

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SANDVIÇ KİRİŞLERİN BATMA YÜKLERİNİN SAYISAL OLARAK
BELİRLENMESİ**

**Samaredin İSHFAQ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ARALIK 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SANDVIÇ KİRİŞLERİN BATMA YÜKLERİNİN SAYISAL OLARAK
BELİRLENMESİ**

**Samaredin İSHFAQ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ARALIK 2020

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SANDVIÇ KİRİŞLERİN BATMA YÜKLERİNİN SAYISAL OLARAK
BELİRLENMESİ**

Samaredin İSHFAQ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 04/12/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Prof. Dr. Mehmet Emin KARA

Doç. Dr. Okan ÖZCAN

ÖZET

SANDVIÇ KİRİŞLERİN BATMA YÜKLERİNİN SAYISAL OLARAK BELİRLENMESİ

Samaredin İSHFAQ

Yüksek Lisans, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Aralık 2020; 33 sayfa

Bu çalışmada, metal yüzlü ve köpük çekirdekli sandviç kirişlerin yarı-statik tekil yükler altında ön-batma yüklerinin incelemesi üzerine çalışılmıştır. Literatürde mevcut olan deney sonuçları ve analitik sonuçlar nonlineer bir sayısal model geliştirilerek elde edilen ön-batma yükleri mevcut çalışmada elde edilmiş olan sayısal model ile ön-batma yüküne yakın bir sonuç elde edileceğini göstermektedir.

Ansys paket programı sonlu eleman modellerini oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Modelin yapım aşamaları bu çalışmanın içinde ileriki çalışmalarda kullanılabileceği düşünüldüğünden dolayı ayrıntılı bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır. Sonlu eleman modelleri vasıtası ile elde edilmiş olan sayısal sonuçlar bu tezde mevcut olan deneysel neticeler ile karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Batma, İndentasyon, Metal Yüz, Sandviç Kirişler

JÜRİ: Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Prof. Dr. Mehmet Emin KARA

Doç. Dr. Okan ÖZCAN

ABSTRACT

NUMERICAL DETERMINATION OF INDENTATION LOADS SANDWICH BEAMS

Samaredin İSHFAQ

MSc Thesis in Department of civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

December 2020; 33 pages

In this study, the investigation of pre-indentation loads of metal faced and foam cored sandwich beams under quasi-static concentrated loads was studied. Experimental and analytical results available in the literature show that the pre-indentation loads obtained by developing a nonlinear numerical model will give a result close to the pre-indentation load in numerical model obtained in the present study.

Ansys program is used to create finite element models. Since it is thought that the construction stages of the model can be used in future studies, it has been tried to be explained in details. The numerical results obtained through finite element models are presented comparatively with the experimental results available in the thesis. The numerical models results which is compared it is close enough to the pre-indentation load for pre-design purposes.

KEYWORDS: Indentation Finite Element Method, pre-indentation, Sandwich beam.

COMMITTEE: Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Prof. Dr. Mehmet Emin KARA

Assoc. Prof. Dr. Okan ÖZCAN

ÖNSÖZ

Yüksek lisans süresi boyunca yardım ve desteğini esirgemeyen, “COVID19”ün getirdiği zorlu şartlara rağmen bana yardım eden danışmanım Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ’ a,

Eğitim hayatım boyunca beni destekleyen sevgili aileme,

Teşekkür ederim



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Sandviç panellerin alt ve üst yüzeylerini oluşturan kaplama malzemeleri	1
1.2. Sandviç panellerin orta bölümlerini oluşturan malzemeler.....	1
1.3. Sandviç panellerin avantajları	2
1.4. Sandviç panellerin dezavantajları.....	2
2. KAYNAK TARAMASI	3
3. MATERYAL VE METOT	5
3.1. Sonlu Elemanlar Modeli.....	5
3.1.1. Köpük çekirdek(XPS) malzemesi.....	5
3.1.2. Dış yüzler.....	6
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	7
4.1. Doğrusal Sayısal Model	7
4.1.1. Yapı modelleme.....	7
4.1.2. Eleman özelliklerinin tanımlanması	9
4.1.3. Malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	10
4.1.4. Köpük çekirdek (XPS) için yüzey tanımlanması.....	11
4.1.5. Dış yüzeyin tanımlanması.....	12
4.1.6. Modelin oluşturulması ve yardımcı çizgilerin ataması.....	13
4.1.7. Beam elemanın modelde tanımlanması	13
4.1.8. Beam elemanın mesh yapılması	14
4.1.9. Köpük çekirdek(XPS) elemanın model üzerine tanımlanması.....	15
4.1.10. Köpük çekirdek(XPS) elemanın mesh yapılması	16
4.1.11. Sınır şartlarının tanımlanması.....	17
4.1.12. Yük tanımlanması.....	19

4.1.13. Ansys APDL’ ile nonlinear analiz yapılması	19
4.1.14. Ansys APDL modeli ile elde edilen neticeler.....	22
4.2. Model Grubu-1	24
4.3. Model Grubu-2	25
4.4. Model Grubu-3	26
4.5. Model Grubu-4	27
4.6. Model Grubu-5	28
4.7. Model Grubu-6	29
5. SONUÇLAR	31
6. KAYNAKLAR	32
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Lifli Kompozit Sandviç Kirişlerin Batma Yüklerinin Sayısal olarak Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

04/12/2020

Samaredin İSHFAQ

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

I	: Atalet momenti
b_f	: Batma plakası genişliği
ε	: Birim şekil değiştirme
P_{B-S-I}	: Bart-Smith (1945) analitik batma yükü
P_{C-T}	: Cagdas – Taskin (2018) analitik batma yükü
c	: Çekirdek malzemesinin kalınlığı
b_c	: Çekirdek malzemesinin genişliği
X_C	: Çekirdek malzemesinin basınç dayanımı
L_c	: Çekirdeğin uzunluğu
P_{deney}	: Deney yükü
dk	: Dakika
δ	: Delta
$\delta_{ort,deney}$ ortalaması	: Deney sonucu elde edilen maksimum deplasman değerlerinin ortalaması
E	: Elastisite modülü
δ_b	: Eğilme deformasyonu
σ	: Gerilme
l	: Kiriş uzunluğu
$P_{köpük}$	: Köpük çekirdeğin taşıyabileceği yük
A	: Kesit alanı
G	: Kayma modülü
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
S	: Kayma dayanımı

V	: Kesme kuvveti
δ	: Kayma deformasyonu
γ	: Kayma birim şekil değıştirmesi
τ	: Kayma gerilmesi
$\delta_{sayisal}$	Lineer sayısal modelde elde edilen deplasman değeri
m	: Metre
M	: Moment
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
ms	: Milisaniye
$\delta_{sayisal}$	: Nonlineer sayısal modelde elde edilen deplasman değeri
N	: Newton
P_s	: Ön batma yükü
s	: Saniye
P	: Yük

Kısaltmalar

XPS	: Ekstrüde Polistren Köpük
MDF	: Orta yoğunlukta lif levha

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çatı paneli görseli	1
Şekil 3.1. Nonlineer çözüm ağı.....	5
Şekil 3.2. Batma deney örneği	7
Şekil 4.1. Model 1,2,3 için malzeme katmanları; Cagdas ve Taskin(2018)	8
Şekil 4.2. Yapı modelleme.....	9
Şekil 4.3. Eleman özelliklerinin tanımlanması-1	10
Şekil 4.4. Eleman özelliklerinin tanımlanması-2	11
Şekil 4.5. Malzeme özelliklerinin tanımlanması-1	11
Şekil 4.6. Malzeme özelliklerinin tanımlanması-2	12
Şekil 4.7. Malzeme özelliklerinin tanımlanması-3	12
Şekil 4.8. Köpük çekirdek(XPS) için yüzey tanımlanması.....	13
Şekil 4.9. Dış yüzeyin tanımlanması	13
Şekil 4.10. Modelin oluşturulması ve yardımcı çizgilerin ataması.....	14
Şekil 4.11. Beam elemanın modelde tanımlanması	14
Şekil 4.12. Beam elemanının mesh yapılması-1	15
Şekil 4.13. Beam elemanın mesh yapılması-2	15
Şekil 4.14. Beam elemanın mesh yapılması-3	16
Şekil 4.15. Köpük çekirdek(XPS) elemanın model üzerine tanımlanması-1	16
Şekil 4.16. Köpük çekirdek(XPS) elemanın model üzerine tanımlanması-2	17
Şekil 4.17. Köpük çekirdek(XPS) elemanın mesh yapılması	17
Şekil 4.18. Sınır şartların tanımlanması-1.....	18
Şekil 4.19. Sınır şartların tanımlanması-2.....	18
Şekil 4.20. Sınır şartların tanımlanması-3.....	19
Şekil 4.21. Sınır şartların tanımlanması-4.....	19
Şekil 4.22. Yük tanımlanması	20

Şekil 4.23. Nonlineer malzeme tanımı-1	21
Şekil 4.24. Nonlineer malzeme tanımı-2	22
Şekil 4.25. Nonlineer malzeme tanımı-3	22
Şekil 4.26. Nonlineer malzeme tanımı-4	23
Şekil 4.27. Elde edilen neticeler	24
Şekil 4.28. Elde edilen neticeler	24
Şekil 4.29. Model grubu-1 için sonuçlar; Çağdas ve Taskin (2018)	26
Şekil 4.30. Model grubu-2 için sonuçlar; Çağdas ve Taskin (2018)	27
Şekil 4.31. Model grubu-3 için sonuçlar; Çağdas ve Taskin (2018)	28
Şekil 4.32. Model grubu-4 için sonuçlar; Çağdas ve Taskin ve Ansys	29
Şekil 4.33. Model grubu-5 için sonuçlar; Çağdas ve Taskin (2018)	30
Şekil 4.34. Model grubu-6 için sonuçlar; Çağdas ve Taskin (2018)	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Polistren köpük(XPS) malzemesinin mekanik özellikleri.....	6
Çizelge 4.1. Malzeme eksenin kesin olarak belirlenmesi	20
Çizelge 4.2. Elde edilen neticelerin literatürde bulunan neticeler ile kıyaslanması	25



1. GİRİŞ

Bu çalışmada, katmanlı metal yüzlü ve köpük çekirdekli sandviç kirişlerin batma yüklerinin sayısal olarak belirlenmesi konusunda çalışılmıştır.

İki yüzü özel dayanıklı kaplamalar ile iki yüz arası ise preslenmiş veya petek dolgularla doldurulmuş kompozit malzemelere “sandviç panel” adı verilir. Genel olarak üç katmandan oluşan sandviç panellerin orta bölümleri kompozit malzemenin rijitliğini, yalıtım özelliğini, panel kalınlığını ve diğer mekanik özelliklerinin sağlaması amacıyla tasarlanırken, dış yüzeyler farklı geometrik özellikler, renk ve dokularda üretilir. Sandviç panellerin alt ve üst yüzeylerinde en çok tercih edilen malzeme galvanize boyalı sactır. Orta kısımlarında genel olarak kullanılan malzeme ise yalıtım avantajları nedeniyle poliüretan malzemelerdir. Piyasada bulunabilirliği yüksek olan bu tür paneller cephe ve çatılarda kullanılan panellerdir.



Şekil 1.1. Çatı paneli görseli

1.1. Sandviç panellerin alt ve üst yüzeylerini oluşturan kaplama malzemeleri

- I. Çelik
- II. Alüminyum
- III. Paslanmaz çelik
- IV. Ahşap ve ahşap kökenli levhalar (ahşap yonga levha, çimento bağlayıcı ahşap levha, orta yoğunlukta ahşap lifli levha(MDF))

1.2. Sandviç panellerin orta bölümlerini oluşturan malzemeler

- i. Poliüretan köpük
- ii. Polistren köpük
- iii. Polietilen köpük
- iv. Kâğıt veya metalden yapılmış petek dolgular

1.3. Sandviç panellerin avantajları

- i. Sandviç panellerin orta bölümünün genellikle hafif malzemelerden üretilmesi, yük taşıma kapasitesinin yüksek olmasına rağmen malzemeyi oldukça hafif bir eleman haline getirmektedir.
- ii. Sandviç panellerin fabrikadan montaja hazır bir halde çıkması, hafifliği ve çeşitli boy seçeneklerinin bulunması montajının son derece hızlı yapılmasını sağlamaktadır.
- iii. Panel gövdeleri genel olarak ısı yalıtım malzemeleri ile üretildiğinden yapıların yalıtım ve enerji kaybı sorunlarına çözüm getirmektedir.
- iv. Özellikle mineral dolgu gövdeli panellerin yangın dayanımı yüksektir.
- v. Sandviç panel üretim süreçleri belirli bir kalitede ve yüksek hassasiyette yürütüldüğünden malzeme kaynaklı hataların oluşma olasılığı oldukça düşüktür.
- vi. Teknik detaylarına uygun olarak montajları yapıldığında uzun ömürlü bir malzemedir.
- vii. Onarım ve bakım gerektiğinde ise bu maliyetler düşüktür.

1.4. Sandviç panellerin dezavantajları

- i. Yatırım maliyetleri yüksektir
- ii. Montaj ve üretim süreçlerinde kalifiye eleman ihtiyacı yüksektir.
- iii. Polimer esaslı malzemelerin ısı etkisiyle sünme vb. davranışlar gösterebilmektedir.
- iv. Bağlantı noktalarının gerekli hassasiyet ve aksesuarlar ile donatılmaması yalıtım problemleri yaratabilmektedir.
- v. İç dolgu malzemelerine yangın davranışları değişebilmektedir.
- vi. Dış yüzeyler darbeler veya güneş ışınları ile deforme olabilmektedir.

Bu çalışmada toplam 6 adet sandviç kiriş örneği Ansys paket programını kullanarak sonlu bir eleman modeli oluşturulmuştur. Batmaya neden olacak düzleme dik tekil yükler altında analiz yapılmıştır. Elde edilmiş olan sayısal sonuçlar literatürde mevcut olan deneysel neticeler ile karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

2. KAYNAK TARAMASI

Metal yüzölü sandviç kirişlerin batma(indentasyon) yüklerinin belirlenmesi konusunda yapılan birçok akademik çalışma mevcuttur. En eski çalışmalar, Hetenyi (1946) bu konuyu elastik zemine oturan kiriş problemi olarak ele almış hem dış yüzlerin hem de çekirdek malzemesinin elastik davranış gösterdiğini varsaymıştır. Bu yaklaşım Thomsen (1997), Frostig ve Baruch (1996), Amorim (2011), daha yeni bir çalışmada Navarro vd. (2013), Vlasov'un modelini kullanarak bir elastoplastik elde etmişlerdir.

Triantafillu ve Gibson (1987), yüz katmanlarının katkısını ihmal ederek batma yükünün yaklaşık olarak eşit olduğunu varsaymışlardır. Çekirdeğin basınç dayanımı batma(indentasyon), yükün alanı ile çarpılarak yüzey katmanlarının çok ince olması durumunda olumlu sonuçlar verebilir.

Batma(indentasyon) alanı civarındaki köpük çekirdek(XPS), kısmen plastik bir davranış göstererek yük uygulandıktan sonra kalıcı bir şekil değiştirme söz konusudur. Ashby vd. (2000), plastik limite dayalı analitik bir formül geliştirmişlerdir. Bu analitik ifade Bart-Smith vd. (2001), tarafından basma alanı göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Başka bir kabule göre basma alanı civarındaki köpük çekirdek(XPS), malzemesinin plastik davranış gösterdiğini söylemektedir. (Bart-Smith vd.2001; Ashby vd.2000),

Literatürde batma(indentasyon) ile ilgili birkaç deneysel çalışma da bulunmaktadır. Steeves, Fleck (2004), sandviç kirişler üzerine bir dizi test gerçekleştirdiler. Üç nokta eğilme testini yaparak batma(indentasyon), yükü ile malzemenin mekanik özelliklerinin araştırmalarında analitik çözümleri araştırılarak sonuçlarından doğan malzemenin göçmesinde gösterilen pik sonucu göstermesi açısından başarılı neticeler almışlardır.

