



**ESNEYEREK KİLİTLENEN BAĞLANTI ELEMANLARININ TASARIMI
VE YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) İLE MODELLENMESİ**

Fulya ERDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2019

Fulya ERDEMİR tarafından hazırlanan “ESNEYEREK KİLİTLENEN BAĞLANTI ELEMANLARININ TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) İLE MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Murat Tolga ÖZKAN

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Çetin KARATAŞ

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğretim Üyesi İhsan TOKTAŞ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 12/04/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri 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 herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fulya ERDEMİR

12/04/2019

ESNEYEREK KİLİTLENEN BAĞLANTI ELEMANLARININ TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) İLE MODELLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fulya ERDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2019

ÖZET

Kolay montaj ve demontaj edilebilme özelliğine sahip esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları üretim kolaylığı açısından da avantaj sağlayarak endüstride en çok kullanılan ve üretilen elemanlardan biri olmuştur. Oldukça fazla sayıda kombinasyonu bulunmasına karşın bu çalışma kapsamında C, I, L, S, T ve V tipi olmak üzere 6 tip esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının uygulanan kuvvet karşısında oluşturdukları gerilme, gerinim ve deformasyonları incelenmiştir. PLA (Polilaktik Asit), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PET-G (Polietilen Tereftalat-Glikol) olmak üzere 3 farklı malzeme kullanılarak elde edilen bu bağlantı elemanları parametrik olarak boyutlandırılmıştır. Taguchi metodu kullanılarak deney setleri oluşturulmuş, böylece her bir eleman için yapılacak yaklaşık 1500 deney sayısı 54 deney setine düşürülerek deney işlemi gerçekleştirilmiştir. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan analiz verileri ANOVA analizi ile bir denklem oluşturup/oluşturmama yönünden incelenmiş ve etkili parametreler belirlenmiştir. ANOVA analiz sonuçları değerlendirilmiş, ANSYS yazılımı ile elde edilen veriler kullanılarak Yapay Sinir Ağı ile modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan model ile çeşitli boyutların ve malzeme türlerinin aralığını tahmin etme yeteneği olan bir algoritma oluşturmuştur.

Bilim Kodu : 91406
Anahtar Kelimeler : Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanları (EKBE), Taguchi Metodu, ANOVA Analizi, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), Yapay Sinir Ağları (YSA)
Sayfa Adedi : 108
Danışman : Doç. Dr. Murat Tolga ÖZKAN

SNAP-FITS DESIGN AND MODELING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

(M. Sc. Thesis)

Fulya ERDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2019

ABSTRACT

Snap-fits with easy assembly and disassembly are one of the most widely used and manufactured components in the industry, providing advantages in terms of ease of production. In the scope of this study, the stress, strain and deformations of the 6 types of snap-fits, C, I, L, S, T and V types, were investigated. These fasteners obtained by using 3 different materials such as PLA (Polylactic Acid), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) and PET-G (Polyethylene Terephthalate-Glycol) were dimensioned parametrically. Experimental sets were created by using the Taguchi method so that the number of experiments for each element was reduced to 54 experimental sets and the test was carried out. Analysis data using ANSYS software were analyzed with ANOVA analysis to determine whether or not to create an equation and effective parameters were determined. ANOVA analysis results were evaluated and modeled with Artificial Neural Network by using the data obtained with ANSYS writing. With the model created, an algorithm has been formed which has the ability to estimate the range of various sizes and types of materials.

Science Code : 91406

Key Words : Snap-fits, Taguchi Method, ANOVA Analysis, Finite Element Analysis (FEA), Artificial Neural Networks (ANN)

Page Number : 108

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Murat Tolga ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım sırasında her yÖnden beni destekleyen, yÖnlendiren ve sorunlarıma bıkmadan çözüm üreten danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Murat Tolga ÖZKAN'a teŐekkürü bir borç bilirim. Ayrıca hayatımdaki en büyük destekçilerim annem Kibariye ERDEMİR ve babam Mümin ERDEMİR'e teŐekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE KAPSAMI.....	5
2.1. Literatür Araştırması	5
2.2. Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi	10
3. ESNEYEREK KİLİTLENEN BAĞLANTI ELEMANLARI	11
3.1. Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanları	11
3.1.1. Kiriş tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları	12
3.1.2. Çevresel olarak kilitlenme işlemi gerçekleştiren bağlantı elemanları	13
3.1.3. Burulma ile kilitlenme işlemi gerçekleştiren bağlantı elemanları	13
3.2. Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanlarının Tasarım Kriterleri	14
3.2.1. Makine elemanlarında gerilme.....	14
3.2.2. Makine elemanlarında gerinim	15
3.2.3. Makine elemanlarında gerilme- gerinim ilişkisi	15
3.2.4. Makine elemanlarında deformasyon.....	16
3.2.5. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının tasarım hesapları.....	17
3.2.6. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarında malzeme seçimi	21
4. TASARIM, ANALİZ VE MODELLEME	25

	Sayfa
4.1. Katı Modelleme ve Analiz Kapsamı	25
4.1.1. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının tanımlanması	25
4.1.2. Katı Modellerin Hazırlanması.....	29
4.1.3. Taguchi metodu.....	39
4.2. Sonlu Elemanlar Analizi ve Kapsamı	46
4.2.1. Sonlu elemanlar analizi.....	47
4.2.2. Mesh optimizasyonu	51
4.2.3. Analizin yapılması	53
4.3. Varyans (Anova) Analizi ve Uygulanması	74
4.4. Yapay Sinir Ağlarıyla Modelleme ve Kapsamı	78
4.4.1. Yapay sinir ağları (YSA)	78
4.4.2. Yapay sinir ağları ile modellemenin yapılması.....	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
5.1. Sonuçlar ve Tartışma.....	95
5.2. Öneriler	102
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	107

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Farklı kesit tipleri için sehim formüllerinin gösterimi.....	19
Çizelge 3.2. Malzeme özellikleri	24
Çizelge 4.1. Taguchi modeli için belirlenen parametre değerleri	40
Çizelge 4.2. C, I, L, S ve T tırnak tipi için oluşturulan deney setleri	41
Çizelge 4.3. V tırnak tipi için oluşturulan deney setleri	42
Çizelge 4.4. C tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri	43
Çizelge 4.5. I tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri	45
Çizelge 4.6. L tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri	45
Çizelge 4.7. S tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri	45
Çizelge 4.8. T tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri	46
Çizelge 4.9. V tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri.....	46
Çizelge 4.10. C tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi.....	75
Çizelge 4.11. I tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi	75
Çizelge 4.12. L tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi	76
Çizelge 4.13. S tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi	76
Çizelge 4.14. T tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi	77
Çizelge 4.15. V tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi.....	77
Çizelge 5.1. Malzeme etkisi için oluşturulan deney setleri tablosu.....	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının kullanımına ait örnekler	11
Şekil 3.2. EKBE şematize edilmiş hali	12
Şekil 3.3. Kiriş tipi bağlantı şekilleri	13
Şekil 3.4. Çevresel olarak kilitlenen bağlantı şekilleri	13
Şekil 3.5. Burulma ile kilitlenen bağlantı şekilleri	14
Şekil 3.6. Bir ankastre bağlantı elemanının parametrelerinin gösterimi.....	16
Şekil 3.7. Kiriş tipi bağlantı elemanı boyutsal parametrelerin gösterimi	18
Şekil 3.8. Çevresel kilitlenen bağlantı elemanı boyutsal parametrelerin gösterimi.....	18
Şekil 3.9. Burulma ile kilitlenen bağlantı elemanı boyutsal parametrelerin gösterimi...	18
Şekil 3.10. Montaj işlemi sırasında maruz kalınan kuvvetlerin şematik gösterimi	20
Şekil 3.11. Sürtünme katsayısı ile ayrılma açısı arasındaki ilişki grafiği	21
Şekil 3.12. ABS plastik malzemesi.....	22
Şekil 3.13. PETG plastik malzemesi.....	23
Şekil 3.14. PLA plastik malzemesi	24
Şekil 4.1. C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması	26
Şekil 4.2. I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması.....	26
Şekil 4.3. L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması.....	27
Şekil 4.4. S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması.....	27
Şekil 4.5. T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması.....	28
Şekil 4.6. V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması	28
Şekil 4.7. ANSYS çalışma sayfasında uygun analiz yönteminin seçimi	29
Şekil 4.8. ANSYS çalışma sayfasında Design modeler sayfasının açılması	30
Şekil 4.9. Design modeler çalışma sayfası.....	30
Şekil 4.10. Design modeler çalışma sayfası Extrude komutu kullanımı	31
Şekil 4.11. Design modeler çalışma sayfası katı model oluşturma.....	31

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. Design modeler çalışma sayfası çıkıntı oluşturma işlemi.....	32
Şekil 4.13. C tipi bağlantı elemanının nihai görünüşü.....	32
Şekil 4.14. C tipi bağlantı elemanı için PLA malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	33
Şekil 4.15. C tipi bağlantı elemanı için ABS malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	33
Şekil 4.16. C tipi bağlantı elemanı için PETG malzeme özelliklerinin tanımlanması ...	34
Şekil 4.17. I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları.....	35
Şekil 4.18. L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları.....	36
Şekil 4.19. S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları.....	37
Şekil 4.20. T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları.....	38
Şekil 4.21. V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları	39
Şekil 4.22. C tipi bağlantı elemanı S/N-Level grafikleri	44
Şekil 4.23. Ana elemanın gösterimi [45].	48
Şekil 4.24. Mesh yapılarının gösterimi	51
Şekil 4.25. Mesh yapılarının kuvvet-bileşke gerilme üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 4.26. Mesh optimizasyonu	52
Şekil 4.27. Mesh optimizasyonunun katalog ile doğrulaması [42].....	53
Şekil 4.28. ANSYS Workbench başlangıç ekranı	54
Şekil 4.29. C tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi.....	55
Şekil 4.30. C tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi.....	55
Şekil 4.31. C tipi bağlantı elemanı için malzeme parametrelerinin bağlanması.....	56
Şekil 4.32. C tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi	56
Şekil 4.33. C tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları	58
Şekil 4.34. ANSYS Workbench başlangıç ekranı	58
Şekil 4.35. I tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi	59
Şekil 4.36. I tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi	59
Şekil 4.37. I tipi bağlantı elemanı için malzeme parametrelerinin bağlanması	60

Şekil	Sayfa
Şekil 4.38. I tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi	60
Şekil 4.39. I tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları	61
Şekil 4.40. L tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi	62
Şekil 4.41. L tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi	63
Şekil 4.42. L tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi	63
Şekil 4.43. L tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları	64
Şekil 4.44. S tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi	65
Şekil 4.45. S tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi	66
Şekil 4.46. S tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi	66
Şekil 4.47. S tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları.....	67
Şekil 4.48. T tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi	68
Şekil 4.49. T tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi	69
Şekil 4.50. T tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi	69
Şekil 4.51. T tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları	70
Şekil 4.52. V tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi.....	71
Şekil 4.53. V tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi	72
Şekil 4.54. V tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi.....	72
Şekil 4.55. V tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları	73
Şekil 4.56. Basit bir yapay sinir ağı modeli gösterimi	78
Şekil 4.57. Öğrenme fonksiyonları [46].	80
Şekil 4.58. C tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi.....	83
Şekil 4.59. I tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi	85
Şekil 4.60. L tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi	87
Şekil 4.61. S tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi	89
Şekil 4.62. T tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi	91
Şekil 4.63. V tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi.....	93

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. C tipi EKBE için Taguchi doğrulaması	96
Şekil 5.2. Malzeme-dayanım etkisi grafikleri	98
Şekil 5.3. C tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması	99
Şekil 5.4. I tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması	99
Şekil 5.5. L tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması	100
Şekil 5.6. S tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması.....	100
Şekil 5.7. T tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması	101
Şekil 5.8. V tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması.....	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°	Derece
GPa	Gigapaskal
kg	kilogram
MPa	Megapaskal
N	Newton
δ_{max}	Maksimum Gerinim
δ	Normal Gerinim
ν_{max}	Maksimum sehim miktarı
$\bar{\nu}$	Sehim
ΔL	Toplam uzama miktarı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ANOVA	Tek Yönlü Varyans Analizi
EKBE	Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanı
REGA	Regresyon Analizi
SEA	Sonlu Eleman Analizi
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Oyuncak sektörü başta olmak üzere otomotiv, sağlık, bilişim teknolojileri, beyaz eşya gibi pek çok endüstride kullanılan plastik ürünler yaşamımızda önemli bir yer teşkil etmektedir. Öte yandan üretim ve kalıp maliyetleri göz önüne alındığında plastik parça üretimi her geçen gün hızla artmaktadır. Plastik malzemelere olan bu hızlı talep ile birlikte diğer malzemelerle olan bağlantısı da önem kazanmıştır. Esneyerek kilitlenen bağlantılar, montaj işleminde maliyeti azaltmaları ve geri dönüşüm için yapılan demontaj prosesini kolaylaştırmaları sebebiyle daha çok tercih edilmektedir. Bu bağlantılar, montaj grubunu oluşturan parçaların esneklik özelliğini kullanarak bağlantı birleşimini sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında PLA (Polilaktik Asit), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PET-G (Polietilen Tereftalat-Glikol) olmak üzere üç çeşit malzemenin esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları üzerindeki etkileri araştırılmış ve parametre boyutlarını tahmin etme yeteneği olan bir algoritma oluşturulmuştur. Esneyerek kilitlenen bağlantı eleman tiplerinden “C” tipi, “I” tipi, “L” tipi, “S” tipi, “T” tipi ve “V” tipi bağlantı elemanları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu elemanlar için tasarım parametreleri belirlenmiş ve Taguchi metoduyla deney setleri oluşturulmuştur. Nümerik hesaplamaları yapılan bağlantı elemanları, ANSYS ortamında tasarlanarak kontrol edilmiştir. Elde edilen veriler için ANOVA analizi yapılmış ve başta malzeme etkisi olmak üzere tasarım parametrelerinin etki değerleri incelenmiştir. Yapılan işleme ek olarak ANSYS ortamından elde edilen veriler MATLAB ortamında yapay zekanın bir alt kolu olan Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmiştir. Böylece, çeşitli boyutların ve malzeme türlerinin aralığını tahmin etme yeteneği olan bir algoritma oluşturulmuştur. Son olarak oluşturulan bu algoritmanın doğruluğu regresyon analizi ile tartışılmıştır.

Konunun tanımı

Gelişen teknoloji ile beraber yapılan tasarımlar bilgisayar destekli uygulanarak daha hızlı ve doğru sonuçlar elde etmemizi sağlamıştır. Buna ek olarak bilgisayar destekli gerçekleştirilen analizler gerçeğe uygun ve doğru sonuçlar elde etmesiyle daha hassas tasarımlar yapmamıza ve hasarları en aza indirmemize olanak sağlamıştır. En son teknoloji olan yapay zekâ uygulamaları ile yapılan bu çalışmalar birleştirilip zaman ve maliyetten kazanmayı amaçlayan veri bankaları oluşturmamıza yardımcı olmaktadır.

Yapılan çalışma ile “C”, “I”, “L”, “S”, “T” ve “V” tipi olmak üzere 6 adet esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı parametrik olarak tasarlanmıştır. Elde edilen veriler MATLAB ortamında Yapay Sinir Ağlarıyla modellenerek çeşitli boyutların ve malzeme türlerinin aralığını tahmin etme yeteneği olan bir algoritma oluşturulmuştur. Kullanılan malzemenin özellikleri tasarlanan bağlantı elemanının kullanım yerlerini ve şekillerini önemli ölçü de etkilemektedir. Günümüzde üretilen bu bağlantılar için genellikle petrol türevli polimer malzemeler tercih edilmektedir. Plastiklerin kullanımının artması ve bu malzemelerin doğada geç yok olması araştırmacıları yeni biyo-bazlı ürün kullanımına teşvik etmiştir. Biyo-bazlı ürünlerden biri olan PLA (Polilaktik Asit) malzemesi, uzun zamandır tıbbi uygulamalar için geliştirilmiş olsa da esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları üzerindeki etkileri tam olarak bilinmemektedir. Yapılan çalışma da bu etkilerin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları için biyo-bazlı ve petrol türevli malzemeler kullanılarak mekanik dayanımlar (gerinim, gerilme ve deformasyon) üzerine etkileri analiz edilmiş ve sonuçları kıyaslanmıştır.

Araştırmanın amacı

Tezin temel hedefi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları için parametrik bir tasarımı gerçekleştirmek ve parametrik tasarım olarak varyasyonlara bağlı ve yer değiştirme parametresi ışığında herhangi bir mühendislik aracı kullanmadan bir yapay sinir ağı modeli ile esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının gerilme, gerinim ve deformasyon değerlerini tahmin etmektir.

Araştırmanın önemi

Deney setleri oluşturmak ve çözümlmek hem maliyet hem zaman açısından önem arz etmektedir. Tasarımı yapılan bağlantı elemanına ait girdiler bir yapay sinir ağına öğretilerek belirlenen aralıktaki sonuçları elde etmeyi sağlayan bir algoritma oluşturulmuş böylece zaman ve maliyetten tasarruf elde edilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında endüstriyel uygulamalar ve sera gazı etkileri küresel iklim değişikliğine önemli ölçüde sebep olmaktadır. Günümüz araştırmacıları bu durumu tamamen engelleyemese de azaltmak için çeşitli yollar denemektedir. Biyo-bozunur malzemelerin kullanımının artırılmaya çalışılması denenen bu yollardan biridir.

Endüstrinin ağırlıklı olarak kullandığı petrol türevli plastik malzemeler doğada uzun yıllar kalırken hayvansal ve bitkisel kaynaklı üretilen biyo-bozunur malzemeler 1-6 ay gibi kısa bir süre içerisinde toprağa karışmaktadır. Ayrıca bu malzemelerin sera gazı salınım oranı oldukça azdır. Bu nedenle biyo-bozunur malzemelerin plastik üretiminde yoğun olarak kullanılması doğa için önem arz etmektedir. Yapılan çalışmalarda sanayinin büyük bir kısmında kullanılan ABS ve PET-G gibi petrol türevli malzemelerin PLA gibi biyo-bozunur malzemeler ile kıyaslandığı pek çok çalışmanın mevcut olduğu fakat bu malzemelerin esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları üzerindeki etkilerinin araştırılmadığı görülmüştür. Bu kapsamda parametrik olarak tasarlanan “C”, “I”, “L”, “S”, “T” ve “V” tipi bağlantı elemanlarında bu üç malzemenin kullanımının verdiği etkiler araştırılmıştır.

Sınırlılıklar

Çalışma kapsamında yapılacak analizler için gerekli malzeme ve test yapılma imkânı bulunmaktadır. Ancak gerekli kalıp ve malzeme maliyetinin yüksek olması ayrıca analiz test cihaz yetersizliği sebebiyle tasarlanan ürünler için bilgisayar programlarından faydalanılmıştır. ANSYS yazılımı aracılığıyla gerçeğe uygun boyutlarda tasarım gerçekleştirilmiş ve deney setleri oluşturularak analiz işlemi yapılmıştır.

Tanımlar

Araştırma raporunda sıkça tekrarlanan bazı ifadeler kısaltılarak kullanılmıştır. Tez içerisindeki sembol ve kısaltmalar ayrı bir sayfada alfabetik sıra ile mevcuttur.

EKBE: Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı

REGA: Regresyon analizi

SEA: Sonlu eleman analizi

YSA: Yapay sinir ağları



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE KAPSAMI

2.1. Literatür Araştırması

En yaygın plastik montaj yöntemlerinden biri esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları ile gerçekleştirilen bağlantılardır. Klasik kiriş teorisine dayanan bu bağlantılar, maliyet, süre, montaj kolaylığı, yeniden üretilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı geleneksel bağlantı elemanlarına göre daha avantajlı bir konumdadır. Hızlı oturtma olarak da bilinen entegre bağlantı elemanları malzemenin mekanik özelliklerinin tam anlamıyla kullanılmasını sağlayarak daha elverişli bir ürün yelpazesi oluşturur. Plastik-plastik, metal-metal ya da metal-plastik olmak üzere üç farklı şekilde elde edilebilen bu bağlantıların kullanılacak yere göre pek çok çeşidini saymak mümkündür. Esneme özelliğinin getirdiği avantaj ile plastik malzemeyle oluşturulan bağlantı tipleri günümüzde daha yaygındır. Bu bağlantılar hakkında gerek tasarım gerekse yazılım olarak literatürde pek çok çalışma mevcuttur.

McMaster ve Lee çalışmasında tipik bir tırnak tasarımının gerilme şartları uygun olmayan fakat istenilen bir malzeme karşısında alternatif tasarımların yapılması gerektiğini açıklamıştır. Tasarlanan “U” ve “L” şekilli bağlantı tasarımlarıyla istenilen malzeme kullanılarak uygulanan gerilmeleri kabul edilebilir düzeye getirmiştir. Her iki şekil için formüller türetmiş ve sonlu elemanlar analizi ile bu formüllerini doğrulamıştır. Yapılan çalışmayla daha az maliyet harcayarak yüksek gerilimlere neden olmadan daha çok sapma elde edilmiştir [1].

Annis çalışmasında esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarından en sık kullanılan “I” tipi tırnak tasarımı için lineer olmayan bir deformasyon analiz metodu geliştirmiştir. Bu çalışma ile tırnak çıkıntı açısı, kullanılan malzeme, sürtünme katsayısı, tırnak bağlantı şekli ve tırnak oturma yüzey açısını temel alarak tırnak güvenilirliğini optimize etmiştir. Tırnak bağlantısının mekanik özelliklerini ayrıntılı incelemiştir [2].

Suri ve Luscher çalışmasında “I” tipi tırnak konfigürasyonuna dayanan bir analitik model geliştirmiştir. Modelde ışın dönüşü, aksenal kuvvet ve moment bileşenlerinin “I” tipi tırnak üzerindeki etkileri formüle edilmiştir. Çalışma sonucunda, aksenal kuvvet bileşeninin öngörülen geçme performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur.

Bu modelin, özellikle düşük ve orta tutma açısına sahip geçmeli bağlantılar için test sonuçlarıyla mükemmel bir uyum içinde olduğu belirtilmiştir [3].

Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının kullanımı ara yüzey ve ilgili eşleşme kuvvetinin doğru hesaplanmasına dayanır. Eşleşme kuvveti ara kesişim noktasıyla orantılıdır. Plastik parça boyutsal hataya çok duyarlı olan ara kesişim nokta oranıdır. Yetersiz girişim gevşek montaj ile sonuçlanırken, girişimin aşırı olması montajı engelleyerek ince duvarlı plastik parçalara zarar verebilir. Nitelsiz girişim olasılığı otomobil ve elektronik uygulamadaki yüksek kaliteli esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının uygulamalarında zarara neden olur. Chen ve Lan çalışmalarında hassas ara kesim noktasının gereksinimini azaltmak ve montaj sağlamlığını iyileştirmek için sabit kuvvetli bir esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı mekanizması sunmaktadır. En sabit eşleşme kuvvetini üreten mekanizma konfigürasyonlarını bulmak için bir tasarım formülasyonu sunmuştur. Resimli simülasyon ve deneyler sabit kuvvetli geçme uyumunun tipik esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı eşleşmelerinden daha az kuvvet ile olduğunu göstermiştir. Belirsiz eşleşme kuvveti tam girişim gerektirmeden minimize edilmiştir [4].

Bonenberger esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için başucu sayılabilecek bir el kitabı hazırlamıştır. Çalışmasında esneyerek kilitlenme bağlantılarını tasnif etmiştir. Bunun yanında tasarım parametreleri üzerinde durmuş ve tırnak tipleri için analizler gerçekleştirmiştir. Karşılaşılan tasarım problemlerinin geliştirilmesi ve çözüm için neler yapılabileceği hakkında ayrıntılı bilgiler vermiştir [5].

Bu çalışmalara ek olarak tasarım ile ilgili yapılan çalışmalarda ayrılabilir bağlantılar için 15° ila 45° arasındaki montaj açılarının kullanılması ve kalıcı bağlantılar için tutma açısının 90° olması tavsiye edilmektedir. Bu bağlamda çeşitli tasarım metodolojileri sunulmuştur. Ayrıca esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarlanırken, montajdan sonra geçmeli kırılganlığa uygulanacak mekanik gerilmelerin, montaj sırasında geçmeli kırılganlıkta gerekli mekanik gerilmelerin, geçmeli eklem bağlanacağı süreyi ve tasarımda kullanılacak malzemenin mekanik sınırlarının ve serbest bırakılmasını bilmenin önemli olacağı vurgulanmıştır [6-8].

Esneyerek kilitlenen bağlantı parçalarının çeşitliliği ve olası kombinasyonları, parçalar üzerindeki boyutları ve konumlanması sınırsız tasarım olasılıklarını mümkün kılmıştır.

Messler vd. bütünleyici bağlantı tasarımı olan tırnak tiplerini yedi seriden oluşan bir çalışmayla açıklamıştır. Çalışmalarında bağlantı elemanları hakkında genel bir açıklama yapmış, gerçek bir optimizasyon yapmak için gerekli geçmeli bağlantılarını şematize etmiştir. Ayrıca montaj parçalarının birleşiminin sağlanması için hiyerarşik bir sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Serisinde entegre geçmeli bir bağlantı parçasının geleneksel olarak yapılan ve odaklanılan bireysel durumdan ziyade kolaylaştıran özelliklerin yerleştirilmesi, titreşim ve dönme gibi özellikleri ortadan kaldırmak için kilitleyici, konum belirleyici ve pekiştirme olarak sınıflandırmıştır. Uygun optimum kilitleme çifti seçimi gerçekleştiren sistematik bir yaklaşım sunmuştur. Gerçek bir olay incelemesi ile metodolojinin kullanılabilirliğini göstermeye çalışmıştır. Daha sonra bağlantı elemanlarının belirli bir tasarımı için alternatif kavramların üretilmesini resmi bir hale getirmek amacıyla sistematik bir prosedür sunmuştur. Prosedür ile alternatiflerin bulunduğu tüm ilgili tasarım alanları alternatif bağlantı ara yüz geometrileri, montaj prosedürleri, ek özellik ve kısıtlama seçenekleri (özel uygulamalar için) sunulmaktadır. Prosedür kullanımı kolay, etkili ve verimli olmasının yanı sıra bir takım alternatif sonuçlar sunar ancak kullanılan optimizasyon seçimini engelleyecek kadar büyük değildir. Bunun yanı sıra ek konseptler kullanarak tasarım gerçekleştirmiş, çoklu hedeflerle tasarım problemini ele almak için değerlendirme sürecinde ikincil yol olarak düşünmüştür. Son olarak sistematik bir ürün tasarımı kullanarak esneyerek kilitlenen bağlantı özellikli bir montaj işlemi gerçekleştirmiştir. Tasarım ilk altı aşamada montaj için tasarımla ilgilenilmiş son aşama da geliştirilmiş metodolojiyi bir durum çalışması ile örnekleyerek, okuyucuya pratik tasarım gerektiren durumlarda kullanılmak üzere öncülük etmek amaçlanmıştır [9-15].

İntegral bağlantılı esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı parçalarının çeşitliliği ve olası kombinasyonları, parçalar üzerindeki boyutları ve konumlanması sınırsız tasarım olasılıklarını mümkün kılmıştır. Genç vd. çalışmalarında tasarım uzayı için hiyerarşik bir sınıflandırma şeması getirmiştir. Bu şema tasarım uzayının boyutlarını ve sınırlarını tanımlamakta özellik detaylandırmalarının üstünde bir seviyede bu işlemi gerçekleştirmektedir. Sınıflandırma monte edilen parçaların temel geometrisine dayanmaktadır. Sonuçta herhangi bir montaj için çeşitliliği azaltarak sadelik sağlamak ve gerçek bir optimizasyon elde etmektedir [16].

Suri ve Luscher çalışmalarında yapısal soyutlama yaklaşımını formüle etmiştir. Esas olarak geçmeli yapının tabanına esneklik eklemek ve yay elemanlarını kullanarak tabanın etkisinin olduğu hipotezini kanıtlamaya çalışmıştır. Test işlemi ardından elde edilen sonuçlardaki doğruluk, taban parçasının sertliğinin modellenmesiyle sağlanmıştır. Böylece esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı performansının gerçekçi simülasyonu sağlanarak güvenirliliği artırılmıştır [17]. Brock ve Wright karmaşık tasarımlı geçmeli bağlantı elemanları ile ilgili enjeksiyon kalıpta tasarım aracına dayanan bir bilgisayar programlama dili sunmuştur. Bu yazılım aracı kullanıcının uygun mekanik özellikleri ve parçanın bir bütün olarak üretilebilirliği ile bağlantı tasarımının yapılmasını sağlamaktadır [18].

Ruan ve Luscher ise her bir esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı özelliğinin performansını öngören yanıt yüzey denklemleri bulunan bir web tabanlı tasarım aracı tasarlamıştır. Bu web tabanlı tasarım aracında, tasarımcıların anında girdi ve çıktıları değiştirmesine ve aşırı kısıtlamayı önlemesine yardımcı olan kısıt yönetimi (CM) de uygulanmıştır. Bu yöntemde birincisi, girişin tasarım aracında da belirtilen belirli bir çıkışa bağımlılığını belirlemek için kullanılan duyarlılık analiz modülüdür. İkincisi, bir çıktı yeni bir değere geçerse, her bağımlı girişin değerinin ne kadar değişmesi gerektiğini görmek için kullanılan düzeltme danışmanı modülüdür. Snap-fit özelliklerinin performansını optimize etmek için iki optimizasyon modülü, tek objektif optimizasyon ve çoklu objektif optimizasyon ile uygulanmıştır [19].

Kshirsagar ve Pawar ise çalışmalarında esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için bağlantılar arasında doğrusal olmayan teması ANSYS yazılımında iki boyutlu olarak modellemiştir. Pahalı prototipler ve takıma gerek kalmadan geçmeli bağlantı için optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir [20].

Esneyerek kilitlenen bağlantı parçaları mevcut olan en ucuz ve hızlı bağlantılardan biridir. Ancak, eklemelerin geometrik karmaşıklığı ve sınırlamaları nedeniyle enjeksiyon kalıplama, neredeyse büyük ölçekli imal edilmiş ürünlerde kullanılmaktadır. Eklemeli imalat ise neredeyse sınırsız imalat karmaşıklığı ile küçük ve orta ölçekli son kullanıcı ürünlerini sunmaktadır. Klahn vd. çalışmalarında eklemeli imalat sürecindeki mevcut tasarım kılavuzlarındaki ilkeleri değiştirmeden, ürün ve kullanıcı entegrasyonunu geliştirmek için kullanılan eklemeli imalatın avantajlarını göstermiştir.

Gerekli tasarım kısıtlamaları getirerek ergiyik biriktirme yöntemi ve seçici lazer sinterleme yöntemi ile esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı bulunduran bir kapak tasarımı gerçekleştirmiştir. Sonuçta niş pazarları ve bireysel üretimlerde kalıp maliyetinden dolayı eklemeli imalat yönteminin daha avantajlı olduğu gösterilmiş ve yeni tasarımcılara snap-fit tasarımında yeni fonksiyonlar ekleyebilme işleminin yolu açılmıştır [21].

Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının kriteri montaj ve demontaj sırasında esnek özelliklerin yer değiştirmesidir. Snap-fit bağlantılar genellikle plastik parçalarda kullanılır. Elastikiyet ve izin verilen plastik malzeme gerilimi parçaya zarar vermeden büyük sapmalara izin verir. Diğer, daha az esnek malzemeler, metal yay gibi ek elemanlar gerektirir. Birleştirilen durumda, geçme kısımlar genellikle yüksüzdür veya yalnızca küçük yer değiştirmeye sahiptir. Bu özellikle plastik geçmeler için önemlidir, çünkü gerilmiş plastikler sürünme eğilimindedir ve zamanla herhangi bir gerginliği kaybeder. Gelişen çevresel ihtiyaçlar demontaj süresindeki esneyerek kitleme bağlantılarda da iyileştirme yapılması için araştırmacıları yönlendirmektedir. Bu kapsamda, Li vd. çalışmalarında CRG: Endüstri LLC. tarafından üretilen şekil hafızalı polimer (vertex) esaslı geçme elemanlarının demontaj süresi ve tekrar kullanılabilirlik açısından etkisini araştırmıştır. Toplam altı farklı geçme seti sökme süresi için on kez test edilmiştir. Eğitim sürecinin neden olduğu gerilme simüle edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Tasarımlardan biri en kısa ortalama sökme süresini, en düşük standart sapmayı ve en düşük gerilmeyi göstermiştir. Ancak geçmeli parçaların genel olarak yeniden kullanımının endüstriyel uygulama için yeterli olmadığı görülmüştür [22].

Carrell vd. çalışmasında demontaj işlemini basite indirmek amacıyla ısıya maruz kaldığında aktif olup serbest bırakılan şekil hafızalı polimer esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarlamıştır. Serbest bırakma açısı özellikli tasarlanan ürünün aktif salınımın gösterilmesi için test edilmiştir. Geçmeli ve aktif sökme işlem parametreleri analiz edilmiştir. Aktif demontaj sürecini hem ısıtma yöntemi hem de sıcaklık etkilemektedir. Isı değişimini artırmak bağlantının sökme zamanını kısaltmıştır. Sökme süresi ve sinyal gürültü oranı bakımından 150 °C en iyi sonucu vermiştir. Deney sonuçları şekil hafızalı mevcut aktif demontaj elemanının yararlarını ve daha etkili demontaj için kabul edilebilir ısı ile çözülen bağlantı elemanı olasılığını göstermiştir [23].

HE vd. çalışmasında akıllı malzeme kullanarak kilitleme bağlantılarındaki özellikleri iyileştirmeye çalışmıştır. ABS malzeme, kiriş tipi kabuk ve kabuğun içine yerleştirilmiş bir şekil hafızalı aktüatörden oluşan bir bağlantı tasarımı oluşturmuştur. Hazırlanan bu tasarımın sonlu eleman modeli oluşturularak aktüatör için von-mises gerilmeleri, kiriş kabuk için sapma ve eşleşme kuvvetlerinin analizi başta olmak üzere diğer tasarım parametreleri araştırılmıştır. Kiriş tipi kabuğun yüksekliği ve kabuk genişliğinin eşleşme kuvveti ve maksimum sapma ile ilişkisi optimize edilerek yapılan çalışma doğrulanmış ve kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır [24].

Türköz tez çalışmasında esneyerek kilitlenen bağlantı tasarımı konusunda tasarım önerileri sunmuş ve malzeme ile ilişkilerini incelemiştir. Tasarımı yapılan bağlantı elemanlarını analiz etmiş ve plastik parçalarda meydana gelen sorunlara çözüm önerileri getirmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarımı için birim uzamanın en önemli tasarım faktörü olduğunu göstermiştir [25].

2.2. Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Araştırma sonucunda esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları için optimizasyon çalışmaları yapıldığı görülmüştür. Bağlantı elemanı için tasarım metodolojileri oluşturulmuş çeşitli sınıflandırma işlemleri yapılmıştır. Tasarımı yapılan elemanlar için montaj kuvvet etkileri, montaj süreleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca tasarım doğruluğu ve uygun montaj süresi elde etmek için çeşitli matematiksel modellemeler oluşturulmuştur. Genellikle plastik malzemeden yapılması ve dolayısıyla esnek malzemeler kullanılması pek çok araştırmacıya yeni malzeme deneme ve şekil hafızalı malzemelerin özelliklerinden yararlanarak montaj işlemine katkıda bulunma imkânı sağlamıştır. Yapılan çalışmalarda sıklıkla petrol türevli malzemelerin test edildiği görülmüştür.

3. ESNEYEREK KİLİTLENEN BAĞLANTI ELEMANLARI

3.1. Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanları

Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları (EKBE), herhangi bir alet kullanılmadan parçaların esneklik özelliklerini kullanarak birleşim işlemi gerçekleştiren bağlantılardır. Herhangi bir hasara uğramadan defalarca takılıp sökülebilmeleri bu bağlantı elemanlarını plastik montaj bağlantıları arasında en çevre dostu bağlantı türü yapmaktadır. Şekil 3.1 de gösterildiği gibi oyuncaktan sağlık endüstrisine, otomotiv endüstrisinden bilişim teknolojilerine kadar çok geniş bir alanda kullanımı mevcuttur. Plastik malzeme montajında vida, rondela, somun gibi bağlantı elemanlarının ya da kaynak, kimyasal yapıştırıcı gibi bağlantı birleştirme elemanlarının yerine kullanılarak montaj işleminin hasarsız ve tekrarlanabilir olmasını sağlamaktadır.

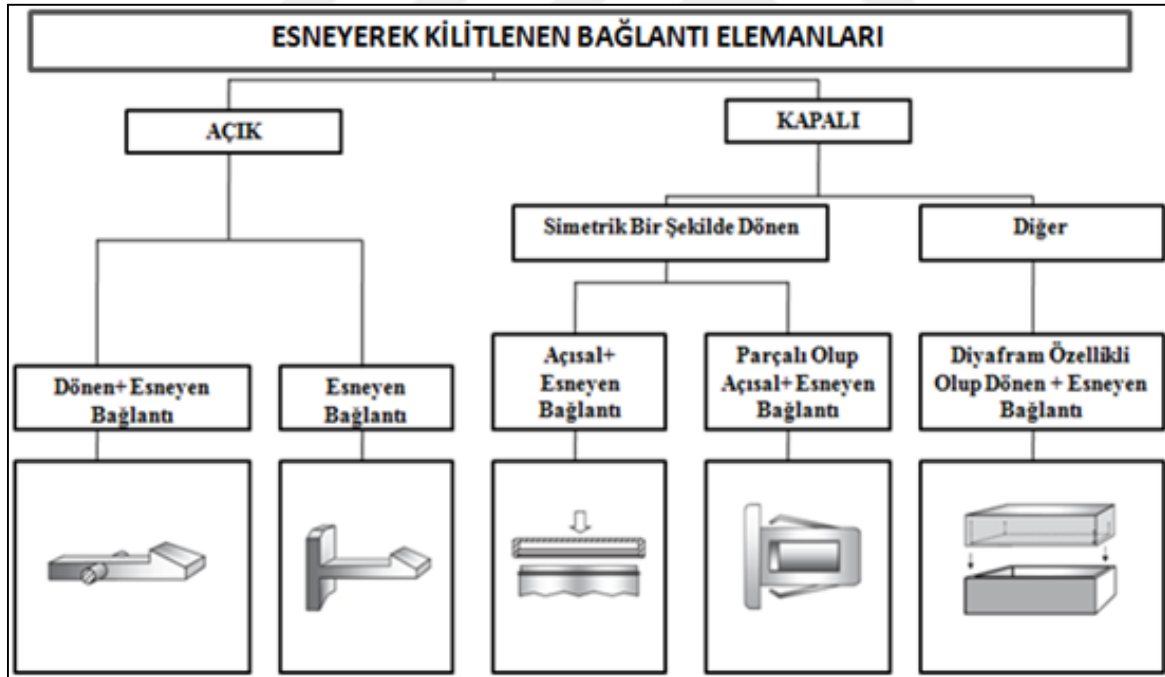


Şekil 3.1. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının kullanımına ait örnekler [26]

Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları, montaj maliyetinin düşük olması, tekrarlanabilir takılıp sökülme işlevine sahip olması, estetik görüntü gerektiren bağlantı yerlerinde kullanılabilmeleri, montaj süresinin kısa olması, montaj işlemi için herhangi bir alet gerektirmemesi gibi pek çok avantaja sahiptir.

Metal-metal, metal-plastik ve plastik-plastik olmak üzere üç şekilde kullanılabilmelerine karşın plastik-plastik olan bağlantı şekli en çok tercih edilenidir. Pek çok avantajının yanı sıra, tasarlanan parçalarda çıkıntılı yapı bulunması montaj işlemi öncesindeki etkilere karşı çok hassastır. Ayrıca gerilime kuvvetinin yüksek olduğu durumlarda kalıcı olarak deforme olabilmektedir. Plastik malzemeden yapılması seri imalat için uygunluk sağlamış ve maliyet düşüşünü desteklemiş olsa da bazı karmaşık yapıları esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının kalıp maliyeti oldukça yüksektir.

Çoğunlukla bir çıkıntıdan oluşan bu yapıların şekil alternatifleri çoktur. Şekil 3.2 ile örnek bir şematize hali sunulmuştur. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının tasarım şekilleri ile ilgili birbirinden farklı pek çok çeşitte başlık oluşturulmuş olsa da kiriş tipi tırnak yapıları, çevresel olarak kilitlenme işlemi gerçekleştiren tırnak yapıları ve burulma işlemi ile kilitlenme işlemi gerçekleştiren tırnak yapıları olmak üzere üç ana başlıkta toplamak mümkündür.

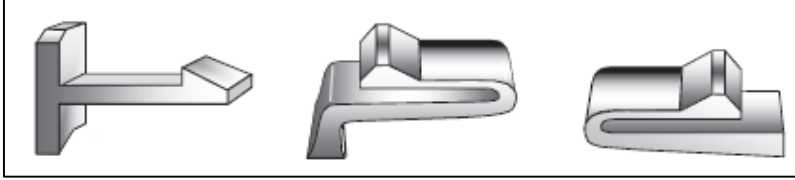


Şekil 3.2. EKBE şematize edilmiş hali [27]

3.1.1. Kiriş tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları

Kullanım yerlerine göre şekilleri değişmekle birlikte en yaygın kullanılan esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı kiriş tipi tırnaklardır (Şekil 3.3).

Bu bağlantı tipinde sapma işlemini gerçekleştiren elemanın bir kiriş olması sebebiyle bu isimle nitelendirilmektedir. Bağlantı davranışının analizi klasik eğilme denklemlerine dayanmaktadır. Kiriş eğilme analizi bağlantının montaj ve demontajı için hesaplanır. Elde edilen sonuçlarla son boyutlar belirlenir [5].

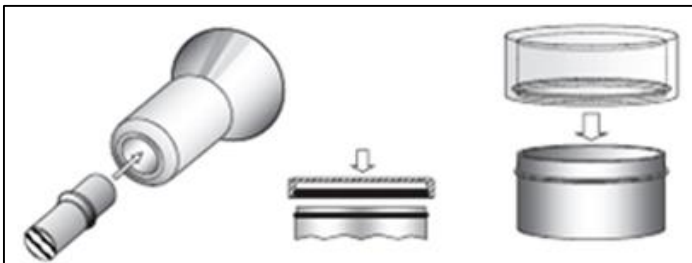


Şekil 3.3. Kiriş tipi bağlantı şekilleri [5]

3.1.2. Çevresel olarak kilitleme işlemi gerçekleştiren bağlantı elemanları

Şekil 3.4 ile gösterildiği gibi çevresel olarak kilitleme işlemi gerçekleştiren bu bağlantılar, iç içe geçmiş eş merkezli iç ve dış duvarlarda ya da yüzeylerde bulunan oluklar ve çıkıntılar arasındaki eşleşmeye ve montaj- demontaj işlemi için radyal esnekliğe dayanır. Çevresel kilit bir silindir etrafını saran çiftleşme boyunca uzatılmış bir kenar olarak düşünülebilir.

Çevresel kilitleme mekanizmaları kalıcı ve hasarsız bir kilitleme elemanıdır. Bir tükenmez kalem kapağının açılıp takılması bu tip bağlantılara en iyi örnektir. Çevresel kilitlenen bu bağlantılar için eğilme davranışları değil çember davranışına bağlı analizler gerçekleştirilir [5].



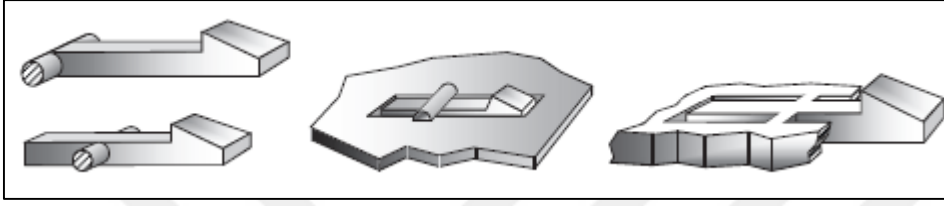
Şekil 3.4. Çevresel olarak kilitlenen bağlantı şekilleri [5]

3.1.3. Burulma ile kilitleme işlemi gerçekleştiren bağlantı elemanları

Burulma işlemi ile gerçekleştirilen bu bağlantı elemanları montaj ve demontaj işlemi için burulma kuvvetinden faydalanır (Şekil 3.5). Sistemde bir miktar bükülme görülebilir çünkü

bağlantılar genellikle kiriş tipi bağlantılara bağlanarak elde edilir. Kiriş tipi tırnağın sökülmesinin zor olduğu yerlerde kullanılarak avantaj sağlar.

Burulma ile kilitlenen bağlantı elemanları sapma mekanizması olan kilitler olarak tanımlanır ve bu şekilde analiz edilir. Bu kilitlerde montaj için burulma, kesme, eğilme aynı anda olabilir. Böyle durumlarda bir sonlu elemanlar analizi yapılarak çözüm elde edilebilir [5].



Şekil 3.5. Burulma ile kilitlenen bağlantı şekilleri [5]

3.2. Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanlarının Tasarım Kriterleri

Bir makine veya makine elemanı belirtilen süre içerisinde belirtilen fonksiyonları doğru yerine getirebilmeli, uygulanan kuvvet, basınç, hız gibi faktörleri karşılayabilmeli, hafif ama dayanıklı olmalı, basit kullanılabilmesi gibi genel istekleri karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu çalışma kapsamında incelenen esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için bu kriterler dikkate alınarak tasarım ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Klasik kiriş teorisine dayanan esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları için gerilme, gerinim ve deformasyon değerlerinin elde edilmesi kiriş tipi bağlantı elemanları için yapılan mukavemet hesaplarına dayanmaktadır. Çeşitlerine göre boyutsal parametreleri değişmekte ve montaj kuvvetleri belirlenmektedir.

