model Adı-Q-86	86	Daire	80	7,0599258	53,740	
Model Adı-Q-88	88	Daire	80	7,3921126	53,408	
Model Adı-Q-90	90	Daire	80	7,7319360	53,068	
Model Adı-Q-92	92	Daire	80	8,0793958	52,721	
Model Adı-Q-94	94	Daire	80	8,4344922	52,366	
Model Adı-Q-96	96	Daire	80	8,7972250	52,003	
Model Adı-Q-98	98	Daire	80	9,1675942	51,632	
Model Adı-Q-99	99	Daire	80	9,3556426	51,444	Referans parçanı (üst sınırı)

3.2. Modellerin Ağırlıklarının Azaltılmış Grafiği



Şekil 3.1. Modellerin Ağırlıklarının Azaltılmış Grafiği

3.3. İmalatçıya Önerilen “ Model-Q-90 “ Ağırlık Hesabı

Optimizasyon süreci sonunda imalatçıya önerilen;“ Model-Q-90 “ adlı modeldir.

Önerilen modelde çıkarılan dairenin Q (çapı) = 90 mm

Yukarda verilen bilgilere göre optimizasyon kullanılmak üzere;

Dairesel form şeklinde ağırlığı azaltılmış bir adet 400 mm C profilinin ağırlığı:

$$Pi = 3.14$$

$$Q (\text{çap}) = 90 \text{ mm}$$

$$15,200 - [20 \times 7,6 \times 23,14 \times (90 \div 2) \times (90 \div 2)] / 100^3 = (15,200 - 1,932984)$$
$$= 13,267 \text{ kg}$$

Modelde kullanılan 4 adet C profilinin toplam ağırlığı = 60,800 kg

Optimizasyonda kullanılmak üzere çıkarılmış 80 dairel form şeklinde ağırlığı

azaltılmış 4 adet C profilinin ağırlığı = (4 × 13,267016) = 53,068 kg

3.4. İmalatçıya Önerilen “ Model -Q- 90 “ Kazanç Miktarı

Optimizasyon sonunda imalatçıya önerilen “Model-Q-90“ adlı modele göre kazanç miktarı:

Kazanç = Toplam ağırlık – Önerilen modelin ağırlığı

$$= 60,800 - 53,068 = 7,732 \text{ kg}$$

Yüzde kazanç = $7,732 \times 100 / 60,800 = \% 12.717$

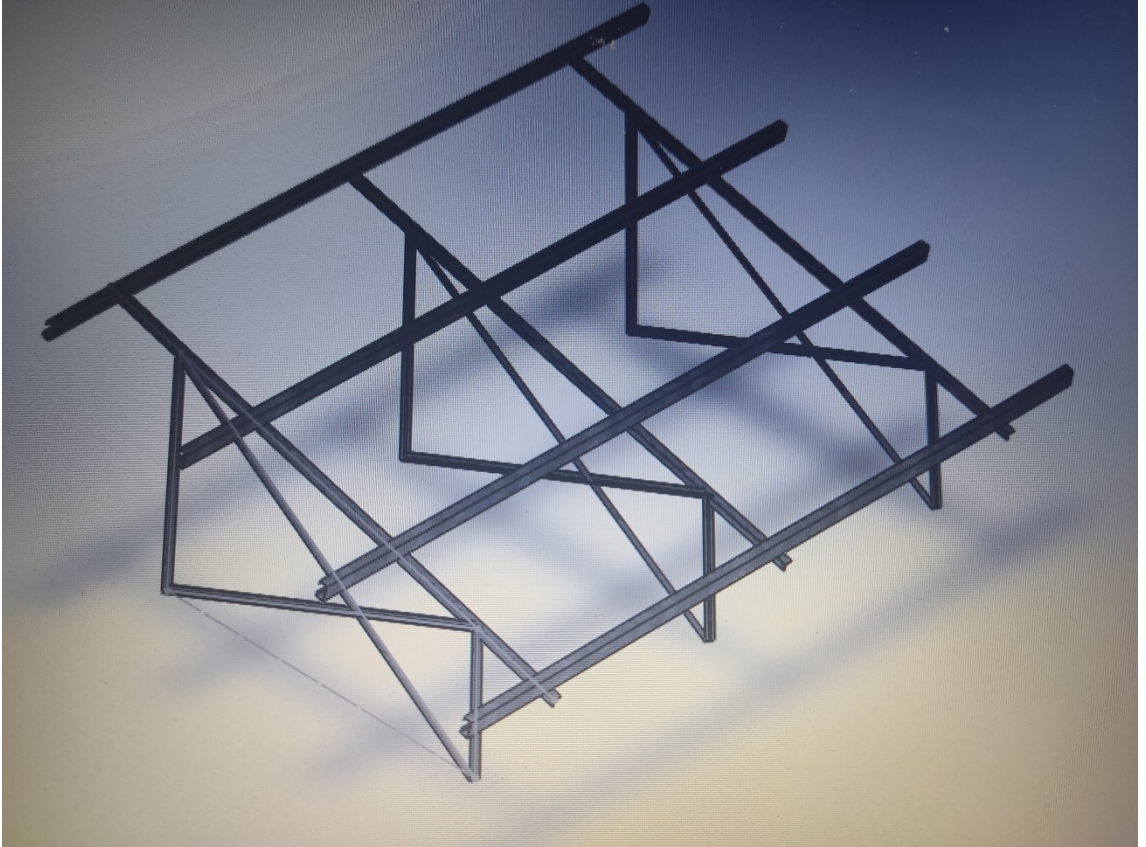
3.5. Modelin Panelsiz İz Düşüm Alanı

Modelin panelsiz iz düşüm alanı ;