Önemli bir deneysel çalışmada Mohan vd. (2007), yürüttü alüminyum yüzey levhalarına sahip sandviç kirişler üzerinde dört noktadan eğilme testleri ve silindir basmaların altındaki yüzey tabakalarının yerel çatlamasının başarısızlığı araştırdı.

Dört noktada eğilme altında sandviç kirişler batma ve çekirdek-kayma başarısızlığın ana nedenleri olarak Zhang vd. (2014) araştırdılar. Zımba şeklinin, yüzey saç kalınlığının ve yükleme yerinin üzerindeki etkileri alüminyumdan yapılmış yüz levhalarına sahip sandviç kirişlerin batma tepkisi altındaki ve yüklenen sandviç kirişlerin batma yüklerinin düz bir zımba, dairesel silindirik bir zımba ile yüklenenlerden daha yüksektir.

Köpük çekirdek (XPS), malzemesinin nispeten plastik davranış göstermesini ele alarak batma (indentasyon), yüklerini yüksek bir hassasiyetle hesaplayan Cagdas ve Tasin (2018), araştırmalarında Ashby vd. (2000), ve Bart-Smith vd.(2001) tarafından geliştirilen analitik ifadeyi dikkate almışlardır.

İndentasyon mevzusunu inceleme amacıyla Nonlineer sonlu elemanlar modelleri kullanılarak da çalışmalar mevcuttur. Shipsha A ve Persson K. (2004), Shipsha A, Hallström S ve Zenkert D. (2003). Sonlu elemanlar analizinde göçme kriterlerinin köpük(XPS), malzemeler için uygun olmaması analizde bir sorun olarak çıkmaktadır. Bu konu Abrate (2008) tarafından araştırılarak göçme anında neler olacağı konusunda

yeterli bilginin olmadığı sonucuna varmıştır. Dolayısıyla analitik ifadelerin ispatlanması için deneysel çalışmalar göz önüne alınmıştır. Nonlineer analiz batma(indentasyon), derinliğini tespit etmek için en iyi yöntemdir. İleride yapılacak olan sayısal yaklaşımlar için bu çalışmada yapılan modellemenin kullanılabileceği düşünülmektedir.

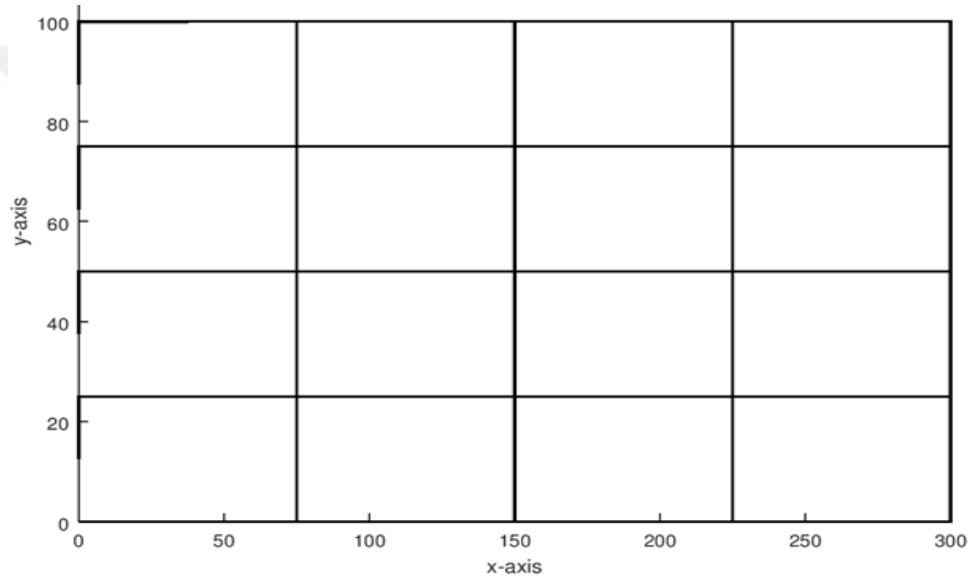


3. MATERYAL VE METOT

3.1. Sonlu Elemanlar Modeli

Ansys APDL programı kullanarak geometrik açıdan nonlinear statik analiz yapılmış Cagdas ve Taskin(2018) tarafından sunulmuş olan deney sonuçları ile sonlu elemanlar modellerinden elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çözüm ağı Şekil 3.1 'de gösterildiği gibi sonlu eleman modelinde 3 düğümlü "Beam 3node 189" kiriş bir eleman ve 8 düğümlü "Shell 3node 281" bir membran eleman kullanılmıştır. Simetri olmasından dolayı üst yüzeyde toplam 4 kiriş eleman kullanılmış Şekil 3.1. 'de gösterilen çözüm ağında sol kenarda sadece düşey deplasmanlar serbest bırakılarak sağ üst köşede ve cisim ile temasta olan alt kenarda bulunan düğümler yatay ve düşey doğrultularda hareketleri tutulmuştur.



Şekil 3.1. Nonlinear çözüm ağı

3.1.1. Köpük çekirdek(XPS) malzemesi

Kullanılan köpük çekirdek (XPS) malzemesinin yoğunluğu 23.4 kg/m^3 olarak Wallborard markalı rijit bir yalıtım malzemesidir. 3 nokta eğilme testleri yaparak Cagdas ve Aliyev tarafından ASTM C393 kuralına uygun olarak sunulmuş deney neticesi olmadığından dolayı $G13 = G23$ olarak alınmıştır. Malzeme özellikleri Çizelge 3.1. 'de mevcuttur.

Çizelge 3.1. polistren köpük(XPS) malzemesinin mekanik özellikleri

Mekanik Özellik	Tanım	Değer
$X_{C,2}^{XPS}$ (MPa)	1 doğrultusunda basınç dayanımı	0.19
$X_{C,1}^{XPS}$ (MPa)	2 doğrultusunda basınç dayanımı	0.11
$X_{C,1}^{XPS}$ (MPa)	3 doğrultusunda basınç dayanımı	0.06
$E1$ (MPa)	1 doğrultusu elastisite modülü	6.33
$E2$ (MPa)	2 doğrultusu elastisite modülü	4.41
$E3$ (MPa)	3 doğrultusu elastisite modülü	2.40
G_{12} (MPa)	1-2 düzlemi için kayma modülü	4.32
G_{23} (MPa)	1-2 düzlemi için kayma modülü	3.31
$\nu_{12}(= \nu_{12} = \nu_{12})$	1-2 düzlemi için Poisson oranı	0.35

3.1.2. Dış yüzler

Dış yüzler 0.5 mm kalınlığında iki çelik sac katman arasında 4 mm kalınlığında bir katman olacak şekilde girilmiştir. Galvanizli sac için bu aşağıda bulunan değerler dikkate alınmıştır.

$$E_{\zeta} = 2 \times 10^5 \text{ MPa}, \quad \sigma_{\zeta} = 120 \text{ MPa}, \quad \nu_{\zeta} = \nu_{\zeta} = 0.3,$$

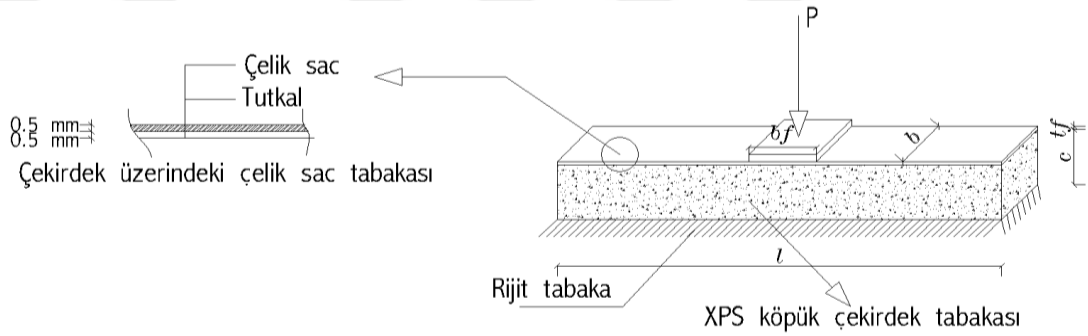
E_{ζ} ve σ_{ζ} değerleri sacın Elastisite modülü ve çekmedeki akma gerilmesi olarak tanımlanmıştır. Mevcut değerler Erdemir firmanın kataloğundan alıntı yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elde edilmiş olan sayısal neticeler Çizelge 4.2.’de mevcut deneysel veriler ve literatürde bulunan analitik neticeler ile kıyaslanarak sunulmuştur.

Köpük çekirdeğinin(XPS) ezilmeden maksimum taşıyabileceği yük $P_{köpük}$ nonlinear ön-indentasyon yükü P_s ve maksimum deplasman $\delta_{sayısal}$ ile gösterilmiştir. P_{deney} Ön-batma yükü olarak Çizelge 4.2. ‘de gösterilmiş ve P_{deney} ‘e tekabül eden maksimum deplasman $\delta_{ort,deney}$ Cagdas ve Taskin (2018)’ca verilmiştir.

Analitik batma yükleri P_{B-S-I} ve P_{C-T} olan Bart-Smith (1945) ve Cagdas ve Taskin (2018)’ca analitik ifadeler sunulmuştur. Bulunan sonuçları mukayese etmek adına Hekim (2018)’ce sunulmuş olan doğrusal model ile analizler yaparak $\delta_{sayısal,lin}$ denilen maksimum lineer deplasman verisi Çizelge 4.2. ‘de mevcuttur.



Şekil 4.1. Model 1,2,3 İçin malzeme katmanları; Cagdas ve Taskin (2018)

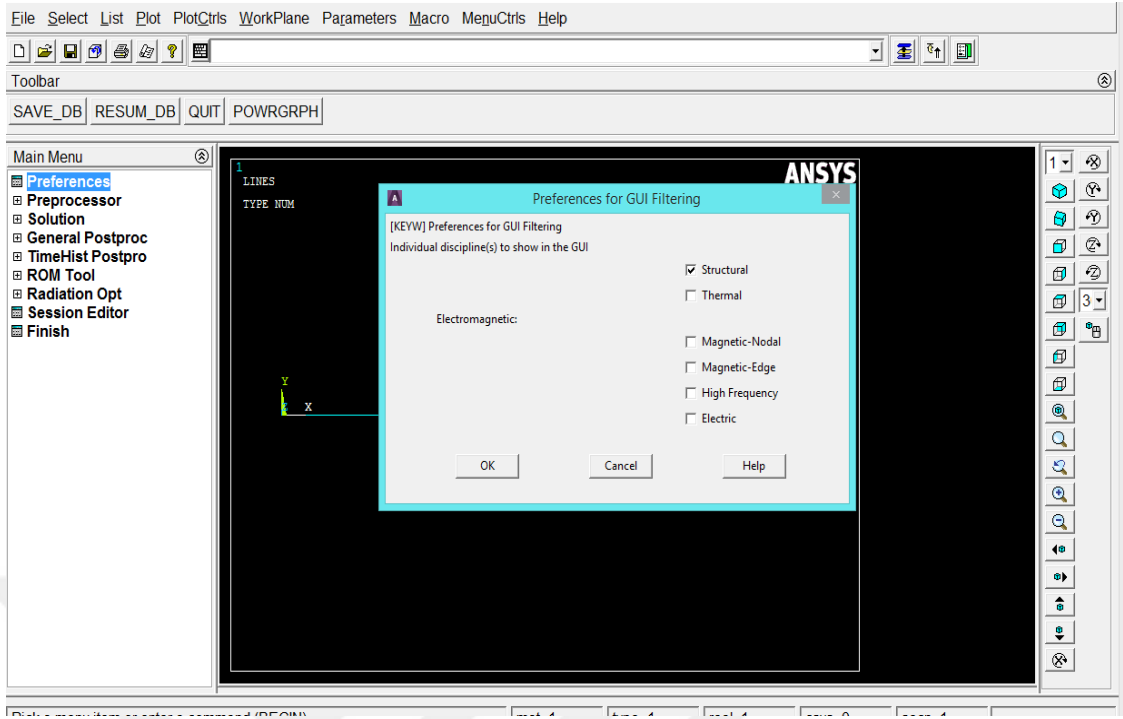
4.1. Doğrusal Sayısal Model

Ansys APDL programı yardımıyla kapsamlı bir çalışma yapmak üzere bir sonlu eleman modeli oluşturularak doğrusal statik analiz yapılmıştır.

Bu çalışmada 2D-bir sonlu eleman modellemeye çalışılmıştır. Model1’e ait tüm modelleme aşamaları daha sonra yapılacak olan çalışmalara ışık tutması açısından ayrıntılı bir şekilde açıklamaya çalışılmıştır.

4.1.1. Yapı modelleme

Ansys “Main Menu” sinden “Preferences” kısmına (sağ tuş) yaparak Şekil 4.2. ‘de gösterilmiş olan “ Preferences For GUI Filtering” penceresinden “Structural” kısmı seçili hale getirilmiştir.