3.2.1. Makine elemanlarında gerilme

Bir yükleme ortamının parça üzerine etkisi temel mühendislik problemlerinden biridir. Belirli bir noktada hareket eden iç kuvvetlerin yoğunluğu ve yönünü tanımlamak için gerilme terimi kullanılır [28]. Yük taşıma elemanında normal yükleme için 5 tip normal gerilme büyüklüğü mevcuttur. Bunlar; çekme, basma, kesme, eğilme ve burulma gerilmesidir. Bu 5 tip gerilme sırası ile şu şekilde hesaplanır [29]:

$$\text{Çekme: } \sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

$$\text{Basma: } \sigma = -\frac{P}{A} \quad (3.2)$$

$$\text{Kesme: } \tau = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

$$\text{Eğilme: } \sigma_e = \frac{M_e}{W} \quad (3.4)$$

$$\text{Burulma: } \tau_b = \frac{M_b}{W_p} \quad (3.5)$$

3.2.2. Makine elemanlarında gerinim

Gerinim ise gerilme sonucu bir katı üzerinde oluşan uzunluk başına yer değiştirme olarak tanımlanır. Bir makine elemanı tasarımı için sadece gerilmelerin yeterli olmasına değil aynı zamanda oluşan deformasyon ve yer değiştirmelerin tasarım kısıtlamalarını aşmamasına da dikkat edilir. Uygulamaya bağlı olarak oluşan bu deformasyonlar ya çok görünür ya da pratik olarak fark edilmeyebilir. Gerinim bir noktadan geçen gerilmenin yoğunluğu ve yönü kadar önemlidir. Bu yüzden normal ve kesme gerilmesi gibi normal ve kesme gerinimi de vardır. Normal gerinim gerilimin uygulandığı bir elemanın doğrusal segmentinde uzama ya da daralmanın bir ölçüsünü tanımlamak için kullanılır [29]. Normal gerinim büyüklüğü şu şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad (3.6)$$

3.2.3. Makine elemanlarında gerilme- gerinim ilişkisi

Gerilme-gerinim diyagramları çoğu mühendislik materyali için elastik sınır için gerinim ve gerilme arasında doğrusal bir ilişki izler. Hooke yasası olarak da bilinen bu yasanın tek eksenli gerilme durumu için hesaplanması şu şekildedir:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.7)$$

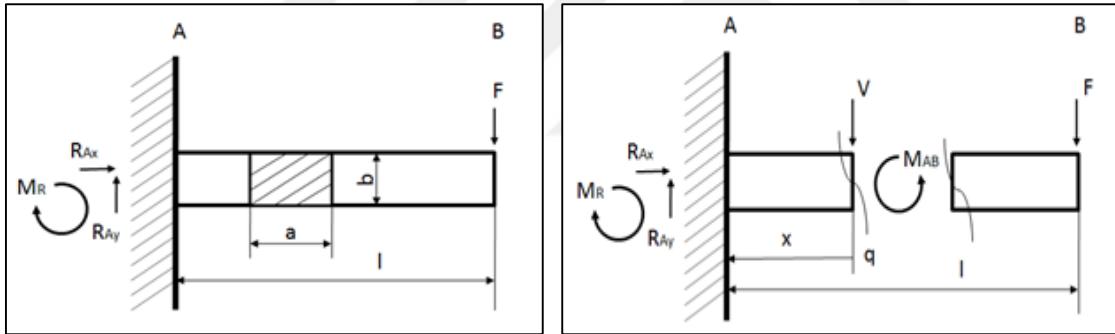
Eş.3.7. de verilen E simgesi elastisite modülünü temsil etmektedir. Elastisite modülü malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Eş.3.6. da ki denklem Eş.3.7. ile birleştirilirse:

$$\delta = \epsilon l = \frac{\sigma l}{E} = \frac{Pl}{AE} \quad (3.8)$$

denklemini elde edilir [29].

3.2.4. Makine elemanlarında deformasyon

Bir tasarımın kabul edilebilirliği için sapma değeri gerilme kadar önemlidir. Makine parçaları kabul edilebilir sapma değerlerini elde etmek için boyutlandırılmıştır. Eş.3.9, Eş.3.10 ve Eş.3.11 de verilen statik durum eşitlikleri Şekil 3.6 da boyutlandırılan ankastre bağlantı için verilmiştir.



Şekil 3.6. Bir ankastre bağlantı elemanının parametrelerinin gösterimi

$$\sum F_x = 0 \quad \text{ise} \quad RA_x = 0 \quad (3.9)$$

$$\sum F_y = 0 \quad \text{ise} \quad RA_y - F = 0 \quad (3.10)$$

$$\sum M_A = 0 \quad \text{ise} \quad M_R - FL = 0 \quad (3.11)$$

Belirli bir mesafedeki ankastre eleman için moment denge denklemini kullanarak eğim ve sehim hesaplarını yapabiliriz. x kadar mesafedeki bir elemanın q noktası için momenti şu şekilde hesaplanır:

$$\sum M_q = 0 \quad \text{ise} \quad M_{AB} - M_R - RA_y = 0 \quad (3.12)$$

Bir bağlantının elde edilen moment denkleminin ilk defa integralini almak o parçanın eğimini verirken aynı denklemin ikinci kez alınan integrali parçanın sehimi (eğilme) miktarını vermektedir. Şekil 3.6 da verilen ankastre eleman için kesit şekli dikdörtgen alınmıştır. Dikdörtgen kesitli bir parçadaki atalet momenti formülü Eş.13 da gösterilmektedir.

$$I_x = \frac{ab^3}{12} \quad (3.13)$$

$$F(x) = \frac{1}{EI} \int M dx \quad \text{ise} \quad F(x) = \frac{1}{E \frac{ab^3}{12}} \int (Ra_y x + M_R) dx \quad (3.14)$$

$$\text{Eğim} = F(x) = \frac{12}{Eab^3} (Ra_y \frac{x^2}{2} + M_R x + C_1) \quad (3.15)$$

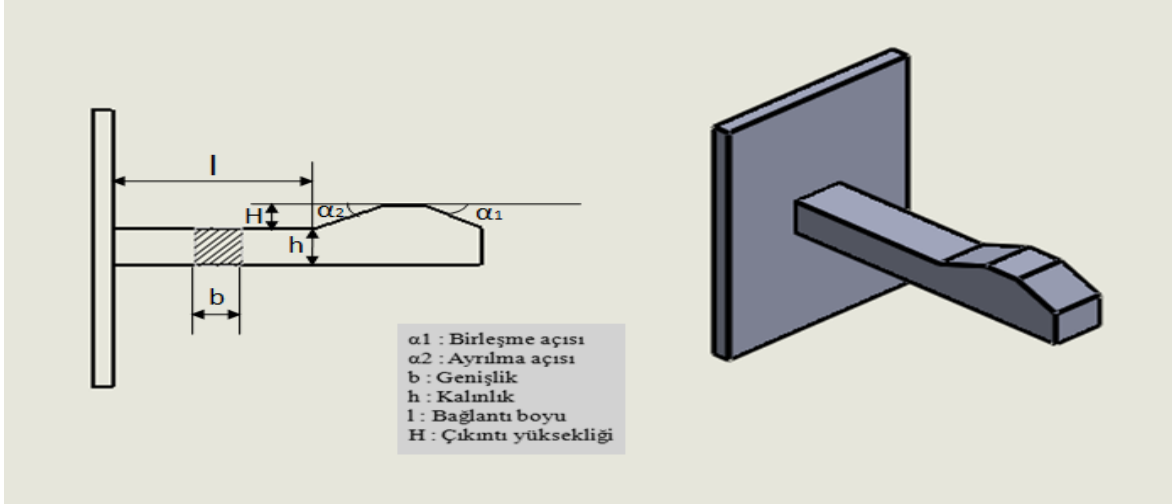
$$F(x) = \int \frac{12}{Eab^3} (Ra_y \frac{x^2}{2} + M_R x + C_1) \quad \text{ise}$$

$$\text{Sehim} = F(x) = \frac{12}{Eab^3} (Ra_y \frac{x^3}{6} + M_R x^2 + C_1 x + C_2) \quad (3.16)$$

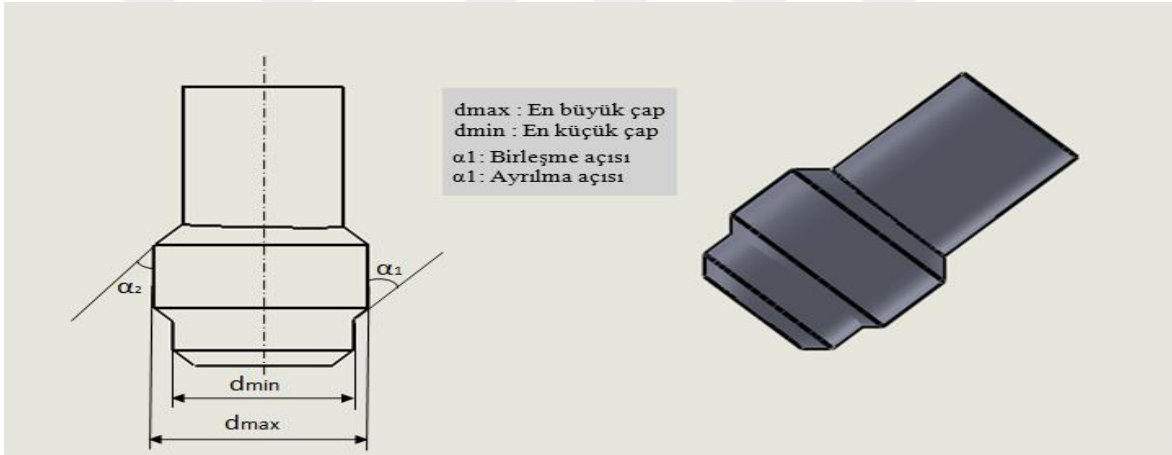
3.2.5. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının tasarım hesapları

Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları bir önceki bölümde üç ana başlıkta toplanmıştır. Bu bölümde ise verilen bu elemanların boyutsal parametreleri belirlenmiş ve montaj kuvvet hesabı sunulmuştur.

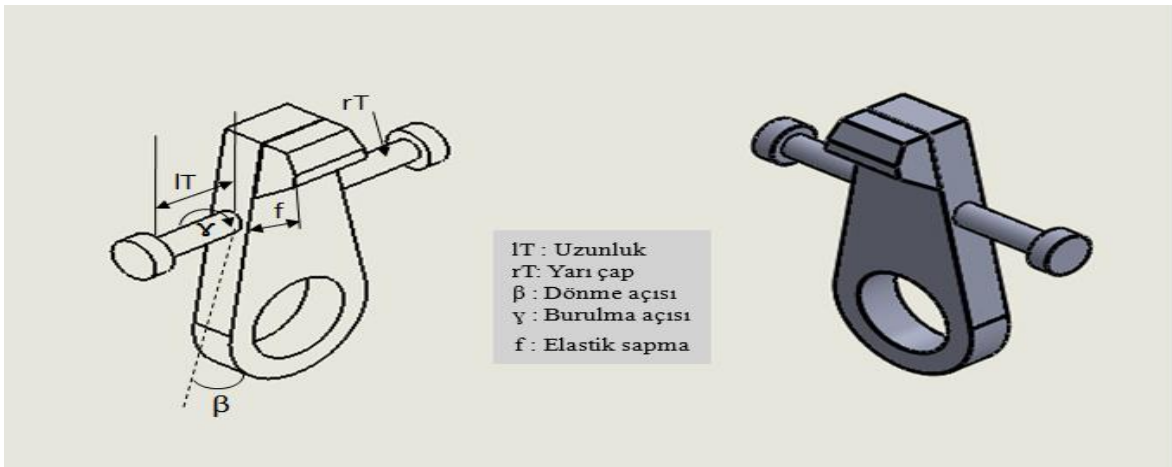
Şekil 3.7 de kiriş tipi tırnak elemanı boyutlandırılmıştır. Şekil 3.8 de çevresel olarak kitleme işlemi gerçekleştiren elemana ait boyutlar verilmiştir. Şekil 3.9 da ise burulma ile kilitlenen bağlantı elemanı için gerekli boyutsal parametreler mevcuttur.



Şekil 3.7. Kiriş tipi bağlantı elemanı boyutsal parametrelerin gösterimi



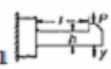
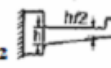
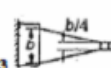
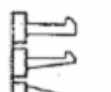
Şekil 3.8. Çevresel kilitlenen bağlantı elemanı boyutsal parametrelerin gösterimi



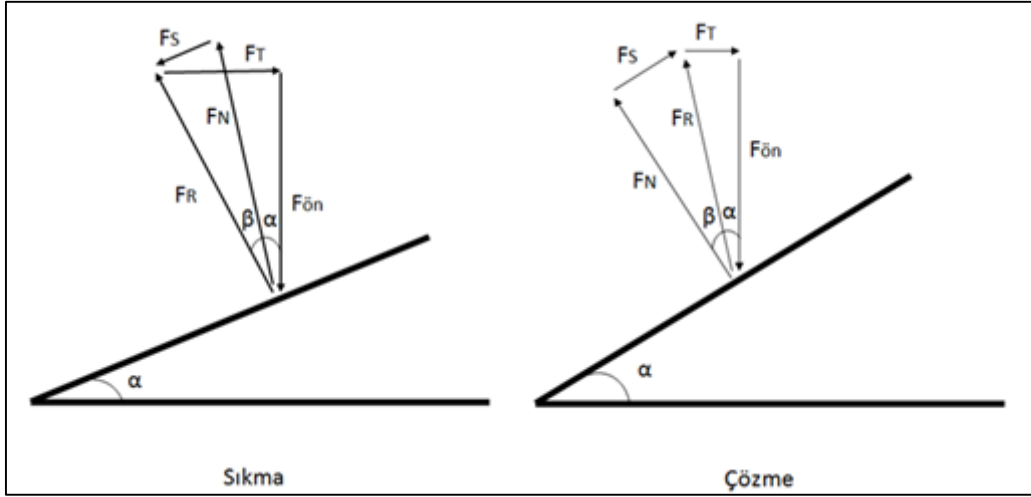
Şekil 3.9. Burulma ile kilitlenen bağlantı elemanı boyutsal parametrelerin gösterimi

Makine elemanlarında mukavemet kısmında ayrıntılı olarak anlatılan eğim ve sehim denklemleri kullanılarak esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları için Çizelge 3.1 de bulunan kesit alanına göre sehim hesaplama denklemleri elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Farklı kesit tipleri için sehim formüllerinin gösterimi [25]

		Kesitin Şekli			
		A	B	C	D
Ayağın Tipi		Dikdörtgen Kesit	Yarımk Kesit	Halka Kesit	Düzensiz Kesit
En Büyük Esneme Miktarı	1 	$y = 0.67 x \frac{el^2}{h}$	$y = \frac{a+b_{(1)}}{2a+b} x \frac{el^2}{h}$	$y = K_{(2)} x \frac{el^2}{r_2}$	$y = \frac{1}{3} x \frac{el^2}{c_{(3)}}$
	Ununluğü boyunca sabit kesit				
	2 	$y = 1.09 x \frac{el^2}{h}$	$y = 1.64 x \frac{a+b_{(1)}}{2a+b} x \frac{el^2}{h}$	$y = 1.64 x K_{(2)} x \frac{el^2}{r_2}$	$y = 0.55 x \frac{el^2}{c_{(3)}}$
"y" ekseninde up ve dip kesit kalınlık oranı 1/2 olan kesit.					
3 	$y = 0.86 x \frac{el^2}{h}$	$y = 1.28 x \frac{a+b_{(1)}}{2a+b} x \frac{el^2}{h}$	$y = 1.28 x K_{(2)} x \frac{el^2}{r_2}$	$y = 0.43 x \frac{el^2}{c_{(3)}}$	
"z" ekseninde up ve dip kesit kalınlık oranı 1/2 olan kesit					
Esneyme Kuvveti		$P = \frac{bh^2}{6} x \frac{E_s \varepsilon}{l}$	$P = \frac{K \frac{d^2 + 4ab_{(1)} + b^2}{12} x \frac{E_s \varepsilon}{l}$	$P = Z_{(4)} x \frac{E_s \varepsilon}{l}$	$P = Z_{(4)} x \frac{E_s \varepsilon}{l}$

Çizelge 3.1 de elde edilen denklemler için (y) izin verilen sapma miktarını, (Es) sekant (elastikiyet) modülü, (l) kiriş boyunu, (h) kiriş kalınlığını, (b) kiriş genişliğini, (c) kiriş kalınlığının yarısını, (k) geometrik faktörü, (P) sapma kuvveti, (Z) seçili kısım için modülü ifade etmektedir. Buradaki denklemler kullanılarak tasarlanan elemanın yapacağı maksimum sapma miktarı ve gerekli sapma kuvveti hesaplanmaktadır. Şekil 3.10 da gösterildiği gibi montaj işlemi sırasında bağlantı elemanı sürtünme kuvveti (Fs), teğetsel kuvvet (Ft), ön gerilme kuvveti (Fön), radyal kuvvet (Fr) ve normal (tepki) kuvveti (Fn) olmak üzere 5 ayrı kuvvete maruz kalmaktadır. Montaj işlemi sırasında montaj işlemini gerçekleştirebilmek için ön gerilme kuvveti (Fön) ve sürtünme kuvveti (Fs) aşılmalıdır.



Şekil 3.10. Montaj işlemi sırasında maruz kalınan kuvvetlerin şematik gösterimi

Montaj kuvveti şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\beta = \tan^{-1} \mu \text{ ise } \mu = \tan \beta \quad (3.17)$$

$$F_t = F_n \cdot \sin \alpha + \mu \cdot F_n \cdot \cos \alpha \text{ ise } F_t = F_n (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \quad (3.18)$$

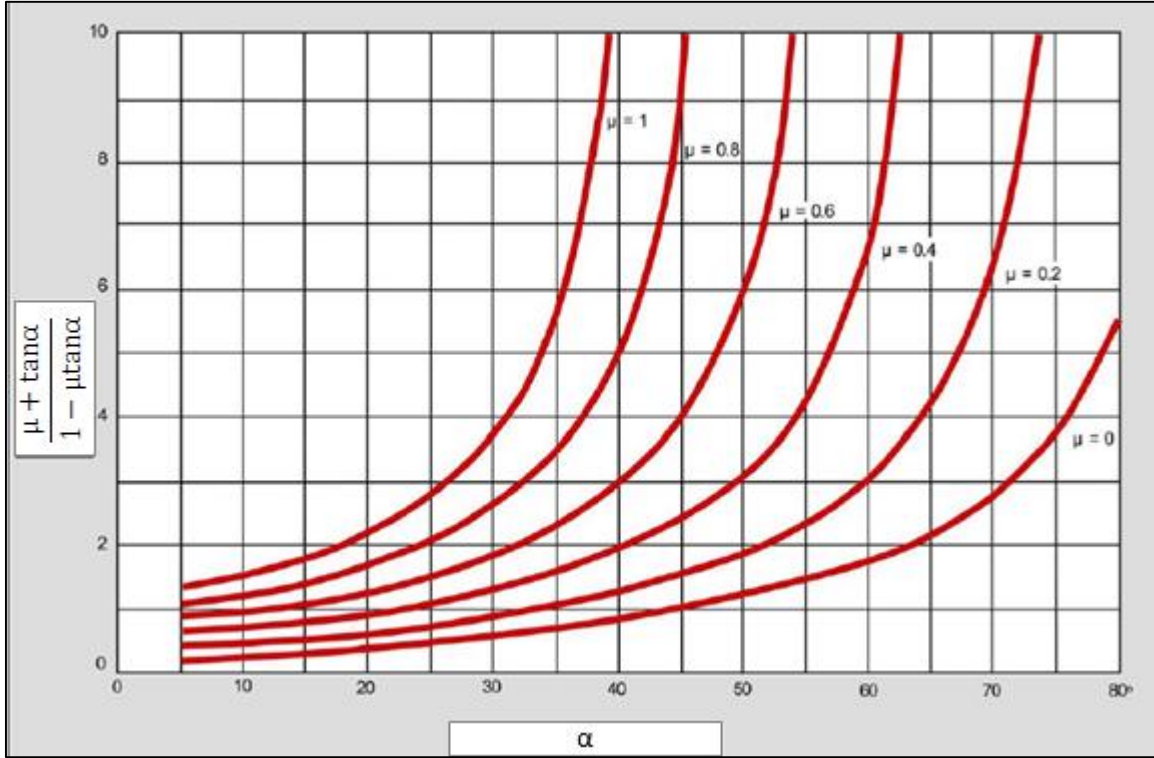
$$F_{\text{ön}} = F_n \cdot \cos \alpha - \mu \cdot F_n \cdot \sin \alpha \text{ ise } F_{\text{ön}} = F_n (\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha) \quad (3.19)$$

elde edilir. Eş.14 ve Eş.15 de bulunan F_n tepki kuvvetleri birbirine eşitlendiğinde;

$$F_t = F_{\text{ön}} \frac{\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} \text{ ve } F_t = F_{\text{ön}} \frac{\tan \alpha + \mu}{1 - \mu \cdot \tan \alpha} \quad (3.20)$$

elde edilir. (μ) sürtünme katsayısını ve (α) ise ayrılma açısını göstermektedir.

Şekil 3.11 de verilen grafik ile kullanılan malzemeye ait sürtünme kat sayısı ve ayrılma açısı kullanılarak $\frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha}$ değeri okunur. Okunan değer ile sapma kuvveti çarpılarak montaj kuvveti elde edilir



Şekil 3.11. Sürtünme katsayısı ile ayrılma açısı arasındaki ilişki grafiği [30]

3.2.6. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarında malzeme seçimi

Yapılması planlanan imalat işlemi için uygun malzeme seçimi ve seçilen bu malzemeyi kullanışlı bir ürüne çevirme işlemi oldukça karmaşık bir iştir. Bir ürünün tasarımı ve malzeme seçimi konusunda pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden mevcut durum-geçmiş durum yöntemi, bir parça imalatı için önceden başarılı olduğunu ve türdeş parçalarında aynı malzeme ve yöntemle üretilebileceğini varsayar [31,32].

Malzeme seçiminde ilk adım imal edilecek ürünün gereksinimlerini ortaya koymaktır. Malzeme ve üretim şekli belirlenmeden önce ürüne ait imalat resimleri oluşturulmalıdır. Malzeme seçimi ve imalat resmi ise parça biçim ve geometrisi, mekanik ve fiziksel özellikler, servis ve çalışma ortamıyla olan ilişki ve imalat faktörünü etkileyen diğer sebepler iyi analiz edildikten sonra yapılmalıdır. Böylece teknolojik eksiklik ve unutulmaktan dolayı ortaya çıkabilecek hatalar önlenerek doğru malzeme seçimi ve uygun imalat yöntemi seçilmiş olacaktır [31,32].

Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları malzemenin esneme özelliğinden faydalandığı için Hooke kanunundaki birim uzama miktarı ile ilişkilidir. Elastik şekil değişme miktarı

tasarlanan elemandaki şekil değiştirme miktarından daha yüksek kaldığı sürece tasarımı yapılan eleman zorlama işleminden sonra eski haline dönecektir. Esneme özelliği yüksek olan plastik malzemeler bu bağlantı elemanları için daha çok tercih edilmektedir. Yapılan bu çalışma için PLA (Polilaktik Asit), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PET-G (Polietilen Tereftalat-Glikol) olmak üzere üç malzeme seçilmiştir. Bu kısımda üç malzeme hakkında bilgiler mevcuttur.

Şekil 3.12 de sunulan Akrilonitril Bütadien Stiren kısaca ABS, kalıp yolu ile üretilen ürünlerde yaygın kullanıma sahip petrol türevli hafif bir polimerdir. İçeriğinde 15% – 35% arası akrilonitril, 5% – 30% arası butadien ve 40% – 60% arası stiren olan polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. İçeriğinde bulunan stiren plastiğe parlaklık ve iyi yüzey özelliği verirken; bütadien, kauçuk özelliği ve düşük sıcaklıkta esnek olabilmeyi sağlamaktadır. 1 kg ABS üretimi için, hammadde olarak 2 kg petrole ihtiyaç vardır [33].

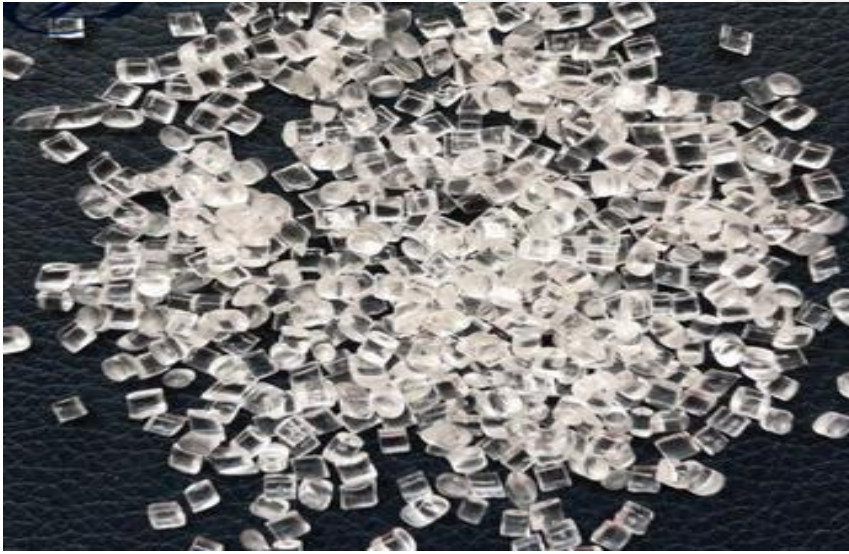


Şekil 3.12. ABS plastik malzemesi [34]

ABS, tok ve rijit bir malzeme özelliği, yüksek darbe dayanımı, yüksek kimyasal direnç, kolay işlenebilme, üretim kolaylığı, hafif olma ve yüksek elektrik izolasyonu sağlama gibi avantajlarının yanı sıra uzama katsayısının ve çözücü direncinin düşük olması gibi dezavantajlara sahip bir malzemedir.

Televizyon ve güç donanımı kabinleri, otomobillerin direksiyon kılıfı, dikiz aynası, far yuvaları, gibi plastik aksamları, tıbbi emme pompaları, oyuncak, iş makineleri gövde ve parçaları, tüfek dipçikleri gibi pek çok alanda kullanımı mevcuttur.

Polietilen Tereftalat-Glikol kısaca PETG, poliester ailesine ait termoplastik bir malzemedir. İşlenmesine bağlı olarak yarı kristalin ve amorf malzeme olarak bulunur. PETG, etilen glikol ve tereftalik asitin polimerizasyonu ile üretilir [35]. PETG, geri dönüşebilir olması, hafif olması, iyi bir gaz ve nem bariyeri olması, darbeye karşı dayanıklı olması, sert yapısı, saydam olması, iyi bir tokluğa sahip olması, üretilebilirlik gibi avantajlarının yanı sıra UV ışınlarına karşı sınırlı bir direnç göstermesi, düşük yumuşama noktası, yüksek sıcaklıklarda kullanılamaması gibi dezavantajlara sahiptir. Paketleme, satış noktası stantlarında, meşrubat, yiyecek ve içecek kaplarında, sentetik fiber olarak kullanım yerleri mevcuttur [36].



Şekil 3.13. PETG plastik malzemesi [37]

Şekil 3.14 de gösterilen Polilaktik Asit kısaca PLA, mısır nişastası, şeker kamışı, manyok kökleri gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ve biyolojik olarak çözünebilen bir termoplastiktir. Son yıllarda geniş bir kullanım alanı bulunan PLA, biyoplastik çeşitleri arasında plastik hammaddelere fiyat açısından en yakın özellikte olan polimerdir [38].

PLA, kolay yazdırılabilir olması, yüksek yüzey enerjisine sahipliği, üç boyutlu baskı, ekstrüzyonla işleme, film-tabaka dökümü gibi işlenebilir özelliğe sahip olması, saydam ve yüksek parlaklığa sahip olması gibi avantajlarının yanında kırılğan olması ve ısı hassasiyeti

gibi dezavantaj özelliklerine sahiptir. Zararsız bir şekilde laktik aside dönüşebilmesi sayesinde tıbbi implant malzemesi olarak, mutfak eşyaları, çay poşetleri, hijyenik ürünler, çocuk bezleri gibi pek çok malzeme de kullanılmaktadır [39].



Şekil 3.14. PLA plastik malzemesi [40]

Çizelge 3.2 ile bu malzemelere ait teknik özellikler tablosu sunulmuştur. Yapılan tasarımlara ait yapılan malzeme atama işlemlerinde bu çizelgedeki değerler kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Malzeme özellikleri [41]

Özellikler	ABS Değer Aralığı		PETG Değer Aralığı		PLA Değer Aralığı	
	Minimum Değer	Maksimum Değer	Minimum Değer	Maksimum Değer	Minimum Değer	Maksimum Değer
Yoğunluk (kg/m ³)	1,02E+03	1,08E+03	1,26E+03	1,28E+03	1,24E+03	1,27E+03
Young Modülü (GPa)	2	2,9	2,01	2,11	3,3	3,6
Akma Dayanımı (MPa)	29,6	44,1	47,9	52,9	55	72
Gerilme Direnci (MPa)	30	50	60	66	47	70
Poisson Oranı	0,394	0,422	0,395	0,411	0,38	0,4

4. TASARIM, ANALİZ VE MODELLEME

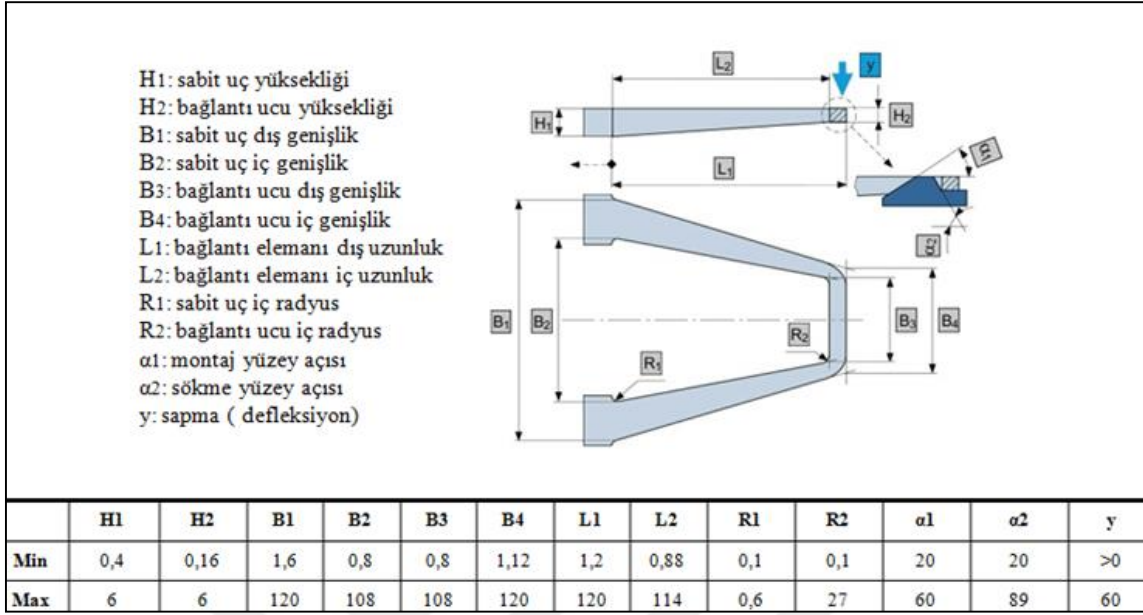
4.1. Katı Modelleme ve Analiz Kapsamı

Yapılan çalışma için öncelikle tasarlanması planlanan makine elemanlarının parametrik boyutları belirlenmiştir. Boyutları parametrik olarak belirlenen bu elemanlar ANSYS ortamında üç boyutlu tasarlanmıştır. Minitab programında Taguchi metodu kullanılarak deney setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan deney setleri ile ANSYS ortamında sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. ANSYS ortamından elde edilen sonuçlar Taguchi modelinde kullanılarak deney setlerinde bulunan parametrelerin etki faktörleri tekrar analiz edilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler MATLAB ortamında yapay sinir ağlarıyla modellenmiştir. Kullanılan yapay sinir ağları ile belirlenen aralıklarda oluşan gerilme, gerinim ve deformasyonlar tahmin edilmiştir. Elde edilen veriler üç ayrı malzeme için kıyaslanmış ve grafiklerle gösterilmiştir.

4.1.1. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının tanımlanması

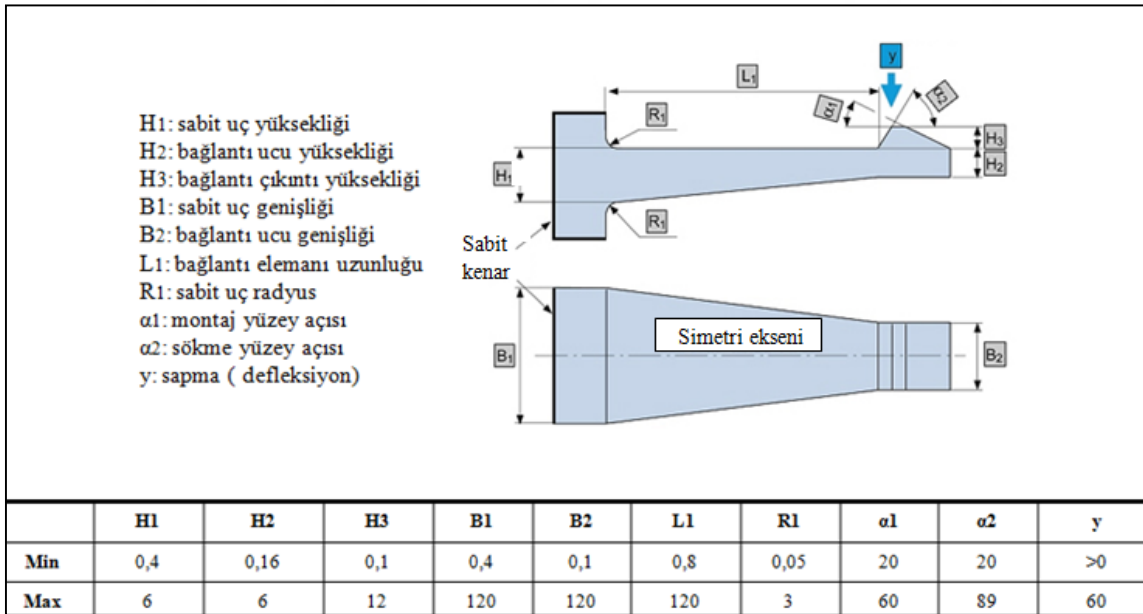
Şekil 4.1- 4.6 ile gösterilen “C”, “I”, “L”, “S”, “T” ve “V” tipi olmak üzere 6 adet esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı parametrik olarak tasarlanmış ve tasarlanan bu parçalar üzerindeki malzeme etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir eleman için boyutsal ölçüler ve parametre aralıkları tablolar halinde verilmiştir. Tasarım işlemi ANSYS ortamında gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak malzemelerin atanması ve mekanik analizler yine aynı ortamda sunulmuştur.

C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının tanımlanması



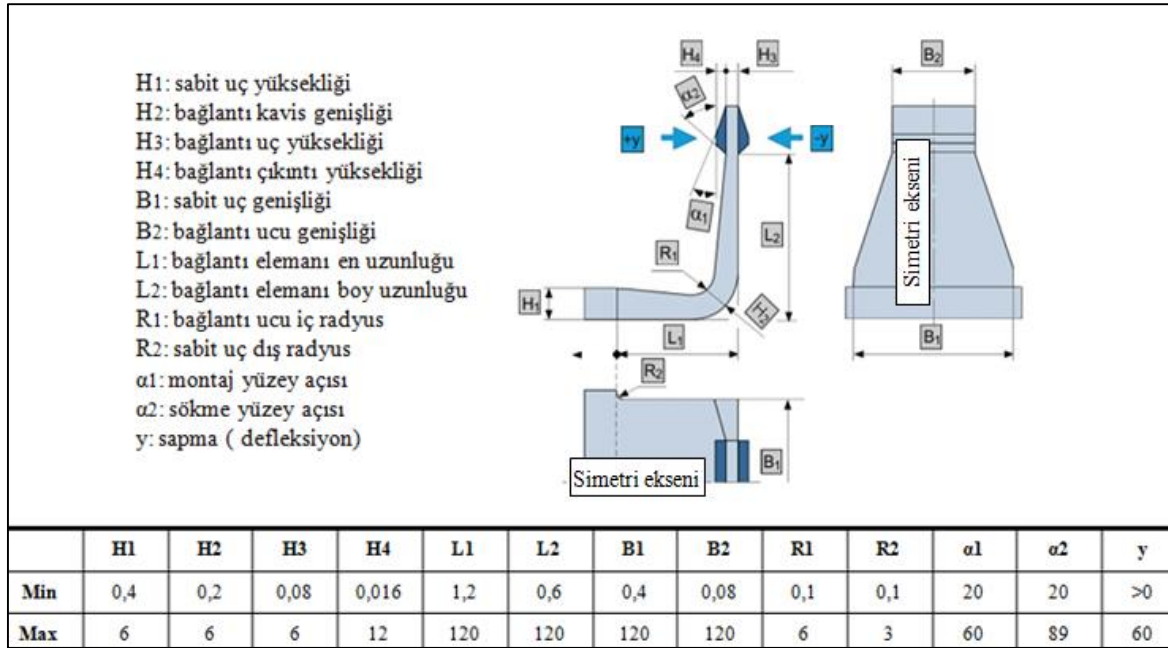
Şekil 4.1. C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması [42]

I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının tanımlanması



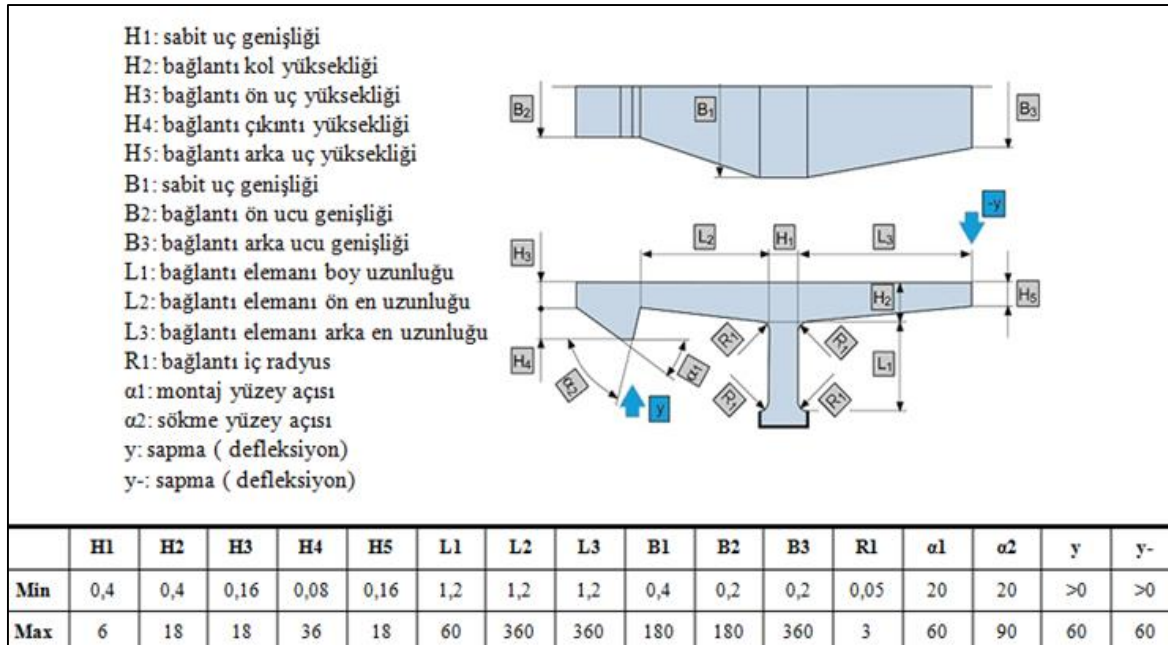
Şekil 4.2. I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması [42]

L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının tanımlanması



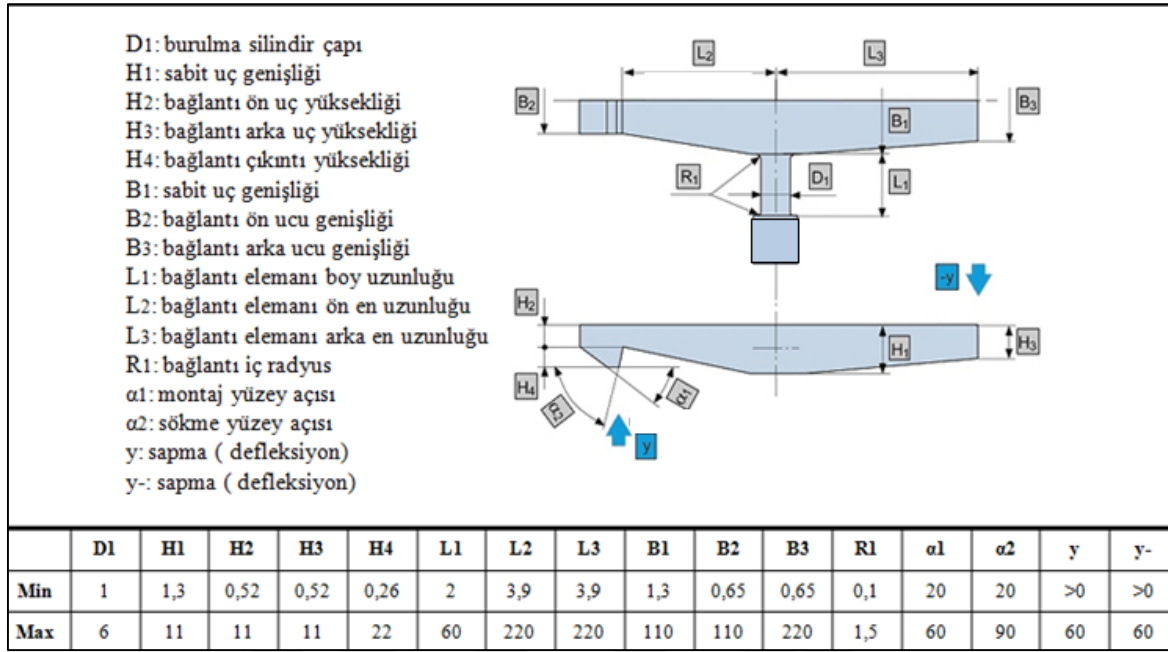
Şekil 4.3. L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması [42]

S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının tanımlanması



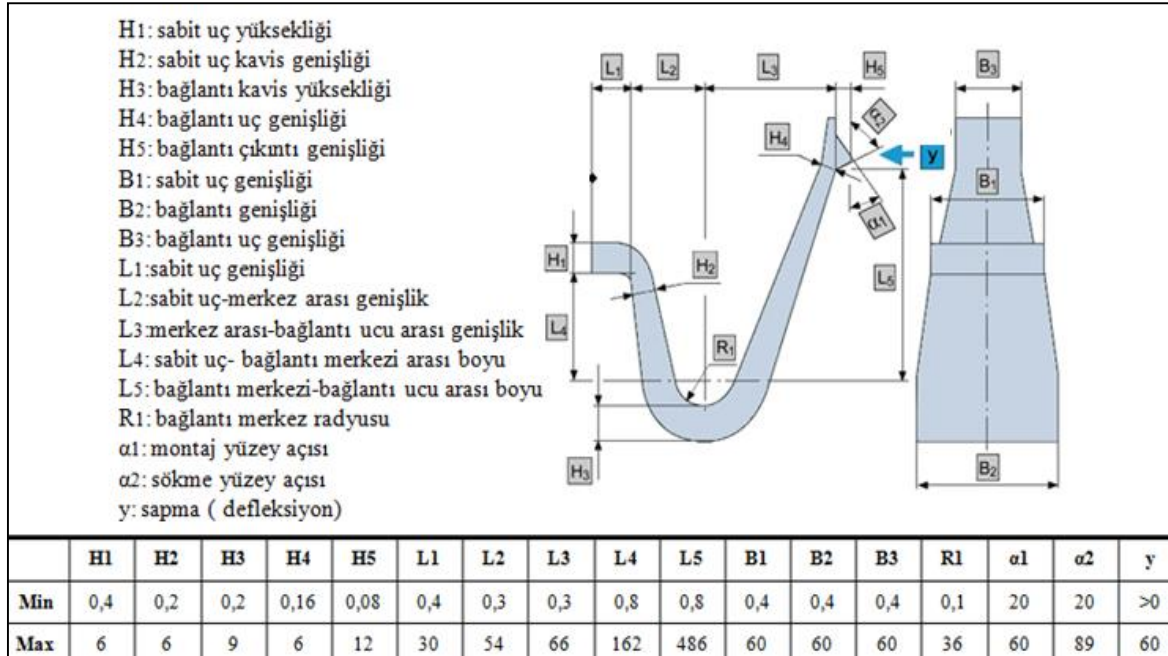
Şekil 4.4. S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması [42]

T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının tanımlanması



Şekil 4.5. T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması [42]

V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının tanımlanması

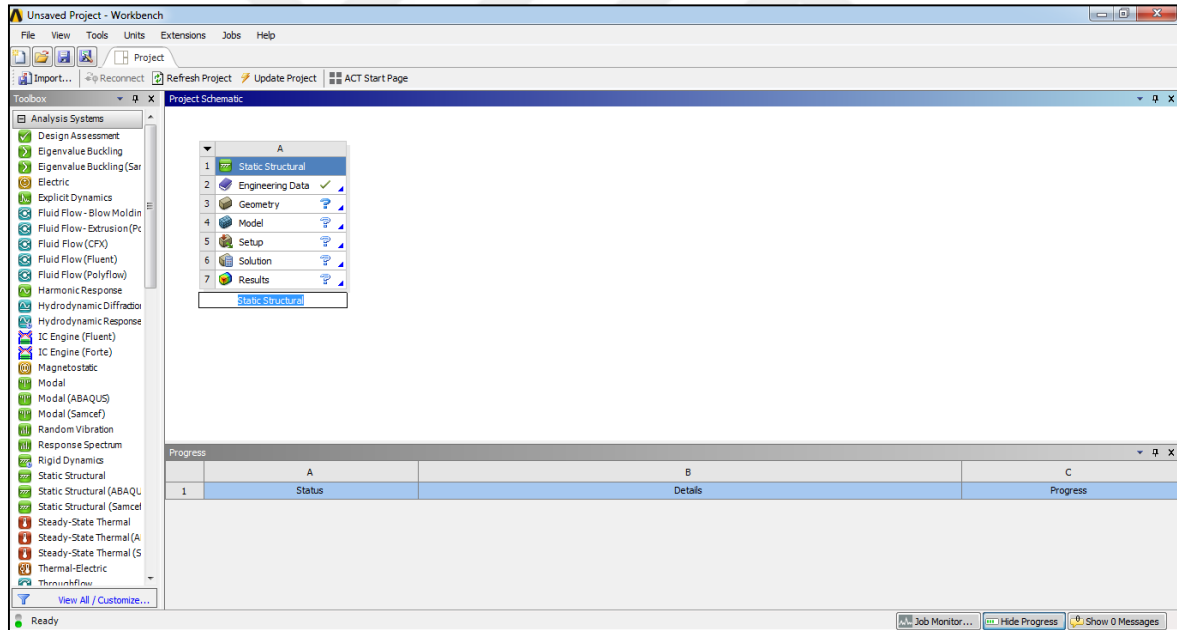


Şekil 4.6. V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının boyutlandırılması [42]

4.1.2. Katı Modellerin Hazırlanması

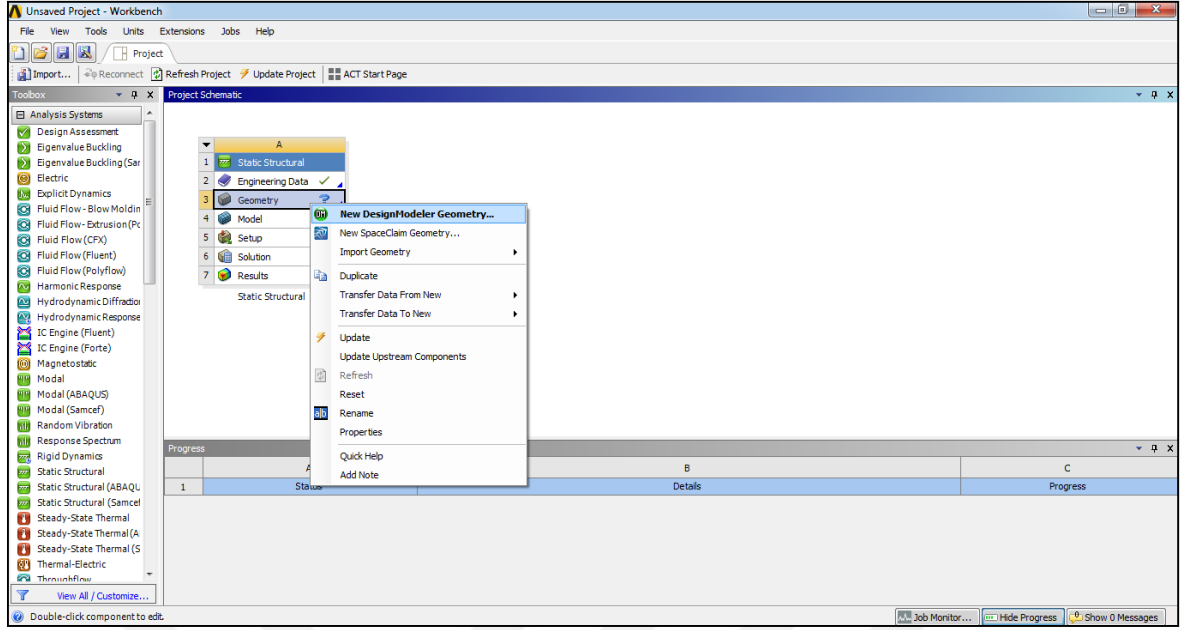
Katı model hazırlama işlemi ANSYS Design Modeler ortamında gerçekleştirilmiştir. Her bir model için parametre verileri oluşturulmuştur. Tasarımı yapılan bağlantı elemanı için malzeme ataması da yapılarak gerekli tüm boyutlar parametre işlemine tabi tutulmuştur. Taguchi metodu kullanılarak hazırlanan deney düzeneklerine göre gerekli parametreler girilmiştir. Yapılan tasarım işlemi adım adım anlatılmıştır.

