İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PUNTA KAYNAĞI VE PERÇİN BAĞLANTILARININ MUKAVEMETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Merve Eda DURDU
(503031308)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ata MUĞAN

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Tuncer TOPRAK (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Günümüzde sanayiinin neredeyse her dalında parça birleştirmek amacıyla yoğun olarak kaynak ya da perçin bağlantısı kullanılmaktadır. Bu birleştirme yöntemlerinden birinin seçimi için, yapılacak birleştirmeye uygulanacak yüklemeler dikkate alınmaktadır. Bu iki bağlantı yönteminden birinin seçiminde karşılaşılan en büyük sıkıntı ise, bazı yükleme durumlarında bağlantının mukavemet değerlerinin hesaplanmasının zorluğudur. Bu zorluk daha çok hesaplama için kullanılan modelin gerçek modele olan yakınlığının bilinememesinden kaynaklanmaktadır. Doğru bir model seçimi, doğru hesaplamalara imkan tanıyarak doğru bağlantı şeklinin bulunmasını sağlar.

Bu çalışmada her iki bağlantı yöntemi bilgisayar ortamında yaratılan modeller üzerinde incelenmiş, gerekli mukavemet hesapları yapılmış ve iki bağlantının mukavemet değerleri üzerinde durulmuştur. Yapılan modellemelerin analizi sonucunda bulunan değerler literatürdeki değerler ve daha önce yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve her iki bağlantının zayıf ve kuvvetli yönleri irdelenmiştir. Bu sayede belirli yükleme koşulları altında kullanılması gereken birleştirme yöntemi saptanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma da dahil olmak üzere tüm öğrenim hayatım boyunca her zaman benden maddi ve manevi her türlü yardımını esirgemeyen aileme; gerek lisans gerekse yüksek lisans eğitimim süresince her zaman bana yol gösteren ve her koşulda destek olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ata Muğan'a; yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bana sürekli destek olan başta Sayın Makina Yüksek Mühendisi Doğan Kemal Hacıahmet olmak üzere tüm Entek Pnömatik San. ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına; yine tez çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen Sayın Mak. Müh. F. Nurtaç Akdağ'a, Sayın Ar. Gör. Çağatay Çakır'a, Sayın Yük. Met. ve Mal. Müh. Cem Kuyar'a ve bizi iyi birer mühendis olarak iş hayatına hazırlayan ve her koşulda doğru kararı vermemizi sağlayan eğitimimizi bizlere sunan değerli İTÜ Makina Fakültesi öğretim elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2006 Merve Eda DURDU

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ vii
SEMBOL LİSTESİ x
ÖZET xii
SUMMARY xiii
1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK YÖNTEMLERİNE ve PUNTA KAYNAĞI MODELLEME 4
2.1. YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ
2.2. Kaynak Yöntemlerine Genel Bakış 4
2.2.1. Direnç Kaynağı ve Teorisi 6
2.2.2. Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi 8
2.2.3. Direnç Kaynağı Prosesi 9
2.3. Punta Kaynağı Modelleme Yöntemlerine Genel Bakış 10
2.3.1. Rijit Kiriş Punta Kaynak Modeli 10
2.3.2. Elastik Kiriş Punta Kaynak Modeli 11
2.3.3. Şemsiye Punta Kaynak Modeli 12
2.3.4. Dokuz Nokta Temas Punta Kaynak Modeli 13

3. PERÇİN BAĞLANTISINA ve MODELLEME YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ 15
3.1. Perçin Bağlantısına Genel Bakış 15
3.1.1. Perçinli Bağlantı Metotları 17
3.1.1.1. Sıcak Perçinleme 18
3.1.1.2. Soğuk Perçinleme 18
3.1.1.3. Otomatik Makina ile Perçinleme 18
3.1.2. Perçin Tipleri 19
3.1.3. Perçin Bağlantı Çeşitleri 23
3.2. Perçin Modelleme Yöntemlerine Genel Bakış 24
3.2.1. Kiriş Modeli Yaklaşımı 25
3.2.1.1. Mafsallı Takviyesiz Perçin Bağlantısı 25
3.2.1.2. Tarafsız Eksen Atlamasının Hesaplanması 29
3.2.2. Plaka Modeli Yaklaşımı 30

4. PUNTA KAYNAĞI VE PERÇİN BAĞLANTISININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ 33
4.1. Punta Kaynağının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi 33
4.1.1. Parçaların Çizimi ve Modelin Oluşturulması 33
4.1.2. Modelin Ağ Yapı ile Örülmesi 37
4.1.3. Modelin Yüklenmesi 38
4.1.4. Modelin Analizi 39
4.2. Perçin Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi 40
4.2.1. Parçaların Çizimi ve Modelin Oluşturulması 40
4.2.2. Modelin Ağ Yapı ile Örülmesi 41
4.2.3. Modelin Yüklenmesi 44
4.2.4. Modelin Analizi 44

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER **47**
5.1. Sonuçlar 47
5.2. Öneriler 48

6. KAYNAKLAR **49**

ÖZGEÇMİŞ **50**

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	Perçin bağlantılarının avantajları ve dezavantajları.....	15
Tablo 3.2	Çelik ve hafif metallerde emniyet ve yüzey basınçları için norm değerler.....	17
Tablo 4.1	Deney Sonucu ile FEM Analizinin Karşılaştırılması.....	46

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	: Direnç kaynağında kaynak boyunca parçalar ve elektrot arasındaki ısı dağılımı.....	7
Şekil 2.2	: Direnç nokta kaynağı şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.3	: Direnç kaynağı prosesi evreleri.....	9
Şekil 2.4	: Rijit kiriş punta kaynak modeli.....	11
Şekil 2.5	: Elastik kiriş punta kaynak modeli.....	12
Şekil 2.6	: Şemsiye punta kaynak modeli.....	13
Şekil 2.7	: Dokuz nokta temas punta kaynak modeli.....	14
Şekil 3.1	: Perçin tipleri.....	19
Şekil 3.2	: Başsız perçin tipleri.....	20
Şekil 3.3	: Perçin tipleri.....	21
Şekil 3.4	: Kendi kapanan (sürtünme kilitli) perçinler.....	22
Şekil 3.5	: Kendi kapanan (mekanik kilitli) perçinler.....	22
Şekil 3.6	: Çekme çubukları.....	23
Şekil 3.7	: Rivnut.....	23
Şekil 3.8	: Perçin bağlantı çeşitleri.....	23
Şekil 3.9	: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında tarafsız eksen gösterimi.....	26
Şekil 3.10	: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında ilk parçaya ait serbest cisim diyagramı.....	26
Şekil 3.11	: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında ilk ve ikinci parçaya ait serbest cisim diyagramı.....	27
Şekil 3.12	: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında birinci, ikinci ve üçüncü parçaya ait serbest cisim diyagramı.....	28
Şekil 3.13	: Plaka modelinde kullanılan modelleme yöntemleri.....	30
Şekil 3.14	: Tek boyutlu basit model ve oyuksuz model x_i uzunluğunda i. bölge.....	31
Şekil 4.1	: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait iki boyutlu çizim.....	34
Şekil 4.2	: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait üç boyutlu katı model.....	34
Şekil 4.3	: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait alt parça.....	35
Şekil 4.4	: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait üst parça.....	35
Şekil 4.5	: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait iki boyuta indirgenmiş çizim.....	36
Şekil 4.6	: Punta kaynaklı bağlantının ağ yapısı.....	37
Şekil 4.7	: Modellemede kullanılan şemsiye - punta kaynağı modeli	38
Şekil 4.8	: Punta kaynaklı bağlantının yüklemelerinin yapıldığı son hali.....	39
Şekil 4.9	: Yapılan yükleme durumu için Von Mises gerilme dağılımı.....	39

Şekil 4.10 : Yapılan yükleme durumu için yer değiştirmeler..... 40
Şekil 4.11 : Elastik bölgedeki ilk model..... 42
Şekil 4.12 : Plastik etkilerin göz önüne alındığı ikinci model..... 42
Şekil 4.13 : Birinci model perçin bağlantıları ağ yapısı ve gerilmeler.. 43
Şekil 4.14 : İkinci model perçin bağlantıları ağ yapısı ve gerilmeler.... 43
Şekil 4.15 : Yapılan deneyde strain-gagelerin yerleşimi..... 44
Şekil 4.16 : Yapılan deneyle elde edilen sonuçlar 45

SEMBOL LİSTESİ

Q	: Üretilen ısı
K	: Sabit
I	: Kaynak akımı
R	: Kaynak akımının geçtiği devredeki elektrik dirençlerinin toplamı
T	: Kaynak akımının devrede kalma süresi
τ	: Perçine etkiyen kesme gerilmesi
F	: Perçine etkiyen kesme kuvveti
z	: Perçin sayısı
n	: Kesmeye zorlanan kesit sayısı
d	: Perçin çapı
τ_{em}	: Perçin emniyet kesme gerilmesi
p	: Perçine etkiyen yüzey basıncı
s	: Parça kalınlığı
d_1	: Perçin delik çapı
p_{em}	: Perçin emniyet yüzey basıncı
σ_{em}	: Perçin emniyet normal gerilmesi
M_x	: Eğilme momenti
w	: Eğilme miktarı
E	: Elastiklik modülü
I	: 1. parçanın atalet momenti
A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3	: Sabitler
e_i	: i. atlamanın eksenden kaçıklığı
$\sigma_{bending}$	: Eğilme gerilmesi
$\sigma_{nominal}$	: Normal gerilme
$(\sigma_{bending})_{max}$	: Maksimum eğilme gerilmesi
A_{beam}	: Yüzeyin kesit alanı
T_i	: i. atlamadaki alt levhanın taşıdığı yük
t	: iki yüzey arasındaki toplam eksenden kaçıklık

PUNTA KAYNAĞI VE PERÇİN BAĞLANTILARININ MUKAVEMETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Punta kaynağı ve perçin bağlantısı endüstrinin birçok dalında parça birleştirmede en yoğun şekilde kullanılan birleştirme yöntemleridir. Özellikle punta kaynağı otomotiv sektöründe seri üretime yatkınlığı ve güvenilirliği nedeniyle en çok kullanılan yöntemdir. Uçak – uzay, elektronik ve küçük ev aletleri sektörlerinde ise genellikle tercih edilen bağlantı şekli perçin bağlantıdır. Her iki birleştirme yönteminin de kuvvetli yanları olduğu gibi zayıf yanları da bulunmaktadır. Bu iki yöntemden hangisinin kullanılması gerektiği ise çözülmesi gereken sorulardan bir tanesidir. Karar aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise her iki bağlantı şeklinin sağladığı mukavemet değerleri ve bu değerlerin bize sunduğu bilgilerdir. Bu noktada ihtiyacımız olan doğru bir model ve bu model üzerinde yapılan yüklemelerin doğru bir şekilde analiz edilmesidir.

Bir birleştirmenin ömrünün doğru ve gerçekçi olarak hesaplanabilmesi için üç ayrı yöntem kullanılabilir. Bunlar; teorik yaklaşımlar kullanarak hesap yapmak, birleştirilecek parçaların bir örneğini imal edip deneysel çalışmalar yapmak ve son olarak da bilgisayar ortamında imal edilecek parçanın bir modelini yaratıp gerekli yüklemeleri bu model üzerinde gösterip sonlu eleman analizi ile mukavemet değerlerini hesaplamaktır. Bu üç yöntemden teorik yaklaşımlar uygulama zorluğu nedeniyle, deneysel çalışmalar ise hem maliyetinin yüksek olması hem de uzun bir süreç gerektirmesi nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedirler. Bunun yanında sonlu elemanlar yöntemi, gelişen bilgisayar teknolojisiyle günümüzde en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Sonlu elemanlar yönteminin kullanımıyla hem maliyetten, hem de harcanan zamandan tasarruf sağlanmaktadır.

Literatürde punta kaynağı ve perçin bağlantı için birçok model bulunmaktadır. Bu çalışmada öncelikle doğru punta kaynağı modelleme ve perçin bağlantı modelleme yöntemine karar verilmiş, daha sonra her iki birleştirme yöntemi için aynı parçalar seçilmiş ve seçilen ortak model üzerinde çözümleme yapılmıştır. Bu sayede her iki birleştirme şeklinin sağladığı mukavemet değerlerinin karşılaştırılması sağlanmıştır. Bu çalışma için öncelikle çok geniş bir literatür araştırması yapılmış ve konuyla ilgili önceden yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Daha sonra uyun modeller seçilip, çalışma bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bunun için I-DEAS, HyperMesh ve SolidWorks programlarından yararlanılmıştır. Modeller belli bir yükleme durumu için çözdürülmüş ve elde edilen veriler hem birbirleriyle, hem de daha önceki çalışmalarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; hangi birleştirme tipinin daha optimum sonuç verdiği konusunda bir karara varılmaya çalışılmıştır.

COMPARISON OF STRESSES IN SPOT WELDING AND RIVETING

SUMMARY

Spot welding and riveting are the most popular joining technics in every industrial area. Especially, spot welding is popular in automotive industry because of its susceptibility of mass production and reliability. On the other hand for some different reasons, aircraft industry, electronics industry and small white goods industry usually prefer riveting instead of welding. Both joining technics have some advantages and disadvantages. The important question is that, which one is the best choice. The most important point before reaching a decision are stress values and the results that is correlated to stresses. At this point we need a correct model and a correct analyze at the specific loading conditions.

For calculating the fatique life of a joint, three methods can be used. First one is theoretical calculations. The others are prototype production and modeling and analyzing by using finite elements methods. The theoretical calculations is no preffered because of its difficulty of application. Also the prototype production is not preffered because of its high cost and long time. Therefore FEM is the most popular method for analyzing a system and calculating the stresses and strains. By using FEM, cost and production time can be reduced.

In literature, there are some important models for modelling a spot weld or a rivet. In this thesis; first of the correct and most reliable spot weld and rivet models are chosen and then a geometry is chosen for each model and at last the models are solved by using FEM and the results are analyzed. So the stress values of spot welding and riveting are compared. A long research was made for this thesis and the previous works were studied. The suitable models were chosen and all models are transferred to the suitable FEM program. I-DEAS, HyperMesh and SolidWorks were used for drawing, meshing, loading, solving and analyzing. Each model is solved for the same loading conditions and the datas is compared to not only each others, but also the datas that was obtained previous empirical works. As a result, a decision is tried to make about which joining method is more efiicient to use.

1. GİRİŞ

Endüstride en çok kullanılan metal birleştirme yöntemlerinden biri punta kaynağı ile birleştirme, diğeri ise perçinle birleştirmedir. Her iki bağlantı yöntemi de uygulama olarak sanayide geniş yer bulmaktadırlar. Punta kaynağı; güvenilirliği, tekrarlanabilirliği ve seri üretime yatkın olması nedeniyle otomotiv sektörü tarafından, araç gövde birleştirme işleminde sıkılıkla kullanılırken; perçinli bağlantı ise uçak – uzay sektörü tarafından hafifliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle uçak gövde birleştirmesinde yoğunlukla tercih edilmektedir. Her iki bağlantı da mukavemet olarak farklı değerler sağlamaktadır. Dolayısıyla farklı yükleme durumlarında farklı dayanımlar vermektedirler.

Tüm bu bağlantılarda karşılaşılan en büyük sorun çeşitli yükleme durumlarında bağlantıların vereceği tepkinin tam olarak bilinememesidir. Bunun nedeni ise değişik yükleme durumları ve değişik parçalar için kullanılan punta kaynaklı bağlantı ve perçin bağlantısının her yükleme durumu için mukavemet değerlerinin tam olarak hesaplanamamasıdır. Mukavemet değerlerinin hesaplaması için teorik yöntemlerle yapılan sayısal hesaplamalar, gerçek parça modeli ile teoride kullanılan parça modeli arasındaki farklılık nedeniyle çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Teorik yöntemlerle tam olarak yapılamayan hesaplamalar nedeniyle yükselen hata payını minimuma indirmek için yüksek emniyet katsayıları kullanılmaktadır. Bu da atılacak olan punta sayısını ya da kullanılması gereken perçin sayısını arttırarak hem konstrüksiyonu ağırlaştırır hem de maliyeti arttırır. Oysaki doğru bir model kullanılarak, doğru yapılacak hesaplamalar neticesinde gerçeğe çok daha yakın sonuçlar alınabilir ve daha doğru bir yaklaşımla maliyet düşürülebilir. Bunu sağlamanın, doğru hesaplamalarla güvenli ve düşük maliyetli bir konstrüksiyona ulaşmanın iki yöntemi vardır. Bu yöntemlerden birincisi prototip imalatı ile deneysel çalışma, diğeri ise bilgisayar ortamında yaratılacak birebir model üzerinde çalışmadır. Prototip imalatı çok uzun bir zaman aldığı ve çeşitli nedenlerle imal edilen her prototipten ayrı deneysel sonuçlar alınabildiği için günümüzde bilgisayar ortamında yapılan çalışmalar daha çok tercih edilmektedir. Bu sayede daha kısa zamanda, herhangi bir üretim maliyetine girmeden, daha doğru sonuçlar

alınabilmekte ve alınan bu sonuçlar daha düşük emniyetle daha güvenli tasarımlar yapabilmek için kullanılmaktadır. Bilgisayar ortamında yapılan çalışmaların verdiği güvenilir sonuçlar her iki birleştirme yöntemi için de kullanılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında irdelenecek olan punta kaynağı ve perçin bağlantısı ile ilgili daha önce de literatürde bazı yararlı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda punta kaynağının bilgisayar ortamında modellenmesi için kullanılabilecek modelleme yöntemleri irdelenmiş [1], perçin bağlantısının mukavemetinin deneysel olarak tayini [2] yapılmıştır. Bunun dışında literatürde yine punta kaynağı ve perçin bağlantısının yorulma değerlerinin deneysel olarak karşılaştırılabilmesi ile ilgili değişik çalışmalar [3,4] bulunmaktadır. Tüm bu çalışmalarda punta kaynağının modellenmesi sırasında kullanılan modelleme yöntemlerinin hangi durumlarda hangi sonuçları verdiği ve en uygun yöntemin hangisi olduğu görülmüş; perçinle birleştirilen parçanın çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan yorulma değerleri irdelenmiş ve punta kaynaklı bağlantı ve perçin bağlantı yapılmış iki ayrı parça çekme deneyine tabi tutularak sonuçlar gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı ise perçin bağlantısı ile punta kaynaklı bağlantının mukavemet değerlerinin karşılaştırılması ve bu karşılaştırmanın ışığında belirli durumlar altında hangi bağlantının daha optimum olduğuna karar verilebilmesinin sağlanmasıdır. Otomotiv sektöründe parça birleştirmede bağlantılarda oluşan en büyük hasarlarının %90'ının yorulmadan kaynaklandığı düşünülürse bu problemin çözümü son derece önemlidir. Bu sonuca ulaşabilmek için; uzun süren literatür araştırmasından sonra, aynı ölçülerde ve aynı malzemelerden yapılmış iki ayrı levha bilgisayarda I-DEAS kullanılarak üç boyutlu olarak çizilmiş, bu çizimler üzerinde yine I-DEAS kullanılarak bu iki parçaya ait sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu iki model üzerinde iki ayrı bağlantı şekli gösterilmiş ve bu parçalar üzerine aynı yüklemeler ve mesnetler uygulandıktan sonra punta kaynaklı konstrüksiyon HyperMESH kullanılarak, perçin bağlantılı konstrüksiyon ise ABAQUS programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tüm bu sonuçlar literatürde bulunan deneysel çalışmalarla karşılaştırılmış ve bilgisayar ortamında yapılan çözümlemenin gerçeğe ne kadar yakın sonuç verdiği ve iki birleştirme yöntemi arasındaki mukavemet değeri farklılıkları irdelenmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi çalışma sırasında üç ayrı program kullanılmıştır. Birleştirilecek parçaların çizimi ve ağ yapı oluşturma işlemi I-DEAS kullanılarak yapılmış, çözümleme ve yükleme işlemleri ise HyperMESH ve ABAQUS programları

üzerinde yapılmıştır. Punta kaynağını modellemek için en uygun model olan Umbrella (Şemsiye) modeli tercih edilmiştir. Perçin bağlantısı için ise iki ayrı yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır. Bunlardan biri Delft modeli, diğeri ise Boeing modelidir. Tüm bu çalışmalar bilgisayar ortamında FEM yöntemleri kullanılarak modellenmiş ve sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışma sayesinde günümüz endüstrisinde hala kullanılmakta olan prototip üretme yöntemindense, bu yöntem yerine kullanılabilecek alternatif yöntem olan bilgisayar ortamında birebir model yaratıp o model üzerinde çözümleme yapma yöntemine dikkat çekilecek, iki ayrı birleştirme şeklinin (punta kaynağı ve perçin bağlantı) mukavemet değerleri karşılaştırılacak ve bu sayede hem sonlu elemanlar yönteminin deneysel sonuçlarla tutarlı olup olmadığı, hem de aynı yükleme için hangi bağlantının kullanılmasının daha doğru olacağı konusunda bir karara varılacaktır. Bu sayede günümüzün artan rekabet koşulları altında çalışan ve maliyeti azaltmanın önemini kavramış olan tüm işletmelerde atılan punta sayılarını ya da kullanılan perçin sayılarını azaltmanın yöntemi görülecek, hatta bazı durumlarda kullanılan punta kaynaklı konstrüksiyon yerine daha ucuz olan perçin bağlantıya geçilebilecektir.