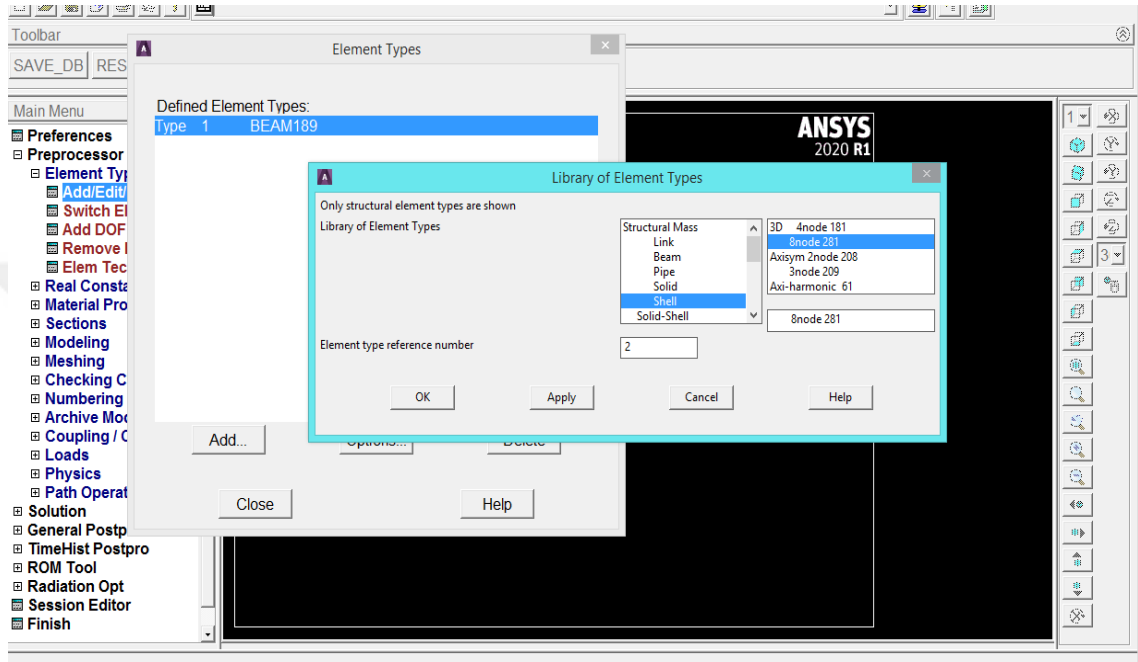


Şekil 4.2. Yapı modelleme

4.1.2. Eleman özelliklerinin tanımlanması

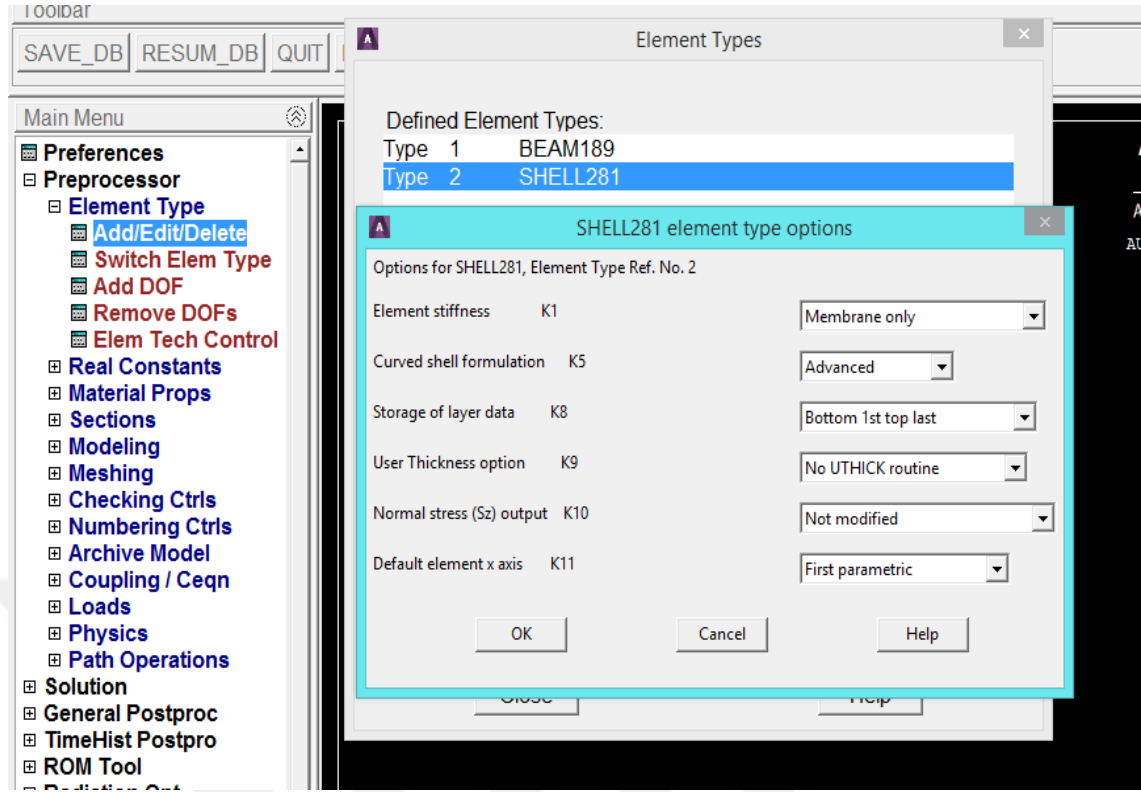
Oluşturulacak olan model iki farklı elemandan oluştuğundan dolayı her bir eleman sırayla aşağıda anlatıldığı gibi tanımlanmıştır.

Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete’ kısmına tıklayarak Şekil 4.3.’de gösterildiği gibi “Element type” penceresi açılır sırayla önce “Beam 3node 189” daha sonra “Shell 8node 281” tanımlanmıştır.



Şekil 4.3. Eleman özelliklerinin tanımlanması -1

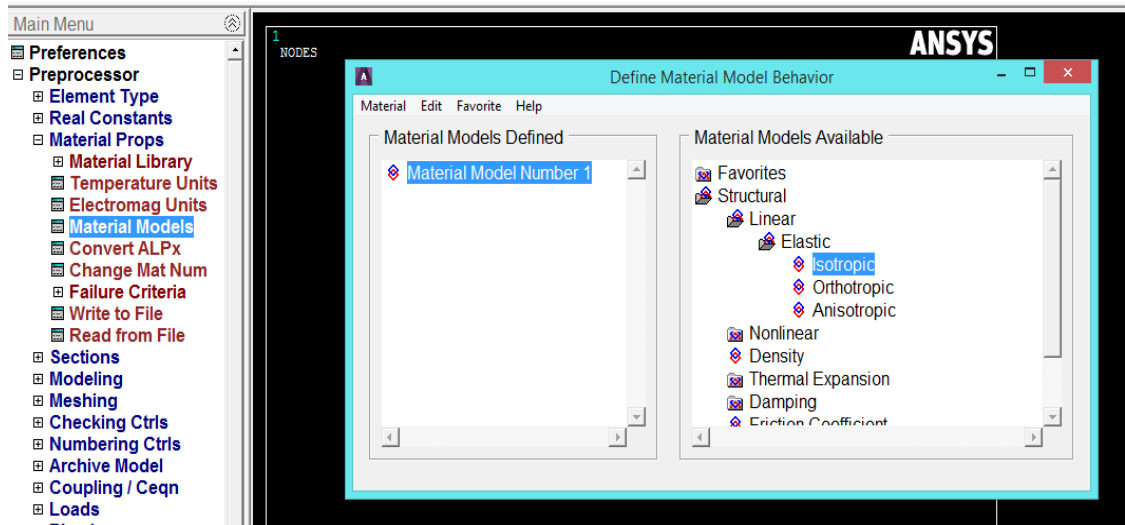
Daha sonra Shell elemanı membran olduğundan dolayı “Element Types” menüsünden “Options” kısmına tıklayarak “Element Stiffness K1 “ kısmı ”Membrane only” olarak değiştirilmiştir, bkz. Şekil 4.4.



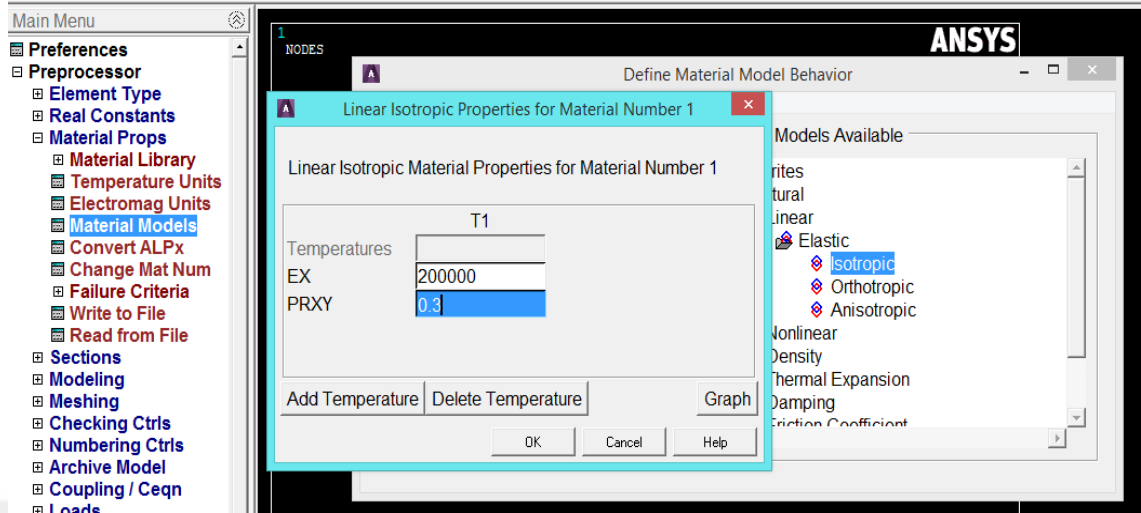
Şekil 4.4. Eleman özelliklerinin tanımlanması -2

4.1.3. Malzeme özelliklerinin tanımlanması

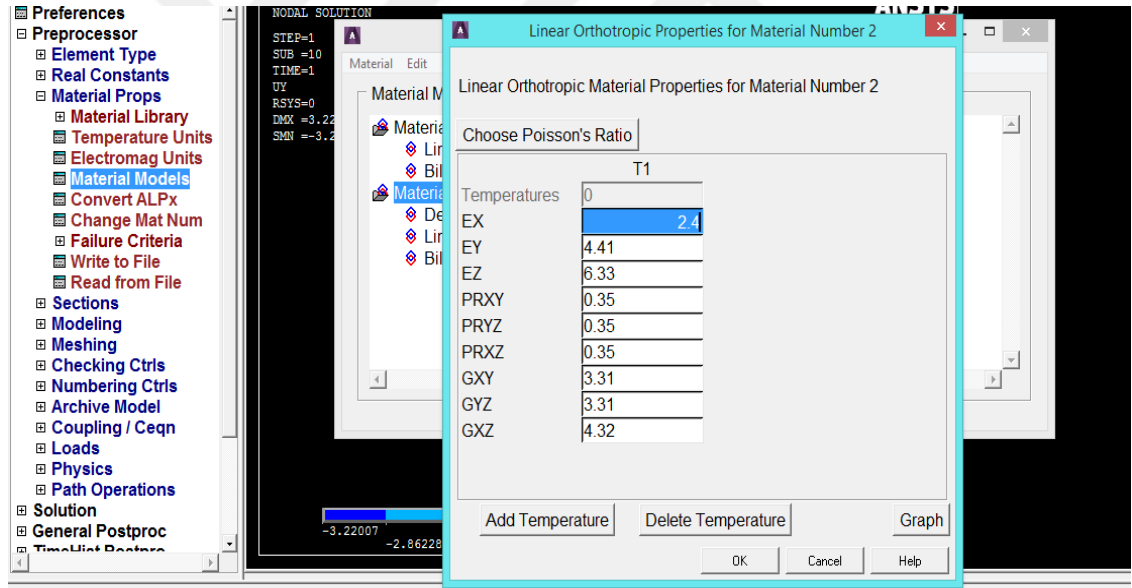
Main Menu' sinden Preprocessor> Material Pros> Material Models' kısmına tıklayarak Şekil 4.4. 'da gösterilmiş olan pencere açılır, açılan pencereden Structural >Linear>Elastic> kısmından “Galvanizli sac” İzotropik ve “Köpük çekirdek”(XPS) ise “Orthotropic” olarak Şekilleri 4.5. '4.6. ve 4.7. de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.



Şekil 4.5. Malzeme özelliklerinin tanımlanması -1



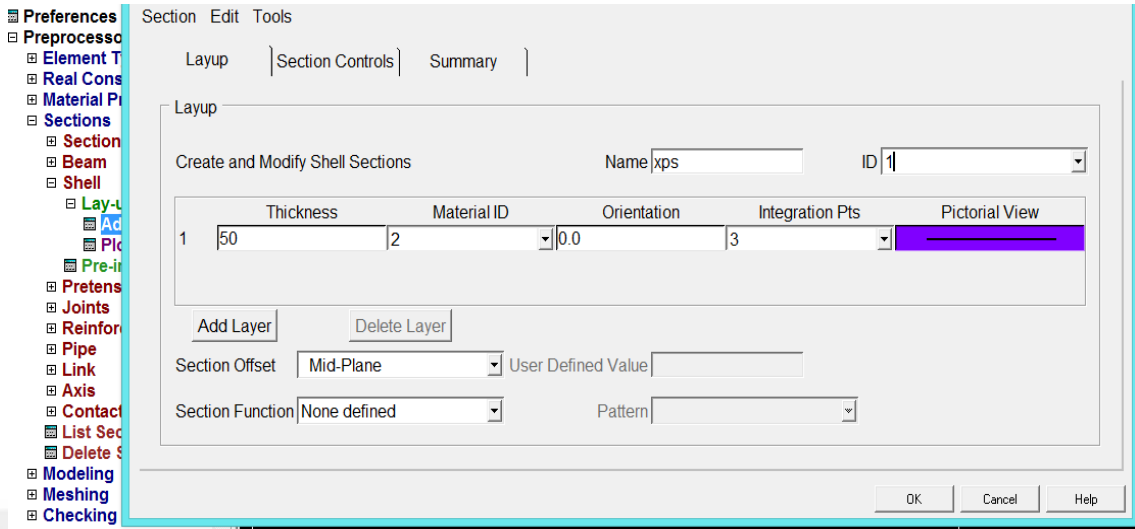
Şekil 4.6. Malzeme özelliklerinin tanımlanması -2



Şekil 4.7. Malzeme özelliklerinin tanımlanması -3

4.1.4. Köpük çekirdek (XPS) için yüzey tanımlaması

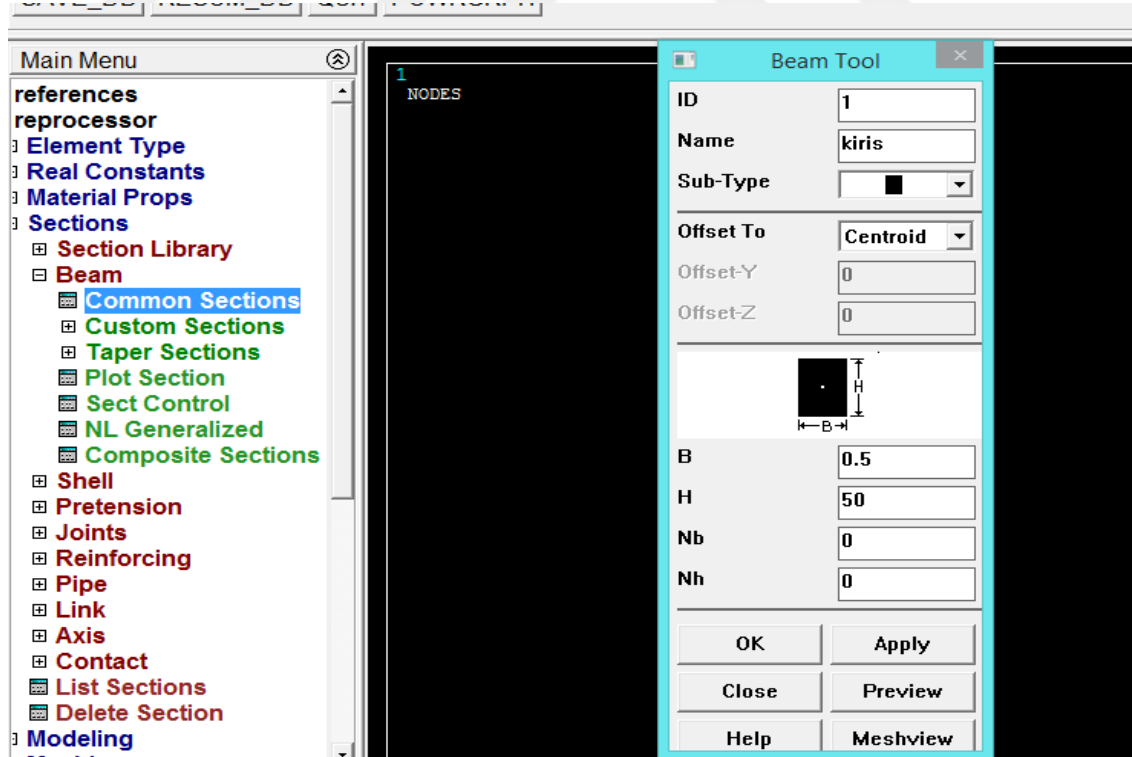
Main Menu>Preferences>Section>Shell>Lay-UP>Add/Edit kısmından Şekil 4.8.'da gösterildiği gibi yüzey tanımlanmıştır. Daha sonra kalınlık değeri "Thickness" girilmiştir. Son olarak "Material ID" kısmı 2 olarak değiştirilmiştir.



