

**SİLO YAN SACI DİREĞİNİN (STIFFENER)
GEOMETRİSİNİN VE MUKAVEMETİNİN
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah AYDIN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2013

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLO YAN SACI DİREĞİNİN (STIFFENER)
GEOMETRİSİNİN VE MUKAVEMETİNİN
OPTİMİZASYONU**

Emrah AYDIN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2013

TEZ ONAY SAYFASI

Emrah AYDIN tarafından hazırlanan “Silo Yan Sacı Direğinin (stiffener) Geometrisinin ve Mukavemetinin Optimizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca **08/07/2013** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Başkan : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi – Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi

Üye : Yrd. Doc.Dr. Barış GÖKÇE İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi – Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü
Prof.Dr. Mevlüt DOĞAN

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

08/07/2013

İmza
Emrah AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLO YAN SACI DİREĞİNİN (STIFFENER) GEOMETRİSİNİN VE MUKAVEMETİNİN OPTİMİZASYONU

Emrah AYDIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Silo yan sacı direğinin (stiffener) Taguchi parametre optimizasyonuna göre oluşturulan geometrilerinin, ABAQUS sonlu elemanlar programında modellenerek dayanımı en yüksek ve imalat kistaslarına en uygun geometrinin imal edilmesi çalışmasıdır. İlk olarak parametrik stiffener tasarımı oluşturulmuş sonrasında imalat yöntemlerine bağlı olarak kistaslar belirlenmiştir. Oluşturulan bu parametrelere uygun olarak Taguchi L9 ortogonal dizisi seçilmiş, gerekli numuneler imal edilmiş ve üç nokta eğme deneyi uygulanmıştır. Numuneler ABAQUS programında modellenerek analiz sonuçlarına göre karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Daha sonra Minitab-16 programından elde edilen üç nokta eğme ve basma sonuçları en yüksek en iyi, sinyal/gürültü (S/N) oranlarına göre parametrelerin etkinlik düzeyleri belirlenmiş ve en etkin seviyelere göre dayanımı en yüksek geometri oluşturulmuştur. Yeni geometrinin rijitliğinin eskiye göre yaklaşık 2,5 kat yüksek olduğu görülmüştür. Son olarak SAP 2000 programında yeni ve eski profillerin silo üzerindeki etkisi karşılaştırılmış ve sonuçları tartışılmıştır.

2013, xi + 51 sayfa

Anahtar Kelimeler: Silo, Tahıl Sistemleri, Soğuk Haddeleme, Sonlu elemanlar, ABAQUS, Optimizasyon, Taguchi Yöntemi

ABSTRACT

M.Sc Thesis

SILO SIDE PLATE POLE (STIFFENER) GEOMETRY AND STRENGTH OPTIMIZATION

Emrah AYDIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Silo side plate and pole (stiffener) created by Taguchi optimization of the geometry of the parameter, the highest strength of ABAQUS finite element program, modeled geometry to be manufactured and manufacturing the most suitable work criteria. First, followed by the manufacturing parametric stiffener design generated according to the methods determined criteria. Taguchi L9 orthogonal array is created in accordance with the parameters chosen, the necessary three-point bend test specimens have been manufactured and used. According to the results of analysis of the samples were performed using the software ABAQUS and the results were found to be compatible. Minitab-16 program then, the resulting three-point bending and the highest of the best printing results, the S/N ratio and efficiency levels were determined by the parameters are most resistant geometry formed by the most efficient level. Were found to be 2.5 times higher than before the new geometry, stiffness. Finally, the SAP 2000 program on the new and old silo effect profiles were compared and the results are discussed.

2013, xi + 51 pages

Key Words: Silo, Grain Bin Lines, Cold Rolling, Finite Element, ABAQUS, Optimization, Taguchi Method

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE ve Arş. Gör. Özgür VERİM'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez konusuna paralel desteklenen, 7120548 numaralı TÜBİTAK projesinden dolayı hem *Dehşetiler Makine Sanayi* çalışan ve sahiplerine hem de TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı Nuray SUBAŞ'a ve AYDIN ailesine teşekkür ederim.

Emrah AYDIN

AFYONKARAHİSAR, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Silolar.....	4
2.1.1 Literatür Bilgileri.....	5
2.1.3 Silo Çalışma Prensibi	8
2.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	9
2.2.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Temel Adımları	12
2.3 Taguchi Parametre Optimizasyonu.....	13
2.3.1 Taguchi Kayıp Fonksiyonu	13
2.3.2 Sinyal / Gürültü Oranı	13
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	15
3.1 Problem Tanımı	15
3.2 Problemin Geometrik Modeli ve Sınır Koşulları.....	18
3.3 Yeni Tasarım Oluşturma.....	20
3.4 Testler İçin Numune İmalatı	21
3.5 Malzeme Özellikleri	21
4. ANALİZ VE HESAPLAMALAR	23

4.1 Sonlu Elemanlar ve Hasar Analizi Deneyleri	23
4.2 Parametre Optimizasyonu	29
4.2.1 Üç Nokta Eğme İçin Parametre Optimizasyonu.....	31
4.2.2 Burkulma İçin Parametre Optimizasyonu	34
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.1 Eski ve Yeni Stiffener Karşılaştırması.....	37
5.2 Optimize Edilmiş Profilden Türetilen Direkler	41
6. SONUÇ	43
7. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	48
EKLER	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Örnek tahıl depolama sistemi ve ekipmanları.....	8
Şekil 2.2 Çelil silo iş akış şeması	9
Şekil 3.1 Silo yan sacı direği profilleri ve ölçüleri.....	16
Şekil 3.2 Depolanan hububatların silo duvarına normal kuvvet ve sürtünmeli taşınım etkisi (Brown and Nielse, 1998)	16
Şekil 3.3 Normal ve aksenal kuvvetlerin silo duvarına etkisi: (a) düz tabanlı silo; (b) duvara etki eden kuvvetlerin tipik modelleri (Brown and Nielsen, 1998).....	17
Şekil 3.4 İşlem basamakları.....	18
Şekil 3.5 300'lük profil tasarımı için kullanılan parametreler	19
Şekil 3.6 Taguchi L9 ortogonal deney reçetesine göre türetilen direk tasarımları.....	20
Şekil 3.7 Oda sıcaklığındaki yapısal çelik S350 GD+Z için gerilme-uzama eğrileri	22
Şekil 4.1 Yapılan üç nokta eğme deneyi ölçüleri.....	23
Şekil 4.2 1 Numaralı numunenin ABAQUS sonlu elemanlar programındaki modeli ...	25
Şekil 4.3 1 Numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar analizi görsel sonuçları	25
Şekil 4.4 1 Numaralı numunenin üç nokta eğme ve sonlu elemanlar analizi sonuçları.	26
Şekil 4.5 2 Numaralı numunenin ABAQUS sonlu elemanlar programındaki modeli ...	26
Şekil 4.6 2 Numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar analizi görsel sonuçları	27
Şekil 4.7 2 Numaralı numunenin üç nokta eğme ve sonlu elemanlar analizi sonuçları.	27
Şekil 4.8 3 Numaralı numunenin ABAQUS sonlu elemanlar programındaki modeli ...	28

Şekil 4.9 3 Numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar analizi görsel sonuçları.....	29
Şekil 4.10 3 Numaralı numunenin üç nokta eğme ve sonlu elemanlar analizi sonuçları.....	29
Şekil 4.11 En yüksek en iyi (S/N) ve ortalamaya göre sütun etkisi grafiği	33
Şekil 4.12 En yüksek en iyi sinyal/gürültü (S/N) ve sütun etkisi grafiği	36
Şekil 5.1 Üretimde kullanılması düşünülen profil ölçüleri	44
Şekil 5.2 Optimize A95-H68-W70-R8'lik profilin sonlu elemanlar modeli	45
Şekil 5.3 Mevcut profil ve Optimize edilmiş profilin Mod1 ve Mod2'de burkulma şekilleri.....	40
Şekil 5.4 Optimize edilen profilden türetilen diğer profillerin roll-forma göre üretim sırası	41
Şekil 5.5 250 mm açıklımlı profil	41
Şekil 5.6 300 mm açıklımlı profil	42
Şekil 5.7 400 mm açıklımlı profil	42
Şekil 5.8 500 mm açıklımlı profil	42
Şekil 7.1 T1-A125-H60-W60-R2.....	49
Şekil 7.2 T2-A125-H50-W74-R6.....	49
Şekil 7.3 T3-A125-H70-W45-R10.....	49
Şekil 7.4 T4-A107-H60-W74-R10.....	50
Şekil 7.5 T5-A107-H50-W45-R2.....	50
Şekil 7.6 T6-A107-H70-W60-R6.....	50
Şekil 7.7 T7-A95-H60-W45-R6.....	51

Şekil 7.8 T8-A95-H50-W60-R10.....	51
Şekil 7.9 T9-A95-H70-W74-R2.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Üretimde kullanılan galvanizli alaşımsız yapı çeliği (S350GD+Z) mekanik özellikleri	21
Çizelge 3.2 S350GD+Z çeliğinin kimyasal özellikleri	22
Çizelge 4.1 Üç farklı açıda üretilen örnek numuneler.....	23
Çizelge 4.2 Yükleme hızı (Velocity).....	24
Çizelge 4.3 300'lük tasarım için kullanılan parametreler ve seviyeleri	29
Çizelge 4.4 Taguchi L9 Ortogonal dizisi deney reçetesi	30
Çizelge 4.5 Taguchi L9 Ortogonal dizisi akma değeri ve deplasman sonuçları	31
Çizelge 4.6 En yüksek en iyi (S/N) oranına göre sonuç tablosu	32
Çizelge 4.7 En yüksek en iyi (S/N) ve ortalamaya göre varyans analizi	32
Çizelge 4.8 Üç nokta eğme deneyi en yüksek akma değeri için parametre seviyeleri... 34	
Çizelge 4.9 Taguchi L9 Ortogonal dizisi akma değeri ve deplasman sonuçları	34
Çizelge 4.10 En yüksek en iyi (S/N) oranına göre sonuç tablosu	35
Çizelge 4.11 En yüksek en iyi (S/N) ve ortalamaya göre varyans analizi	35
Çizelge 4.12 Üç nokta eğme deneyi en yüksek akma değeri için parametre seviyeleri.....	36
Çizelge 5.1 Üç nokta eğme ve burkulma değerleri için etkin seviyelerin karşılaştırılması.....	37
Çizelge 5.2 En yüksek akma değeri ve kısıtlamalara göre uygun görülen profil değerleri	38

Çizelge 5.3 Optimize edilmiş 300'lük profilin üç nokta eğme simülasyon sonuçları ve mevcut profil ile karşılaştırılması	39
Çizelge 5.4 Mevcut profil ve optimize edilmiş profilin Mod1 ve Mod2'deki burkulma değerleri	48

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Silo genel görünüm.....	4
Resim 3.1 Silo sistemleri ve silo yan sacı direği (stiffener).....	15
Resim 3.2 300'lük profilin kullanılan formu ve montaj sınır şartları	19
Resim 3.3 Test için imal edilen direk numuneleri	21
Resim 4.1 Yapılan üç nokta eğme deneyi cihazı ve numunesi.....	25

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimiyle süre gelen insan ihtiyaçları hayatın her alanında insanın beklentilerini en üst noktaya çıkarmıştır. Bir konu üzerinde araştırma yapmak ve uzmanlaşmak sadece konuya hakim olmak çözüme ulaşmak adına yeterli kalmayabilir. İşte tam bu noktada devreye giren deney tasarımı (Taguchi parametre optimizasyonu) yöntemi çözüme ulaşma adına ortaya konulmuş bir anlayıştır.

Optimizasyon, bir sistemde var olan işgücü, zaman, sermaye, süreçler, hammadde, kapasite, ekipman gibi kaynakların en verimli şekilde kullanılarak, maliyet azaltılması, kâr arttırılması, kapasite kullanımının ve verimliliğin yükseltilmesi gibi belirli amaçlara ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanabilir..

Optimizasyonda modelleme ve çözümlenme iki önemli bileşen olarak tanımlanabilir.. Modelleme gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi; çözümlenme ise bu modeli sağlayan en iyi çözümün elde edilmesini kapsamaktadır. Optimizasyon teknolojisinin gelişiminde araştırmacılar öncelikli olarak modellemeyle ilgilenmişlerdir. Optimizasyon modellerinin özellikle ekonomik sistemlerde kullanılması ve üretim/dağıtım sistemlerinde karşılaşılan problemlerin birçoğunun optimizasyon problemi olarak modellenmesine rağmen optimizasyon modellerinin teorik özelliklerinin araştırılması ve genel çözüm algoritmalarının geliştirilmesi halen devam etmektedir.

Mühendislik, içinde barındırdığı çeşitli bilim dalları ile doğadaki şekil, madde ve yapıları incelemekle yükümlü olan bunun yanında insan yaşam standartlarını arttırmak amaçlı sanayide kullanılmasına veya en iyi şekilde uyarlanması problemini çözmeye çalışan bilimi olarak nitelendirebiliriz.

Mühendislik alanında bir çok problemi analitik yöntemlerle çözmek mümkün olmamaktadır. Analitik çözümler, ancak basitleştirilmiş bazı özel haller için elde edilebilir. Bu nedenle geometrisi, malzeme özellikleri ve sınır şartları karmaşık olan problemleri çözebilmek için kabul edilebilir sonuçlar veren sayısal yöntemler

kullanılması zorunluluk denilebilecek bir durumdadır. Sonlu elemanlar yöntemi, sayısal yöntemler içerisinde önemi gittikçe artan ve mühendislik alanında her gün daha yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

ABAQUS sonlu elemanlar programı mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan bir programdır. Çalışmamızda direklerin gerçekte yapılan test şartlarına uygun şekilde programda modellenmiştir. Direk gerçek boyunun uzun olmasında dolayı gerçek hayatta uygulayamayacağımız, basma ve burkulma deneylerini de ABAQUS'de modelleyerek direk dayanımına etkisini inceleme fırsatı bulunmuştur.

Bu çalışma kapsamında ele aldığımız silo yan sacı direkleri (stiffener) çelik silo yapılarında taşıyıcı eleman vazifesi görmelerinden dolayı, yapı elemanları arasında silonun dayanıklılığı adına aşırı derecede önem arz etmektedirler. Silo üzerine gelen doğal yükleri (rüzgar, kar , yağmur) ve yapının çatıyla beraber oluşan kendi ağırlığını taşıma vazifesi bu direkler üzerindedir.

Tasarım kavramının özellikle mühendislik uygulamalarında bütün dünyada birçok konu ele alınmaktadır. Firmalar maliyet ucuzlatması, imalat kapasitelerini arttırması, pazardaki yerlerini yükseltmesi amaçlı araştırma ve geliştirmeye yani tasarıma yatırım yapmaktadırlar. Ancak bu çalışmalar bilimsel paylaşım çerçevesi içinde olmadıkları için çalışmamızın çözüm odaklı olması ve bu konu üzerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.1 Amaç

Bu araştırmada, çelik silo imalatındaki dayanımsal faktörler göz önüne alınarak ekipman bazında yenilik yapılması amaçlanmıştır. Çelik silonun tamamını komplike bir yapı olarak incelediğimizde silo yan sacı direkleri, silo içindeki ve çevresel yüklere karşı silonun en önemli elemanı konumundadır. Standartlaşmış eski tip direkleri en iyileştirmek ve aynı zamanda yeni üretim yöntemlerine kapı açabilecek bir profil yapısı ortaya çıkararak her gün gelişen teknolojiye paralel bu sürece ayak uydurmak gerekmektedir.

1.2 Kapsam

Dünya genelinde silo üreticisi firmaların kendine özgü kullandığı ve standartlaştırdığı profil kesitleri bulunmaktadır. Firmalar bu denli önemli olan tasarım unsurunu bir kısmı kendi içlerindeki araştırma geliştirme birimleri içerisinde çözmeye çalışırken birçoğu da ilk geliştirmeye çalıştıkları model üzerinden imalat yapmaktadır.

Tasarım yapılırken hem imalat yönünden hem de kullanım kısıtlamalarına takılmaktadır. Bunlar, açılım boyunun 300 mm den büyük olmaması, yan kanatların yüksekliklerinin en fazla yüksekliğin yarısı kadar olması, alt yüzeylerin eksenler arası mesafenin 125 mm olması, 2 mm'den daha kalın saclara 95 ° açıda 2 mm radyüs verilmesi mümkün değildir.

Stiffener geometrisinin dayanımını arttırmak ve buna paralel seri imalata uygun profiller oluşturarak bu kapsamda ortaya çıkmış olan eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Silolar

Silolar hububat, kömür, cevher gibi kohezyonsuz malzemelerin depolandığı ve korunduğu modern yapıların genel adıdır. En yaygın olanları hububat silolarıdır. Bilindiği üzere hasat mevsiminde elde edilen ürünlerin yıl boyunca kullanılma ihtiyacının olması ve yıllar içinde değişen üretim ve tüketim miktarları, hububatın depolanma zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Gerek malzemenin doldurulma, boşaltılma anında değişik doluluk oranlarına isabet eden yüklerin dikkate alınması, gerekse de içerisinde depolanan gıda maddesinin uygun depolama şartlarında depolanması adına gerekli temizlik gösterilmeli, dizaynda dikkate alınması gereken bütün etkiler tespit edilerek etkin kullanım ve depolama şartlarının sağlanabildiği bir yapı olmalıdır.