Öncelikle ANSYS ortamında bir çalışma sayfası açılmıştır. Sol sütunda yer alan analiz yöntemlerinden uygun olanı için yapılan seçim işlemi Şekil 4.7 de gösterilmiştir. Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için gerilme, gerinim, yer değiştirme gibi mekanik analiz testleri uygulanacaktır. Bu sebeple analiz seçeneklerinden Static Structural analizi seçilerek işleme devam edilmiştir.



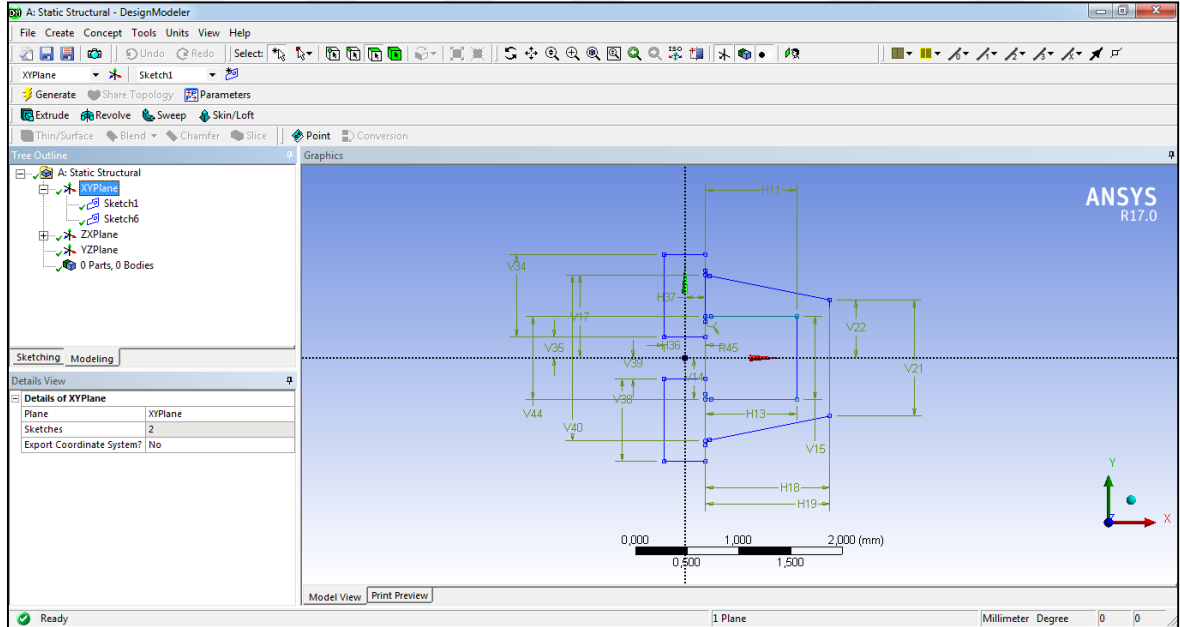
Şekil 4.7. ANSYS çalışma sayfasında uygun analiz yönteminin seçimi

Seçilen analiz ile Şekil 4.8 de gösterilen Engineering Data, Geometry, Model, Setup, Solution ve Results araçları aktif hale gelmiştir. Tasarım işlemine Geometry aracının sağ tıklanıp Design Modeler sayfasının aktif hale getirilmesiyle başlanmıştır.



Şekil 4.8. ANSYS çalışma sayfasında Design modeler sayfasının açılması

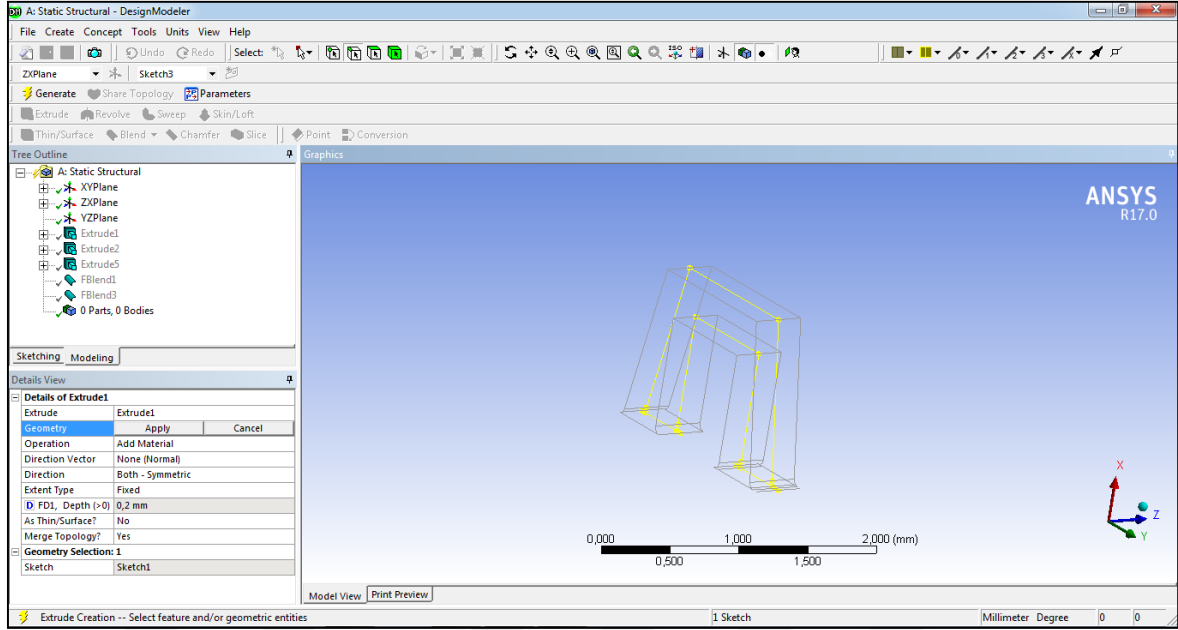
C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı iki adımdan oluşan tasarım işlemi ile oluşturulmuştur. Şekil 4.9 de gösterildiği gibi ilk kısım için iki boyutlu görsel çizilmiştir.



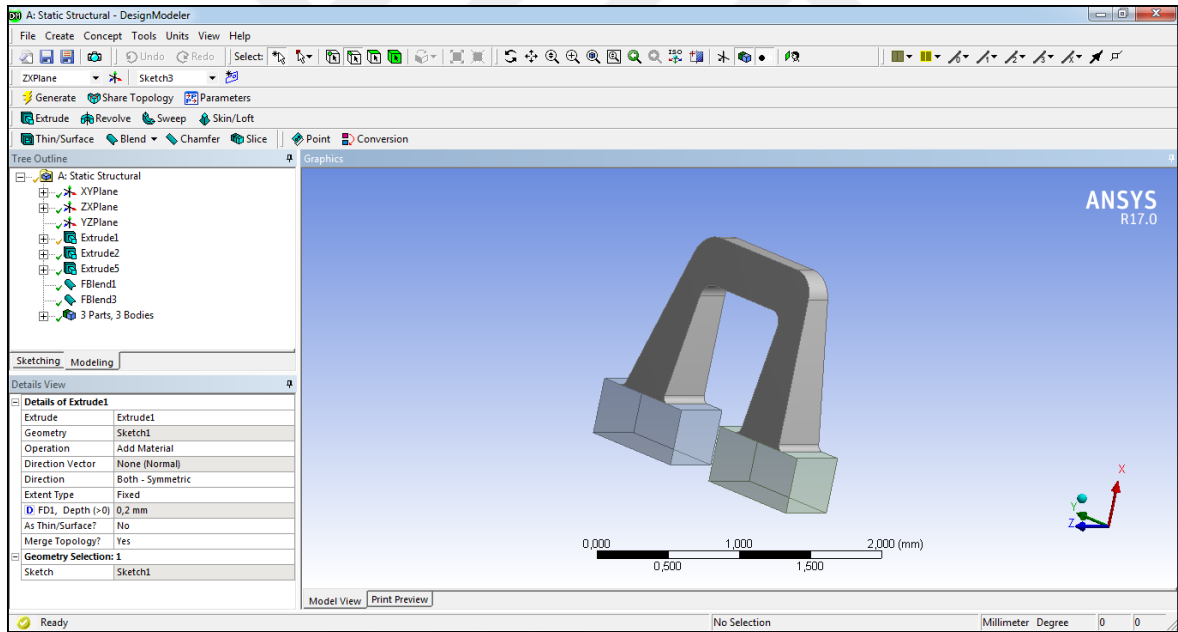
Şekil 4.9. Design modeler çalışma sayfası

İlk adımda çizilen bağlantı elemanı Extrude komutu ile katı hale getirilmiştir (Şekil 4.10).

Elde edilen katı görünümü şekil 4.11 de gösterilmiştir.

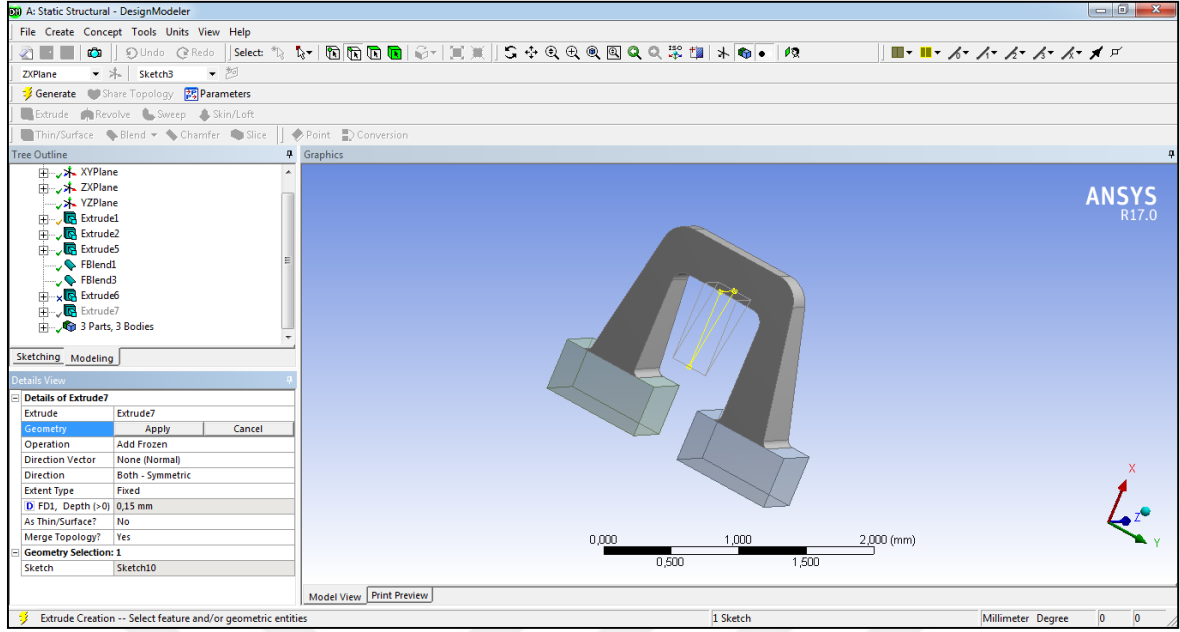


Şekil 4.10. Design modeller çalışma sayfası Extrude komutu kullanımı

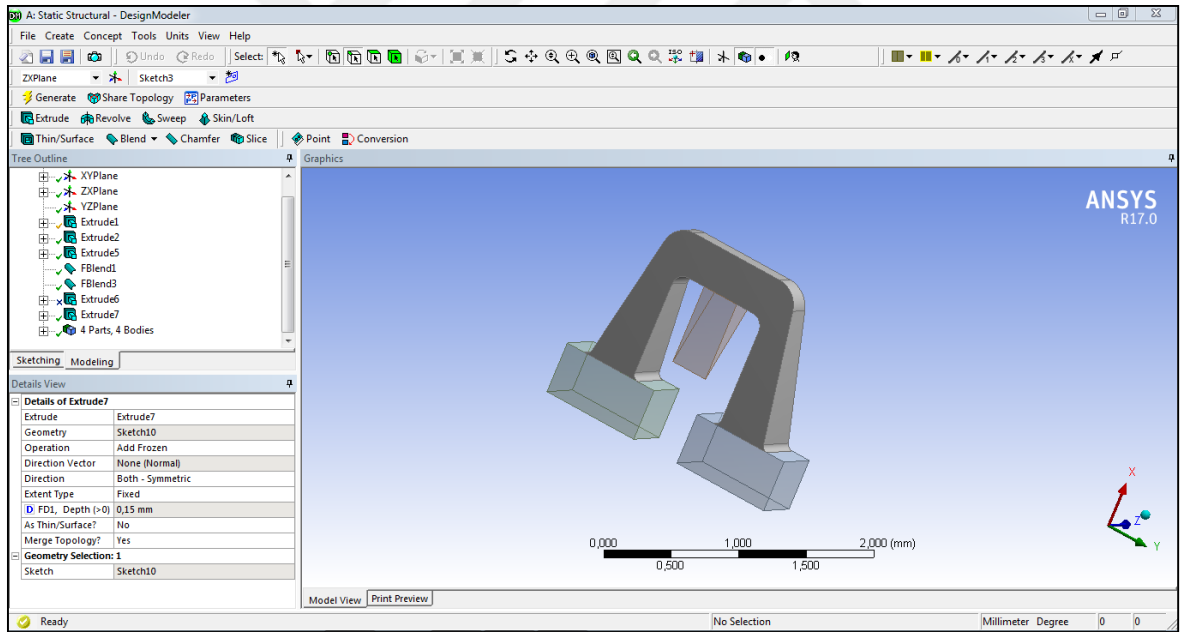


Şekil 4.11. Design modeller çalışma sayfası katı model oluşturma

İkinci kısım çıkıntı oluşturma işlemidir. Yine iki boyutlu olarak çizilen çıkıntı Extrude komutu ile katı hale dönüştürülmüştür. Şekil 4.12 de gösterildiği gibi parçaya ek çizilmiş ve şekil 4.13 de katı hale getirilerek tasarım işlemi tamamlanmıştır.

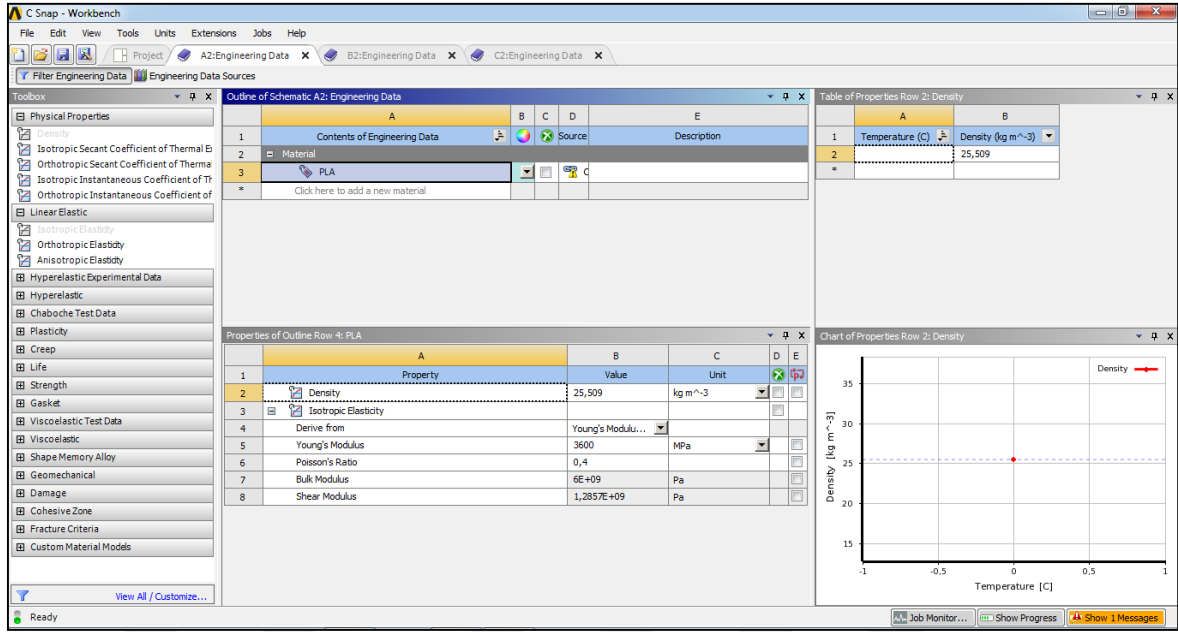


Şekil 4.12. Design modeler çalışma sayfası çıkıntı oluşturma işlemi

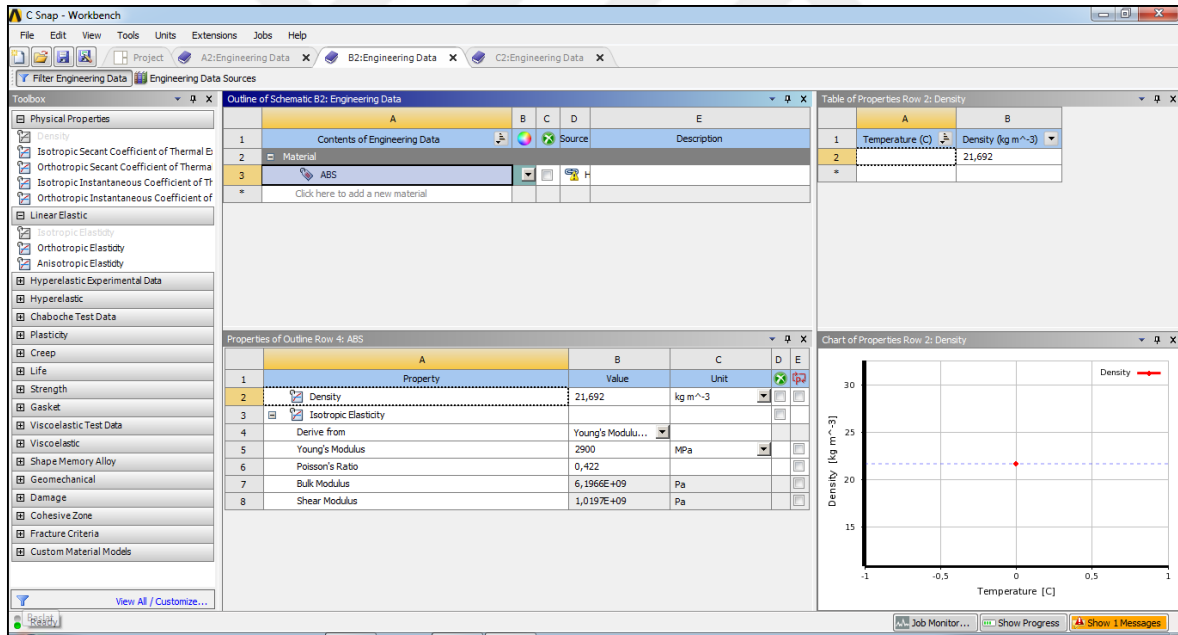


Şekil 4.13. C tipi bağlantı elemanının nihai görünüşü

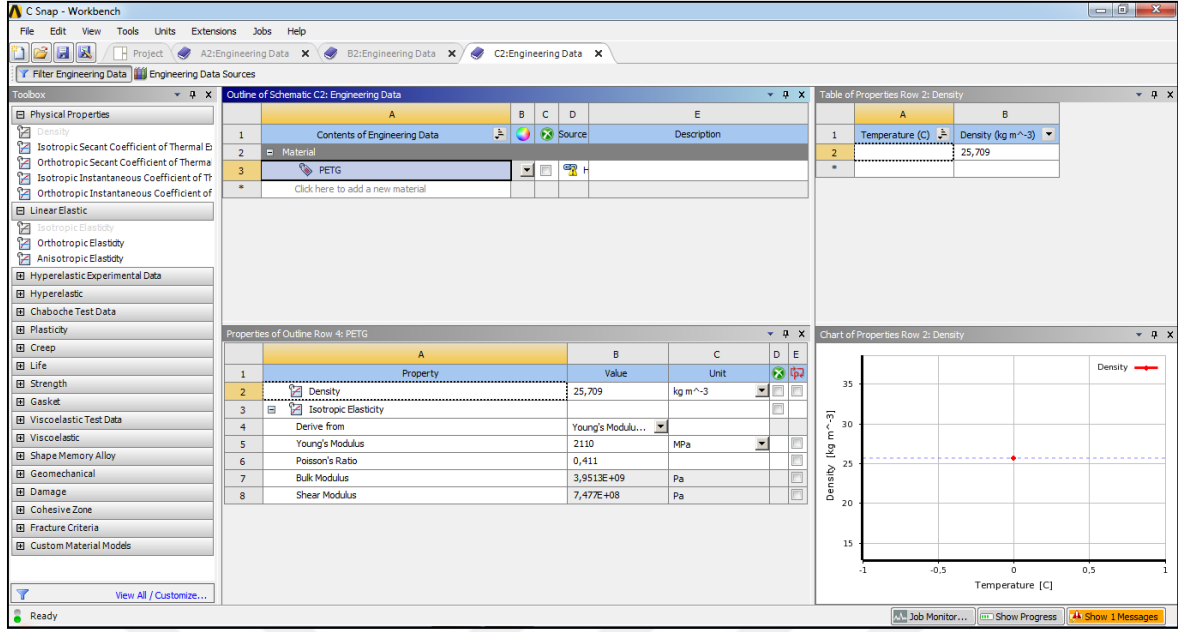
Tasarım işlemi tamamlanan C tipi bağlantı elemanı için Engineering Data aracı kullanılarak PLA, PETG ve ABS malzemelerinin özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 4.14-4.16). Böylece tasarımı tamamlanan bağlantı elemanı analiz yapılmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.14. C tipi bağlantı elemanı için PLA malzeme özelliklerinin tanımlanması



Şekil 4.15. C tipi bağlantı elemanı için ABS malzeme özelliklerinin tanımlanması

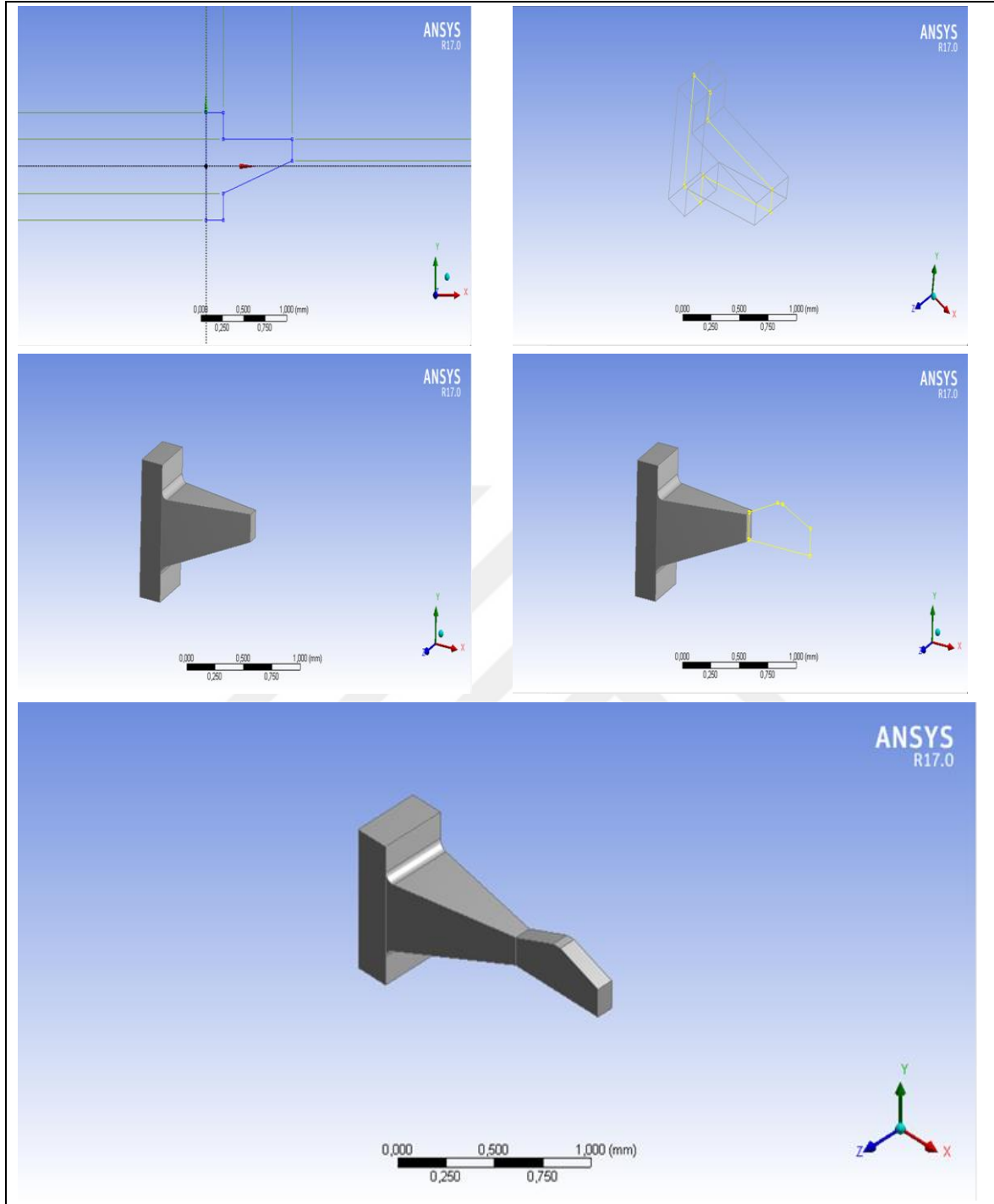


Şekil 4.16. C tipi bağlantı elemanı için PETG malzeme özelliklerinin tanımlanması

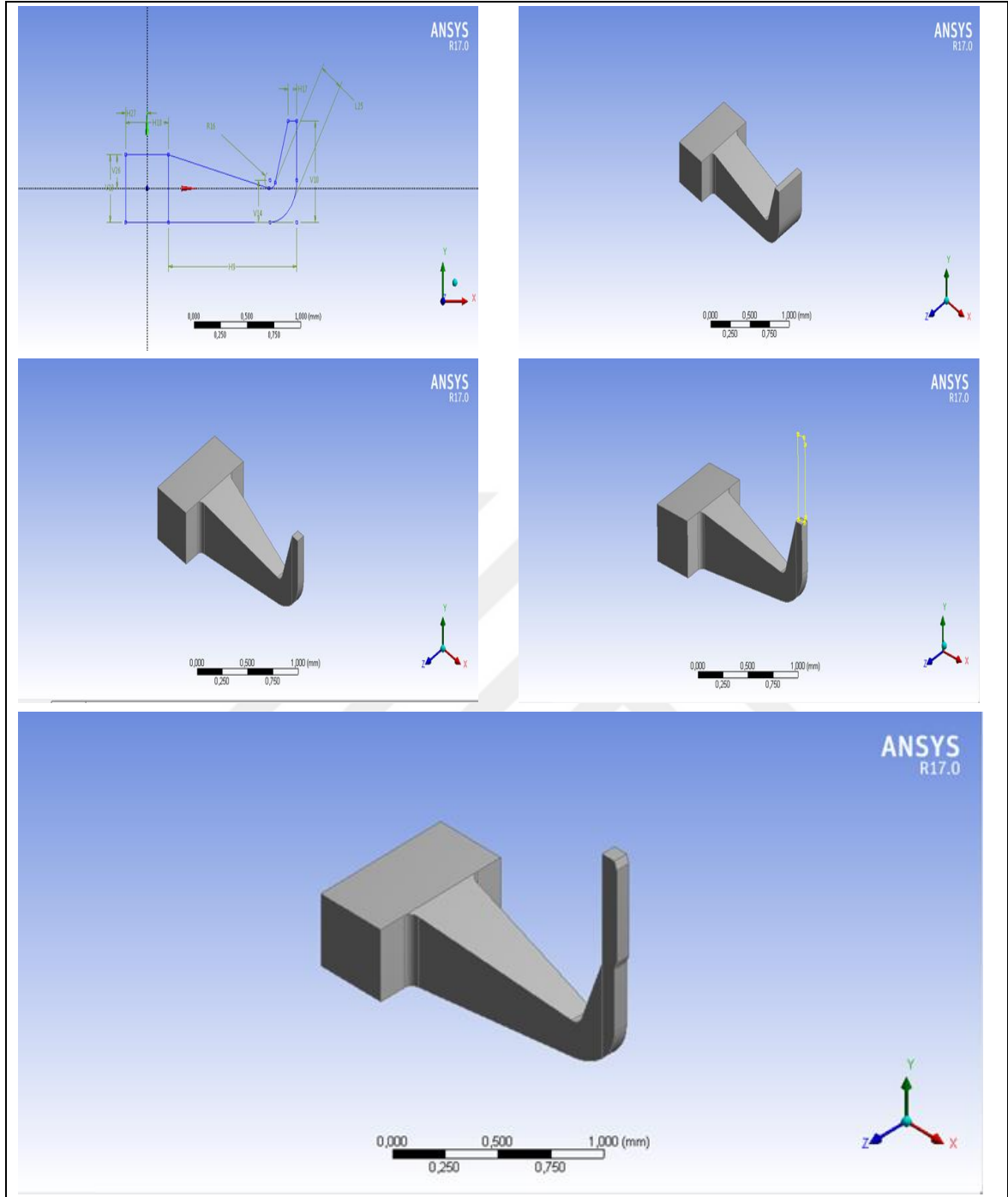
C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanına yapılan katı model hazırlama işlemi I tipi bağlantı elemanına da uygulanarak katı model oluşturulmuştur. Tasarımı yapılan bağlantı elemanı için malzeme ataması da yapılarak gerekli tüm boyutlar parametre işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan tasarım işlemi resimlerle gösterilmiştir.

I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı iki adımdan oluşan tasarım işlemi ile oluşturulmuştur. İlk adımda çizilen bağlantı elemanı Extrude komutu ile katı hale getirilmiştir. İlk kısım için iki boyutlu görsel çizilmiştir. İkinci kısım çıkıntı oluşturma işlemidir. Yine iki boyutlu olarak çizilen çıkıntı Extrude komutu ile katı hale dönüştürülmüştür. Tasarım işlemi tamamlanan I tipi bağlantı elemanı için Engineering Data aracı kullanılarak PLA, PETG ve ABS malzemelerinin özellikleri tanımlanmıştır. Böylece tasarımı tamamlanan bağlantı elemanı analiz yapılmaya hazır hale getirilmiştir.

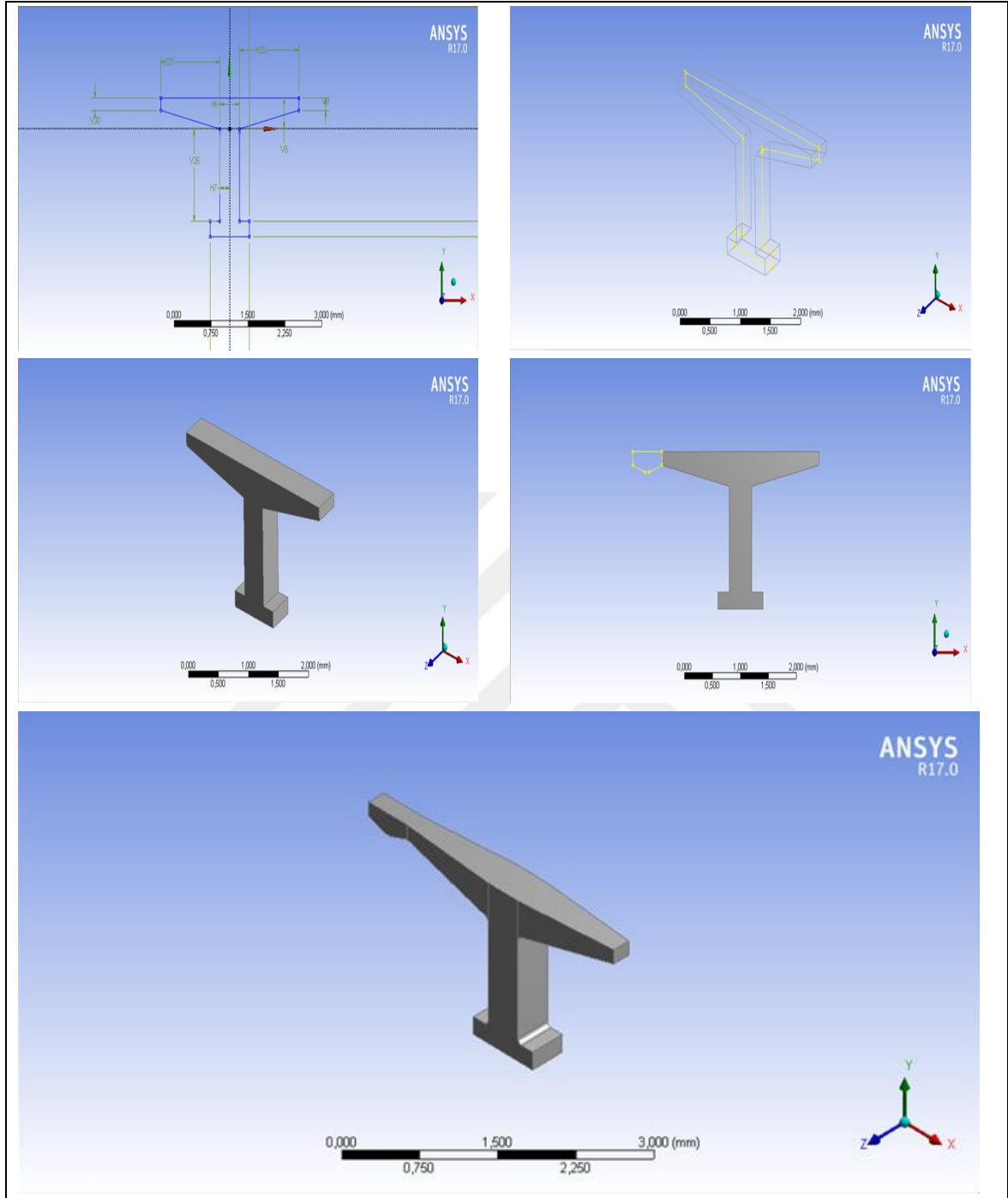
Aynı işlemler L, S, T ve V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları içinde uygulanmıştır. Yapılan tasarımlar aşama aşama Şekil 4.17- 4. 21 de gösterilmektedir. Genel olarak tasarımlar parçanın ana hattı oluşturularak başlamakta daha sonra çıkıntılı kısımları eklenmekte ve son olarak malzeme atama işlemi yapılarak işlem tamamlanmaktadır. Boyutlanmaların hepsi parametrik olarak belirlenerek parçalar analize uygun ve hazır hale getirilmiştir.



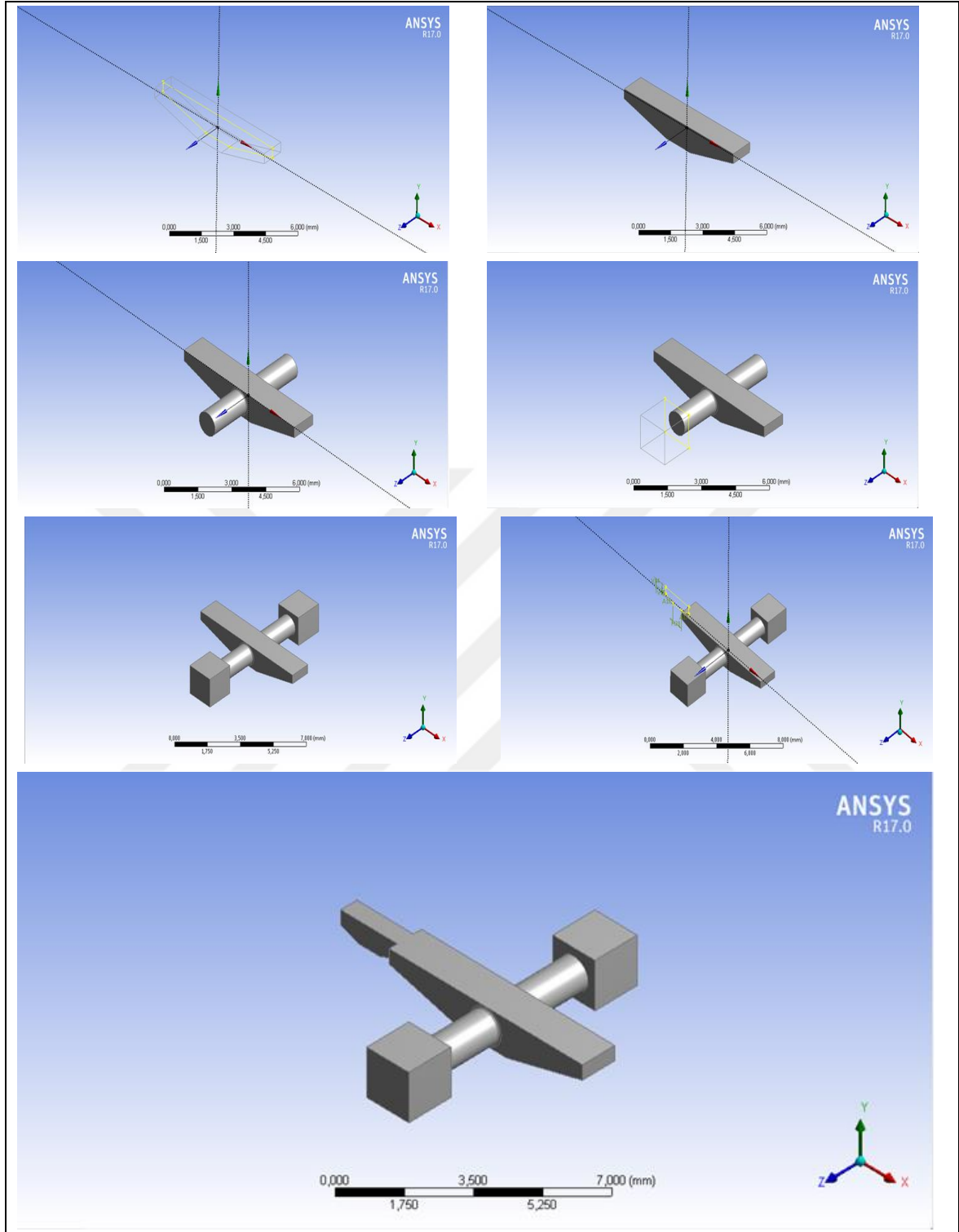
Şekil 4.17. I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları



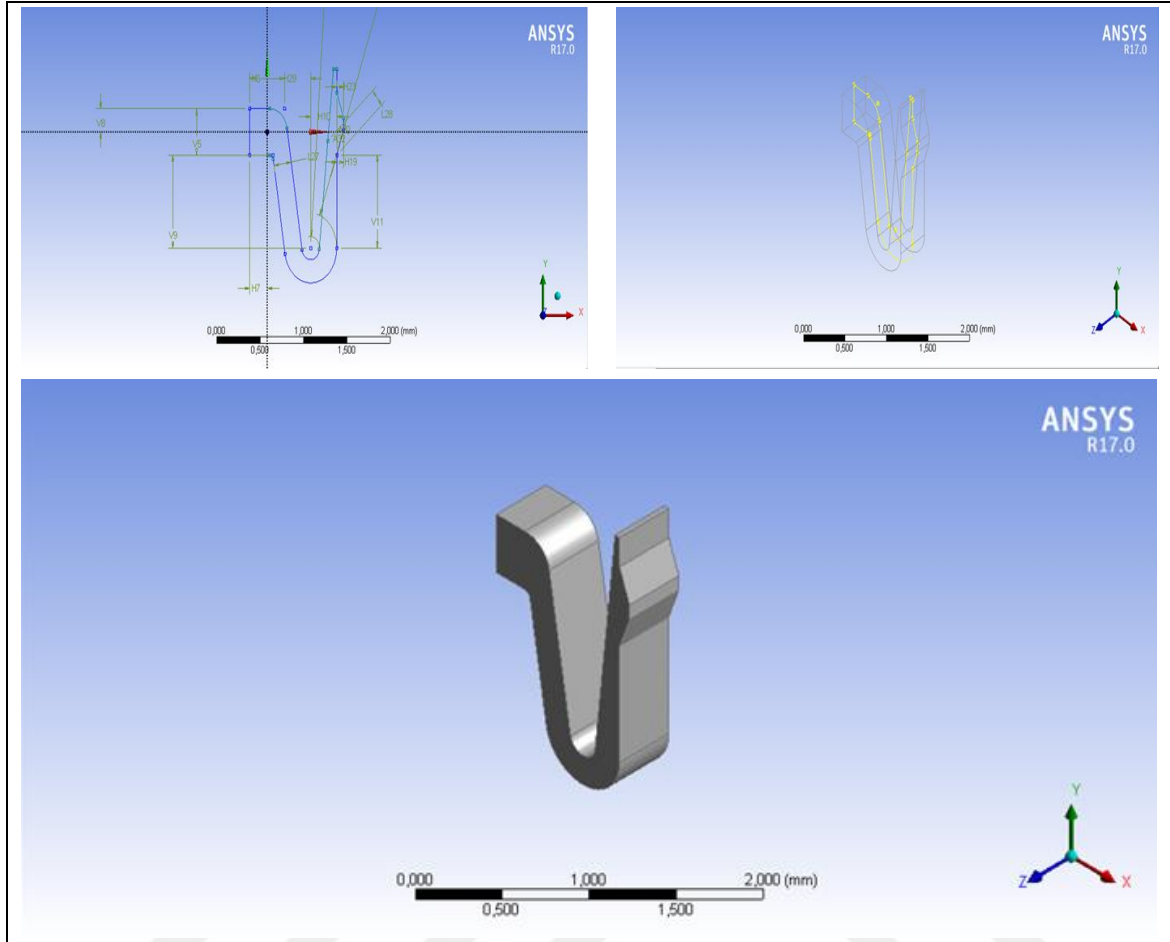
Şekil 4.18. L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları



Şekil 4.19. S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları



Şekil 4.20. T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları



Şekil 4.21. V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tasarım aşamaları

4.1.3. Taguchi metodu

Taguchi yöntemi Genichi Taguchi tarafından 1950'li yıllarda süreç en iyileştirme tekniği olarak Japonya'da geliştirilmiştir. Taguchi metodolojisi her bir parametrenin her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda ortogonal dizi tablosu ile kullanılarak çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmayı mümkün kılan deneysel bir tasarım yöntemidir. Taguchi yöntemi farklı parametrelerin farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamak için oldukça kullanışlı bir yöntemdir [43]. Taguchi yöntemi ile deney tasarımı yapılan çalışmalarda az sayıdaki bir örnek grubu ile yapılan tasarım ve analizler genellendirilmiş ve bu yöntemle yapılan çalışmaların büyük olasılık grubunu yorumlamak için yeterli olduğu akademik çalışmalarda ispatlanmıştır.

Taguchi metodu ile deney setlerinin oluşturulması

Bağlantı elemanı parametreleri için tüm olasılıklar değerlendirilerek deney setleri oluşturulmuştur. Her bir tırnak tipi için belirlenen parametreler olasılık kümesi içerisinde çaprazlanarak deney setleri elde edilmiştir. Oluşturulan deney set çaprazlamalarında elde edilen veriler ile toplamda oldukça fazla sayıda (486x3) deney seti elde edilmesi üzerine Taguchi metodu kullanılarak deney set sayıları (18x3) azaltılmıştır. Yalnızca V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için (162x3) deney seti (18x3) deney setine düşürülmüştür. Daha sonra oluşturulan yeni deney setleri ile ANSYS ortamında analizler yapılmıştır. Analiz işlemi ardından elde edilen veriler Minitab programında Taguchi metoduna uygulanarak en etkili parametrelerin neler olduğu belirlenmiştir. Deney setleri hazırlanırken belirli parametre aralıkları kullanılması gerekmektedir. Şekil 4.1- 4.6 arasındaki çizelgeler incelenmiş ve maksimum-minimum değerler de göz önünde bulundurularak çizelge 4.1 oluşturulmuştur. Oluşturulan çizelgede minimum değer elde eden parametrik bağlantılar dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.1. Taguchi modeli için belirlenen parametre değerleri

D1	H1	R1	$\alpha 1$	$\alpha 2$	y	Malzeme
1	0,4	0,05	20	20	0,1	PLA
2	1,2	1,5	40	40	3	ABS
3	2,4	3	60	89	6	PETG
4	3,6					
5	4,8					
6	6					

Taguchi modeli kurulurken belirlenen parametre değerlerinin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir. Bağlantı elemanlarının parametreleri incelendiğinde H1 değerinin R1, α_1 , α_2 ve y değeri hariç diğer tüm değerlerle bir bağı olduğu görülmüştür. Ayrıca malzemelerde parametre olarak atanmıştır. T tipi bağlantı elemanında D1 parametresi H1 parametresi yerine geçerek bağımsız olmuştur. Bu bağlantı elemanı için H1 parametresi bağımlı bir parametredir. Buna ek olarak V tipi bağlantı elemanı için R1 parametresi bağımlıdır. Oluşturulan Taguchi modeli örneği C, I, L ve S tipi bağlantı elemanı için uygulanmıştır (Çizelge 4.2). Belirlenen bu bağımsız parametreler Minitab programı kullanılarak Taguchi modeline yerleştirilmiştir.

Çizelge 4.7 incelendiğinde bir tırnak elemanı için tüm olasılıklar düşünülürse $6 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3$ olmak üzere toplamda 1458 adet deney yapılması gerekmektedir. Taguchi modeli kullanılarak yapılması gereken bu deney sayısı her bir tırnak (V tipi hariç) için 54 sete düşürülmüştür. Oluşturulan deney setleri 3 farklı malzemeye uygulandığı için 18×3 ve toplamda 486x3 deney çözülmüştür. Tırnak yapıları incelendiğinde V tipi hariç aynı parametrelerin bağımsız olduğu görülmüştür. Böylece V tipi bağlantı elemanı hariç diğer eleman için oluşturulan tek bir model ile ayrı ayrı kullanılarak analiz işlemi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.2). Çizelge 4.3 ile V tipi tırnak için oluşturulan model sunulmuştur.

Çizelge 4.2. C, I, L, S ve T tırnak tipi için oluşturulan deney setleri

Deney No	H1/D1	R1	$\alpha 1$	$\alpha 2$	y	Malzeme	A	B	C	D	E	F
1	0,4/1	0,05	20	20	0,1	PLA	1	1	1	1	1	1
2	0,4/1	1,5	40	60	3	ABS	1	2	2	2	2	2
3	0,4/1	3	60	89	6	PETG	1	3	3	3	3	3
4	1,2/2	0,05	20	60	3	PETG	2	1	1	2	2	3
5	1,2/2	1,5	40	89	6	PLA	2	2	2	3	3	1
6	1,2/2	3	60	20	0,1	ABS	2	3	3	1	1	2
7	2,4/3	0,05	40	20	6	ABS	3	1	2	1	3	2
8	2,4/3	1,5	60	60	0,1	PETG	3	2	3	2	1	3
9	2,4/3	3	20	89	3	PLA	3	3	1	3	2	1
10	3,6/4	0,05	60	89	3	ABS	4	1	3	3	2	2
11	3,6/4	1,5	20	20	6	PETG	4	2	1	1	3	3
12	3,6/4	3	40	60	0,1	PLA	4	3	2	2	1	1
13	4,8/5	0,05	40	89	6	PETG	5	1	2	3	1	3
14	4,8/5	1,5	60	20	3	PLA	5	2	3	1	2	1
15	4,8/5	3	20	60	6	ABS	5	3	1	2	3	2
16	6/6	0,05	60	60	6	PLA	6	1	3	2	3	1
17	6/6	1,5	20	89	0,1	ABS	6	2	1	3	1	2
18	6/6	3	40	20	3	PETG	6	3	2	1	2	3

Çizelge 4.3. V tırnak tipi için oluşturulan deney setleri

Deney No	H1	$\alpha 1$	$\alpha 2$	y	Malzeme	A	B	C	D	E
1	0,4	20	20	0,1	PLA	1	1	1	1	1
2	0,4	40	60	3	ABS	1	2	2	2	2
3	0,4	60	89	6	PETG	1	3	3	3	3
4	1,2	20	20	3	ABS	2	1	1	2	2
5	1,2	40	20	6	PETG	2	2	2	3	3
6	1,2	60	89	0,1	PLA	2	3	3	1	1
7	2,4	20	60	0,1	PETG	3	1	2	1	3
8	2,4	40	89	3	PLA	3	2	3	2	1
9	2,4	60	20	6	ABS	3	3	1	3	2
10	3,6	20	89	6	ABS	4	1	3	3	2
11	3,6	40	20	0,1	PETG	4	2	1	1	3
12	3,6	60	60	3	PLA	4	3	2	2	1
13	4,8	20	60	6	PLA	5	1	2	3	1
14	4,8	40	89	0,1	ABS	5	2	3	1	2
15	4,8	60	20	3	PETG	5	3	1	2	3
16	6	20	89	3	PETG	6	1	3	2	3
17	6	40	20	6	PLA	6	2	1	3	1
18	6	60	60	0,1	ABS	6	3	2	1	2

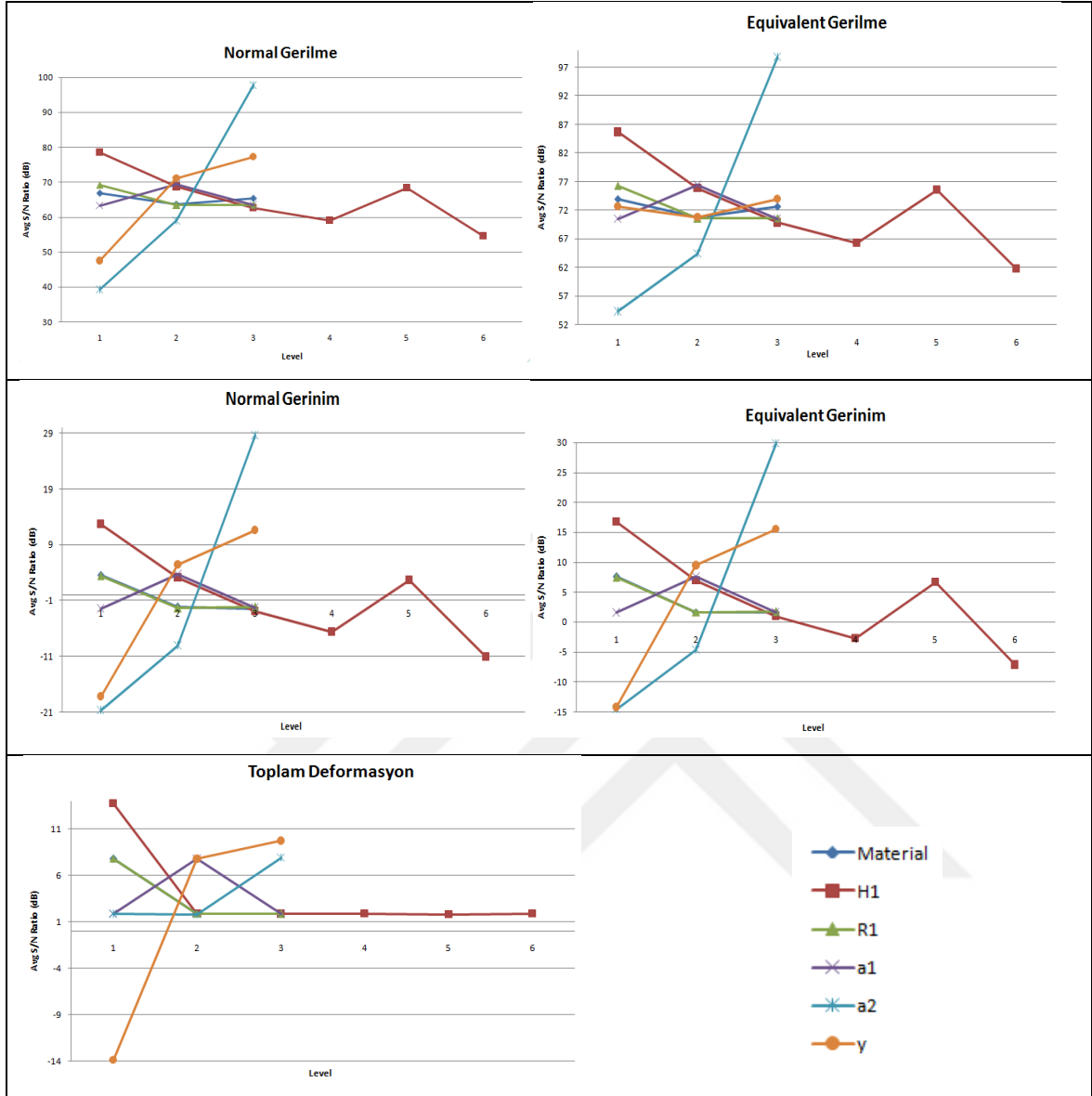
Bir Taguchi modeli level ve faktörlerden meydana gelmektedir. 2, 3, 4, 5 level gibi seçenekler eşit sayıda değişken bulunduran parametrelerden oluşmaktadır. Çizelge 4.7 de görüldüğü üzere, yapılan çalışmada deney parametrelerinde bulunan değişkenler farklı sayılarda bulunmaktadır. Bu sebeple yapılan çalışma için mix level adı verilen seçenek seçilmiştir. Seçilen mix level için birbirinden bağımsız 6 adet parametre bulunması sebebiyle 6 faktör seçilerek önerilen deney setleri seçeneği açılmıştır. Açılan seçenekte L18 ($6^1 3^5$) olan ortogonal Taguchi modeli belirlenerek çizelge 4.2 de gösterilen deney setleri kurulmuştur. Çizelge 4.8 de gösterilen A, B, C, D, E ve F harfleri sırasıyla H1, R1, $\alpha 1$, $\alpha 2$, y ve malzeme parametrelerine denk gelmektedir. T tipi bağlantı elemanı için H1 parametresi yerine D1 parametresi bağımsızdır. Burada D1 değerleri 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 olmak üzere seçilmiştir.

C, I, L, S ve T tipi bağlantılarda aynı Taguchi modeli kullanılarak işlem gerçekleştirilmiştir. Son olarak V tipi bağlantı elemanı için R1 parametresi bağımlı bir parametre olarak kullanılmıştır. Bu sebeple Taguchi modeli 6x3x3x3x3 olacak şekilde 5 bağımsız değişken için kurgulanmıştır. Elde edilen deney setleri ANSYS ortamında parametrik bir şekilde analiz edilmiştir.

Aynı zamanda Taguchi metodu ile kullanılan parametreler optimize edilmiştir. Gerilme, gerinim ve deformasyon çıktıları için değerler maksimize edilmek istenmiştir. Böylece tasarımı yapılan bağlantı elemanlarının maksimum dayanımlarına bakılmıştır. Bunun için “larger is beter” komutu seçilerek her bir parametrenin S/N (sinyal/gürültü) oranları alınmış ve Şekil 4.22 de ki grafikler elde edilmiştir. Grafiği inceleyecek olursak her bir nokta Çizelge 4.1 de belirlenen bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. Level olarak belirlenen yatay ekseninde bu çizelgedeki sıraya göre 1, 2, 3, 4, 5, ve 6 şeklinde leveller yazılmıştır. Örneğin H1 parametresi için 0,4; 1,2; 2,4; 3,6; 4,8 ve 6’yı tanımlarken malzeme parametresi için sırası ile PLA, ABS ve PETG faktörlerinin levellerini ifade etmektedir. C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanına ait elde edilen bu grafikler örnek gösterilmiştir. C tipi bir bağlantı elemanı için kullanım yeri ve şartlarına göre toplam deformasyon değerini maksimize eden parametre değerleri malzeme için PLA, H1 için 0,4, R1 için 0,05, $\alpha 1$ için 40, $\alpha 2$ için 89 ve y için 6 değerleridir. Grafikler incelendiğinde gerilme, gerinim ve deformasyon değerlerinin C tipi parça için aynı değerlerde optimize olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. C tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri

Parametre	Normal Gerilme için Optimum Değer	Equivalent Gerilme için Optimum Değer	Normal Gerinim için Optimum Değer	Equivalent Gerinim için Optimum Değer	Toplam Deformasyon için Optimum Değer
Malzeme	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA
H1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
R1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
$\alpha 1$	40	40	40	40	40
$\alpha 2$	89	89	89	89	89
y	6	6	6	6	6



Şekil 4.22. C tipi bağlantı elemanı S/N-Level grafikleri

Aynı işlemler diğer bağlantı elemanlarına da uygulanmış ve elde edilen optimum değerler Çizelge 4.5- 4.9 ile sunulmuştur. Genel olarak değerlendirecek olursak optimum gerilme değerleri PLA ile sağlanırken optimum gerinim değerlerine ABS ile ulaşılmıştır. Boyutsal parametreleri inceleyecek olursak H1 ve D1 parametrelerinin minimum değerleri gerilme ve gerinim değerlerini maksimize ederken y (defleksiyon) parametresinin maksimum değerleri gerilme, gerinim ve deformasyon değerlerinin maksimum değerlere ulaşmasını sağlamıştır. R1, α_1 ve α_2 parametre değerleri belirlenen koşullara göre değişiklik göstermiştir.

Çizelge 4.5. I tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri

Parametre	Normal Gerilme için Optimum Değer	Equivalent Gerilme için Optimum Değer	Normal Gerinim için Optimum Değer	Equivalent Gerinim için Optimum Değer	Toplam Deformasyon için Optimum Değer
Malzeme	PLA	PLA	PLA	PETG	ABS
H1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
R1	3	1,5	1,5	1,5	1,5
α 1	20	40	40	20	20
α 2	20	60	60	60	89
y	6	6	6	6	6

Çizelge 4.6. L tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri

Parametre	Normal Gerilme için Optimum Değer	Equivalent Gerilme için Optimum Değer	Normal Gerinim için Optimum Değer	Equivalent Gerinim için Optimum Değer	Toplam Deformasyon için Optimum Değer
Malzeme	PLA	PLA	ABS	PLA	ABS
H1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
R1	1,5	1,5	3	1,5	0,05
α 1	20	20	20	20	20
α 2	89	89	89	89	89
y	6	6	6	6	6

Çizelge 4.7. S tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri

Parametre	Normal Gerilme için Optimum Değer	Equivalent Gerilme için Optimum Değer	Normal Gerinim için Optimum Değer	Equivalent Gerinim için Optimum Değer	Toplam Deformasyon için Optimum Değer
Malzeme	PLA	PLA	ABS	ABS	PLA
H1	0,4	0,4	0,4	0,4	1,2
R1	1,5	1,5	1,5	1,5	3
α 1	20	20	20	20	60
α 2	60	60	60	60	90
y	6	6	6	6	6

Çizelge 4.8. T tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri

Parametre	Normal Gerilme için Optimum Değer	Equivalent Gerilme için Optimum Değer	Normal Gerinim için Optimum Değer	Equivalent Gerinim için Optimum Değer	Toplam Deformasyon için Optimum Değer
Malzeme	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA
D1	1	1	1	1	6
R1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
α 1	20	20	20	20	20
α 2	20	20	20	20	20
y	6	6	6	6	6

Çizelge 4.9. V tipi EKBE için Taguchi optimizasyon değerleri

Parametre	Normal Gerilme için Optimum Değer	Equivalent Gerilme için Optimum Değer	Normal Gerinim için Optimum Değer	Equivalent Gerinim için Optimum Değer	Toplam Deformasyon için Optimum Değer
Malzeme	PLA	PLA	ABS	ABS	PLA
H1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
α 1	60	60	60	60	60
α 2	89	89	89	89	89
y	6	6	6	6	6

4.2. Sonlu Elemanlar Analizi ve Kapsamı

Gelişen teknoloji, tasarımı yapılan makinelerin ve makine elemanlarının gerçek çalışma koşullarına çok yakın simüle edilebilmesine olanak sağlamıştır. Bu sayede bir ürünün prototip aşamasına geçilmeden bu analizler yapılarak gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi ve zaman, maliyet gibi pek çok yönden yarar sağlaması amaçlanmıştır. Tasarlanan bir ürünü küçük parçalara ayırarak belirli bir sayıya getirip çözüm işlemi yapan ve sonlu eleman analizi olarak tanımlanan bu yöntem için piyasada çok sayıda yazılım mevcuttur. Bu çalışma için ANSYS yazılımı seçilmiş ve tasarlanan esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Parametrik bir şekilde boyutlandırılması ve malzeme ataması yapılan ürünlerin gerinim, gerilme ve deformasyon sonuçları irdelenmiştir.

Analiz sonucu elde edilen veriler öncelikle Taguchi analizi ile kullanılarak deney parametrelerinde etkili olan parametre belirlenmiştir. Daha sonra aynı veriler MATLAB ortamında modellenmek üzere aktarılmıştır.

4.2.1. Sonlu elemanlar analizi

Sonlu elemanlar analizi fiziksel durumları alt fonksiyonlara ayırarak matematiksel çözümler elde etme yöntemidir. Belirlenen bir fiziksel durum için alt fonksiyonlarına ait çözümlerin elde edilmesi ile tam çözümlerin bulunması sağlanır [44]. Öte yandan mühendislik problemlerinin çözümleri için nokta koordinatları belirlenerek matrisler oluşturulur ve bu matrislere çözümler getirilir. Yapılan çalışma için EKBE üzerinde oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler ele alınmıştır. Gerilme ve şekil değiştirme matrislerini şu şekilde yazmak mümkündür:

$$\sigma = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{yz} \ \tau_{xz} \ \tau_{xy}]^T \quad (4.1)$$

$$\epsilon = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \epsilon_z \ \gamma_{yz} \ \gamma_{xz} \ \gamma_{xy}]^T \quad (4.2)$$

D (6x6) boyutunda simetrik bir matristir. İzotrop malzemeler için D matrisi:

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

ile gösterilmektedir. Bu üç denklemin birleşiminden,

$$\sigma = D \epsilon \quad (4.4)$$

gerilme-şekil değiştirme bağıntısını elde etmek mümkündür.

Chandrupatla ve Belegundu çalışmalarında sonlu elemanlara dönüşümü ayrıntılı bir biçimde sunmuştur [45].

V hacimli ve S yüzeyli bir üç boyutlu cisim içinde bulunan noktalar x, y, z koordinatlarıyla belirlenmektedir (Şekil 4.23). x, y, z yönünde meydana gelen yer değişimleri sırası ile u, v, w olarak tanımlanmıştır. Bir kuvvet etkisi ile meydana gelen şekil değişimi o noktada meydana gelen yer değişiminin bu üç bileşeni ile verilir:

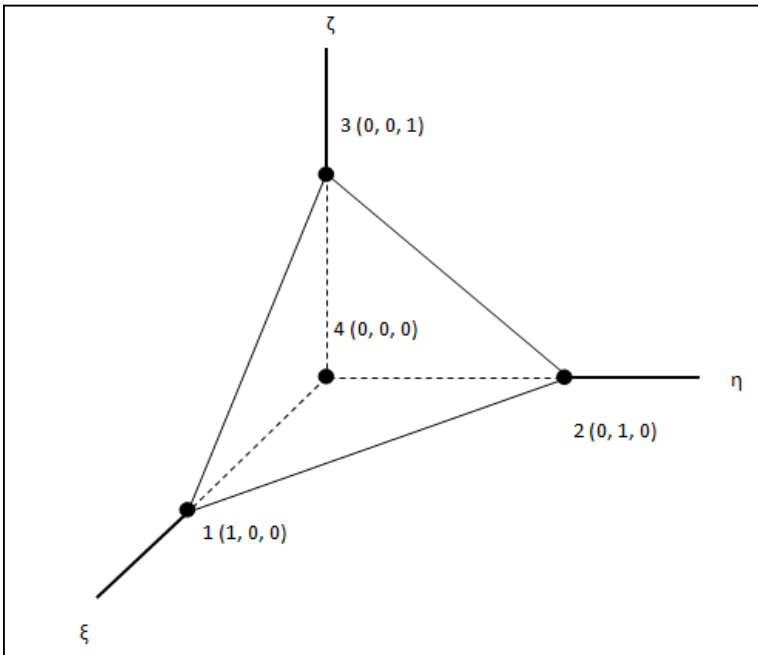
$$u = [u \ v \ w]^T \quad (4.5)$$

Hacim düğümlü yüzeylere bölünerek sonlu elemanlar formüle edilir. Her bir yerel düğüm (q_1, q_2, q_3 gibi) ve karşılık gelen global düğümlere (Q_1, Q_2, Q_3 gibi) üç serbestlik derecesi atanır. Bu sayede global ve yer değiştirme vektörleri,

$$q = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ \dots \ q_{12}]^T \quad (4.6)$$

$$Q = [Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ \dots \ Q_N]^T \quad (4.7)$$

ile tanımlanır. Burada N her bir düğümde üç olmak üzere, yapıdaki toplam serbestlik derecesidir.



Şekil 4.23. Ana elemanın gösterimi [45]

Şekil fonksiyonları,

$$N_1 = \xi \quad N_2 = \eta \quad N_3 = \zeta \quad N_4 = 1 - \xi - \eta - \zeta \quad (4.8)$$

olarak tanımlanır. x' teki u , v , ve w yer değiştirmeleri bilinmeyen düğüm değerleri cinsinden,

$$u = Nq \quad (4.9)$$

şeklinde yazılabilir. Eş parametrelili dönüşüm,

$$\begin{aligned} x &= N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4 \\ y &= N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4 \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$z = N_1z_1 + N_2z_2 + N_3z_3 + N_4z_4$$

ile verilir. Tanımlanan şekil fonksiyonlarında N_i değerleri yerine konularak,

$$\begin{aligned} x &= x_4 + x_{14}\xi + x_{24}\eta + x_{34}\zeta \\ y &= y_4 + y_{14}\xi + y_{24}\eta + y_{34}\zeta \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$z = z_4 + z_{14}\xi + z_{24}\eta + z_{34}\zeta$$

elde edilir.

Kısmi türevler için zincir kuralını kullanarak, sözgelimi u' ya,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial u}{\partial \zeta} \end{Bmatrix} = J \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} \quad (4.12)$$

bağıntısı ile ξ , η , ζ ' ya göre kısmi türevler x , y , z türevleriyle ilişkilendirilir. Jacobian dönüşümü,

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{14} & Y_{14} & Z_{14} \\ X_{24} & Y_{24} & Z_{24} \\ X_{34} & Y_{34} & Z_{34} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

ile verilir.

Elemanın hacmi,

$$V_e = \left| \int_0^1 \int_0^{1-\xi} \int_0^{1-\xi-\eta} \det J \, d\xi \, d\eta \, d\zeta \right| \quad (4.14)$$

İle verilir. Eş. 32 ye karşılık gelen ters bağıntı,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} = A \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial u}{\partial \zeta} \end{Bmatrix} \quad (4.15)$$

ile verilir. A Jacobian matrisinin J^{-1} tersidir:

$$A = J^{-1} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} Y_{24}Z_{34} - Y_{34}Z_{24} & Y_{34}Z_{14} - Y_{14}Z_{34} & Y_{14}Z_{24} - Y_{24}Z_{14} \\ Z_{24}X_{34} - Z_{34}X_{24} & Z_{34}X_{14} - Z_{14}X_{34} & Z_{14}X_{24} - Z_{24}X_{14} \\ X_{24}Y_{34} - X_{34}Y_{24} & X_{34}Y_{14} - X_{14}Y_{34} & X_{14}Y_{24} - X_{24}Y_{14} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Burada denklemleri incelediğimizde,

$$\epsilon = Bq \quad (4.17)$$

elde edilir.

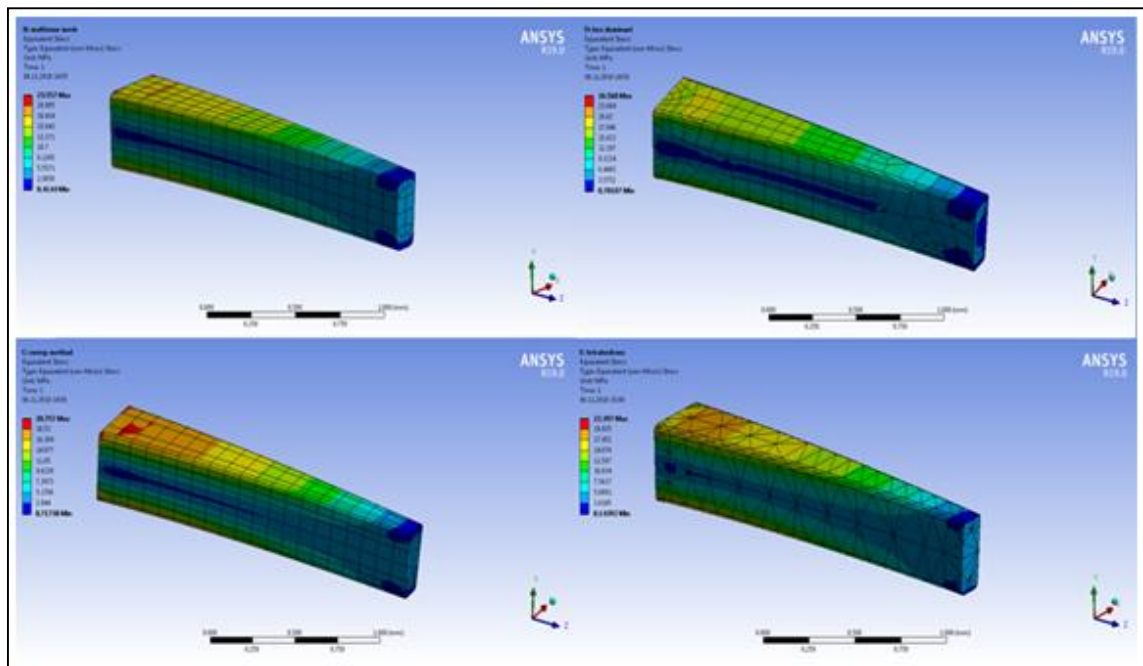
$$B = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & A_{12} & 0 & 0 & A_{13} & 0 & 0 & -\tilde{A}_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_{21} & 0 & 0 & A_{22} & 0 & 0 & A_{23} & 0 & 0 & -\tilde{A}_2 & 0 \\ 0 & 0 & A_{31} & 0 & 0 & A_{32} & 0 & 0 & A_{33} & 0 & 0 & -\tilde{A}_3 \\ 0 & A_{31} & A_{21} & 0 & A_{32} & A_{22} & 0 & A_{33} & A_{23} & 0 & -\tilde{A}_3 & -\tilde{A}_2 \\ A_{31} & 0 & A_{11} & A_{32} & 0 & A_{12} & A_{33} & 0 & A_3 & -\tilde{A}_3 & 0 & -\tilde{A}_1 \\ A_{21} & A_{11} & 0 & A_{22} & A_{12} & 0 & A_{23} & A_{13} & 0 & -\tilde{A}_2 & -\tilde{A}_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

ile verilen bir (6x12) matristir. Burada $\tilde{A}_1 = A_{11} + A_{12} + A_{13}$, $\tilde{A}_2 = A_{21} + A_{22} + A_{23}$ ve $\tilde{A}_3 = A_{31} + A_{32} + A_{33}$ tür. B'nin tüm terimleri sabittir. Bu şekilde Eş.37 ile düğüm yer değiştirmeleri hesaplandıktan sonra sabit birim şekil değiştirme elde edilir [45].

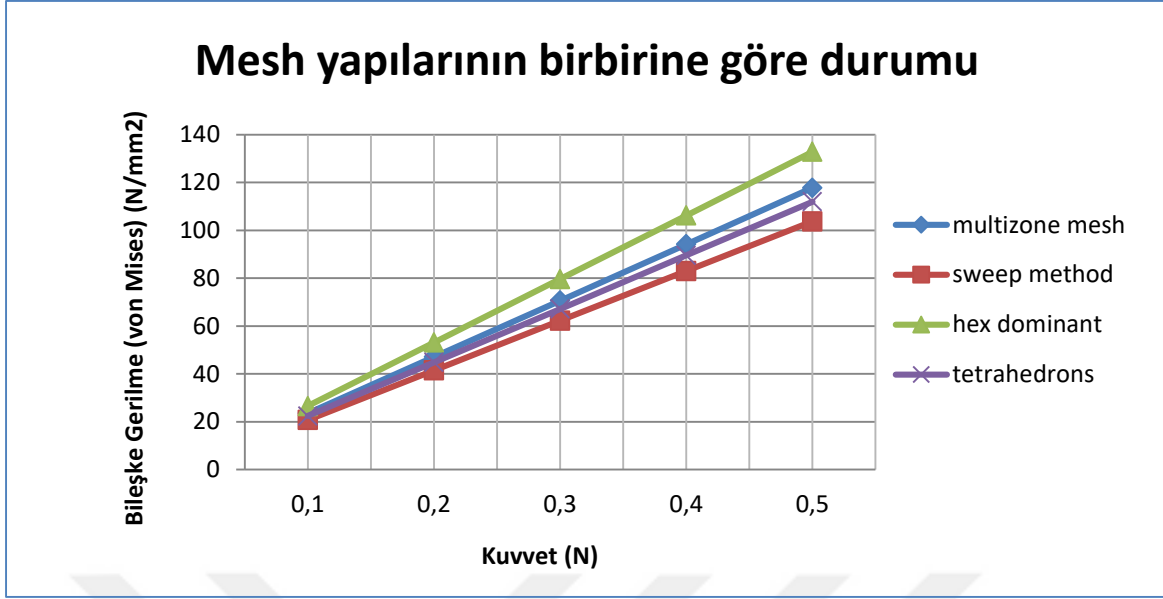
4.2.2. Mesh optimizasyonu

Analiz yapılacak elemanların parçalara ayrılmasında farklı mesh yapıları kullanılabilir. Yapılan analizin doğruluğunu sağlamak için en ideal mesh yapısı seçilmelidir. Analiz için bu mesh yapılarından “Multizone (Hegzagonal), Hex Dominant, Sweep ve Tetrahedrons” yapıları kıyaslanmıştır. Şekil 4.24 de bu yapıların uygulama görüntüleri gösterilmiştir.

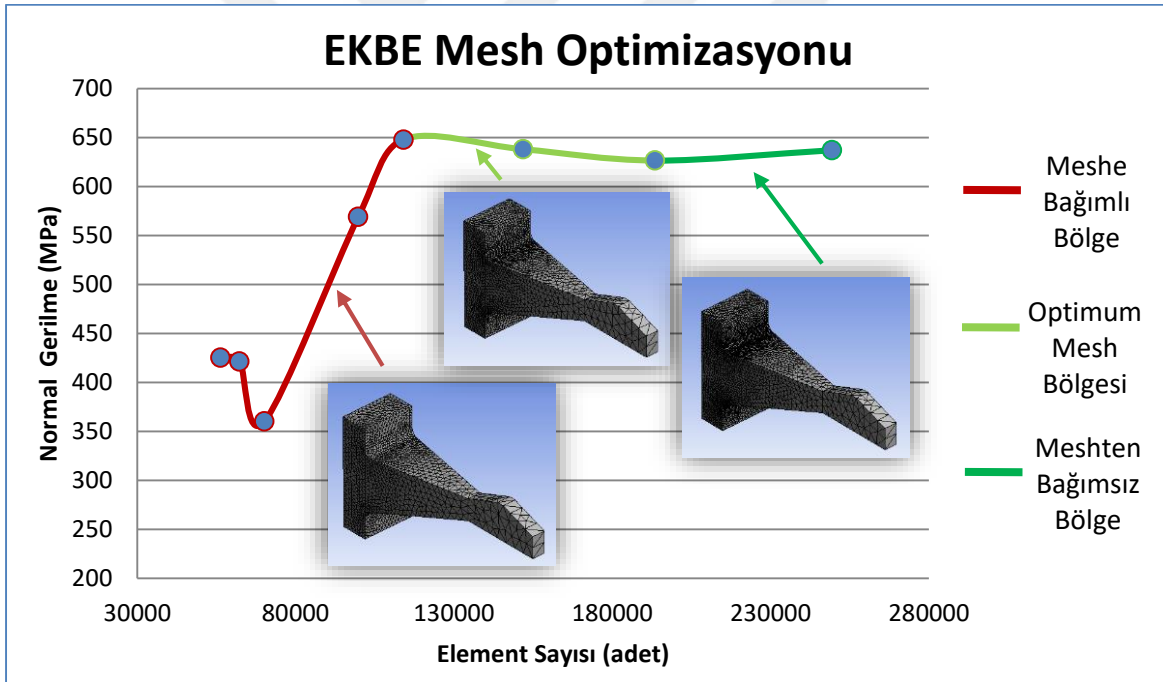
Uygulanan mesh yapıları esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının en küçük boyutları için 0,1-0,5 N aralığında kuvvet uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Her bir mesh yapısı ile elde edilen veriler Şekil 4.25 de gösterilmiştir. Tetrahedrons mesh yapısı ile en optimum sonuçlar elde edilmiş ve bu mesh yapısının tasarlanan tüm elemanlara uygulanmasına karar verilmiştir. Element sayısının normal gerilme üzerindeki etkisi incelenerek mesh optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.26 ile mesh bölgeleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Mesh yapılarının gösterimi

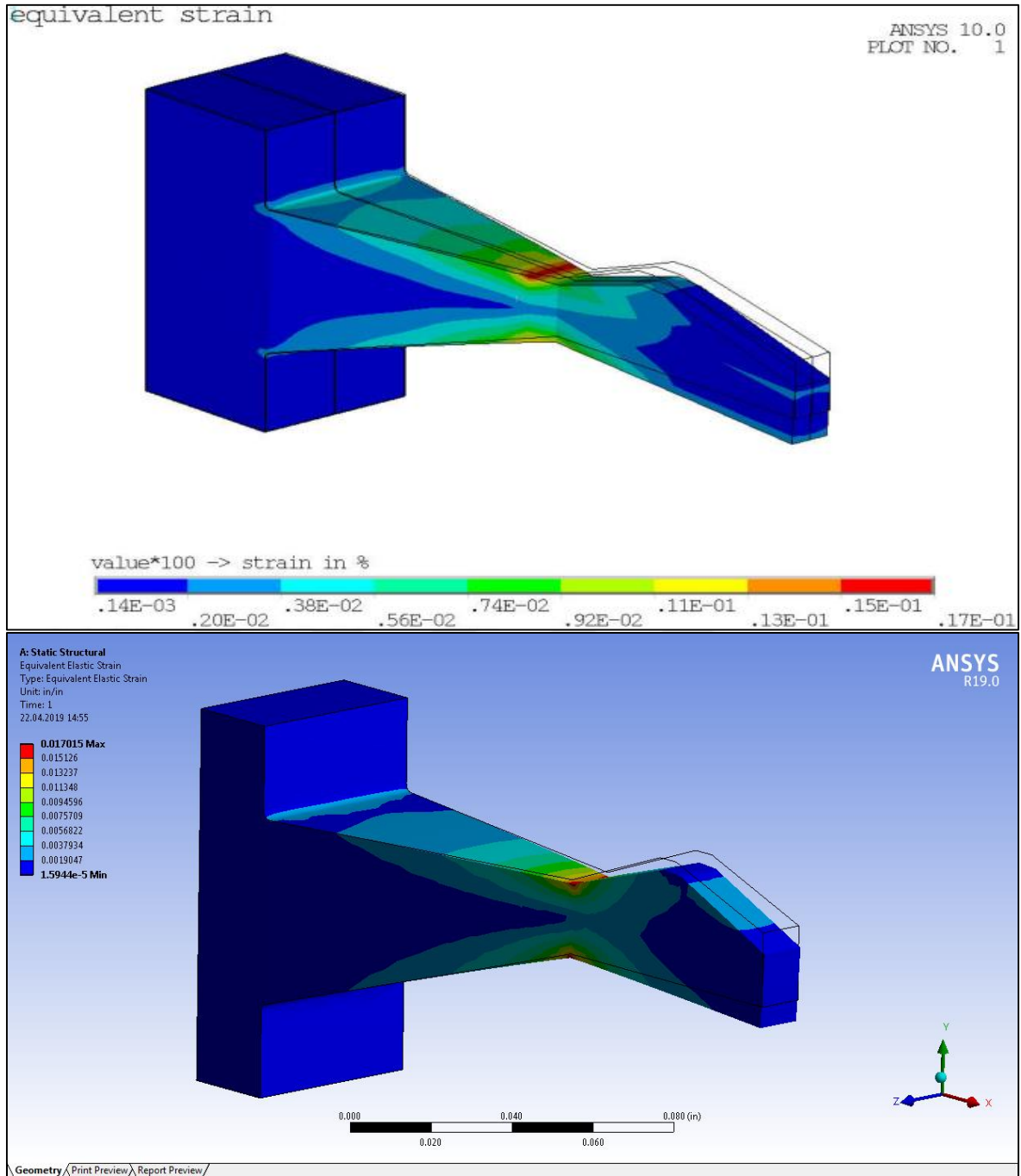


Şekil 4.25. Mesh yapılarının kuvvet-bileşke gerilme üzerindeki etkisi



Şekil 4.26. Mesh optimizasyonu

Buna ek olarak oluşturulan tasarım, parametrik boyutlardan faydalanılan katalog ile mukayese edilerek mesh optimizasyonunun doğruluğu kontrol edilmiştir (Şekil 4.27). I tipi bağlantı elemanı için yapılan kıyaslama ve kontrol işleminde katalogun ANSYS 10 kullanarak 0.017 equivalent gerilim elde ettiği görülmektedir. Çalışma için ayarlanan mesh ile ANSYS 19 kullanılarak 0.017015 equivalent gerilim elde edildiği görülmüştür.



Şekil 4.27. Mesh optimizasyonunun katalog ile doğrulaması [42]

Yaklaşık %0,01 hata ile aynı sonuçların elde edildiği sonucuna ulaşılmış ve elde edilen meshin katalog değeri ile uyumlu olduğu ispatlanmıştır.

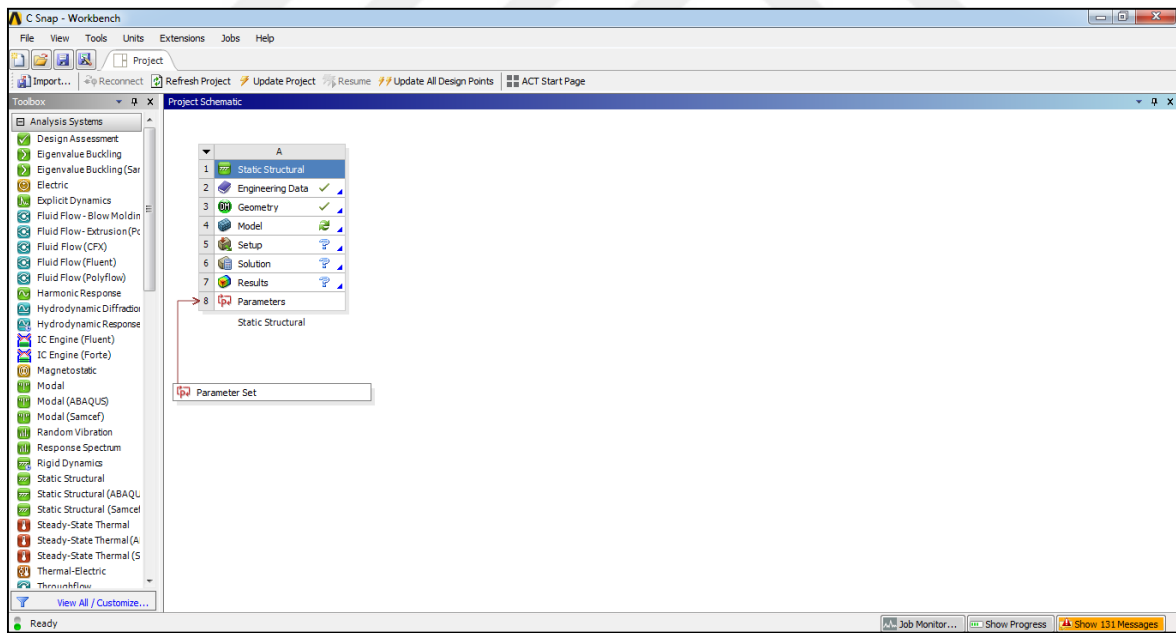
4.2.3. Analizin yapılması

Tasarım işleminin herhangi bir CAD ortamından alınmadan direk analiz yapılacak yazılımda çizilmesi, yapılan işlemlerin daha hızlı ve daha doğru olmasını sağlamaktadır.

ANSYS ortamında tasarım işlemi gerçekleştirilen esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları için analiz işlemi yine ANSYS ortamında gerçekleştirilmiştir. Toplamda 6 modele uygulanan analiz işlemi için Taguchi yöntemi ile deney setleri oluşturulmuştur. Bir model için 6 parametre ve her bir parametre de sırası ile 6x3x3x3x3x3 değişken olmak üzere 1458 deney seti elde edilmektedir. Taguchi yöntemi ile bu deney setleri 54 deney setine düşürülmüş ve ANSYS ortamında analiz edilmiştir. Örnek olarak her bir tasarım için PLA malzemesi atanmasıyla elde edilen ANSYS sonuçları gösterilmiştir. Tasarım işlemi sırasında malzeme ve diğer değişkenler parametrik olarak belirlenmiştir. ANSYS ortamında yapılan analiz sırası ile anlatılmıştır.

C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının analiz edilmesi

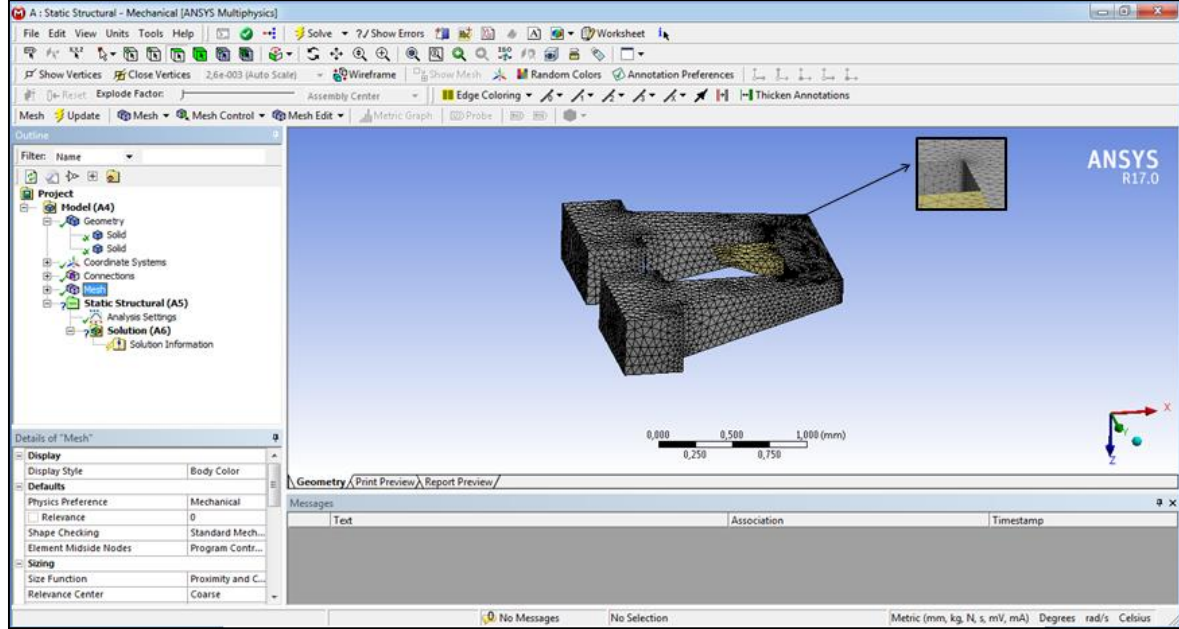
Tasarım sonrası Şekil 4.28 de görüldüğü gibi ANSYS Workbench başlangıç ekranına geri dönmektedir. Geometry bölümünde parametrik olarak tasarlanan eleman için Model aracı kullanılarak Mechanical Design Modeler sayfası açılmıştır.



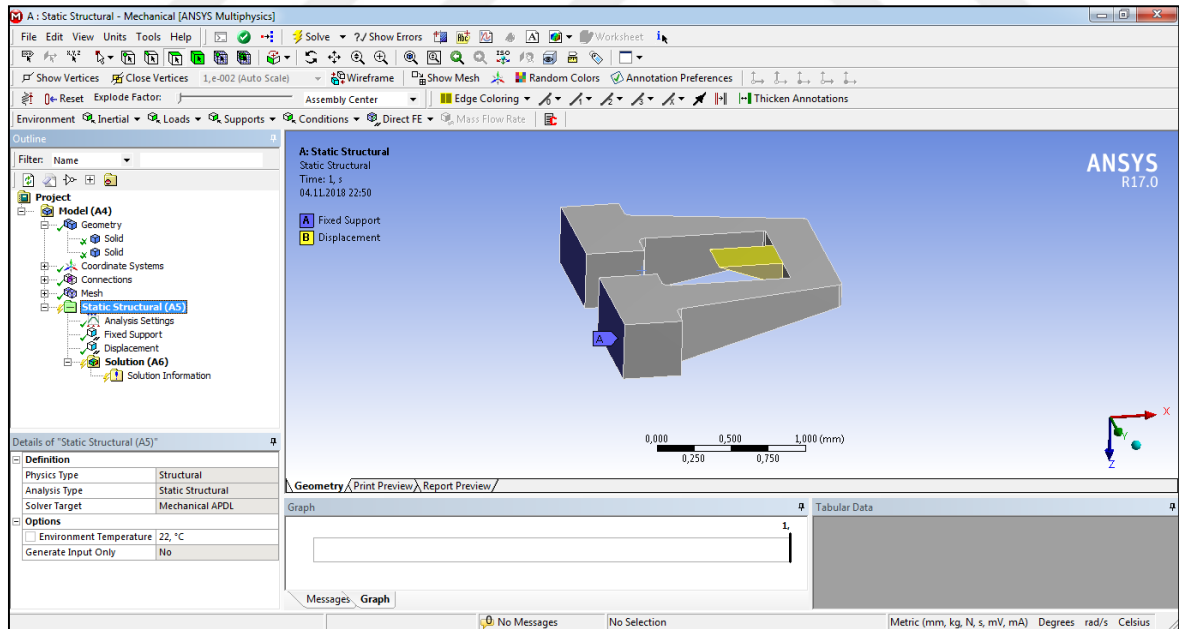
Şekil 4.28. ANSYS Workbench başlangıç ekranı

Malzeme atama işlemi tasarım kısmında yapıldığı için öncelikle belirlenen ideal mesh kullanılarak meshleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.29). Mesh yapısı oluşturulan eleman için sınır koşulları belirlenmiş ve Şekil 4.30 da gösterilmiştir. Burada malzeme

sabitlenme kısmından sabitlenmiş ve bağlantı elemanının uç noktasında meydana gelen defleksiyon sınır koşulu atanmıştır.



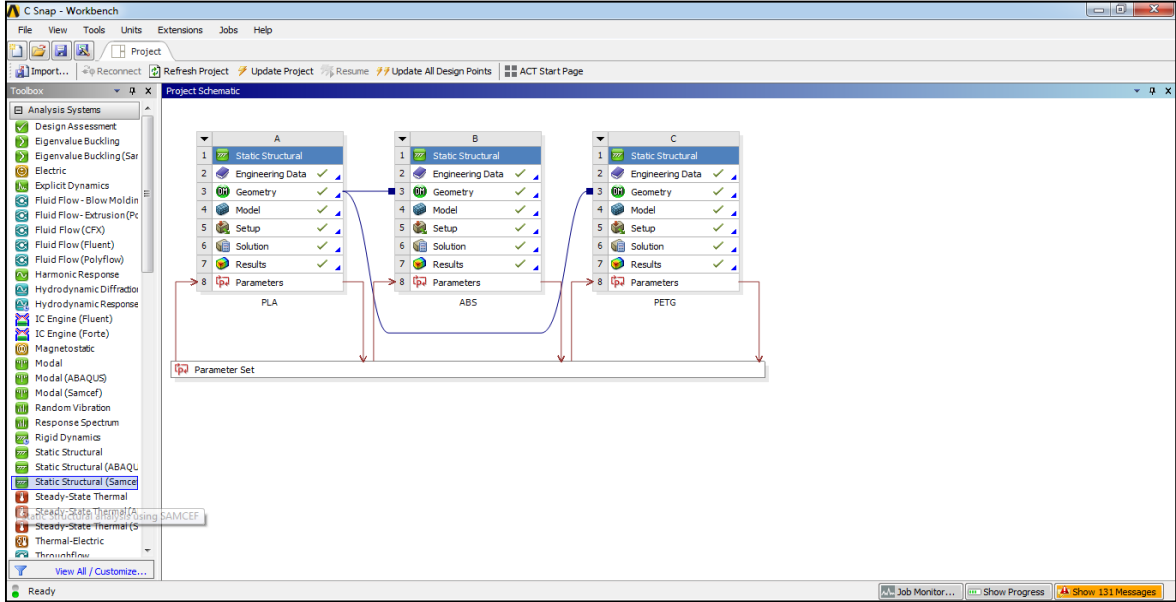
Şekil 4.29. C tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi



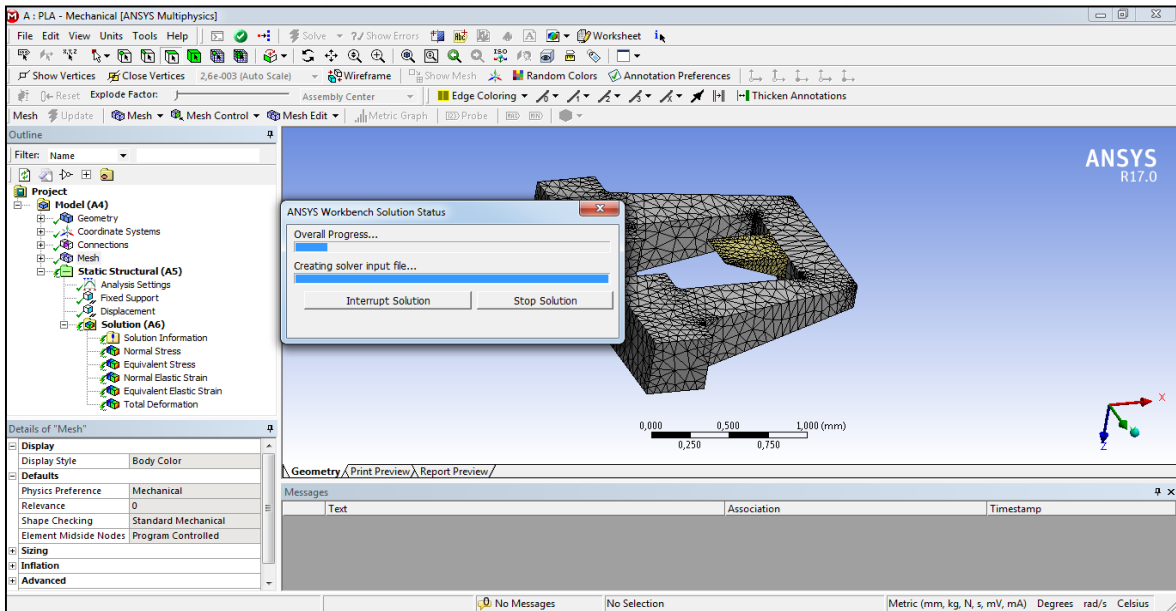
Şekil 4.30. C tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi

Meshleme işlemi ve sınır koşullarının atanması yapılan bağlantı elemanı analize hazır hale gelmiştir. Uygulanan sınır koşulları ve analiz çıktıları her bir malzeme için parametreye bağlanarak (Şekil 4.31) işlem tamamlanmış ve analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.32).

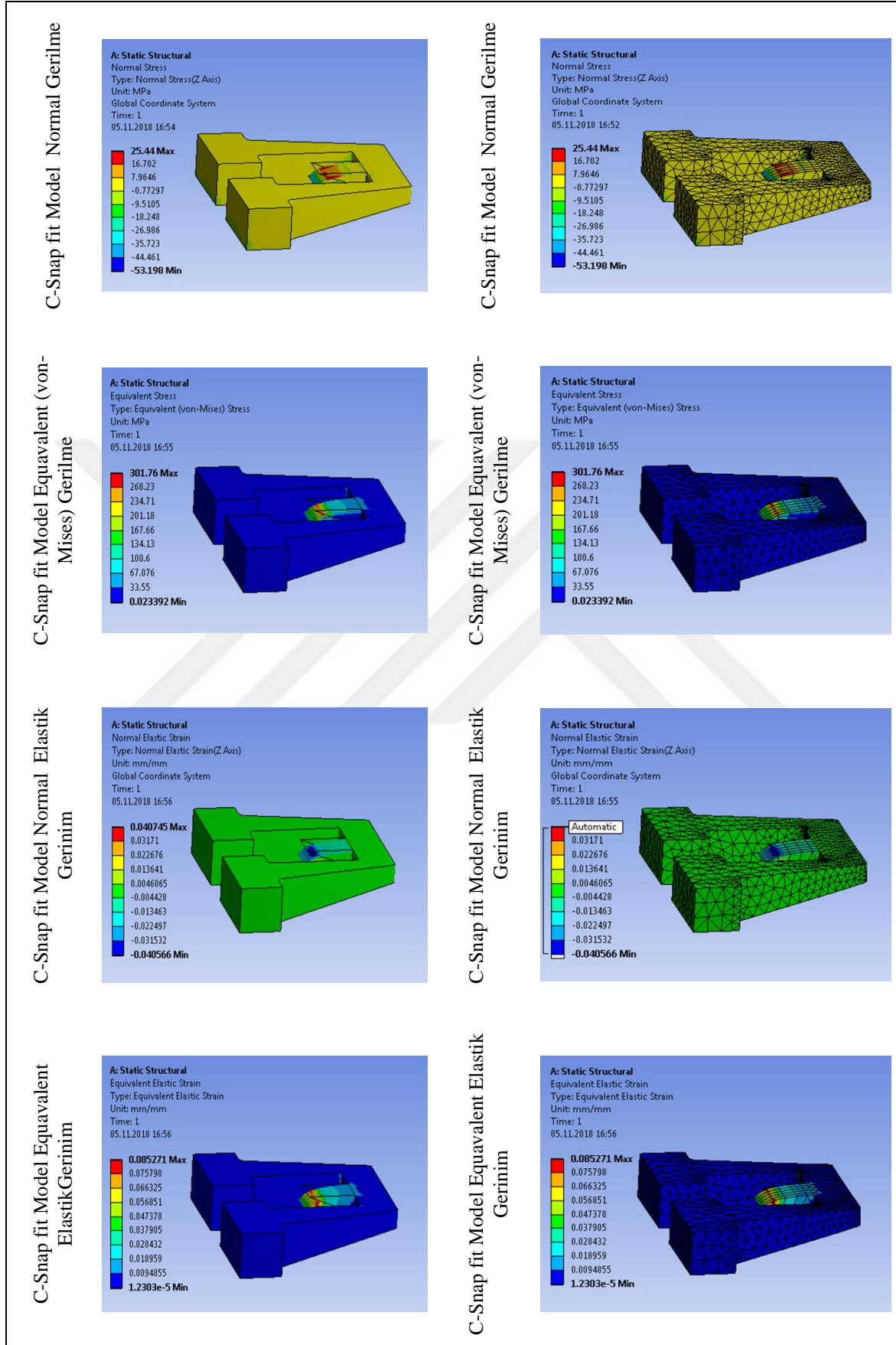
Şekil 4.33 de sunulduğu gibi analiz çıktıları olarak normal gerilme ve gerinim, equivalent gerilme ve gerinim ve deformasyon değerleri ele alınmıştır. Örnek gösterilen çıktılar PLA malzeme atanması ile oluşturulan bağlantı elemanına aittir.



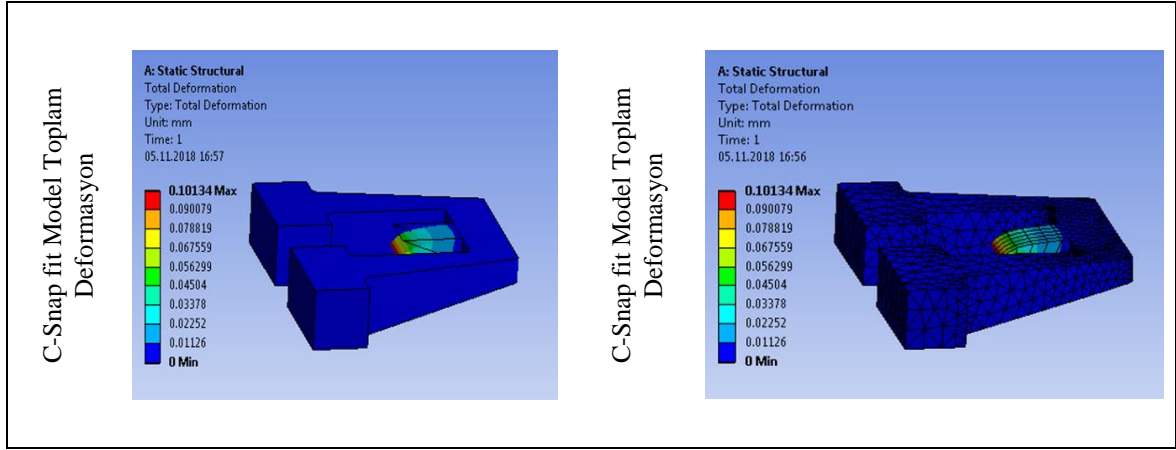
Şekil 4.31. C tipi bağlantı elemanı için malzeme parametrelerinin bağlanması



Şekil 4.32. C tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi



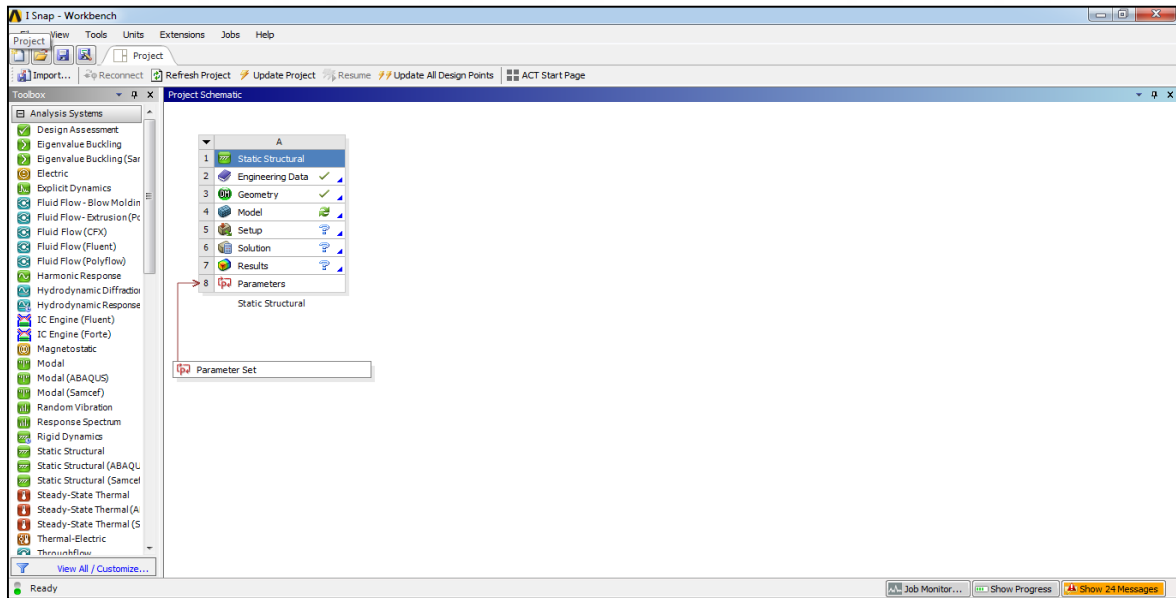
Şekil 4.33. C tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları



Şekil 4.33. (devam) C tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları

I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının analiz edilmesi

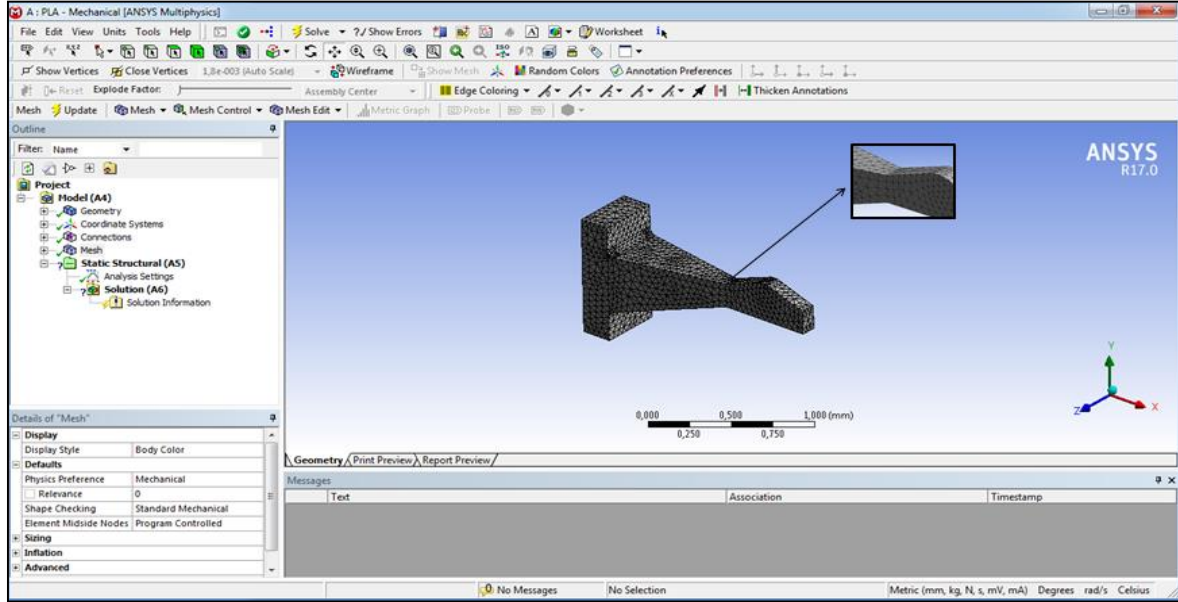
C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanında olduğu gibi Geometry bölümünde parametrik olarak tasarlanan eleman için tasarım sonrası Şekil 4.34 de görüldüğü gibi ANSYS Workbench başlangıç ekranına geri dönmektedir. Model aracı kullanılarak Mechanical Design Modeler sayfası açılmıştır.



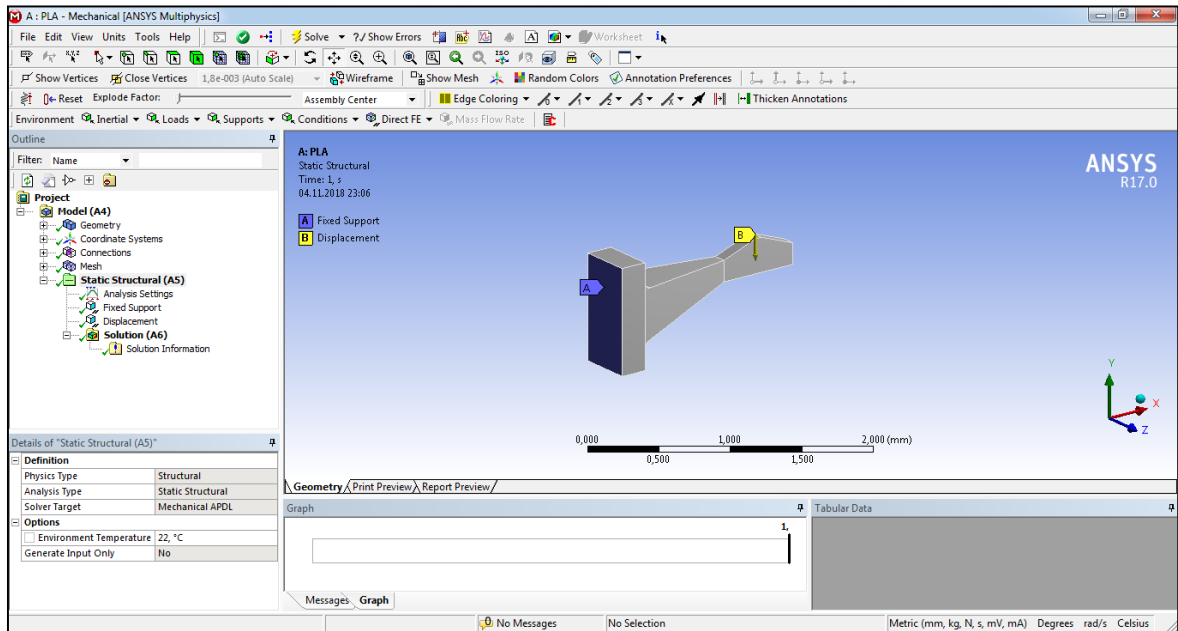
Şekil 4.34. ANSYS Workbench başlangıç ekranı

Şekil 4.35 de görüldüğü gibi belirlenen ideal mesh yapısı kullanılarak meshleme işlemi yapılmıştır. Malzeme atama işlemi tasarım işlemi sırasında gerçekleştirilmiştir.

Mesh yapısı oluşturulan eleman için sınır koşulları belirlenmiş ve Şekil 4.36 ile gösterilmiştir. Bu kısımda malzeme sabitleme kısmından sabitlenmiş ve bağlantı elemanının uç noktasında meydana gelen defleksiyon sınır koşulu atanmıştır.



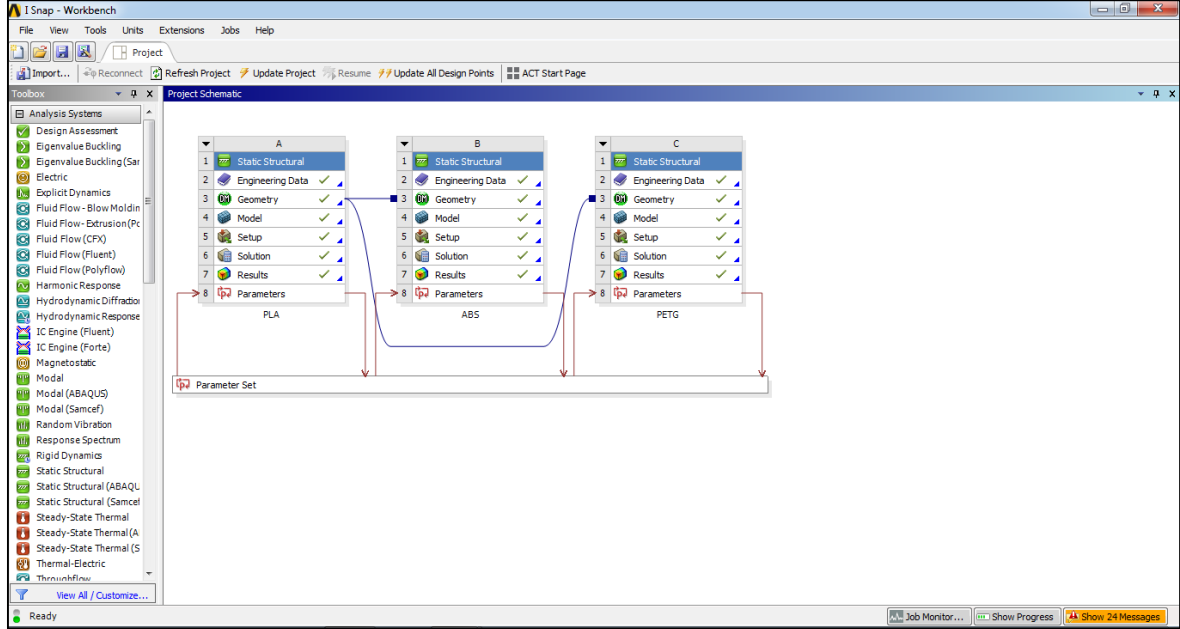
Şekil 4.35. I tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi



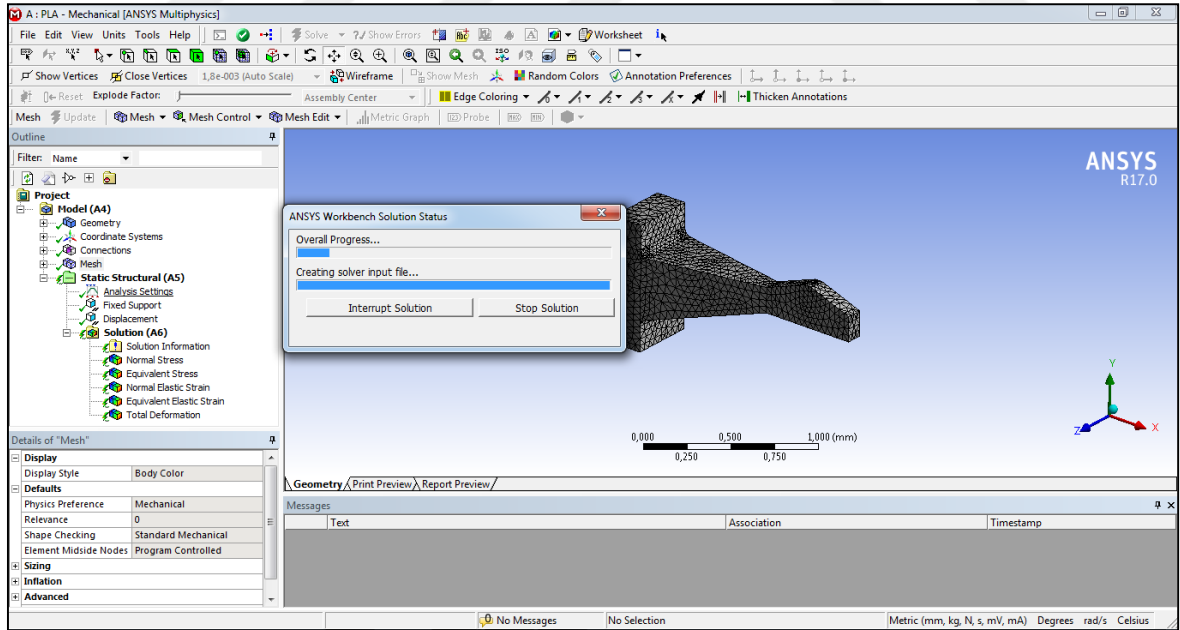
Şekil 4.36. I tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi

Meshleme işlemi ve sınır koşullarının atanması yapılan bağlantı elemanı analize hazır hale gelmiştir. Uygulanan sınır koşulları ve analiz çıktıları her bir malzeme için parametreye bağlanmıştır (Şekil 4.37). Analizi yapılan eleman için analiz çıktıları olarak normal

gerilme ve gerinim, equivalent gerilme ve gerinim ve deformasyon değerleri ele alınmıştır (Şekil 4.38).

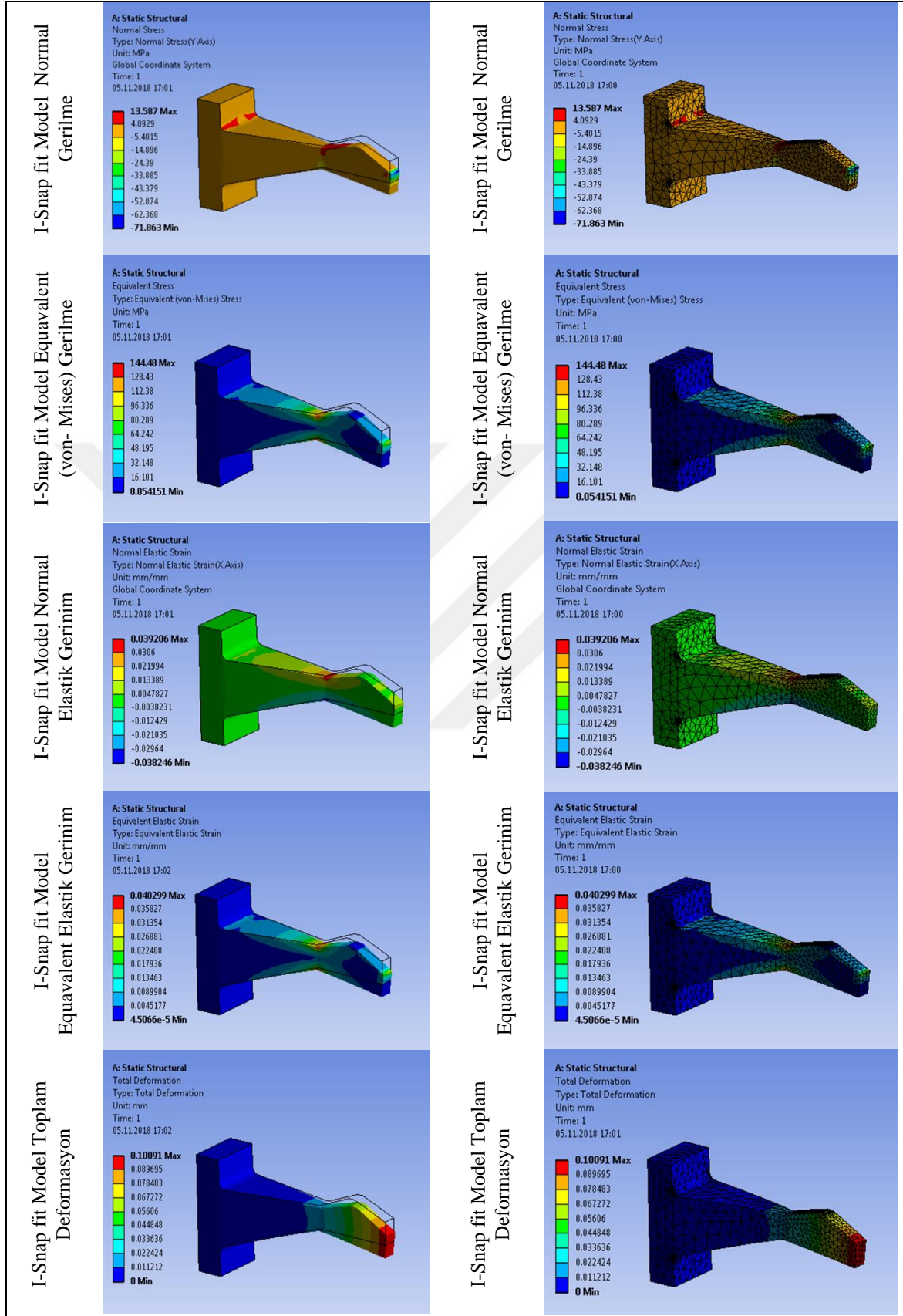


Şekil 4.37. I tipi bağlantı elemanı için malzeme parametrelerinin bağlanması



Şekil 4.38. I tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi

Bağlantı elemanı için yapılan analiz sonuçlarından PLA malzemesi atanarak yapılan deney sonuçları şekil 4.39 da gösterilmiştir.

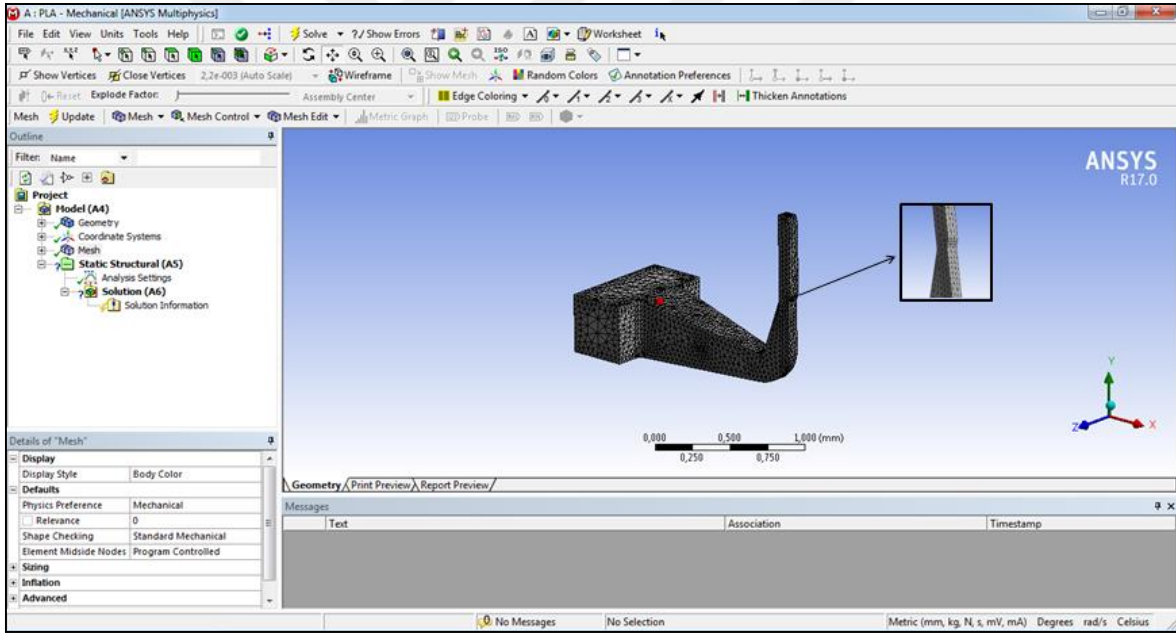


Şekil 4.39. I tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları

L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının analiz edilmesi

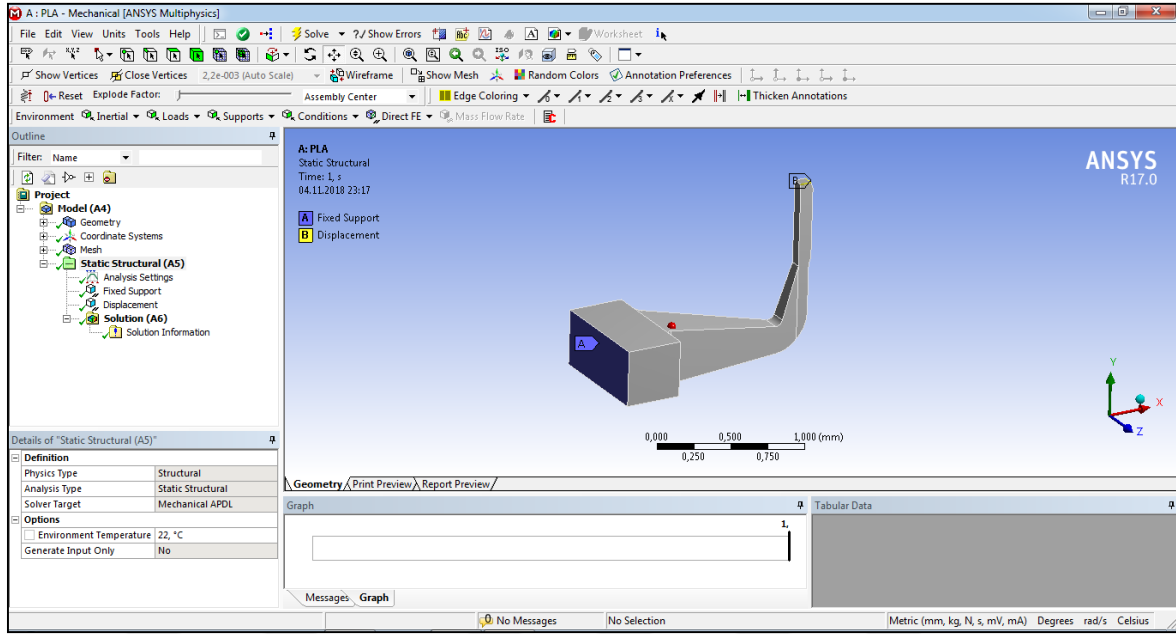
Tasarım sonrası ANSYS Workbench başlangıç ekranına geri dönülüp Geometry bölümünde parametrik olarak tasarlanan eleman için Model aracı kullanılarak Mechanical Design Modeler sayfası açılmıştır. Ekran görüntüleri C ve I tipi bağlantı elemanı için gösterilmiştir bu sebeple sonraki bağlantılar için gösterilmeye gerek görülmemiştir.

Malzeme atama işlemi tasarım kısmında yapıldığı için öncelikle şekil 4.40 de belirlenen ideal mesh kullanılarak meshleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Mesh yapısı oluşturulan eleman için sınır koşulları belirlenmiş ve Şekil 4.41 ile gösterilmiştir. Malzeme sabitleme kısmından sabitlenmiş ve bağlantı elemanının uç noktasında meydana gelen defleksiyon sınır koşulu atanmıştır.



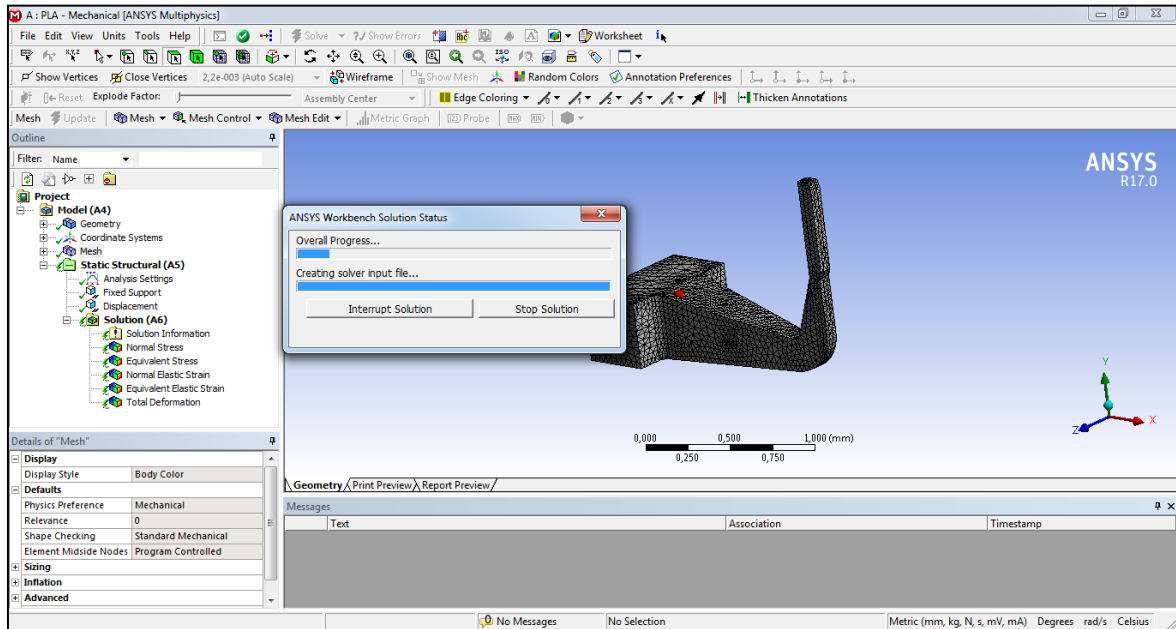
Şekil 4.40. L tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi

C ve I tipi bağlantı elemanlarında yapıldığı gibi meshleme işlemi ve sınır koşullarının atanması yapılan bağlantı elemanı analize hazır hale getirilmiştir.

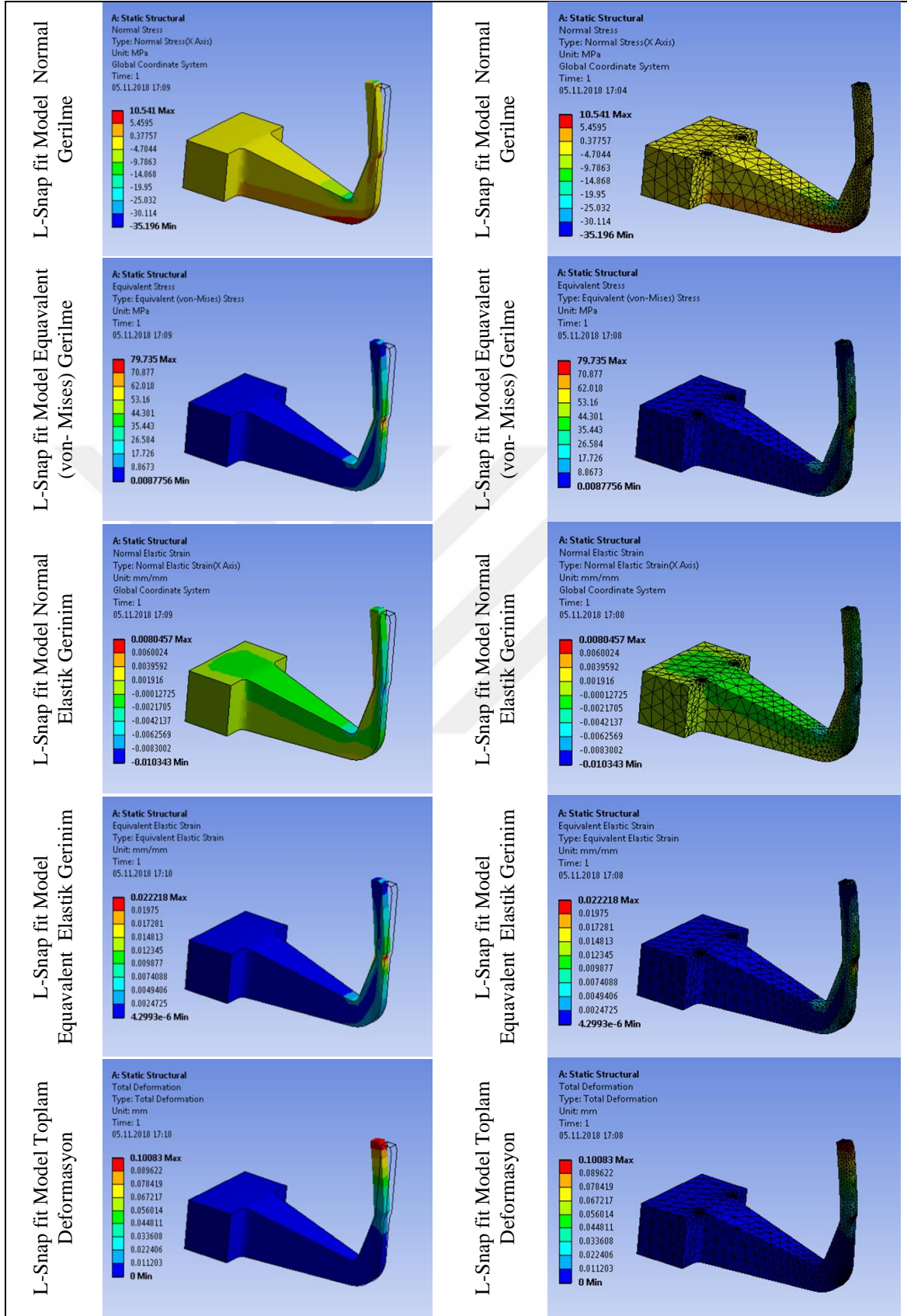


Şekil 4.41. L tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi

Şekil 4.42 de sunulduğu gibi analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.43 de sunulduğu gibi analiz çıktıları olarak normal gerilme ve gerinim, equivalent gerilme ve gerinim ve deformasyon değerleri ele alınmıştır.