Şekil 4.8. Köpük çekirdek(XPS) için yüzey tanımlanması

4.1.5. Dış yüzeyin tanımlaması

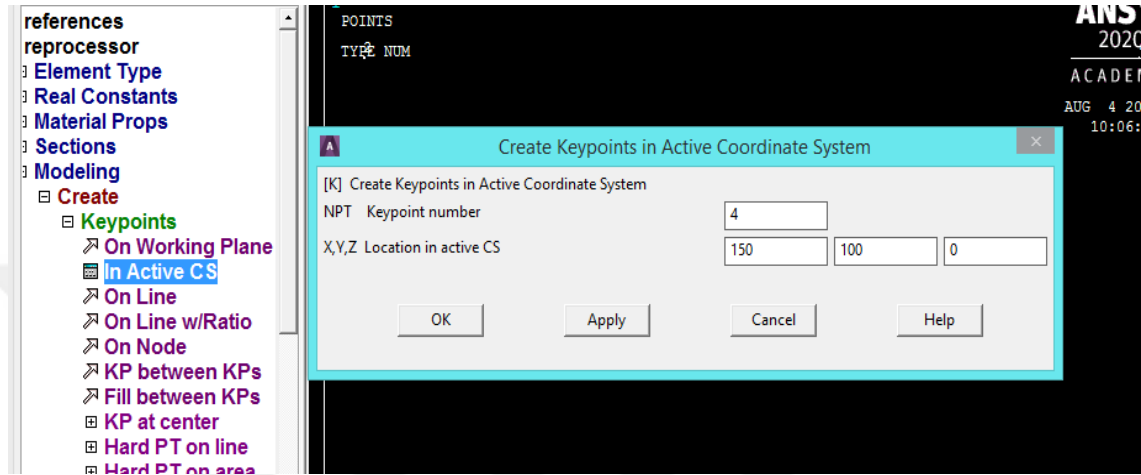
Preprocessor > Section' kısmından Beam> Common Section ' üzerine tıklayarak açılan "Beam tool" menüsünde Şekil 4.9.'de gösterildiği gibi kesit parametreleri tanımlanmıştır.



Şekil 4.9. Dış yüzeyin tanımlanması

4.1.6. Modelin oluşturulması ve yardımcı çizgilerin ataması

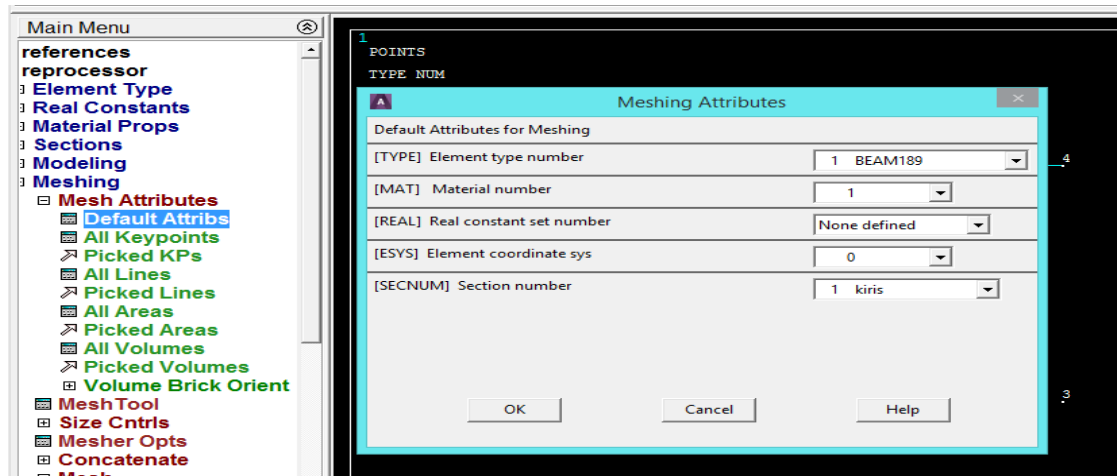
Numune modelin uzunluğu $L = 300\text{mm}$ olan simetriden yararlanarak numune modelin yarısı için model yapılmıştır. Main Menu > Preprocessor>Modeling' bölümünden, Create>Keypoints>In Active CS' üzerine tıklayarak Şekil 4.10.' da gösterildiği gibi ($L = 150\text{ mm}$, X' yönünde, $L = 100\text{mm}$ Y' yönünde, $L = 0\text{mm}$ Z' yönünde) olarak girilmiştir



Şekil 4.10. Modelin oluşturulması ve yardımcı çizgilerin ataması

4.1.7. Beam elemanın modelde tanımlanması

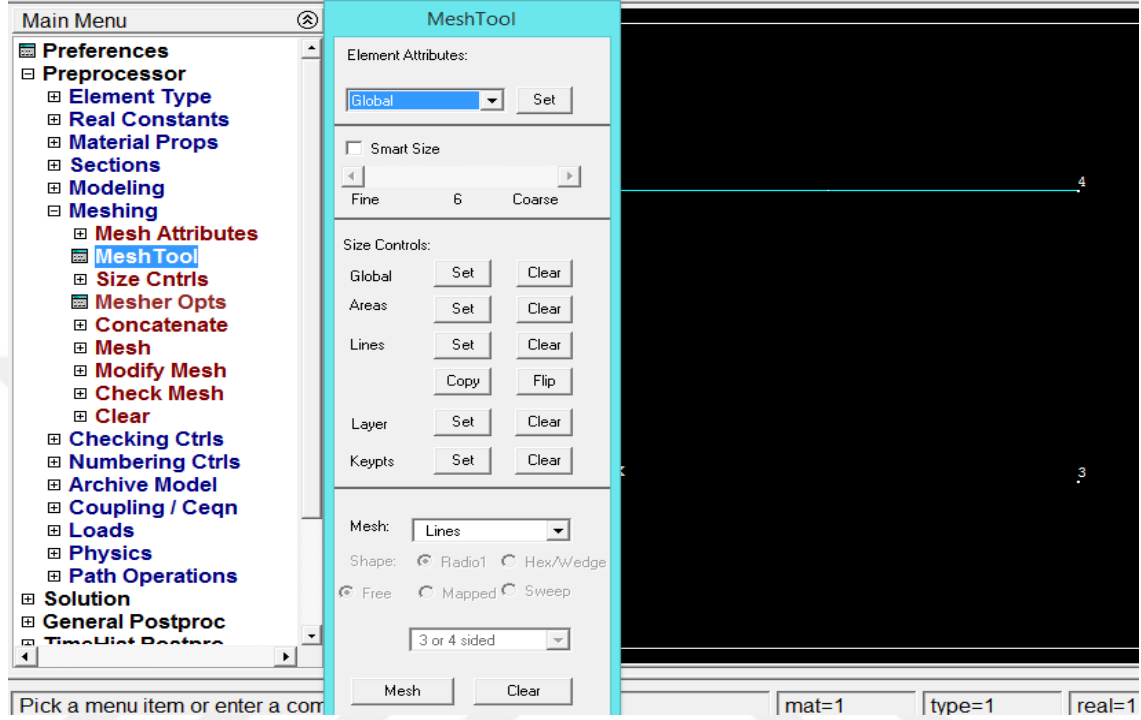
Preprocessor>Modeling>Create' kısmından daha önce tanımlanmış olan iki nokta arasına "Line" tanımlanmıştır. Daha sonra Şekil 4.11.'de gösterildiği gibi eleman üzerine kesit tanımlamak üzere Preprocessor> Meshing> Mesh Attributes> Default Attribs' kısmına tıklayarak açılan "Meshing Attributes" menüsünden Element Type number kısmına "1 BEAM189" Material number kısmına "1" Section number, kısmına ise "1kiris" olarak girilmiştir.



Şekil 4.11. Beam elemanın modelde tanımlanması

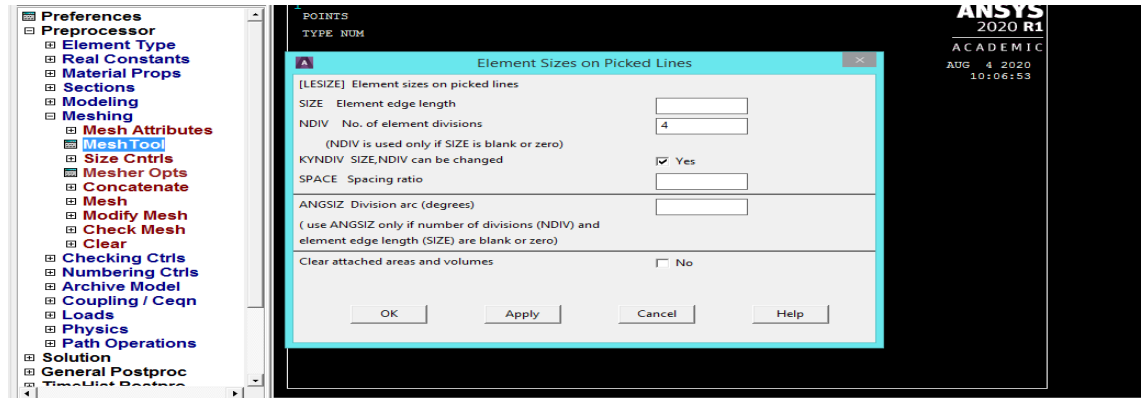
4.1.8. Beam elemanın mesh yapılması

Analiz’de yüksek doruluk sebebi ile 4x4 Mesh tanımlanmıştır. Bu işlemi gerçekleştirmek üzere Preprocessor > Meshing>Mesh Tool’ kısmına tıklayarak Şekil 4.12.’de gösterildiği pencere açılmıştır.



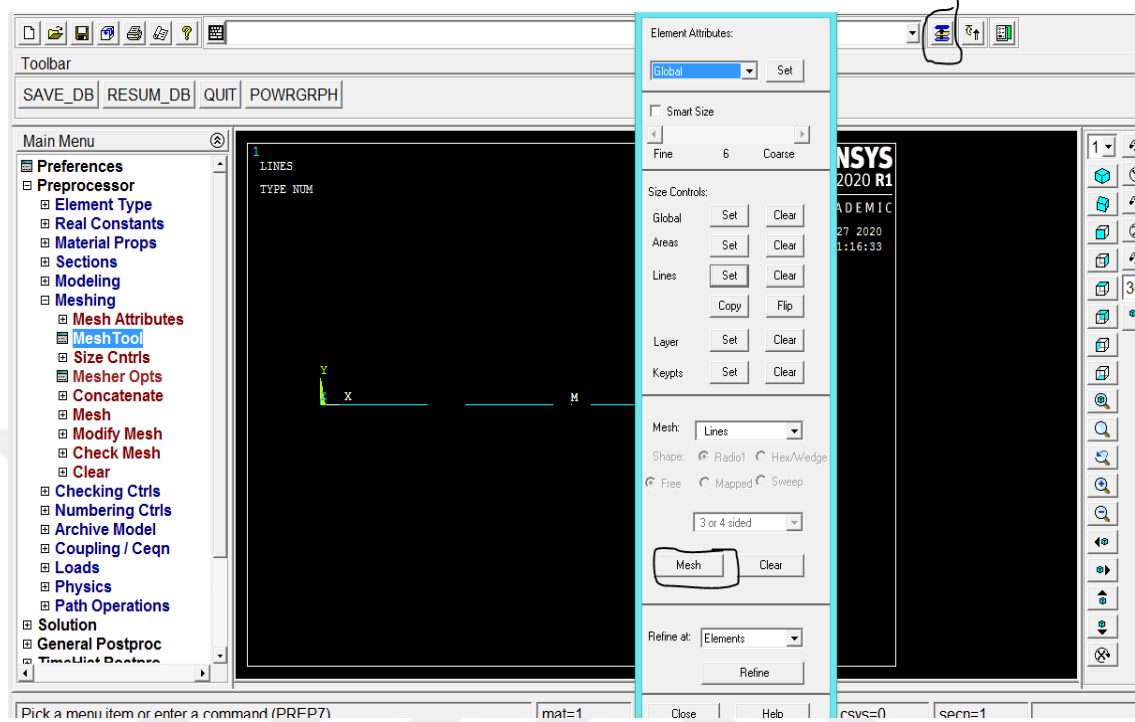
Şekil 4.12. Beam elemanın mesh yapılması -1

Daha sonra açılan pencereden “Size Controls” kısmından “Lines Set” seçili hale getirilerek “Mesh” yapılacak eleman üzerine tıklanmıştır, bkz. Şekil 4.13. Yeni açılan “Element Size On Picked Lines” menüsünden Şekil 4.14.’te gösterilmiş olan “No Of Element Divisions” bölümüne elemanı bölmek istenildiği âdeti girerek “Apply” butonu tıklanmıştır.



Şekil 4.13. Beam elemanın mesh yapılması -2

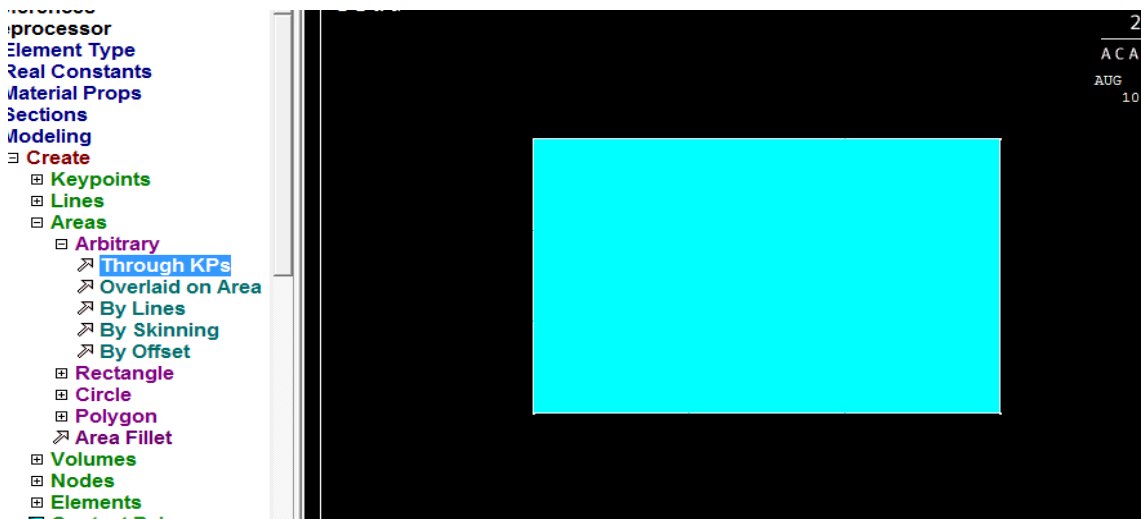
Daha sonra tanımlanmış olan meshi atamak için ekranın sağ üst bölümünde yer alan “Raise Hidden” kısmına tıklanarak “Mesh Tool” penceresinden Mesh butonu tıklanmış ve ilgili eleman seçilerek “Apply” yapılmıştır.