Resim 2.1 Silo genel görünümüleri

Özel bir yapı olan silolarla ilgili ülkemizdeki literatür çalışmalarının sayısı oldukça az sayıdadır. Genellikle betonarme ya da çelik olarak inşa edilebilmekle birlikte, son yıllarda özellikle çelik silolar yaygınlaşmaktadır. Fakat, günümüzde betonarme siloların kütlece daha büyük olması, imalat zamanının uzun olması, genellikle silindir kesitli olmalarından ötürü kalıp ve işçiliğin yüksek olması, daha çok yer işgal etmeleri ve sistemin modern havalandırma, taşıma, elektronik otomasyonu ile entegre edilmesinin zorluğu nedenleriyle çok fazla tercih edilmemektedir.

Ülkemizde 1950’li yıllarda özellikle Almanlar tarafından tasarımları ve uygulamaları yapılmaya başlanan betonarme silolar zamanla yerlerini çelik silolara bırakmaya başlamıştır. Halen daha yapılmakta olan çelik silolar Amerikan ve Avrupa şartnameleri ışığında ve 1980 yılında yayımlanan TS-648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları şartnamesi çerçevesinde tasarlanmakta ve imal edilmektedirler.

2.1.1. Literatür Bilgileri

Silo kohezyonsuz taneli malzemelerin depolanması amacıyla yapılmış, dörtgen, çokgen, daire kesitli tek veya bunların bir araya gelmesiyle oluşan mühendislik yapısıdır.

(TS 6989, Betonarme yapıların hesap, yapım ve kullanım kuralları,1989).

Kıvrak’a (1987) göre silolarda yer seçiminde genellikle malzemenin elde edildiği ya da üretildiği yerler kullanılır. Silolar buralarda inşa edilirler. Ayrıca bu bölgelerin malzemenin kullanılacağı bölgelere ulaşımının kolaylaştırılmasını teminen demiryolu ya da limanlara yakın bölgeler olmasına dikkat edilir. Silolardaki depolama ortamı özellikle tarımsal ürünlerde büyük önem taşımaktadır. Malzemenin belli sıcaklık aralığında ve zaman zaman havalandırılmasına olanak tanınmalıdır.

Silo derinliğini az olması durumunda, siloda depolanacak malzeme ile silo çeperi arasındaki sürtünme kuvvetleri ihmal edilebileceğinden malzemenin çepere uyguladığı çeper basıncı ihmal edilebilir ve çeper basıncı silo derinliği ile orantılı düşünülebilir. Ancak, silo derinliğini belirli bir değere ulaşmasından sonra derinliğin üstel bir fonksiyonu olarak sabit bir değere yaklaşmaktadır. Malzeme basıncının derinlikle orantılı kabul edilebildiği silolara geniş silolar ya da bunkerler denilmektedir. Çeper sürtünmesini hesaba katılmasını gerektiren yüksek silolara ise yüksek silolar ya da silolar denir (Kumbasar ve ark.1995).

Timm ve ark.’na (1984) göre silo dizaynında dikkate alınması gerekli en önemli etkilerin başında depolanacak malzemenin birim hacim ağırlığı, malzemenin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu gelmektedir. Bu özelliklerin hepsi dane çapından önemli ölçüde etkilenirler. Bu nedenle depolanacak malzemenin dane çapına göre

sınıflandırılması önemlidir.

toz malzeme: dane çapı $< 0,1$ mm: çimento, kül, un vb.

- daneli malzeme: tahıl, kum, çakıl, bakliyat
- parçalı malzeme: cevher, kömür, kok, kalker

Rotter'e (2001) göre çelik silolarda malzeme kalınlığı az olduğundan basınç gerilmeleri altında burkulma sorunu yaşanmaması için eğilme etkisinin az olduğu dairesel kesitler tercih edilirler. Betonarme silolarda ise daire, kare, dikdörtgen ya da çokgen kesitler kullanılabilir. Ancak; en uygun kesitin daire olduğu belirtilmelidir. Dairesel kesitli silolarda silo yan duvarları sadece çekme kuvvetleriyle zorlanır. Dolayısıyla kare ya da dikdörtgen kesitli silolara göre daha küçük gövde kalınlıkları seçilebilir. Daire kesitli silolara ön gerilme verilebilmesi de avantaj oluşturur.

Geçmiş yıllarda silolar betonarme olarak yapılmaktaydı ancak günümüzde daha çok çelik silolar inşa edilmekte ve tercih edilmektedir. Çelik siloların yerinde yapılan betonarme silolara göre temel avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Carson ve ark.1993):

- Küçük ve orta kapasiteli silolar fabrika ortamında üretilebilirler. Dolayısıyla montaj süresi çok kısa olabilmektedir.
- Civatalı bağlantılar kullanılarak demonte edilerek başka yerde kullanımı mümkün olabilmektedir.

Buna karşın çelik silolarda aşağıdaki dezavantajlardan bahsedilebilir:

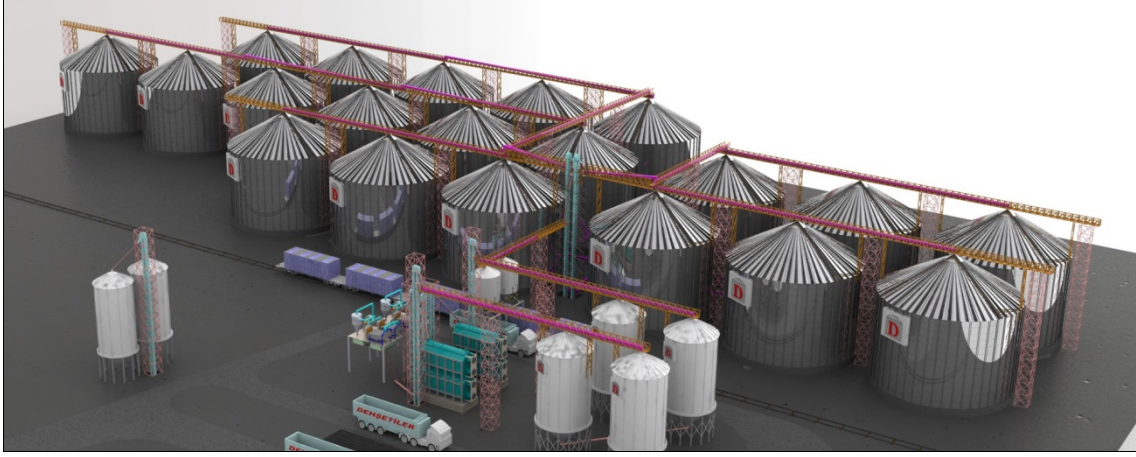
- Korozyona karşı bakım ve önlem alınmalıdır.
- Aşınmayı önlemek için astarlama gerekebilir.
- Çelik duvarlarında sıcaklık farkından ötürü oluşabilecek yoğuşma hububat ya da şeker gibi gıda maddelerini bozulmasına neden olabilmektedir.

Silonun yapı malzemesi silonun şekline bağlı olabilir. Silo duvarı hem düşey hem de yatay kuvvetlere maruz kalır. Düşey kuvvetler silo içerisindeki malzeme ile silo duvarı arasında oluşan sürtünme kuvvetinden dolayıdır. Yatay kuvvetler ise malzemenin yanlara uyguladığı itme kuvvetlerinden kaynaklanır.

Betonarme silolar basınç oluşturan düşey kuvvetleri kolaylıkla taşıyabilirken betonda çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olan yatay itmeye karşı daha emniyetsiz olurlar. Çelik silolar ise daha çok düşey kuvvetler sonucunda oluşabilecek burkulmaya karşı hassasiyet gösterir.

Silo çeperlerinde oluşan kuvvetlerin hesaplanması için değişik teoriler ya da ampirik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunların pek çoğu herhangi bir derinlikte çevre boyunca oluşan basıncın üniform olduğu kabul edilir. Gerçekte her zaman bir miktar üniform olmayan dağılımdan bahsedilebilir. Bunun nedeni olarak da duvarlardaki kusurlar, doldurma esnasındaki eksantrisite ile boşaltma kapağındaki eksantrisite ve malzeme tanecikleri arasındaki değişkenlikler gösterilebilir.

Silo çeperlerine uygulanan basınç depolanan malzemenin sükunet halinde olmasında ve hareketli olması durumlarında (doldurma ve boşaltma) farklı değerlere ulaşır. Akış başlangıcında basınç değişir ve belirli bölgelerde, lokal olarak, geçici bir süre oldukça yüksek değerlere ulaşır. Araştırmalar boşaltma esnasında iki tür yüksek basınç oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bunlardan birincisi boşaltma başlangıcında oluşan ve sadece huni içerisinde önemli olan tepme basıncıdır. İkinci önemli lokal basınç ise malzemenin akış esnasında silo duvarlarındaki düzensizliklerden dolayı oluşan malzeme içerisindeki gerilmenin yeniden dağılımıdır (Rotter 2001).



Şekil 2.1 Örnek tahıl depolama sistemi ve ekipmanları

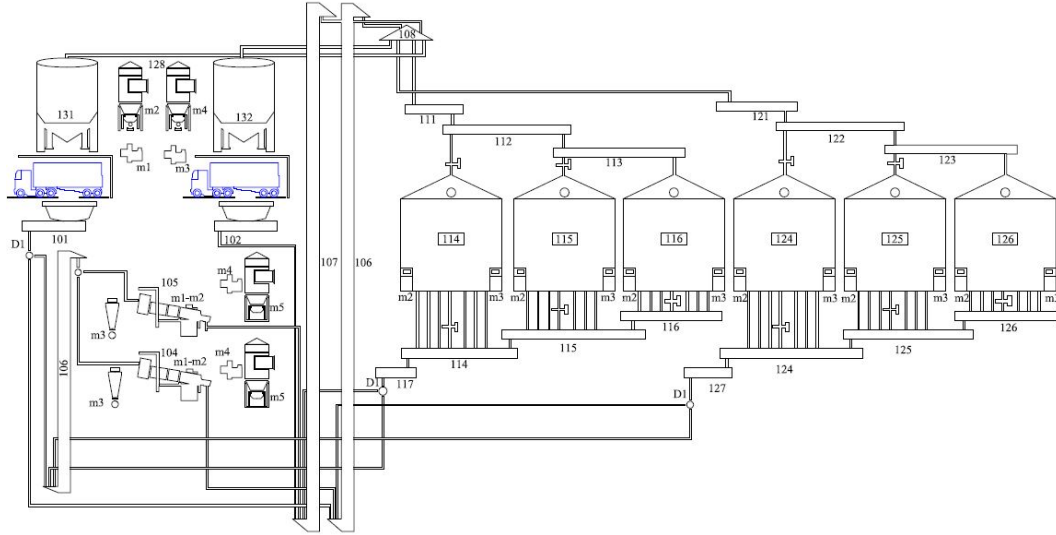
2.1.2. Silo Çalışma Prensibi

Kamyon ya da traktör römorklarıyla getirilen hububat tane çapı, nem oranı gibi gerekli testlerin yapılmasını müteakip kantarda tartılır ve ağırlığı tespit edilen malzeme silolamak üzere tiremi bölümüne getirilir (malzeme demiryolu ile geliyorsa demiryolu raylarının alt bölümündeki tiremi bölgesine getirilir) ve tiremiye boşaltılır. Burada araç kaldırıcı ile kaldırılan araçtaki malzeme tiremi vasıtasıyla alt konveyörlere aktarılır. Alt konveyör gelen malzemenin silo kuyusunda depolanmasını sağlamak için elevatöre götürür.

Elevatöre gelen malzeme silo kuyusunun üstünde bulunan üst konveyörlere taşınır ve buradan hangi kuyuya aktarılmak isteniyorsa o kuyuya üst konveyörlerle taşınır. Silo kuyusu üstündeki kapak aracılığıyla gelen malzeme kuyunun içerisine serbest düşme ile yerleştirilir. Kuyunun içerisinde genellikle farklı seviyelerde sıcaklık ve içeride yükselen malzeme miktarını algılayan sensörler bulundurulur. Ayrıca sıcaklık ve rutubet değişikliklerinin neden olacağı hasarları gidermek amacıyla emme ya da basma yoluyla kuyu içerisine hava veren havalandırma fanları ve ürün yığını içine soğutulmuş hava veren soğutma cihazı bulunur.

Çok sık kullanılmamakla birlikte silo kuyularına giren, çıkan ve silo kuyuları arasındaki transferlerde taşınan malzeme ağırlığını tespit etmeye yarayan tumbalı baskül

mevcuttur. Silo cihazlarının kumanda edildiği güç ve kumanda bölümü ile silo kuyularından çıkan ürünlerin, karayolu veya demiryolu araçlarına yüklendiği ihraç tankı da bulunur. Tipik bir hububat silosu akış şeması Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Çelik silo iş akış şeması

2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Metodu mühendislikte karşılaşılan bir çok karmaşık problemlerde çözüm elde etmek için kullanılan nümerik bir yöntemdir. Gerilme analizindeki sürekli, süreksiz, doğrusal veya doğrusal olmayan problemler, ısı transferi, sıvı akışı ve elektromanyetizma problemleri Sonlu Elemanlar Metodu ile incelenebilir ve çözümlenebilirler. Modern Sonlu Elemanlar Metodu başlangıcı, bazı araştırmacıların esnek çubukları kullanarak modelledikleri 1900’ lü yılların başlarına dayanır. Literatürde, Courant (1943) Sonlu Elemanlar Metodunu geliştiren ilk kişi olarak bilinmektedir. 1940’ lü yılların başında yayınladığı bir makalede, Courant, bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir.

Sonlu elemanlar metodundaki gelişim, 1950’ li yıllarda Boeing tarafından üçgen elemanlarla uçak kanatlarının modellenmesiyle sürmüştür. 1960’ lı yıllarda Clough “sonlu elemanlar” kelimesini yaygın hale getirmiştir. 1960’ lı yıllar sırasında,

araştırmacılar, ısı transferi gibi mühendisliğin diğer alanlarına da sonlu elemanlar metodunu uygulamaya başlamışlardır. 1967 yılında Zienkiewicz ve Cheung tamamen sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili ilk kitabı yayınlamışlardır.

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Ele alınan mühendislik probleminin çözüm bölgesi alt bölgele-re ayrıklaştırılır ve her alt bölgede aranan fonksiyonun ifadesi polinom olacak şekilde seçilir. Belirli işlemler dâhilinde her alt bölgede polinom olarak kabul edilen çözümün katsayıları belirlenmeye çalışılır. Sonlu elemanlar yönteminin avantajları;

- SEY geometrisi karmaşık şekillerin incelenme-sine olanak sağlar. Çözüm bölgesi alt bölgelere ayrıla-bilir ve değişik sonlu elemanlar kullanılabilir. Gerektiğinde bazı alt bölgelerde daha hassas hesaplamalar yapılabilir,
- SEY değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilir. Örneğin, ani-zotropi, nonlinear, zamana bağlı malzeme özellikleri gibi malzeme özellikleri dikkate alınabilir,
- Sınır koşulları, sistemin temel denklemleri kurulduktan sonra, oldukça basit satır sütun işlemleriyle denklem sistemine dâhil edilebilir,
- SEY matematiksel olarak genelleştirilebilir ve çok sayıda problemi çözmek için aynı model kullanılabilir,
- Yöntemin hem fiziksel anlamı hem de matematiksel temeli mevcuttur.

Sonlu elemanlar yönteminin dezavantajları;

- Bazı problemlere uygulanmasında çeşitli zorluklar vardır,
- Elde edilen sonucun doğruluğu verilerin doğruluğuna bağlıdır,
- Bir bilgisayara ihtiyaç duyar,
- Kabul edilebilir doğru sonucun elde edilmesi için bölgenin ayrıklaştırılması deneyim gerektirir,

- Diğer yaklaşık yöntemlerde olduğu gibi, SEY ile elde edilen sonucun doğruluğu üzerinde de dikkat edilmeli ve fiziksel problem iyi incelenmelidir. Çıkabilecek sonuç önceden kestirilmeli ve sonuç ona göre test edilmelidir (Yahnioğlu, 2012).