2. KAYNAK YÖNTEMLERİNE ve PUNTA KAYNAĞI MODELLEME YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

2.1 Kaynak Yöntemlerine Genel Bakış

Kaynak genellikle metal olan iki malzemenin; basınç veya sıcaklık ya da her ikisinin etkisiyle kalıcı bir şekilde birleştirilmesi işlemidir. Kaynak işleminde birleştirilen parçaların metalurjik özelliklerinin de etkisi vardır. Tüm bu parametreler birbirlerinden bağımsız olarak değişebilirler. Bu sayede birden çok kaynak yöntemi ortaya çıkar. Tüm bu kaynak yöntemlerinin ortak özelliği, yükleri nakledecek bir bağa ihtiyaç duyulmasıdır. Bu da birleştirilen iki parça arasında, çalışma sırasında uygulanan gerilmelere dayanabilecek mukavemet değerlerine sahip sürekli bir metalsel bağın oluşması anlamına gelmektedir.

Kaynak işlemi; basınç, sıcaklık ve birleştirilen parçaların metalurjik özelliklerinin değişiminde etkilendiği için, bu değişkenlerden bir veya birkaçının değişimi farklı kaynak metotlarının oluşumunu sağlamıştır. Farklı kaynak yöntemlerinin ortaya çıkmasında tek etken bu üç değişken değildir. Ayrıca; kaynaktan önce metal yüzeylerinin temizliğine ve kaynak sırasında olabilecek kirlenme ve oksitlenmelere ne kadar dikkat edildiğine bağlı olarak da farklı kaynak yöntemleri tanımlanabilir. Örneğin; kaynak sırasında çok yüksek sıcaklık uygulanıyorsa parça dış ortamla daha çabuk reaksiyona girer. Kaynak sırasında erime gerçekleşiyorsa, parçanın metalurjik yapısında değişim meydana gelebilir. Kaynak bölgesi ve çevresinin metalurjik özellikleri, kaynak çevriminden (yani tüm bu ısıtma – soğutma çevriminden) etkilenebilir. Bu durumun önüne geçebilmek için tüm bu koşulların ortaya çıkarabileceği sorunları bertaraf etmek gerekmektedir. Yüksek kaliteli bir kaynaklı bağlantı oluşturabilmek için dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

1. Zararlı metalurjik etkilerden kaçınılmalıdır.
2. Yeterli basınç ve ısı sağlanmalıdır.
3. Birleştirilecek malzemenin korunması ve temizlenmesi sağlanmalıdır.

Tüm bu bilgilerin ışığında kaynak yöntemlerini beş ana başlık altında toplayabiliriz. Bu yöntemler kaynaklı bir birleştirme için çeşitli alternatifler sunmaktadır. Bunun

yanında her türlü metal – metal birleşimi için etkin ve ekonomik çözümler sunmaktadır. Bu beş ana başlık ve bu başlıklar altındaki kaynak şekilleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

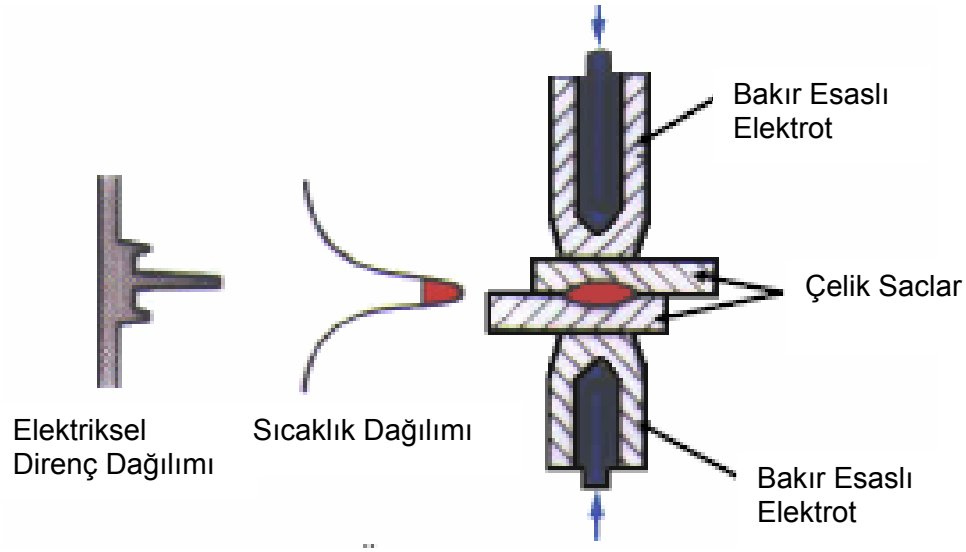
1. Oksi – Yanıcı Gaz Kaynağı
    a. Oksi – Asetilen Kaynağı
    b. Gaz Basınç Kaynağı
2. Ark Kaynağı
    a. Elektrik Ark Kaynağı
    b. MIG / MAG Kaynağı
    c. TIG Kaynağı
    d. Özlü Telle Ark Kaynağı
    e. Tozaltı Kaynağı
    f. Plazma Kaynağı
    g. Saplama Kaynağı
3. Direnç Kaynağı
    a. Direnç Nokta Kaynağı
    b. Direnç Dikiş Kaynağı
    c. Kabartılı Kaynak
4. Katı Hal Kaynağı
    a. Demirci Kaynağı
    b. Soğuk Basınç Kaynağı
    c. Sürtünme Kaynağı
    d. Ultrasonik Kaynak
    e. Patlamalı Kaynak
    f. Haddeleme Kaynağı
5. Birleşik Yöntemler
    a. Termit Kaynağı
    b. Laser Işın Kaynağı
    c. Elektrocuruf Kaynağı
    d. Yakma Alın Kaynağı
    e. Endüksiyon Kaynağı
    f. Elektron Işın Kaynağı

2.1.1 Direnç Kaynağı ve Teorisi:

Direnç nokta kaynağı; parçaları birleştirmek için ısının ve basıncın birlikte kullanıldığı bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde kullanılan ısı, birleştirilen parçaların üzerinden akım geçirilmesi nedeniyle, ara yüzeylerinin elektriksel direnci tarafından üretilirken; kullanılan basınç ise dışarıdan uygulanır ve bir kaynak çevrimi süresince sabit değil, değişkendir. Direnç nokta kaynağının uygulama prensibi şu şekilde açıklanabilir:

Birleştirilecek parçalar öncelikle bir fikstür üzerinde sabitlenir. Daha sonra direnç kaynak makinasına ait iki adet bakır elektrot, birleştirilmek istenen bu iki parça üzerine kapanır ve bu parçaları bir arada tutmaya yetecek bir kuvvet uygular. Hemen akabinde bakır elektrotlar üzerinden yüksek akım geçirilir. Bu akım değeri 100 ila 50000 Amper arasında değişebilir. Yüksek akımın geçirilmesiyle ısınan parçanın yeterli sıcaklığa ulaşmasıyla birlikte birleşmeyi sağlamak için dışarıdan uygulanan basınç arttırılır. Bu sayede ısı ile eritilen parçalar basınç altına yeniden katılaşır. Bu kaynak yönteminde basınç sadece bir dövme etkisi yaratır. Bu nedenle direnç nokta kaynağı diğer kaynak yöntemlerine göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. Yine bu kaynak yönteminde ısı oluşumunu sağlamak için kullanılan yüksek akım ise parçadan çok kısa bir süre için geçirilir. Bu süre 0.06 ila 3 sn. arasında değişmektedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi tüm bu kaynak işlemi birkaç saniyelik bir zaman almaktadır. Bunun dışında yine bu kaynak yönteminde, tüm kaynak prosesi otomasyonla yönetilebilir. Direnç nokta kaynağı; ekonomik ve hızlı bir yöntemdir. Ayrıca kaynak sırasında ek malzeme ve koruyucu gaz gerektirmez, kaynak bağlantısının mukavemeti yüksektir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise direnç kaynak makinalarının, diğer kaynak yöntemlerinde kullanılan araç ya da makinalara göre daha maliyetli olması, dolayısıyla ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Tüm bu özellikleri nedeniyle direnç kaynağı seri üretime çok yatkın bir kaynak yöntemidir.
Direnç nokta kaynağında amaç, elektrotları ve birleştirilecek parçaları soğuk tutarken kaynağın uygulanacağı bölgeyi ısıtmaktır. Bu nedenle, özellikle elektrotların su kullanılarak soğutulması gereklidir. Direnç nokta kaynağında, elektrotla parçalar arasındaki ısı dağılımı Şekil 2.1'de görülebilir.



Şekil 2.1: Direnç kaynağında kaynak boyunca parçalar ve elektrot arasındaki ısı dağılımı

Direnç kaynağında üretilen ısı, birleşme bölgesinde Joule Kanunu'na göre oluşur. Buna göre;

$$Q=K.I^2.R.T \qquad (2.1)$$

Bu formülde yer alan sembollerden Q; Joule cinsinden üretilen ısıyı ifade etmektedir. Bunun yanında K değeri bir sabiti, I Amper cinsinden parçalardan geçirilen kaynak akımını, R değeri Ohm cinsinden bu akıma karşılık parçalarda oluşan direnci ve T değeri de saniye cinsinden uygulanan kaynak akımının ne kadar süre ile uygulandığını belirtir. Kaynak işleminde parçalarda oluşan direnç genellikle çok küçük olduğundan, yeterli ısıyı sağlayabilmek için akımı ve uygulama zamanını arttırmak gerekmektedir. Akımı arttırma işlemi genellikle düşük akımlı yüksek voltajlı elektrik gücünü, kaynak transformatörleri kullanarak düşük voltaj ve yüksek akıma dönüştürerek yapılır. Bu kaynak yönteminin diğer bileşeni olan basınç ise dışarıdan bir hidrolik, pnömatik, mekanik ya da servo sistem ile sağlanır.

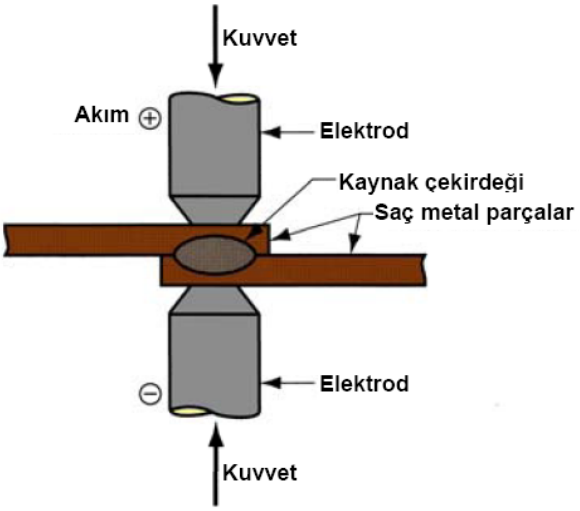
Direnç kaynak yöntemleri üç ana başlık altında incelenebilir:

1. Direnç Nokta Kaynağı
2. Direnç Dikiş Kaynağı
3. Kabartılı Kaynak

Tüm bu kaynak yöntemleri aynı prensibe göre yapılmaktadır. Tüm bu yöntemlerde, birleştirme yönteminin gereklerini karşılamaya yönelik değişik elektrot dizaynları vardır.

2.1.2 Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi

Direnç nokta kaynağı yukarda belirtilen üç ayrı direnç kaynağı yöntemi içinde en basit ve en yaygın olanıdır. Bu kaynak yönteminde, birleştirilecek parçalar bakır elektrotlar arasına sabitlenir. Kapanan elektrotlar öncelikle parçaların birleşik kalabilmesi için gereken kuvveti uygularlar. Daha sonra parçaların yüzeyleri üzerinden yüksek akım geçirilir. Bu sayede parça ısınır. Yeterli ısıya ulaşıldığında akım kesilir ve birleşme yüzeyi basınç altında soğutulur. Bu sırada elektrotların da yüksek sıcaklığa ulaşmasını engellemek için elektrotlar su ile soğutulur. Parça soğuduktan sonra elektrotlar yukarı kaldırılır ve parça çıkarılır. Bu kaynak yöntemi sayesinde genellikle 1.5 ila 13 mm çapında nokta kaynakları elde edilir. Aynı kalınlıkta iki parçanın birleştirileceği durumda parça kalınlığı maksimum 3 mm'dir. Elde edilen kaynak parçaların birleşme ara yüzeyleri arasında bir çekirdek şeklindedir ve elde edilen kaynak profili elektrotun şekliyle aynıdır. Oluşan çekirdeğin kesidi oval olmakla birlikte, üstten görünüşü elektrotun şekliyle aynıdır. Ayrıca yüksek mukavemetli bir nokta kaynağı elde edebilmek için, iki punta arasında 25 ila 50 mm mesafe olmalıdır. Bunun yanında atılan puntalar kenarlardan da aynı miktarda uzak olmalıdır.



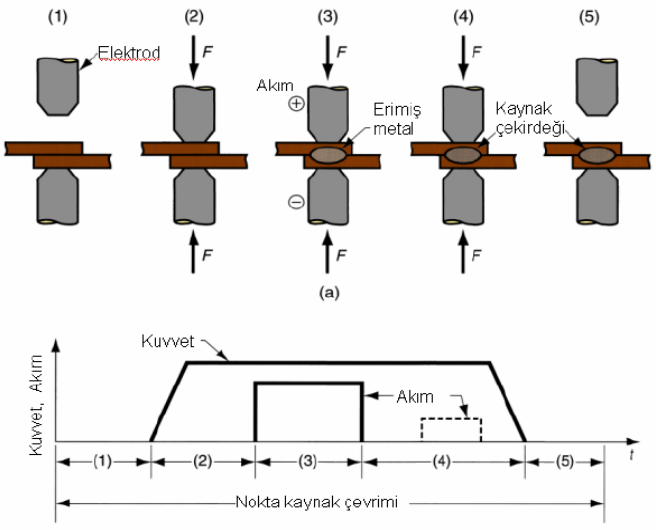
Şekil 2.2: Direnç Nokta Kaynağı Şematik Gösterimi

Direnç nokta kaynağında kullanılan makinalar sabit ya da hareketli olabilir. Bu makinalar çok çeşitli akım – basınç değerlerini sağlayabilirler. Hareketli direnç kaynağı makinaları ise kaynak tabancaları ya da punta tabancaları olarak adlandırılırlar. Bu tabancalar genellikle basıncın pnömatik silindirle sağlandığı, elektrotun bu silindirle hareket ettirildiği, su soğutma sistemi olan ve sabit bir akım kaynağı kullanan, esnek hava hortumları ve kablolarını üzerinde taşıyan bir sistemdir. Taşınabilir tabancalar kaynağı parçanın yanına taşıdığı için sabit makinalara göre daha avantajlıdırlar.

2.1.3 Direnç Kaynağı Prosesi

Direnç kaynağı dört aşamadan oluşmaktadır. Bu dört aşama şu şekilde açıklanabilir:

1. Basma : Elektrotların parçaları birarada tutmak için ilk kuvveti uyguladıkları süreyi ifade eder.
2. Kaynak : Elektrotlar tarafından uygulanan kuvvetten sonra akımın ilk geçtiği andan akımın kesildiği ana yani yeterli ısıya ulaşıldığı zamana kadar geçen süreyi ifade eder.
3. Tutma : Akım kesildikten sonra parçayı soğutmak için daha yüksek basıncın uygulandığı süreyi ifade eder.
4. Ölü zaman : Parçanın soğumasından sonra elektrotların parçadan ayrılmasıyla aynı çevrimin basma aşamasıyla tekrar başlamasına kadar geçen süreyi ifade eder. Bu süre genellikle parçanın sabitlendiği yerden alınması, yerine yeni parçanın konulması ve yeni parçanın sabitlenmesi işlerine ayrılan zamandır.



Şekil 2.3: Direnç Kaynağı Prosesi Evreleri

2.2 Punta Kaynağı Modelleme Yöntemlerine Genel Bakış

Sonlu elemanlar yönteminde, punta kaynağının modellenmesi için kullanılabilecek dört ayrı punta kaynak modeli bulunmaktadır. Bunun dışında HyperMesh gibi bazı programlar, punta kaynağı modellemesi için kendi özel modelleme yöntemlerini barındırmaktadırlar. Punta kaynağı için kullanılabilecek sonlu eleman modelleri aşağıdaki gibidir:

1. Rijit Kiriş Punta Kaynak Modeli
2. Elastik Kiriş Punta Kaynak Modeli
3. Şemsiye Punta Kaynak Modeli
4. Dokuz Nokta Temas Punta Kaynak Modeli

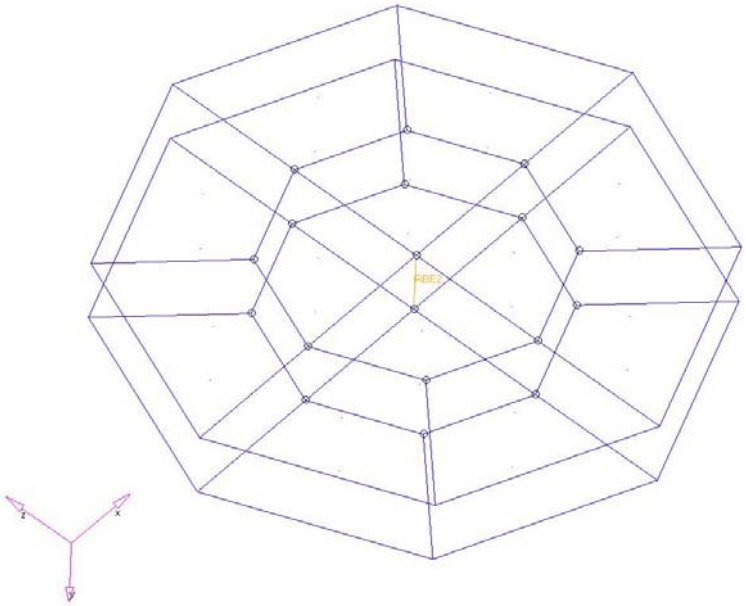
2.2.1. Rijit Kiriş Punta Kaynak Modeli

Rijit kiriş punta kaynak modelinde, punta atılan ve üstten görünüşü dairesel olan bölge içiçe geçmiş iki ayrı daire ile gösterilmektedir. Bu dairelerden içteki daire punta kaynağı atılan bölgeyi temsil ederken; dıştaki daire ise punta çevresindeki ısı tesiri altındaki bölgeyi temsil etmektedir. Dıştaki daire sayesinde bu bölge daha gerçekçi bir şekilde modellenmiş olmaktadır. İstenildiği takdirde dış ve iç daire arasındaki alana farklı bir malzeme atanıp, ısı etkisi altında kalan bölge gerçeğe daha yakın olacak şekilde modellenebilir.