Şekil 4.14. Beam elemanın mesh yapılması -3

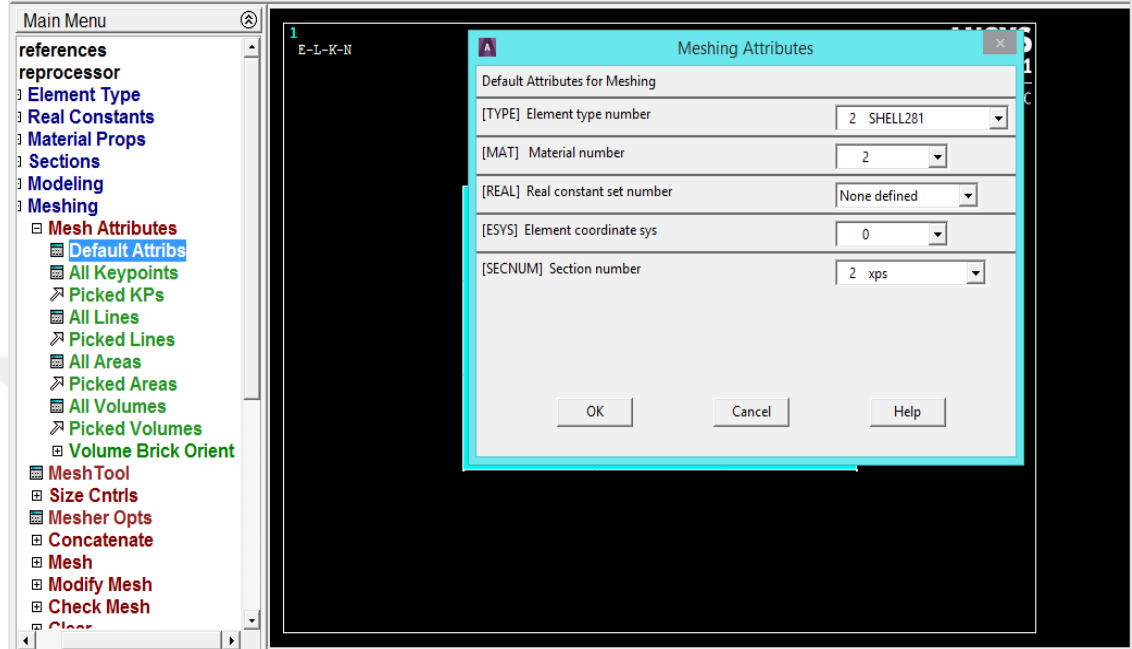
4.1.9. Köpük çekirdek(XPS) elemanın model üzerine tanımlaması

Köpük çekirdek (XPS) yüzey tanımlamak üzere Preprocessor>Modeling>Create> Areas>Arbitrar>Through KPs komutunu kullanarak daha önce tanımlanmış olan noktalar seçilerek yüzey tanımlanmıştır, bkz. Şekil 4.15.



Şekil 4.15. Köpük çekirdek(XPS) elemanın model üzerine tanımlanması -1

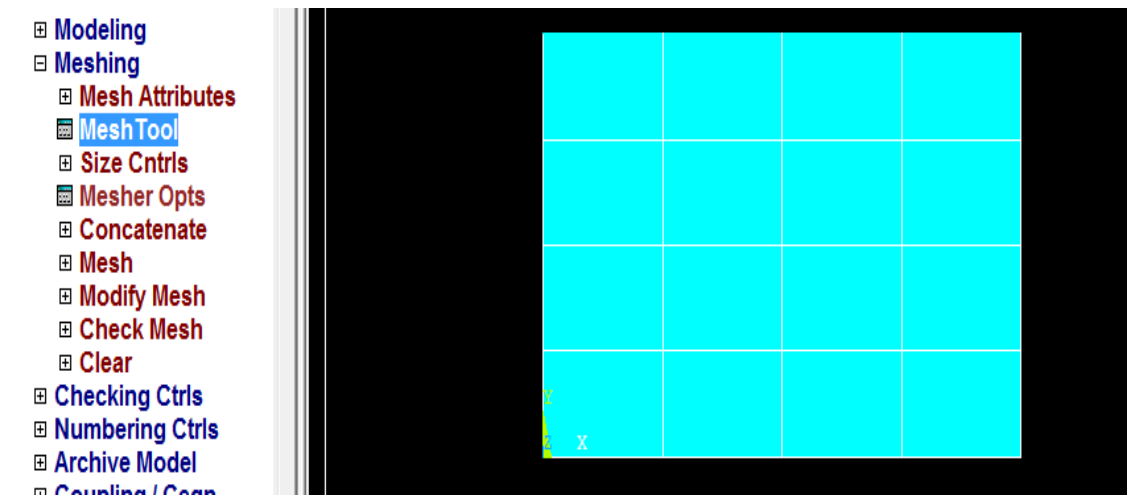
Daha sonra tanımlanmış olan Malzeme ve kesiti modelde tanımlamak için Pprocessor> Meshing>Mesh Attributes> Default Attribs’ kısmına tıklayarak açılan menüden Şekil 4.16.’de gösterildiği gibi “Element Type number” kısmına “2 SHELL281” “Material Number” kısmına 2’ ve “Section Number” kısmı ise 2XPS; olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.16. Köpük çekirdek(XPS) elemanın model üzerine tanımlanması -2

4.1.10. Köpük çekirdek(XPS) elemanın mesh yapılması

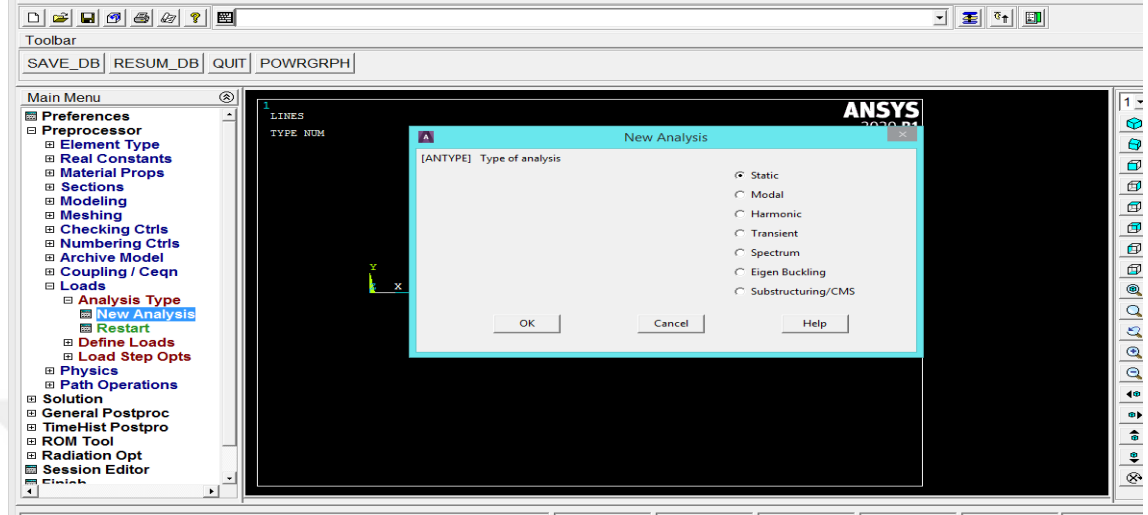
Analizde yüksek doğruluk sebebi ile 4x4 8 düğümlü’ 4.1.8’de anlatıldığı gibi Mesh tanımlanmıştır, bkz. Şekil 4.17.



Şekil 4.17. Köpük çekirdek(XPS) elemanın mesh yapılması

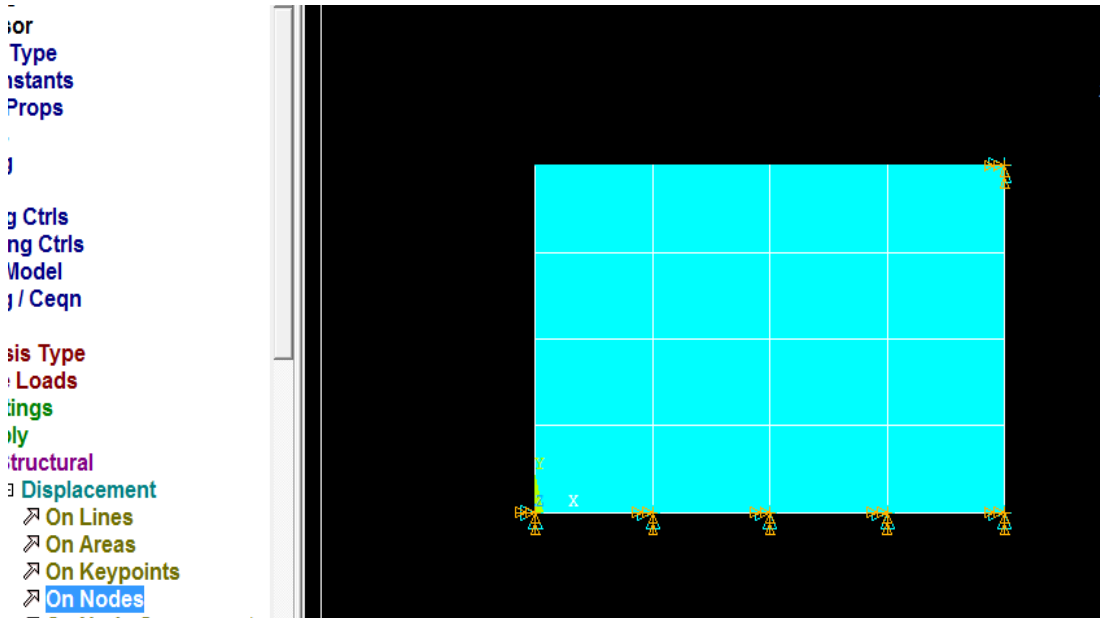
4.1.11. Sınır şartlarının tanımlanması

Sınır şartlarını tanımlamadan önce Preprocessor> Loads kısmından Analysis Type>New Analysis >Type of Analysis “Static” olarak tanımlanmıştır, bkz. Şekil 4.18.

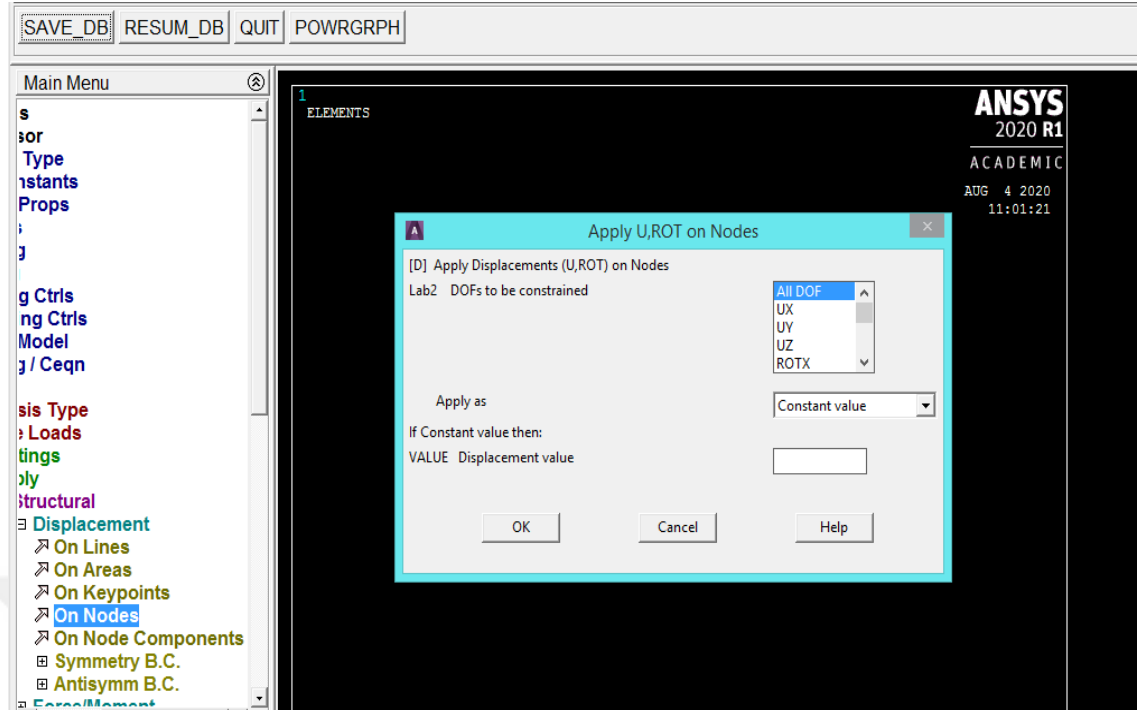


Şekil 4.18. sınır şartlarının tanımlanması -1

Daha sonra “Main Menu> Preprocessor>Loads>Define Loads’a tıklanarak Apply>Structural>Displacement kısmından “ On Nodes” seçilerek mesnet tanımlanacak olan nokta seçilmiştir. Son olarak “Ok” diyerek açılan “Apply U, ROT On KPS” menüsünden sınır şartı girilmiştir, bkz. Şekil 4.19.

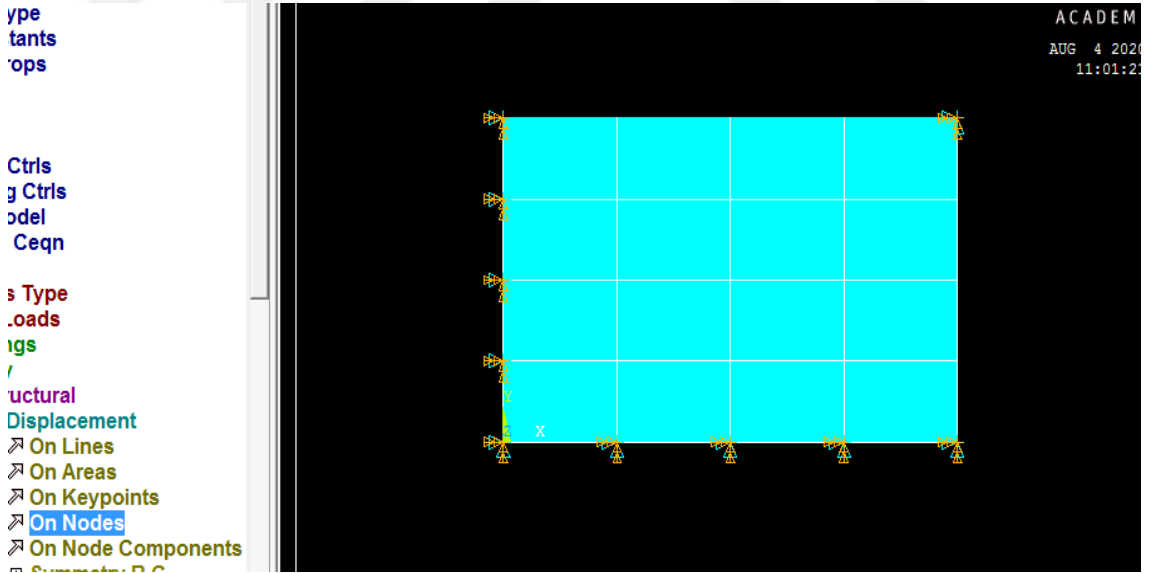


Şekil 4.19. sınır şartlarının tanımlanması -2



Şekil 4.20. sınır şartlarının tanımlanması -3

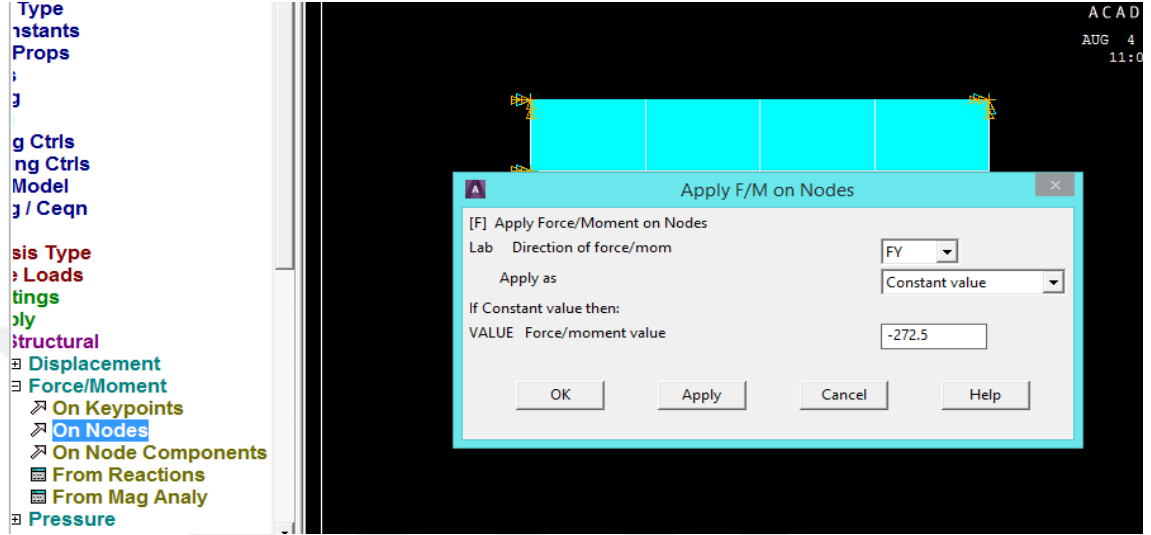
Modelin sağ üst köşesi ve cisimle temasta olan alt kenarı sabit mesnet sol kenarı ise sadece Y’de serbest bırakılmıştır, bkz. Şekil 4.21.