Boyu = 4000 mm

Eni = 3111 mm

Modelin İz düşüm alanı = $12444000 \text{ mm}^2 = 12,44 \text{ m}^2$



Şekil 3.2. Modelin Panelsiz İz Düşüm Alanı

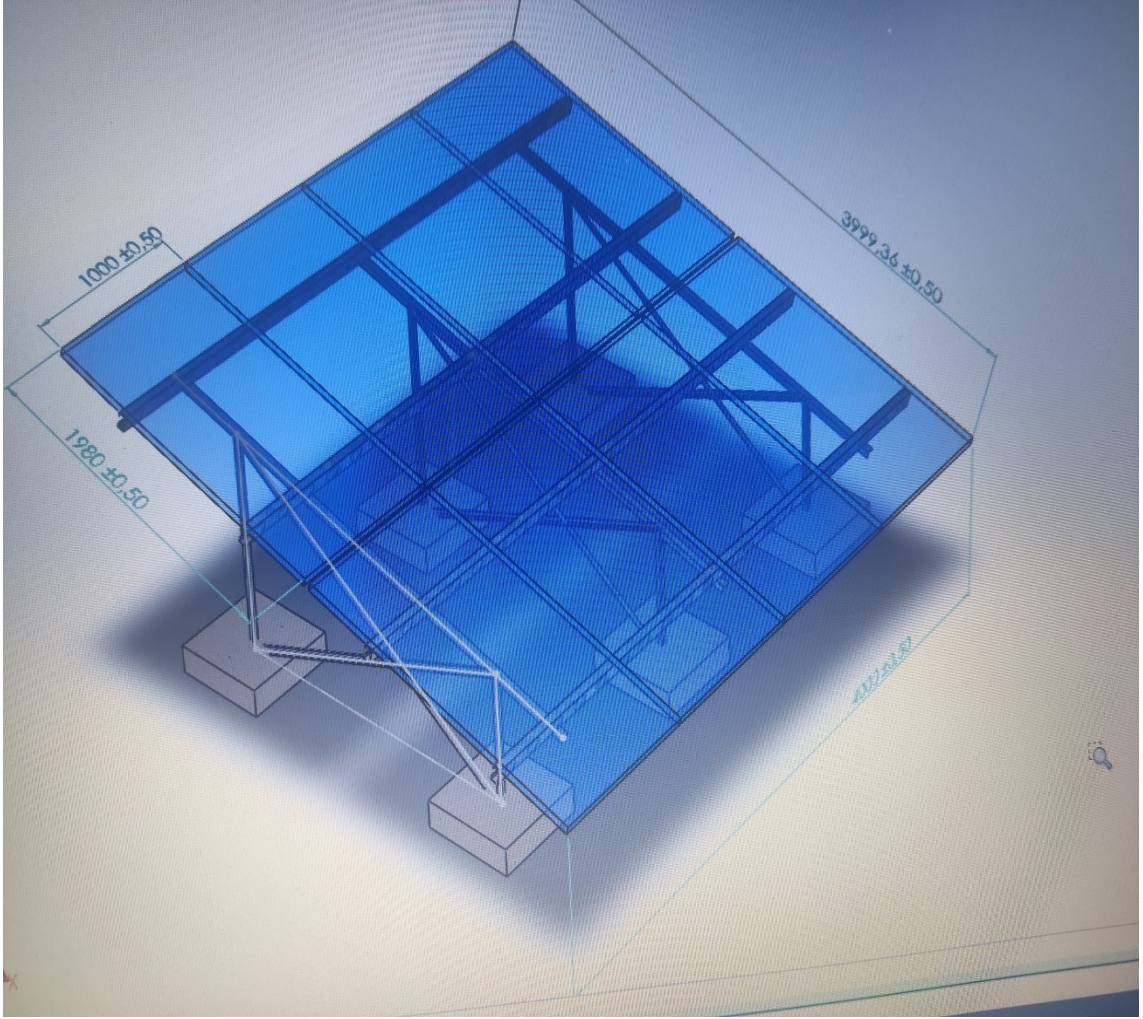
3.6. Modelin Panelli İz Düşüm Alanı

Modelin panelli iz düşüm alanı ;