Çağdaş dünyada programlanmış bilgisayarlar olaylar ile ilgili bilgileri toplayabilmekte, olaylar hakkında kararlar verebilmekte olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmektedir. Matematik formülünün kurulması zor veya olanaksız olan ve çözülmesi çok fazla zaman alan problemler bilgisayarlar tarafından çözülebilmektedir (Akkaya, 2007). Genel olarak günümüzde sonlu elemanlar programı olarak ANSYS, SAP2000, ABAQUS ve FELASH gibi farklı programlar kullanılabilir. Bu amaçla Wójcik (2003), Goodey and Brown (2004), Liu (2008), Gökalp (2010), Gökalp and Bundy (2010) farklı sonlu elemanlar yöntemi programlarını kullanarak tarımsal alanda çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

ABAQUS yazılım programı; depolanmış ürün teknolojisinde, depolanmış ürünün depo cidarlarına uyguladığı basıncın belirlenmesinde, depo içi mikro klima parametrelerinin belirlenmesinde, depolama yapıları, seralar ve hayvan barınaklarında termal olayların (ısı, nem ve kütle transferi) izlenmesinde, depolama yapılarında ürünler, seralar da bitkiler ve hayvan barınaklarında da kirli havanın temiz hava ile değişimi için doğal veya mekanik havalandırma sistemlerinin hesap ve tasarımında, meyvelerin işleme ve taşınma esnasındaki olası zararları önceden tahmin edebilmek amacıyla tahribatsız olarak simülasyonlarının yapılmasında, tarım-sal amaçlı kullanılacak güneş panellerinin simülasyonunda, traktör aktarma elemanlarının tasarımı gibi çok farklı tarımsal alan uygulamalarında geçmişten günümüze yaygın şekilde kullanılmaktadır.

ABAQUS, 100.000'den fazla satır kod içeren kapsamlı ve genel amaçlı sonlu elemanlar bilgisayar programıdır. ABAQUS, statik, dinamik, ısı transferi, akışkan akımı ve elektromanyetizma analizlerini yapabilmektedir. Günümüzde, ABAQUS havacılık, otomotiv, elektronik gibi bir çok mühendislik alanlarında kullanılmaktadır.

ABAQUS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Prototip üretimi, simülasyon yöntemine göre daha maliyetli ve fazla

zaman gerektirmektedir. Bundan dolayı günümüzde bilgisayar destekli mühendislik yöntemi tercih edilmektedir. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde yapıların zayıf noktalarının belirlenmesi ve iyileştirilmesi ile kullanım ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve olası problemlerin öngörülmesi olanaklı hale gelmektedir.

ABAQUS yazılımı hem dışarıdan CAD datalarını alabilmekte hem de içindeki işlem olanakları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Yine aynı işlemci içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modeli yani mesh de oluşturulmaktadır. Yükler ve mesnet veya sınır koşulları (boundary conditions, restraints) tanımlandıktan sonra ve gerçekleştirilen analiz sonucunda, sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilebilmektedir (Li, 1994; Gallego, 2004). Dolayısıyla bir ürünün kaliteli ve en az maliyetli olması için gerekli dizayn koşulları bu program sayesinde bulunabilmektedir.

2.2.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Temel Adımları

Herhangi bir problemin sonlu elemanlar analizinde aşağıdaki adımlar uygulanır.

Ön Analiz Aşaması

1. İlk aşama olarak iki veya üç boyutlu model hazırlanır.
2. Sonlu elemanlar metodu ile analiz yapmak için incelenen yapı alt parçalara (mesh) ayrılarak nodlar (düğüm noktaları) ve bu düğüm noktalarından birbiri ile birbirine bağlı olan elemanlar elde edilir.
3. Bir elemanın fiziksel davranışını temsil eden bir şekil fonksiyonu olduğu varsayılır. Başka bir deyişle, sürekli bir fonksiyonun, bir elemanın çözümünü temsil edeceği varsayılır.
4. Bir eleman için denklemler geliştirilir.
5. Tüm problemi temsil edecek şekilde elemanlar birleştirilir. Direngenlik matrisi oluşturulur.
6. Sınır koşulları, başlangıç koşulları belirlenir ve yükleme uygulanır.

Çözüm Aşaması

1. Her düğüme ait sonuçlar örneğin farklı nodlardaki yer değiştirme değerleri vb. verileri elde etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel denklem sistemleri çözülür.

2.3. Taguchi Parametre Optimizasyonu

2.3.1 Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu

Yakın geçmişte , ürün boyutlarını spesifikasyon limitleri dahilinde tutmak yeterli görülüyordu. Bu anlayış, ürünle ilgili ölçülebilir kalite karakteristiklerini , örneğin uzunluk, ağırlık, yoğunluk gibi, bir hedef değer olduğu ve bu hedef değerden sapmaların istenmediği, “Taguchi'nin kayıp fonksiyonu” ile değişti. Bunun da ötesinde kayıp fonksiyonu, hedeflenen değerden sapmanın maliyetini değerlendirebilme imkanı sağladı. Böylelikle farklı doğruluk derecelerindeki üretim metotları arasında finansal karşılaştırmalar yapma imkanı verir.

2.3.2 Sinyal / Gürültü Oranı

Taguchi performans istatistiği S/N (Signal / Noise) oranı olarak adlandırdığı bir kriterin kullanımını tavsiye etmektedir. Performans istatistikleri, kontrol edilemeyen faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Böylece kontrol faktörlerinin en uygun bileşimleri bulunmuş olacaktır. Taguchi, kayıp fonksiyonu tipleri için 3 tane S/N oranı geliştirmiştir.

Bunlar :

Performans karakteristiğinin en düşük - en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Performans karakteristiğinin en yüksek en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

Performans karakteristiğinin en nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10 \log \left[\frac{-2}{s^2} \right] \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

Burada ;

y_i = Performans karakteristiğinin i. gözlem değeri

n = Bir denemdeki test sayısı

\bar{y} = Gözlem değerlerinin ortalaması S^2 = Gözlem değerlerinin varyansıdır.

Taguchi'nin fikirleri kaliteyi deney sonuçlarına bağlanması ve analiz edilmesi üzerine odaklayan pek çok uygulamacıyı motive etmiştir. Bir kayıp fonksiyonunun finansal terimlerle ortaya konulması (çalışan personel ve yönetim tarafından kolaylıkla anlaşılabilen) Taguchi felsefesinin ve tasarım prosedürünün en önemli göstergesidir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Problemin Tanımı

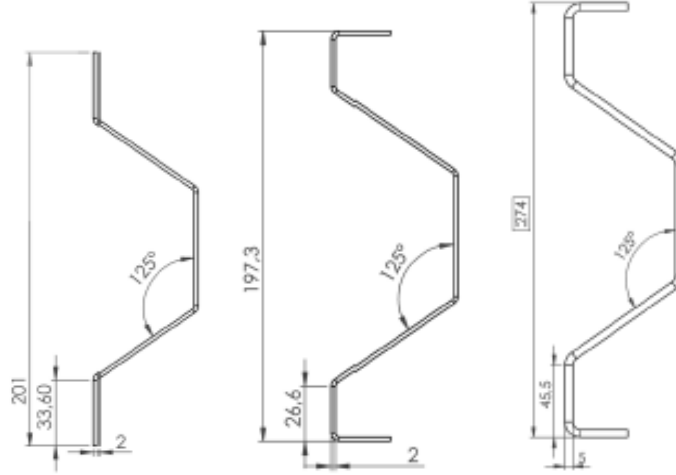
Hububat depolama sistemleri (silolar) 450gr/m² galvaniz kaplı, çok yüksek mukavemete sahip çelik saçlarla imal edilirler. Kullanılan sacın mukavemeti 450 MPa'dır. Silolar; çatı paneli, yan sac, silo yan sacı direkleri (stiffener) olmak üzere üç önemli parçadan oluşmaktadır. Silo yan duvarlarını oluşturan oluklu saclar galvaniz kaplama üzerine ayrıca kromat kaplıdır. Kromat kaplama yükleme, taşıma ve istif aşamalarında sacı nem gibi dış etkilere korumaktadır. Silonun dayanımı için en önemli parça silo yan sacı direğidir. Çünkü doğa ve çevre şartlarına karşı silonun tüm yükünü bu direkler taşımaktadır (Resim 3.1). Silo yan sacı direği 2 mm'den 8 mm'ye kadar farklı kalınlıklarda, farklı genişliklerde ve profillerde imal edilmektedir (Şekil 3.1). Her profil için kullanılan büküm açısı 125° standarttır.



Resim 3.1 Silo sistemleri ve silo yan sacı direği (stiffener)

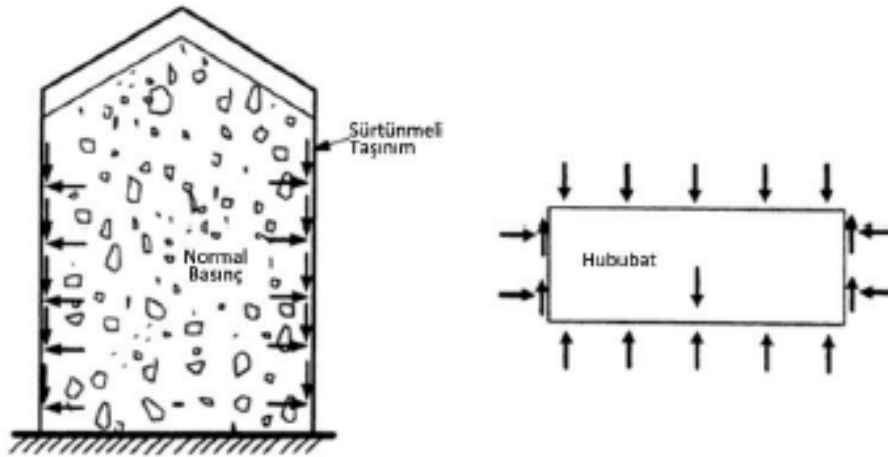
Mevcut olarak bir silo yan sacı direğinin üretimi için sac önce giyotin makas ile eni istenilen ölçüye gerilir, sonra delik punch pres tezgahında delikleri delinir, devamında tekrar boyutunun standart hale gelmesi için giyotin makasta kesme işlemi yapılır ve son olarak abkant pres tezgahında sabit açılarda bükme işlemi yapılmaktadır. Silo yan sacı

direğinin bükme açısı tezgahta sınırlı olduğundan dolayı, ürünlere göre istenilen farklı bükme açıları verilememektedir. Buda ürün çeşitliliğini sınırlandırmaktadır. Bu süreç üretim zamanını çok büyük oranda arttırmaktadır, buda ürün başına düşen üretim maliyetini arttırmaktadır.



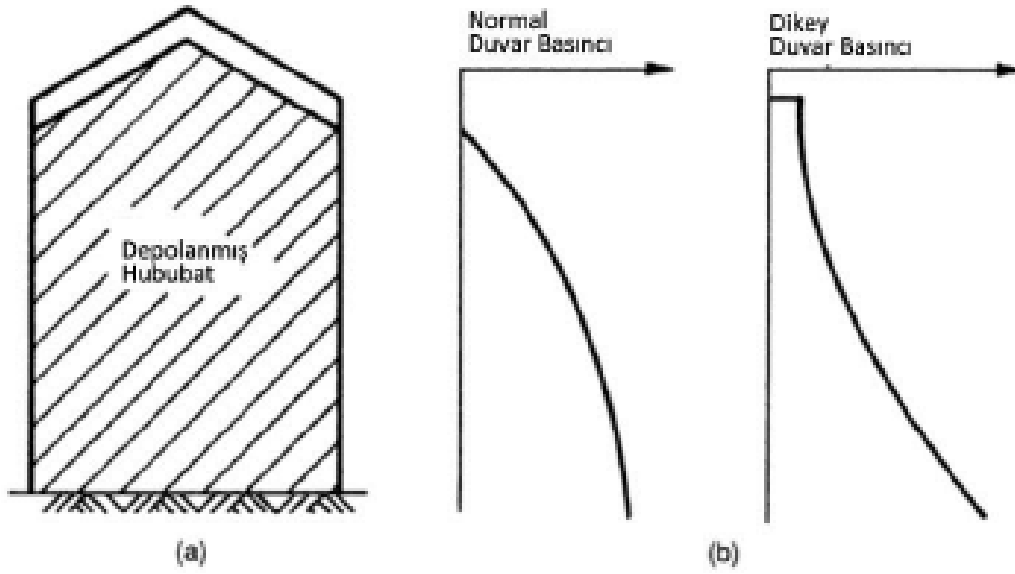
Şekil 3.1 Silo yan sacı direği profilleri ve ölçüleri

Silo yan sacı direkleri silo içerisindeki dikey yükleri taşır. Silo yan sacındaki çevresel gerilmelerin silo yan sacı direkleri üzerindeki çok önemli etkileri vardır. Birçok yükleme koşulları altında silo yan sacları (oluklu duvar) iç basınca ve hububat taşınımından dolayı sürtünmeye maruz kalmaktadır (Şekil 3.2). Buda silo yan sacı direğinin karşılaştığı yükleri göstermektedir.



Şekil 3.2 Depolanan hububatların silo duvarına normal kuvvet ve sürtünmeli taşınım etkisi (Brown and Nielsen, 1998)

Silo sistemlerinde simetrik olarak doldurma ve boşaltma şartları altında hububatların silo duvarına yaptığı basınç silo duvarında çevresel gerilmeleri oluşturur. Silo duvarları Şekil 3.2 de gösterildiği gibi taşınım sürtünmesine de maruz kalmaktadır. Bu yükler duvarda aşağıya doğru artan dikey yüklerin oluşmasına sebep olur (Şekil 3.3). Bundan dolayı silo yan sacı direkleri silonun alt kısmında (6mm) daha kalın ve daha geniş profilde, ortasına doğru profil kalınlığı inceltilir ve üstlere doğru ise daha ince kalınlıkta profiller (2 mm) kullanılmaktadır.

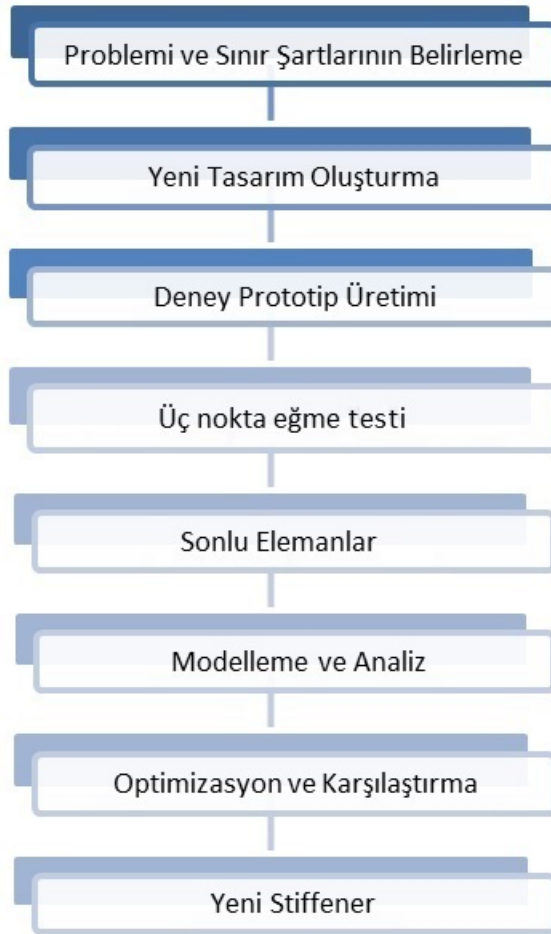


Şekil 3.3 Normal ve eksenel kuvvetlerin silo duvarına etkisi: (a) düz tabanlı silo; (b) duvara etki eden kuvvetlerin tipik modelleri (Brown and Nielsen, 1998)

Bu sebepten direk dayanımına etki edecek olan mukavemeti arttırmak için en iyi açı optimize edilecek, üretilebilir farklı profillerin etkisi araştırılacak ve böylece silonun dayanımı arttırılacaktır. Dayanımı arttırılmış silo yan sacı direkleri, yenilikçi bir sistem üzerinde üretilecektir. Burada araştırdığımız bir diğer konuda silo yan sac direklerinin soğuk haddeleme (roll-form) üretimi ile abkant pres’de bükümünde oluşan profillerin dayanıma olan etkisidir. Büküm açısı arttıkça, açının dayanıma olan etkisinin de artacağı düşünülmektedir ancak nasıl bir etki yapacağı konusunda yapılmış bir bilimsel bulunmamaktadır, bu kapsamda bu çalışmada ele alınmıştır.

Silo yan sacı direğinin profilinin optimize edilmesi ve üretimin geleneksel büküm metodu ile değil soğuk haddeleme (roll-form) metodu ile yapılması, öncelikli olarak silo sistemlerinin rüzgâr yüküne ve depreme dayanımını arttıracak, ve aynı zamanda üretim sisteminin yenilenmesi ile üretim zamanı 7-9 kat daha azalacak ve üretim maliyetleri düşecektir.

Aşağıda araştırmada izlenilecek işlem basamakları verilmiştir (Şekil 3.4).