Şekil 2.4'te görülen rijit kiriş punta kaynak modelinde, punta kaynağı ile birleştirilecek olan üst ve alt parçalara ait puntalar tek tek iç ve dış daire ve bu daireler arasındaki dörtgen elemanlar kullanılarak modellenir. Bundan sonra iki ayrı punta, dairelerin merkezlerinden birbirine rijit eleman (RBE2) ile bağlanarak punta kaynağı modeli yaratılır.

Punta kaynağının modellenmesi için basit olması nedeniyle pratikte en çok kullanılan modelleme yöntemi rijit kiriş punta kaynak modelidir. Yalnız bu modeldeiki punta arasındaki bağlantı daire merkezlerindeki tek bir noktadan rijit eleman kullanılarak sağlanmaktadır. Kullanılan rijit eleman ise boyutsuzdur. Belli bir çapı olan iki punta arasında yapılan bağlantıda kullanılan rijit elemanın çapının olmayışı modeli gerçekten uzaklaştırmaktadır. Bunun dışında kaynak bağlantısının üst parçada ve alt parçada sadece birer noktadan yapılmış olması da gerçekte oluşan yüklerin etkisinin tam olarak modele yansımasını

engellemektedir. Dolayısıyla bu yüklerin etkisi altında kaynak çekirdeğinde oluşabilecek hareket modele tam olarak yansıtılamamaktadır.



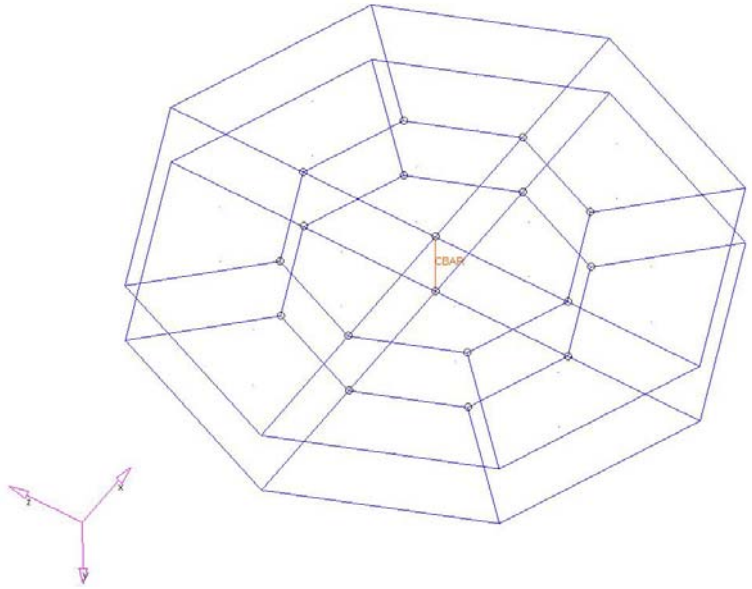
Şekil 2.4: Rijit kiriş punta kaynak modeli

2.2.2 Elastik Kiriş Punta Kaynak Modeli

Elastik kiriş punta kaynak modeli, modelleme yöntemi itibariyle rijit kiriş punta kaynak modeliyle çok benzeşmektedir. Bu modelde biri punta kaynağı çevresindeki ısı etkisi altında kalan bölgeyi temsil eden, diğeri ise kaynak çekirdeğini temsi eden iki ayrı daireden oluşmaktadır. Kaynak çekirdeğinin içi ise dört adet dörtgen elemanla örülmüştür. Bu modelin rijit kiriş punta kaynak modelinden tek farkı üst ve alt puntaların merkezlerinin rijit eleman yerine elastik eleman (CBAR) kullanılarak birleştirilmiş olmasıdır.

Elastik kiriş punta kaynak modeli de bir önceki model gibi basitliği nedeniyle çok fazla tercih edilen bir modeldir. Bu modelde kullanılan elastik elemanı da sonlu elemanlar programına tanıtmak oldukça basittir. Sadece elemana ait çap değerini girmek yeterli olmaktadır. Bu sayede basit bir sonlu eleman modeli kullanımıyla daha fazla işlem yapılması ve dolayısıyla zaman kaybı engellenebilir. Bu yöntem, kaynaklı flanşları birleştirmek için elastik elemanın kullanılması nedeniyle rijit kiriş punta kaynak modeline göre daha avantajlıdır. Elastik eleman sayesinde uygulanan yükler puntalar üzerine daha iyi yansıtılmaktadır ve oluşan hareketler daha gerçekçi

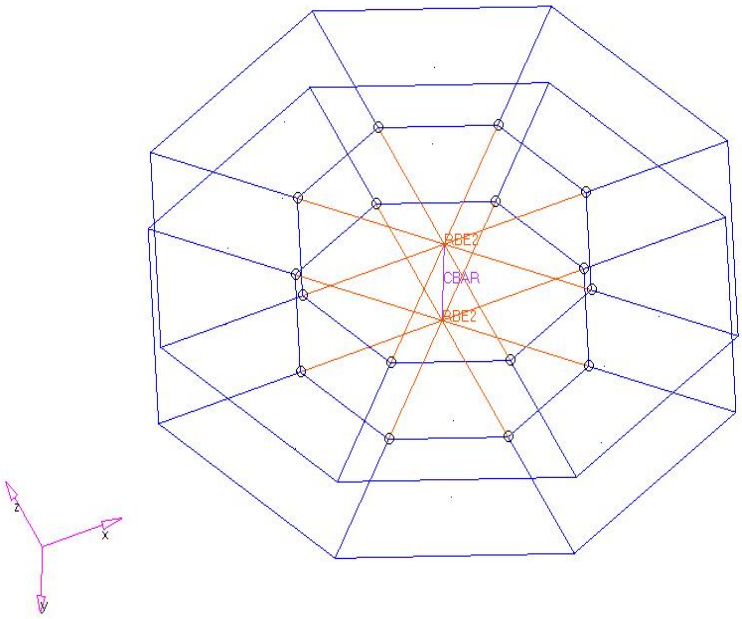
olarak model üzerinde görülmektedir. Yine de iki punta arasındaki bağlantı alt ve üst punta üzerindeki birer noktadan sağlandığı için bu model de kaynak çekirdeğinin yğk etkisi altındaki hareketini belirleyebilmek için yeterli değildir.



Şekil 2.5: Elastik kiriş punta kaynak modeli

2.2.3 Şemsiye Punta Kaynak Modeli

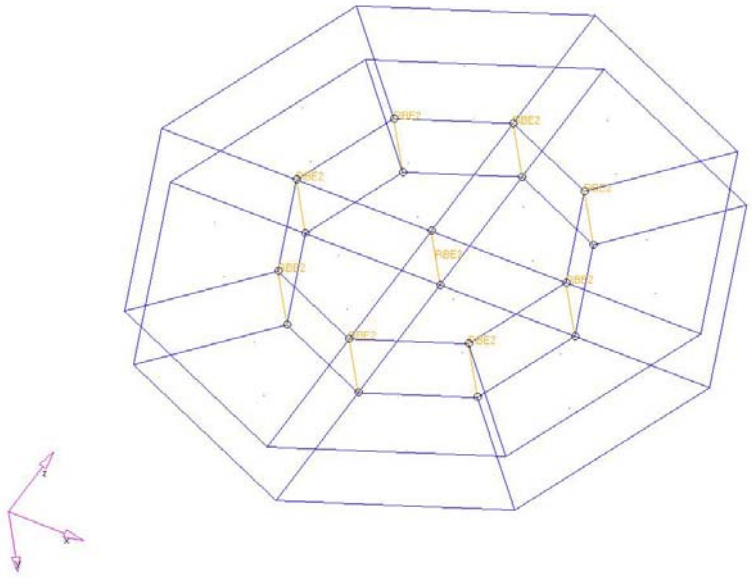
Şemsiye punta kaynak modeli de Şekil 2.6'da görüldüğü gibi ısı tesiri altındaki bölgeyi temsil eden dış daire ve kaynak çekirdeğini temsil eden iç daireden oluşmaktadır. Yalnız hem iç daire, hem de dış daire arasında sekiz adet rijit eleman (RBE2) kullanılmaktadır. Üst ve alt parçalar üzerindeki puntaların birleştirilmesi ise yine daire merkezlerinin rijit eleman (RBE2) kullanılarak birleştirilmesi ile sağlanır.
Şemsiye punta kaynak modelinin kullanılması ile elastik kiriş ve rijit kiriş punta kaynak modellerinde karşılaşılan çekirdek hareketlerini tam olarak gerçeğe yakın şekilde analiz edememe problemi en aza indirgenmiş olur. Sekiz adet rijit eleman kullanımı yüklerin kaynak merkezindeki etkilerinin çekirdek çevresindeki noktalara da iletilmesini sağlamaktadır. Bu sayede yük altında kaynak çekirdeğinin hareketi çok daha gerçekçi bir şekilde modele yansıtılabilmektedir.



Şekil 2.6: Şemsiye punta kaynak modeli

2.2.4 Dokuz Nokta Temas Punta Kaynak Modeli

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi dokuz nokta temas punta kaynak modelinde kaynak çekirdeğini temsil eden dairenin içi dört adet dörtgen elemana örülmüştür. Bu modelde de diğer tüm modellerde olduğu gibi ısı tesiri altında kalan bölgeyi temsil eden bir dış daire, kaynak çekirdeğini temsil eden bir iç daire bulunmaktadır. Dokuz nokta temas kaynak modelinde üst ve alt parça üzerinde bulunan puntaların bağlantısı diğer tüm yöntemlere göre daha gerçekçi bir şekilde sağlanmaktadır. Üst parçanın kaynak çekirdeği içerisinde oluşturulan dörtgen elemanların bağlantı noktaları ile alt parçanın kaynak çekirdeği içerisinde oluşturulan dörtgen elemanların bağlantı noktaları birbirlerine rijit elemanlar (RBE2) kullanılarak bağlanır. Yani diğer tüm kaynak modellerinde tek elemanla sağlanan bağlantı dokuz nokta temas punta kaynak modelinde sekiz ayrı rijit elemanla sağlanmaktadır. Bu sayede yük iletimi daha gerçekçi olarak sağlanmakta ve kaynak çekirdeğinin hareketleri diğer modellere göre gerçeğe en yakın şekilde modele yansıtılmaktadır.



Şekil 2.7: Dokuz nokta temas punta kaynak modeli

3. PERÇİN BAĞLANTISINA ve MODELLEME YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

3.1 Perçin Bağlantısına Genel Bakış

Perçin bağlantısı çözülemeyen bağlantılar arasında en eskilerden biridir. Kaynak gibi çeşitli bağlantılar nedeniyle konstrüksiyonda oluşacak bölgesel bir zayıflamanın istenmediği, yükün fazla olduğu tasarımlarda daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte perçinle bağlantı; ucuzluğu, uygulama kolaylığı ve güvenilirliği nedeniyle sanayide en çok kullanılan birleştirme yöntemlerinden biridir. Tüm birleştirme yöntemlerinde olduğu gibi perçinle bağlantının da bir takım avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Tablo 3.1'de bu özelliklere yer verilmiştir. Perçin bağlantısı ile ilgili bilgilere [5],[6],[7],[8] numaralı kaynaklardan ulaşılabilir.

Tablo 3.1: Perçin bağlantının avantajları ve dezavantajları

PERÇİN BAĞLANTI	
AVANTAJLARI	**DEZAVANTAJLARI**
1. Üretim adetleri fazladır.	1. Perçin bağlantısı kolay çözülebilen bir bağlantı değildir.
2. Perçin bağlantısı sadece birleştirme amaçlı değil, aynı zamanda elektriksel kontak gibi birçok amaç için de kullanılabilir.	2. Bağlantının çekme ve yorulma dayanımları, cıvatalı bağlantı ve kaynak bağlantısına göre göreceli olarak zayıftır.
3. İlk yatırım maliyeti ve bakım maliyeti düşüktür.	3. Perçin bağlantısı normal koşullarda korozyona dayanıklı değildir.
4. Farklı malzemeler ve farklı kalınlıklardaki birçok malzeme hiçbir zorlukla karşılaşmadan birleştirilir.	4. Gıda, kimya ve ilaç endüstrisi gibi bazı sektörlerde çıkık perçin başları kir ve mikrop toplanabilecek bölgeler oldukları için istenmezler.
5. İhtiyaca göre perçin malzemesi çok geniş bir yelpaze arasından seçilebilir. (çinko, kurşun gibi)	5. Uygulama için kalifiye elemana ihtiyaç vardır.

Perçinleme şekil bağına dayanan bir bağlantı şeklidir. Perçin bağlantısı vidalı bağlantıya somun takmak örneğinde olduğu gibi ekstra herhangi bir iş gerektirmemektedir. Ayrıca kaynaklı bağlantıyla karşılaştırıldığında; hem uygulaması daha ucuzdur, hem de bağlantının uygunluğunu teyit etmek için pahalı muayene yöntemlerine ihtiyaç yoktur. Bununla birlikte perçinleme işleminin soğuk yapılması durumunda, birleştirilecek malzemeler kaynakta olduğu gibi ısı tesirinde kalmayacakları için, parçalarda bölgesel olarak dayanımda düşüş görülmeyecektir. Tüm bunların yanında bağlantının sökülmesi gerektiği takdirde perçin başlarının kesilmesi yeterlidir. Perçin bağlantının kesmeye maruz kalırlar. Yalnız sürtünme sebebiyle birleştirme kaymayacağından, perçin bağlantıları yorulmaya dayanıklıdır. Kesmeye ve yüzey basıncına zorlanan perçin bağlantısında kesme;

$$\tau = \frac{F}{z \cdot n \cdot \left(\pi \cdot d^2 / 4\right)} \leq \tau_{em} \tag{3.1}$$

yüzey basıncı;

$$p = \frac{F}{z \cdot s \cdot d_1} \leq p_{em} \tag{3.2}$$

formülleri kullanılarak hesaplanır [6]. Bu formüllerde; z: perçin sayısı ve n: kesmeye zorlanan kesit sayısıdır. Emniyet gerilmesi ve emniyet basıncı değerleri örnek olarak şu şekilde verilebilir:

St 34 için [6]:

τ_{em}=(10...14) daN/mm^2 ve p_{em}=(22...28) daN/mm^2

St 44 için [6]:

τ_{em}=(16...20) daN/mm^2 ve p_{em}=(28...32) daN/mm^2

Perçin silindirik bir gövde ve çeşitli profillerde olabilen bir baştan oluşmaktadır. Perçin bağlantısı basit olarak; bir deliğin içine bir pimin yerleştirilip, yerinden çıkmaması için kafasının şekillendirilmesi [7] olarak nitelendirilebilir. Perçin bağlantısı için öncelikle birleştirilecek parçalar üzerine perçin için delik açılır. Birleştirilecek parçalar üst üste getirilip deliklerden perçin geçirilir ve perçinin delik dışında kalan kısmına bir çekiçle vurularak bir kapama başı elde edilir. Bu sayede perçin bağlantısı tamamlanmış olur.

Perçin bağlantıları uçak-uzay endüstrisinin dışında, hafif metal ve çelik inşatta, metal olmayan malzemelerin bağlantısında, kazan ve gaz boru hattı imalatında, mutfak eşyalarında, hassas alet tekniğinde, kayış ve balatalarda ve elektronik sanayisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Perçinler alüminyum, magnezyum alaşımları, bakır, bakır - çinko alaşımları, bronz ve çelik (St34, St44) gibi hafif metallerden yapılırlar. Tablo 3.2'de bazı perçin malzemelerine ait mukavemet değerleri gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Çelik ve hafif metallerde emniyet ve yüzey basınçları için norm değerler

Yapı Parçaları										
Malzeme		σ_{em} N/mm^2 Çekme Çubuğu		Basma Çubuğu		Perçin Malzemesi		τ_{em} N/mm^2		P_{em} N/mm^2	
		H	HZ	H	HZ			H	HZ	H	Hz
St 33	DIN 1050	140	160	120	140		DIN 1050	140	160	280	320
St 37	DIN 1050	160	180	140	160	TU St 34					
	DIN 120 ve DIN 1073	140	160	140	160		DIN 120 ve DIN 1073	112	128	280	320
St 52	DIN 1050	240	270	210	240		DIN 1050	210	240	420	480
	DIN 120 ve DIN 1073	210	240	210	240	Mr St 44	DIN 120 ve DIN 1073	168	192	420	480
AlCuMg1		150	170	150	170			105	120	264	300
F37						AlCuMgF40		84	95	208	236
AlCuMg2 (F44 dışında)		160	180	160	180	AlCuMg0,5F28					
AlCuMg2F44		190	215	190	215						
AlMgSi1F28		100	115	100	115						
						AlMgSi1F23		64	73	160	182
AlMgSi1F32		150	170	150	170						
AlMg3F18		47	53	47	53						
AlMgMnF18						AlMg3F23		64	73	160	182
AlMgF23		82	94	82	94						

3.1.1 Perçinli Bağlantı Metotları

Perçinle bağlantı sıcak ya da soğuk yapılabildiği gibi; çekiçle, sabit basınçla ve ezme yöntemiyle de yapılabilmektedir. Perçinle bağlantı üç ana başlık altında incelenebilir:

1. Sıcak Perçinleme
2. Soğuk Perçinleme
3. Otomatik Makine ile Perçinleme

3.1.1.1 Sıcak Perçinleme

Sıcak perçinleme işlemi genellikle yapılarda, metal konstrüksiyonlarda kullanılan büyük perçinlerin parçalara kolayca yerleştirilebilmesi için yapılan bir prosestir. Çapları 10 mm'den daha yüksek olan perçinler için genellikle bu tip bir perçinleme uygulanmaktadır. Büyük perçinlerin parçalar üzerine yerleştirilmesinde karşılaşılan zorluk nedeniyle sıcak perçinleme işlemi için öncelikle perçin yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sayede yumuşak ve şekillendirilebilir bir hale gelen perçin parçalar üzerindeki deliğe yerleştirilir. Daha sonra bir çekiçle perçinin delik dışında kalan kısmına vurularak kafası şişirilir ve burada bir kapama kafası oluşturulur. Kapama kafası oluşturma işlemi el çekici ya da hava çekici kullanılarak yapılabilir.

3.1.1.2 Soğuk Perçinleme

Soğuk perçinleme işlemi genellikle küçük ev aletleri, elektronik ürünler gibi üzerinde küçük perçinler taşıyan bağlantılarda uygulanır. Çapları 10 mm'den ufak olan ve hafif metallerden yapılan perçinler için bu tip bir perçinleme yöntemi kullanılması uygundur. Soğuk perçinleme işleminde üst üste oturtulan parçaların delikleri içinden perçin geçirilir. Bu işlem oda sıcaklığında yapılmaktadır. Daha sonra ise yine el çekici ya da hava çekici yardımıyla perçinin delik dışında kalan gövdesine vurularak perçin dövülür ve burada bir kapama kafası oluşturulur.