Şekil 4.21. sınır şartlarının tanımlanması -4

4.1.12. Yük tanımlaması

Main Menu> Preprocessor> Loads>Define Loads>Apply>Structural>Force/Moment>On nodes’ kısmında açılan menüde Şekil 4.22.’ te gösterilen “Direction Of Force/Mom” kısmına yükün uygulanacağı yön (Fy), Force/Moment Value kısmına ise uygulanacağı kuvvet (272.5 N) olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.22. Yük tanımlanması

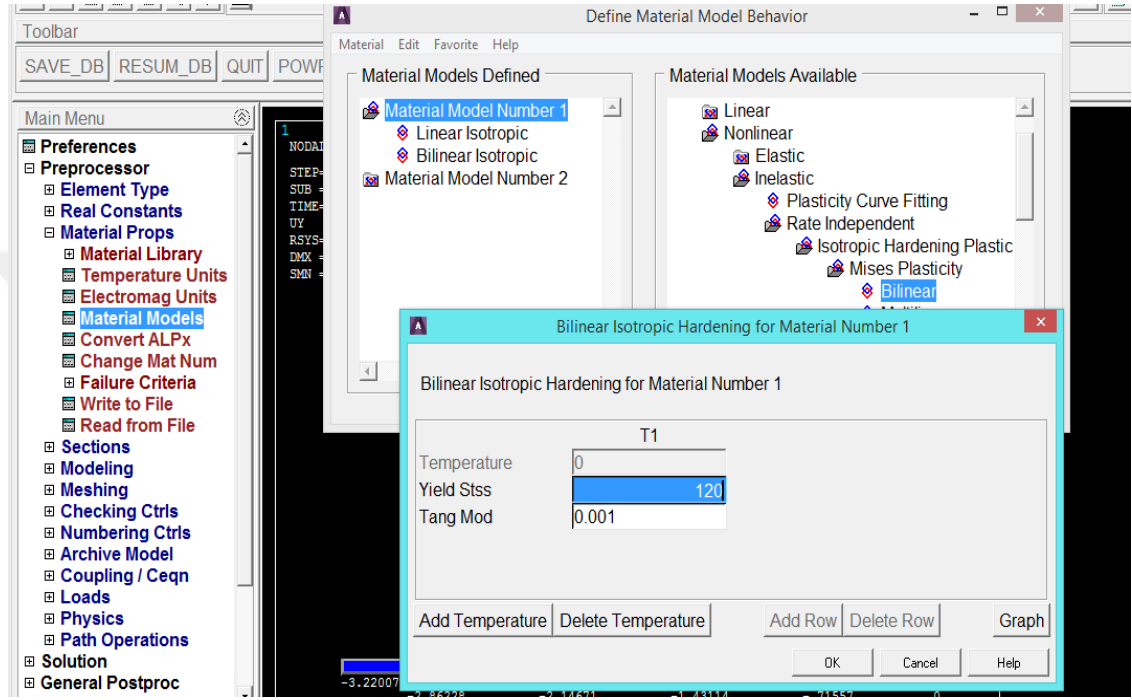
4.1.13. Ansys APDL’ ile nonlinear analiz yapılması

Nonlinear analize geçmeden önce malzeme eksenini kesin olarak belirleyebilmek için Çizelge 4.1.’de izah edilmiş olan 3 problem çözülmüştür.

Problem	E_x	E_y	E_z	δ_{max}
1	10	10	10	7.7
2	5	10	10	13.30
3	10	5	10	8.35

Çizelge 4.1. Malzeme eksenin kesin olarak belirlenmesi

Çizelge 4.1.’den görülebileceği üzere bu problem için malzeme eksen global eksen takımıyla çakışmaktadır. Daha sonra nonlinear malzeme tanımı yapmak üzere Main menu >Preprocessor>Material Models kısmından saç için “Material Model Number1” ve köpük çekirdek için “Material Model Number 2” kısmına tıklayıp Structural>Nonlinear>İnelastic>Rate Independent>İsotropic Hardening Plasticity>Mises plasticity’ kısmından sırayla önce galvanizli saç daha sonra köpük çekirdek(XPS) için nonlinear malzeme tanımı Şekil 4.23.’te gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.23. Nonlinear malzeme tanımı -1

Son olarak Preprocessor>Material Props>Failure Criteria’ kısmından Şekilleri 4.25. ve 4.26. da gösterildiği gibi saç ve XPS için malzeme parametreleri girilmiştir.

Add/Edit Failure Criteria

[FC] Temperature-independent failure criteria for material 1

	X	Y	Z
Strain in Tension	0.0007	0.0007	0.0007
Strain in Compression	-0.0007	-0.0007	-0.0007

	XY	YZ	XZ
Strain in Shear	0.00068	0.00068	0.00068

	X	Y	Z
Stress in Tension	120	120	120
Stress in Compression	-120	-120	-120

	XY	YZ	XZ
Stress in Shear	52.5	52.5	52.5

	XY	YZ	XZ
Stress Coupling Coefficients	-1	-1	-1

OK Cancel Help

Şekil 4.24. Nonlineer malzeme tanımı -2

Add/Edit Failure Criteria

[FC] Temperature-independent failure criteria for material 2

	X	Y	Z
Strain in Tension	0.017	0.043	0.025
Strain in Compression	-0.017	-0.043	-0.025

	XY	YZ	XZ
Strain in Shear	0.023	0.039	0.027

	X	Y	Z
Stress in Tension	0.11	0.19	0.06
Stress in Compression	-0.11	-0.19	-0.06

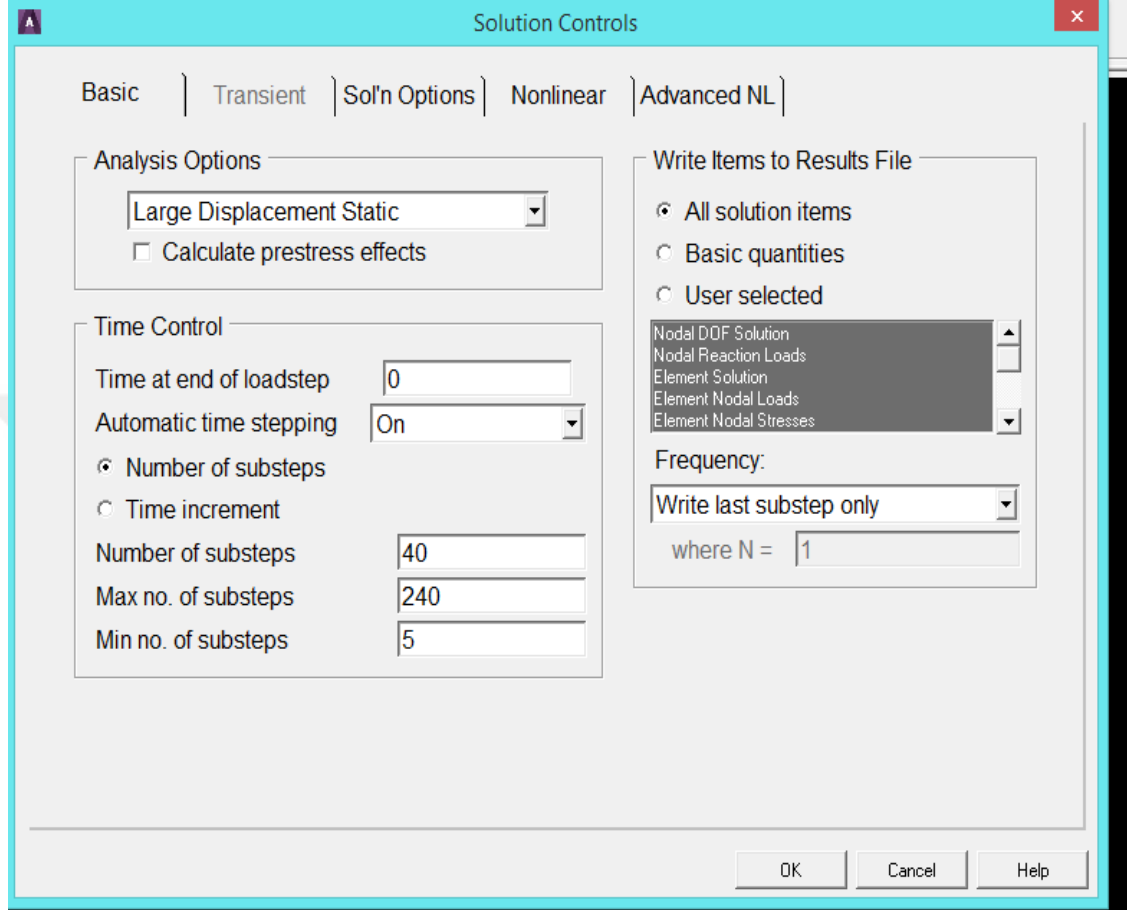
	XY	YZ	XZ
Stress in Shear	0.1	0.13	0.09

	XY	YZ	XZ
Stress Coupling Coefficients	-1	-1	-1

OK Cancel Help

Şekil 4.25. Nonlineer malzeme tanımı -3

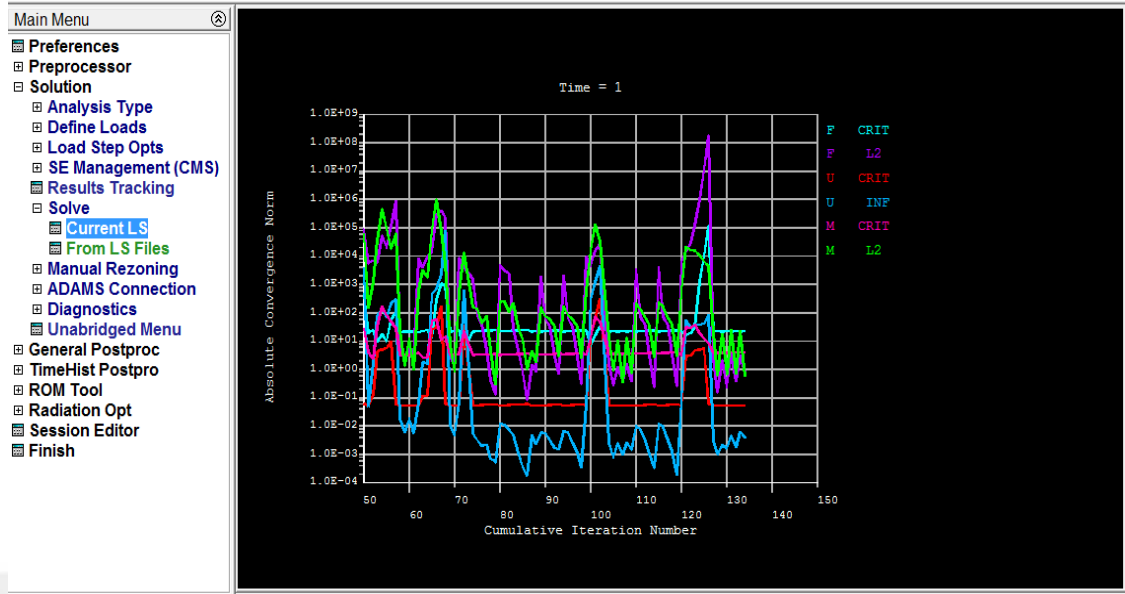
Daha sonra >Preferences>Solution>Analysis Type>Sol'n controls' kısmına tıklayarak Şekil 4.26. de gösterildiği gibi "Analysis Option" kısmı "Large Displacement Static" olarak değiştirip solve komutu ile çözüm yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.2.'de mevcuttur, bkz.



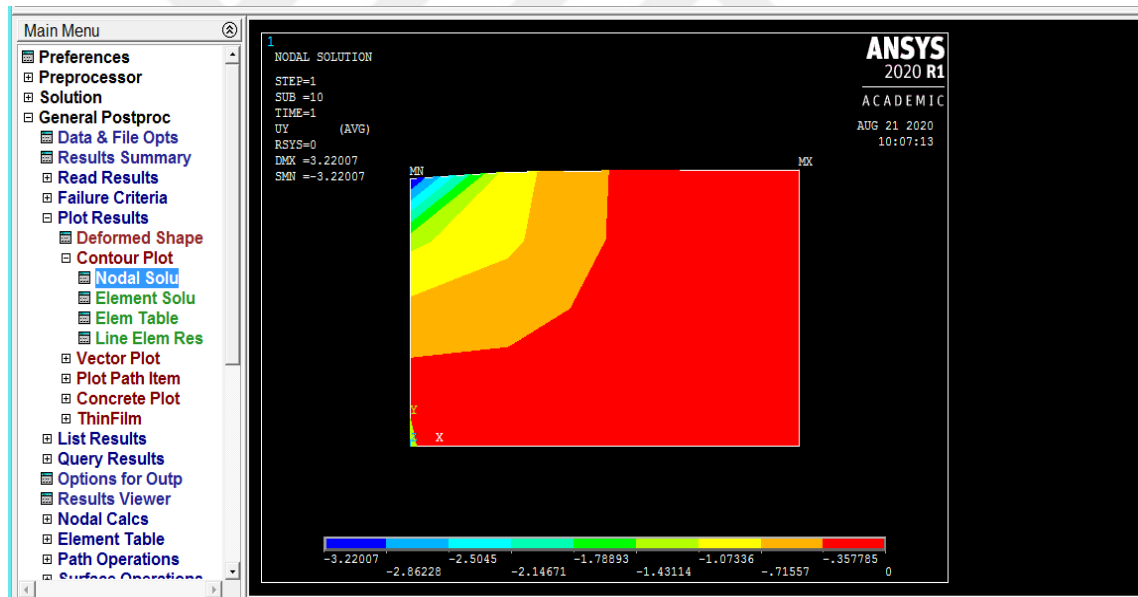
Şekil 4.26. Nonlineer malzeme tanımı -4

4.1.14. Ansys APDL modeli ile elde edilen neticeler

Preferences>Solution>Solve>Current LS' diyerek analiz yapılmıştır, bkz. Şekilleri 4.27. ve 4.28.'de toplam (272.5N) düşey yük altında Şekil 4.29.'dan da görüleceği üzere maksimum deplasman 3.93498mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.27. Elde edilen neticeler