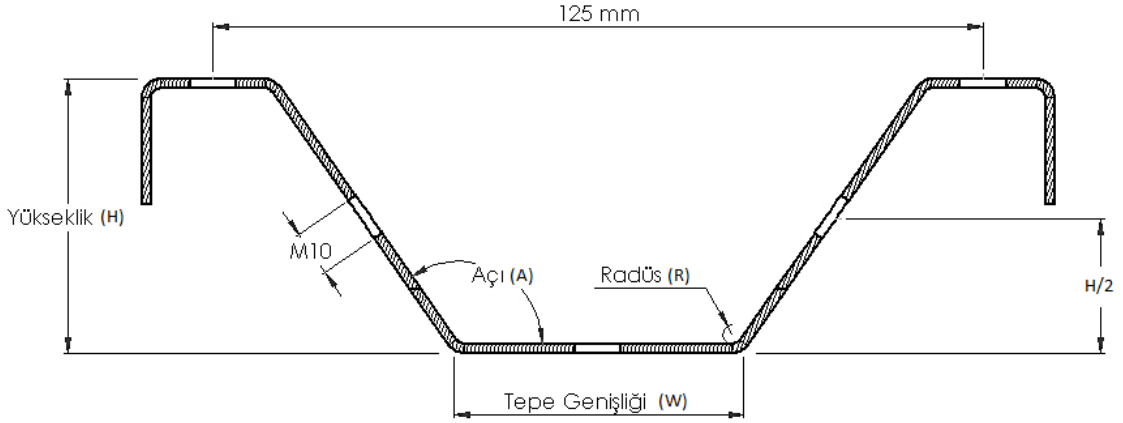


Şekil 3.4 İşlem basamakları

3.2 Problemin Geometrik Modeli Ve Sınır Koşulları

Bu araştırmada ele alınan silo yan sacı direkleri 250, 300, 400 ve 500 mm açıklımlı saçlardan imal edilmektedir. Şekil 3.5’de 300 mm açıklımlı bir direk profilinin şekli

verilmektedir. Hali hazırda üretimde kullanılan 125° açılı, 2 mm pah yarıçaplı, 60 mm yüksekliğinde ve 60 mm genişliğindedir. Bir silo yan sacı direğinin imalatında bir takım kısıtlar bulunmaktadır. Bunlar açılımın toplamda 300 mm'yi geçmemesi, Şekil 3.5'de gösterildiği gibi üst yüzeylerin eksenleri arasındaki mesafenin maksimum 125 mm olması ve montaj yapılırken yan yüzeylerden cıvata bağlanacağından yan kanat yüksekliklerinin toplam yüksekliğin yarısından fazla olmaması gerekmektedir.



Şekil 3.5 300'lük profil tasarımı için kullanılan parametreler



(A) 300'lük profil kullanılan form

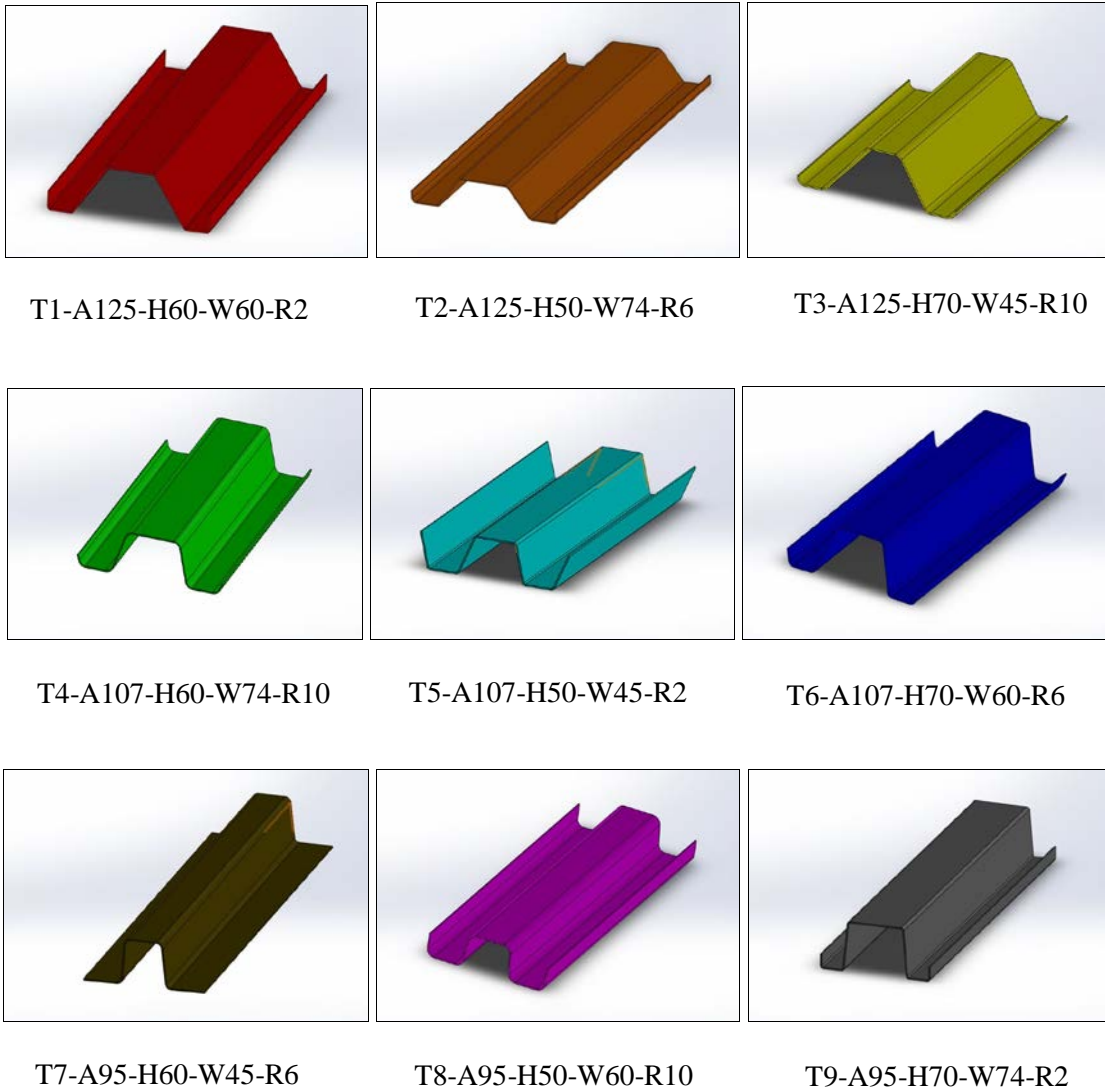


(B) Montaj sınır şartları

Resim 3.2 300'lük profilin kullanılan formu ve montaj sınır şartları

3.3 Yeni Tasarım Oluşturma

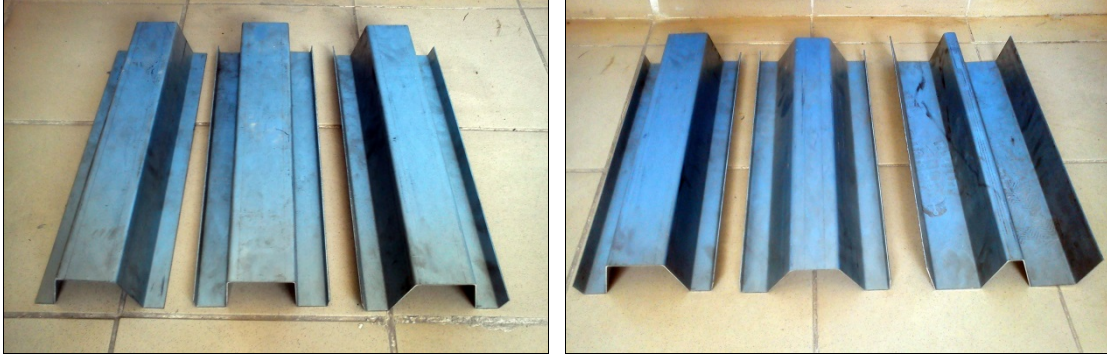
Silo yan sacı direklerinin belirlenmiş olan parametrelere göre numune lleri oluşturulduktan sonra Solidworks  boyutlu modelleme programında bu ölülere göre yeni tasarımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarımlara Taguchi deney sırasına göre toplamda 9 adet (T) numara ve Şekil 3.5'deki parametrik değişkenlere göre (A, H, W, R) değerler verilerek, çalışmanın tamamında kullanılmak üzere numune bazında tanımlamalar yapılmıştır.



Şekil 3.6 Taguchi L9 Ortogonal dizisi deney reçetesine göre türetilen direk tasarımları

3.4 Testler İçin Numune İmalatı

Üç boyutlu çizim programında modellenen tasarımlar daha sonrasında test edilebilmek için imal edilmiştir. Prototipler test cihazı numune boyuna uygun olacak şekilde imal edilmiştir. Standart direk boyları 2200 mm iken numune boyları 500 mm olarak tutulmuştur. Kalınlıklar sadece numune kesit davranışı inceleyeceği için hepsinde 2mm kabul edilmiştir (Resim 3.3).



Resim 3.3 Test için imal edilen direk numuneleri

3.5 Malzeme Özellikleri

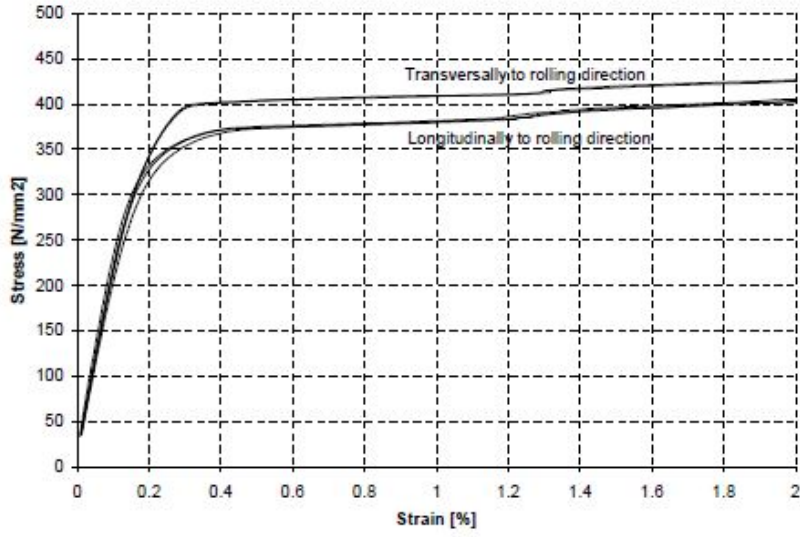
Çizelge 3.1’de üretimde kullanılan S350GD+Z sıcak daldırma galvanizli alaşımsız yapı çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de ise kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Üretimde kullanılan galvanizli alaşımsız yapı çeliği (S350GD+Z) mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
S350GD+Z	min. 350	min. 420	min. 16

Çizelge 3.2 S350GD+Z Çeliğinin kimyasal özellikleri

Element		Maksimum Değer (%)
Karbon	C	0.20
Silisyum	Si	0.60
Manganez	Mn	1.70
Sülfür	S	0.045
Fosfor	P	0.1



Şekil 3.7 Oda sıcaklığında yapısal çelik S350GD + Z için gerilme-uzama eğrileri

4. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

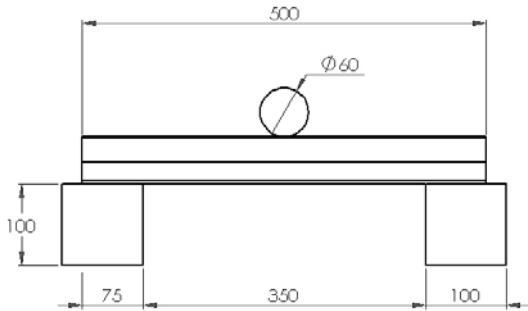
4.1 Sonlu Elemanlar ve Hasar Analizi DeneYleri

Üç nokta basma deneyi için örnek veriler elde etmek amacıyla fabrikada üretilen hali hazırdaki 300 mm açılımlı profil ile aynı profilin açılı kademeli olarak daraltıldı. Çizelge 4.1’de imal edilen numunelerin ölçüleri verilmiştir. Bu tabloda birinci sıradaki numune imalatında kullanılan profildir. Diğerleri ise açılı daraltılmış numunelerdir. Çizelgede verilen 3 numuneye üç nokta eğme deneyi İstanbul KOSGEB laboratuvarında uygulanmış ve aynı zamanda bu numuneler ABAQUS sonlu elemanlar programında modellenerek aynı üç nokta eğme deneylerinin simülasyonları yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Üç farklı açıda üretilen örnek numuneler

No	A (Açı) (°)	H (Yükseklik) (mm)	W (Tepe Genişliği) (mm)	R (Radyüs) (mm)	Y1 (Maks. Akma Kuvveti) (N)	Doğrusallığın Bozulduğu Akma Kuvvetindeki Deplasman (mm)
1 (Numune-8)	125	60	60	2	13957,2	18,290
2 (Numune-6)	95	64	70	2	46528,6	2,477
3 (Numune-15)	107	64	67	2	22996,0	10,964

Şekil 4.1’de üç nokta eğme deneyinde ve ABAQUS sonlu elemanlar programında modelleme sırasında kullanılan numune boylarını, mesnetler arası mesafeyi ve zımba ölçüleri görülmektedir. Sonlu elemanlar programında yapılan modelleme gerçekte yapılan üç nokta eğme deneyi modelinin aynısıdır.



Şekil 4.1 Yapılan üç nokta eğme deneyi ölçüleri ve deney cihazı

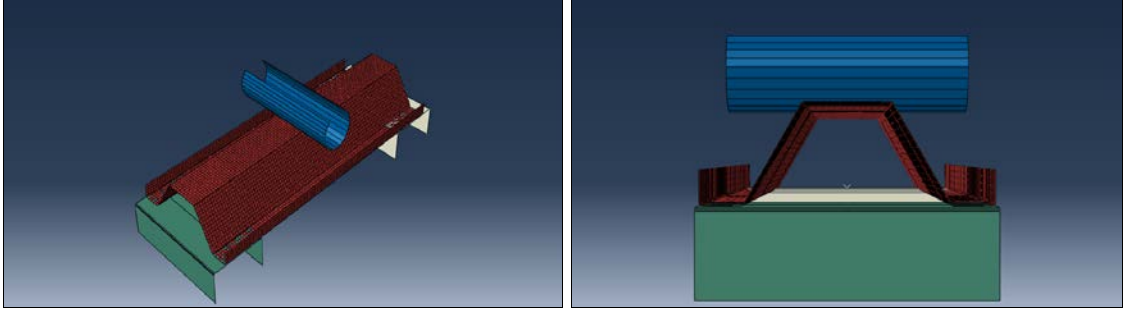
Sonlu elemanla rprogramında kullanılan analiz özellikleri :

- Eleman Tipi (Mesh) : Square
- Eleman boyutu (Mesh) : 5 mm
- Sınır şartları : Alt Destekler ve Zımba Temas noktaları sürtünmeli, sürtünme oranı (friction coeff : 0.05)
- Stiffener Malzemesi : Shell, Homogeneous
- Stiffener Malzeme Kalınlığı : 2 mm
- Elastite Modülü : 207 Mpa
- Possion Oranı : 0.3
- Stiffener : 3D Deformable
- Alt Destek-1, Alt Destek-2, Zımba : 3D Analytical Rigid
- Analiz Tipi : Dynamic, Explicit

Çizelge 4.2 Yükleme hızı (Velocity)

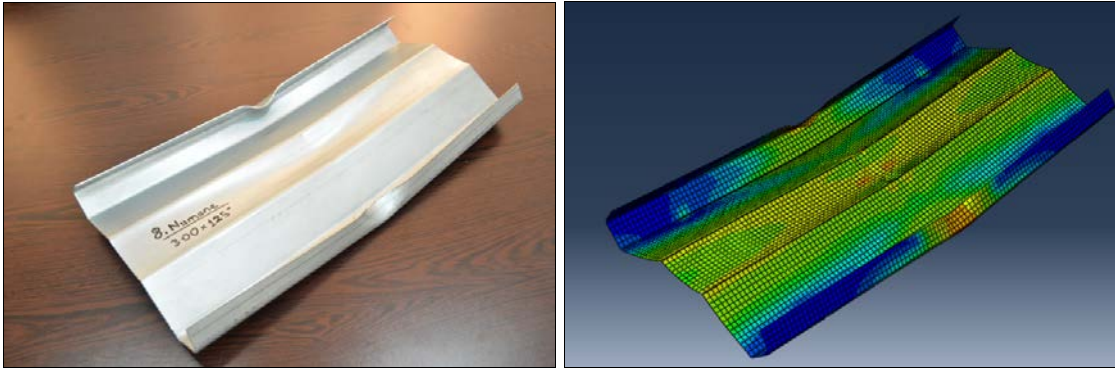
Time	Amplitude	Time	Amplitude	Time	Amplitude
0	0	0.00175	1064.335083	0.0035	1814.989624
0.000125	79.972664	0.001875	1131.702393	0.003625	1849.897095
0.00025	159.822006	0.002	1197.324707	0.00375	1881.952148
0.000375	239.424896	0.002125	1261.100952	0.003875	1911.105469
0.0005	318.6586	0.00225	1322.932495	0.004	1937.312134
0.000625	397.401062	0.002375	1382.724121	0.004125	1960.531372
0.00075	475.53067	0.0025	1440.383911	0.00425	1980.727539
0.000875	552.927002	0.002625	1495.82251	0.004375	1997.869873
0.001	629.470764	0.00275	1548.954834	0.0045	2011.931519
0.001125	705.044128	0.002875	1599.698975	0.004625	2022.890747
0.00125	779.530212	0.003	1647.976074	0.00475	2030.731201
0.001375	852.814331	0.003125	1693.712402	0.004875	2035.439941
0.0015	924.783447	0.00325	1736.836914	0.005	2037.010254
0.001625	995.326538	0.003375	1777.283691	1	2037.010254

Şekil 4.2’de bir numaralı numunenin ABAQUS programında modellenmiş hali görünmektedir. Hem üç nokta eğme deneyinde hem de sonlu elemanlar simülasyonunda aynı model kullanılmıştır.



Şekil 4.2 1 Numaralı numunenin ABAQUS sonlu elemanlar programında yapılan modeli

Şekil 4.3’de üç nokta eğme deneyi ile sonlu elemanlar sonucu verilmiştir. Her iki sonuç görsel olarak karşılaştırıldığında genel hasar durumları ve profilin açılma durumları açısından benzer sonucu sergiledikleri görülmüştür.

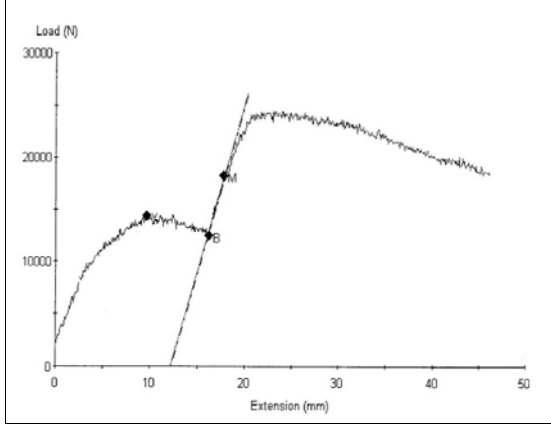


(A) Deneysel sonuç

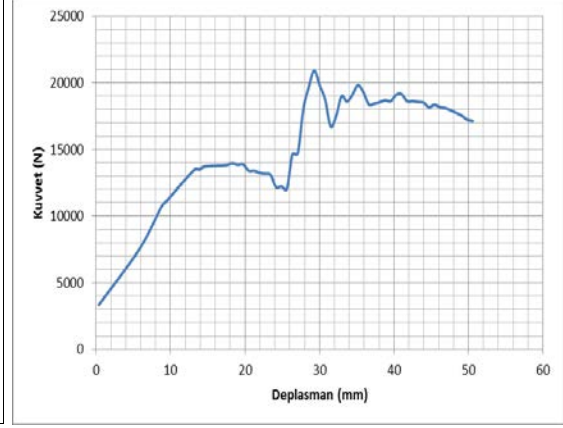
(B) Sonlu elemanlar sonucu

Şekil 4.3 1 Numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar analizi görsel sonuçları

Şekil 4.4’de bir numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar kuvvet-deplasman grafikleri verilmiştir. Şekil 4.4 (A)’da üç nokta eğme deneyinden elde edilen kuvvet deplasman grafiği, Şekil 4.4 (B)’de ise sonlu elemanlar analizinden elde edilen kuvvet deplasman grafiği verilmiştir. Her iki grafikte ilk tepe noktaları akma noktasını yani profilin doğrusallığının bozulduğu noktayı göstermektedir. Bu nokta profilin rijitliğinin bozulduğu noktadır. Gözlem sonucu olarak bu değerler kullanılmış ve bu değerlere göre parametre optimizasyonu yapılmıştır.



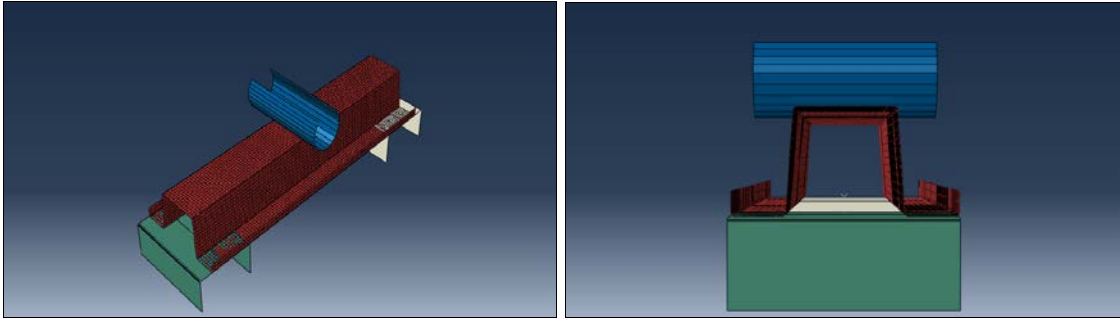
A) Deney sonucu grafiği



(B) Sonlu elemanlar sonucu

Şekil 4. 4 1 Numaralı numunenin üç nokta eğme deneysel ve sonlu elemanlar analiz sonuçları

Şekil 4.5’de iki numaralı numunenin ABAQUS programında modellenmiş hali görünmektedir. Bu numunede açı 95° dir. Diğer numuneye göre yükseklik ve genişlik farkından dolayı kanat boyları biraz daha kısadır, ancak pah açıları aynıdır.

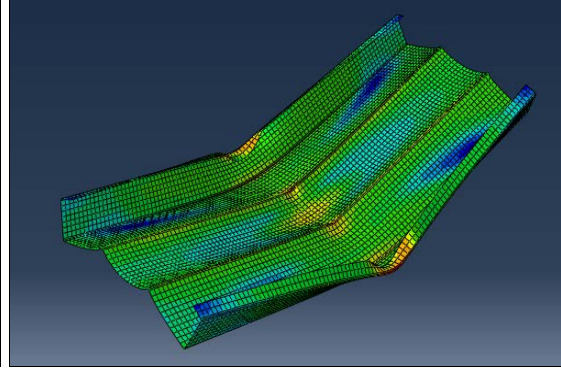


Şekil 4.5 2 Numaralı numunenin ABAQUS sonlu elemanlar programında yapılan modeli

Şekil 4.6’da üç nokta eğme deneyi ile sonlu elemanlar sonucu verilmiştir. Her iki sonuç görsel olarak karşılaştırıldığında genel hasar durumları ve profilin açılma durumları açısından benzer sonucu sergiledikleri görülmüştür. Şekil 4.3’te 125° mevcut profilin hasarı ile görsel olarak karşılaştırıldığında profilin açılmaya karşı daha çok zorlandığı basmadaki hasarın radyüs bölgesinde olduğu görülmüştür.



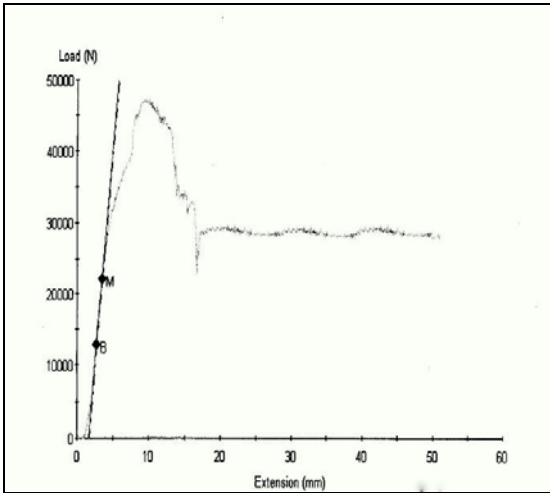
(A) Deney sonucu



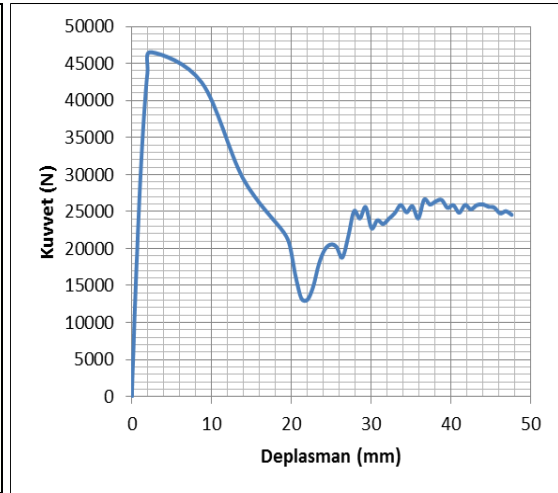
(B) Sonlu elemanlar sonucu

Şekil 4.6 2 Numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar analizi görsel sonuçları

Şekil 4.7’de iki numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar kuvvet-deplasman grafikleri verilmiştir. Şekil 4.7 (A)’da üç nokta eğme deneyinden elde edilen kuvvet deplasman grafiği, Şekil 4.7 (B)’de ise sonlu elemanlar analizinden elde edilen kuvvet deplasman grafiği verilmiştir. Her iki grafikte de görüldüğü gibi doğrusallığın bozulduğu akma değerleri sırası ile 48 kN ve 46 kN olarak görülmektedir, bununla birlikte doğrusallığın bozulduğu deplasman değerleri 10 mm’den daha azdır. Birinci numunenin akmadaki deplasman değerleri 10 mm den sonradır.



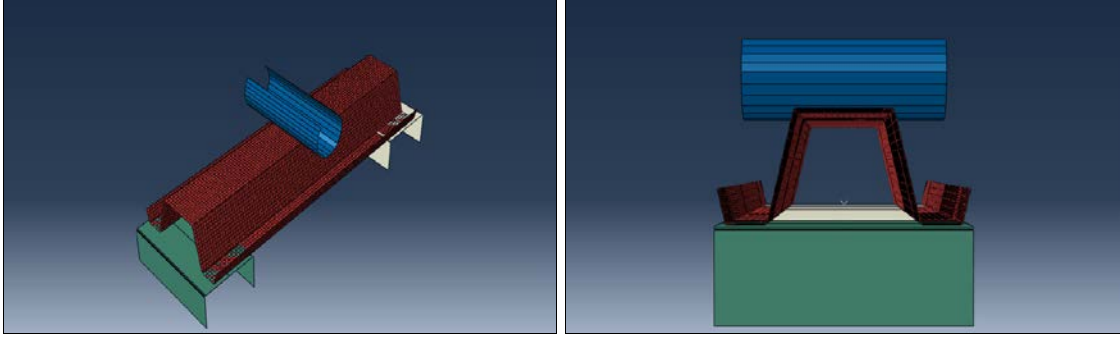
(A) Deney sonucu grafiği



(B) Sonlu elemanlar sonucu

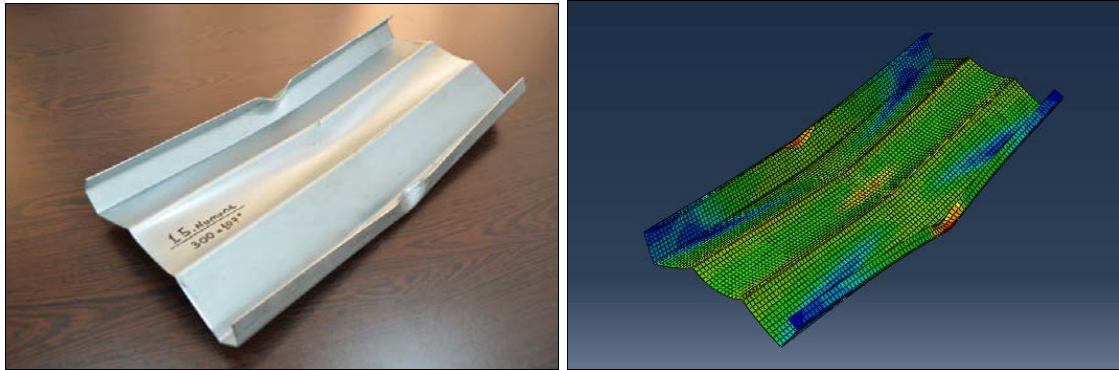
Şekil 4.7 2 Numaralı numunenin üç nokta eğme deneysel ve sonlu elemanlar analiz sonuçları

Şekil 4.8’da üç numaralı numunenin ABAQUS programında modellenmiş hali görünmektedir. Bu numunede açı 107° dir. Bu açı en düşük değer olan 95° ile en yüksek değer olan 125° arasında olan bir değerdir. Bu açının seçilmesindeki amaç ara değerlerin sonucun deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile gözlemlenmesidir.



Şekil 4.8 3 Numaralı numunenin ABAQUS sonlu elemanlar programında yapılan modeli

Şekil 4.9’da üç nokta eğme deneyi ile sonlu elemanlar sonucu verilmiştir. Her iki sonuç görsel olarak karşılaştırıldığında genel hasar durumları ve profilin açılma durumları açısından benzer sonucu sergiledikleri görülmüştür. Şekil 4.3’te 125° mevcut profilin hasarı ile görsel olarak karşılaştırıldığında profilin açılmaya karşı daha çok fazla zorlanmadığı 125° açılı profile benzer bir hasar sergilediği görülmüştür.



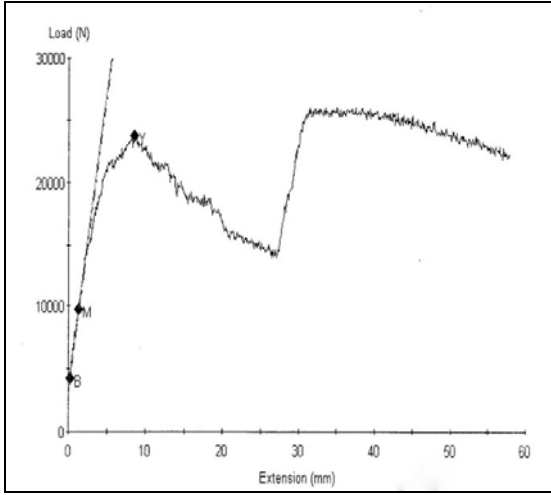
(A) Deney sonucu

(B) Sonlu elemanlar sonucu

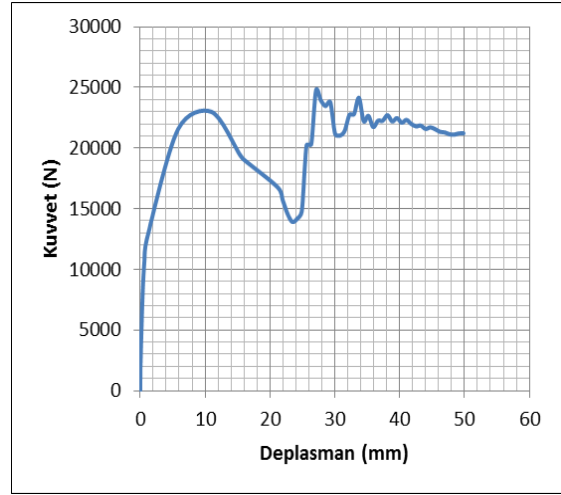
Şekil 4.9 3 Numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar analizi görsel sonuçları

Şekil 4.10’da iki numaralı numunenin deneysel ve sonlu elemanlar kuvvet-deplasman grafikleri verilmiştir. Şekil 4.10 (A)’da üç nokta eğme deneyinden elde edilen kuvvet

deplasman grafiği, Şekil 4.10 (B)'de ise sonlu elemanlar analizinden elde edilen kuvvet deplasman grafiği verilmiştir. Her iki grafikte de g r ld ğu gibi doğrusallığın bozulduğu akma değerlerinin 23 kN olduğu görülmekte olup bunun la birlikte doğrusallığın bozulduğu deplasman değerlerinin 10 mm olduğu görülmüştür. Buradan aının daraldıkça kuvvetin arttığı ve akmadaki deplasman değerinin azaldığı görülmüştür.



(A) Deney sonucu grafiği



(B) Sonlu elemanlar sonucu

Şekil 4.10 3 Numaralı numunenin  nokta eğme deneysel ve sonlu elemanlar analiz sonuçları

4.2 Parametre Optimizasyonu

Şekil 3.5'de verilen 300 l k profilde tanımlanan parametrelere göre mevcut profilin  leleri belirli oranlarda azaltılarak ve arttırılarak her bir parametreye er seviye tanımlanmıŐtır. Çizelge 4.3'de kullanılan parametreler ve seviyeleri g r lmektedir.

Çizelge 4.3 300'l k tasarım için kullanılan parametreler ve seviyeleri.

No	Parametre Adı	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	Aı (�)	125	107	95
2	Yükseklik (mm)	60	50	70
3	Tepe Genişliği (mm)	60	74	45
4	Radyüs (mm)	2	6	10

Çizelge 4.3'deki parametre ve seviyelerin tam faktöriyel (3^4) deneyleri toplamı 81 olmaktadır. Bu deneylerin faktöriyel deneyini yapmak çok sıkıntılı olacaktır özellikle pah yarıçapını CNC büküm makinelerinde yapmak için özel kalıplar gerekecektir ve bu sadece deneysel çalışmalar için çok zaman alıcı ve maliyetli olacaktır. Bu yüzden 81 deney yerine Taguchi üç seviyeli L9 ortogonal dizi kullanılmıştır. Çizelge 4.4'te Taguchi L9 ortogonal dizisinin deney reçetesi verilmiştir. Taguchi L9 deney tasarımında verilen 9 adet deney, tabloda verilen parametrelere göre ABAQUS sonlu elemanlar programında modellenmiş ve üç nokta eğme ve burkulma sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.4 Taguchi L9 Ortogonal dizisi deney reçetesi

Deney No	A (Açı) (°)	H Yükseklik (mm)	W (Tepe Genişliği) (mm)	R (Radyüs) (mm)
T1	125	60	60	2
T2	125	50	74	6
T3	125	70	45	10
T4	107	60	74	10
T5	107	50	45	2
T6	107	70	60	6
T7	95	60	45	6
T8	95	50	60	10
T9	95	70	74	2

Analiz sonuçları denklem 4'de verilen ve Taguchi, kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda S/N fonksiyonu olarak ifade edilen en yüksek en iyi fonksiyonu kullanılmış ve varyans analizi ile parametrelerin optimizasyonu buna göre yapılmıştır. Taguchi deney tasarımının oluşturulmasında, sinyal/gürültü değerlerinin hesaplanmasında ve varyans analizin yapılmasında Minitab 16 istatistik programı kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4)$$

4.2.1 Üç Nokta Eğme İçin Parametre Optimizasyonu

Silo yan sacı direklerinin üç nokta eğme deneyinde gözlem sonucu olarak doğrusallığın bozulduğu akma noktasındaki kuvvet değerleri ve deplasman değerleri alınmıştır. Çizelge 4.5’de akma değeri ve deplasman sonuçları verilmiştir. Taguchi L9 ortogonal dizisi ile yapılan deneyin akma değeri ve deplasman grafikleri Ekler kısmında verilmiştir.

Çizelge 4.5 Taguchi L9 Ortogonal dizisi deney reçetesi ve Akma değeri ve deplasman sonuçları

Deney No	Y1 (Maks. Akma Kuvveti) (N)	Y1 (S/N) Oranı Değeri	Akma Kuvvetindeki Deplasman (mm)
1	12957	82.25022	18.29
2	14382	83.15687	13.16
3	11846	81.47202	18.28
4	18334	85.50927	8.03
5	28428	89.07493	6,56
6	18794	85.48075	10.96
7	33389	90.47215	7.29
8	26451	88.44884	8.76
9	45921	93.24023	8.03

Minitab 16 programından elde edilen en yüksek en iyi sinyal gürültü oranına göre akma değeri sonuç tablosu Çizelge 4.6’de verilmiştir. S/N oranı değerlerine göre delta yani en düşük seviye değeri ile en yüksek seviye değerleri arasındaki farklara bakıldığında A (Açı) parametresinin daha yüksek H (Yükseklik) parametresinin ise daha düşük farka sahip olduğu görülmüştür. Buradan rank sıralamasına bakıldığında en etkin parametrelerin sırası ile A (Açı), R (Radyüs), W (Tepe Genişliği) ve H (Yükseklik) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6 En yüksek en iyi S/N oranına göre sonuç tablosu

Seviyeler	Parametreler			
	A	H	W	R
1	82.29	86.08	85.39	88.19
2	86.69	86.89	87.30	86.37
3	90.72	86.73	87.01	85.14
Delta	8.43	0.82	1.91	3.05
Rank	1	4	3	2

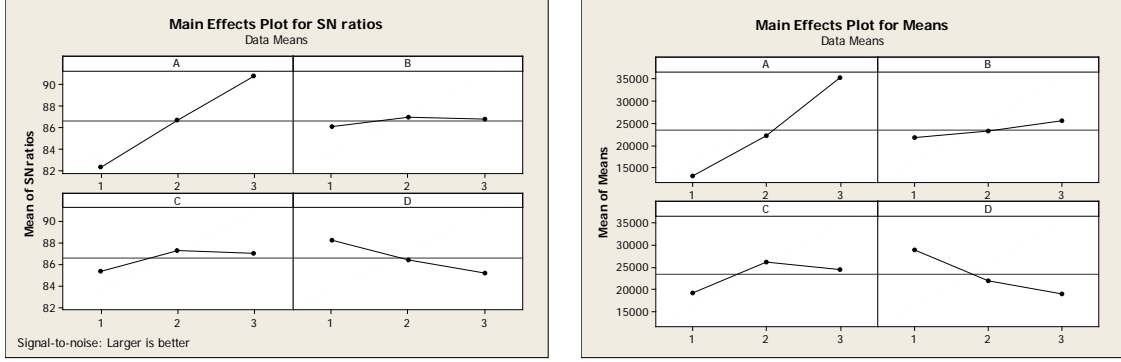
Çizelge 4.7’da Akma değerinin en yüksek en iyi S/N oranına ve ortalamaya göre varyans analizi verilmiştir. Bu tabloda da görüldüğü gibi hem S/N oranında hem de ortalamaya göre varyansı en yüksek parametre sırası ile A (Açı), D (Radyüs), W (Tepe Genişliği) ve H’dir (Yükseklik). Parametrelerin Çizelge 4.5’deki delta değerleri ile Çizelge 4.7’deki varyans değerleri arasında doğrusallık olduğu görülmektedir. Buna göre açı (A) ve radyüs (D) parametrelerinin deneye etkisi çok fazla iken tepe genişliği (W) ve özellikler yükseklik (H) parametresinin deneye katkılarının az olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7 En yüksek en iyi (S/N) ve ortalamaya göre varyans analizi

Parametreler	Serbestlik Derecesi	S/N Oranına Göre		Ortalamaya Göre	
		Kareler Toplamı	Ortalama Kareleri	Kareler Toplamı	Ortalama Kareleri
A	2	106.597	53.2984	747781019	373890510
H	2	1.120	0.5601	22090330	11045165
W	2	6.333	3.1666	78718616	39359308
R	2	14.084	7.0420	158649418	79324709
Toplam	8	128.134		1007239383	

Şekil 4.11’da en yüksek en iyi S/N oranına göre seviye farkları ve etkin seviyeler verilmiştir. Şekil 4.11 A’ya göre açı (A) parametresinin en etkin seviyesi 3 yani 95 derece, radyüs (R) parametresinin en etkin seviyesi 1 yani 2mm, tepe genişliği (W) parametresinin en etkin seviyesi 2 yani 74 mm ve son olarak yükseklik (H)

parametresinin en etkin seviyesinin 2 yani 50 mm olduğu görülmüştür. Şekil 4.11 B'ye yani ortalamaya göre yükseklik parametresinin 3 seviyesi yani 70 mm olduğu görülmektedir. Ancak H parametresinin seviyeleri arasındaki fark sonucu çok fazla etkilememektedir. (Parametrelerin tablodaki karşılıkları A:A – B:H – C:W – D:R)



(A) En yüksek en iyi S/N

(B) Ortalamaya göre etkisi grafiği

Şekil 4.11 En yüksek en iyi S/N ve ortalamaya göre sütun etkisi grafiği

Taguchi deney tasarımı ile yapılan parametre ve seviye optimizasyonunda üç nokta eğme deneyi için en iyi dayanımı sağlayacak bir parametre seviye kombinasyonunu Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Ancak bu parametre seviyeleri doğrudan alındığında üretim için sınır şartlarına takılmaktadır.

- 1.Açılım boyunun 300 mm den büyük olmaması.
- 2.Yan kanatların yüksekliklerinin en fazla yüksekliğin yarısı kadar olması.
- 3.Alt yüzeylerin eksenler arası mesafenin 125 mm olmasıdır.
- 4.2 mm'den daha kalın saclara 95 ° açıda 2 mm radyüs verilmesi mümkün değildir.

Çizelge 4.8 Üç nokta eğme deneyi en yüksek akma değeri için parametre seviyeleri

Parametreler	A (Açı) (°)	H (Yükseklik) (mm)	W (Tepe Genişliği) (mm)	R (Radyüs) (mm)
Seviyeler ve Değerler	3	2	2	1
	95°	50mm	74mm	2mm

4.2.2 Burkulma İçin Parametre Optimizasyonu

Silo yan sacı direklerinin doğrusal olmayan burkulma analizlerinde mod1 ve mod2 durumlarındaki burkulma mukavemeti (eigenvalue) değerleri alınmıştır. Çizelge 4.9 Mod 1 ve Mod 2 için burkulma mukavemeti sonuçları ve en yüksek en iyi (S/N) oranı değerleri verilmiştir. Bu değerlerden parametrelerin varyans hesabı yapılmıştır.

Çizelge 4.9 Taguchi L9 ortogonal dizisi deney reçetesi ve akma değeri ve deplasman sonuçları

Deney No	MOD1-Y1 (N)	MOD1-Y1 (S/N) Oranı Değeri	MOD2-Y1 (N)	MOD2-Y1 (S/N) Oranı Değeri
1	18281,2	105.24	26333,3	108.41
2	14069,8	102.97	23713,1	107.50
3	12693,4	102.07	34149,2	110.67
4	18820,8	105.49	21659,8	106.71
5	21657,1	106.71	39015,5	111.82
6	21437,5	106.62	35331,8	110.96
7	35329,0	110.96	38947,5	111.81
8	30282,1	109.62	32121,6	110.13
9	16858,0	104.53	26333,3	108.41

Minitab 16 programından elde edilen en yüksek en iyi sinyal gürültü oranına göre sonuç tablosundan çıkarılan MOD1 ve MOD2 için seviye etkileri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Sinyal gürültü oranı değerlerine göre delta Mod1 ve Mod2 için farklı olduğu görülmektedir. Ancak her ikisi içinde aynı olan değer üçüncü ve dördüncü sıradaki H (Yükseklik) ve R (Radyüs) parametreleridir. Mod1'de A (Açı) parametresi en etkin parametre görünürken W (Tepe Genişliği) ikinci etkin parametre, Mod2'de ise tam tersi

W (Tepe Genişliği) birinci etkin parametre ve A (Açı) parametresi ikinci etkin parametre olarak görölmektedir. Üç nokta eğme deneyindeki (Çizelge 4.6) gibi delta değerleri arasında çok büyük farklar görölmemektedir.

Çizelge 4.10 En yüksek en iyi S/N oranına göre sonuç tablosu

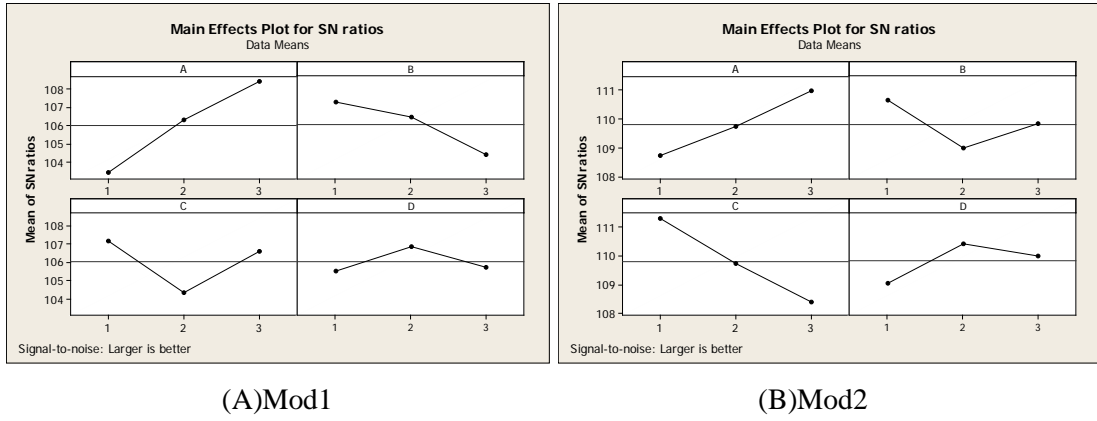
	MOD1				MOD2			
Seviyeler	A	H	W	R	A	H	W	R
1	103.4	107.2	107.2	105.5	108.7	110.6	111.3	109.0
2	106.3	106.4	104.3	106.9	109.7	109.0	109.7	110.4
3	108.4	104.4	106.6	105.7	111.0	109.8	108.4	110.0
Delta	4.9	2.8	2.8	1.4	2.2	1.7	2.9	1.4
Rank	1	3	2	4	2	3	1	4

Çizelge 4.11’da en yüksek en iyi sinyal gürültü oranına göre Mod1 ve Mod2 varyans analizleri verilmiştir. Bu tabloda da göröldüğü gibi Mod1’e göre en etkin parametre A (Açı), sonra W (Tepe Genişliği), H (Yükseklik) ve son olarak da R (Radyüs) gelmektedir. Ancak Mod2’ye durum biraz daha farklıdır, Mod1 ile Mod2 arasındaki benzerlik H ve R parametrelerinin sırası ile sonuncu parametreler olmasıdır. Mod2’deki S burkulma moduna göre en etkin parametrenin W (Tepe Genişliği) olduğu görölmektedir. Üç nokta eğme deneyinde de tepe genişliği parametresinin yükseklik parametresinden etkinlik yönünden önceliği olduğu da görölmektedir.

Çizelge 4.11 En yüksek en iyi (S/N) ve ortalamaya göre varyans analizi

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Mod1’e Göre		Mod2’ye Göre	
		Kareler Toplamı	Ortalama Kareleri	Kareler Toplamı	Ortalama Kareleri
A	2	37.01	18.51	7.58	3.79
H	2	12.69	6.34	4.11	2.05
W	2	13.41	6.71	12.71	6.35
R	2	3.15	1.57	2.93	1.46
Toplam	8	66.26		27.33	

Şekil 4.12’de Mod1 ve Mod2 durumlarının en yüksek en iyi S/N oranına göre seviye farkları ve etkin seviyeler verilmiştir. Şekil 4.12’de Mod1 ve Mod2’ye göre açı (A) parametresinin en etkin seviyesi 3 yani 95 °, radyüs (R) parametresinin en etkin seviyesi 2 yani 6mm, tepe genişliği (W) parametresinin en etkin seviyesi 1 yani 60 mm ve son olarak yükseklik (H) parametresinin en etkin seviyesinin 1 yani 60 mm olduğu görülmüştür. (Parametrelerin tablodaki karşılıkları A:A – B:H – C:W – D:R)



Şekil 4.12 En yüksek en iyi S/N sütun etkisi grafiği

Taguchi deney tasarımı ile yapılan parametre ve seviye optimizasyonunda burkulma deneyi için en iyi dayanımı sağlayacak bir parametre seviye kombinasyonunu Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Üç nokta eğme deneyi en yüksek akma değeri için parametre seviyeleri

Seviyeler	Parametreler			
	A (Açı) (°)	H (Yükseklik) (mm)	W (Tepe Genişliği) (mm)	R (Radyüs) (mm)
Mod1’e Göre	3	1	1	2
Mod2’ye Göre	3	1	1	2
Değerler	95°	60 mm	60 mm	6 mm

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Eski ve Yeni Stiffener Karşılaştırma

Çizelge 5.1’de üç nokta eğme deneyi için elde edilen etkin seviyeler ile Mod1 ve Mod2 Burkulma değerleri için elde edilen etkin seviyelerin karşılaştırılması verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi ortak olan tek parametre A (Açı) parametresidir. Ancak silo yan sacının hem aksenal yüklemelere hem de yatayda rüzgar yükü ve hububat basıncı yüklerine karşı her ikisi de dikkate alınmalıdır.

Silo yan sacı direklerinin taşıdığı aksenal yükler yatay yüklerden daha fazladır. Ancak bu parametre seviyeleri doğrudan alındığında üretim için sınır şartlarına takılmaktadır. Bunlardan birisi açılım boyunun 300 mm den büyük olmaması, yan kanatların yüksekliklerinin en fazla yüksekliğin yarısı kadar olması ve alt yüzeylerin eksenler arası mesafenin 125 mm olmasıdır. Bununla birlikte 2 mm den daha kalın sacların 95 ° dar açıda 2 mm radyüs verilmesi mümkün değildir. Bununla birlikte üretimin tamamının roll-form teknolojisi ile yapılacağı düşünülürse 2 mm’lik radyüs uygun değildir. Yan direklerle kullanılan sac kalınlıkları 2,4,6 ve 8 mm olduğu düşünülürse radyüs en fazla en büyük sac kalınlığı kadar olması gerekmektedir. İşletmede mevcut olarak 2,4,6 ve 8 mm kalınlıkta saclar kullanıldığı için pah yarıçapını 8 mm almak daha uygun olacaktır.

Çizelge 5.1 Üç nokta eğme ve Burkulma değerleri için etkin seviyelerin karşılaştırılması

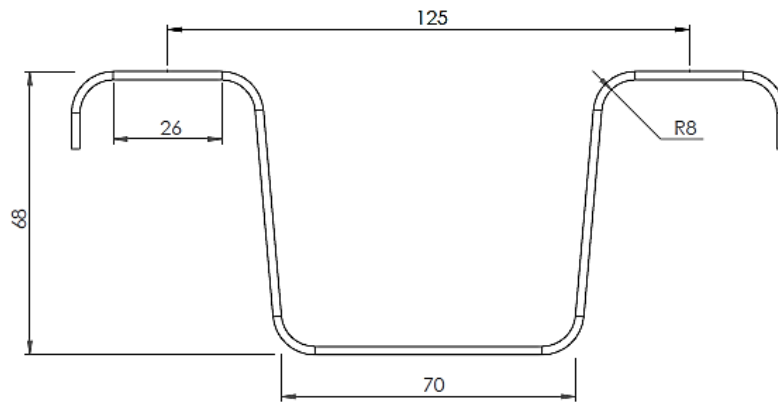
Seviyeler	Parametreler			
	A (Açı) (°)	H (Yükseklik) (mm)	W (Tepe Genişliği) (mm)	R (Radyüs) (mm)
Mod1 ve Mod2’ye Göre	3	1	1	2
Değerler	95°	60 mm	60 mm	6 mm
Üç Nokta Eğmeye Göre	3	2	2	1
Değerler	95°	50mm	74mm	2mm

Çizelge 5.2’de parametrelerin etkinlik düzeylerine ve üretim sınır şartlarına göre oluşturulmuş bir modelin ölçüleri verilmiştir. Yükseklik değerinin etkinlik düzeyi düşük olduğu için tavsiye edilen değerden 10 mm yüksek verilmişti ve aynı zamanda kanat uzunluğu 19 mm ile yükseklik değerinin yarısının altında kalmıştır. Bu yüzden tepe genişliği 70 mm olabilmektedir. Toplam boy 300 mm ye sınırlı olduğundan tepe genişliği arttırıldığı zaman yükseklik değeri düşecek buda kanat boyunun artmasına sebep olacaktır.

Burkulma modlarında yükseklik(H) ve tepe genişliğinin(W) eşit olduğu durumlarda en iyi sonucu vermiştir. Üç nokta eğme analizlerinde ise yükseklik(H) ve tepe genişliğinin(W) en yüksek olduğu noktalarda en iyi dayanım değeri elde edilmiştir. Bundan dolayı optimize edilen profilin ölçüleri yükseklik(H) 68 mm ve tepe genişliği(W) 70 mm olarak belirlenmiştir. Roll-form için üretilebilecek en ideal profil ölçüsü Çizelge 5.2 ve Şekil 5.1’de verildiği gibidir.

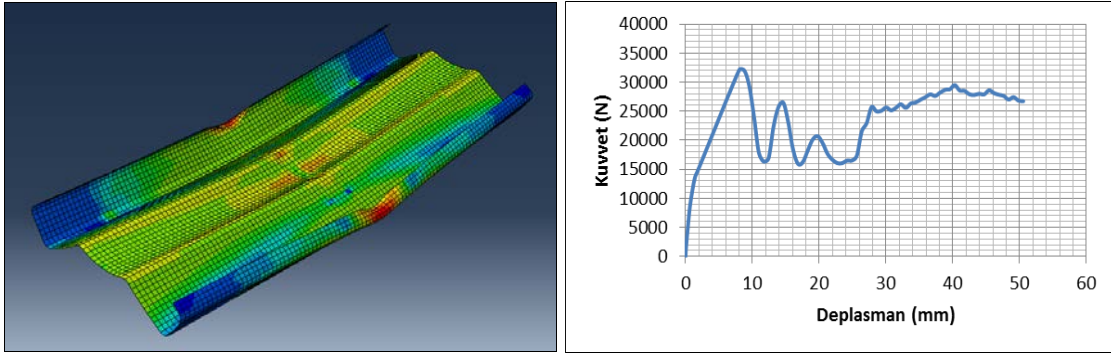
Çizelge 5.2 En yüksek akma değeri ve kısıtlamalara göre uygun görülen profil değerleri

A (Açı)	H (Yükseklik)	W (Tepe Genişliği)	R (Radyüs)
95°	68mm	70mm	8mm



Şekil 5.1 Üretimde kullanılması düşünülen profil ölçüleri

Oluşturulan yeni profile göre ABAQUS sonlu elemanlar yazılımında 3 nokta eğme deneyi yapılmış ve direğin doğrusallığının bozulduğu noktadaki akma kuvveti Şekil 5.2’de gösterildiği gibi yaklaşık 32 kN olarak çıkmıştır. Bu değer mevcut olarak kullanılan direğin sonlu elemanlar ile elde edilen 14 kN değerinden 2,5 kat daha fazladır. En düşük kalınlardaki profilde bile elde edilen değer oldukça yüksektir. Bununla birlikte sac kalınlıkları arttıkça direğin rijitlikleri daha da artacaktır.



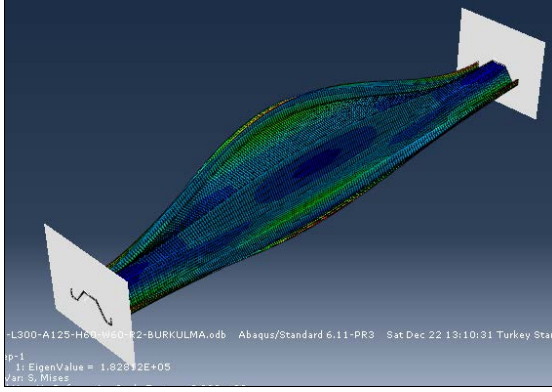
Şekil 5.2 Optimize A95-H68-W70-R8’lik profilin sonlu elemanlar modeli ve analiz sonuçları

Çizelge 5.3’de optimize edilmiş profil ile mevcut kullanılan profilin üç nokta eğme analiz sonuçları verilmiştir. Burada optimize edilmiş profilin doğrusallığının bozulduğu noktadaki akma değeri mevcut profilin akma değerinden 2,5 kat daha yüksek çıkmıştır ve deplasmanda yarı yarıya azaldığı görülmüştür.

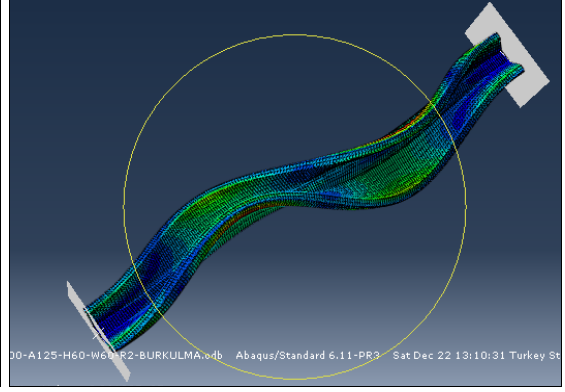
Çizelge 5.3 Optimize edilmiş 300’lük profilin üç nokta eğme simülasyon sonuçları ve mevcut profil ile karşılaştırılması

Profiller	A (Açı) (°)	H (Yükseklik) (mm)	W (Tepe Genişliği) (mm)	R (Radyüs) (mm)	Y1 (Maks. Akma Kuvveti(N))	Deplasman (mm)
Optimize Edilmiş	95	68	70	8	32063,3	8.76
Mevcut Profil	125	60	60	2	13957,0	18.49

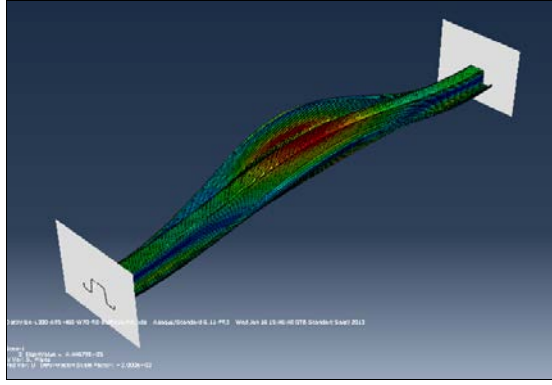
Oluşturulan yeni profile göre ABAQUS sonlu elemanlar yazılımında burkulma analizleri yapılmış ve direğin Mod1 ve Mod2’deki deformasyon şekilleri Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



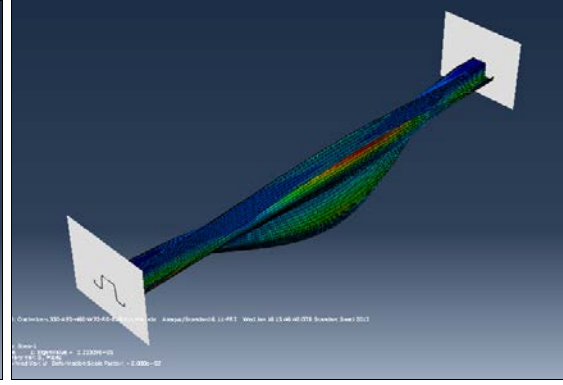
(A) Mevcut Profil Mod1



(B) Mevcut profil Mod2



(A) Optimize edilmiş profil Mod1



(B) Optimize edilmiş profil Mod 2

Şekil 5.3 Mevcut profil ve optimize edilmiş profilin Mod1 ve Mod2'deki burkulma şekilleri

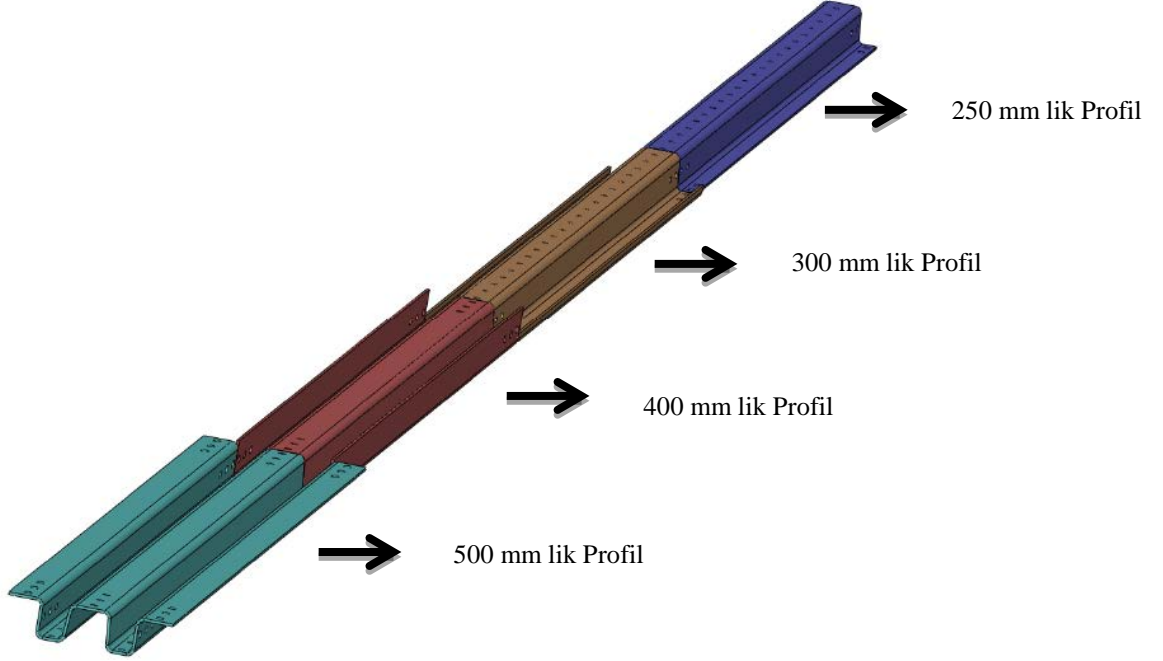
Çizelge 5.4'de optimize edilmiş profil ile mevcut kullanılan profilin Mod1 ve Mod2 burkulma değerleri sonuçları verilmiştir. Burada optimize edilmiş profilin Mod1 ve Mod2 değerlerinin mevcut profilin Mod1 ve Mod2 değerinden 1,5 kattan daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.4 Mevcut profil ve optimize edilmiş profilin Mod1 ve Mod2'deki burkulma değerleri

Profiller	A (Açı) (°)	H (Yükseklik) (mm)	W (Tepe Genişliği) (mm)	R (Radyüs) (mm)	Mod1 (N)	Mod2 (N)
Optimize Edilmiş	95	68	70	8	22350,9	41519,3
Mevcut Profil	125	60	60	2	18281,2	26333,3

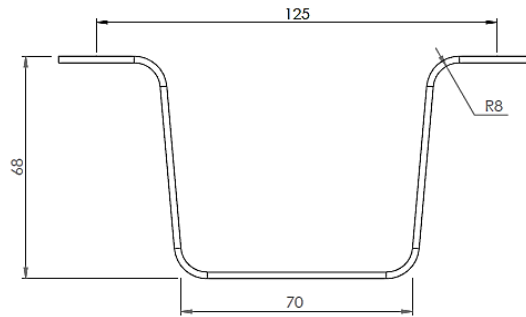
5.2 Optimize Edilmiş Profilden Türetilen Direkler

Şekil 5.4’de Optimize edilen Şekil 5.1’deki profilden türetilen diğer 250, 400 ve 500 mm açıklımlı profiller ve bu profillerin roll-forma göre üretim şekli görülmektedir

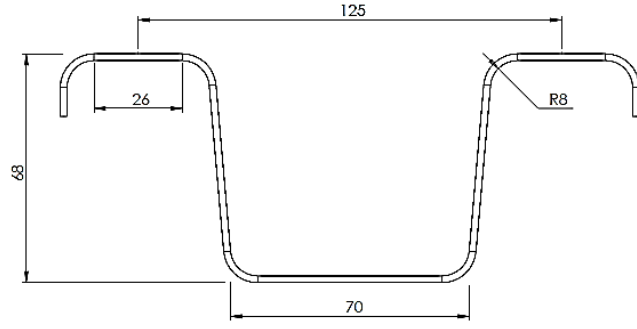


Şekil 5.4 Optimize edilen profilden türetilen diğer profiller roll-forma göre üretim sırası

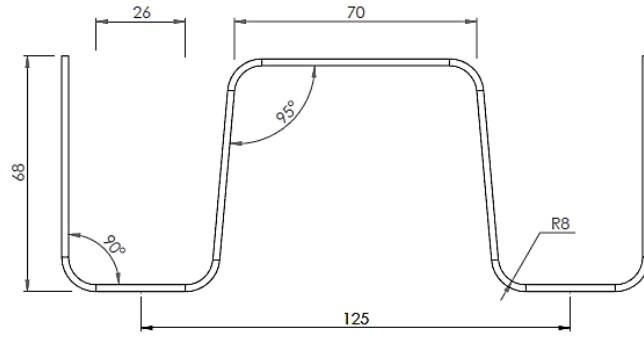
Analiz ve optimizasyon sonucunda üretilmesi düşünülen profiller aşağıdaki gibidir.



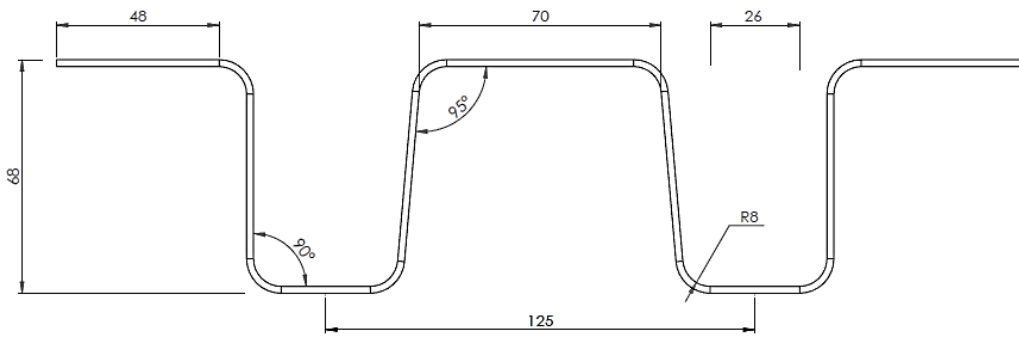
Şekil 5.5 250 açıklımlı profil



Şekil 5.6 250 açılımlı profil



Şekil 5.7 400 mm açılımlı profil



Şekil 5.8 500 mm açılımlı profil

6. SONUÇ

Optimize edilen profilin ölçüleri sadece kendi ölçüsündeki profiller için değil aynı zamanda farklı kalınlıklardaki ve farklı açılım genişliklerindeki profillere uygulanmaktadır. Yüksek kapasiteli silolarda 6-8 mm kalınlıkta saclardan 400-500 mm'lik açılımlı profiller üretilecektir. Silo direkleri aşağıdan yukarıya doğru cıvata ile bağlanılırken 500 lük profilden 400 lük profile geçişler yapılmaktadır. Böylece aynı profile sahip farklı açılım ölçülerine profiller elde edilerek çok kapsamlı bir kullanım imkanı olacaktır.

Optimize edilmiş profilin doğrusallığının bozulduğu noktadaki akma değeri standart profilin akma değerinden 2,5 kat daha yüksek olduğu ve deplasmanda yarı yarıya azaldığı ve özellikle silo cidarına yakın boşaltma sırasında maruz kaldığı noktasal düşey yüklere karşı mukavemeti önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Yan boşaltma, silo statik hesaplarında dikkate alınması halinde, silo maliyetini önemli ölçüde arttıracak etkiler ortaya çıkaran, kullanıcı hatası olarak değerlendirilen bir durumdur. Çelik tahıl siloları sadece silo merkezinden doldurulmak ve silo merkezinden boşaltılmak üzere dizayn edilmektedir. Ancak, yan boşaltma durumu ile karşılaşıldığında silo yan direkleri %17 daha fazla dayanım kazandığı gözlemlenmiş bu durumda kullanıcı hatalarının bir kısmını tolere edebilecektir.