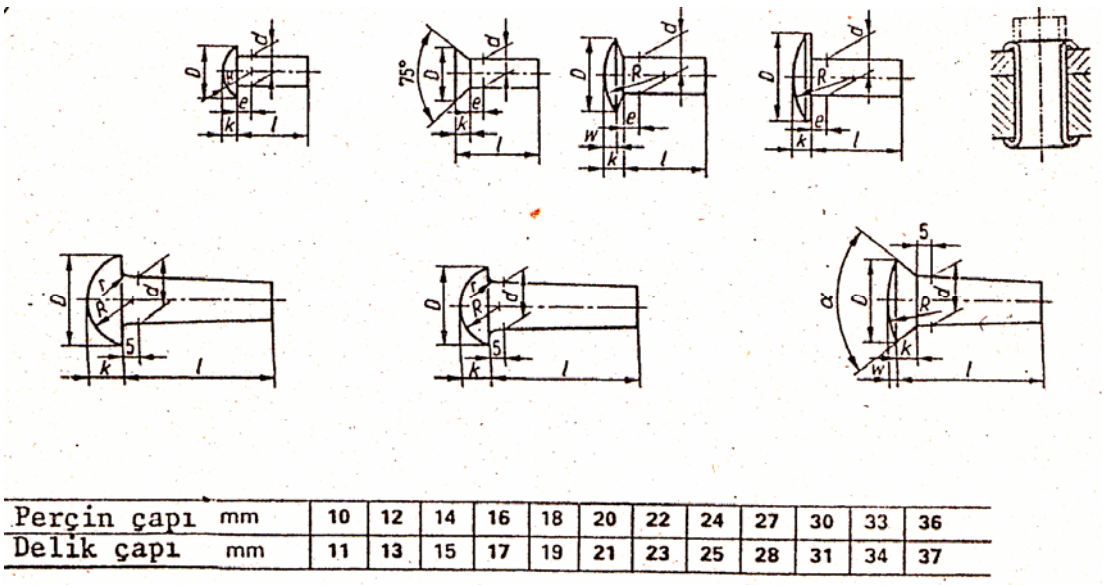
3.1.1.3 Otomatik Makine ile Perçinleme

Otomatik perçinleme işlemi soğuk perçinleme işlemi gibi oda sıcaklığında yapılmaktadır. Bu tip perçinleme işleminde perçinler parçalar üzerindeki deliklere otomatik olarak takılmaktadır. Perçin beslemesi makine üzerinde dahili olarak bulunan bir vibratör yardımıyla sağlanmaktadır. Otomatik makine ile perçinleme işlem, sıcak ve soğuk perçinlemeye göre daha ucuzdur ve hassasiyeti el ile yapılan perçinlemeye göre çok daha iyidir. Ayrıca otomatik perçinleme yönteminde işlem süresi de kısalmaktadır. Tüm bunların yanında otomatik perçin presi için diğer tüm perçinleme yöntemlerine nazaran daha yüksek bir ilk yatırım maliyeti gerektiği için, otomatik perçin presleri genellikle hep aynı ölçülerde perçinin kullanıldığı ve üretim adetlerinin yüksek olduğu işletmelerde tercih edilmektedir.

3.1.2 Perçin Tipleri

Perçinler birçok şekilde sınıflandırılabilmektedir. Sınıflandırmalar perçin şekline, perçinin yapıldığı malzemeye ya da perçinin kullanıma amacına göre yapılabilmektedir. Perçinin şekline göre sınıflandırma büyük, küçük, yuvarlak, çukur, ya da özel şeklinde yapılabildiği gibi; perçinin yapıldığı malzemeye göre sınıflandırma ise demir, çelik, paslanmaz çelik, aliminyum, pirinç, bakır ya da nikel gümüş şeklinde yapılabilir. Ayrıca perçinlerin şekilleri baz alınarak da bir sınıflandırma yapılabilir. Bu sınıflandırmaya göre perçinler üçe ayrılır [8]:

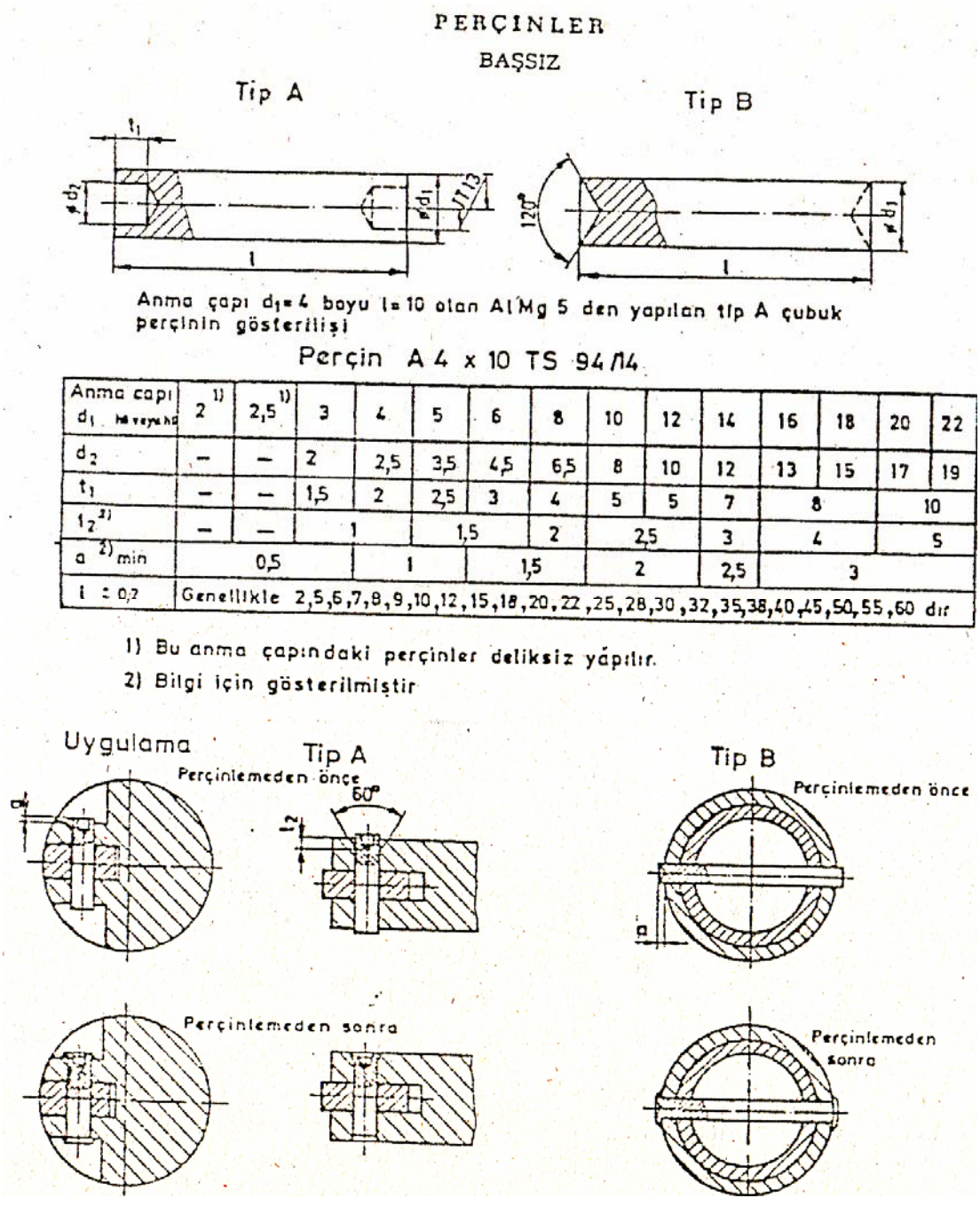
1. Başlı Perçinler (Şekil 3.1):
    a. Silindir Başlı
    b. Yuvarlak Başlı
    c. Havşa – Düz Başlı
    d. Yassı – Yuvarlak Başlı
    e. Havşa – Yassı Mercek Başlı
    f. Havşa – Mercek Başlı
2. Delikli Perçinler (Şekil 3.1):
    a. Banttan Çekilmiş
    b. Borudan Yapılmış
    c. İki Parçalı



Perçin çapı mm	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
Delik çapı mm	11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34	37

Şekil 3.1: Perçin tipleri

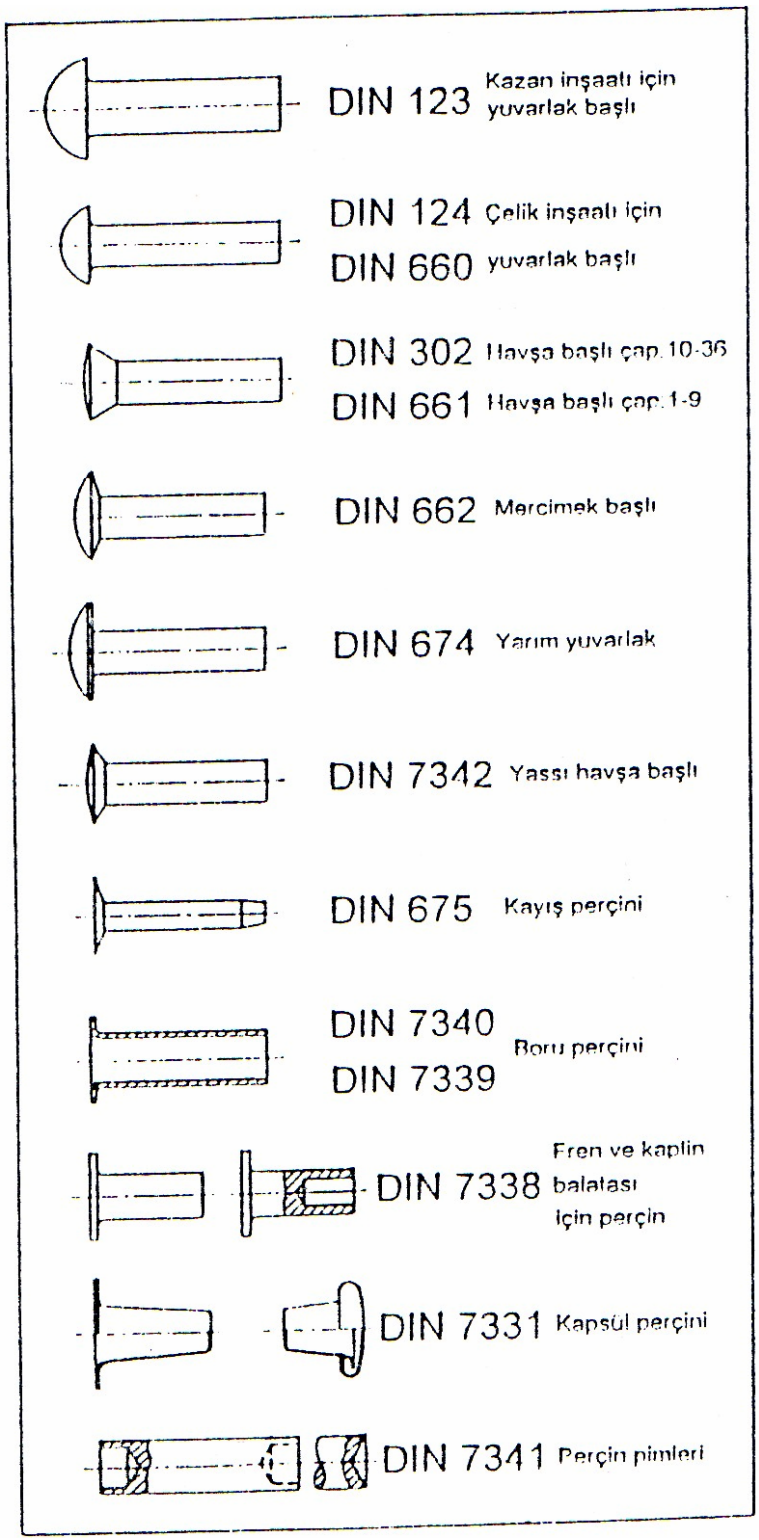
3. Başsız Perçinler (Şekil 3.2):
    a. A Tipi Kör Delikli
    b. B Tipi Kör Delikli



Şekil 3.2: Başsız perçin tipleri

Tüm bu sınıflandırmaların dışında sanayide en çok kullanılan perçin sınıflandırması perçin başlarının şekilleri baz alınarak yapılan sınıflandırmadır [9]. Endüstriyel

uygulamalarda yoğun olarak kullanılan bazı perçin tipleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



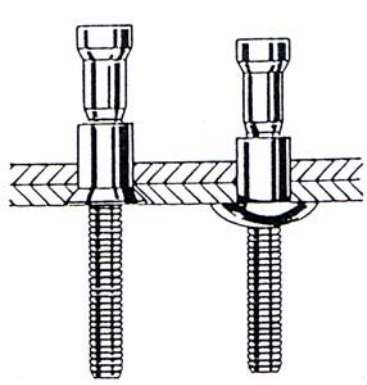
Şekil 3.3: Perçin tipleri

Bu standart perçin tiplerinden başka özellikle uçak endüstrisinde kullanılmak için özel olarak dizayn edilen perçinlerde bulunmaktadır. Bu perçinler uçak endüstrisinde en önemli ve gerekli özelliklerden ikisi olan hafiflik ve kolay ulaşılabilirliği sağlayabilmek için dizayn edilmişlerdir. Uçaklar için üretilen belli başlı iki tip perçin vardır:

1. Patlamalı Perçinler: Bu tip perçinlerde, perçin deliğe takıldıktan sonra perçin başından ısıtılır. Isıtılan perçinin diğer ucundaki kısmında bulunan patlayıcı madde ısının etkisiyle patlayarak bu uçta kapama başı meydana getirir.
2. Çekme Çubuğu Kullanılarak Yerleştirilen Perçinler: Bu tip perçinlerin içleri boştur. İçi boş ola perçin içine kafa kısmı dışa doğru konik şekilde ya da değişik formlu olan bir çekme çubuğu yerleştirilir. Perçin yerine oturduktan sonra çekme çubuğu çekilir ve çekmenin etkisiyle çubuğun bir kısmı perçin içerisinde kalarak kapama kafasını oluşturur.

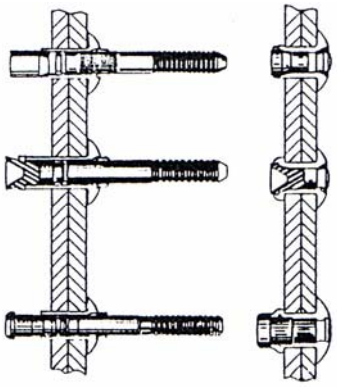
Bunun dışında uçaklarda kullanılan dört ayrı perçin tipi daha bulunmaktadır [7]:

1. Kendi Kapanan (Sürtünme Kilitli) Perçinler (Şekil 3.4)



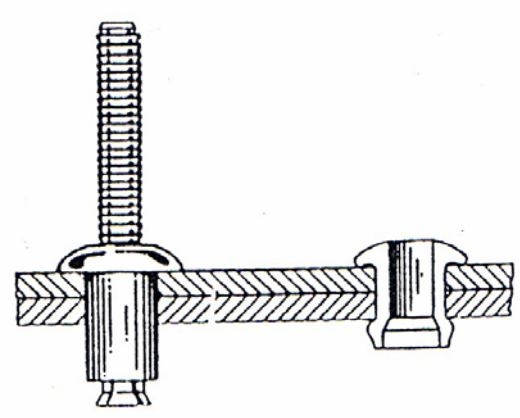
Şekil 3.4: Kendi kapanan (sürtünme kilitli) perçinler

2. Kendi Kapanan (Mekanik Kilitli) Perçinler (Şekil 3.5)



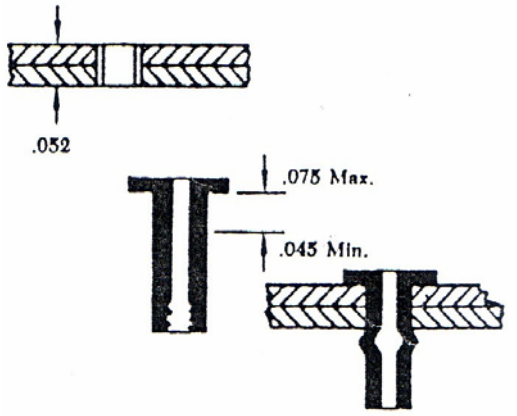
Şekil 3.5: Kendi kapanan (mekanik kilitli) perçinler

3. Çekme Çubukları (Şekil 3.6)



Şekil 3.6: Çekme çubukları

4. Rivnut Perçinler (Şekil 3.7)

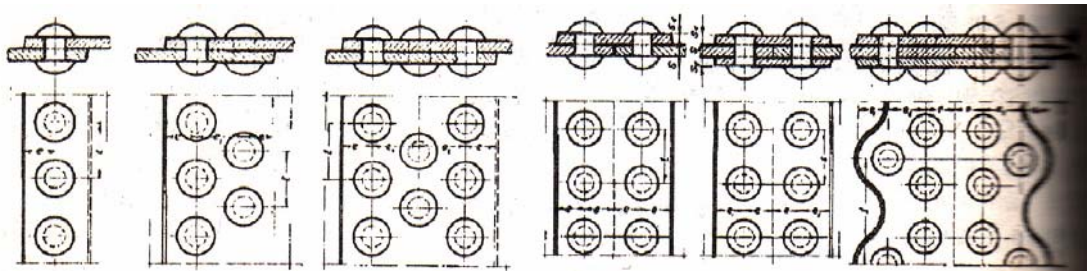


Şekil 3.7: Rivnut

3.1.3 Perçin Bağlantı Çeşitleri

Sanayide kullanılan üç ayrı perçin bağlantı çeşidi bulunmaktadır (Şekil 3.9). Bu bağlantılar şu şekildedir:

1. Bindirme Bağlantı
2. Alın ya da Kapaklı Bağlantı



Şekil 3.8: Perçin bağlantı çeşitleri

Tüm bu bağlantı tipleri tek, iki ya da üç sıralı olabilmektedirler. Ayrıca perçin dizilimleri çapraz ya da paralel yapılabilmektedir.

3.2 Perçin Modelleme Yöntemlerine Genel Bakış

Endüstride kullanılan perçin bağlantıları genellikle tek sıralı ya da iki sıralı olarak dizayn edilmektedirler. Bu bağlantılar aynı zamanda takviyesiz ve takviyeli bağlantı olarak da adlandırılabilirler. Perçin bağlantılarında, perçin deliklerindeki gerilme yığılması nedeniyle yüzeydeki normal gerilemeler artmaktadır. Bunu engellemenin en iyi yolu ise sadece perçin bağlantılarının yapıldığı bölgelere takviyeler koyup bu bölgelerin kalınlıklarını lokal olarak arttırmaktır. Bu takviyeler hem malzeme özelliklerinde bir değişime neden olmazlar, hem de lokal olarak sadece perçin deliklerine uygulandıkları için parçanın ağırlığını arttırmazlar. Yalnız takviyelerin kötü bir etkisi bulunmaktadır. Takviyeler eğilme momentini etkilemektedirler. Bu nedenle perçin diplerinde oluşan kritik gerilmeler bazı yararlı etkileri ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle perçin bağlantı noktalarındaki gerilmelerin çok iyi hesaplanması gerekmektedir. Takviyeli perçin bağlantılarının yorulma ömürlerini doğru hesaplayabilmek için “ikincil eğilme momentleri”ni matematiksel modeller kullanarak hesaplamak gerekmektedir. Bu konuyla ilgili detaylı bilgiye [5],[6] ve [7] numaralı kaynaklardan ulaşılabilir.

Perçinli bağlantıların gerilme analizlerini yapabilmek için kullanılan yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemi çok karmaşık ağ yapısı ve düğüm noktalarının çakışma problemi gibi bazı problemler nedeniyle çok efektif olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenle gerilme analizi için daha çok analitik yöntemler tercih edilmektedir. Perçinli bağlantı gerilme hesabı için özellikle uçak imalatçıları tarafından kullanılan ve hızlı bir şekilde hesap yapmayı sağlayan iki ayrı analitik yöntem bulunmaktadır. Bunlar:

1. Kiriş Modeli (Delft Modeli)
2. Plaka Modeli (Boeing Modeli)

Bu iki yöntemde ikincil eğilme momenti yaklaşımında gerilme yığılma faktörü hesanı için kullanılırlar ve perçinli bağlantılar için gerçeğe en yakı sonuçları verirler.

Kiriş modeli yaklaşımı bağlantıya; gerilme değişimlerinin olduğu yerde tarafsız ekseninde atlama olan ve yapısal elemanlarda kesit alanının değiştiği bir Euler – Bernolli kirişi olarak yaklaşır. Bunun yanında plaka modeli ise bağlantıya perçinli

kısımlarının rijit olduğu düz bir plaka olarak yaklaşır. Kiriş modeli hem takviyeli, hem de takviyesiz perçinli bağlantılar için kolaylıkla uygulanabilirken, plaka modeli sadece takviyesiz bağlantılar için kullanılabilmektedir.

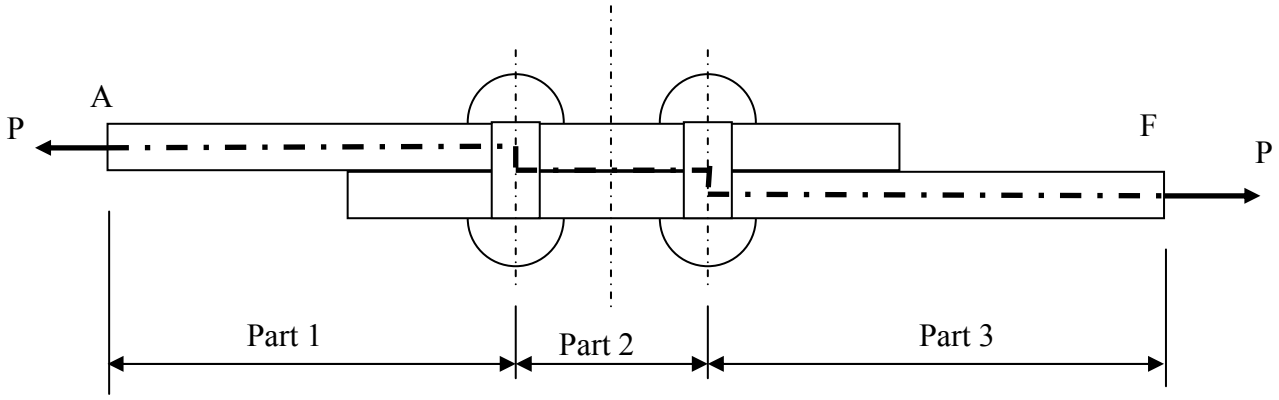
3.2.1 Kiriş Modeli Yaklaşımı

Takviyeli ya da takviyesiz perçinli bağlantılarda oluşan eğilme etkisi, bağlantıdaki çekme gerilmesiyle aynı oranda olabilmektedir. Bağlantıdaki çekme gerilmesinin sebep olduğu eğilme etkisi, ikincil eğilme momenti olarak adlandırılmaktadır. İkincil eğilme momenti, bağlantıya uygulanan çekme gerilmesinin nonlineer bir fonksiyonudur. Kiriş modeli yaklaşımı bağlantının tarafsız eksenini bir euler-Bernoulli kirişi olarak görmektedir. Bu yaklaşıma göre Euler-Bernoulli kirişinin eğilmeleri hesaplandıktan sonra, bu hesaplamalardan ikincil eğilme gerilmesi ve ikincil eğilme faktörü hesaplanır.

Kiriş modeli yaklaşımına göre, bağlantı kesit alanı değişimleri, yük transferi ya da perçin yerleşimleri baz alınarak bölümlere ayrılır. Her bölümün tarafsız ekseni Euler – Bernoulli kirişi yaklaşımıyla formüle edilir ve yükleme koşullarına bağlı olarak sınır şartları girilerek çözülür. Sonuç numerik olarak çözülebilen bir lineer denklem takımıdır. Perçin bağlantısı yukarıda belirtilen şartlara göre bölümlere ayrılmadan önce üst ve alt levhalar arasındaki yük transferini modellemek için esnek perçin modelleri kullanılır. Buna göre bağlantıdaki her yük transferi değişimi yeni bir bölümün meydana çıkmasına neden olmaktadır.

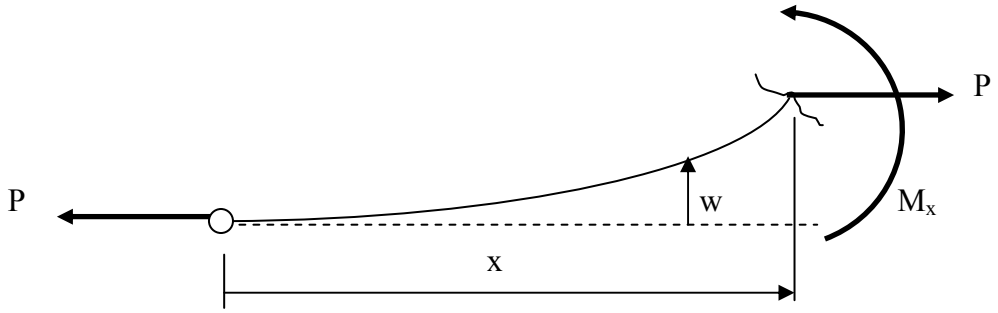
3.2.1.1 Mafsallı Takviyesiz Perçin Bağlantısı

Bağlantı koşullarını basite indirgemek için kiriş modeli iki sıra perçinden oluşan ve takviye kullanılmayan bağlantıya uygulanacaktır. Aslında kiriş modeli takviyeli bağlantılar için de kullanılmakla beraber, ikiden çok sıra perçin içeren bağlantılarda da rahatlıkla kullanılabilir. Şekil 3.9'da da görülebileceği gibi yük transferindeki her yön değişimi ayrı bir parça olarak düşünülmektedir.



Şekil 3.9: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında tarafsız eksen gösterimi

Bu sayede şekilde üç ayrı parça oluşturulmuştur.



Şekil 3.10: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında ilk parçaya ait serbest cisim diyagramı

Şekil 3.10'da gösterilen ilk parça için eşitlik denklemleri şu şekildedir:

$$M_x = P\,w = E\,I_1\,w'' \qquad (3.1)$$

ya da;

$$w'' - \alpha_1^2\,w = 0 \qquad (3.2)$$

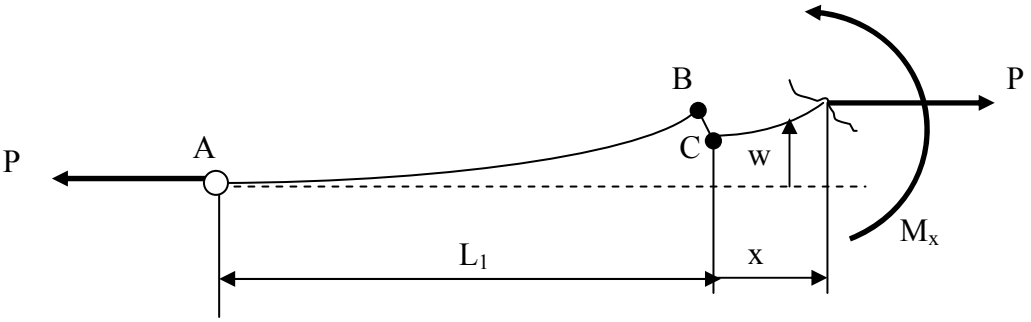
burada w eğilmeyi üstel (') de x'e göre türevi ifade etmektedir.

$$\alpha_1^2 = P / (E\,I_1) \qquad (3.3)$$

3.2 numaralı denklemin çözümü şu şekildedir:

$$w(x) = A_1\,\mathrm{Sinh}\,(\alpha_1\,x) + B_1\,\mathrm{Cosh}\,(\alpha_1\,x) \qquad (3.4)$$

Yüklemeye ait sınır şartları ; x = 0 da $w_A = 0$ (3.5)



Şekil 3.11: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında ilk ve ikinci parçaya ait serbest cisim diyagramı

Bu durumda birinci ve ikinci parçalara ait eşitlik denklemi aşağıdaki gibidir:

$$M_x = P\,w = E\,I_2\,w'' \quad (3.6)$$

ya da;

$$w'' - \alpha_2^2\,w = 0 \quad (3.7)$$

$$\alpha_2^2 = P / (E\,I_2) \quad (3.8)$$

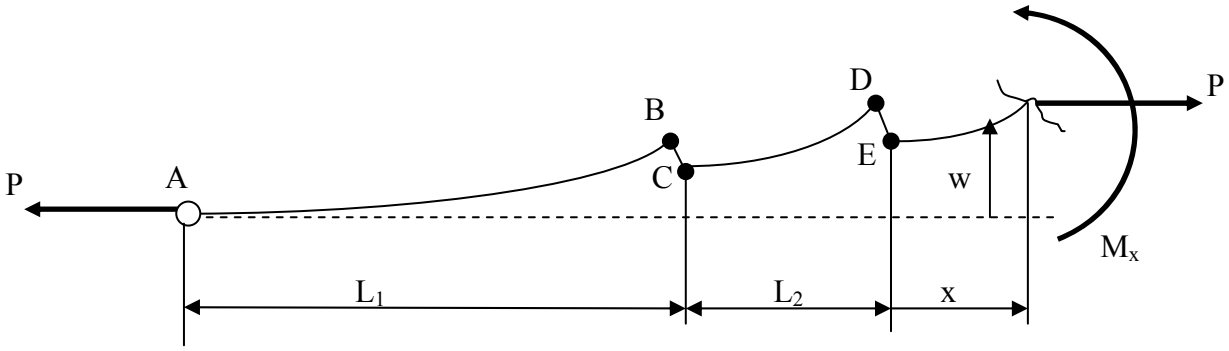
Bu durumda 3.7 numaralı denklemin çözümü:

$$w = A_2\,\mathrm{Sinh}\,(\alpha_2\,x) + B_2\,\mathrm{Cosh}\,(\alpha_2\,x) \quad (3.9)$$

Şekil 3.11'de görüldüğü gibi B ve C noktaları arasında tarafsız eksende e_1 uzunluğu kadar bir atlama olmaktadır. w_B ve w_C bu noktalardaki deplasmanlar olarak kabul edilirse sınır şartlar şu şekilde olacaktır;

$$x = 0 \text{ da } w_C = w_B - e_1 \quad (3.10)$$

$$x = 0 \text{ da } w'_C = w'_B \quad (3.11)$$



Şekil 3.12: Takviyesiz iki sıralı perçin bağlantısında birinci, ikinci ve üçüncü parçaya ait serbest cisim diyagramı

Sonuç olarak; Şekil 3.12'de gösterilen birinci, ikinci ve üçüncü parçaya ait eşitlik denklemi şu şekildedir:

$$M_x = P\,w = E\,I_3\,w'' \tag{3.12}$$

ya da;

$$w'' - \alpha_3^2\,w = 0 \tag{3.13}$$

$$\alpha_3^2 = P / (E\,I_3) \tag{3.14}$$

Bu durumda 3.13 numaralı denklemin çözümü şu şekildedir:

$$w = A_3\,\mathrm{Sinh}\,(\alpha_3\,x) + B_3\,\mathrm{Cosh}\,(\alpha_3\,x) \tag{3.15}$$

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi D ve E noktaları arasında tarafsız eksende e_2 uzunluğu kadar bir atlama olmaktadır. w_D ve w_E bu noktalardaki deplasmanlar olarak kabul edilirse sınır şartlar şu şekilde olacaktır;

$$x = 0 \text{ da } w_E = w_E - e_2 \tag{3.16}$$

$$x = 0 \text{ da } w'_E = w'_D \tag{3.17}$$

En son sınır koşulu olarak da Şekil 3.9'da gösterildiği gibi en sağdaki F noktasının yer değiştirmesinin sıfır olduğunun kabulüdür.

$$w_F = 0 \tag{3.18}$$

Kısaca Şekil 3.9'da gösterilen perçinli bağlantı Euler – Bernoulli Kirişi yaklaşımı uyarınca üç parçaya bölünmüştür. Bu parçalara ait eşitlik denklemleri (3.14), (3.9) ve (3.15) numaralı denklemlerle verilmiştir. Ayrıca bu denklemlerin her birinde A_1,A_2, A_3, B_1, B_2 ve B_3 olarak adlandırılan iki adet bilinmeyen sabit vardır. Bu sabitler ise verilen sınır koşullarından elde edilen (3.5), (3.10), (3.11), (3.16), (3.17) ve (3.18) numaralı denklemlerin lineer denklem sisteminde çözümünden bulunacaktır.

İkincil eğilme faktörü K_b şu şekilde yazılabilir;

$$K_b = (\sigma_{bending})_{max} / \sigma_{nominal} \tag{3.19}$$

$$(\sigma_{bending})_{max} = (M_x / I_x) (t / 2) \tag{3.20}$$

$$\sigma_{nominal} = P/A_{beam} \tag{3.21}$$

Bu denklemlerde I_x ortak yüzey elemanlarına ait atalet momenti, t kalınlık ve A_{beam} yüzeyin kesit alanını göstermektedir. M_x momenti ise $M_x = P.w$ olarak gösterilebilir.

Yukarıda gösterilen bu yöntem birçok sıralı perçin bağlantısı için uygulanabilir. Takviyeli bağlantı olması durumunda ise, bağlantının sadece bir yarısı modellenebilmektedir. Bu durumda da sınır koşulu aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$w'_F = 0 \tag{3.22}$$

3.2.1.2 Tarafsız Eksen Atlamasının Hesaplanması

Perçin bağlantısı yapılmış bir yüzeyde, ikiden daha fazla birleştirilecek parça olması durumunda, her yüzeyin taşıyacağı yükün farklı olması nedeniyle tarafsız eksen bağlantının kontak yüzeyinde olmayacaktır. Bu durumda tarafsız eksen, moment eşitliğinin sağlandığı başka bir yerden geçecektir. Bu eşitlik;

$$e_i = \underline{t} (T_i / P) \tag{3.23}$$

şeklindedir. Bu eşitlikte;

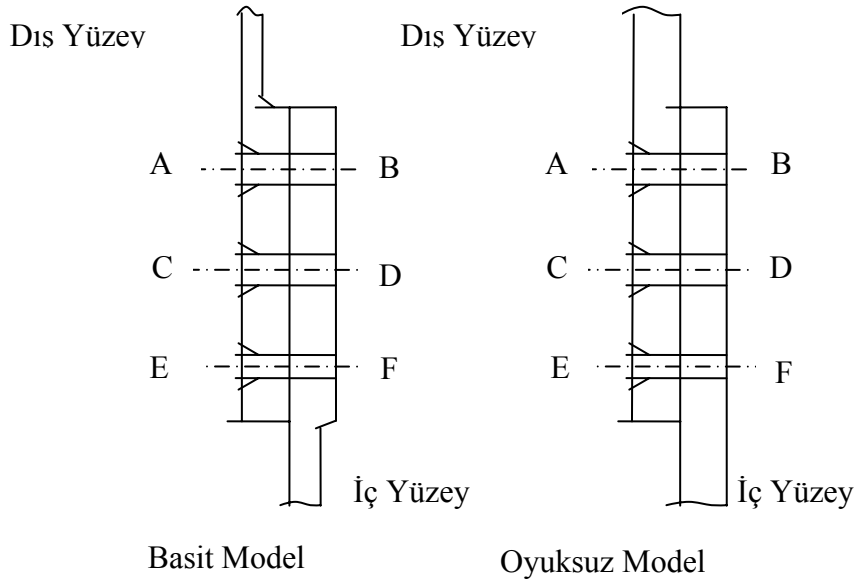
e_i : i. atlamanın eksenden kaçıklığı

T_i : i. atlamadaki alt levhaya olan yük transferi (P-T_i üst levha tarafından taşınan yük, T_i alt levha tarafından taşınan yük)

t : iki yüzey arasındaki toplam eksenden kaçıklık

3.2.2. Plaka Modeli Yaklaşımı

Plaka modeli yaklaşımında temel olarak iki ayrı modelle yöntemi vardır. Şekil 3.13'te de görüldüğü gibi bunlardan birincisi "Basit Model" olarak adlandırılan perçin bağlantı yüzeyinde kalınlığın arttırıldığı perçin bağlantı modeli, diğeri ise ""Oyuksuz Model" olarak adlandırılan perçin bağlantı bölgesi dahil parçanın heryerinde aynı kalınlığın olduğu modeldir.



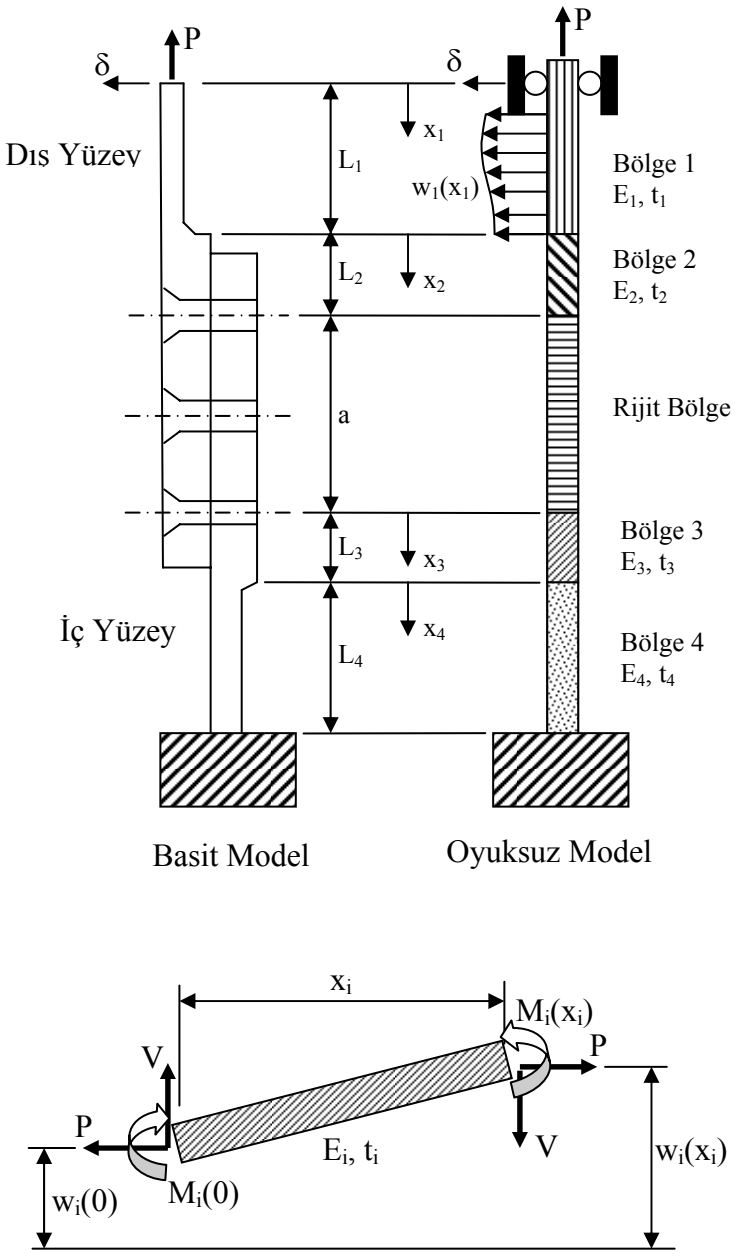
Şekil 3.13: Plaka modelinde kullanılan modelleme yöntemleri

Her iki modelin de amacı kritik noktalardaki ikincil eğilme momentlerin doğru bir şekilde hesaplayabilmektir. Şekil 3.13'de görüldüğü gibi her iki model için de kritik noktalar A ve F noktalarıdır.

Plaka modeli yaklaşımı, var olan takviyesiz perçin bağlantı gerilme analiz yöntemlerinin iş yara bir şekilde çalıştığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu yöntemler ise takviyesiz perçin bağlantısının birçok takviye çeşidi için değişik konfigürasyonlarda kapsamlı testlerini içermektedir. Bu yorulma testlerinin birçoğu üç katlı perçin bağlantısı için yapılmaktadır. Genellikle bu parçalarda perçinlerin yüzeye mesafesi 0.9 inch olarak belirlenmektedir. Bu durumda perçin merkezinin alt yüzeyle üst yüzey arasında kalan mesafesi 1.8 inch'tir. Kısacası plaka modeli perçin

bağlantı merkezinin alt ve üst yüzeye mesafesinin 1.8 inch olduğu durumlar için geçerlidir.

Basit model, Şekil 3.14'de gösterildiği gibi beş parçadan oluşan bir kabuk şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 3.14: Tek boyutlu basit model ve oyuksuz model x_i uzunluğunda i. bölge

Bu gösterimde üst ve alt perçin sıraları arasındaki bölgenin rijit olduğu kabul edilmektedir. Bunun akabinde, kiriş modelinin aksine, tabaka modeli yaklaşımıyla perçin bağlantı bölgesindeki gerilme hesap edilemez. Bunun yanında tabaka

modelinde (basit modelde) perçin bağlantı yüzeyinde kritik noktalar ilk ve son sıra perçin bağlantıları olması dolayısıyla tabaka modeli yaklaşımı herhangi bir pratik değere yakınsamaz.

4. PUNTA KAYNAĞI VE PERÇİN BAĞLANTISININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ

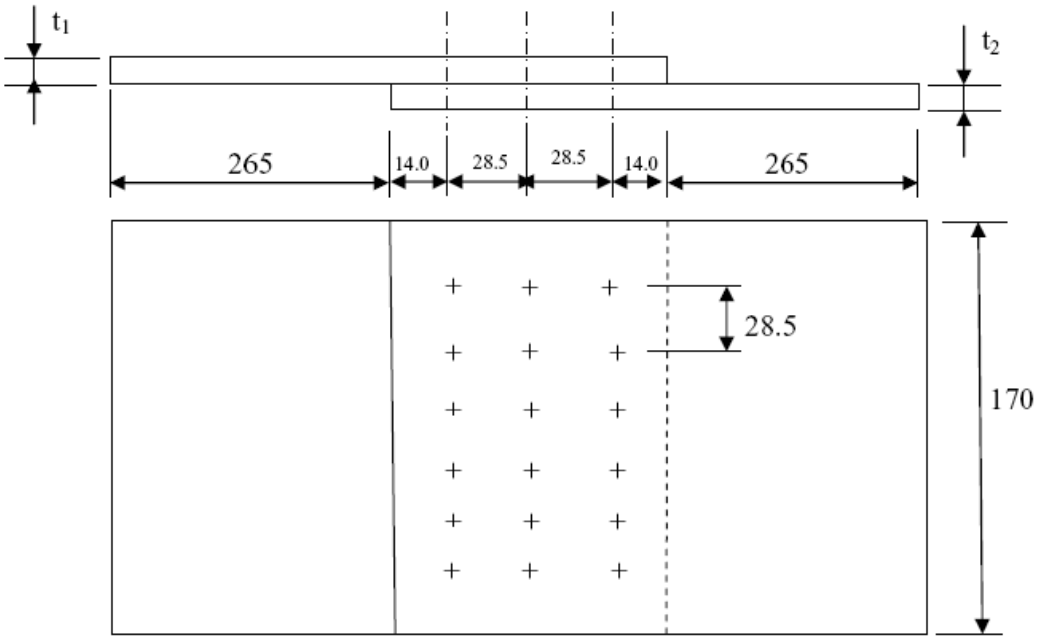
Bu tez çalışmasında; bilgisayar ortamında yaratılan aynı ölçülerdeki iki ayrı parçanın aynı noktalarına, birine perçin bağlantısı diğerinde ise punta kaynağı yapılarak belirli bir statik yükleme durumu için sonlu elemanlar yöntemiyle çözdürülmüş ve analizi yapılmıştır. Analiz için seçilen ve birleştirilen iki parça 170 mm uzunluğunda ve 350 mm genişliğindedir. Parçalar birbirlerinin simetriğidir. Parçalar üzerine bir kenardan 14 mm içeriden başlamak üzere 28.5 mm aralıklarla bir sıraya 3 punta ya da perçin gelecek şekilde altı sıra belik açılmıştır. İki ayrı modelde bu delikler perçin bağlantı ya da punta kaynağına uygun şekilde modellenmiştir. Daha sonra bu modeller üzerine ağ yapı örülerek iki modelin aynı yüklemeler altında analizi yapılmıştır.

4.1 Punta Kaynağının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

4.1.1 Parçaların Çizimi ve Modelin Oluşturulması

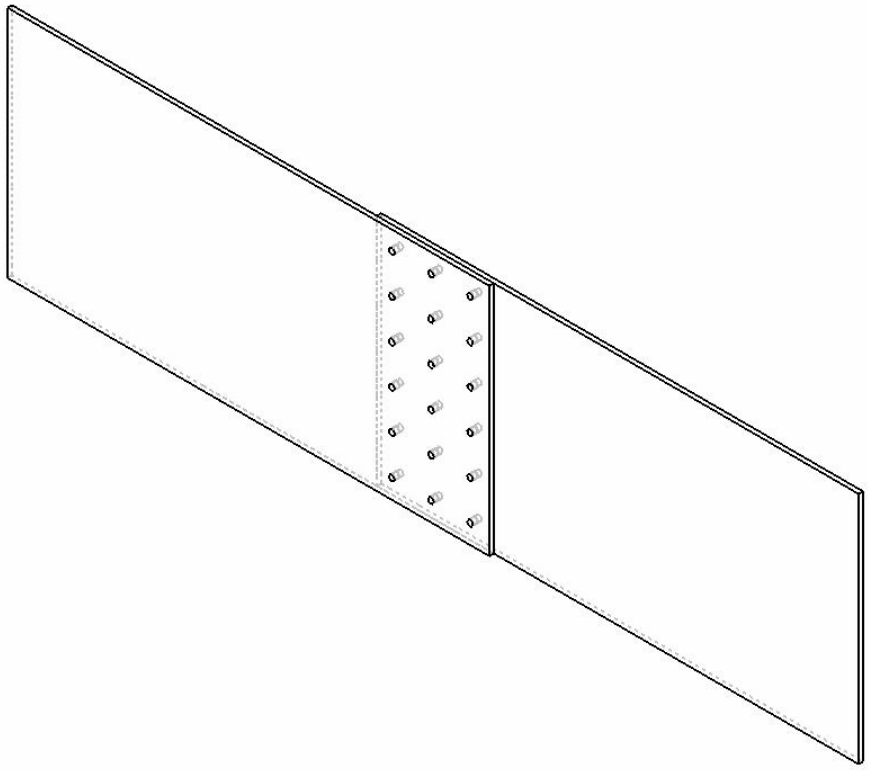
Yukarıda da belirtildiği gibi punta kaynağı ve perçin bağlantı için kullanılan model aynıdır. Bu modele ait iki boyutlu çizim Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Şekil 4.1'de t_1 ve t_2 kalınlıklarıyla gösterilen üst ve alt levhaya ait ölçüler resim üzerinde gösterilmiştir. Resim üzerinde gösterilmeyen t_1 ve t_2 sac kalınlıkları 3.2 mm olarak alınmıştır. Her iki model içinde malzeme aliminyum alaşımı olarak seçilmiştir. Malzemeye ait metalurjik özellikler ise aşağıdaki gibidir:
Elastiklik Modülü, E = 73000 MPa
Poisson Oranı, ν = 0.33

Yine aynı parça üzerine yerleştirilen altı sıradan oluşan toplam on sekiz adet puntanın çapı da 4 mm olarak alınmıştır. Parçanın iki ve üç boyutlu çizimleri SolidWorks ve I-DEAS programları kullanılarak yapılmıştır.

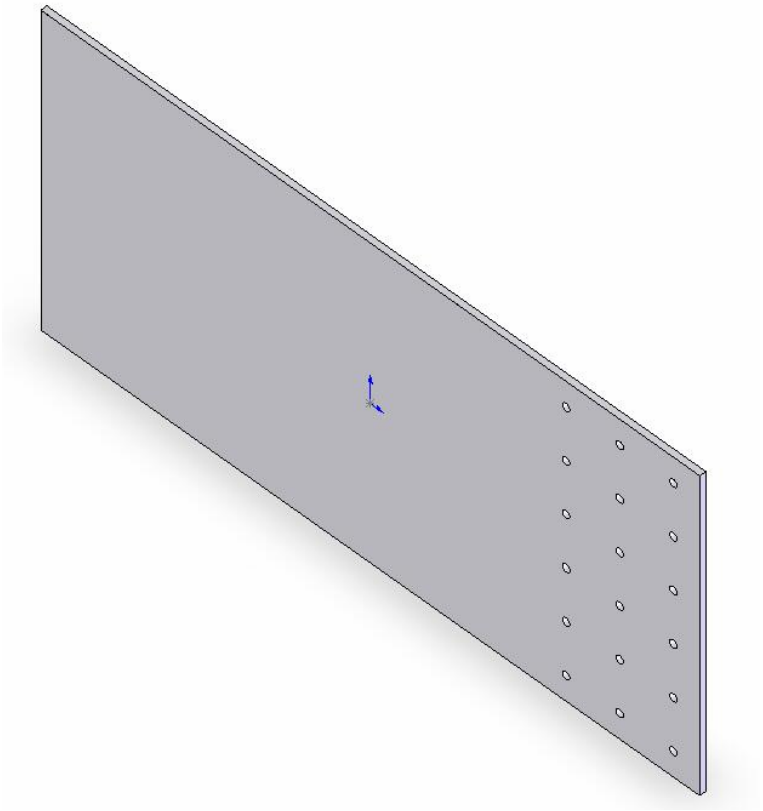


Şekil 4.1: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait iki boyutlu çizim

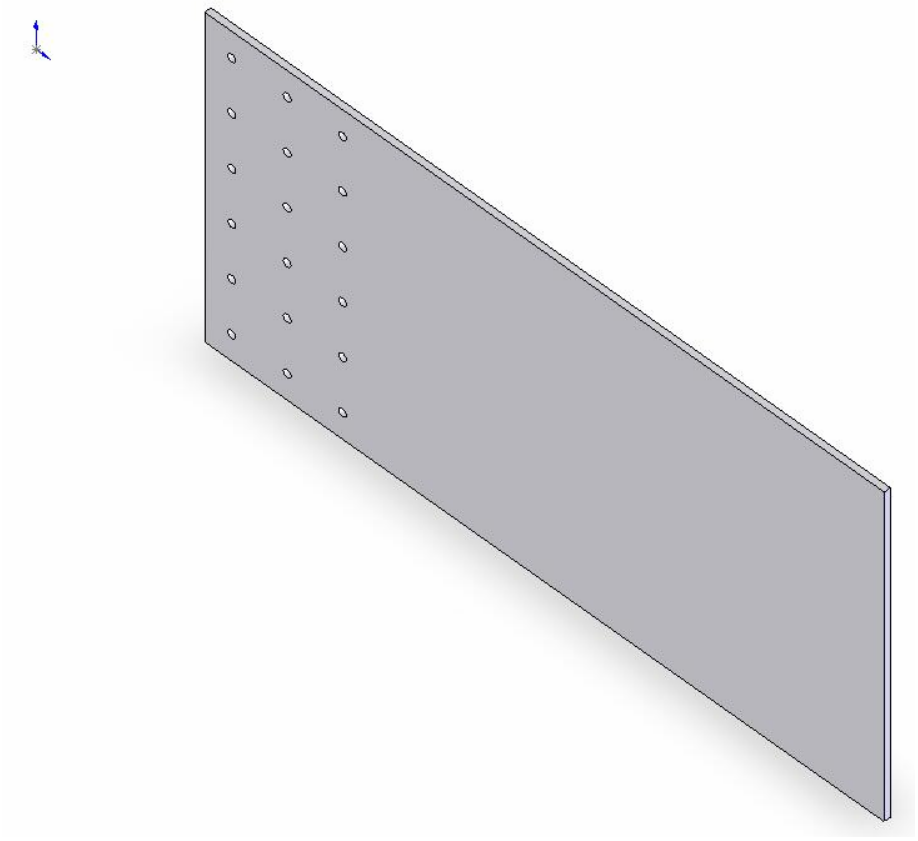
Yukarıda iki boyutlu olarak gösterilen modeli oluşturan parçalar ve yine bu modele ait üç boyutlu çizim ise Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait üç boyutlu katı model



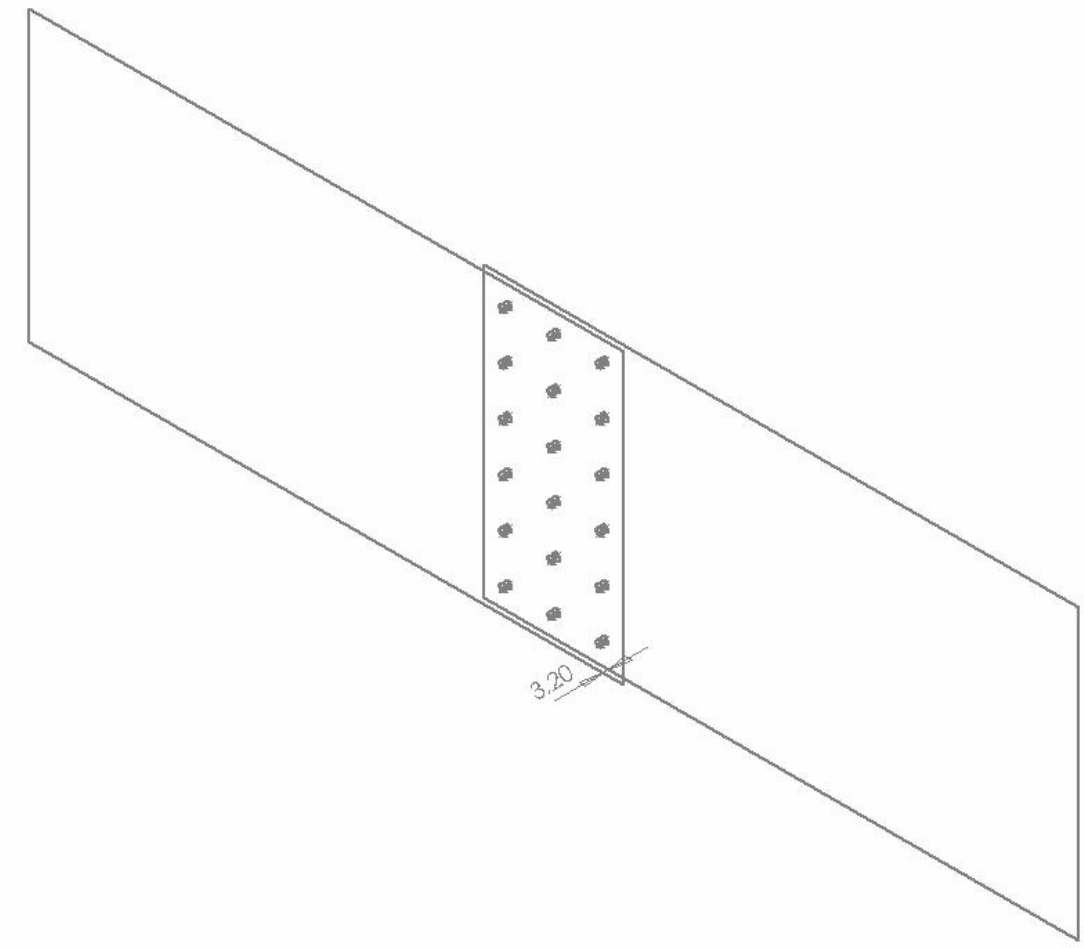
Şekil 4.3: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait alt parça



Şekil 4.4: : Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait üst parça

Yukarıda resimlerde belirtildiği şekilde çizilen 3.2 mm kalınlığındaki iki parça, delikler üst üste gelecek şekilde birleştirildikten sonra, atılacak kaynakların doğru analizini kolaylaştırmak için iki boyutlu hale dönüştürülmüştür ve kalınlık parçalar arasında 3.2 mm boşluk kalacak şekilde analizin içine dahil edilmiştir. Ayrıca yine analiz yapılırken kalınlığın hesaba katılabilmesi eleman kalınlığının 3.2 mm atanması ile sağlanmıştır.