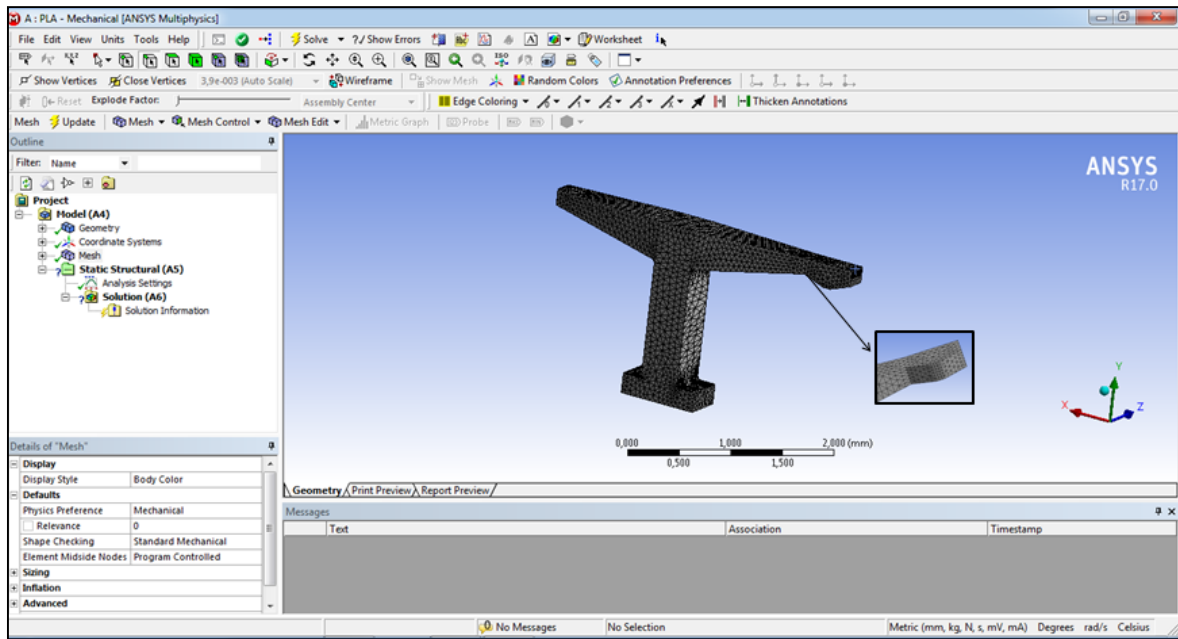
Şekil 4.42. L tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi



Şekil 4.43. L tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları

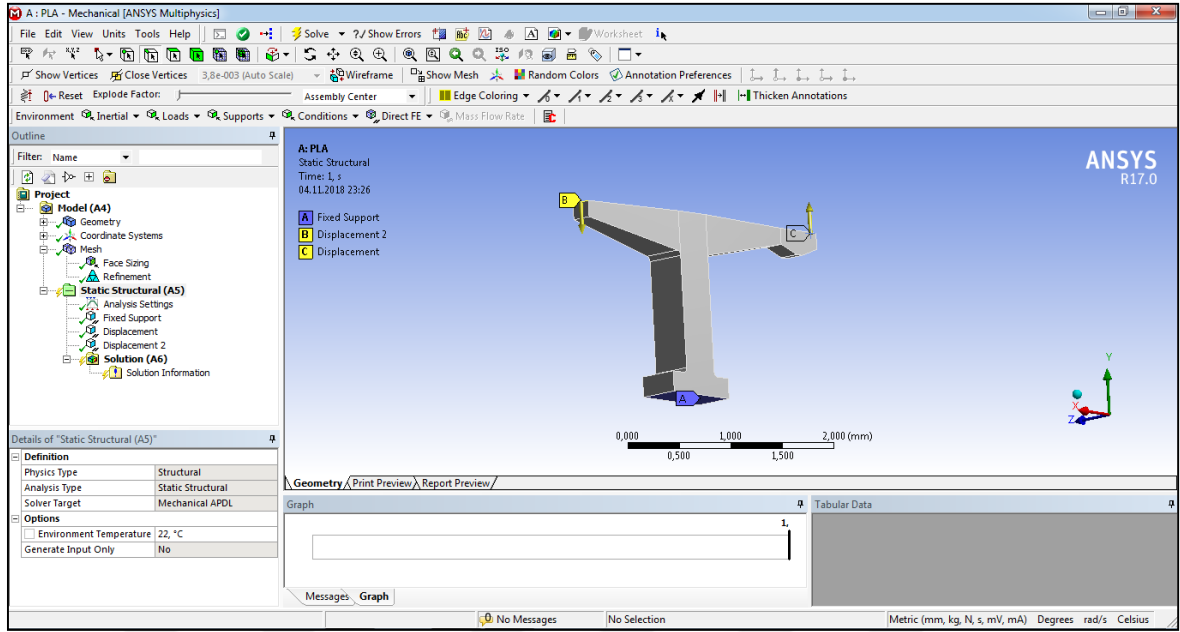
S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının analiz edilmesi

Tasarım sonrası ANSYS Workbench başlangıç ekranına geri dönülüp Geometry bölümünde parametrik olarak tasarlanan eleman için Model aracı kullanılarak Mechanical Design Modeler sayfası açılmıştır. Açılan sayfa da S tipi bağlantı elemanı için öncelikle mesh işlemleri gerçekleştirilmiştir. Malzeme atama işlemi tasarım kısmında yapıldığı için Şekil 4.44 de belirlenen ideal mesh kullanılarak meshleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



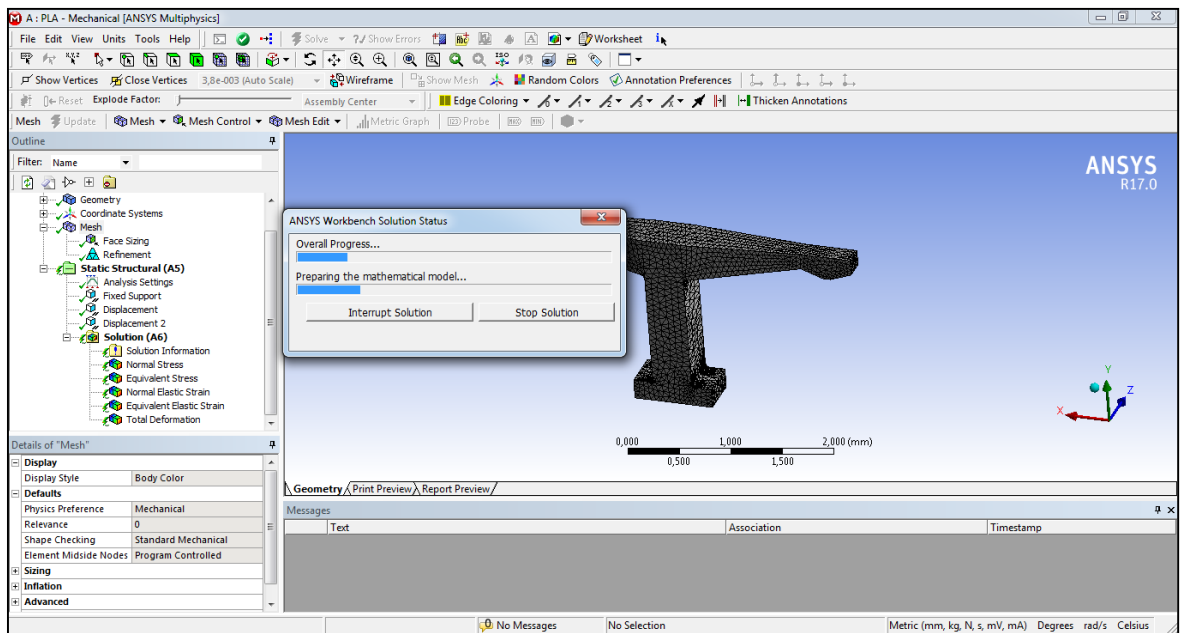
Şekil 4.44. S tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi

Şekil 4.45 de ise mesh yapısı oluşturulan eleman için sınır koşulları belirlenmiştir. Burada malzeme sabitleme kısmından sabitlenmiş ve bağlantı elemanı ön noktasından pozitif arka noktasından negatif olacak şekilde defleksiyon sınır koşulu atanmıştır.

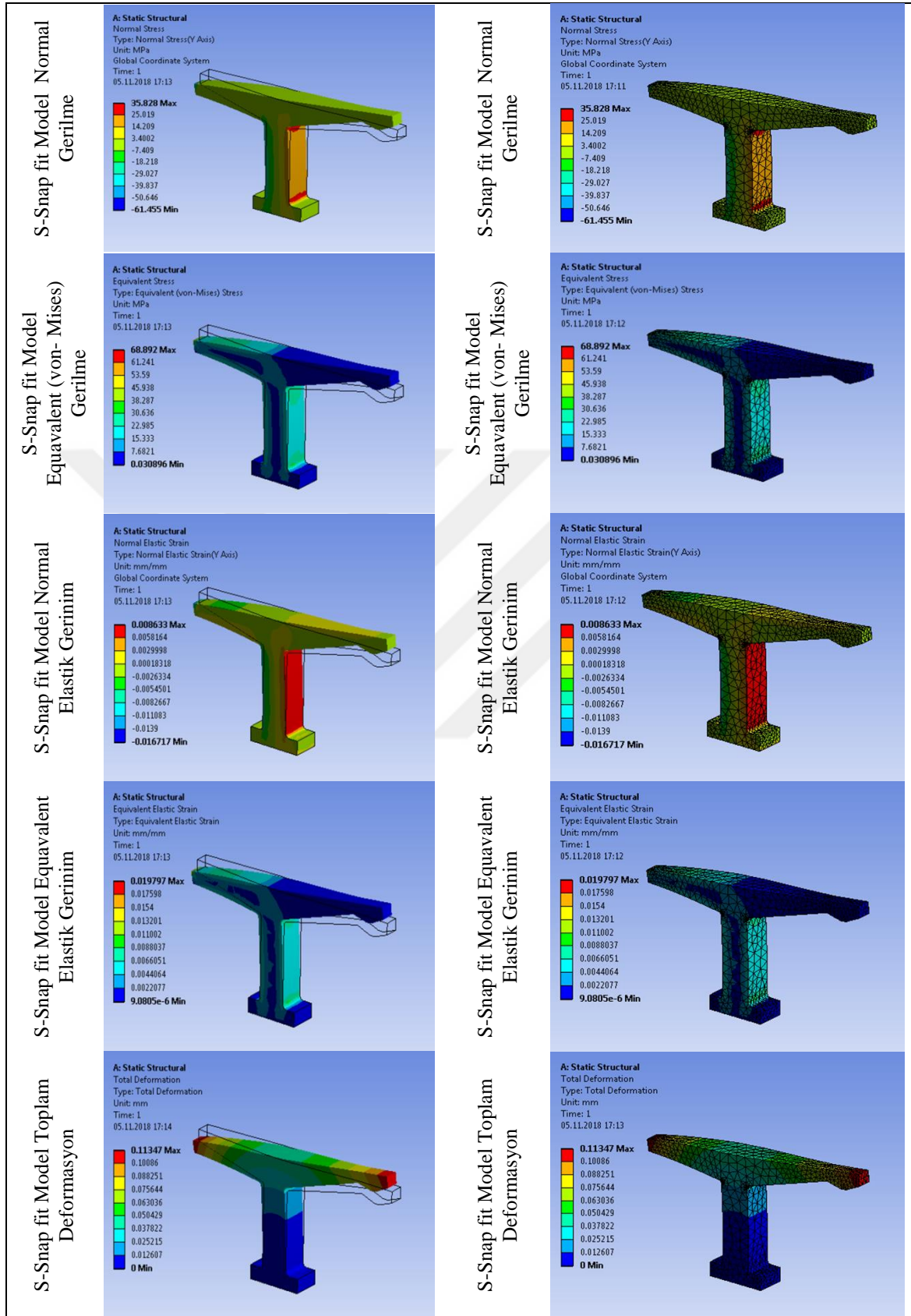


Şekil 4.45. S tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi

Analize hazır hale getirilen eleman 3 ayrı malzeme ile parametrik olarak bağlanmış ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.46). Şekil 4.47 de gösterildiği gibi normal gerilme ve gerinim, equivalent gerilme ve gerinim ve deformasyon değerleri analiz çıktıları olarak ele alınmıştır. Bağlantı elemanı için yapılan analiz sonuçlarından PLA malzemesi atanarak yapılan deney sonuçları gösterilmiştir.



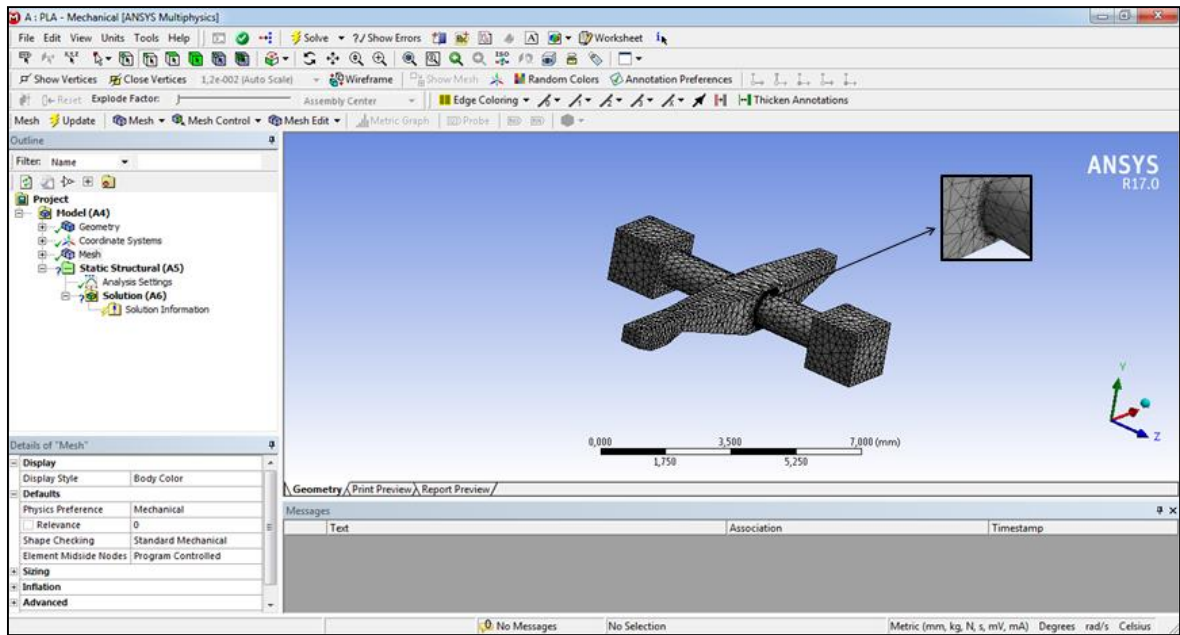
Şekil 4.46. S tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi



Şekil 4.47. S tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları

T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının analiz edilmesi

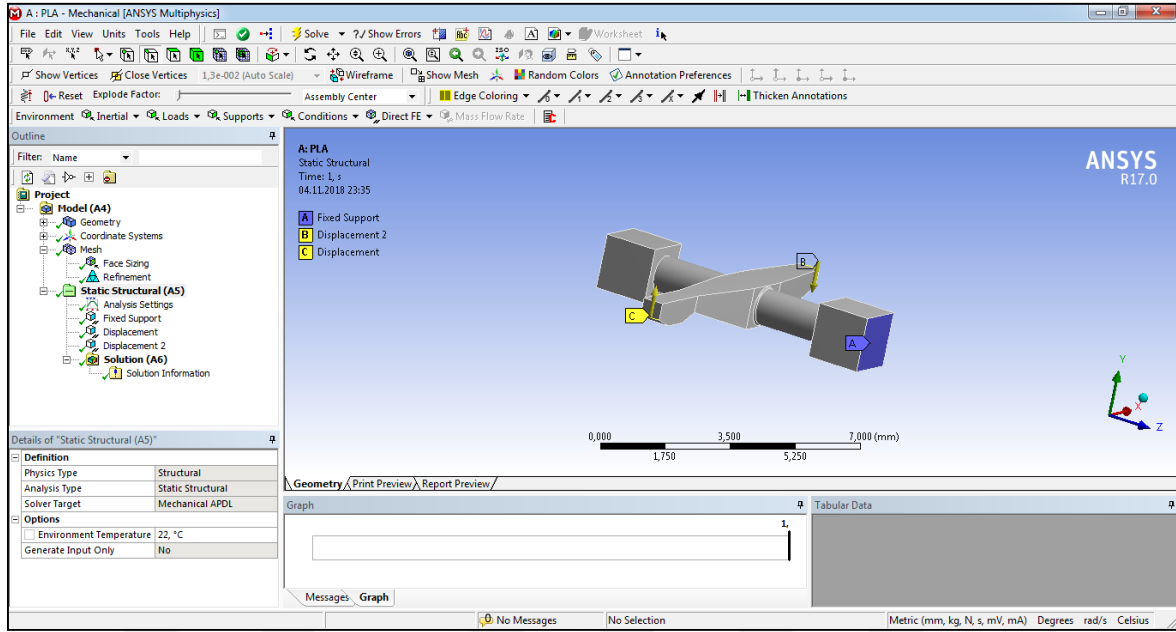
Tasarım sonrası ANSYS Workbench başlangıç ekranına geri dönülüp Geometry bölümünde parametrik olarak tasarlanan eleman için Model aracı kullanılarak Mechanical Design Modeler sayfası açılmıştır. Diğer bağlantı elemanlarında olduğu gibi ilk olarak mesh işlemi gerçekleştirilmiştir. İdeal olarak belirlenen mesh yapısı kullanılarak meshleme işlemi yapılmış ve şekil 4.48 de gösterilmiştir.



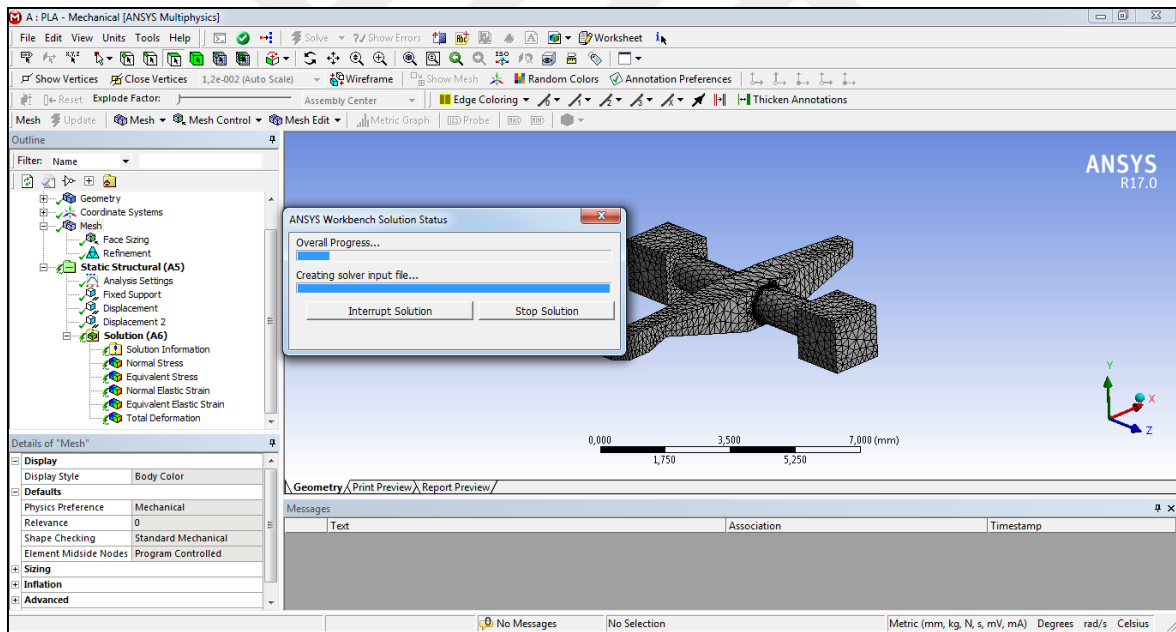
Şekil 4.48. T tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi

Mesh yapısı oluşturulan eleman için sınır koşulları S tipi bağlantıda yapıldığı gibi ön uç noktasında pozitif arka uç noktasında negatif yönde defleksiyon olacak şekilde atanmıştır. Sabitleme noktasından sabitlenen eleman için malzeme atama işlemi tasarım kısmında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sınır koşul işlemi ise Şekil 4.49 de gösterilmiştir.

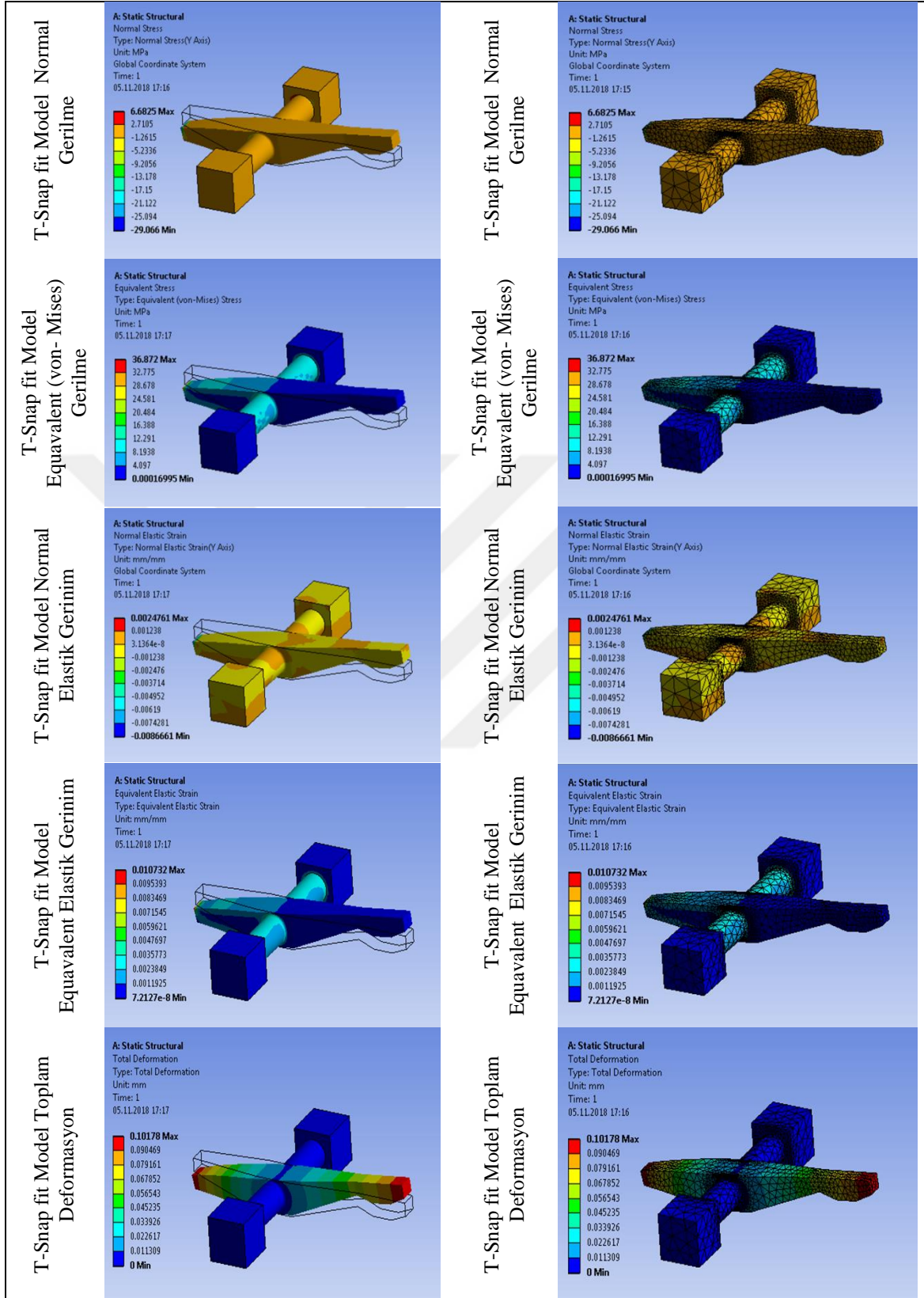
Sınır koşulları belirlenen elemanın Şekil 4.50 de gösterildiği gibi analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Parametrik yapılan işlem için analiz çıktıları olarak normal gerilme ve gerinim, equivalent gerilme ve gerinim ve deformasyon değerleri ele alınmıştır (Şekil 4.51). Çıktılar diğer elemanlarda olduğu gibi PLA malzemesi örnek alınarak gösterilmiştir.



Şekil 4.49. T tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi



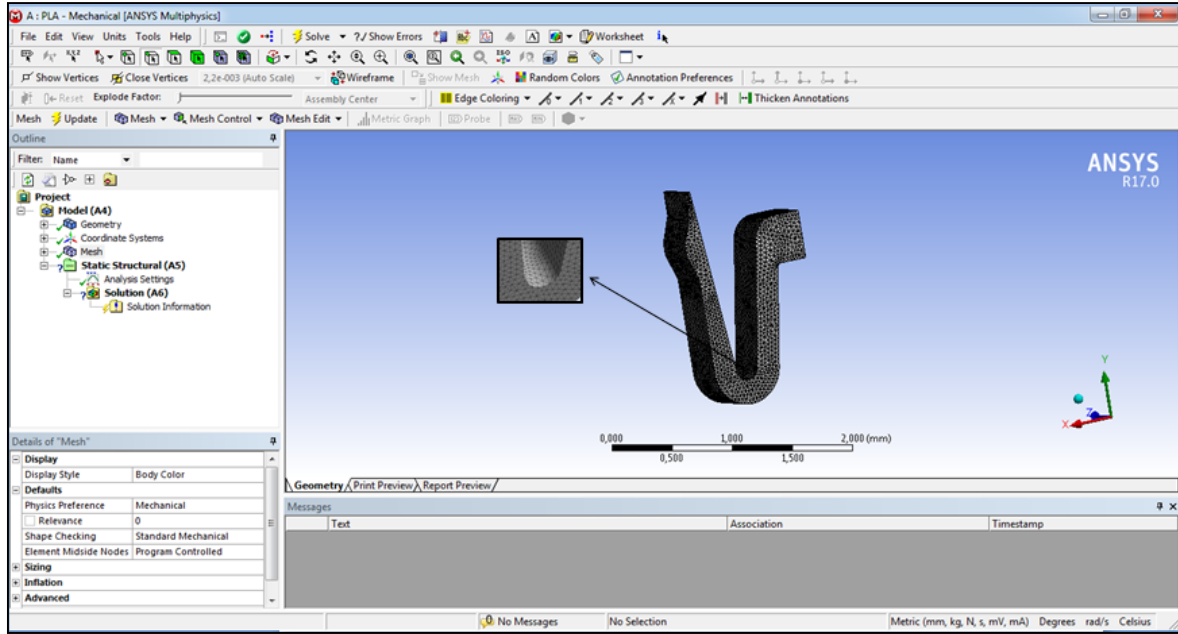
Şekil 4.50. T tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi



Şekil 4.51. T tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları

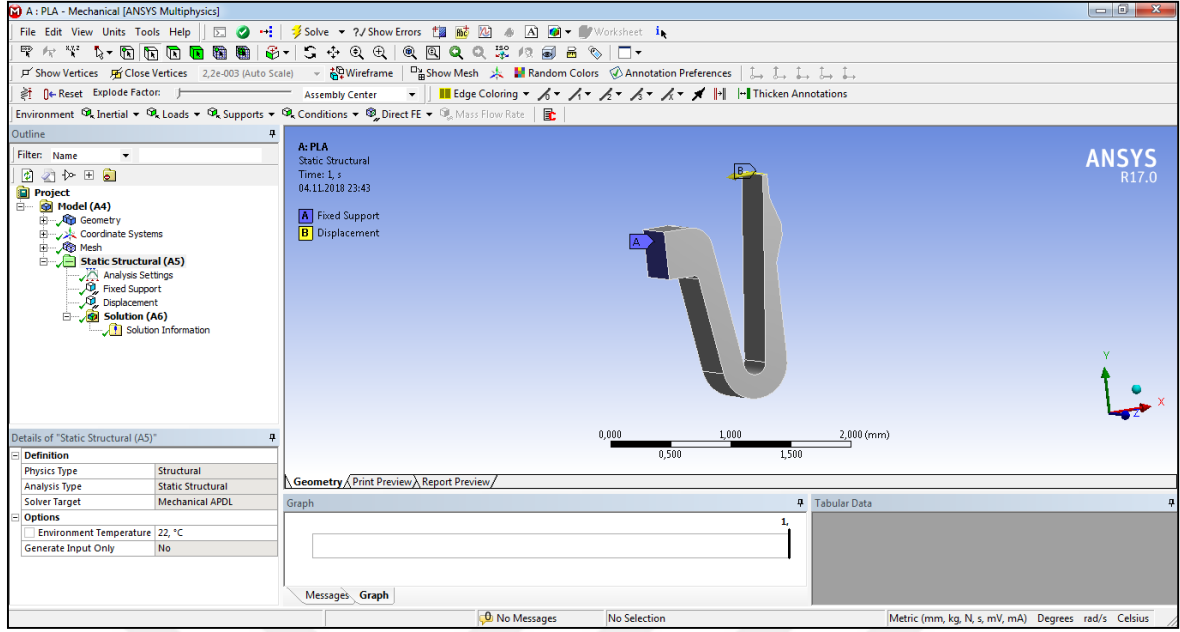
V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının analiz edilmesi

Son olarak tasarım işlemi gerçekleştirilen V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için ANSYS Workbench başlangıç ekranında Model aracı kullanılarak Mechanical Design Modeller sayfası açılmıştır. Malzeme atama işlemi tasarım kısmında yapıldığı için öncelikle Şekil 4.52 de belirlenen ideal mesh kullanılarak meshleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



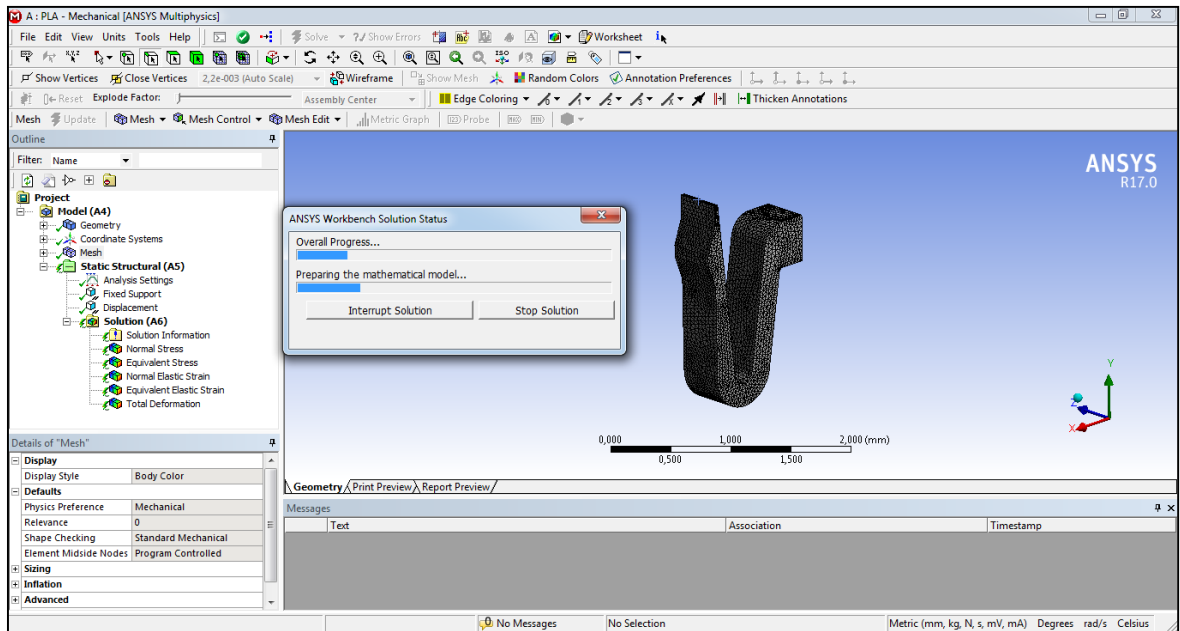
Şekil 4.52. V tipi bağlantı elemanı için meshleme işlemi

Mesh yapısı oluşturulan eleman için sınır koşulları belirlenmiş ve Şekil 4.53 ile gösterilmiştir. Burada malzeme sabitleme kısmından sabitlenmiş ve bağlantı elemanının uç noktasında meydana gelen defleksiyon sınır koşulu atanmıştır.

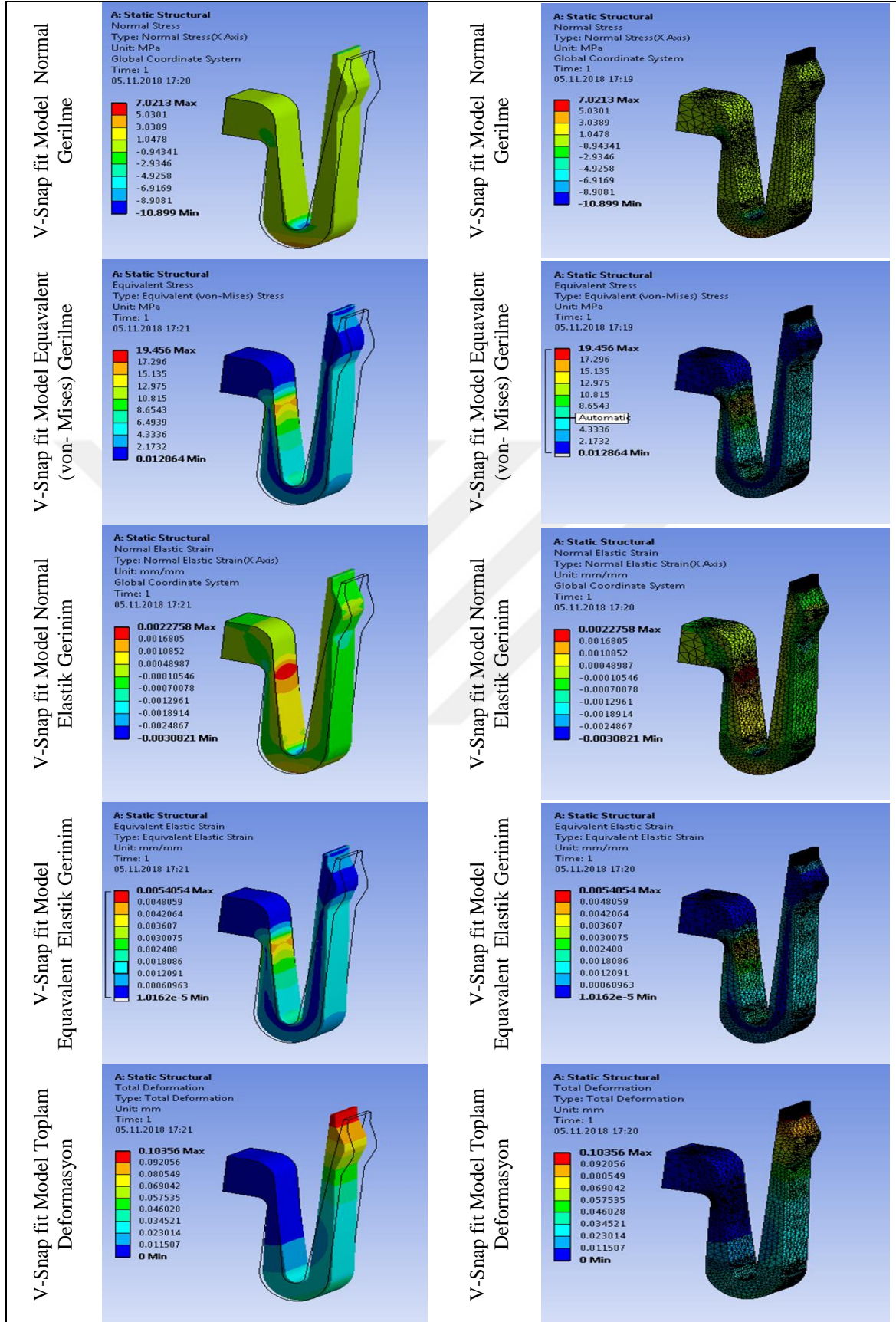


Şekil 4.53. V tipi bağlantı elemanı için sınır koşullarının belirlenmesi

Meshleme işlemi ve sınır koşullarının atanması yapılan bağlantı elemanı analize hazır hale gelmiştir. Uygulanan sınır koşulları ve analiz çıktıları her bir malzeme için parametreye bağlanarak işlem tamamlanmış ve analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.54). Şekil 4.55 de sunulduğu gibi analiz çıktıları olarak normal gerilme ve gerinim, equivalent gerilme ve gerinim ve deformasyon değerleri ele alınmıştır.



Şekil 4.54. V tipi bağlantı elemanı için analiz işleminin gerçekleştirilmesi



Şekil 4.55. V tipi bağlantı elemanı için elde edilen analiz sonuçları

4.3. Varyans (Anova) Analizi ve Uygulanması

İstatistik biliminde parametrik bir grubun içerisinde bulunan varyasyonları ana kütle arasında farkı olup olmadığını analiz etmekte kullanılan bir yöntemdir. Yapılan çalışma için esneyerek kilitlenen 6 bağlantı elemanı için ayrı ayrı ANOVA analiz işlemi MiniTab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir bağlantı elemanı için parametre etkileri Çizelge 4.10-4.15 arasında sunulmuştur. Çizelgelerde gösterilen H1, R1, α_1 , α_2 ve y parametreleri bağımsız değişkenlerdir. Geriye kalan diğer değişkenler H1 parametresine bağlı olarak değişmektedir. T tipi bağlantı elemanı için H1 yerine D1 parametresi bağımsızdır. V tipi bağlantı elemanı için ise R1 parametresi bağımlı bir değişkendir.

ANOVA 'da, tüm koşul parametrelerinin ve toplam hata bileşenlerinin karelerinin toplamı SS 'nin (sapmaların karelerinin toplamı) toplamına eşittir. SS_M malzeme sapma kareler toplamı, SS_{H1} H1 parametresi için sapma kareler toplamı, SS_{R1} R1 parametresi için sapma kareler toplamı, SS_{α_1} α_1 parametresi için sapma kareler toplamı, SS_{α_2} α_2 parametresi için sapma kareler toplamı, SS_Y Y parametresi için sapma kareler toplamı ve SS_E hata sapma kareler toplamı olmak üzere,

$$SS = \sum(X - \bar{X})^2 \quad (4.19)$$

$$SS_T = SS_M + SS_{H1} + SS_{R1} + SS_{\alpha_1} + SS_{\alpha_2} + SS_Y + SS_E \quad (4.20)$$

elde edilir. \bar{X} ortalamaları ve X ise her bir değişkenin değerini göstermektedir.

Her bir bağımsız parametrenin bağlantı elemanı üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak Çizelge 4.10-4.15 arasında sunulmuştur. Serbestlik derecesi olan DOF değerleri bir parametrenin kullanılan değişkenlerinin bir eksiği olarak tanımlanmaktadır. Tasarımı yapılan bağlantı elemanları için DOF değerleri bu şekilde hesaplanıp çizelgelerde sunulmuştur. Tasarımı yapılan elemanlar için çıktı değerlerine % de olarak değerler belirlenip parametre % delerine bakılmıştır. Ağırlık toplamı büyük olan parametreler toplam ağırlık üzerinde daha etkili olduğu için bu parametreler etkili parametre olarak ifade edilmiştir. Gerilme, gerinim ve deformasyon çıktıları için herhangi bir tasarımsal değişiklik yapılmak istendiğinde bu tablolardan faydalanılarak ilk önce yüksek olan parametre değerlerinde yapılan değişikliklerle daha az maliyet ve daha kısa sürede çözüme ulaşılabilecektir.

Çizelge 4.10. C tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi

Toplam Kareler (SS) (Sum of Square) %						
Parametre	DOF	Normal Gerilme	Equivalent Gerilme	Normal Gerinim	Equivalent Gerinim	Toplam Deformasyon
H1	5	28,49399	28,9885871	29,71212	30,04538	0,012679
R1	2	11,23722	11,2250838	11,81913	11,78543	0,005072
α_1	2	7,152359	7,07240999	9,789685	9,747616	0,011411
α_2	2	23,80033	23,5388324	19,10749	18,94417	0,030429
y	2	16,11186	16,2107944	13,90506	13,90673	99,93153
Malzeme	2	4,595174	4,45949301	5,526202	5,466101	0,001268
Hata	2	8,609071	8,50479926	10,14033	10,10458	0,007607
Toplam (%)	17	100	100	100	100	100

C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için H1 parametresi %28.49399, % 28.9885871, % 29.71212 ve % 30.04538 olarak gerilme ve gerinim değerleri üzerindeki etkili parametre durumundadır. Buna ek olarak α_2 parametresi H1 den sonra etkili olan ikinci parametredir. Diğer parametrelerin etkileri bu iki parametreden daha az olmuştur. Deformasyon için inceleyecek olursak y parametresinin % 99.93153 gibi yüksek bir farkla etki ettiği görülmüştür.

Çizelge 4.11. I tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi

Toplam Kareler (SS) (Sum of Square) %						
Parametre	DOF	Normal Gerilme	Equivalent Gerilme	Normal Gerinim	Equivalent Gerinim	Toplam Deformasyon
H1	5	31,74274	36,3262707	45,0601	41,96838	22,13504
R1	2	8,651074	7,59374302	6,664329	7,207558	8,310147
α_1	2	14,43471	11,373968	11,48451	11,55068	2,9642
α_2	2	6,747291	10,1736898	7,225434	8,470677	3,093118
y	2	26,8816	16,4105866	18,47051	17,08968	57,775
Malzeme	2	6,482911	10,4843814	6,259221	7,539819	2,765721
Hata	2	5,059676	7,63736054	4,835901	6,173198	2,95678
Toplam (%)	17	100	100	100	100	100

Çizelge 4.12. L tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi

Toplam Kareler (SS) (Sum of Square) %						
Parametre	DOF	Normal Gerilme	Equivalent Gerilme	Normal Gerinim	Equivalent Gerinim	Toplam Deformasyon
H1	5	36,10432	39,1161525	45,7521	47,13854	22,21667
R1	2	6,852304	6,23620484	6,032136	6,002863	8,339149
α_1	2	10,35975	10,6779106	10,29948	10,82233	2,874333
α_2	2	12,11406	10,3438029	9,205601	8,325115	2,683842
y	2	15,6903	17,1023756	16,19063	16,75203	58,3316
Malzeme	2	11,27411	9,66871729	7,21231	6,260538	2,684785
Hata	2	7,605156	6,85483622	5,307745	4,698584	2,869618
Toplam (%)	17	100	100	100	100	100

Çizelge 4.13. S tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi

Toplam Kareler (SS) (Sum of Square) %						
Parametre	DOF	Normal Gerilme	Equivalent Gerilme	Normal Gerinim	Equivalent Gerinim	Toplam Deformasyon
H1	5	36,57855	37,8989398	45,06232	44,20868	22,04367
R1	2	7,294419	7,3932786	6,973757	7,143823	8,425255
α_1	2	10,37672	9,95890984	9,962927	9,962736	2,888887
α_2	2	11,11013	10,9588583	8,786525	9,043693	2,89834
y	2	16,1812	15,1975044	15,74861	15,41714	58,13113
Malzeme	2	11,66764	11,667519	8,47418	8,866063	2,666386
Hata	2	6,791344	6,92499009	4,991681	5,357867	2,946331
Toplam (%)	17	100	100	100	100	100

C tipi bağlantı elemanı ile paralellik gösteren I, L ve S tipi bağlantı elemanlarında da H1 parametresinin gerilme ve gerinim değerleri için en etkili parametre olduğu deformasyonda y parametresinin en etkili parametre olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. T tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi

Toplam Kareler (SS) (Sum of Square) %						
Parametre	DOF	Normal Gerilme	Equivalent Gerilme	Normal Gerinim	Equivalent Gerinim	Toplam Deformasyon
D1	5	17,36378	19,5600274	16,33969	19,07482	22,22088
R1	2	47,88855	42,7164877	51,79383	47,75996	8,479619
$\alpha 1$	2	5,519438	6,61106959	4,968489	6,372817	2,867629
$\alpha 2$	2	1,697147	0,90417729	1,542577	0,733904	2,67114
y	2	17,04398	22,3819411	12,40028	16,03582	58,21269
Malzeme	2	2,930951	1,98179519	2,717699	1,516158	2,672994
Hata	2	7,556149	5,84450178	10,23743	8,506523	2,875044
Toplam (%)	17	100	100	100	100	100

Burulma ile kilitlenme işlemi gerçekleştiren esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarından biri olan T tipi bağlantı elemanı için %47.88855, %42,7164, %51,79383 ve %47.759 ile R1 parametresinin etkisi önem kazanmaktadır. Gerilme ve gerinim değerleri için R1 parametresini D1 ve $\alpha 1$ parametreleri takip etmektedir. Deformasyon için y parametresi diğer bağlantı elemanlarında olduğu gibi en etkili parametre konumundadır.

Çizelge 4.15. V tipi bağlantı elemanı parametrelerinin etkilerinin gösterimi

Toplam Kareler (SS) (Sum of Square) %						
Parametre	DOF	Normal Gerilme	Equivalent Gerilme	Normal Gerinim	Equivalent Gerinim	Toplam Deformasyon
H1	5	47,3008	45,5292951	46,26457	43,72209	21,98018
$\alpha 1$	2	12,07943	11,0039768	7,791651	7,298533	8,71946
$\alpha 2$	2	5,738413	9,07343338	5,718947	9,185626	2,737912
y	2	7,590627	6,52787146	8,895065	8,483946	2,939518
Malzeme	2	18,22387	19,0816604	20,46294	20,18393	58,00786
Hata	2	9,066862	8,78376282	10,86683	11,12588	5,615069
Toplam (%)	17	100	100	100	100	100

Son olarak V tipi bağlantı elemanı için diğer bağlantı elemanlarına göre malzeme parametresinin etkisi dikkate değer biçimde ön plana çıkmaktadır. Gerilme ve gerinim

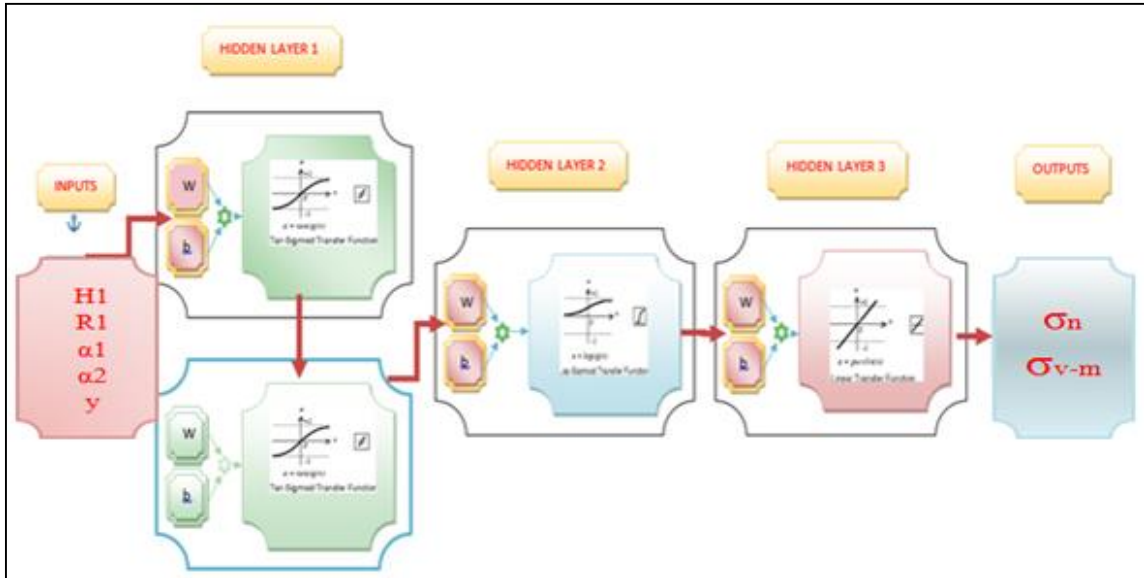
değerleri için H1 parametresi en etkili parametre olmakla birlikte deformasyon üzerinde en etkili parametrenin y parametresi olduğu görülmektedir.

4.4. Yapay Sinir Ağlarıyla Modelleme ve Kapsamı

ANSYS ortamında sonlu elemanlar analizi yapılmasıyla her bir bağlantı elemanı (V tipi için 486) için 1458 er deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler yapay sinir ağlarıyla modelleme yapmak için kullanılmıştır. Modelleme işlemi MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Öğrenme fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt fonksiyonu kullanılmıştır. En hızlı ve en iyi öğrenen algoritma olması sebebiyle tercih edilmiştir.

4.4.1. Yapay sinir ağları (YSA)

Yapay Sinir Ağları (YSA), yapay zekanın alt dallarından birisidir. Bu yöntem aynen insan beyninin öğrenme ve öğrenme sonucunda muhakeme etme yeteneğini taklit ederek girdilere karşılık gerekli sayıda çıktıyı en iyi doğrulukta tahmin etmeye yarayan bir modeldir. YSA modeli, temel 3 bölümden oluşur. Bu birimler girdi, işlem ve çıktıdır. Basit bir yapay sinir ağı modeli Şekil 4.56 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.56. Basit bir yapay sinir ağı modeli gösterimi

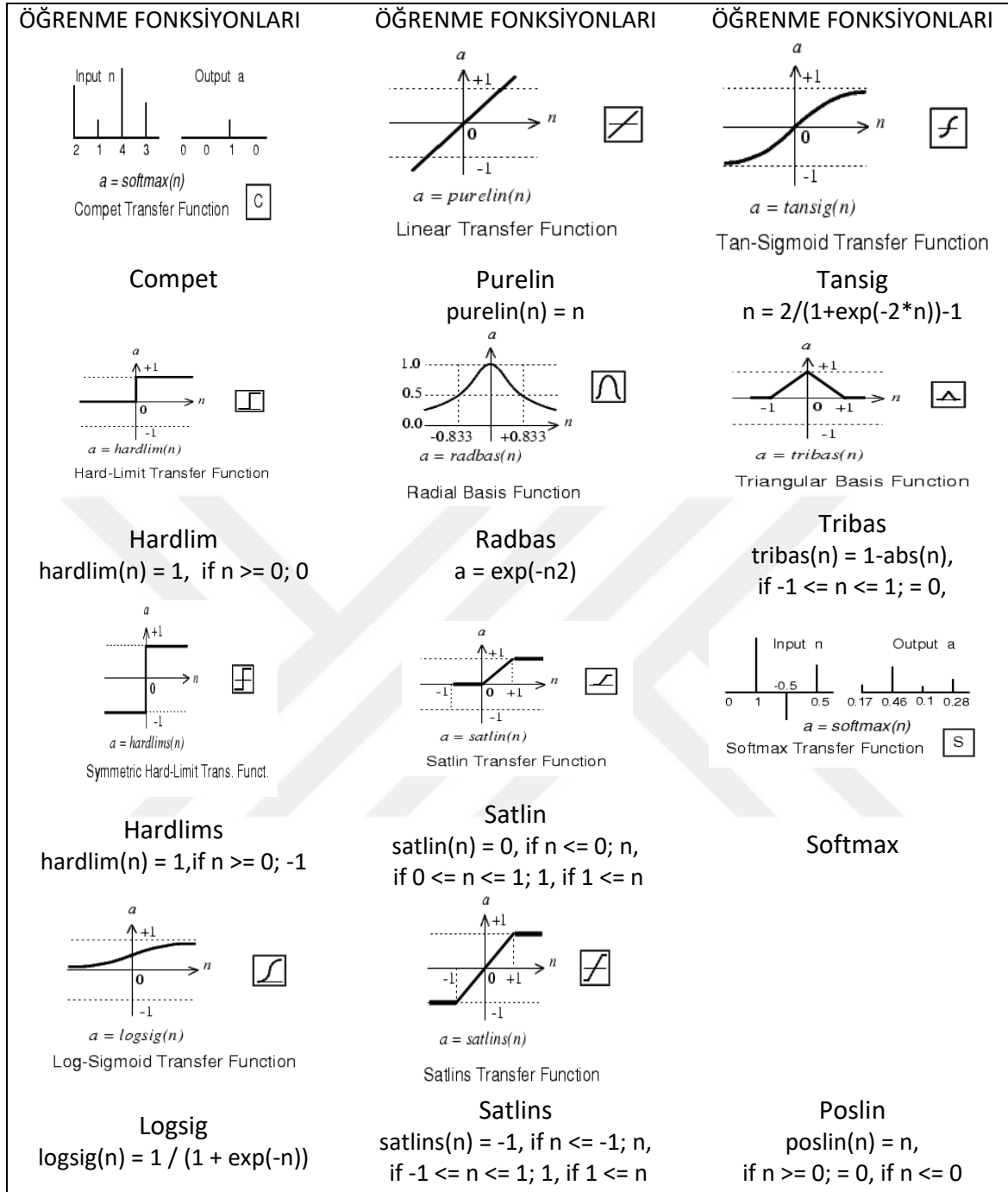
Burada işlem kısmı kapalı bir kutu biçiminde çalışır. İşlem geri planda matematiksel fonksiyonlar ile girdi ve çıktı arasında bu fonksiyonları kullanarak bir yakınsama

gerçekleştirir. Her girdi değerine karşılık bir çıktı değeri belirler ve kendi doğruluk performansını hesaplayarak girdiye karşılık çıktı değerine yaklaşıp yaklaşmadığını test eder. Doğru sonuca ulaşmışsa, deney kümesindeki diğer tüm girdilere karşılık birer çıktı değeri hesaplar. Bulduğu sonuçların doğruluğunu kendi içinde test eder ve istatistiksel olarak kendine bir puan verir. Eğer sonuca yaklaşılamamışsa; kendi içindeki kutudaki gizli katman sayılarını ve bu katmanların oluşturduğu nöron sayılarını değiştirerek doğru bir öğrenme ve tahmin yeteneğine kavuşmaya çalışır. Bu işlem her ne kadar basit bir iterasyon gibi görünse de kolayca sonuca ulaşılabilecek modelin belirleneceği manasında değildir. Bu sebeple birçok farklı model, farklı sayıdaki gizli katman ve fonksiyon sonuçlarının hesaplanması ile gerçek model belirlenebilir. YSA modelini oluşturmak için; newcf, newtdnn, newc, newelm, newff komutları kullanılmaktadır. Öğrenme modelleri; trainbr, trainbuwb, trainc, trainb, trainbfg, trainlm gibi sayılabilir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Öğrenme modelleri [46]

Fonksiyon	Algoritma
trainlm	Levenberg-Marquardt
trainbr	Bayesian Regularization
trainbfg	BFGS Quasi-Newton
trainrp	Resilient Backpropagation
trainscg	Scaled Conjugate Gradient
traincgb	Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts
traincgf	Fletcher-Powell Conjugate Gradient
traincgp	Polak-Ribière Conjugate Gradient
trainoss	One Step Secant
traingdx	Variable Learning Rate Gradient Descent
traingdm	Gradient Descent with Momentum
traingd	Gradient Descent

Bu öğrenme yöntemleri içinde gizli katmanlarda kullanılabilinecek logsig, tansig, purelin, hardlim, tribas vb olarak sayılabilecek fonksiyonların grafik ve algoritmaları ise Şekil 4.57 de gösterilmiştir. Her bir algoritma ve öğrenme fonksiyonlarının performansları veri tipine göre değişmektedir. Modele öncelikle 1 katmanlı modelden başlanır. Bu sayı artırılarak bir döngü içine konular ve en iyi performansı veren (R2, MEP and RMSE) değerler incelenerek gerçek model belirlenir.



Şekil 4.57. Öğrenme fonksiyonları [46]

4.4.2. Yapay sinir ağları ile modellemenin yapılması

Geliştirilen algoritmada; MLP (Multi-Layer Perceptron) FFBP (FeedForward-BackPropagation) Trainlm (Levenberg-Marquardt) metodu kullanılmıştır. Bu yöntem genellikle çıktı değerlerini dengelemek için kullanılır. Yani sonuçların daha hassas bir biçimde elde edilmesinde kullanılır. Model “in put -öğrenme fonksiyonları- out put” olmak

üzere ağ yapısı ile modellenmiştir. YSA modeli tansig, logsig ve purelin fonksiyonları kullanılarak oluşturulmuştur. Bu fonksiyonlara ait denklemler Eş. 41-44 de verilmiştir [46]. Her bağlantı elemanı için ayrı ayrı ağ yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller sırasıyla gösterilmiştir.

$$NET_i = \sum w_{ij}x_i + w_{bi} \quad (4.21)$$

$$a = \text{tansig}(n) = \frac{2}{(1+e^{-2n})} - 1 \quad (4.22)$$

$$a = \text{logsig}(n) = \frac{1}{(1+e^{-n})} \quad (4.23)$$

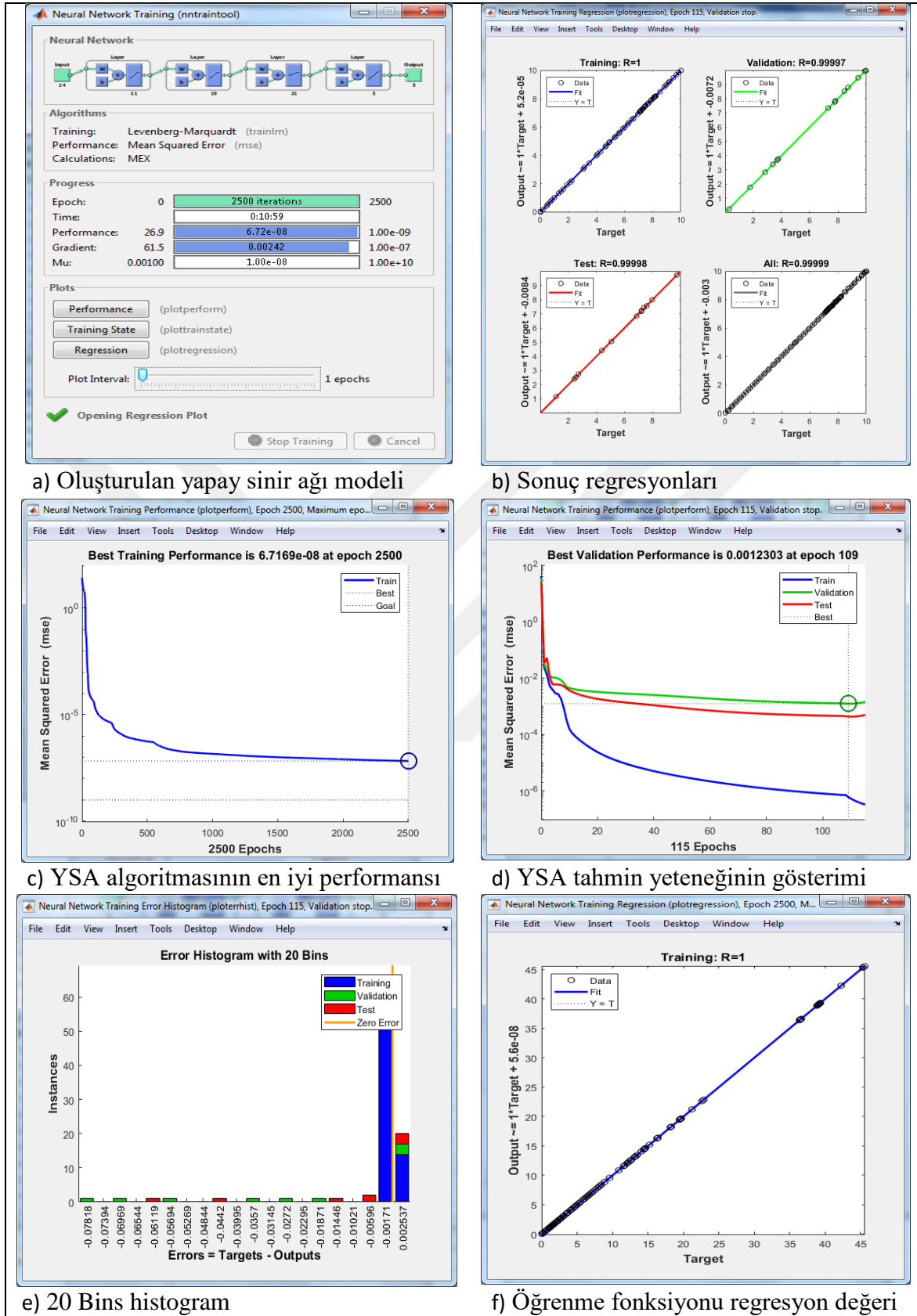
$$a = \text{purelin}(n) \quad (4.24)$$

C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının yapay sinir ağı modellemesi

C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için model de; 14-11-19-21-5-5 ağ yapısı kullanılmıştır. Burada 14 girdi parametre sayısını (C Snap boyutsal parametreler ve yer değiştirme miktarı) 11 tansig-19 tansig-21 logsig-5 purelin fonksiyonlarının neron sayılarını ve son 5 ise çıktılarını (Gerilme, Gerinim ve Deformasyon) tanımlamaktadır.

Şekil 4.58a da geliştirilen Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli gösterilmiştir. Model belirlenmeden önce farklı YSA algoritmaları üzerinde çalışmalar yapılmış Öğrenme, Test ve Tahmin değerleri mukayese edilmiştir. Bu denenen modeller içinde en yüksek güvenilirliğe sahip olan model C Tipi tırnaklı bağlantılar için YSA modeli olarak belirlenmiştir. Bu modelde LM 14 11 19 21 5 5 modeli en yüksek doğruluğu veren model olarak belirlenmiştir. Modelde 14 girdili, 11-19-21-5 den oluşan 4 gizli katmanlı ve 5 çıkışlı model geliştirilmiştir. Modeldeki 5 çıkış normal gerilme, equivalent gerilme, elastik gerinim, equivalent gerinim ve deformasyon değerleri baz alınmıştır. Şekil 4.58b de yazılımın öğrenme, test ve tahmin regresyonları ile yazılımın genel performansı istatistiksel olarak test edilmiştir. Öğrenme performansının R=1, test performansının R=0,99998, tahmin performansının R=0,99997 ve genel performansının R=0,99999 olduğu görülmektedir. Şekil 4.58c de geliştirilen YSA algoritmasının en iyi performansı Matlab yazılımında hesaplatılmıştır. Bu hesaplama göre 2500 çevrimde öğrenme fonksiyonunu model C tipi tırnaklı bağlantılar için gerçekleştirmiştir. Programın belirlediği

Hedef performans değeri $6.7169 \text{ E-}8$ değeri olarak hesaplanmıştır. Programın hedefi $10 \text{ E-}10$ olmasına karşın, yazılımın öğrenme becerisi $10 \text{ E-}8$ seviyelerine kadar ulaşmıştır. Şekil 4.58d de Matlab editöründe geliştirilen yazılımın en iyi tahmin yeteneği gösterilmektedir. Şekle göre; geliştirilen kodun $10 \text{ E-}7$ hata seviyelerine kadar öğrenme performansının arttığı, tahmin yeteneği ve test hatalarının ise $10 \text{ E-}3$ e yaklaştığı görülmektedir. Şekil 4.58e de 20 Bins lik Error Histogram grafiği verilmiştir. Bu grafikte sütunlar 20 eş parçaya bölünerek yorumlanmış ve deney verilerinin YSA modeline girmesi ile büyük çoğunun sıfır hata çizgisinde toplandığı görülmüştür. Bu çizgide toplanması öğrenme, test ve tahminler neticesinde oluşan hata miktarlarının minimum seviyelerde olduğunu ve modelin geçerliliğini göstermektedir. Şekil 4.58f de geliştirilen yazılımın öğrenme fonksiyonunun regresyonu hesaplanmıştır. Ekranda her ne kadar $R= 1$ görünse dahi programın gerçek öğrenme $R= 0.999999782$ olarak belirlenmiştir. Yazılım bu değeri yaklaşık 1 olarak göstermektedir. Grafik incelendiğinde bu değer verilerin dağılımı bakımından uygun olduğu, tüm veri değerlerinin aynı doğru üzerinde toplandığı ve öğrenme fonksiyonunun tam olarak gerçekleştiği ispatlanmıştır.

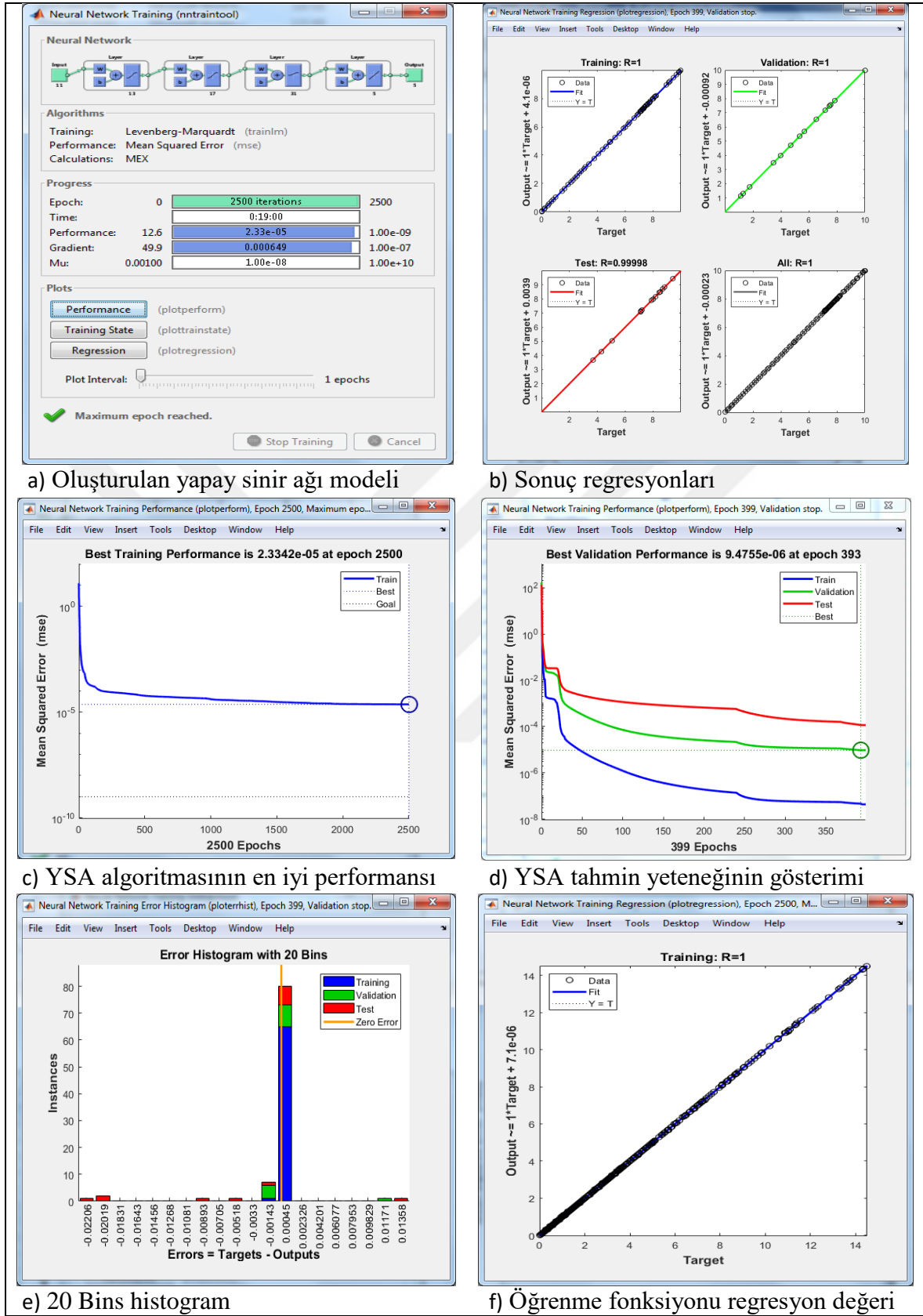


Şekil 4.58. C tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi

I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının yapay sinir ağı modellemesi

I tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için de 11-13-17-31-5-5 ağ yapısı kullanılmıştır. Burada 11 girdi parametre sayısını (I Snap boyutsal parametreler ve yer değiştirme miktarı) 13 tansig-17 tansig-31 logsig-5 purelin fonksiyonlarının neron sayılarını ve son 5 ise çıktılarını (Gerilme, Gerinim ve Deformasyon) ifade etmektedir.

Şekil 4.59a da geliştirilen Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli gösterilmiştir. C tipi bağlantı elemanı için oluşturulan model I tipi bağlantı elemanına da uygulanmıştır. Bu modelde de LM 11 13 17 31 5 5 modeli en yüksek doğruluğu veren model olarak belirlenmiştir. Modelde 11 girdili, 13-17-31-5 dan oluşan 4 gizli katmanlı ve 5 çıkışlı model geliştirilmiştir. Modeldeki 5 çıkış normal gerilme, equivalent gerilme, elastik gerinim, equivalent gerinim ve deformasyon değerleri baz alınmıştır. Bu işlem diğer 4 modele de uygulanmıştır. C tipi tırnaklı bağlantılar da olduğu gibi bu tip bağlantı elemanı için de 2500 çevrimde öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren model oluşturulmuştur. Şekil 4.59b de yazılımın öğrenme, test ve tahmin regresyonları ile yazılımın genel performansı istatistiksel olarak test edilmiştir. Öğrenme performansı, tahmin performansı ve genel performansının $R=1$ olduğu test performansının 0,99998 değerinde olduğu görülmüştür. Şekil 4.59c de programın belirlediği hedef performans değeri $2,3342 \times 10^{-5}$ değeri olarak hesaplanmıştır. Yazılımın öğrenme becerisi 10×10^{-4} seviyelerine kadar ulaşmıştır. Şekil 4.59d de Matlab editöründe geliştirilen yazılımın en iyi tahmin yeteneği gösterilmektedir. Şekle göre; geliştirilen kodun yaklaşık 10×10^{-7} hata seviyelerine kadar öğrenme performansının arttığı, tahmin yeteneğinin 10×10^{-5} ve Test hatalarının ise 10×10^{-4} seviyelerine kadar indiği görülmektedir. Şekil 4.59e de ise 20 Bins lik Error Histogram grafiği verilmiştir. Bu grafikte sütunlar 20 eş parçaya bölünerek yorumlanmış ve deney verilerinin YSA modeline girmesi ile büyük çoğunun sıfır hata çizgisinde toplandığı görülmüştür. Bu sayede minimum hata seviyelerine sahip bu modelin geçerliliği kanıtlanmıştır. Şekil 4.59f de geliştirilen yazılımın öğrenme fonksiyonunun regresyonu hesaplanmıştır. Ekranda her ne kadar $R=1$ görünse dahi programın gerçek öğrenmesi $R=0.99998304$ olarak belirlenmiştir. Yazılım bu değeri yaklaşık 1 olarak göstermektedir. Grafik incelendiğinde bu değerlerin verilerin dağılımı bakımından uygun olduğu, tüm veri değerlerinin aynı doğru üzerinde toplandığı ve öğrenme fonksiyonunun tam olarak gerçekleştiği ispatlanmıştır.

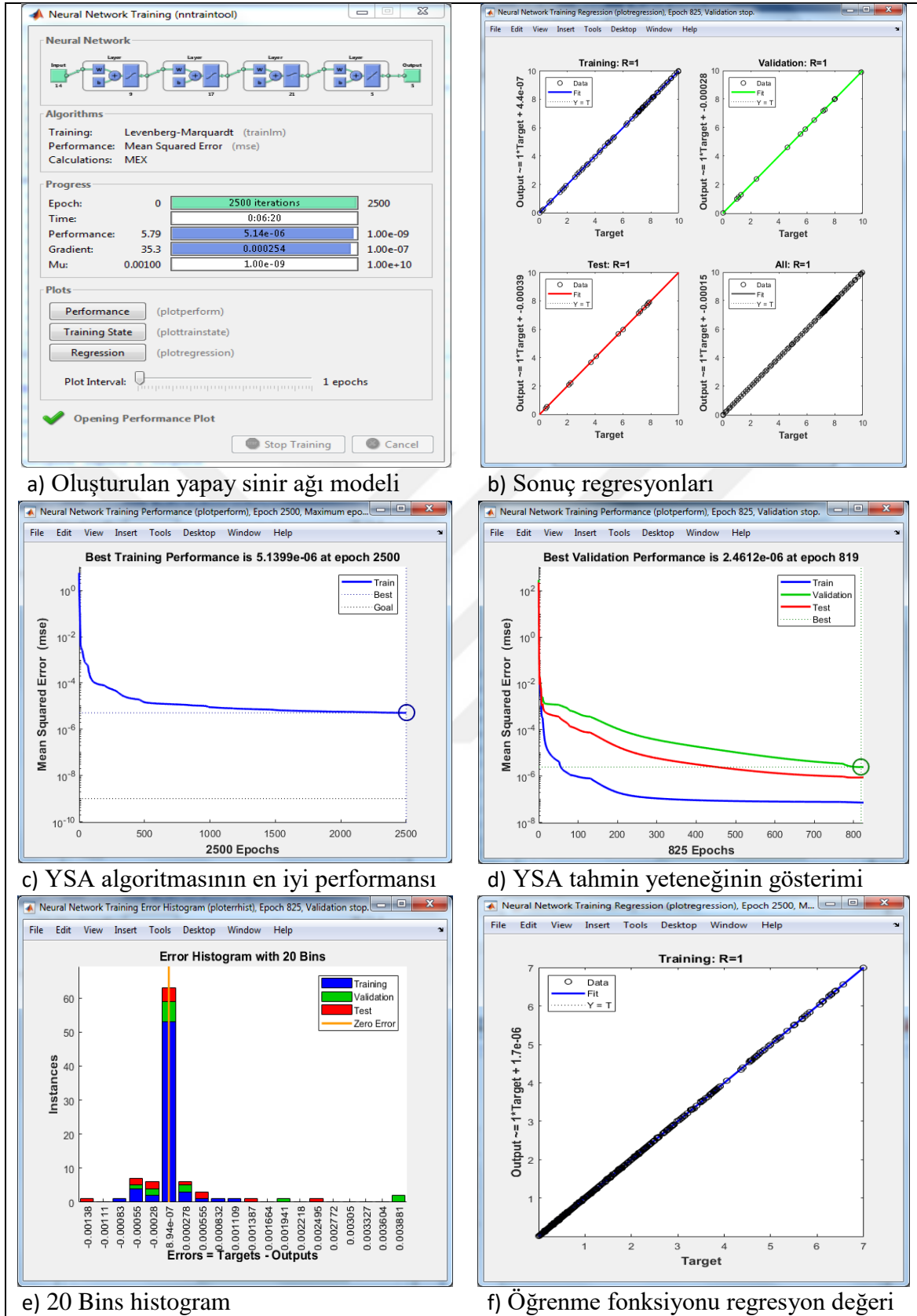


Şekil 4.59. I tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi

L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının yapay sinir ağı modellemesi

L tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için 14-9-17-21-5-5 ağ yapısı kullanılmıştır. Burada 14 girdi parametre sayısını (L Snap boyutsal parametreler ve yer değiştirme miktarı) 9 tansig-17 tansig-21 logsig-5 purelin fonksiyonlarının neron sayılarını ve son 5 ise çıktıları (Gerilme, Gerinim ve Deformasyon) ifade etmektedir.

Şekil 4.60a da geliştirilen Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli gösterilmiştir. L tipi bağlantı elemanı için en yüksek doğruluğu veren model olarak LM 14 9 17 21 5 5 modeli belirlenmiştir. Modelde 14 girdili, 9-17-21-5 dan oluşan 4 gizli katmanlı ve 5 çıkışlı model geliştirilmiştir. Modeldeki çıkış, normal gerilme, equivalent gerilme, elastik gerinim, equivalent gerinim ve deformasyon değerleri baz alınarak yapılmıştır. Diğer iki modelde sunulduğu gibi 2500 çevrimde öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren model oluşturulmuştur. Şekil 4.60b de yazılımın öğrenme, test ve tahmin regresyonları ile yazılımın genel performansı istatistiksel olarak test edilmiştir. Öğrenme performansı, test performansı, tahmin performansı ve genel performansının $R=1$ olduğu görülmektedir. Şekil 4.60c de programın belirlediği hedef performans değeri $5,1399 \text{ E-6}$ değeri olarak hesaplanmıştır. I tipi bağlantı elemanında olduğu gibi yazılımın öğrenme becerisi 10E-5 seviyelerine kadar ulaşmıştır. Şekil 4.60d de Matlab editöründe geliştirilen yazılımın en iyi tahmin yeteneği gösterilmektedir. Şekle göre; geliştirilen kodun yaklaşık 10E-7 e yakın hata seviyelerine kadar öğrenme performansının arttığı, tahmin yeteneğinin 10E-5 ve test hatalarının ise 10E-6 seviyelerine kadar indiği görülmektedir. Şekil 4.60e de 20 Bins lik Error Histogram grafiği verilmiştir. Bu grafikte sütunlar 20 eş parçaya bölünerek yorumlanmış ve deney verilerinin YSA modeline girmesi ile büyük çoğunun sıfır hata çizgisinde toplandığı görülmüştür. Öğrenme, test ve tahminler neticesinde oluşan hata miktarlarının minimum seviyelerde olması ile modelin geçerliliği gösterilmiştir. Şekil 4.60f de geliştirilen yazılımın öğrenme fonksiyonunun regresyonu hesaplanmıştır. Ekranda $R= 1$ görünse de programın gerçek öğrenmesi $R= 0.999970566$ olarak belirlenmiştir. Yazılım bu değeri yaklaşık 1 olarak göstermektedir. Grafik incelendiğinde bu değer verilerin dağılımı bakımından uygun olduğu, tüm veri değerlerinin aynı doğru üzerinde toplandığı ve öğrenme fonksiyonun tam olarak gerçekleştiği ispatlanmıştır.

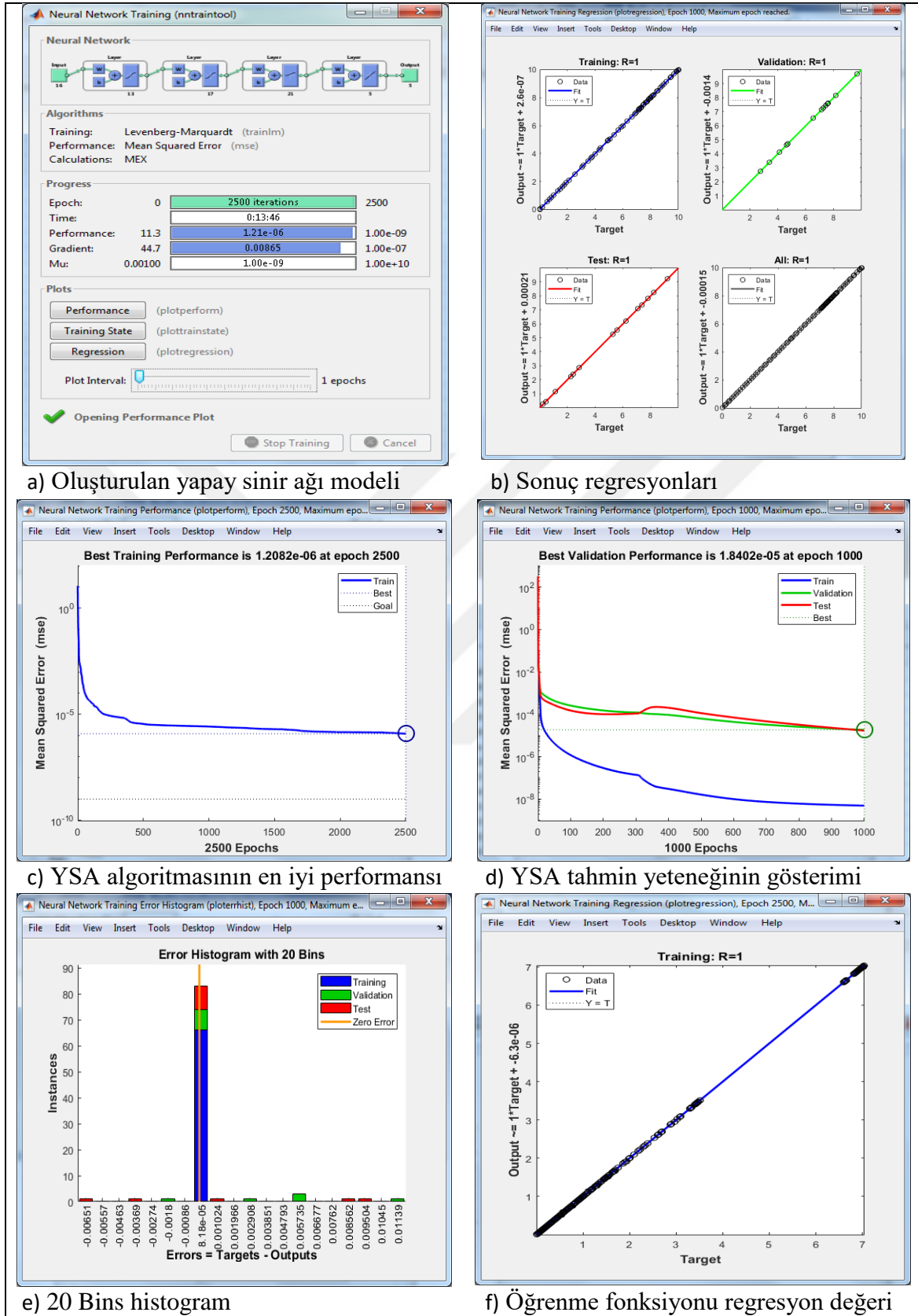


Şekil 4.60. L tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi

S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının yapay sinir ağı modellemesi

S tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için 16-13-17-21-5-5 ağ yapısı kullanılmıştır. Burada 16 girdi parametre sayısını (S Snap boyutsal parametreler ve yer değiştirme miktarı) 13 tansig-17 tansig-21 logsig-5 purelin fonksiyonlarının neron sayılarını ve son 5 ise çıktılarını (Gerilme, Gerinim ve Deformasyon) göstermektedir.

Şekil 4.61a da geliştirilen Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli gösterilmiştir. S tipi bağlantı elemanı için en yüksek doğruluğu veren model olarak LM 16 13 17 21 5 5 modeli belirlenmiştir. Modelde 16 girdili, 13-17-21-5 dan oluşan 4 gizli katmanlı ve 5 çıkışlı model geliştirilmiştir. Modeldeki çıkış, normal gerilme, equivalent gerilme, elastik gerinim, equivalent gerinim ve deformasyon değerleri baz alınarak yapılmıştır. Diğer modellerde sunulduğu gibi 2500 çevrimde öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren model oluşturulmuştur. Şekil 4.61b de yazılımın öğrenme, test ve tahmin regresyonları ile yazılımın genel performansı istatistiksel olarak test edilmiş ve $R=1$ çıkmıştır. Programın belirlediği hedef performans değeri $1,2282 \times 10^{-6}$ değeri olarak hesaplanmıştır. Yazılımın öğrenme becerisi 10×10^{-5} seviyelerinin son kısımlarına kadar ulaşmıştır (Şekil 4.61c). Şekil 4.61d de ise Matlab editöründe geliştirilen yazılımın en iyi tahmin yeteneği gösterilmektedir. Şekle göre; geliştirilen kodun yaklaşık 10×10^{-9} a yakın hata seviyelerine kadar öğrenme performansının arttığı, tahmin yeteneği ve test hatalarının ise 10×10^{-5} seviyelerine kadar indiği görülmektedir. Şekil 4.61e de 20 Bins lik Error Histogram grafiği verilmiştir. Öğrenme, test ve tahminler neticesinde oluşan hata miktarlarının minimum seviyelerde olduğu ve bu sayede modelin geçerliliğinin kanıtlandığını göstermektedir. Bu grafiklerde sütunlar 20 eş parçaya bölünerek yorumlanmış ve deney verilerinin YSA modeline girmesi ile büyük çoğunun sıfır hata çizgisinde toplandığı görülmüştür. Şekil 4.61f de geliştirilen yazılımın öğrenme fonksiyonunun regresyonu hesaplanmıştır. Ekranda her ne kadar $R=1$ görünse de programın gerçek öğrenmesi $R=0.99997213$ olarak belirlenmiştir. Yazılım bu değeri yaklaşık 1 olarak göstermektedir. Grafik incelendiğinde bu değer verilerin dağılımı bakımından uygun olduğu, tüm veri değerlerinin aynı doğru üzerinde toplandığı ve öğrenme fonksiyonunun tam olarak gerçekleştiği ispatlanmıştır.

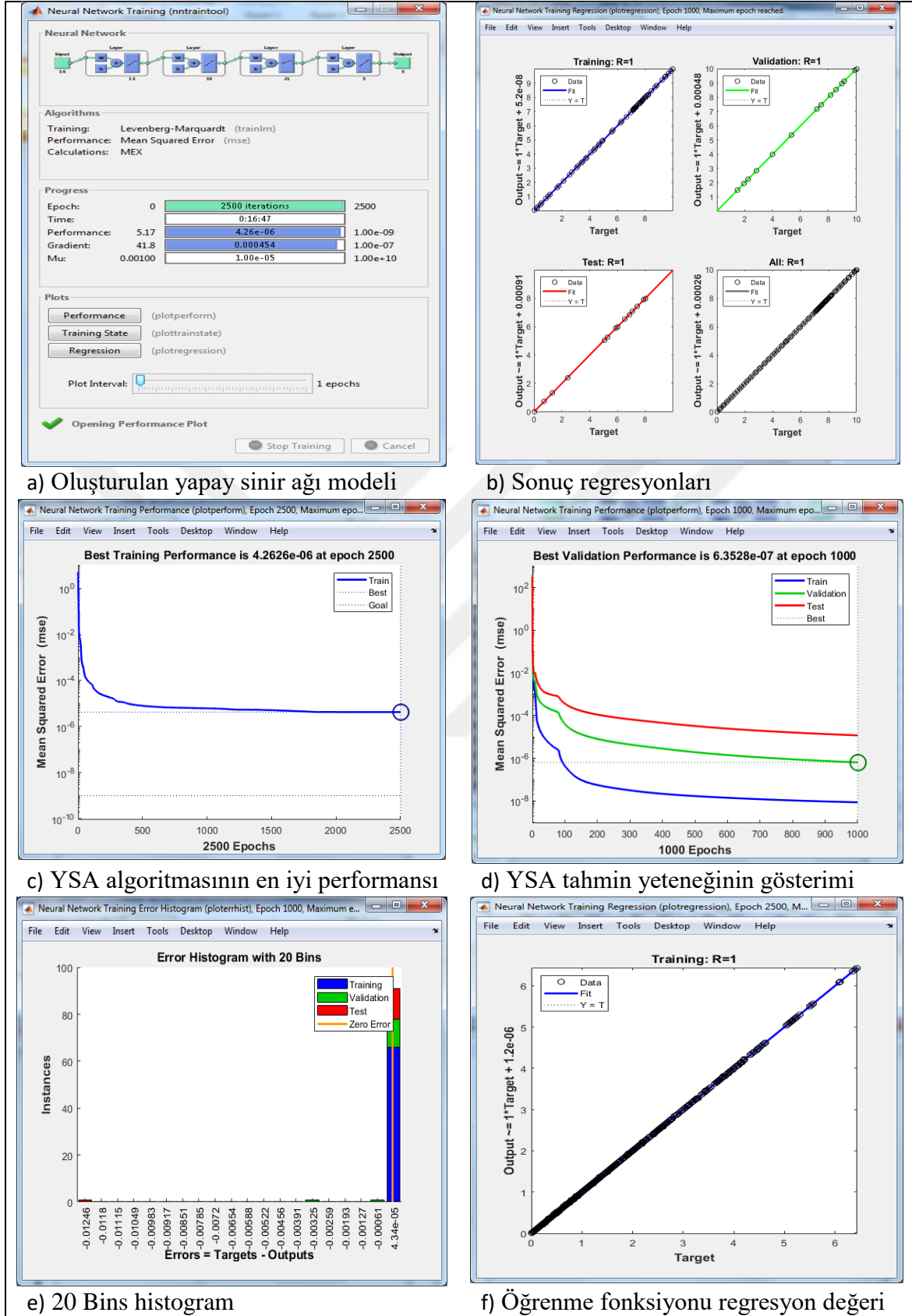


Şekil 4.61. S tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi

T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının yapay sinir ağı modellemesi

T tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için 16-13-19-21-5-5 ağ yapısı kullanılmıştır. Burada 16 girdi parametre sayısını (T Snap boyutsal parametreler ve yer değiştirme miktarı) 13 tansig-19 tansig-21 logsig-5 purelin fonksiyonlarının neron sayılarını ve son 5 ise çıktılarını (Gerilme, Gerinim ve Deformasyon) göstermektedir.

Şekil 4.62a da geliştirilen Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli gösterilmiştir. T tipi bağlantı elemanı için en yüksek doğruluğu veren model olarak LM 16 13 19 21 5 5 modeli belirlenmiştir. Modelde 16 girdili, 13-19-21-5 den oluşan 4 gizli katmanlı ve 5 çıkışlı model geliştirilmiştir. T tipi bağlantı için de 2500 çevrimde öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren model oluşturulmuştur. Modeldeki çıkış, normal gerilme, equivalent gerilme, elastik gerinim, equivalent gerinim ve deformasyon değerleri baz alınarak yapılmıştır. Şekil 4.62b de yazılımın öğrenme, test ve tahmin regresyonları ile yazılımın genel performansı istatistiksel olarak test edilmiştir. Öğrenme performansı, test performansı, tahmin performansı ve genel performansının $R=1$ olduğu görülmektedir. Şekil 4.62c de programın belirlediği hedef performans değeri 4.2626×10^{-6} değeri olarak hesaplanmıştır. Yazılımın öğrenme becerisi 10×10^{-5} seviyelerine kadar yaklaşabilmiştir. Şekil 4.62d de ise Matlab editöründe geliştirilen yazılımın en iyi tahmin yeteneği gösterilmektedir. Şekle göre; geliştirilen kodun yaklaşık 10×10^{-8} e yakın hata seviyelerine kadar öğrenme performansının arttığı, tahmin yeteneği 10×10^{-6} ve test hatalarının ise 10×10^{-5} seviyelerine kadar indiği görülmektedir. Şekil 4.62e de 20 Bins lik Error Histogram grafiği verilmiştir. Öğrenme, test ve tahminler neticesinde oluşan hata miktarlarının minimum seviyelerde olduğunu ve bu ise modelin geçerliliğini göstermektedir. Bu grafiklerde sütunlar 20 eş parçaya bölünerek yorumlanmış ve deney verilerinin YSA modeline girmesi ile büyük çoğunun sıfır hata çizgisinde toplandığı görülmüştür. Şekil 4.62f de geliştirilen yazılımın öğrenme fonksiyonunun regresyonu hesaplanmıştır. Yazılım bu değeri yaklaşık 1 olarak göstermektedir. Ekranda her ne kadar $R=1$ görünse dahi programın gerçek öğrenmesi $R=0.999970204$ olarak belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde bu değerlerin verilerin dağılımı bakımından uygun olduğu, tüm veri değerlerinin aynı doğru üzerinde toplandığı ve öğrenme fonksiyonunun tam olarak gerçekleştiği ispatlanmıştır.

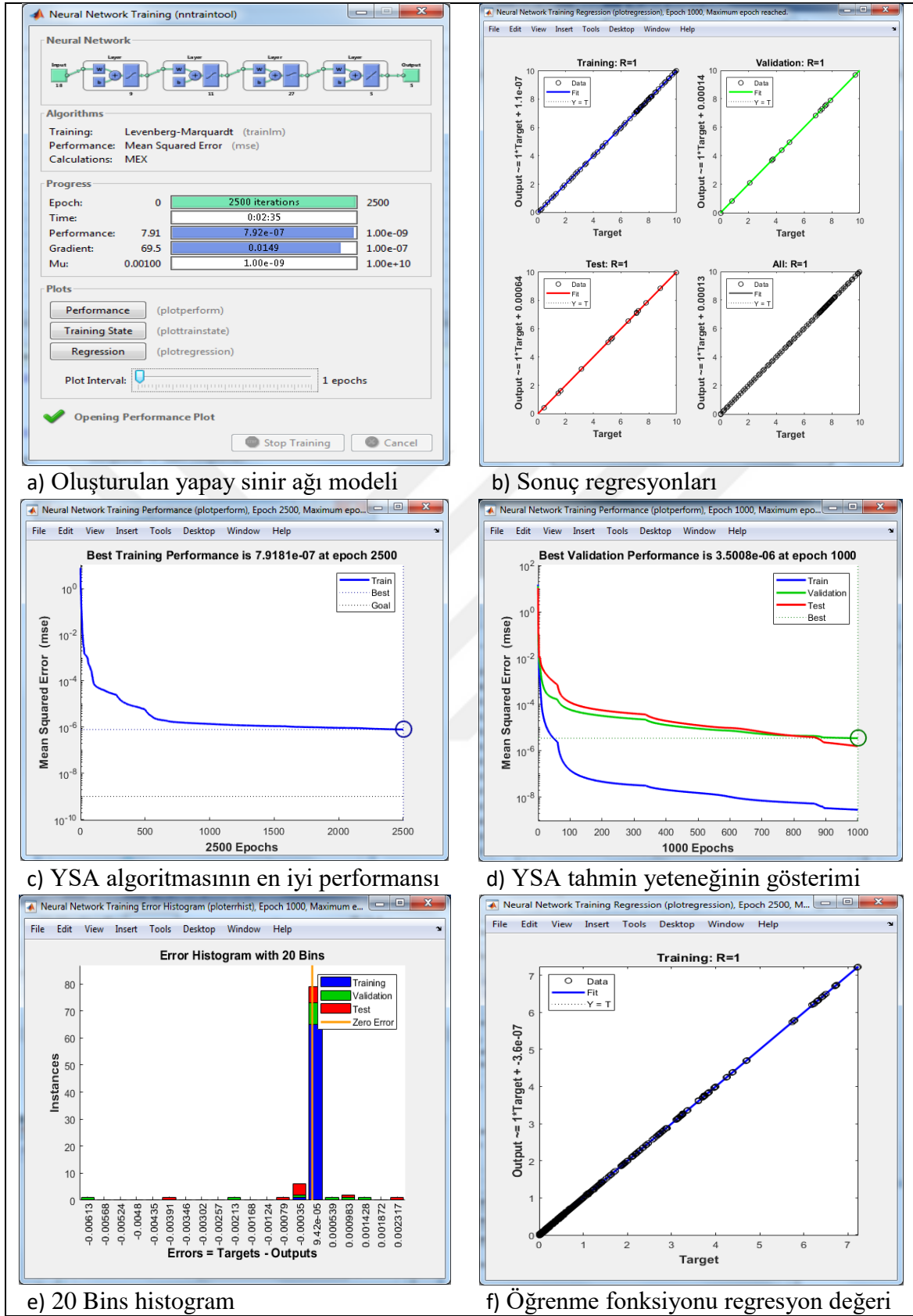


Şekil 4.62. T tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi

V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanının yapay sinir ağı modellemesi

V tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için 18-9-11-27-5-5 ağ yapısı kullanılmıştır. Burada 18 girdi parametre sayısını (V Snap boyutsal parametreler ve yer değiştirme miktarı) 9 tansig-11 tansig-27 logsig-5 purelin fonksiyonlarının neron sayılarını ve son 5 ise çıktıları (Gerilme, Gerinim ve Deformasyon) göstermektedir.