Ortaya çıkan yeni direk formları, yukarıda belirtildiği gibi daha yüksek dayanım sağlayacak ve aynı direk formları, silo çatısını oluşturan çelik konstrüksiyonda da kullanılabilir, kare ve dikdörtgen kesitli tahıl silolar yapılabilir. Bu yeni direk formları aynı zamanda çelik konstrüksiyon binaların döşemelerinde ve kolonlarında kullanılabilir.

Bu araştırmadan sonraki hedefler, buradaki bulgular ışığında silo yan sacı formu ve imalat yöntemi üzerine yapılacak çalışmalarla devam edecektir. Tahıl depolama sistemlerinde silonun en önemli eleman olduğu düşünüldüğünde, sistemin dayanımını etkileyen her unsur tek tek ele alınmalıdır. Bu nedenle yeni geometrinin bu noktada ihtiyacı karşılayacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Akkaya, G., (2007). Yapay sinir ağları ve tarım alanındaki uygulamaları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, **38**(2): 195-202.
- Anonim, TS 6989, 1989, Betonarme Siloların Hesap, Yapım ve Kullanım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü.
- Bal, W. and Kasprzak, K.S. (2002). Induction of oxidative DNA damage by carcinogenic metals. *Toxicology Letters*, **127**: 55-62.
- Barnhart, J. (1997). Occurrences, uses and properties of chromium. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **26**: 3-7.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. (1973). Rapid determination of proline for water stress studies. *Plant Soil*, **39**: 205-207.
- Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, **44**: 276-287.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. *Analytical Biochemistry*, **72**: 248-254.
- Carson, J.W, Jenkyn R.T., (1993), Load Development and Structural Considerations in Silo Design. Presented at Reliable Flow of Particulate Solids II, Oslo, Norway, August (1993). Used with permission of the publisher.
- Cervantes, C., Garcia, J.C., Devars, S., Corona, F.G. and Tavera, H.L. (2001). Interactions of chromium with micro–organisms and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, **25**: 335-347.

- Cobbett, C.S. (2000). Phytochelatin biosynthesis and function in heavy-metal detoxification. *Current Opinion in Plant Biology*, **3**: 211-216.
- Chen, L. and Rotter, J.M., (2012). Buckling of anchored cylindrical shells of uniform thickness under wind load. *HeNan Electric Power Survey & Design Institute, Zheng Zhou, He Nan 450007, China*.
- Damerval, C., de Vienne, D., Zivy, M. and Thiellement, H. (1986). Technical improvements in two-dimensional electrophoresis increase the level of genetic variation detected in wheat-seedling proteins. *Electrophoresis*, **7**: 52-54.
- Goodey, R.J., Brown, C.J., (2004). The influence of the base boundary condition in modelling filling of a metal silo. *Computers and Structures*, **82**: 567-579.
- Gokalp, Z., (2010). Finite element analysis for displacements and stresses developed over horizontally corrugated steel silo wall panels. *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, **7**(3): 119-127.
- Gokalp, Z., Bundy, D.S., (2010). Analysis of lateral design pressures, vertical frictional forces and bending stresses on horizontally corrugated steel silo wall panels. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **28**(2): 71-79.
- Hongyu, L. (1994). Analysis of steel silo structures on discrete supports. Department of Civil Engineering & Building Science, The University of Edinburgh, Ph.D. Thesis, 244p.
- Juan, A., Moran, J.M., Guerra, M.I., Couto, A., Ayuga, F., Aguado, P.J., (2006). Establishing stress state of cylindrical metal silos using finite element method. *ESTI Agraria, Department of Agricultural Engineering, University of Leon, Av. Portugal 41, 24071 Leon, Spain*.

- Kumbasar, N., Aydogan, M., Altan, M., (1990). Betonarme silo ve bunkerler. ITU Yayınları, 1992.
- Kıvrak, K., (1987). Betonarme Siloların Hesap Esasları, Yönetmeliklere göre Malzeme Basınçlarının Karşılaştırılması ve Uygulamalar, ITU.
- Khelil, A., (2002). Buckling of steel shells subjected to nonuniform axial and pressure loading. *IUT Nancy Brabois, de'partment ge'nie Civil 54601, Villers Les Nancy, cedex 1, France.*
- Piskoty, G., Michel, S.A. and Zraggen, M., (2004). Bursting of a corn silo an interdisciplinary failure analysis. *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA), Uberlandstrasse 129, CH-8600 Dubendorf, Switzerland.*
- Rotter, J.M., (2001). Guide for Economic Design of Circular Metal Silos. Simultaneously published in the USA and Canada by Spon Press 29 West 35th street, New York, NY 10001.
- Pircher, M., (2004). The influence of a weld-induced axi-symmetric imperfection on the buckling of a medium-length silo under wind loading. *Centre for Construction Technology and Research, Kingswood Campus, Bldg X, University of Western Sydney, Locked Bag 1797, Penrith South DC, NSW 1797, Australia.*
- Iwicki, P., Wójcik, M. and Tejchman, J., (2011). Failure of cylindrical steel silos composed of corrugated sheets and columns and repair methods using a sensitivity analysis. *Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk-Wrzeszcz, Poland.*

Wójcik, M., Iwicki, P. and Tejchman, J., (2010). 3D buckling analysis of a cylindrical metal bin composed of corrugated sheets strengthened by vertical stiffeners. *Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdan'sk University of Technology, Gdan'sk, Poland.*

Wójcik, M., Enstad G.G. and Jecmenica M., (2003). Numerical calculations of wall pressures and stresses in steel cylindrical silos with concentric and eccentric hoppers. **21**(3): 247-258.

Yahnioglu, N., (2012). Sonlu elemanlar yöntemi. [www.yildiz.edu.tr/.../Sonlu%20elemanlar% 20yontemi-sunu.ppt](http://www.yildiz.edu.tr/.../Sonlu%20elemanlar%20yontemi-sunu.ppt) (erişim tarihi 15.05.2012).

<http://www.borcelik.com/turkce/urunlerimiz/hdg.aspx> (erişim tarihi 26.11.2012).

http://www.emwstahlservice.de/fileadmin/redakteur/EMW/DOWNLOAD/PDFs_Einzelseiten/Katalog-05-11/Hot-dip-galvanized-sheet.pdf (erişim tarihi 05.12.2012).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emrah AYDIN
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar 21.07.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 (543) 931 66 00 / emrhaydnn@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Demirtaşpaşa T.L (Bursa) – Bilgisayar Bölümü (2005)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi – Makine Res. ve Konst. Öğrt. (2011)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi – Makine Mühendisliği (2013)

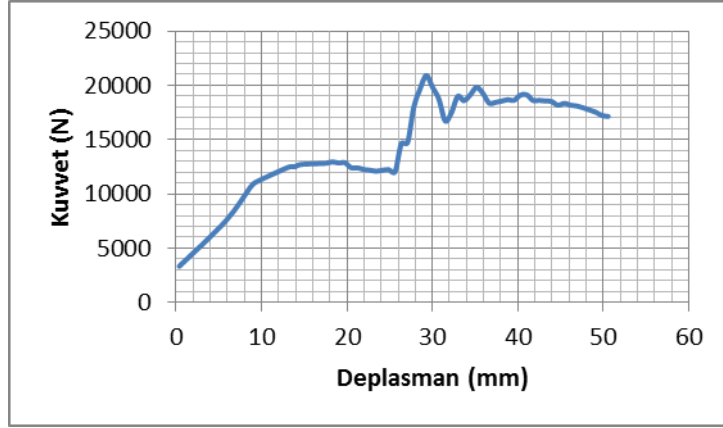
Yayımları (SCI ve diğer)

Projeler :

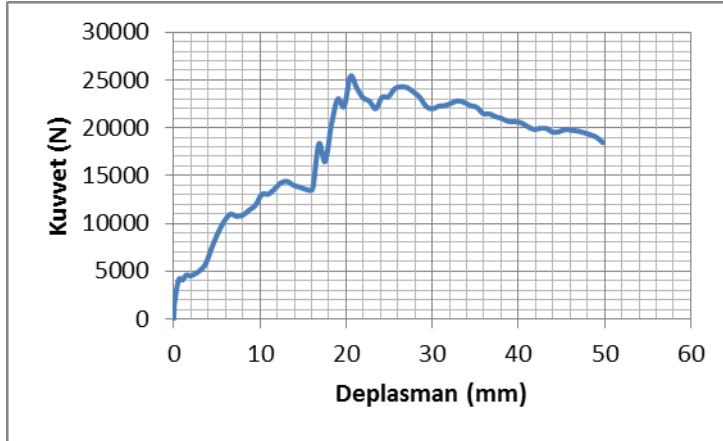
“*Silo Yan Sacı Direğinin Geometrisi ve Mukavemetinin Optimizasyonu ve Roll Form Yöntemi İle İmalatı*” 7120548 Numaralı TÜBİTAK Projesi, Bursiyer, 2012-2013.

EKLER

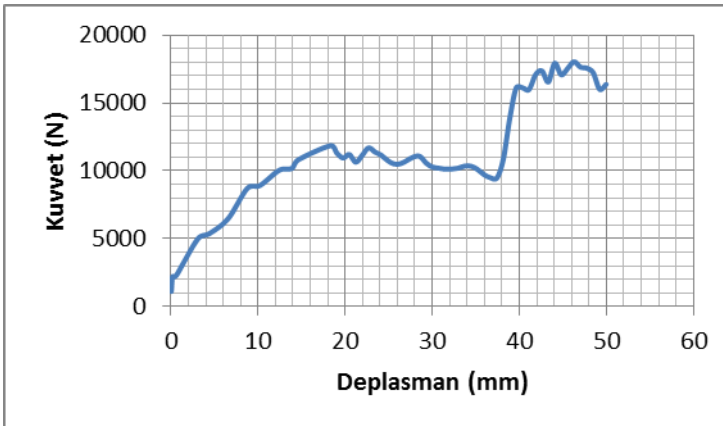
Taguchi L9 ortogonal dizisi ile yapılan üç nokta eğme deneyi akma değeri ve deplasman grafikleri.



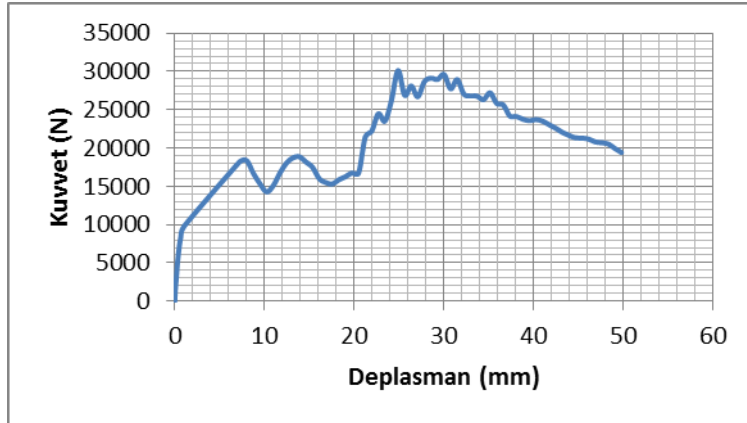
Şekil 7.1 T1-A125-H60-W60-R2



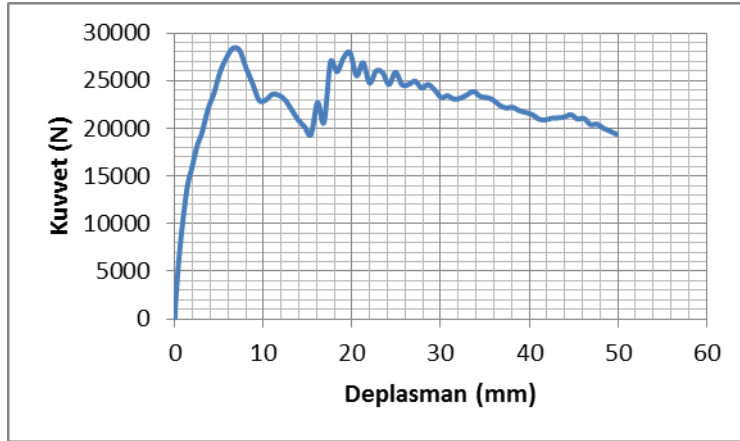
Şekil 7.2 T2-A125-H50-W74-R6



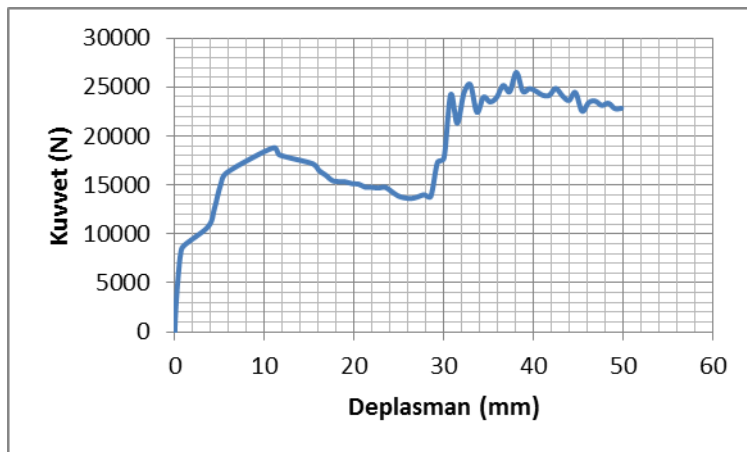
Şekil 7.3 T3-A125-H70-W45-R10



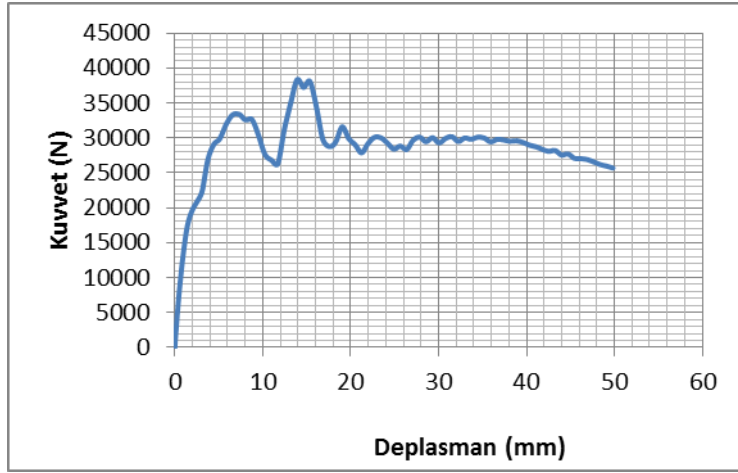
Şekil 7.4 T4-A107-H60-W74-R10



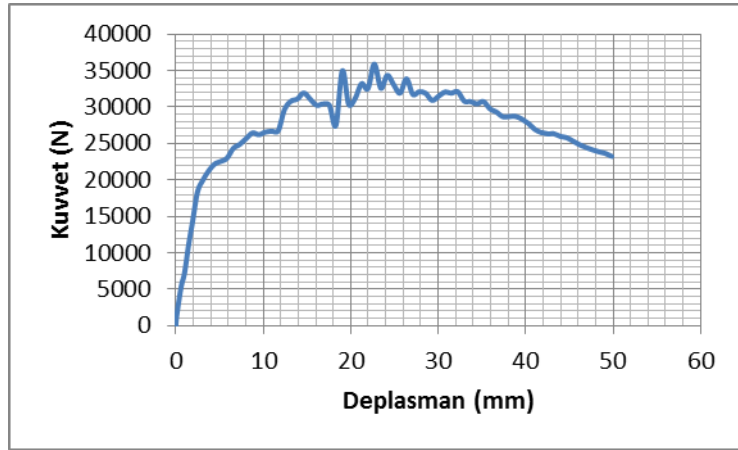
Şekil 7.5 T5-A107-H50-W45-R2



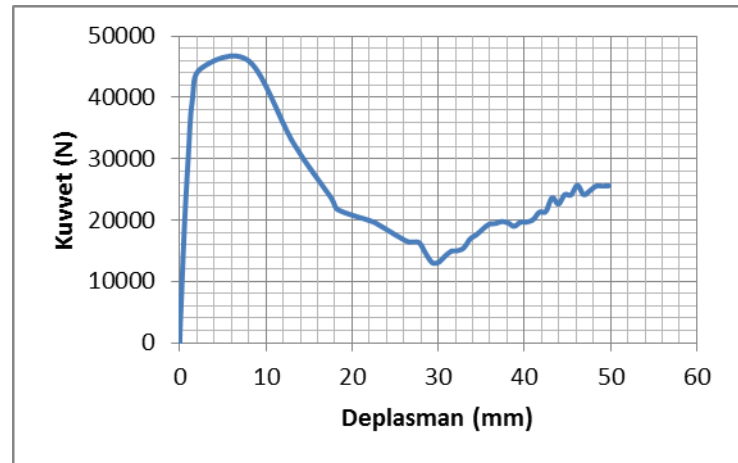
Şekil 7.6 T6-A107-H70-W60-R6



Şekil 7.7 T7-A95-H60-W45-R6



Şekil 7.8 T8-L300-A95-H50-W60-R10



Şekil 7.9 T9-A95-H70-W74-R2