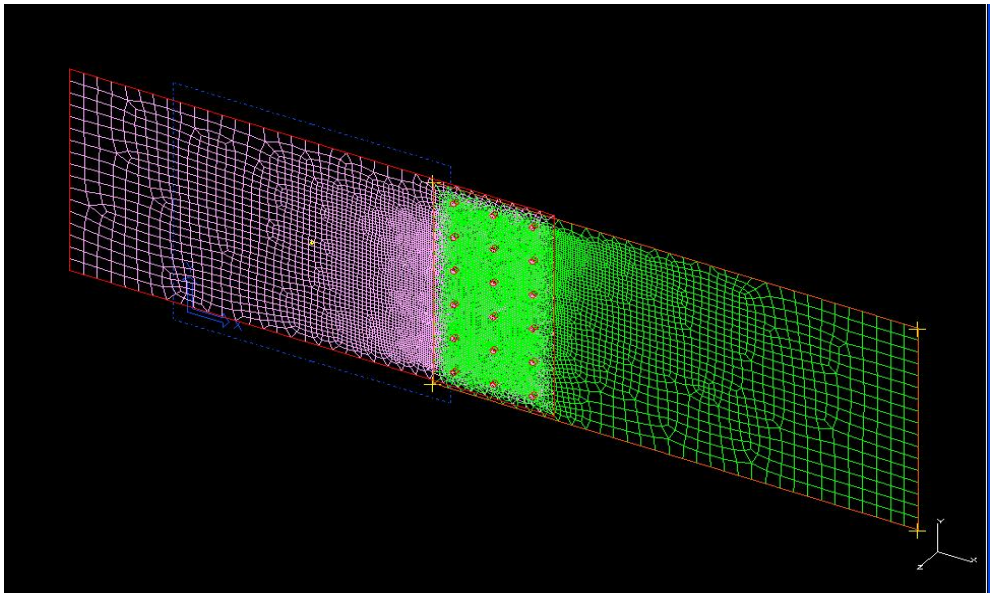
Parçanın iki boyutlu hale dönüştürülmesinin nedeni, kaynak bağlantı yerlerinden doğru gerilme değerlerinin alınabilmesinin sağlanmasıdır. Bu da ancak kaynak puntalarının dairesel profilli olmasıyla sağlanabilmektedir. 3.2 mm kalınlığındaki parçada ise kaynak puntalarını göstermek için açılan delikler silindirik profilli olacaktır. Bu da punta noktalarına ağ yapı örülürken zorlukların çıkmasına neden olacaktır. Parçanın ağ yapı örülmeden önceki son çizimi Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5: Punta kaynaklı bağlantının analizinde kullanılan modele ait iki boyuta indirgenmiş çizim

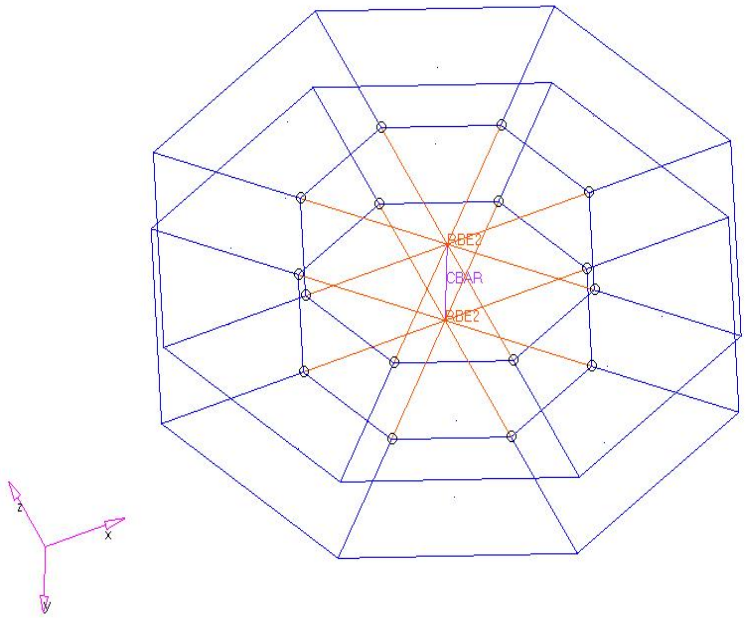
4.1.2 Modelin Ağ Yapı ile Örülmesi

Oluşturulan model üzerinde ağ yapı oluşturulması işlemi I-DEAS programı kullanılarak yapılmıştır. Bunun için model I-DEAS programına atılmış, sonrasında iki boyutlu dikdörtgenlerden oluşan modelde birleştirilen iki ayrı parçayı temsil eden iki ayrı yüzey oluşturulmuştur. Yüzey oluşturma işleminden sonra, kaynak puntalarının yerleştirileceği dairelerin punta kaynağına uygun şemsiye modeli ile modellenebilmesi için öncelikle bu daireler delinmiştir. Dairelerin delinmesinden sonra, doğru bir kaynak modellemesi için ağ yapı oluşturulması işlemine başlanmıştır. Yine I-DEAS programında "Meshing" modülünde, eleman tipi QUAD4 dörtgen eleman ve eleman boyutu 10 mm olarak belirtilmiştir. Böylece program otomatik olarak 10 mm aralıklarla düğüm noktaları atamıştır. Yalnız doğru bir kaynak modellemesi için puntaların çevresinde daha yoğun bir örgü oluşturmak gereklidir. Bu sayede hem punta çevrelerinde daha hassas bir analiz yapılmış olur, hem de kaynak çekirdeğinin dışında kalan ısı etkisi altında kalmış bölgenin yük altındaki davranışları daha iyi gözlemlenebilir. Bu nedenle, kaynak puntaları çevresindeki ağ yapı mutlak sapma 0.1 seçilerek daha yoğun hale getirilir. Bunun dışında eleman kalitesi üzerinde de gerekli ayarlamalar yapılarak, daha rijit bir yapı elde edebilmek için izin verilen deformasyon değeri 0.2 mm ve gerilme değeri de 0.2 MPa olarak girilmiştir. Bu şekilde tamamlanan ağ yapı oluşturma işlemine ait resim Şekil 4.6'da görülmektedir. Sonuç olarak model üzerinde toplam 19290 düğüm noktası ve 19004 adet eleman tanımlanmıştır. Bunun yanında tüm model üzerinde toplam 54 adet rijit eleman (RBE2) kullanılmıştır.



Şekil 4.6: Punta kaynaklı bağlantının ağ yapısı

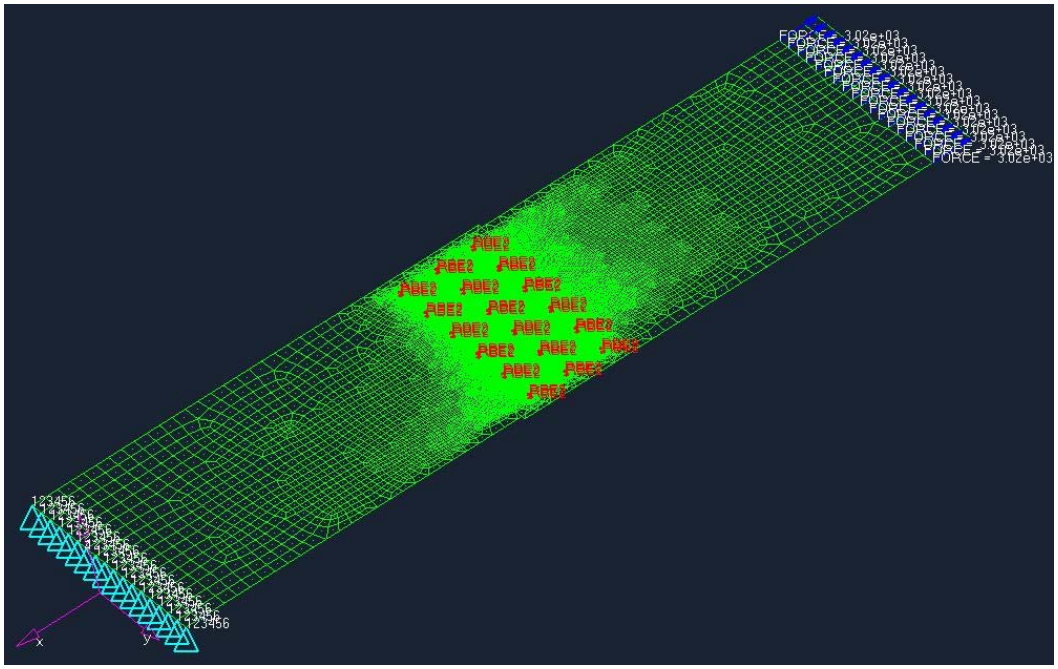
Parçada ağ yapı oluşturulduktan sonra açılan deliklere punta kaynağı modellemesi yapılması gerekmektedir. Punta kaynağı modellemesi olarak en optimum model olan şemsiye modeli seçilmiş ve her iki parça üzerindeki deliklerin evresinde tanımlana on adet düğüm merkezde oluşturulan tek düğüme rijit elemanlar (RBE2) kullanılarak bağlanmıştır. Bu işlem on sekiz adet puntanın her biri için yapılmıştır. Her iki dairenin merkez düğümü de birbirlerine yine rijit eleman (RBE2) kullanılarak bağlanmıştır. Bu sayede kaynak çekirdeğinin hareketi çok daha gerçeğe yakın şekilde analiz edilebilecektir. Tüm bu ağ yapı işlemleri HyperMesh programı kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan şemsiye modeline ait çizim Şekil 4.7'de görülebilmektedir.



Şekil 4.7: Modellemede kullanılan şemsiye - punta kaynağı modeli

4.1.3 Modelin Yüklenmesi

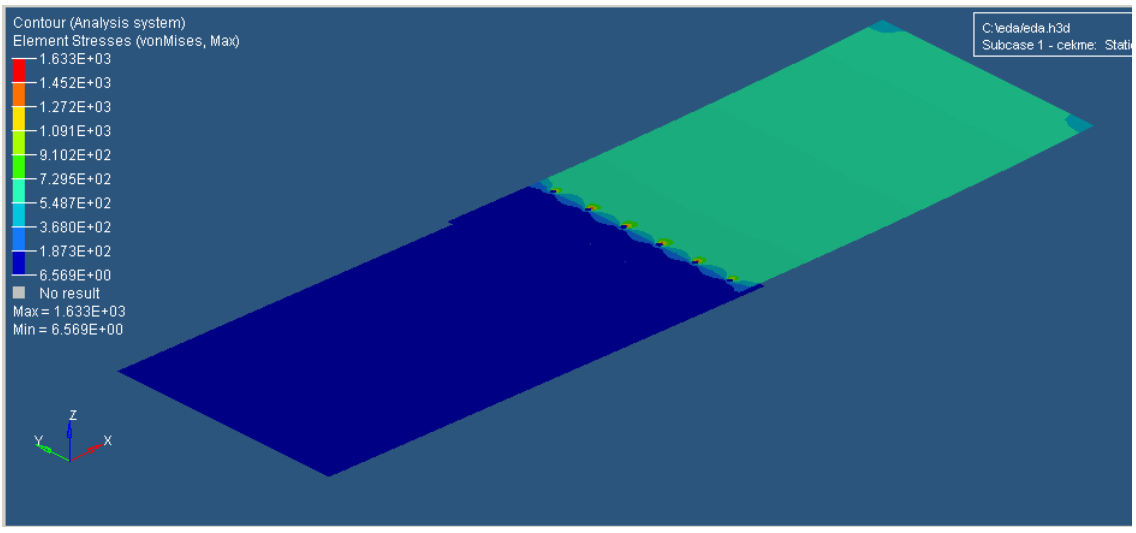
Analizden önceki son işlem olarak yine HyperMesh programı kullanılarak model üzerindeki statik yüklemeler yapılmıştır. Modelin sol kenarı sabit mesnetlenmiş ve sağ kenarına dışa doğru çekme yönünde 100 MPa değerinde bir basınç yani 100 MPa * 170 mm * 3.2 mm = 54400 N'luk bir yayılı yük uygulanmıştır. Tüm bu yüklemelerin ve parçanın analizden önceki son halinin gösterildiği resim Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



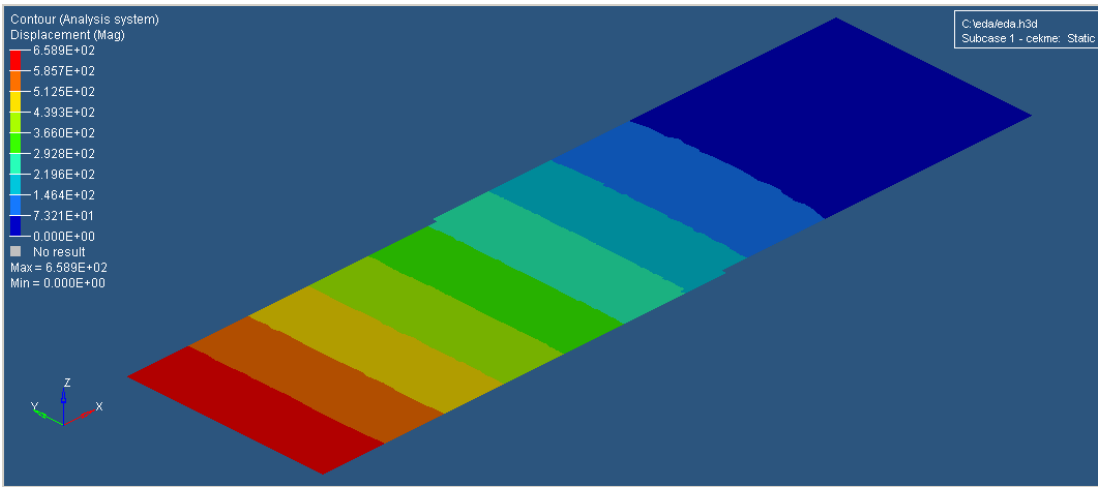
Şekil 4.8: Punta kaynaklı bağlantının yüklemelerinin yapıldığı son hali

4.1.4 Modelin Analizi

Tüm bu ağ yapı oluşturma ve yükleme işlemlerinden sonra en son olarak modelin yükleme durumundaki hareketini belirleyebilmek için modelin çözdürülmesi gerekmektedir. Modelin çözdürülmesi için yine HyperMesh programı altında çalışan OptiStruc modülünden faydalanılmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi kullanılan eleman özellikleri, parçaların malzeme özellikleri gibi gerekli değerler girildikten sonra bu yükleme durumunda Von Mises gerilme ve yer değiştirme için Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.9: Yapılan yükleme durumu için Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 4.10: Yapılan yükleme durumu için yer değiştirmeler

Sonuç olarak karşılaşılan en büyük yer değiştirme 0.659 mm ile 19417 nolu düğümde; maksimum Von Mises gerilmesi ise 0.163 * 10^3 N ile 29479 nolu düğümde oluşmaktadır.

4.2 Perçin Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

4.2.1 Parçaların Çizimi ve Modelin Oluşturulması

Perçin bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile analizinin yapılması için kullanılacak model Şekil 4.1'de iki boyutlu çizimi gösterilen punta kaynağının modellenmesi için kullanılan parça ile aynıdır. İki parçanın aynı olması ve aynı yüklemelere maruz bırakılması sayesinde bir karşılaştırma yapılabilecek ve ortak sonuçlara varılabilecektir.

Şekil 4.1'de iki boyutlu çizimi verilen parça, yine punta kaynağı modellemesinde olduğu gibi Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 'de gösterildiği şekilde SolidWorks programı yardımıyla çizilmiş ve üç boyutlu katı model haline getirilmiştir. Parçanın ölçüleri Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi şu şekildedir:
Birinci parçanın kalınlığı; t_1 = 3.2 mm
İkinci parçanın kalınlığı; t_2 = 3.2 mm
Her iki parçanın eni; w = 170 mm
Her iki parçanın boyu; l = 350 mm

Parçanın malzemesi ise, punta kaynağı modelinde olduğu gibi yine alüminyum alaşım olarak seçilmiştir. Seçilen malzemeye ait özellikler şu şekildedir:

Elastiklik Modülü; E = 73000 MPa
Poisson Oranı; ν = 0.33

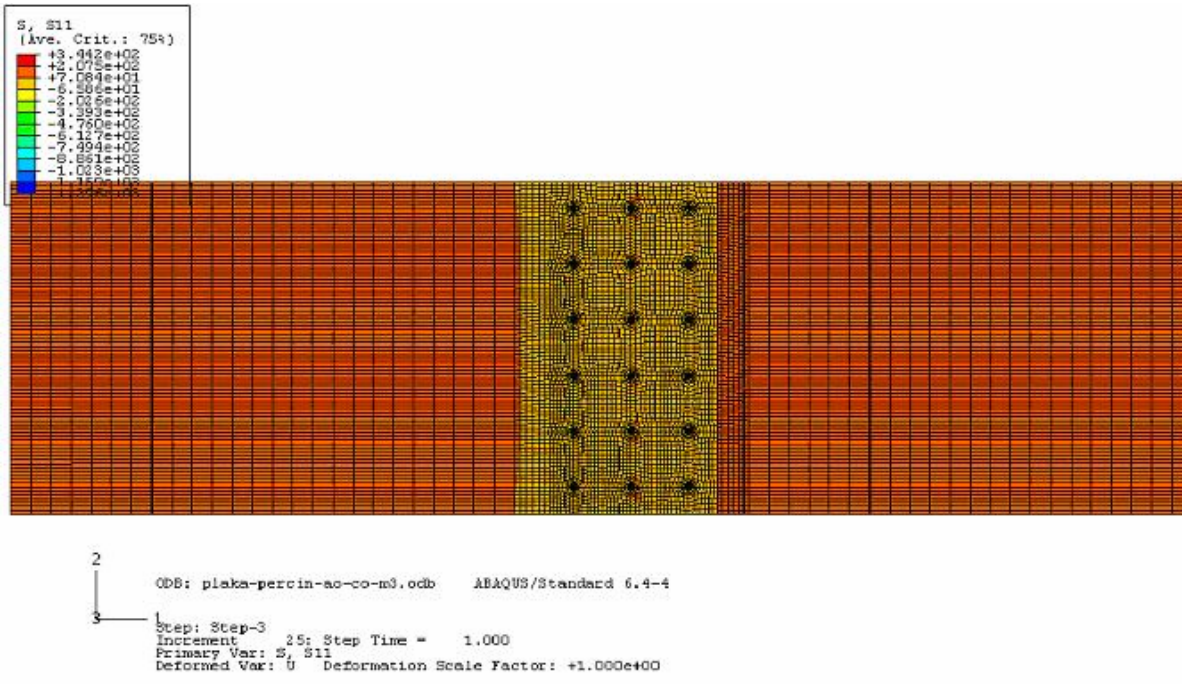
Bağlantı için kullanılan perçin malzemesi de alüminyum olarak tayin edilmiştir. Punta kaynaklı bağlantıda d = 4 mm. olarak seçilen punta çapının perçin bağlantıda da aynı seçilmesine özen gösterilmiştir. Perçin delikleri 4 mm olarak açılmıştır.

Parçanın modellenmesi ABAQUS programı kullanılarak yapılmıştır. Üç boyutlu olarak SolidWorks programında çizilen parçalar yine üç boyutlu olarak ABAQUS programına tanımlanmışlardır.

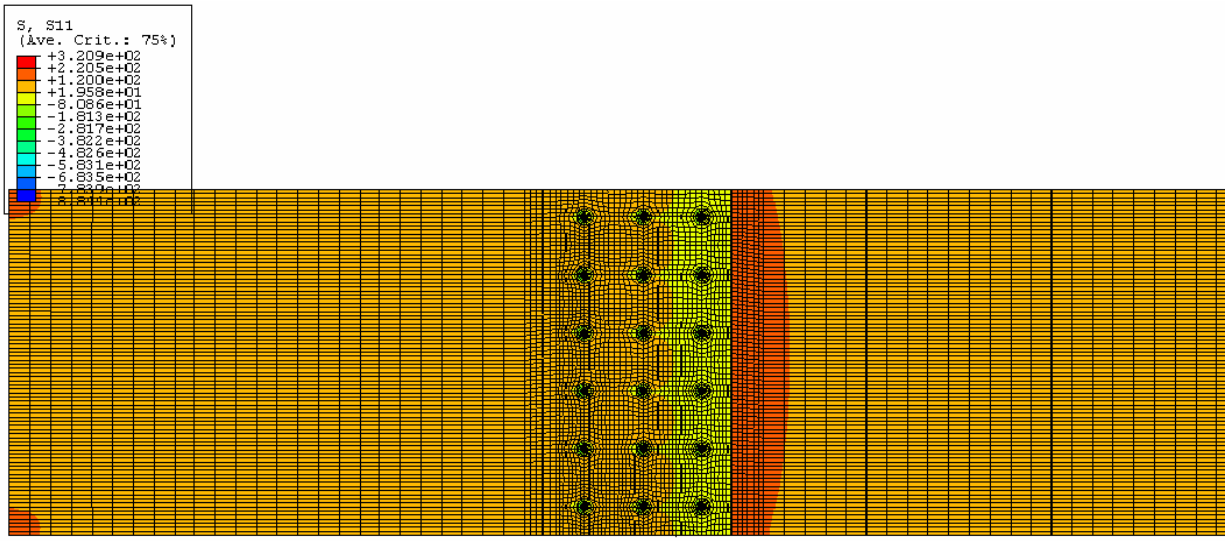
4.2.2 Modelin Ağ Yapı ile Örülmesi

Punta kaynağı modellemesinden farklı olarak perçin bağlantısı için iki ayrı model yaratılmıştır. Bu modeller ölçü ve malzeme olarak aynı olmakla birlikte biri elastik bölgede diğeri ise plastik bölgededir. Her iki modelin de ağ yapı ile örülmesi işlemi, punta kaynağı modellemesinde olduğu gibi dörtgen elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Eleman kalınlığı yine punta kaynağında olduğu gibi 3.2 mm olarak alınmıştır. Bu modellemenin punta kaynağı modellemesinden tek farkı modelin iki boyutlu değil, üç boyutlu alınmasıdır. Bu modellemeler üzerine ağ yapı örülmesinde de eleman boyutu 10 mm olarak alınmıştır. Yine perçin bağlantı bölgelerinden daha iyi ölçüm alabilmek için standart sapma 0.1 olarak seçilmiş, bu bölgelere daha fazla sayıda düğüm koyulmuş ve dairelerin çevresinde daha yoğun bir ağ elde edilmiştir.

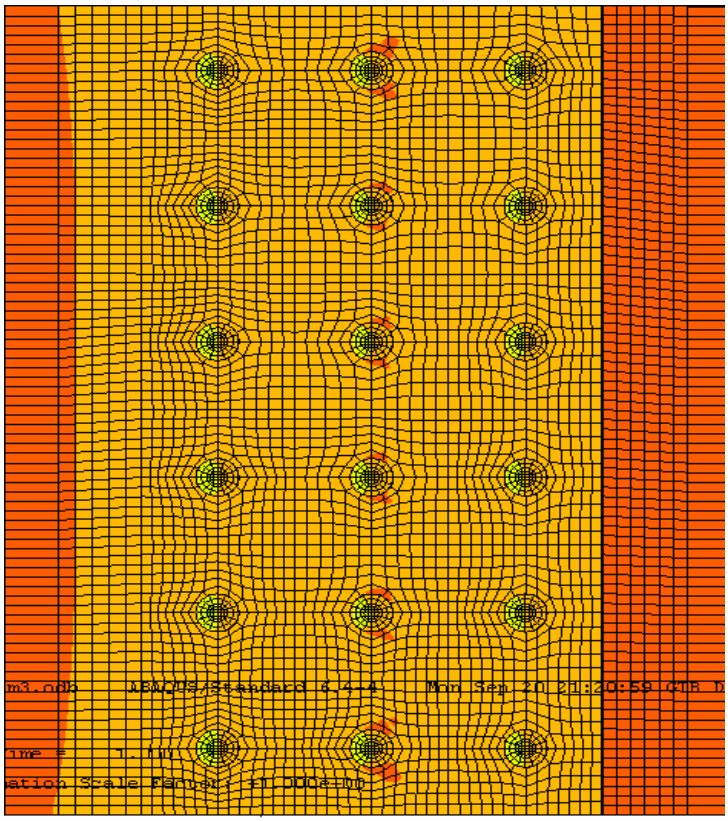
Yapılan birinci modelde takviyesiz bağlantının ve perçinlerin elastik bölgede olduğu varsayılmıştır. Bu durumda bazı noktalarda çok yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Perçin kenarlarında oluşan bu yüksek gerilme değerleri nedeniyle ikinci model yaratılmış ve bu modelde plastik etki de göz önüne alınmıştır. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de iki modelin de ağ yapı örülmüş halleri gösterilmektedir. ayrıca Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de bu iki modele ait perçin bağlantılarının modellenmesi görülmektedir.



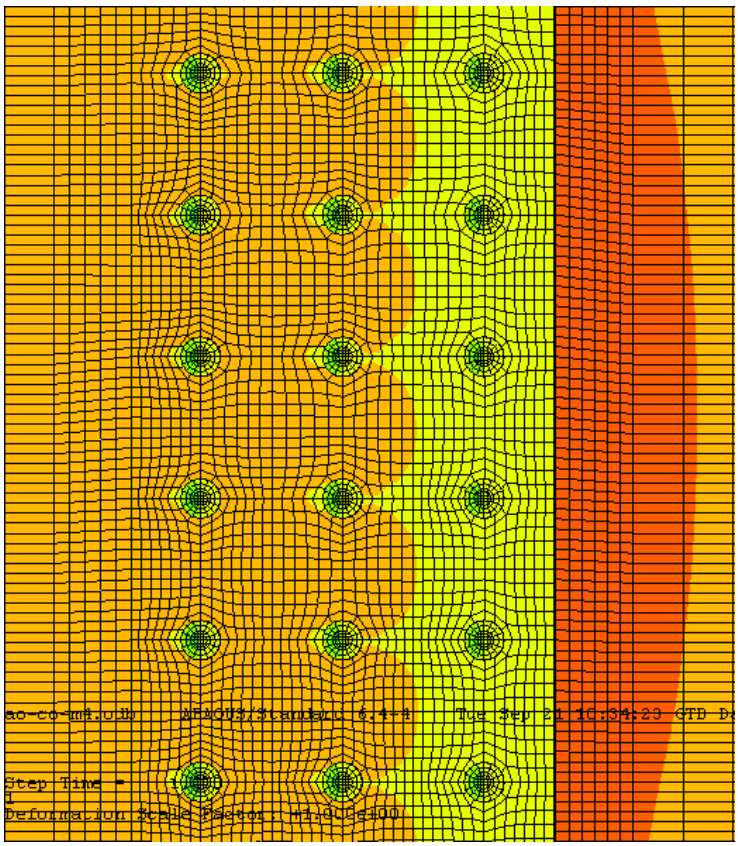
Şekil 4.11: Elastik bölgedeki ilk model



Şekil 4.12: Plastik etkilerin göz önüne alındığı ikinci model



Şekil 4.13: Birinci model perçin bağlantıları ağ yapısı ve gerilmeler



Şekil 4.14: İkinci model perçin bağlantıları ağ yapısı ve gerilmeler

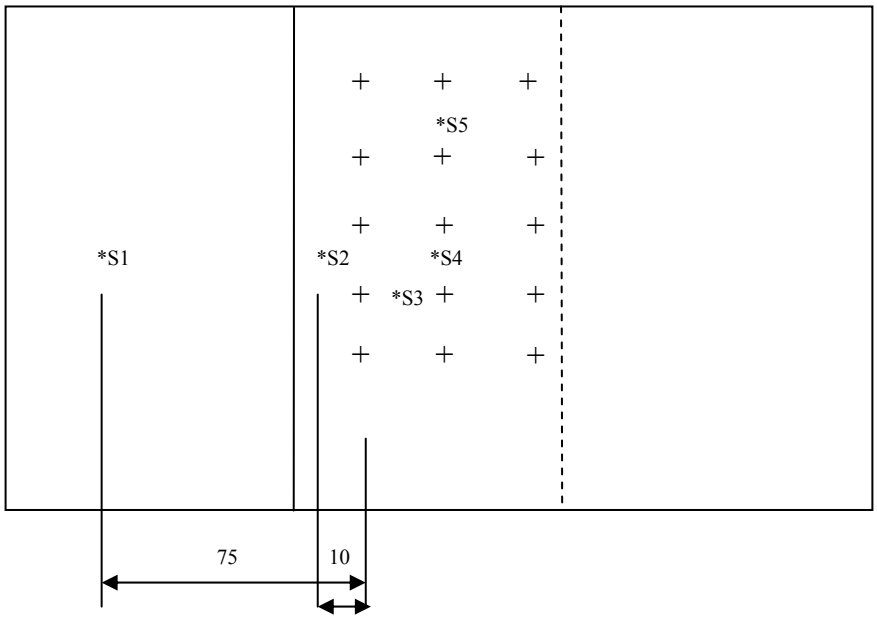
4.2.3 Modelin Yüklenmesi

Analizden önceki son işlem olarak yine ABAQUS programı kullanılarak iki model üzerine statik yüklemeler yapılmıştır. Punta kaynağı modelinde olduğu gibi, modelin sol kenarı sabit mesnetlenmiş ve sağ kenarına dışa doğru çekme yönünde 100 MPa değerinde bir basınç yani 100 MPa * 170 mm * 3.2 mm = 54400 N'luk bir yayılı yük uygulanmıştır.

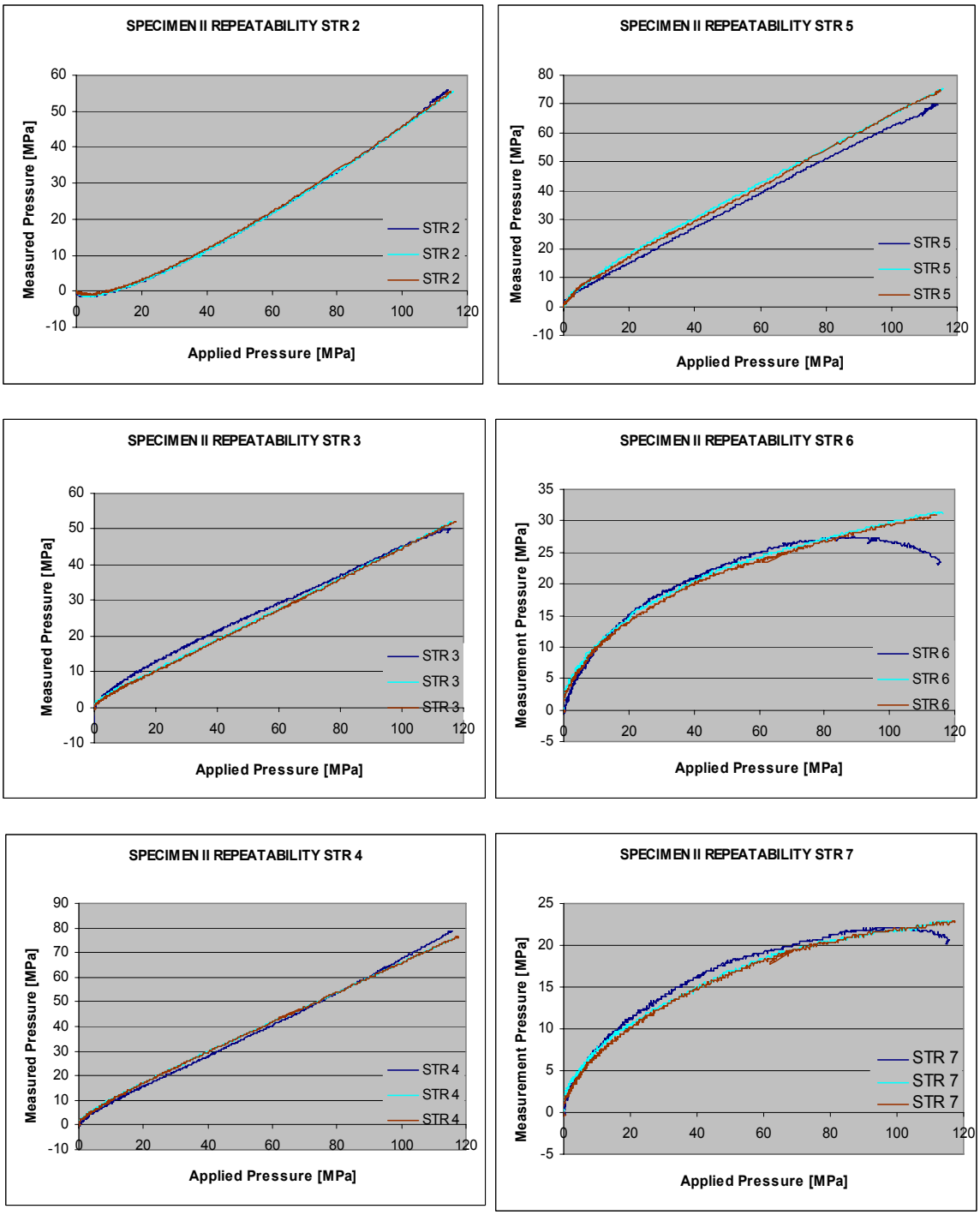
4.1.4 Modelin Analizi

Model analizi yine ABAQUS programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı parça için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla [10] karşılaştırılmış ve Tablo 4.1'deki tablo elde edilmiştir.

Aynı parçaya ait üretilen deney parçasının üzerine sekiz adet strain-gage yerleştirilmiş ve sürekli artan bir statik kuvvet uygulanarak çeşitli aralıklarla ölçüm alınmıştır. Strain-gagelerin yerleşimi Şekil 4.14'de gösterilmektedir. Strain-gageler yardımıyla aynı şekilde perçin bağlantısı yapılan parçaya ait deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'de gösterilmektedir [9].



Şekil 4.15: Yapılan deneyde strain-gagelerin yerleşimi



Şekil 4.16: Yapılan deneyle elde edilen sonuçlar

Tablo 4.1: Deney Sonucu ile FEM Analizinin Karşılaştırılması

SONUÇLAR			
STRAIN-GAGE NO	ELASTİK BÖLGEDE FEM SONUCU [MPa]	DENEY SONUCU [MPa]	PLASTİK BÖLGEDE FEM SONUCU [MPa]
2	49.076	46.298	53.522
3	39.510	44.508	33.393
4	57.032	66.050	38.503
5	52.197	53.855	38.945
6	26.268	26.627	13.145
7	22.972	22.121	12.780

Deneylerden ve analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizle elde edilen sonuçların, deney sonucunda elde edilen sonuçlara çok yakın ve tutarlı değerler olduğu görülmektedir. Karşılaşılan tek büyük uçurum 4 numaralı strain-gageden alınan ölçümde görülmektedir. Bunun nedeni ise bu strain-gage'in diğerlerine göre perçin deliğine daha yakın yerleştirilmesi nedeniyle daha yüksek gerilme ölçümleri alması gösterilmiştir [10].

Yapılan deney sonucu ile plastik bölgedeki sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuç karşılaştırıldığı takdirde, perçin bağlantılarında plastik deformasyonun olduğu varsayımına dayanan sonul eleman analizinde elde edilen gerilme değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Fakat deneyen elde edilen sonuçlarda da görülebileceği gibi perçin bağlantılarında plastik deformasyon olmamaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında ele alınan bazı problemlere ait çözümler ve bu çözümlere sonucunda ulaşılan verilen değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Literatürde verilen punta kaynağı modelleme yöntemlerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlardan yararlanılmış ve elastik kiriş ve rijit kiriş yöntemlerinin gerçeğe göre dayanım değerlerinin daha düşük çıkması nedeniyle, gerçeğe en yakın punta kaynağı modelleme yöntemi olarak şemsiye punta kaynağı modelinin seçilmesi ve kullanılması uygun bulunmuştur.

Kullanılan bu model üzerinde yapılan analiz sonucunda kaynaklı bağlantıdaki puntaların yer değiştirme miktarları 0.6 mm olarak bulunmuştur. Bu değer daha önce literatürde yapılan çalışmalardan elde edilen değerlerle uyumludur. Elde edilen maksimum gerilme değeri 163 MPa olarak bulunmuştur. Bu değer atılan puntaların merkezlerine denk düşmektedir. Yani modeller üzerinde en yüksek gerilme değerlerine tanımlanan şemsiye punta kaynağı modelinde merkezlerin birleştiği rijit eleman üzerinde rastlanmaktadır.

Aynı model kullanılarak modellenen perçin bağlantıda ise takviyesiz perçin bağlantı modeli kullanılmış ve hesaplamalar hem perçin bağlantısında plastik şekil değişimi olması varsayımı hem de şekil değişimlerinin sadece elastik bölgede olduğu varsayımı göz önüne alınarak yapılmıştır. Perçin bağlantılarını modellemek için kiriş modeli ve tabaka modeli yaklaşımları kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar sonucunda elde edilen sonuçlarda tabaka modelinin sonlu eleman analizi ile daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sonuçlar gerilme değerleri arttıkça ve gerilme yığılma faktörü büyüdükçe gerçeğe daha çok yakınsamaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen perçin bağlantısında elde edilen sonuçlar ve daha önceki çalışmada elde edilen deney sonuçları karşılaştırıldığında strain-gage'lerden elde edilen veriler ile sonlu eleman analizinden elde edilen verilen birbiriyle oldukça yakın olduğu görülmektedir. Tek fark 4 numaralı strain-gage'den elde edilen sonuçta görülmektedir. Bunun nedeni ise 4 numaralı strain-gage'in perçin deliğine çok yakın yerleştirilmesidir.

Yine aynı değerler göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede sonlu eleman analizi yöntemiyle ABAQUS programı şekil değiştirmelerin elastik bölgede olduğu yaklaşımıyla bulunan sonucun daha önceki çalışmada yapılan deneylerden elde edilen sonuç ile çok tutarlı olduğu görülmektedir. Yalnız plastik şekil değişimini olduğu varsayımına dayanana sonuçtaki gerilme değerleri deney sonucuna göre oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu durumda perçin bağlantısında plastik şekil değişimi olmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak elde edilen gerilme değerlerine bakıldığında perçin bağlantısında daha düşük dayanım değerlerine ulaşılmasına rağmen daha homojen gerilmeler elde edilmektedir. Punta kaynağı bağlantısında ise daha yüksek gerilme değerlerine ulaşılabildiği halde punta noktalarında lokal olarak yüksek gerilmelere rastlanmıştır.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada tamamen bağlantıların mukavemet değerleri karşılaştırılmış ve bir sonuca varılmaya çalışılmıştır. Yalnız bağlantıların maliyet karşılaştırılması yapılmamıştır. Perçin bağlantısı için özel perçin makinası gerekmektedir. Ayrıca bağlantıyı yapabilmek için kalifiye elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Punta kaynağında ise daha basit ve daha az maliyetli bir tabanca yetebilmektedir. Ayrıca kalifiye elemana ihtiyaç duyulmamaktadır. Tüm bu bilgilerin ışığında ayrı bir çalışmada maliyet analizinin üzerinde durulabilir.

Ayrıca punta kaynağı için sonlu eleman analizi yöntemiyle yapılan çalışma aynı modelin imalatı ile deneysel olarak da yapılıp, sonuçların birebir karşılaştırılması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Dinçer, S., Kepenek, D. A., Aşureciler, B., Duran, E. T., Çınar, A. ve Muğan, A.,** 2004. A comparative study on the finite element models for spot welds and their verification

[2] **Erhan, E., Muğan, A., Usta, M., Ahmed, S.,** 2004. Secondary bending analysis of aircraft fuselage joints

[3] **Birch, R. S. ve Alves, M.,** 1999. Dynamic failure of structural joint systems, *Thin-Walled Structures*, **36**, 137-154

[4] **Chang, B., Shi, Y., Dong, S.,** 1997. Comparetive studies on stresses in weld-bonded, spot welded and adhesive-bonded joints, *Journal of Materials Processing Technology*, **87**, 230-236

[5] **Vural, M.,** MAK-351 İmal Usulleri kaynak ve birleştirme teknolojisi ders notları

[6] **Akkurt, M.,** 1997. Makina Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[7] **Çakır, A.,** 1984. Bağlama Elemanları, İTÜ Yayınevi, İstanbul.

[8] **Öztepe, H.,** 1997. Teknik Resim II, İstanbul

[9] **Çakır, A., Baykara, C.,** 1999. Makina elemanları konstrüksiyonunda mukavemet, İTÜ Yayınları, İstanbul

[10] **Müller, R. P. G.,** 1995. An experimental and analytical investigation on the fatique behaviour of fuselage riveted lap joints, Delft University of Technology, Netherland.

[11] **Cope, D. A., Lacy, T. E.,** 2004. Modeling mechanical fasteners in single-shear lap joints, *Journal of Aircraft*, **41**, 1491-1497

[12] **Peterson, R. E.,** 1966. Stress concentration design factor, John Wiley Sons Inc., New York.

[13] **Gourd, L. M.,** 1995. Principles of welding technology, Edward Arnold, London

[14] **Laughner, V. H., Hargan, A. D.,** 1956. Fastening and Joning of Metal Parts, McGraw Hill Book Company Inc, New York.

[15] **Althose, A. D., Turnquist, C. H., Bowditch W. A., Bowditch K. E.,** 1997. Modern Welding. The Goodhearth-Willcox Company, Illinois.

[16] **Monahan, C. C.,** 1995. Early Fatigue Crack Growth at Welds, Computational Mechanics Publications, Boston.

ÖZGEÇMİŞ

Merve Eda Durdu 1982 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Atikali İlkokulu'ndan, ortaöğrenimini Fatih Kız Lisesi'nde tamamladı. Kabataş Lisesi'nden 1999 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl İ.T.Ü. Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek öğrenim hayatına başladı. 2003 yılında aynı fakülteden mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilimdalı Malzeme ve İmalat Bölümü'nde Yüksek Lisansına başlamıştır. 2004 yılından başlayarak, Entek Pnömatik San. ve Tic. Ltd. şirketinde Proje ve Satış Mühendisi olarak çalışmaktadır.