Şekil 4.63a da geliştirilen Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli gösterilmiştir ve 2500 çevrimde öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren model oluşturulmuştur. V tipi bağlantı elemanı için en yüksek doğruluğu veren model olarak LM 18 9 11 27 5 5 modeli belirlenmiştir. Modelde 18 girdili, 9-11-27-5 den oluşan 4 gizli katmanlı ve 5 çıkışlı model geliştirilmiştir. Modeldeki çıkış, normal gerilme, equivalent gerilme, elastik gerinim, equivalent gerinim ve deformasyon değerleri baz alınarak yapılmıştır. Şekil 4.63b de yazılımın öğrenme, test ve tahmin regresyonları ile yazılımın genel performansı istatistiksel olarak test edilmiştir T tipi bağlantı elemanında görüldüğü gibi öğrenme performansı, test performansı, tahmin performansı ve genel performansının $R=1$ elde edilmiştir. Şekil 4.63c incelendiğinde programın belirlediği hedef performans değeri $7,9181 \cdot 10^{-7}$ değeri olarak hesaplanmıştır. Yazılımın öğrenme becerisinin $10E-6$ seviyelerinde olduğu görülmüştür. Şekil 4.63d de ise Matlab editöründe geliştirilen yazılımın en iyi tahmin yeteneği gösterilmektedir. Şekle göre; geliştirilen kodun yaklaşık $10E-9$ a yakın hata seviyelerine kadar öğrenme performansının arttığı, tahmin yeteneği ve test hatalarının ise $10E-5$ seviyelerine kadar indiği görülmektedir. Şekil 4.63e de 20 Bins lik Error Histogram grafiği verilmiştir. Öğrenme, test ve tahminler neticesinde oluşan hata miktarlarının minimum seviyelerde olduğunu ve bu ise modelin geçerliliğini göstermektedir. Bu grafiklerde sütunlar 20 eş parçaya bölünerek yorumlanmış ve deney verilerinin YSA modeline girmesi ile büyük çoğunun sıfır hata çizgisinde toplandığı görülmüştür. Şekil 4.63f de geliştirilen yazılımın öğrenme fonksiyonunun regresyonu hesaplanmıştır. Yazılım bu değeri yaklaşık 1 olarak göstermektedir. Ekranda her ne kadar $R=1$ görünse de programın gerçek öğrenmesi $R=0.9999959$ olarak belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde bu değerlerin verilerin dağılımı bakımından uygun olduğu, tüm veri değerlerinin aynı doğru üzerinde toplandığı ve öğrenme fonksiyonunun tam olarak gerçekleştiği ispatlanmıştır.



Şekil 4.63. V tipi EKBE yapay sinir ağı modellemesi



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar ve Tartışma

Esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları (EKBE) için tasarım, modelleme, analiz, deney optimizasyonu ve yapay sinir ağı modelleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bir üreticinin kataloğu referans alınarak model çeşitliliği sınırlandırılmıştır. Endüstri de otomotiv sektöründe emniyet kemeri gibi plastik aksamaları, beyaz eşya sektöründe komponentlerin bağlantıları için ağırlıklı olarak I ve C tipi bağlantı elemanı seçilmektedir. I tipi bağlantı elemanlarının montaj ve demontaj için pozisyonlarının uygun olmadığı durumlarda V, L ve S tipi bağlantılar tercih edilmektedir. Bu bağlantı elemanları en basit haliyle TV kumandaları pil kapaklarında kullanılmaktadır. Pil değişimi sırasında açma kapama işleminin kolay ve basit sağlanabilmesi için bu tip tasarımlar tercih edilmektedir. Elektrikli ev aletleri gibi sürekli elimizin altında bulunan ve işlem bitiminde temizleme gerektiren araçlarda ise T tipi bağlantı elemanı tercih edilmektedir. Burulma kuvveti ile montaj ve demontaj işlemi sağlayarak hem güvenli işlem gerçekleştirmeyi hem de işlem bitiminde kolay bir şekilde sökülerek işlemi tamamlamayı sağlamaktadır. Bu doğrultuda endüstride sıkça kullanılan bu 6 farklı EKBE modeli (“C”, “I”, “L”, “S”, “T” ve “V”) belirlenmiştir. Belirlenen her bir modelin ayrı ayrı boyutsal parametreleri oluşturulmuş ve sınırlılıkları belirlenmiştir. Her bir parametrenin diğer başka bir parametreye göre oranları belirlenmiş ve boyutların minimum ve maksimum aralıkları tanımlanmıştır. Elde edilen parametrelerin oranlarına göre tüm tasarımsal varyasyonlar belirlenmiştir. V tipi bağlantı elemanı için 162 varyasyon belirlenmiştir. Diğer her bir bağlantı elemanı için 486 varyasyon sunulmuştur.

Elde edilen EKBE modelleri Taguchi Yöntemi (Design of Experiment) kullanılarak her bir EKBE modelinin, bilimsel bir yorum yapmaya yarayacak deney setleri oluşturulmuştur. EKBE modellerinin birbiri ile orantılı parametreleri elimine edilerek bağımsız parametrelere bağlı, genel sonucu yansıtacak bir deney kümesi oluşturulmuştur. Ortogonal diziden L18 1⁶ 5³ dizisi seçilerek 18 adet deney seti oluşturulmuş ve ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir. Taguchi yöntemi kullanılarak hazırlanan deney setleri dışında her bir bağlantı için oluşturulan tüm kombinasyonların olduğu 486 deney üç ayrı malzeme için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kıyaslandığında Taguchi yöntemi ile oluşturulan kümenin (18x3 deney seti) çözümlenmesi ile elde edilen maksimum çıktı değerlerine tüm

deney setleri (486x3 deney seti) çözdürüldüğünde de ulaşılmıştır. Şekil 5.1 de C tipi esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı için tüm deney verilerinin çıktılarında maksimum gerilme, gerinim ve deformasyon değerleri için bakıldığında elde edilen maksimum değerlerin Çizelge 4.10 da Taguchi yönteminin optimizasyonu ile elde edilen değerler ile uyduğu görülmüştür. Böylece Taguchi yönteminin doğrulaması yapılmıştır. C tipi bir bağlantı tasarlandığında istenilen çıktılara ulaşmak için Taguchi yöntemi uygulanarak kısa sürede ulaşılabilmektedir. Doğrulama işlemi tüm bağlantı elemanları için gerçekleştirilmiştir.

Malzeme	H1	R1	$\alpha 1$	$\alpha 2$	γ	Normal Gerilme	Equivalent Gerilme	Normal Gerinim	Equivalent Gerinim	Toplam Deformasyon
ABS	3.6	0.05	40	89	3	60197.06	67754.91	20.13068	23.42767	3.119933
ABS	4.8	0.05	40	89	3	44901.14	50535.78	15.01467	17.47359	3.117467
ABS	6	0.05	40	89	3	36069.97	40599.25	12.06158	14.03785	3.117788
ABS	0.4	0.05	40	89	6	1087698	1224240	363.7181	423.302	6.274549
ABS	1.2	0.05	40	89	6	359638.3	404769.7	120.226	139.956	6.238346
ABS	2.4	0.05	40	89	6	178543.1	200984.8	59.70675	69.49401	6.233787
					⋮					
PLA	3.6	0.05	40	89	3	74259.65	84155.52	20.24435	23.44294	3.123388
PLA	4.8	0.05	40	89	3	55422.36	62804.96	15.10803	17.49523	3.120547
PLA	6	0.05	40	89	3	44517.89	50451.96	12.13573	14.05411	3.121176
→ PLA	0.4	0.05	40	89	6	1341114	1519814	365.5826	423.3669	6.280524
PLA	1.2	0.05	40	89	6	443670.8	502768.1	120.9119	140.0535	6.244201
PLA	2.4	0.05	40	89	6	220267.3	249654.9	60.04747	69.54521	6.240474
PLA	3.6	0.05	40	89	6	148519.3	168311	40.4887	46.88589	6.246777
PLA	4.8	0.05	40	89	6	110844.7	125609.9	30.21605	34.99046	6.241094
					⋮					
PETG	1.2	0.05	40	89	3	130431.3	147304.5	60.30009	70.00625	3.120537
PETG	2.4	0.05	40	89	3	64754.04	73144.54	29.94646	34.7619	3.118464
PETG	3.6	0.05	40	89	3	43662.23	49313.21	20.19247	23.43624	3.121569
PETG	4.8	0.05	40	89	3	32578.53	36793.13	15.06566	17.48586	3.118912
PETG	6	0.05	40	89	3	26169.43	29557.12	12.10196	14.04695	3.119378
PETG	0.4	0.05	40	89	6	788733.9	890803.3	364.7409	423.3531	6.277333
PETG	1.2	0.05	40	89	6	260862.5	294609	120.6002	140.0125	6.241073
PETG	2.4	0.05	40	89	6	129508.1	146289.1	59.89291	69.52379	6.236928
PETG	3.6	0.05	40	89	6	87324.47	98626.42	40.38494	46.87248	6.243137
					⋮					

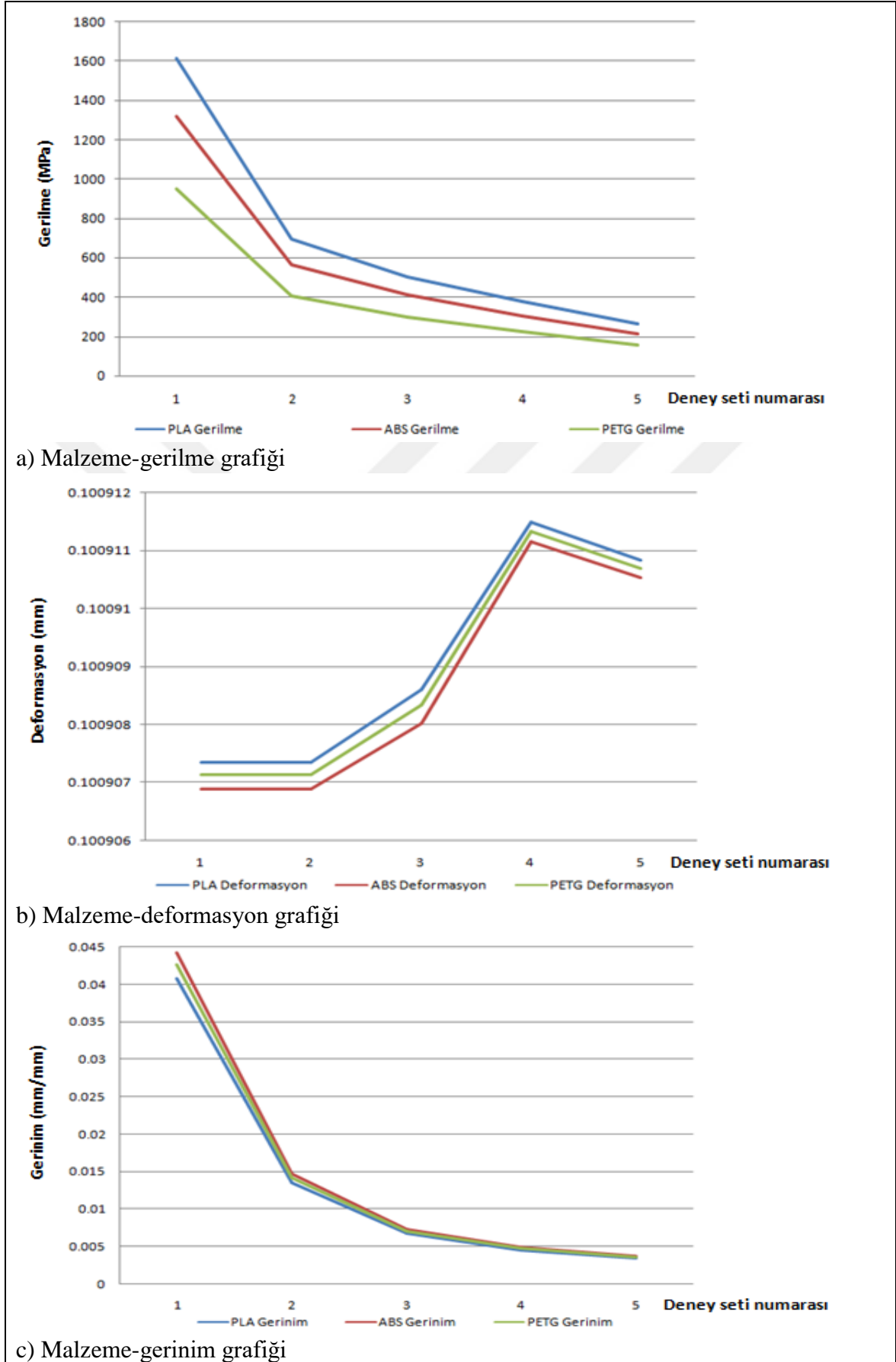
Şekil 5.1. C tipi EKBE için Taguchi doğrulaması

Çalışma içerisinde Yapay sinir ağı ile algoritma oluşturulurken diğer önemli bir adım malzeme seçimidir. Elastisite Modülü ve Poison oranına bağlı bir veri bankası oluşturmak için Elastisite modülü en küçük olan bir malzeme, Elastisite modülü en büyük olan bir malzeme ve bir de ara bir değere sahip olmak üzere malzeme belirlenmelidir. Bu bağlamda EKBE için sanayiye kullanım değeri fazla olan ABS malzeme üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

ABS malzemesi minimum değer olarak belirlenmiş ve PLA malzeme ile mukayese edilerek aynı zamanda petrol türevli malzemelerin yerine biyo-bazlı malzeme kullanımının uygun olmadığı araştırılmıştır. PLA malzemesi maksimum değer olarak ele alınmıştır. ABS ve PLA malzemeleri arasında kalacak bir Elastisite modülüne sahip malzeme seçimi için ise PETG malzeme uygun görülmüştür. Böylece hem yapay sinir ağı modeli için bir değer kümesi oluşturulmuş hem de malzemelerin aynı tasarımlarda petrol türevli ve biyo-bazlı olarak kıyaslaması yapılabilmektedir. ABS ile PET-G malzemesinin Elastisite modülü ve Poison oranları birbirlerine göre çok yakın değerlerde olmasına rağmen Akma Dayanımları farklılık göstermektedir. Dolayısı ile elde edilen sonuçlarda hem Elastisite modülü hem Poison oranı ve hem de Akma Dayanımları arasında bir aralık değerleri tespit edilerek petrol türevli malzemeleri de kendi aralarında mukayese etme imkânı sağlanmıştır. Her bir EKBE modelinin ANSYS ortamında parametrik tasarımı gerçekleştirilmiştir. Mesh optimizasyonu yapılmış, sınır şartları probleme uygulanmıştır. ABS, PLA ve PET-G malzemeler için analizler gerçekleştirilmiş ve malzeme etkileri mukayese edilmiştir. Tasarlanan modellerde petrol türevli malzemeler (ABS, PETG) yerine biyobazlı ürün (PLA) kullanımının genel olarak pozitif yönde etki ettiği görülmüştür. Çizelge 5.1'deki deney setleri seçildiğinde gerilme, gerinim ve deformasyon çıktılarına ait grafik Şekil 5.2 ile gösterilmiştir. Sade ve anlaşılır olması için set sayısı sınırlı seçilmiştir. Tüm deney setleri boyunca var olan farklar aynı şekilde devam etmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi tasarım kısıtları çerçevesinde yüksek gerilim ve deformasyon gerektiren durumlarda PLA malzemesi petrol türevli malzemelerin yerine tercih edilebilmektedir.

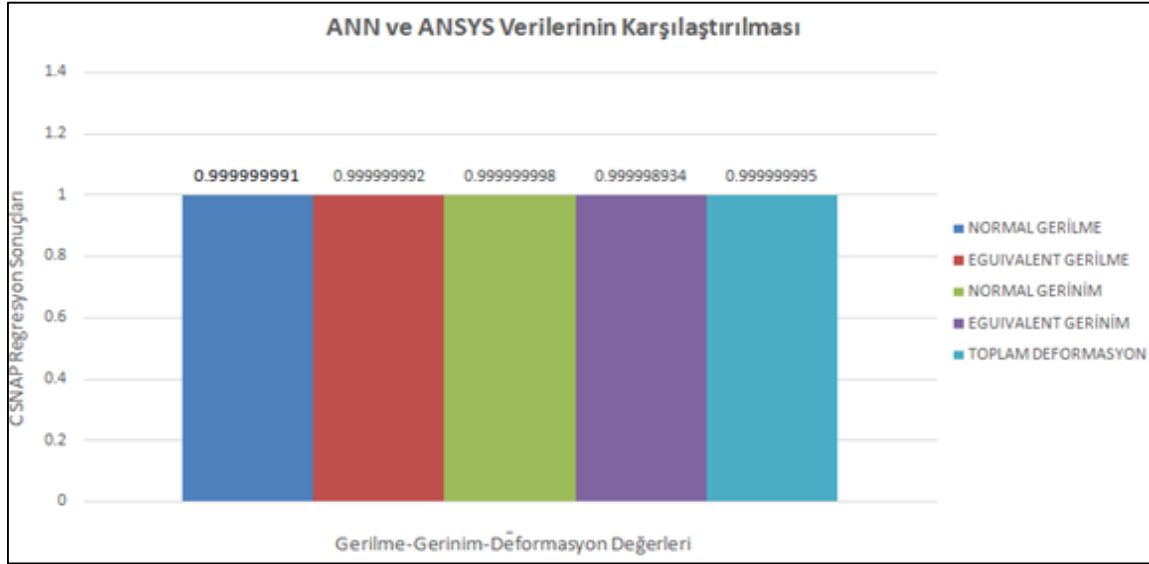
Çizelge 5.1. Malzeme etkisi için oluşturulan deney setleri tablosu

Deney Seti	H1	R1	α_1	α_2	y	Malzeme		
Deney 1	0.4	0.05	20	20	0.1	PLA	ABS	PETG
Deney 2	1.2	0.05	20	20	0.1	PLA	ABS	PETG
Deney 3	2.4	0.05	20	20	0.1	PLA	ABS	PETG
Deney 4	3.6	0.05	20	20	0.1	PLA	ABS	PETG
Deney 5	4.8	0.05	20	20	0.1	PLA	ABS	PETG

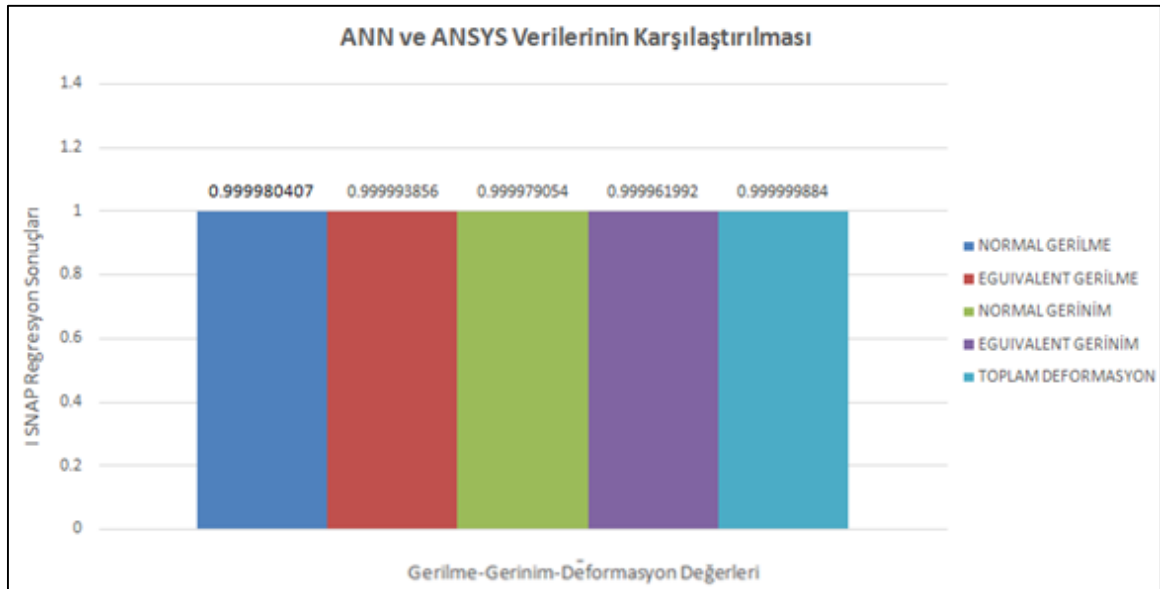


Şekil 5.2. Malzeme-dayanım etkisi grafikleri

ANSYS ortamında analizi gerçekleştirilen bağlantı elemanlarının verileri Matlab ortamında oluşturulan yapay sinir ağı modelinde kullanılmıştır. Her bir bağlantı elemanı için farklı bir yapay sinir ağı modeli kurularak veriler yapay sinir ağına öğretilmiştir. Bağlantı elemanlarına ait veriler Şekil 5.3- 5.8 arasında sunulmuştur.



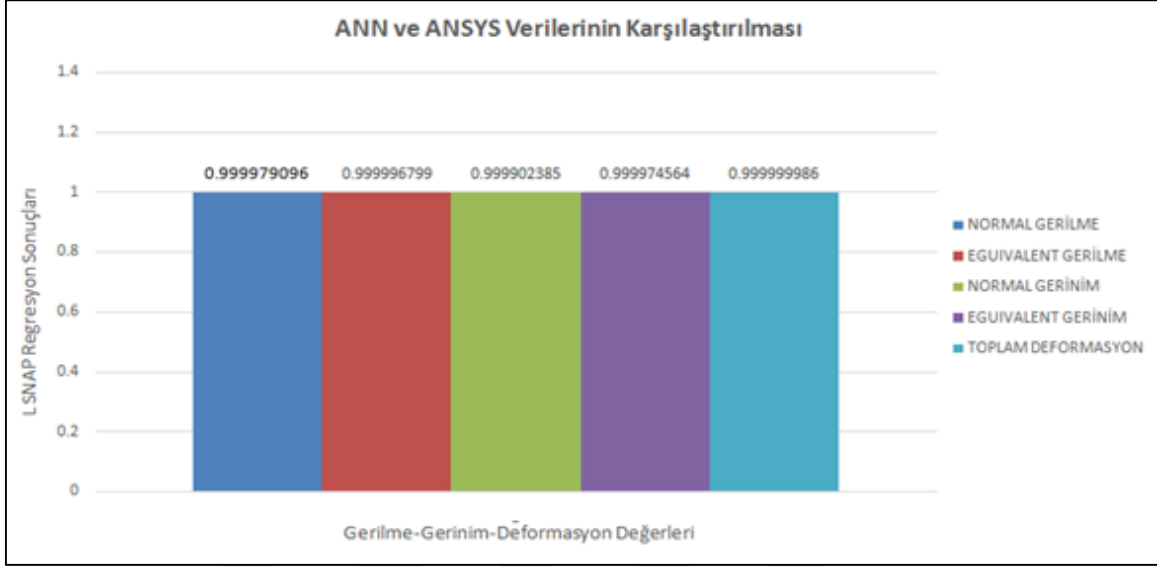
Şekil 5.3. C tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması



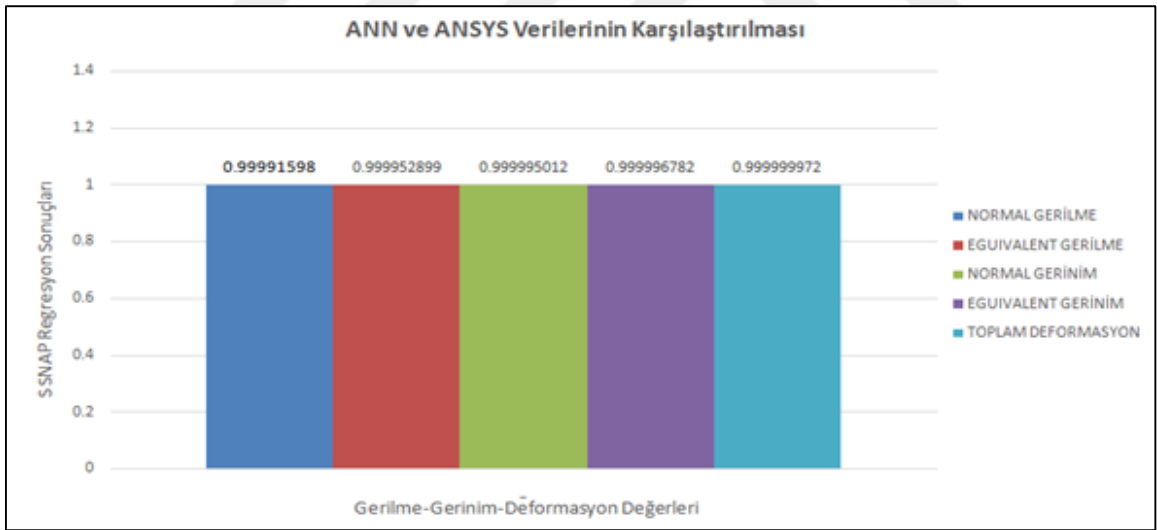
Şekil 5.4. I tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması

Yapay sinir ağı ve ANSYS verileri mukayese edildiğinde öğrenme işleminin $R=1$ 'e çok yakın değerlerde elde edildiği görülmüştür. Oluşturulan bu algoritma aynı zamanda tahmin

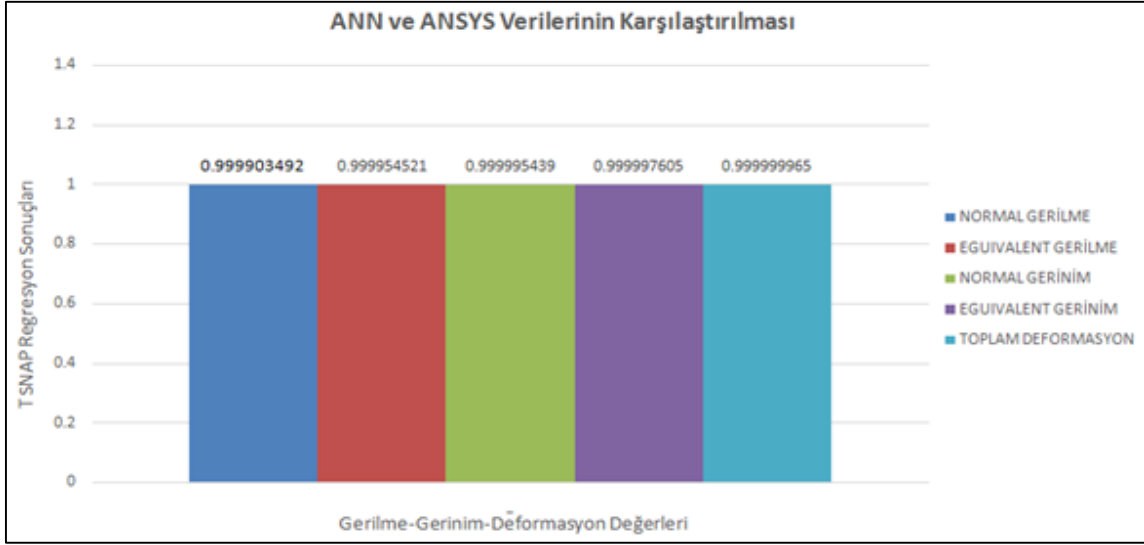
etme yeteneğine sahiptir. Öğretilen veriler arasında bulunan herhangi bir parametre değeri içinde çıktı bilgisi sunabilmektedir.



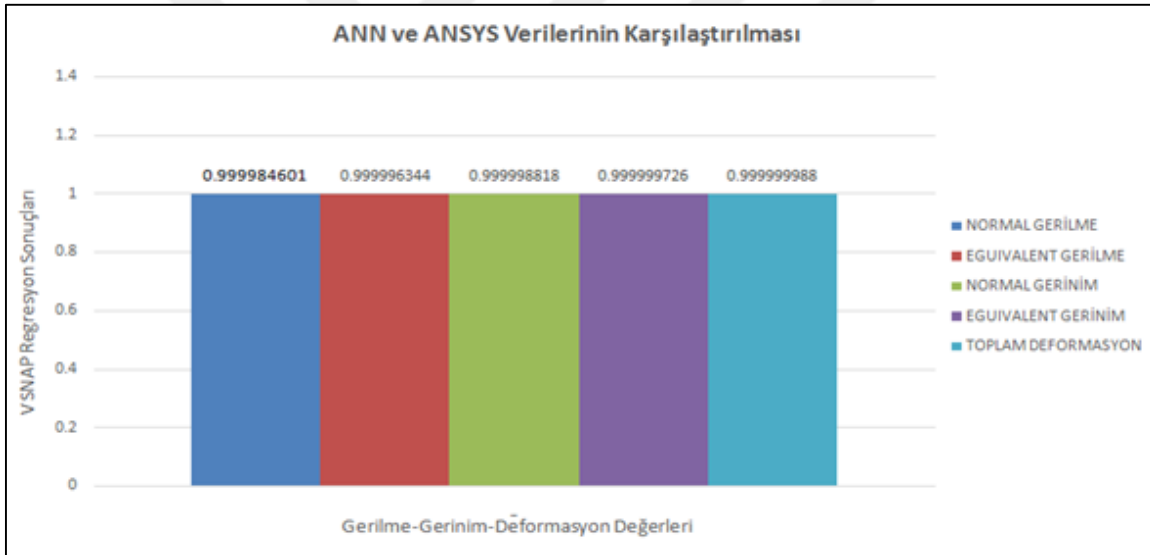
Şekil 5.5. L tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması



Şekil 5.6. S tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması



Şekil 5.7. T tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması



Şekil 5.8. V tipi bağlantı elemanı ANN-ANSYS verilerinin kıyaslanması

Yapılan çalışmalar incelendiğinde esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları üzerinde tasarımsal yaklaşımlar yapıldığı, montaj hesaplamaları ve yazılımlar üzerinde durulduğu görülmüştür. Bu çalışma ile esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları için parametrik bir tasarımı gerçekleştirmek ve parametrik tasarım olarak varyasyonları ve yer değiştirme parametresi ışığında herhangi bir mühendislik aracı kullanmadan bir Yapay Sinir Ağı modeli ile bu bağlantı elemanlarının Gerilme, Gerinim ve Deformasyon değerlerini tahmin eden bir algoritma oluşturulmuştur.

Tam anlamıyla mukayese edilememekle birlikte Türköz, benzer bir çalışmayı cam elyaf katkılı malzemeler üzerinde gerçekleştirmiştir. Malzemelerin birim uzama sınırına göre durumlarını incelemiştir [25]. Anar, tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise analiz için %10 talk katkılı polipropilen (PP TD10), polikarbonat (PC), PC/ABS alaşımı ve %20 cam elyaf katkılı PBT olmak üzere 4 farklı malzeme kullanılarak esneyerek kilitlenen bağlantı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [44]. Her iki çalışma da tasarım boyutlamaları ve malzemeler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan bu çalışmada malzeme ve tasarım etkilerinin yanında yapay zekâ teknolojisi kullanılmıştır. Tasarımı yapılan elemanlar için veri tabanı oluşturularak işlem sürelerinde kısalma ve bilgisayar destekli tasarımların yapay zekâ teknolojisine taşınması sağlanmıştır.

5.2. Öneriler

- 1- Esneyerek kilitlenen bağlantı tasarımlarında kullanılacak yere göre tasarımları yapılmalı ve analizleri gerçekleştirilmelidir.
- 2- Yapılan bu çalışma farklı malzemelere de uygulanabilmektedir.
- 3- İstenilen çalışma şartlarında istenilen özellikleri karşılayacak yeni malzeme geliştirilebilir.
- 4- Malzeme, esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı tipi ve zorlanma / deformasyon tipine göre esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları matematiksel modellenenebilir.
- 5- Simulink üzerinde bir modelleme ve simülasyon çalışması her bir esneyerek kilitlenen bağlantı elemanı modeli için gerçekleştirilebilmektedir.
- 6- Biyo-bozunur malzemelerden biri olan PLA esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları üzerinde denenmiş ve eğilme dayanımı yüksek olması sebebiyle daha yüksek gerilme ve deformasyonlara dayandığı görülmüştür. Esneyerek kilitlenen bu bağlantılar üzerinde yeni geri dönüşüm özellikli malzemeler araştırılabilir.
- 7- Taguchi yöntemi kullanılarak esneyerek kilitlenen bağlantı elemanları üzerinde optimizasyonlar gerçekleştirilebilir.
- 8- Tırnak uç profillerinde gerçekleştirilen tasarımlar ile bağlantı dayanım özellikleri artırılabilir.
- 9- Yapay zekâ teknolojilerinde yapay sinir ağları ile yapılan modellerin tahmin yeteneği sınırlarını artırarak ve elde edilen bu algoritma yazılımlara entegre edilerek bir paket programı hazırlanabilir.

KAYNAKLAR

1. McMaster, W., Lee, C. S. (2001). Designing with “L-” and “U-” shaped snap fits. *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, 20(13), 1150-1160.
2. Annis, J.R. (2004). The mechanics and optimization of cantilever snap joints. *Rockwell Automation*, 1-12.
3. Suri, G., Luscher, A.F. (2006). Development of analytical model of cantilever hook performance. *Journal of Mechanical Design*, 128(2), 479-493.
4. Chen, Y. H., Lan, C. C. (2012). Design of a constant-force snap-fit mechanism for minimal mating uncertainty. *Mechanism and Machine Theory*, 55, 34-50.
5. Bonenberger, P.R. (2016). *The first snapfits handbook: Creating and managing attachments for plastics parts* (Üçüncü Baskı). Munich: Carl Hanser Verlag, 1-268.
6. İnternet: Tim Spahr. (1991). Snap-fits for assembly and disassembly. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F%5B6%5D%09Internet%3A+Tim+Spahr.+%281991%29.+Snap-fits+for+assembly+and+disassembly.+URL%3A+http%3A%2F%2Fwww.gotstogo.com%2Fmisc%2Fengineering_info%2FSnap_Fitsres72dpi.PDF+Son+Eri%C5%9Fim+Tarihi%3A+10.10.2018&date=2019-05-02, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
7. Sodhi, R. S., Sonnenberg, M., Das, S. (1999). *Use of snap-fit fastener in the multi-life-cycle design of products*, Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Massachusetts, 160-165.
8. Kunz, J., Holzinger, M. (2006). Geometry of snap hooks optimised. *Journal of Kunststoffe International*, 10, 232-236.
9. Messler, R.W., Genc, S., Gabriele, G.A. (1997). Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. Part 1 - introduction to integral attachment using snap-fit features. *Assembly Automation*, 17(2), 143-155.
10. Messler, R.W., Genc, S., Gabriele, G.A. (1997). Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. Part 2 - bringing order to integral attachment: attachment-level design. *Assembly Automation*, 17(2), 156-165.
11. Messler, R.W., Genc, S., Gabriele, G.A. (1997). Research articles Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. Part 3 - an attachment-level design methodology. *Assembly Automation*, 17(3), 239-248.
12. Messler, R.W., Genc, S., Gabriele, G.A. (1997). Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. Part 4 - selection of locking features. *Assembly Automation*, 17(4), 315-328.
13. Genc, S., Messler, R.W., Gabriele, G.A. (1998). Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. Part 5 - a procedure to constrain parts fully and generate alternative attachment concepts. *Assembly Automation*, 18(1), 68-74.

14. Genc, S., Messler, R.W., Gabriele, G.A. (1998). Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. Part 6 - evaluating alternatives for design optimization. *Assembly Automation*, 18(2), 153-165.
15. Genc, S., Messler, R.W., Gabriele, G.A. (1998). Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. Part 7 - testing the conceptual design methodology with a case study. *Assembly Automation*, 18(3), 223-236.
16. Genc, S., Messler, R.W., Gabriele, G.A. (1998). A hierarchical classification scheme to define and order the design space for integral snap-fit assembly. *Research and Engineering Design*, 10, 94-106.
17. Suri, G., Luscher, A.F. (2000). Structural abstraction in snap-fit analysis. *Journal of Mechanical Design*, 122, 395-402.
18. Brock, M. J., Wright, P. K. (2002). Design tool for injection molded snap fits in consumer products. *Journal of Manufacturing Systems*, 21(1), 32-39.
19. Ruan, T., Luscher, A. F. (2005). A web-based design tool for snap-fit features. *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 3, 937-945.
20. Kshirsagar, R. M., Pawar, D. B. (2015). Design and analysis of snap fit joint in plastic part. *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, 2(1), 83-87.
21. Klahn, C., Singer, D., Meboldt, M. (2016). Design guidelines for additive manufactured snap-fit Joints. *Procedia CIRP*, 50, 264 – 269.
22. Li, H., Ortega, J., Chen, Y., He, B., Jin, K. (2012). Study of shape memory polymers snap-fit for disassembly. *Assembly Automation*, 32(3), 245–250.
23. Carrell, J., Tate, D., Wang, S., Zhang, H. C. (2011). Shape memory polymer snap-fits for active disassembly. *Journal of Cleaner Production*, 19, 2066-2074.
24. He, B., Li, H., Jin, K., Shape memory polymer actuated hollow snap-fit design analysis. *Materials and Design*, 47, 539–550.
25. Türköz, S. (2006). *Plastik parçalarda esneyerek kilitlenen bağlantuların tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 48-49.
26. İnternet: Google Images. Snapfits examples. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.google.com.tr%2Fsearch%3Fbiw%3D1366%26bih%3D657%26tbn%3Disch%26sa%3D1%26ei%3DnJrmW7rNHuP5qwHQxrKABQ%26q%3Dsnapfits%2Bexamples%26oq%3Dsnapfits%2Bexamples%26gs_l%3Dimg.3...15236.17343.0.17435.9.9.0.0.0.178.910.0j6.6.0...0...1c.1.64.img..3.0.0...0.ZwQi96VFJNg.+&date=2019-05-02, Son Erişim Tarihi: 10.11.2018.
27. Erhard, G. (2006). *Designing with plastics*. Almanya: HANSER, 311-324.

28. Babalık, F. C., Çavdar, K. (2014). *Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri* (Yedinci Baskı). Türkiye: DORA Yayınevi, 33-34.
29. Akkurt, M. (2012). *Makine elemanları* (Cilt 1) (Güncelleştirilmiş Baskı). Türkiye: Birsen Yayınevi, 10-14.
30. İnternet: Design Guide by Bayer. http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffab.cba.mit.edu%2Fclasses%2FS62.12%2Fpeople%2Fvernelle.noel%2FPlastic_Snap_fit_design.pdf&date=2019-05-02, Son Erişim Tarihi: 10.11.2018.
31. Schmid, S. R., Hamrock, B. J., Jacobson, B.O. (2014). *Fundamentals of machine elements* (Third Edition). U.S: CRC Press.
32. Gavas, M., Yaşar, M., Aydın, M. ve Altunpak, Y. (2013). *Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri* (Üçüncü Baskı). Ankara: Seçkin Yayınevi, 22-27.
33. İnternet: Esad, H. *ABS plastik nedir?*. 2018.09.07. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teknikicerik.com%2Fabs-plastik-nedir.html&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 24.10.2018.
34. İnternet: Retlaw Industries. *The benefits of ABS Plastic in injection molding*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.retlawindustries.com%2FInfo%2FABSPlastic&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 24.10.2018.
35. İnternet: Prof. Dr. Akdoğan Eker A. *Termoplastikler (Ders Notu)*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yildiz.edu.tr%2F%7Eakdogan%2Flessons%2Fplastikmalzeme%2FAMorf_ve_yari_kristalin_termo_plastikler.pdf&date=2019-05-02, Son Erişim Tarihi: 29.10.2018.
36. İnternet: Birpet Şirketi. *Polietilen tereftalat nedir ve kullanım alanları (PET veya PETE) nerelerdir?*. 2017.08.05. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.birpet.net%2Ftr%2F Hizmetler%2Fdokumanlar-bilgi-bankasi%2F150-polietilen-tereftalat-nedir-ve-kullan-m- alanlar-pet-veya-pete-nerelerdir&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 29.10.2018.
37. İnternet: Alibaba.com. *PETG Pelet Hammadde*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fturkish.alibaba.com%2Fproduct-detail%2Fpetg-pellets-raw-material-petg-granules-for-plastic-cosmetics-bottle-polyethylene-terephthalate-glycol-60779443985.html.&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 29.10.2018.
38. İnternet: Resinex. *Pla – Biopolimer Polilaktik Asit*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.resinex.com.tr%2Fpolimer-turleri%2Fpla.html.+&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 29.10.2018.
39. İnternet: Kumru Kimya Ltd. Şti. *Polilaktik asit (PLA)*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.biyoplastik.com.tr%2Fpolilaktik-asit-pla.html.&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 29.10.2018.
40. İnternet: Alibaba.com. *PLA Pelet Hammadde*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fturkish.alibaba.com%2Fpro>

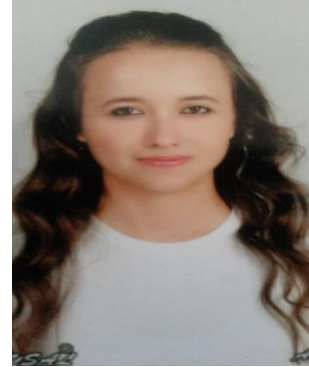
duct-detail%2Fplastic-raw-material-poly-lactic-acid-bulk-pla-pellets-for-disposable-toothpicks-60665168074.html&date=2019-05-02, Son Erişim Tarihi: 29.10.2018.

41. İnternet: Granta Material Intelligence. *CES 2016 selector*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.grantadesign.com%2Fproducts%2Fces&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 20.10.2018.
42. İnternet: Covestro Product Center Plastics, *Fem snap tools*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.plastics.covestro.com%2Fen%2FEngineering%2FTools%2FFEMSnap-tool.aspx&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 23.04.2018.
43. Taguchi, G., Konishi, S. (1987). Taguchi methods, orthogonal arrays and linear graphs, tools for quality engineering, Dearborn MI: American supplier Institute, 35-38.
44. Chen, X., Liu, Y. (2015). *Finite element modeling and simulation with ANSYS workbench* (First Edition). U.S: CRC Press.
45. Chandrupatla, T. R., Belegundu, A. D. (2017). *Mühendislikte sonlu elemanlara giriş*, (Çev. S. Karadeniz). İstanbul: Literatür Yayınevi. (Eserin orijinali 2011’de yayımlandı), 312-344.
46. Beale, M. H., Hagan, M. T. and Demuth, H. B. (2018). *Neural network toolbox*. Natick, MA: The MathWorks, Inc. 10-550.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERDEMİR, Fulya
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.02.1994, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (553) 859 98 01
 E-mail : erdemirfulya@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2017
Lise	Sincan Fatih Anadolu Lisesi	2012

İş Deneyimi,

Yıl	Yer	Görev
2019 -Halen	HAVELSAN EHSİM A. Ş.	Mekanik Tasarım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Uluslararası Sempozyumlar

Börklü, H. R., Erdemir, F. (2018). *Conceptual design of an innovative lawn mower machine*. 3 rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry 2018, 19-21 April, Antalya, Turkey.

Özkan, M. T., Erdemir, F. (2018). *Esneyerek kilitlenen bağlantı tasarımında modal analiz*. 3'rd International Symposium on Industrial Design & Engineering (ISIDE 2018), 22-24 Kasım, Antalya, Türkiye.

Özkan, M. T., Erdemir, F. (2018). *Farklı malzemelerden üretilmiş ı-tipi turnak bağlantılarında oluşan gerilmelerin taguchi metodu ile optimizasyonu ve sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi*. 3'rd International Symposium on Industrial Design & Engineering (ISIDE 2018), 22-24 Kasım, Antalya, Türkiye.

Özkan, M. T., Erdemir, F. (2018). *Tırnaklı birleştirmelerde sıkma/çözme kuvvetinin malzeme türü ve sürtünme katsayısına göre yapay sinir ağları metodu ile modellenmesi*. 3'rd International Symposium on Industrial Design & Engineering (ISIDE 2018), 22-24 Kasım, Antalya, Türkiye.

Eldem, C., Erdemir, F. (2018). *Döküm atölyesindeki çalışma duruşlarının dijital insan modelleme tabanlı REBA yöntemi ile ergonomik analizi*. 3'rd International Symposium on Industrial Design & Engineering (ISIDE 2018), 22-24 Kasım, Antalya, Türkiye.

Makaleler

Erdemir, F., Özkan, M., T. (2018). Modeling of mating / seperating force in snap-fit joints by artificial neural networks method by material type and friction coefficient. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(3), 207-215.

Erdemir, F., Özkan, M. T. (2019). Plastik parçalarda bir esneyerek kilitlenen bağlantı modelinin modal analizi. *Journal of Polytechnic*, 03.01.2019 kabul, erken görünüm, doi:10.2339/politeknik.499235

Börklü, H. R., Erdemir, F. (2019). Conceptual design of an innovative lawn mower machine. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 15-26.

Hobiler

Kitap okuma, Pilates, Dans, Resim



GAZİ GELECEKTİR..