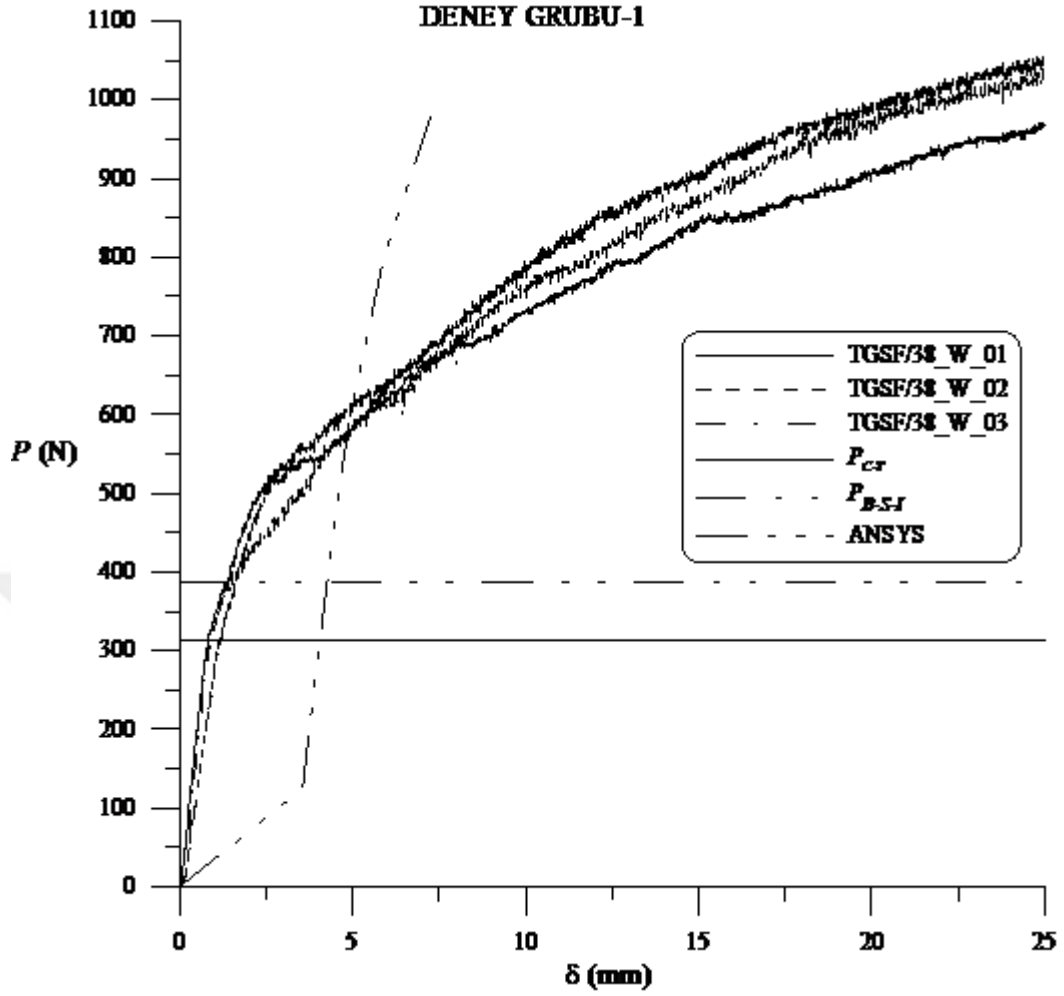
Şekil 4.28. Elde edilen neticeler

Çizelge 4.2. Elde edilen neticelerin literatürde bulunan neticeler ile kıyaslanması

Model Grubu:	1	2	3	4	5	6
Malzeme düzlemi	Zayıf X=3, Y=2	Zayıf X=2, Y=3	Kuvvetli X=3, Y=1	Zayıf X=3, Y=2	Kuvvetli X=2, Y=1	Kuvvetli X=2, Y=1
b_f (mm)	38	25	50	50	50	25
c (mm)	100	50	100	100	100	50
l (mm)	300	240	300	600	600	450
P_{deney} (N)	350~400	250~300	550~600	1000~1100	1500~1600	1100~1200
$\delta_{ort,deney}$ (mm)	3.2	1.5	4.9	2.45	2.38	2.13
P_S (N)	545	300	850	950	1200	900
$\delta_{sayisal}$ (mm)	2.9113	1.7393	2.1360	2.7223	2.3584	2.1372
$\delta_{sayisal,lin}$ (mm)	2.0319	1.4061	2.0238	2.5193	2.3024	2.1247
$\delta_{sayisal}$ ansys non(mm)	3.93498	1.21193	0.850324	1.84038	1.73398	1.91919
P_{C-T} (N)	313.9	242.4	494.5	904.3	1302.0	1064.5
P_{B-S-I} (N)	390.7	319.2	713.8	1366.0	1907.5	1670.0
$P_{köpük}$ (N)	209.0	137.5	475.0	275.0	475.0	237.5

4.2. Model Grubu-1

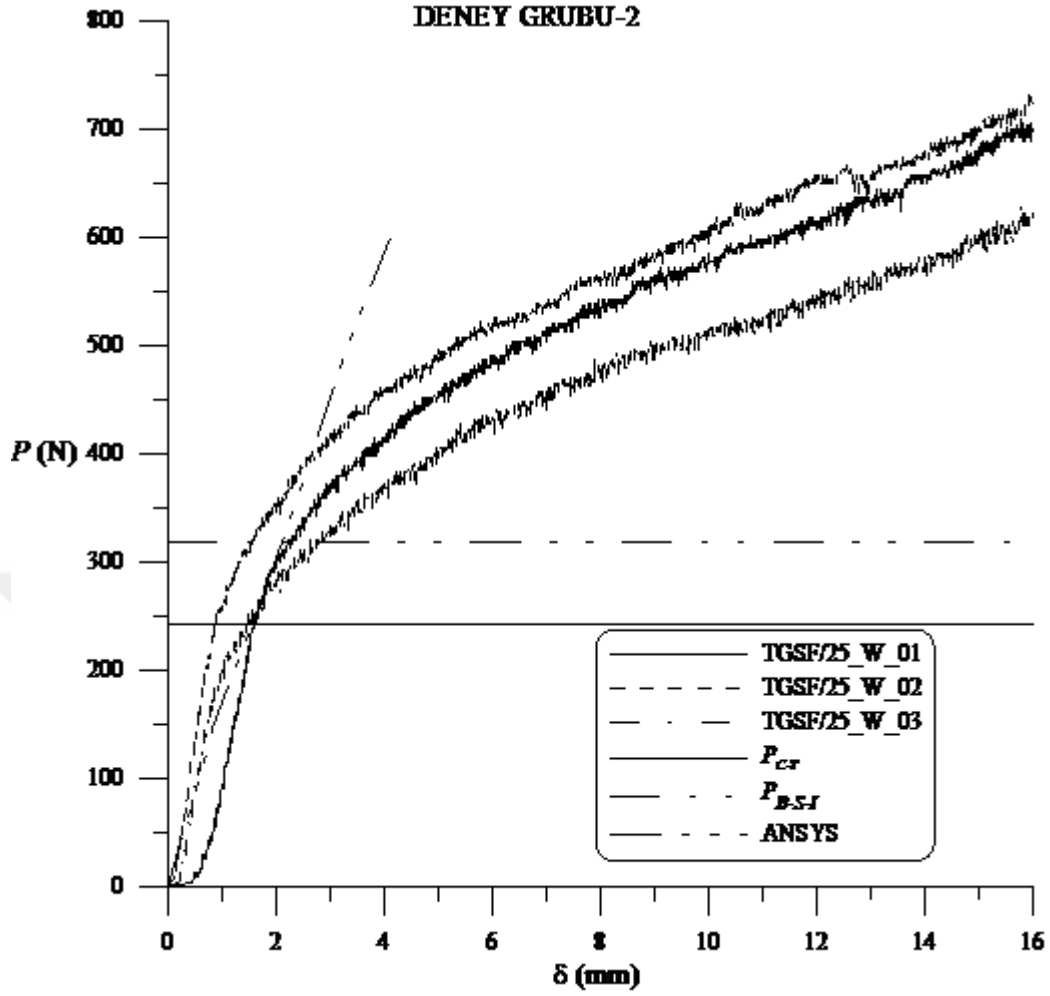
Model-1 için veriler Şekil 4.29. da gösterilmektedir. $P_S=545$ N yük için bulunan Ortalama değer 3.2 mm dir. Ortalama değer sayısal model ile bulunan 3.93mm değerinden yaklaşık %22 düşüktür. Hatanın temel sebebinin kirişteki doğrusalsızlık olduğunu anlayabiliriz. Ayrıca çarpılma(eğiklik) $P_S=545$ N olduğu ve nonlineer bir şekilde artan yükün olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.29. Deney grubu-1 için sonuçlar; Cagdas ve Taskin (2018)

4.3. Model Grubu-2

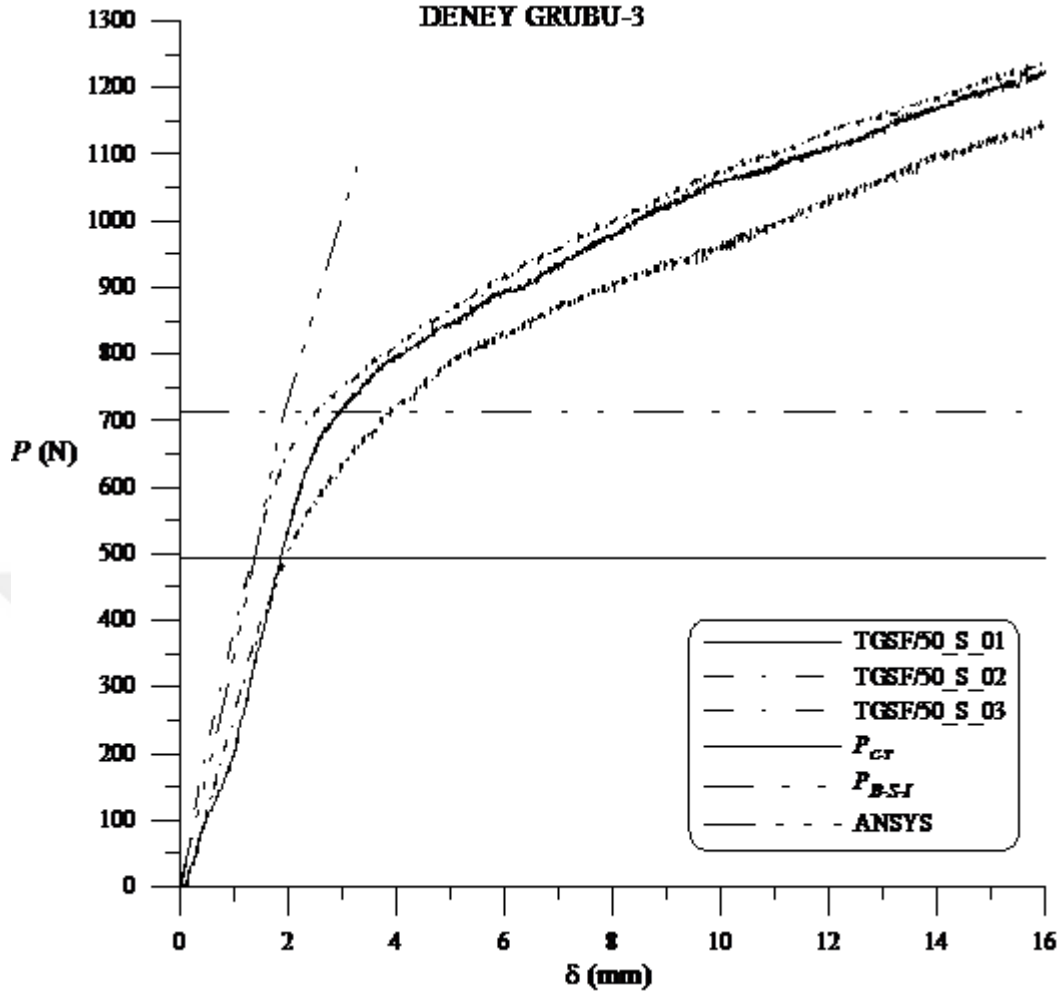
Model 2 grubu için veriler Şekil 4.30. da verilmiştir. Verilen yükler yüksek olduğu için yakınsama problemi ortaya çıkmıştır. $P_s = 300$ N yük için bulunan ortalama değer 1.5 mm dir. Bu değer sayısal model ile bulunan 1.4061 mm değerinden yaklaşık %19 yüksektir. Deneysel çalışma ile sayısal modellemenin sonuçları arasındaki değişkenliğin ana nedeni düşük bir göçme yükünün olması çekirdekte olan hasarların ortaya çıkması olduğu söylenebilir.



Şekil 4.30. Deney grubu-2 için sonuçlar; Cagdas ve Taskin(2018)

4.4. Model Grubu-3

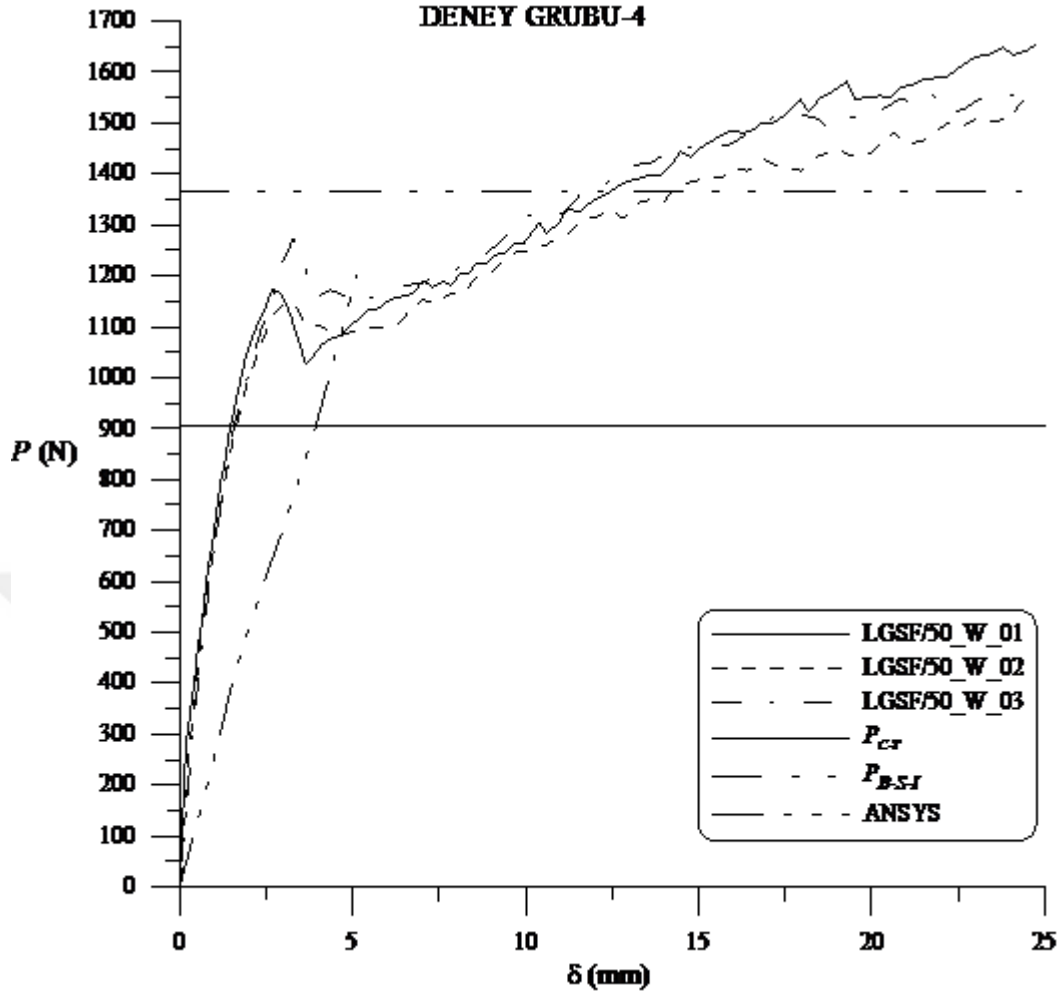
Model-3 için veriler Şekil 4.31 de gösterilmektedir. $P_s = 850$ N yük için bulunan ortalama değer 4.9 mm dir. Sayısal modelden elde edilen 0.85 mm den yaklaşık %82.6 yüksektir. Bu deney grubu için kusurun ana nedeni malzeme ve geometrik bakımından doğrusalsızlık etkilerinin göz ardı edilmeyecek kadar yüksektir.