Boyu = 4000 mm

Eni = 3999,36 mm

Modelin panelli iz düşüm alanı = $15.997,440 \text{ mm}^2 = 15,99 \text{ m}^2$



Şekil 3.3. Modelin Panelli İz Düşüm Alanı

3.7. Daldırma Galvaniz Çeliğin Güncel Birim Fiyatı

Daldırma galvaniz çelik birim ağırlık = 3,80 kg/m (www.solarcelik.com/solar-celik-profilleri-fiyat-listesi , 17.01.2023)

Daldırma galvaniz çelik birim güncel fiyatı = 101 TL/m (www.solarcelik.com/solar-celik-profilleri-fiyat-listesi , 17.01.2023)

3.8. Önerilen Modele Göre Kazanç Miktarı

Önerilen modele göre kazanç miktarı ;

Modelde kullanılan 4 adet C profilinin ağırlığı = 60,800 kg/m

Modelde kullanılan 4 Adet C profilinin toplam uzunluğu 16000 mm = 16 m

Optimizasyon sonucunda önerilen “ Model-Q-90 “ adlı modelin ağırlığı = 63,068 kg/m

Ağırlık kazancı = (60,800 - 53,068)= 7,732 kg

Yüzdelerlik kazanç = % 12.717

Maliyet kazancı;

Maliyet kazancı = (Toplam ağırlık – Önerilen modelin ağırlığı)

3,80 kg101 TL olduğuna göre

7,732 kg..... x kaç TL yapar.

$$x = (7,732 \times 101) \div 3,80 = 205,50 \text{ ₺}$$

3.9. Optimizasyon Sonucunda Kurulan Güneş Tarlalarının Dönüm Başlarına Kazançları

Optimizasyon sonucunda kurulan güneş tarlalarının dönüm başlarına kazançları;

15,99 m² de kazanç.....205,50 TL olduğuna göre
100 m² de kazanç..... x kaç TL yapar.

$$x = (100 \times 205,50) \div 15,99 = 1.285,17 \text{ ₺}$$

100 m² de kazanç1285,17 TL olduğuna göre
1000 m² de (1 dönümde) kazanç..... x kaç TL yapar.

$$x = (1000 \times 1285,17) \div 100 = 12.851,7 \text{ ₺}$$

1000 m² de (1 dönümde) kazanç.....12.851,7 TL olduğuna göre
10000 m² de (10 dönümde)..... x kaç TL yapar.

$$x = (10.000 \times 12.851,7) \div 1000 = 128.517,00 \text{ ₺}$$

3.10. Yabancı Para Cinsinden Kazanç Hesabı

10000 m²'de (10 dönümde) 128.517,00 TL kazanç sağlanmaktadır.

Dolar olarak kazanç;

1 Dolar18,7799 TL ise (Mobil halk yatırım, 30.01.2023, 00.10).
x Dolar.....128.517,00 TL

$$x = (128.517,00 \times 1) \div 18,7799 = 6.843.327,17 \$$$

Euro olarak kazanç;

1 Euro.....20,6350 TL ise (Mobil halk yatırım, 30.01.2023, 00.20)
x Euro.....128.517,00 TL

$$x = (128.517,00 \times 1) \div 20.635 = 6.228.107,58 €$$

3.11. Grafiklerin Açıklanması

Model bileşenlerinden biri olan C profillerindeki optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkartılacak dairelerin çapları artıkça modelin toplam ağırlığı azalmaktadır.

Model bileşenlerinden biri olan C profillerindeki optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkartılacak dairelerin çapları artıkça statik düğüm noktalarında yani elemanların birleşim noktalarında yük daha fazla hissedildiğinden düğüm noktalarında stres artmaktadır.

Model bileşenlerinden biri olan C profillerindeki optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkartılacak dairelerin çapları artıkça kalan alanlardaki yüke maruz kalan pikseller mantığı ile oluşan alanlarda, yüke bağlı olarak noktalar birbirlerini ittiğinden statik gerinim oluşmakta ve genelde artmaktadır.

Model bileşenlerinden biri olan C profillerindeki optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkartılacak dairelerin çapları artıkça kalan alanlardaki yüke maruz kalan pikseller mantığı ile oluşan alanlarda, yüke bağlı olarak noktalar birbirlerini ittiğinden dik uygulanan kuvvete bağlı olarak parçanın bulunduğu ekseninde yatay olarak yerdeğiştirmesinden dolayı statik yer değiştirmeler de genelde artmaktadır.

Model bileşenlerinden biri olan C profillerindeki optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkartılacak dairelerin çapları artıkça kalan alanlardaki yüke maruz kaldığından güvenlik katsayısı genelde düşmektedir. Modellere uygulanan kuvvet düşürüldüğünde emniyet katsayısı da artmaktadır.

Model bileşenlerinden biri olan C profillerindeki optimizasyona tabi tutulan alanlardan çıkartılacak dairelerin çapları artıkça kalan alanlardaki yüke maruz kalan alan azaldıkça deformasyon ölçeği de genelde düşmektedir.

Tablo 3.2. Çap Ağırlık Veri Seti

Çap-Ağırlık Veri Seti				
Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Ağırlık (kg)	Çapı (mm)	Ağırlık (kg)	Açıklama
ilk Hali	60,800	50	58,414	Referans parçanın (İlk hali)
1	60,799	52	58,219	Referans parçanın (alt sınırı)
2	60,796	54	58,017	
4	60,785	56	57,806	
6	60,766	58	57,589	
8	60,739	60	57,364	
10	60,705	62	57,131	
12	60,663	64	56,890	
14	60,613	66	56,642	
16	60,556	68	56,386	
18	60,491	70	56,123	
20	60,418	72	55,852	
22	60,338	74	55,573	
24	60,250	76	55,286	
26	60,155	78	54,992	
28	60,052	80	54,691	
30	59,941	82	54,382	
32	59,823	84	54,065	
34	59,697	86	53,740	
36	59,563	88	53,408	
38	59,422	90	53,068	
40	59,273	92	52,721	
42	59,116	94	52,366	
44	58,952	96	52,003	
46	58,780	98	51,632	
48	58,601	99	51,444	Referans parçanın (üst sınırı)

Tablo 3.3. ap Statik Gerinim Veri Seti

ap- Statik Gerinim Veri Seti				
Çıkarılan Parçanın apı (mm)	Statik Gerinim (ESTRN)	apı (mm)	Statik Gerinim (ESTRN)	Açıklama
ilk Hali	5257e -005	50	4958e -005	Referans parçanın (İlk hali)
1	3790e -005	52	5158e -005	Referans parçanın (alt sınırı)
2	3424e -005	54	5146e -005	
4	3919e -005	56	5623e -005	
6	2988e -005	58	6498e -005	
8	2954e -005	60	6675e -005	
10	3692e -005	62	6132e -005	
12	3440e -005	64	7343e -005	
14	3652e -005	66	7603e -005	
16	3801e -005	68	8263e -005	
18	2803e -005	70	8202e -005	
20	2656e -005	72	8612e -005	
22	3095e -005	74	8812e -005	
24	3422e -005	76	1194e -004	
26	2832e -005	78	1384e -004	
28	4022e -005	80	1571e -004	
30	3717e -005	82	1843e -004	
32	3197e -005	84	1830e -004	
34	3057e -005	86	1896e -004	
36	3274e -005	88	1706e -004	
38	3127e -005	90	1632e -004	
40	4087e -005	92	1566e -004	
42	3129e -005	94	1739e -004	
44	3218e -005	96	1566e -004	
46	3293e -005	98	9253e -004	
48	5012e -005	99	1214e -004	Referans parçanın (üst sınırı)

Tablo 3.4. Çap Güvenlik Katsayısı Veri Seti

Çap - Güvelik Katsayısı Veri Seti				
Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Güvenlik Katsayısı (FOS)	Çapı (mm)	Güvenlik Katsayısı (FOS)	Açıklama
ilk Hali	2,8	50	2,8	Referans parçanın (İlk hali)
1	3,2	52	2,8	Referans parçanın (alt sınırı)
2	3,2	54	2,8	
4	3,2	56	2,8	
6	3,2	58	2,7	
8	3,2	60	2,7	
10	3,2	62	2,8	
12	3,2	64	2,9	
14	3,2	66	2,8	
16	3,2	68	2,7	
18	3,2	70	2,8	
20	3,2	72	2,8	
22	3,2	74	2,7	
24	3,2	76	2,8	
26	3,2	78	2,7	
28	3,2	80	2,7	
30	3,2	82	2,7	
32	3,2	84	2,7	
34	3,2	86	2,8	
36	3,2	88	2,8	
38	3,2	90	2,8	
40	3,2	92	2,7	
42	3,2	94	2,8	
44	3,2	96	2,7	
46	3,2	98	2,8	
48	2,8	99	2,8	Referans parçanın (üst sınırı)

Tablo 3.5. Çap Deformasyon Ölçeği Veri Seti

Çap - Deformasyon Ölçeği Veri Seti				
Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Deformasyon Ölçeği	Çapı (mm)	Deformasyon Ölçeği	Açıklama
ilk Hali	583,709	50	538,291	Referans parçanın (İlk hali)
1	633,592	52	547,049	Referans parçanın (alt sınırı)
2	632,524	54	535,991	
4	638,503	56	571,599	
6	640,858	58	551,450	
8	636,971	60	545,281	
10	625,361	62	535,731	
12	641,364	64	570,514	
14	613,593	66	563,813	
16	628,853	68	537,201	
18	646,463	70	529,589	
20	646,638	72	534,534	
22	632,379	74	530,755	
24	616,171	76	530,562	
26	646,363	78	529,631	
28	627,248	80	510,211	
30	633,628	82	496,912	
32	642,435	84	497,111	
34	641,460	86	489,478	
36	646,379	88	484,973	
38	636,973	90	470,981	
40	622,231	92	515,140	
42	632,415	94	459,023	
44	638,087	96	515,140	
46	630,140	98	467,710	
48	542,905	99	456,318	Referans parçanın (üst sınırı)

Tablo 3.6. Çap Statik Dügüm Stresi Veri Seti

Çap - Statik Dügüm Stresi Veri Seti				
Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Statik Dügüm Stresi (N/m²)	Çapı (mm)	Statik Dügüm Stresi (N/m²)	Açıklama
İlk Hali	1836e +007	50	1678e +007	Referans parçanın (İlk hali)
1	1259e +007	52	1804e +007	Referans parçanın (alt sınırı)
2	1025e +007	54	1802e +007	
4	1148e +007	56	1964e +007	
6	9052e +006	58	2058e +007	
8	1134e +007	60	2350e +007	
10	1842e +007	62	2177e +007	
12	1091e +007	64	2610e +007	
14	1108e +007	66	2872e +007	
16	1365e +007	68	3199e +007	
18	8286e +006	70	2891e +007	
20	7981e +006	72	3229e +007	
22	8854e +006	74	3061e +007	
24	9906e +006	76	3636e +007	
26	2262e +004	78	4191e +007	
28	1288e +007	80	4579e +007	
30	1121e +007	82	5405e +007	
32	9752e +006	84	5387e +007	
34	9046e +006	86	53,98e +007	
36	9770e +006	88	5605e +007	
38	9973e +006	90	5926e +007	
40	1187e +007	92	4610e +007	
42	9134e +006	94	4933e +007	
44	9938e +006	96	4610e +007	
46	1089e +007	98	4229e +007	
48	1691e +007	99	5990e +007	Referans parçanın (üst sınırı)

Tablo 3.7. Çap Statik Yer Değişirme Veri Seti

Çap - Statik Yer Değişirme Veri Seti				
Çıkarılan Parçanın Çapı (mm)	Statik Yer Değişirme URES (mm)	Çapı (mm)	Statik Yer Değişirme URES (mm)	Açıklama
İlk Hali	8915e -001	50	8860e -001	Referans parçanın (İlk hali)
1	7390e -001	52	8877e -001	Referans parçanın (alt sınırı)
2	7257e -001	54	8970e -001	
4	7382e -001	56	8899e -001	
6	7310e -001	58	9035e -001	
8	7329e -001	60	9099e -001	
10	7352e -001	62	9145e - 001	
12	7290e -001	64	9220e -001	
14	7325e -001	66	8965e -001	
16	7338e -001	68	9345e -001	
18	7361e -001	70	9473e -001	
20	7123e -001	72	9470e -001	
22	7082e -001	74	8979e -001	
24	7203e -001	76	9235e -001	
26	7400e -001	78	9728e -001	
28	7307e -001	80	1008e +000	
30	7291e -001	82	1040e +000	
32	7217e -001	84	1058e +000	
34	7391e -001	86	1040e +000	
36	7378e -001	88	1013e +000	
38	7374e -001	90	1092e +000	
40	7490e -001	92	1007e +000	
42	7243e -001	94	1131e +000	
44	7371e -001	96	1007e +000	
46	7411e -001	98	1071e +000	
48	8835e -001	99	1069e +000	Referans parçanın (üst sınırı)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yapısal ve topoloji optimizasyon yöntemlerini kullanarak güneş panellerinin çelik konstrüksiyondaki C profilleri, tecrübelerle dayalı olarak oluşturulan parçanın ilk model hali, alt kısıtlama uygulanacak model ve üst kısıtlama uygulanacak modelleri referans olarak kabul edip diğer modelleri de tasarım değişkeni olarak düşünüldükten sonra, bir amaç fonksiyonu doğrultusunda tüm modelleri sonlu elemanlar analizine tabi tutarak ağırlıklarının azaltılması yoluna gidilmiştir.

Sonlu eleman analizi uygulanan 52 modelin; statik düğüm stresi, statik gerinimi, statik yer değişimi ve güvenlik faktörleri sonuç grafikleri oluşturulmuş olup en yüksek değerleri tablolarda gösterilmiştir.

Bu çalışmada bir amaç fonksiyonu doğrultusunda optimizasyonu yapılan modellerin maliyetlerini düşürme, en iyi performans ürünü, yük altında veya tercih edilen malzeme ile değişen çevresel faktörlere maruz kaldığında tasarımın doğru tepki vermesi düşünülmüştür.

Bu çalışmada optimizasyonu gerçekleştirilen modellerdeki 4 adet C profillerin ;

Toplam ağırlığı = 60,800 kg

Alt kısıtlama uygulanan referans modeldeki toplam ağırlığı = 60,799 kg

Üst kısıtlama uygulanan referans modeldeki toplam ağırlığı = 51,444 kg

Önerilen “Model Adı-Q-90” adlandırılan modelin toplam ağırlığı = 53,068 kg

Kazanç : $60,799 - 53,068 = 7,732$ kg

Ağırlık ve maliyetteki kazanç : % 12,717

Optimum tasarımlar, ürün paydaşlarına ciddi katkılar sağladığı sonucunu gösterebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Albak, E. İ., (2019). Formula SAE Aracında Ağırlık Azaltılmasına Yönelik Fren Pedalının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Optimum Tasarımı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt 11, Sayı 1, 328 – 334.
- Balkan, A., (2018). Ticari araç sürücü koltuğunda yapısal optimizasyon ile hafiflik (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).
- Bendsoe, M.P. and Kikuchi, N., (1988). Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Computational Methods Application Mechanics Engineering*, 71(2), 197-224. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(88\)90086-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(88)90086-2).
- Bendse, M. P. and Sigmund, O., (2004). *Topology optimization: theory, methods and applications*, Springer, New York. doi: 10.1007/978-3-662-05086-6.
- Bozbuğa, F., Eren, O., & Börklü, H. R. Bisiklet Arka Şok Emici Braketinin Geometrik Optimizasyonu ve Eklemeli İmalat İçin Tasarımı.
- Chiandussi, G., Gaviglio, I. and Ibba, A., (2004). Topology optimisation of an automotive component without final volume constraint specification, *Advances in Engineering Software*, 35, 609–617. doi:10.1016/j.advengsoft.2003.07.002.
- Dede, G. & Özcanlı, M., (2016). Şehirler arası Otobüslerde APTA ve FMVSS Standartları'na Uygun Farklı Koltuk Yapısı Dizaynları ile Ağırlık Azaltılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 243-256.
- Demir, C. & Bozdemir, M., (2019). İnsansız Kara Aracı Tasarımında Ağırlık Oranı Metodu Kullanımı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5(1), 32-45.
- Demirci,S.,(2011). Rüzgar türbini göbeğinin yapısal tasarımı ve optimizasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Dener, B., (2021). Çarpışma sönümleyici konstrüksiyonun yapısal optimizasyon yöntemleri kullanılarak hafifletilmesi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Doğru, M. H., (2019). Çoklu Yükleme Koşulları Altında Kamyon Şasisinin Topoloji Optimizasyonu. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 6, No: 3, 856-867.

- Duddeck, F., (2008) Multidisciplinary optimization of car bodies. Structural and Multidisciplinary Optimization, 35, 375-389. doi:10.1007/s00158-007-0130-6.
- Erden, s., & yalçınkaya, ö. Ü. S. Bölüm 5 uçak koltuğunun yapısal analizi ve topoloji optimizasyonu. Mühendislik alanında, 121.
- Eren, İ., (2002). Araçlarda çarpışma etkisini direk karşılayan şasi ön kolonlarının tepki kuvveti-enerji yutma optimizasyonu.
- Fujii, T., Shibuya, S., Sato, Y., Jankowski, U., M'uller-Bechtel, M. and Schneider, P., (2004). New Body in White Concept through Topology Optimisation, Verein Deutscher Ingenieure (VDI)- Berichte, Nr. 1846.
- Halkbankası mobil yatırım , (30.01.2023).
- Help.solidworks.com , (16.01.2023).
- Hızır,O.G. Askeri Gemilerde Helikopter Güvertesinin Yapısal Ağırlık Optimizasyonu. (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kahraman, F., (2020). Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma. European Journal of Science and Technology, No.20, pp.623-631.
- Karaoğlan, M. U., Tunalı, Ö. Y., Kurulay, N. S.,(2016). Hafif Hizmet Aracı Şasi Analizi ve Optimizasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 18, Sayı 54, 502-512.
- Keten, A., (2020). Direksiyon mafsalının yapısal optimizasyon yöntemleri ile hafifliğinin sağlanması (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey)).
- Küçüköğlu, A., Bağrıyanık, A. O., Bahar, İ., Sirkeci, F., & Yağcı, Y. E. (2020). Hafif Ticari Bir Araç İçin Ön Burun Taşıyıcı Modül Geliştirme. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 25(3), 1315-1324.
- Mortazavi, A.,(2019). Üç Sezgisel Yöntemin Kafes Sistemlerin Topoloji, Geometri ve Boyut Optimizasyonu Üzerinde Performns Karşılaştırması. Muğla Journal of Science and Techlogy, Cilt, Sayı 2, 28-41.
- Optistruct is part of the Altair 2017: Users guide. Altair Engineering, Inc.,Troy, Michigan.

- Özkal, F. M., & Uysal, H., (2009). Evrimsel Yapı Optimizasyonuna Genel Bir Bakış. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(3), 383-393.
- Özsoy, K., Şentürk, E., Aydoğan, D., Korucu, Ö. E. (2020). 3B Yazıcı Teknolojisi İçin Topoloji Optimizasyonu: N95 Maske Üzerine Bir Çalışma. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9 (Özel Sayı), 152-159.
- Rajappan, R., Vivekanandhan, M. 2013. Static and Modal Analysis of Chassis by Using FEA. The International Journal Of Engineering And Science (Ijes), Volume 2, Issue 2,Pages, 63-73.
- Şanlıer, C., Börklü, H. R., Eldem, C., (2021). Dizüstü Bilgisayar Sehpası Tasarımı: Geleneksel Ve Yeni İmalat Yöntemleri için Yapılan Tasarımlar ve Karşılaştırılması. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 5(1), 65-75.
- Şen, Ş., Yaşar, M., Koçar, O., (2018). Dorse Tasarımında Stres Dağılım Analizi ve Topoloji Optimizasyonu. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 8(1): 309-316.
- Topaç, M. M., Özmen, B., Deryal, U., Selbes, O., (2019). Özel Tip Bir Yarı Römork için Bağımsız Süspansiyon Sistemi Tasarımı: Kavramsal Tasarım Çalışmaları. Journal of Polytechnic, 22 (1) : 95-102.
- Volz, K.H. and Zimmer, H. (2007) Optimizing Topology and Shape for Crashworthiness in Vehicle Product Development, IABC International Automotive Body Congress, Berlin.
- Yang, R.J. & Chuang, C.H. (1993). Optimal topology design using linear programming. Structural Optimization. 68, 265-290.
- Yavuzcan, H. G., Önder, M., Keçel, S., Akkurt, A., & Korkmaz, M. S. (2015). Yatık ağız açma ve kalibre etme makinasının yapısal analizi ve ağırlık optimizasyonu. Gazi university journal of science part c: design and technology, 3(3), 555-564.
- Yıldız, A. R., (2017). Taşıt Elamanlarının Yapısal optimisasyon teknikleri ile optimum tasarımı. Journal of Polytechnic, 20 (2): 319-323.
- Yıldızhan, M., (2017). Otomotiv sektöründe iç trim parçalarındaki çarpışma sönümleyicilerin optimizasyonu.

Zhou, M., Pagaldi, N., Thomas, H.L., Shyy, Y.K., “An integrated approach to topology, sizing, and shape optimization”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 26, Issue 5, Pages 308–317, 2004.



EKLER

EK A. Etüt Özellikleri

Etüt adı	Static 1-Q-90
Analiz tipi	Static
Mesh tipi	Karışık Mesh
Termal Etki:	Açık
Termal seçenek	Sıcaklık yüklerini ekle
Sıfır gerilim sıcaklığı	298 Kelvin
SOLIDWORKS Flow Simulation'dan akışkan basınç etkilerini ekle	Kapalı
Çözümleyici tipi	Doğrudan seyrek çözümleyici
Düzlemde Etkisi:	Kapalı
Yumuşak Yay:	Kapalı
Atalet Kabartması:	Kapalı
Uyumsuz bağlama seçenekleri	Otomatik
Büyük yer değiştirme	Kapalı
Serbest gövde kuvvetlerini hesapla	Açık
Sürtünme	Kapalı
Uyumlu Yöntemi Kullan:	Kapalı
Sonuç klasörü	SOLIDWORKS belgesi (C:\Users\cngzbyrm\Desktop\TEZ-EYLÜL-2022\Çıkarılmış Halde\Q-90)

EK B. Birimler

Birim sistemi:	SI (MKS)
Uzunluk/Yer Değiştirme	mm
Sıcaklık	Kelvin
Açısal hız	Rad/sn
Basınç/Gerilim	N/m ²

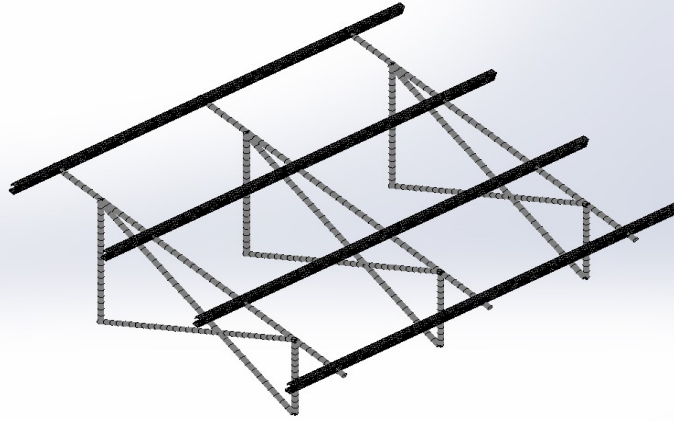
EK C. Mesh Bilgisi

Mesh tipi	Karışık Mesh
Kullanılan Meshleyici:	Karışık eğrilik tabanlı mesh
Jakoben noktalar	4 Noktalar
Kabuk için Jakoben denetimi	Açık
Maksimum eleman boyutu	25.5083 mm
Minimum eleman boyutu	8.50267 mm
Mesh Kalitesi Grafiği	Yüksek

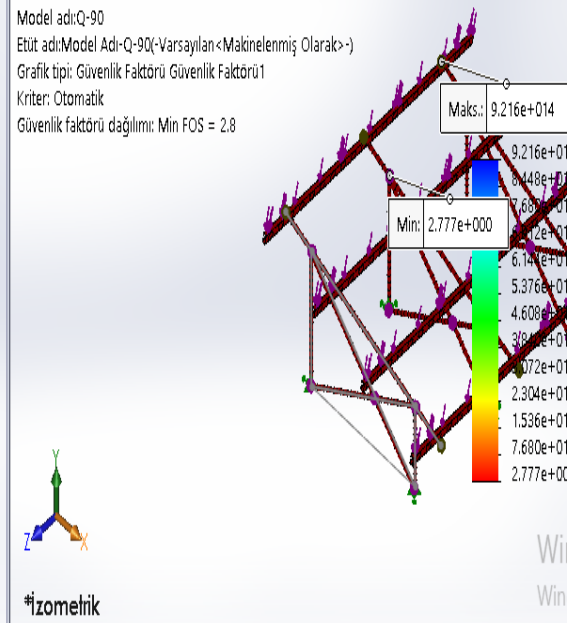
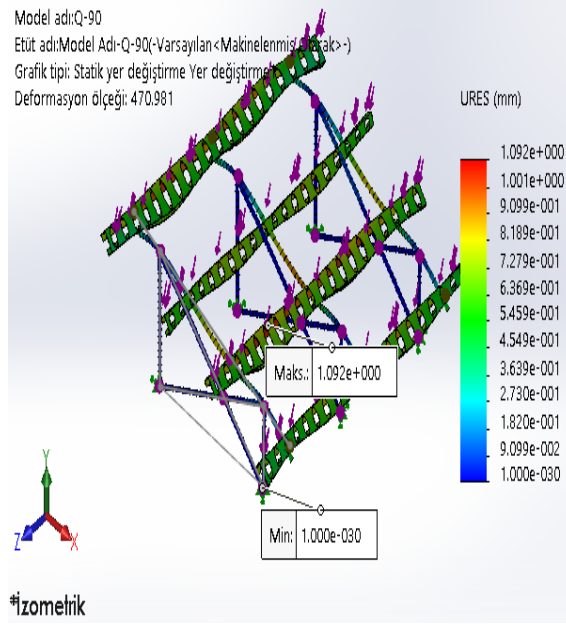
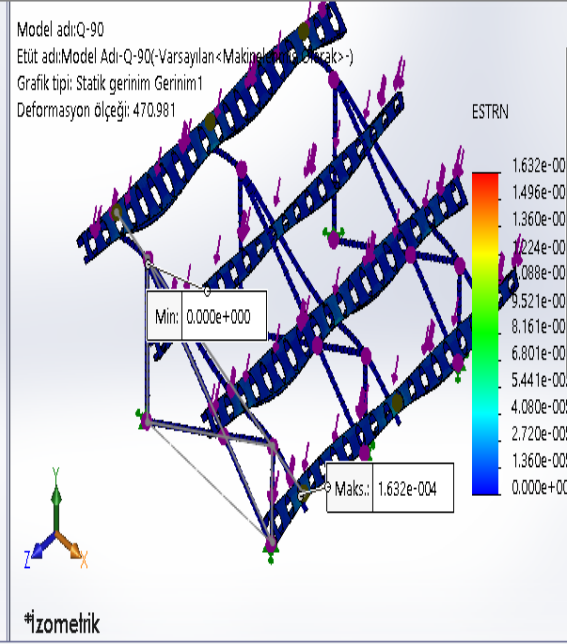
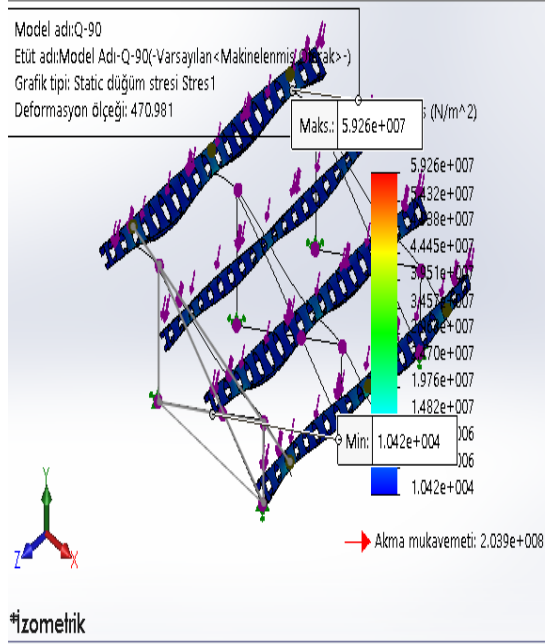
EK Ç. Mesh Bilgisi Detayları

Toplam Düğüm	79175
Toplam Elemanlar	36500
Mesh tamamlama süresi (sa;dk;sn):	00:00:29
Bilgisayar adı:	

Model adı: Q-90
Etüt adı: Static 1 - Q-90 (Varsayılan <Makinelemiş Olarak> -)
Mesh tipi: Karışık Mesh



EK D. Sonuç Grafiği



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cengiz BAYRAM

Eğitim Durumu (Kurum ve Yılı)

Lise : Tarsus Kasım Ekenler Anadolu Ticaret

Meslek Lisesi 1996-2000

Lisans-1 : Mersin Üniversitesi Tarsus Teknik
Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği 2004-2008

Lisans-2 : Mersin Üniversitesi Tarsus Teknik
Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliği 2009-2013

Yüksek Lisans : Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim
Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı 2020-2023

Çalıştığı Kurum ve Yıl

: İSDEMİR 2014-2014

2014-... : MEB –Bilişim Teknolojileri Öğretmenliği