Şekil 4.31. Deney grubu-3 için sonuçlar; Cagdas ve Taskin(2018)

4.5. Model Grubu-4

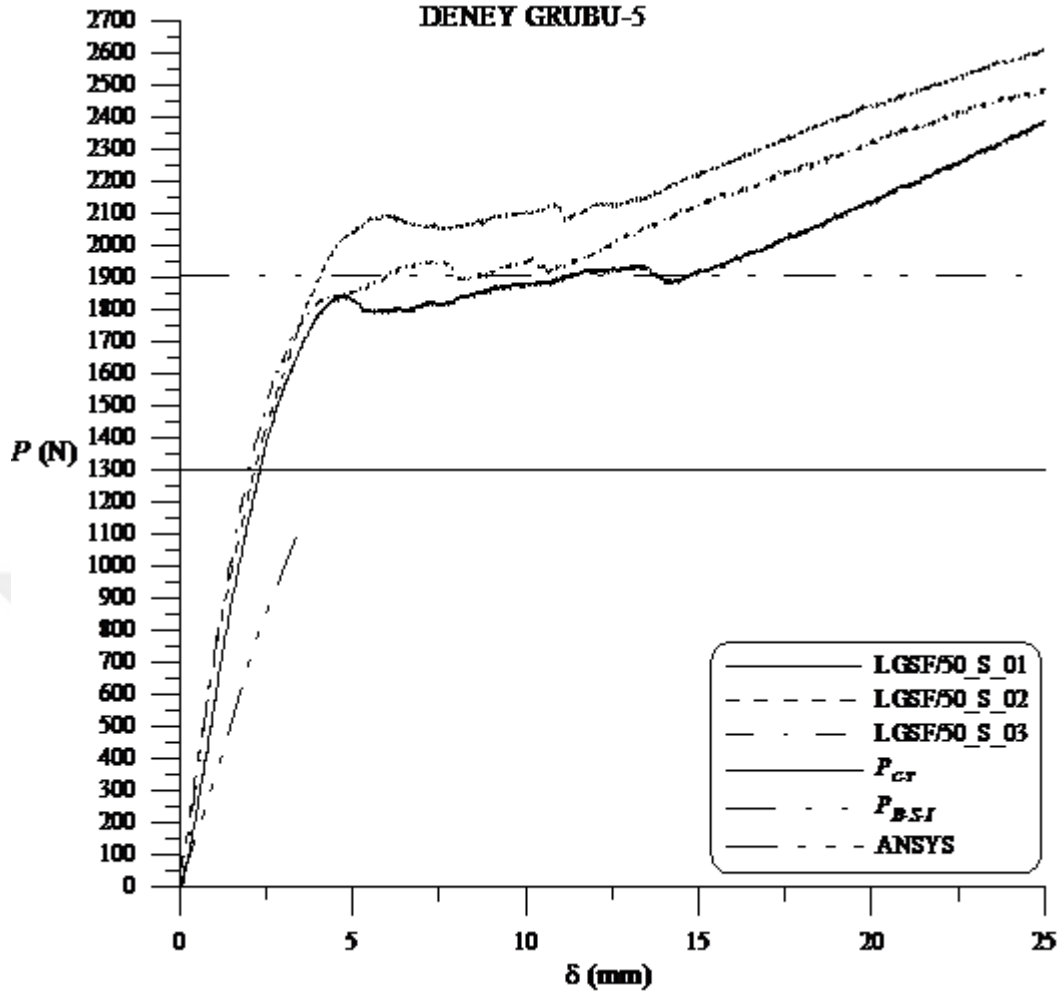
Model-4 için veriler Şekil 4.32 de gösterilmektedir. $P_s = 950$ N yük için bulunan ortalama değer 2.45 mm' dir. Ortalama değer sayısal model ile bulunan 1.84 mm' den yaklaşık %24 yüksektir. P_s değeri analitik batma değeri arasında olup deneysel ön-indentasyon değerine yaklaşık bir değerdir. Sayısal ve deneysel neticelerin arasındaki uyumun ana nedeni katmanlı sandviç kirişlerin eğilme rijitliği katmansız ince yüzlü kirişlere nispeten yüksek olduğundan ötürü deplasmanların düşük olması geometrik doğrusalsızlık tepkilerinin düşmesidir.



Şekil 4.32. Deney grubu-4 için sonuçlar; Cagdas ve Taskin(2018)

4.6. Model Grubu-5

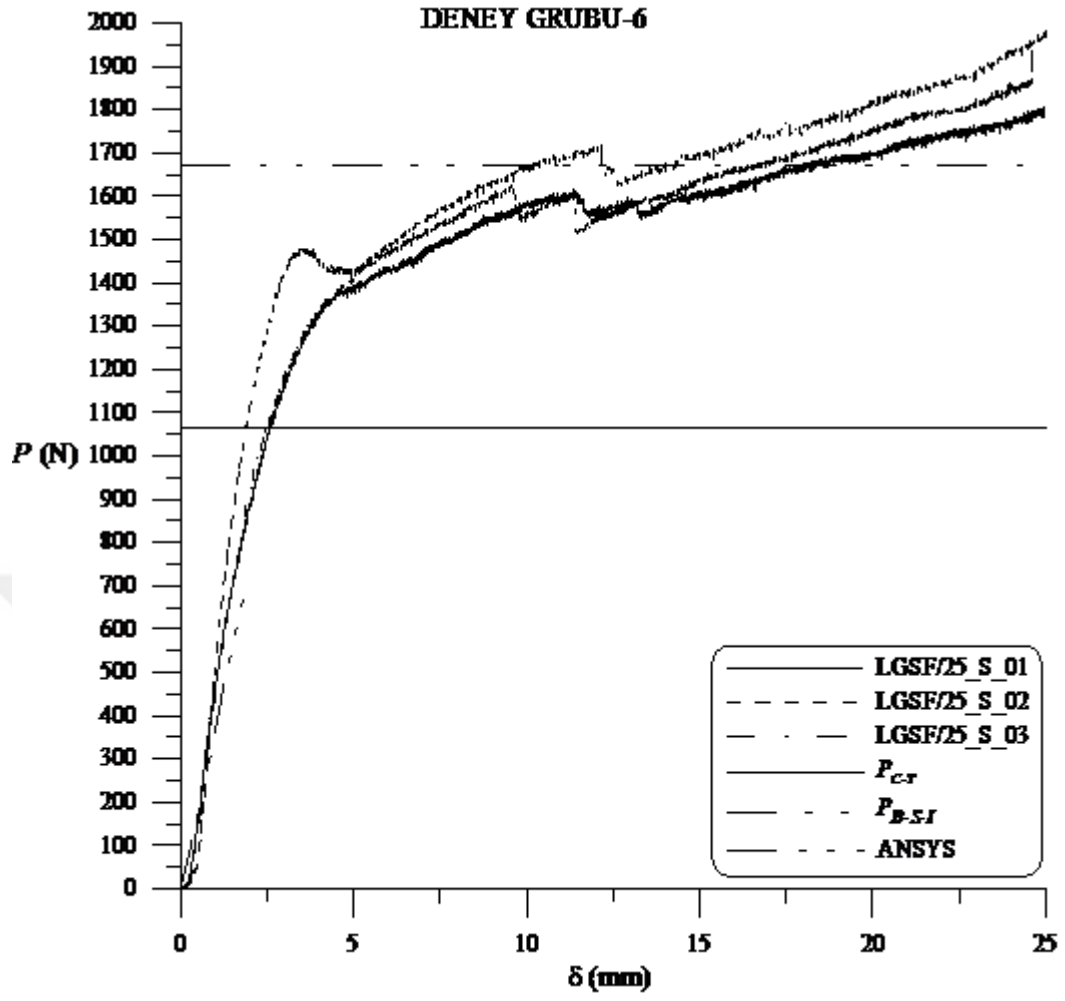
Model-5 için veriler Şekil 4.33'te gösterilmektedir. $P_s = 1200$ N yük için bulunan ortalama değer 2.38 mm'dir. Ortalama değer sayısal model ile bulunan 1.733mm değerinden yaklaşık %27 yüksektir. P_s değeri analitik batma değerinden düşük bir değere sahiptir. Bu deney için deney grubu- 4'e yakın bir değer elde edildiğini söyleyebiliriz.



Şekil 4.33. Deney grubu-5 için sonuçlar; Cagdas ve Taskin(2018)

4.7. Model Grubu-6

Model-6 için veriler Şekil 4.33'te gösterilmektedir. $P_s = 900\text{N}$ yükü için bulunan ortalama değer 2.13 mm 'dir. Ortalama değer sayısal model ile bulunan 1.919 mm 'den yaklaşık %10 yüksek bir değerdir. P_s değeri analitik batma değerinden düşük bir değere sahiptir. Bu deney grubu için 4. ve 5. Deney grubuna göre deneysel ve sayısal neticeler arasında nispeten düşük bir fark var. Bu farkın sebebi olarak Ansys paket programında 2D olarak sadece bir doğrultuda nonlineer malzeme tanımı program tarafından desteklenmiş olduğu düşünülüyor.



Şekil 4.34. Deney grubu-6 için sonuçlar; Cagdas ve Taskin(2018)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada metal yüzölü sandviç kirişlerin yarı-statik yükler altında batma(indentasyon) yüklerin sayısal olarak belirlenmesi konusunda durulmuştur. Eldeki deney sonuçları sonlu eleman modeliyle elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Daha sonra Ansys paket programı kullanılarak bir sonlu eleman modeli yapılmıştır. Bu modelden elde edilen sayısal sonuçlar deney neticeleri ile kıyaslanarak Ansys modelinin doğrusal modele yakın bir netice verdiği görülmüştür.

Deneylerden elde edilmiş olan neticeler ile sayısal modelden elde edilen sonuçlar mukayese edildiğinde deplasman değerleri arasında;

1. Model grubu için %22,
2. Model grubu için %19,
3. Model grubu için %82.64,
4. Model grubu için %24,
5. Model grubu için %27,
6. Model grubu için %10,

Oranlarında fark oluştuğunu göstermektedir.

Nonlinearitenin dikkate alınmaması katmansız sandviç kirişlerinde deplasmanların artışı ile kusurun artış gösterdiği görülmüştür. Muhtemel hatalardan biri modelin 2D olmasından nonlinear malzeme tanımı köpük çekirdek için Ansys paket programı tarafından "Sell 8node 281" elemanı için tek doğrultuda desteklenmiş olması söylenebilir.

Kısaca, bu tez çalışmasında batma(indentasyon) yükün sayısal olarak belirlenmesi açısından kayda değer bilgiler barındırmaktadır. İleride yapılacak olan çalışmalarda mevcut modeli geliştirerek ya da 3D bir sonlu eleman modeli oluşturularak kompozit sandviç kirişler ile ilgili çalışmalarda indentasyon(batma) yüklerin belirlenmesi için yapılacak olan modellerde kullanılması amaçlanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Abrate S. 2008. Criteria for yielding or failure of cellular materials. *J Sand Struct Mat*, 10: 5-51.
- Ashby MF, Evans T, Fleck NA, et al. 2000. Metal foams: a design guide. 1st ed. Woburn Elsevier, , p.117.
- Bart-Smith H, Hutchinson JW and Evans AG. 2001. Measurement and analysis of the structural performance of cellular metal sandwich construction. *Int J Mech Sci* 43(8): 1945-1963.
- Berthelot JM and Lolive É. 2002. Non-linear behaviour of foam cores and sandwich materials, Part 1: Materials and modelling. *J Sand Struct Mat* 4(3): 219-247.
- Chen C, Harte AM and Fleck NA. 2001. The plastic collapse of sandwich beams with a metallic foam core. *Int J Mech Sci* 43(6): 1483-1506.
- Daniel IM, Abot JL and Wang KA. 5-9 July, 1999. Testing and analysis of composite sandwich beams. In: Proceedings of the 12th International Conference on Composite Materials, Paris, France, paper no. 1308. Europe: ICCM.
- Frostig Y and Baruch M. 1993. High-order buckling analysis of sandwich beams with transversely flexible core. *J Eng Mech* 119(3): 476-495.
- Frostig Y and Baruch M. 1996. Localized load effects in high-order bending of sandwich panels with flexible core. *J Eng Mech* 122(11): 1069-1076.
- Frostig Y, Baruch M, Vilnay O, et al. 1992. High-order theory for sandwich-beam behavior with transversely flexible core. *J Eng Mech* 118(5): 1026-1043.
- Hetenyi M. 1946. *Beams on elastic foundation*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Lolive É and Berthelot JM. 2002. Non-linear behaviour of foam cores and sandwich materials, part 2: indentation and three-point bending. *J Sand Struct Mat* 4(4): 297-352.
- McCormack TM, Miller R, Kesler O, et al. 2001. Failure of sandwich beams with metallic foam cores. *Int J Solid Struct* 38(28): 4901-4920.
- Mohan K, Hon YT, Idapalapati S, et al. 2005. Failure of sandwich beams consisting of alumina face sheet and aluminum foam core in bending. *Mater Sci Eng* 409(1): 292-301.
- Mohan K, Yip TH, Sridhar I, et al. 2007. Effect of face sheet material on the indentation response of metallic foams. *J Mater Sci* 42(11): 3714-3723.

- Navarro P, Abrate S, Aubry J, Marguet S, Ferrero JF. 2013 Jun 30. Analytical modeling of indentation of composite sandwich beam. *Composite Structures*. ;100:79-88.
- Pitarresi G and Amorim J. *Mat* 2011. Indentation of rigidly supported sandwich beams with foam cores exhibiting non-linear compressive behaviour. *J Sand Struct* 13(5): 605-636.
- Qin QH, Zhang JX, Wang ZJ, Li HM, Dan GU. Indentation of sandwich beams with metal foam core. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. ;24(8):2440-6.
- Shipsha A, Hallström S and Zenkert D. *Mat* 2003. Failure mechanisms and modelling of impact damage in sandwich beams-a 2D approach: part I-experimental investigation. *J Sand Struct* 5(1): 7-31.
- Soden PD. 1996. Indentation of composite sandwich beams. *J Strain Analysis Eng Design* 31(5): 353-360.
- Steeves CA and Fleck NA. 2004. Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending. Part I: analytical models and minimum weight design. *Int J Mech Sci* 46(4):561-583.
- Steeves CA and Fleck NA. 2004. Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending. Part II: experimental investigation and numerical modelling. *Int J Mech Sci* 46(4): 585-608.
- Steeves CA and Fleck NA. 2004. Material selection in sandwich beam construction. *Scripta Mater* 50(10): 1335-1339.
- Thomsen OT and Frostig Y. 1997. Localized bending effects in sandwich panels: photoelastic investigation versus high-order sandwich theory results. *Compos Struct* 37(1): 97-108.
- Triantafillou TC and Gibson LJ. 1987. Failure mode maps for foam core sandwich beams. *Mater Sci Eng* 95: 37-53.
- Triantafillou TC and Gibson LJ. 1987. Minimum weight design of foam core sandwich panels for a given strength. *Mater Sci Eng* 95: 55-62.
- Xiao D, Mu L and Zhao G. *Mat* 2015. Indentation response of sandwich panels with positive gradient metallic cellular core. *J Sand Struct* 17(6): 597-612.
- Zenkert D, Shipsha A and Persson K. 2004. Static indentation and unloading response of sandwich beams. *Compos B Eng* 35(6): 511-522.

ÖZGEÇMİŞ

Samaredin İSHFAQ
Samarbarin2014@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2018-2020	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2014-2018	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya