BAĞ DİREKLERİNDE YATMAYI ÖNLEMEK İÇİN YENİ BİR BAĞ DİREĞİ TASARIMI

Özcan ATEŞ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAĞ DİREKLERİNDE YATMAYI ÖNLEMEK İÇİN YENİ BİR BAĞ DİREĞİ TASARIMI

Özcan ATEŞ
0009-0005-0869-2747

Prof. Dr. Selçuk ARSLAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2025
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAĞ DİREKLERİNDE YATMAYI ÖNLEMEK İÇİN YENİ BİR BAĞ DİREĞİ TASARIMI

Özcan ATEŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Selçuk ARSLAN

Üzüm yetiştiriciliğinde bağ direkleri, bağ sıralarının düzenini sağlamak, telleri taşımak ve bitkilerin sağlıklı büyümesini desteklemek amacıyla kritik öneme sahiptir. Ancak özellikle ana taşıyıcı olarak kullanılan bağ direkler, bağ teli gerilmesi ve rüzgâr yükü gibi dış etkiler altında zamanla eğilmekte veya yatmaktadır. Bu deformasyonlar, bağ sisteminin işlevselliğini azaltmakta, ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemekte ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bağ direklerinde karşılaşılan yatma ve eğilme sorunlarını ortadan kaldırmak amacıyla, yüksek mukavemetli ve korozyona dayanıklı bir bağ direği tasarımı yapmaktır. Bunun için beş farklı malzemenin (S355MC+Z, HX340LAD, DX54D, DC04, S355MC) kesit tasarımları ve gerilme analizleri yapılmıştır. Tasarım sürecinde, rüzgâr ve meyve yükü altındaki bağ tellerine 200-400 N'luk (20-40daN) gerilme kuvveti dikkate alınarak yapısal yük analizleri yapılmış, direğin dayanımı sonlu elemanlar analizi (FEA) ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, en ucuz olmamakla beraber, S355MC+Z galvanizli çelik sac malzeme seçimi uygun bulunmuştur. Tasarlanan direk, 2 mm kalınlığında, U profilli bir kesite ve toplam 10 büküme sahiptir. 52x55 mm kesit ölçülerine sahip olan direkte, uç kısımlarda 60 derece eğik, 12 mm uzunluğunda kulak bükümleri ile yapısal dayanım artırılmıştır. Direğin toplam uzunluğu 2200 mm'dir. Analiz sonuçları, önerilen tasarımın yatmaya karşı dirençli olduğunu ve mevcut tasarımlara kıyasla daha uzun ömürlü ve güvenilir bir performans gösterebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yapısal tasarım, Bağ Direği Tasarımı, Roll Form Üretim, Yapısal Güçlendirme, Korozyon Direnci, Tarımsal Mekanizasyon.
2025, vii + 42 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

A NEW VINEYARD POST DESIGN TO PREVENT LEANING IN VINEYARD POSTS

Özcan ATEŞ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk ARSLAN

In viticulture, vineyard posts play a critical role in maintaining row alignment, supporting trellis wires, and promoting healthy vine growth. However, the main load-bearing posts are particularly prone to deformation under external stresses such as wire tension and wind loading, which may result in bending or tilting over time. Such deformations compromise the structural functionality of the trellis system, negatively impact grape quality, and increase maintenance costs. The present study addresses these challenges by developing a vineyard post design with enhanced mechanical strength and corrosion resistance. To this end, five different materials (S355MC+Z, HX340LAD, DX54D, DC04, and S355MC) were subjected to cross-sectional design and stress analysis. Structural load assessments were performed considering wire tension forces of 200–400 N (20–40 daN) arising from wind and fruit loads, and the mechanical performance of the posts was evaluated through Finite Element Analysis (FEA). Based on the results, S355MC+Z galvanized steel sheet, although not the least costly option, was identified as the most suitable material. The optimized design consists of a U-profile section with a thickness of 2 mm and ten folds in total. The cross-section dimensions are 52 × 55 mm, reinforced with 60°-angled, 12 mm long end flanges to improve structural integrity. The overall post length is 2200 mm. The analysis demonstrates that the proposed design exhibits superior resistance against tilting and is expected to provide longer service life and more reliable performance compared to conventional alternatives.

Key words: Structural Design, Vineyard Post Design, Roll Forming Production, Structural Reinforcement, Corrosion Resistance, Agricultural Mechanization
2025, vii + 42 pages.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu akademik çalışmanın bugüne kadar tarım sektöründe, üzüm yetiştiriciliğinde önemli bir yere sahip olan bağ direklerinin yapısal dayanımını artırmaya ve özellikle bağ direklerinde zamanla meydana gelen yatma ve eğilme sorunlarına mühendislik temelli bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Geliştirilen yeni bağ direği tasarımıyla, bağcılık sektöründe üretim verimliliğini artırmak, bakım maliyetlerini azaltmak ve uzun ömürlü, sürdürülebilir çözümler sağlamak hedeflenmiştir.

Tarımda dijitalleşme ve sürdürülebilirlik kavramlarının öne çıktığı günümüzde, geleneksel yöntemlerin modern mühendislik yaklaşımlarıyla desteklenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda yapılan bu çalışma, sadece teknik bir tasarım sürecini değil, aynı zamanda kırsal kalkınmaya, yerli üretime ve tarımsal altyapının güçlendirilmesine katkı sağlayacak uygulamalı bir yaklaşımı temsil etmektedir.

Bu sürecin en başından itibaren bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her aşamada sabırla destek olan değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Selçuk ARSLAN'a teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışmanın şekillenmesinde verdiği yönlendirmeler, sağladığı kaynaklar ve gösterdiği anlayış, benim için son derece kıymetlidir.

Ayrıca, bu çalışmanın uygulama aşamalarında görüş ve katkılarını esirgemeyen tarım sektörü paydaşlarına, bağcılık yapan çiftçilerimize ve değerli meslektaşlarıma teşekkür ederim. Süreç boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme ve tüm sevdiklerime sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu tezin, tarımsal altyapının güçlendirilmesi ve kırsalda teknoloji tabanlı çözümlerin yaygınlaştırılması yolunda bir adım olmasını temenni ederim.

Özcan ATEŞ
…./…./2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET viii
ABSTRACT ix
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
3. MATERYAL VE YÖNTEM 9
3.1. Materyal 9
3.2. Yöntem 10
3.2.1. Tasarım Süreci 10
3.2.2. Malzeme Seçimi 11
3.2.3. Yapısal Yük Tanımları 15
3.2.4. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) 16
3.2.5. Karşılaştırmalı Performans Analizi 16
3.2.6. Üretim Uygunluğu ve Şekillendirme Değerlendirmesi 16
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 17
4.1. Geometrik Yapının Rijitlik Üzerine Etkisi 18
4.2. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları 19
4.3. Burkulma Analizi 24
4.4. Toprak İçi Stabilite Gözlemleri 25
4.5. Üretim ve Uygulama Açısından Değerlendirme 26
4.6. Karşılaştırmalı Sonuçlar 27
5. SONUÇ 29
KAYNAKLAR 32
EKLER: Alternatif Malzemelerin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları 35
ÖZGEÇMİŞ 43

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
mm	Milimetre
°	Derece
%	Yüzde
g/cm^3	Gram/santimetre küp
g/m^2	Gram/metre kare
N	Newton
Nm	Newton metre
daN	Deka Newton
Mpa	Mega Pascal
kg/m	Kilogram/metre
Pa	Pascal
kNm	Kilo Newton metre
FoS	Güvenlik Sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
FEM	Sonlu Elemanlar Yöntemi
Z	Kaplama kalınlığı
Re	Akma dayanımı
Rm	Çekme dayanımı
A_{80}	Uzama
3B	Üç Boyutlu
SST	Salt Sprey Test

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1	Üzüm bağlarında kullanılan bir taşıyıcı direk……..…	4
Şekil 2.2	Betonarme bağ direkleriyle oluşturulmuş bir üzüm bağı……..	5
Şekil 2.3	Roll Form prosesi ile direği üretme işlemi……	8
Şekil 2.4	Bir otomobilde Roll Form prosesi ile üretilen parçalar……	8
Şekil 3.1	Tasarlanan ana bağ direğinin kesit görünümü……..	11
Şekil 3.2	ASTM B117 Tuz püskürtme korozyon test standardı……..	15
Şekil 4.1	Ana ve ara bağ direklerinin toprağa gömülü montaj durumunun 3B modellemesi……..	17
Şekil 4.2	Tasarımı yapılan taşıyıcı bağ direğinin izometrik görseli……	18
Şekil 4.3	Yeni tasarım ana bağ direğine arkadan uygulanan yük altında Von Mises gerilme dağılımı…….	20
Şekil 4.4	Yeni tasarım ana bağ direğine yan bükümlerden uygulanan yük altında Von Mises gerilme dağılımı……..	21
Şekil 4.5	Yeni tasarlanan bağ direğinin statik yük altında deformasyon …… dağılımı…….	23
Şekil 4.6	Arka ve yan yüzeylerden uygulanan deformasyon miktarı (mm)	24
Şekil 4.7	Yatma direncini artıran uç geometrisiyle toprak içine gömülü bağ direği 3B modeli ……..	25

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 3.1.	S355MC+Z galvanizli çelik sacın özellikleri ……..….....	9
Çizelge 3.2.	Bağ direği tasarımında farklı malzemelerin maliyet karşılaştırması…….....	13
Çizelge 3.3.	Farklı çelik sınıflarının bağ direği uygulamasındaki uygunluk karşılaştırması…….	13
Çizelge 3.4.	Farklı çelik sınıflarının korozyon dayanım süreleri (tuz sisi testi sonuçlarına göre)……	14
Çizelge 4.1.	Geleneksel ve tasarlanan direğin yanal rijitlik ve burkulma dayanımı karşılaştırılması……..	19
Çizelge 4.2.	Tasarlanan bağ direği için yapılan sonlu elemanlar analizi sonuçları	22
Çizelge 4.3.	Yeni tasarlanan bağ direğinin ilk mod burkulma analizi sonuçları	24
Çizelge 4.4.	Farklı zemin sıkılıklarında direk sapma değerlerinin karşılaştırılması……..	26
Çizelge 4.5.	Geleneksel bağ direği ile tasarlanan yeni direğin farklı kriterlere göre karşılaştırması……	27

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, artan küresel gıda ihtiyacının karşılanması ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Tarımsal üretimin verimli, sürdürülebilir ve ekonomik koşullarda gerçekleştirilebilmesi; yalnızca uygun yetiştiricilik tekniklerinin uygulanmasına değil, aynı zamanda güçlü ve dayanıklı tarımsal altyapı sistemlerinin varlığına da bağlıdır (Altın ve Alagöz, 2019). Bu bağlamda, özellikle üzüm yetiştiriciliği gibi meyvecilik faaliyetlerinde kullanılan bağ sistemlerinin düzgün, sağlam ve uzun ömürlü olması; bitki sağlığı, ürün kalitesi ve işletme verimliliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Demirtaş ve Yılmaz, 2021).

Bağcılıkta kullanılan direk sistemleri, bağ sıralarının oluşturulması, bağ tellerinin taşınması ve bitkilerin yönlendirilmesi gibi temel yapısal işlevleri yerine getirmektedir. Bu sistemin en kritik bileşenlerinden biri olan bağ direkler, bağın başlangıç ve bitiş noktalarında dikilerek tel gerilimlerini dengelemek için kullanılır. Ancak bu direkler zamanla, özellikle bağ tellerinden kaynaklanan sürekli gerilimler ile dış ortam koşullarına bağlı rüzgâr yükleri altında deformasyona uğramaktadır. Bu durum, bağ sisteminin yatmasına veya eğilmesine, dolayısıyla bütünsel yapısal stabilitenin bozulmasına yol açmaktadır (Koç ve Ertürk, 2018; Yıldırım, 2020). Sonuç olarak, bağ verimliliğinde düşüş, ürün kayıpları ve artan bakım-onarım maliyetleri gibi olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın konusu, geleneksel bağ direk tasarımlarında gözlemlenen yapısal zayıflıkları ortadan kaldırmak amacıyla farklı malzemelerle dayanıklı bağ direği tasarımı yapılmasıyla ilgilidir.

1.1. Sorunun Tanımı ve Çalışmanın Gerekçesi

Üzüm bağlarında kullanılan mevcut bağ direkler, genellikle standart kesit geometrilerine sahip olup üretim kolaylığı önceliklendirilerek tasarlanmaktadır. Ancak bu tasarımlar, uzun vadede tel gerilmeleri, mevsimsel rüzgâr yükleri ve zemin hareketleri gibi bileşik yüklemelere karşı yeterli dayanım gösterememektedir. Özellikle tel çekme kuvvetleri ile rüzgâr etkisinin aynı anda ortaya çıktığı koşullarda, direklerde eğilme, yatma ve kalıcı

deformasyon gibi problemler oluşmakta; bu da bağın taşıyıcı sisteminin işlevselliğini ciddi biçimde azaltmaktadır (Reynolds et al., 2018; Gültekin, 2021).

Bu soruna mühendislik temelli bir çözüm yaklaşımı sunulmadığı sürece, üreticiler tarafından uygulanan geleneksel ve geçici müdahaleler, uzun vadede ekonomik kayıplara yol açmakta ve sürdürülebilir tarım ilkeleriyle çelişmektedir. Modern tarımın ihtiyaç duyduğu sağlam altyapı sistemlerinin oluşturulmasında, bağ direklerinin yapısal performansı ve uzun ömürlülüğü, işletme güvenilirliği ve maliyet etkinliği açısından kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda bu çalışmanın temel amacı, bağ sistemlerinde karşılaşılan bağ direk deformasyonlarına kalıcı bir çözüm sunmak üzere, yüksek yapısal dayanım özelliklerine sahip, uzun ömürlü ve üretim açısından uygulanabilirliği yüksek bir bağ direği tasarımının geliştirilmesidir. Böylece hem bakım-onarım gereksinimleri azaltılacak hem de bağ sistemlerinin bütünlüğü güvence altına alınacaktır.

1.2. Literatürdeki Boşluk ve Bilimsel Katkı

Literatür incelemeleri, bağcılıkta kullanılan taşıyıcı yapı elemanlarının özellikle bağ direklerin yapısal tasarımı, malzeme seçimi ve üretim yöntemlerine dair çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğunu göstermiştir. Mevcut çalışmalar çoğunlukla bağ sistemlerinin kurulumu, bitki gelişimi veya bağcılıkta kullanılan mekanik ekipmanların genel performansları üzerine odaklanmaktadır. Ancak, bağ direklerinin yük altındaki davranışlarına yönelik ayrıntılı mühendislik analizlerine ve tasarımsal optimizasyonlara dair özgün çalışmaların eksikliği dikkat çekicidir. Ayrıca, roll-form teknolojisi ile üretilebilecek, kesit geometrisi optimize edilmiş direklerin yapısal performanslarının modellenmesine, prototiplemesine ve saha uygulamalarına ilişkin kapsamlı veriler literatürde sınırlı düzeydedir.

Bu çalışmanın amacı, bağ direklerinde karşılaşılan yatma ve eğilme sorunlarını ortadan kaldırmak amacıyla, yüksek mukavemetli ve korozyona dayanıklı bir bağ direği tasarımı yapmaktır. Çalışmada üzüm bağlarında kullanılan bağ direklerin uzun vadeli yapısal dayanımını artırmak amacıyla, yüksek mukavemetli galvanizli çelik sac malzeme

kullanılarak roll form teknolojisiyle üretilebilen, kesit geometrisi optimize edilmiş yeni bir bağ direk tasarımı hedeflenmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bağcılıkta kullanılan taşıyıcı sistemlerin tasarımı, özellikle bağ direklerinin dayanımı ve uzun ömürlülüğü üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir. Çelik profil kullanımına yönelik yapılan çalışmalarda, farklı kesit geometrilerinin bağ direklerinin mukavemetine etkisi değerlendirilmiştir. Örneğin, Altıntop (2015) çalışmasında, galvanizli çelikten üretilen bağ direklerinin farklı rüzgâr yükleri altındaki burkulma davranışı incelenmiş ve U, C, Sigma gibi farklı kesitlerin performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada özellikle Sigma kesitlerin, diğer geleneksel kesitlere göre daha yüksek burkulma dayanımı sağladığı rapor edilmiştir. Üzüm bağlarında kullanılan bir taşıyıcı direk Şekil 2.1'de gösterilmiştir (VineWorks, 2025).



Şekil 2.1 Üzüm bağlarında kullanılan bir taşıyıcı direk (VineWorks, 2025)

Duran ve Aydın (2020) ise bağ sistemlerinde meydana gelen yanal deformasyonları önlemek amacıyla destek plakaları ve özel büküm bölgeleri ile güçlendirilmiş direklerin deneysel performanslarını incelemiştir. Sonuçlar, özel büküm geometrisinin ve büküm sayısının artırılmasının direk rijitliğini belirgin biçimde iyileştirdiğini göstermiştir. Betonarme bağ direkleriyle oluşturulmuş bir üzüm bağı Şekil 2.2'de görülmektedir (Jensen Infrastructure, 2025).



Şekil 2.2. Betonarme bağ direkleriyle oluşturulmuş bir üzüm bağı (Jensen Infrastructure, 2025)

Çelik ve Arslan (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada, roll form yöntemiyle şekillendirilen galvanizli çelik profillerin üretim maliyeti ve boyutsal hassasiyeti değerlendirilmiş, bu yöntemin tarımsal yapı elemanları üretiminde önemli avantajlar sunduğu belirtilmiştir. Ancak çalışma, yalnızca üretim sürecine odaklanmış ve özel bağcılık uygulamaları için optimize edilmiş kesit analizine yer vermemiştir.

Ed Kweik (2007), bağcılıkta kullanılan telli terbiye sistemlerinin (trellis), hem bağın yapısal sağlamlığı hem de verimliliği açısından kritik öneme sahip olduğunu ifade

etmiştir. Trellis sisteminin bağcılıkta bir bina temeli gibi düşünülmesi gerektiğini vurgulayarak, düşük maliyetli ve yetersiz malzeme kullanımının ilerleyen yıllarda verim kaybı ve yapısal bozulmalara neden olabileceğini belirtmektedir. Özellikle ahşap direklerin estetik ve dayanıklılık açısından tercih edildiği, H-brace tipi uç direk tertibatlarının ise sistemin uzun ömürlü olması açısından avantaj sağladığı ifade edilmektedir. Ayrıca, daha fazla sayıda tel ile kurulan 9 telli VSP sistemi gibi gelişmiş yapıların, tek telli sistemlere göre daha yüksek tomurcuk tutumu ve verim sağladığı belirtilmektedir.

Dobrei ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında ise trellis sistemlerinin bağ tesisi maliyetleri içindeki payının %40 ila %60 arasında değiştiği, bu nedenle uygun sistem seçiminin yatırımın geri dönüşü açısından belirleyici olduğu vurgulanmaktadır. Arazi eğimi, toprak tipi, üzüm çeşidinin kuvveti, rüzgar yönü ve mekanizasyon düzeyi gibi birçok faktör sistemin tasarımında dikkate alınmalıdır. Özellikle son yıllarda metal direklerin dayanıklılık, fiyat/performans oranı ve uzun ömürlülük açısından öne çıktığı görülmektedir. Direk aralıkları, taşıyacağı biyokütle miktarına göre 4 ila 6 metre arasında değişebilirken, rüzgârlı bölgelerde bu aralık 4–5 metreye düşürülmektedir.

De Kleine ve Booker (2020) tarafından gerçekleştirilen mühendislik temelli çalışmada, trellis sistemlerinin üzerine binen yüklerin analizi yapılmış ve bu yüklerin özellikle rüzgar kaynaklı olanlarının tasarım açısından belirleyici olduğu ortaya konmuştur. Endüstri anketi sonuçlarına göre sistem arızalarının büyük çoğunluğu henüz 10 yaşına ulaşmamışken meydana gelmiştir. Bu arızaların önemli bir kısmı uç ankrajlar veya hat içi direkler kaynaklıdır. Trellis sistemlerinin işlevi, yer üstü (meyve, yaprak, rüzgar) ve yer altı (temel) kuvvetler arasında denge sağlamak olduğundan, yapısal elemanların hepsi sistem bütünlüğü içinde birlikte değerlendirilmelidir. Yüklerin yönleri farklı olabileceği için (örneğin, rüzgar yatay, meyve ağırlığı dikey etki eder) tasarımda tüm yönlere karşı dayanım göz önünde bulundurulmalıdır.

Yan ve arkadaşları (2025) ise döngüsel ekonomi yaklaşımları kapsamında, ömrünü tamamlamış (EOL) koruyucu işlem görmüş ahşap bağ direklerinin yeniden kullanım olanaklarını araştırmıştır. Avustralya bağcılık sektöründe stoklanan bu direklerin, sınırlı

örneklemde yapılan mekanik testler sonucunda, tarımsal çit direği gibi daha düşük gerilimli uygulamalarda yeniden kullanılabilir olduğu görülmüştür. Değerlendirilen özellikler arasında yoğunluk, elastikiyet modülü ve kırılma dayanımı gibi yapısal parametreler yer almakta olup, ileri çalışmalarla bu sonuçların daha geniş bir veri setiyle doğrulanması önerilmektedir.

Blom ve Tarara (2009), bağcılıkta geleneksel verim tahmin yöntemlerinin yerini alabilecek bir uygulama olarak "Trellis Tension Monitoring" (TTM) sistemlerini önermektedir. TTM sistemleri, trellis tellerinde oluşan gerilim değişimlerini dinamik olarak izleyerek, verim tahminlerinin daha doğru yapılmasına olanak tanımaktadır. On ticari bağda yapılan uygulamada, TTM ile elde edilen verim tahminlerinin, geleneksel yöntemlerle yapılan tahminlere kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığı gösterilmiştir. Bu sistem, hem mevcut tahmin yöntemlerine yardımcı olabilir hem de iş gücü yoğunluğunu azaltabilir.

Maier (2012) tarafından hazırlanan teknik rehberde, özellikle uç direk tertibatlarının kurulumu ve taşıyıcı işlevleri üzerine yoğunlaşılmıştır. Terbiye tellerinde biriken yüklerin, uç direkler aracılığıyla toprağa aktarılması sistemi dengede tutar. Ancak, hatalı monte edilen uç direkler telin sarkmasına, direğin eğilmesine veya yerinden çıkmasına neden olabilir. H-brace ve ankrajlı sistemler bu tür sorunlara karşı etkili çözüm sunarken, uygun sistem seçimi; toprak yapısı, bağ tasarımı, malzeme maliyetleri ve mevcut ekipman gibi faktörlere bağlı olarak belirlenmelidir.

Uluslararası bir çalışmada, Li et al. (2021) sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile tasarlanan yeni bir çelik bağ direği modelinin yapısal davranışını analiz etmiş ve maksimum yer değiştirme ve Von Mises gerilme dağılımları sunulmuştur. Bu çalışma, modern analiz tekniklerinin bağcılık gibi tarımsal sektörlerde de etkin kullanılabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

Roll form yöntemi, tarımsal yapı elemanlarının yanı sıra otomotiv sektöründe de yaygın olarak kullanılan bir şekillendirme tekniğidir. Özellikle ince kesitli metal parçaların yüksek boyutsal hassasiyetle ve seri şekilde üretilebilmesi bu yöntemi cazip kılmaktadır.

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere, modern otomobillerin birçok yapısal parçası da roll form teknolojisi ile üretilmektedir. Bu yöntemle üretim; malzeme israfını azaltması, üretim süresini kısaltması ve standartlaştırılmış kalite sağlaması nedeniyle hem otomotiv hem de tarım gibi çok farklı alanlarda tercih edilmektedir (Altıntop, 2015; Çelik & Arslan, 2022).



Şekil 2.3. Roll Form prosesi ile direk üretme işlemi



Şekil 2.4. Bir otomobilde Roll Form prosesi ile üretilen parçalar

Yukarıda özetlenen çalışmalar, bağ direklerinin yapısal performansının artırılmasına yönelik çeşitli çözümler önerse de, bağ sıralarının başında yer alan ve çekme kuvvetine maruz kalan direklerin yatmaya karşı özel olarak optimize edilmiş kesit tasarımı üzerine detaylı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu tez çalışması, söz konusu boşluğu doldurmayı ve roll form yöntemiyle üretilebilecek, hem mukavemet hem de üretim verimliliği açısından avantaj sunacak yeni bir bağ direği tasarımı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, üzüm bağlarında bağ direği olarak kullanılmak üzere, yapısal dayanımı artırılmış, burkulma ve deformasyonlara karşı direnci yükseltilmiş yeni bir direk tasarımı geliştirmek amacıyla dış ortam koşullarına karşı yüksek korozyon direnci göstermesi nedeniyle EN 10346 standardına uygun S355MC+Z sınıfı galvaniz kaplı çelik sac malzeme tercih edilmiştir. Bu çelik sınıfı; özellikle otomotiv, yapı ve enerji sektörlerinde kullanılan, şekil verilebilme özelliği yüksek, dış koşullara dayanıklı ve düşük alaşımlı çelikler arasında yer almaktadır (ArcelorMittal, 2019; Kara ve Yılmaz, 2020).

Seçilen S355MC+Z galvanizli çelik sac malzemenin temel mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de özetlenmiştir:

Çizelge 3.1. S355MC+Z galvanizli çelik sacın özellikleri

Özellik	**Değer**
Malzeme Standardı	EN 10149 – S355MC+Z
Akma Dayanımı (Re)	≥ 355 MPa
Çekme Dayanımı (Rm)	≥ 430 MPa
Uzama (A_{80})	≥ 22%
Yoğunluk	~7.85 g/cm³
Galvaniz Kaplama Türü	Sıcak daldırma çinko
Kaplama Kalınlığı (Z)	Z140–Z275 g/m²

Galvaniz kaplama, malzemenin özellikle açık hava koşullarına ve nemli toprak yapısına karşı uzun süreli dayanım göstermesini sağlamaktadır. Ayrıca bu malzeme, soğuk şekillendirme işlemlerine elverişli yapısı sayesinde roll form teknolojisi ile hassas geometrik profillerin üretimine olanak tanımaktadır. Özellikle otomotivde sektöründe araç bileşenlerinin birçoğu roll form prosesi ile üretilmektedir. Bu özellikler, çalışmada geliştirilen bağ direğin endüstriyel üretim koşullarına uygun olarak tasarlanmasına katkı sağlamıştır (Koleva et al., 2012; Davis, 2001; Chen et al., 2017).

3.2. Yöntem

Çalışmada, önerilen bağ direği tasarımının hem yapısal açıdan güvenilirliğinin değerlendirilmesi hem de üretim süreçlerine entegrasyonunun sağlanması amacıyla sistematik bir mühendislik yaklaşımı izlenmiştir. Kullanılan yöntemsel adımlar aşağıda detaylı şekilde sunulmuştur:

İlk olarak, bağ direği modeli SolidWorks ve CATIA gibi üç boyutlu CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımları kullanılarak detaylı biçimde tasarlanmıştır. Bu yazılımlar sayesinde, roll form üretim sürecine uygun, U profilli kesit geometrisi ve büküm detayları içeren yüksek doğrulukta 3B modeller elde edilmiştir.

Tasarımın yapısal analizlerinde, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) esas alınarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak bağ direklerinin statik yapısal davranışları, Von Mises gerilme kriterine göre değerlendirilmiştir. Malzeme tanımı olarak S355MC+Z galvaniz kaplı çelik sınıfı için elde edilen mekanik özellikler modele entegre edilmiştir.

Analizlerde, bağ teli çekme kuvveti olarak literatür destekli 200-400 N (20-40 kg/m) değeri ile meteorolojik verilere dayalı 400–600 Pa arası rüzgâr basınç değerlerine göre yükleme senaryoları oluşturulmuştur. Ayrıca, direğin 700 mm'lik kısmının toprak altında gömülü olduğu varsayılmış, zemin ile etkileşim uygun sınır koşullarıyla modellenmiştir (Smith, A. J. & Jones, B. R. 2012), (MGM. (2023).

Bu analiz süreci sayesinde, tasarımın elastik sınırlar içerisinde kalıp kalmadığı, yapısal deformasyon eğilimleri ve burkulma riskleri detaylı şekilde değerlendirilmiştir.

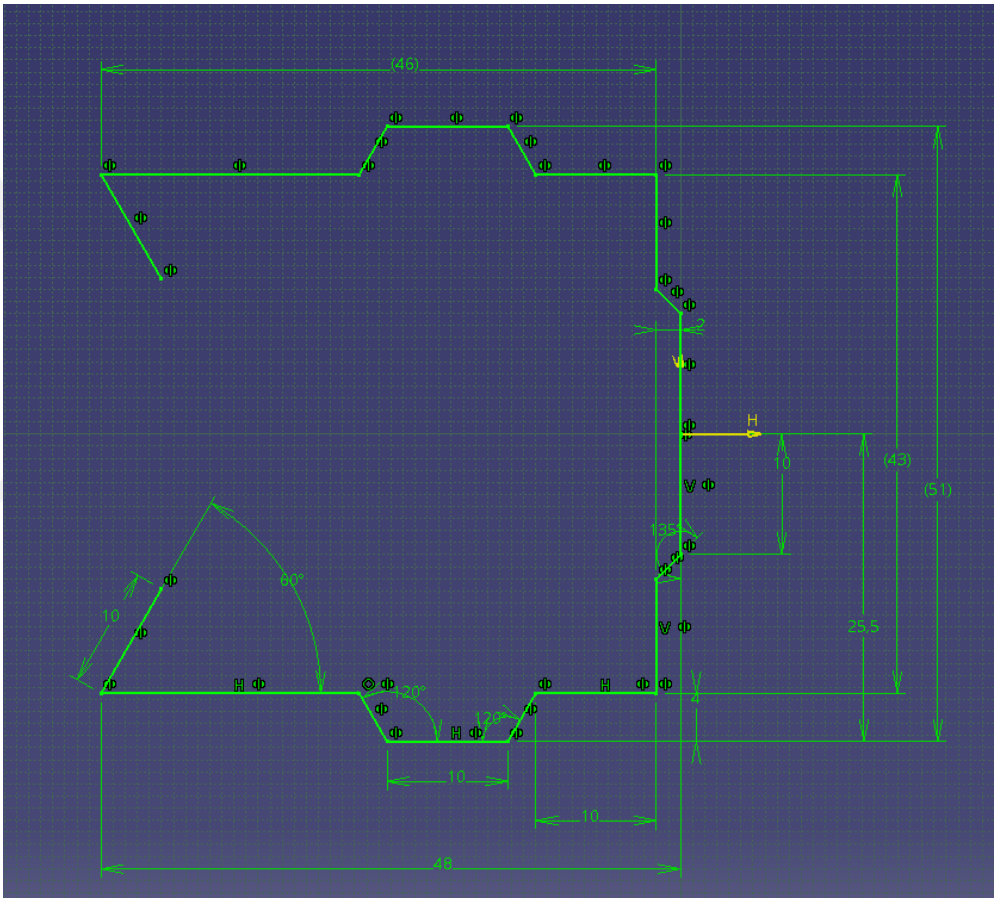
3.2.1. Tasarım Süreci

Bağ direği tasarımı, mevcut bağ sistemlerinin boyutsal ve işlevsel gereksinimleri temel alınarak Catia ve Solidworks 3B yazılımları kullanılarak modellenmiştir. Ana taşıyıcı kesit olarak U profilli bir temel form belirlenmiş, profil rijitliğini artırmak amacıyla

mevcut bağ direklerinin aksine mukavemet artırılacak şekilde kesit tasarımı yapılmıştır. Ayrıca, yapının burkulma ve yatma direncini artırmak amacıyla uç bölümlere 60° açıyla 12 mm uzunluğunda “kulak” bükümleri eklenmiştir. Kullanılan direk ölçüleri şunlardır:

– Toplam direk uzunluğu: 2200 mm
– Kesit ölçüleri: 51 mm × 48 mm
– Kalınlık: 2 mm

Bu form hem mukavemet hem de üretim açısından optimize edilmiştir.



Şekil 3.1. Tasarlanan ana bağ direğinin kesit görünümü

3.2.2. Malzeme Seçimi

Bu çalışmada malzeme seçimi; yapısal dayanım (akma dayanımı, çekme dayanımı), korozyon direnci (Z kaplama kalınlığı, saha koşulları), şekillendirilebilirlik (roll-form uygunluğu, delik/dişli açılabilirlik), kaynaklanabilirlik, tedarik ve maliyet kriterleri

birlikte değerlendirilerek yapılmıştır. Roll-form teknolojisine uygunluğu nedeniyle seçilen S355MC+Z malzemesine ek olarak HX340LAD, DX54D, DC04 ve S355MC olmak üzere dört farklı malzeme de analiz edilmiştir. Aşağıdaki aday çelik sınıfları, bağ direği uygulaması için teknik olarak uygun görüldüğü için kıyaslamaya alınmıştır:

- HX340LAD+Z (EN 10346): Yüksek akma dayanımı ve iyi şekillendirilebilirlik; standart Z kaplama ile yüksek korozyon direnci.
- S355MC (EN 10149-2): Yüksek mukavemetli termomekanik haddelenmiş çelik; standart Z kaplama ile yüksek korozyon direnci, iyi rijitlik sağlar.
- DX54D+Z (EN 10346): Derin çekme için; çok iyi şekillendirilebilirlik, düşük akma dayanımı, standart Z kaplama ile yüksek korozyon direnci.
- DC04 (EN 10130): Derin çekme kalite; iyi şekillendirilebilirlik, düşük/orta akma dayanımı, standart Z kaplama ile yüksek korozyon direnci.

Bu çerçevede, yaygın olarak kullanılan S355MC, DC04, DX54D, HX340LAD gibi çelik sınıfları çinko kaplamalı olarak ve ayrıca beton direkler, teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır.

Bu direkler, vibrasyonlu ve buhar kürlü üretim yöntemiyle imal edilmekte olup, dış ortam koşullarına karşı yüksek dayanım göstermektedir (Yumlu, 2025). Delik sayısı ve yerleşimi, tel örgü sistemleriyle uyumludur ve uygulamada bağcılık için gerekli işlevselliği sağlamaktadır.

Bunlara ek olarak, maliyet açısından karşılaştırma yapmak üzere çalışmada beton direkler de değerlendirilmiş olup, temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Boy: 200 cm
- Tepe Kesit: 9 × 8 cm
- Dip Kesit: 11 × 10 cm
- Delik Adedi: 5
- Ağırlık: 32 kg

Aşağıdaki Çizelge 3.2'de, farklı malzemelerin maliyet ve kilogram başına hammadde değerlerini özetlemektedir:

Çizelge 3.2. Bağ direği tasarımında farklı malzemelerin maliyet karşılaştırması

Malzeme Sınıfı	Baz Mamul Türü	Temel Fiyat (Euro/ton)	ABD Doları/kg	Hammadde $/direk	Toplam Maliyet/Direk (USD)	Toplam Maliyet/Direk (TL, 1 USD=40 TL)	Kaynak
Beton	Betonarme	4800	0,12	3,84	7,84	314	(Yumlu Tel Örgü, 2025)
S355MC	Sıcak Haddelenmiş Çelik	602	0,72	2,4	2,4	96	(Arcelor Mittal, 2023)
DC04	Çekme Haddelenmiş Çelik	690	0,79	2,62	2,62	105	(MEPS International Ltd., 2023)
DX54D+Z	Galvanizli Çelik	769	0,91	3,04	3,04	122	(MEPS International Ltd., 2023)
HX340LAD+Z	Galvanizli Çelik	769	0,92	3,07	3,07	123	(Arcelor Mittal, 2023)

Malzemenin temel mekanik özellikleri ve uygulamadaki uygunluğu Çizelge 3.3'de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Farklı çelik sınıflarının bağ direği uygulamasındaki uygunluk karşılaştırması

Malzeme Sınıfı	Akma Dayanımı Re (MPa)	Çekme Day. Rm (MPa)	Galvaniz Kaplama	Şekillendirilebilirlik	Korozyon Direnci	Uygunluk Değerlendirmesi
HX340LAD	≥340	≥410	Var	Yüksek	Düşük	Uygun
S355MC	≥355	≥430	Var	Yüksek	Düşük	Uygun
DC04	≥140	≥270	Var	Yüksek	Düşük	Düşük
DX54D	≥180	≥270	Var	Yüksek	Düşük	Orta

Uygunluk karşılaştırılması sonucunda HX340LAD ve S355MC malzemeleri iyi mekanik dayanım seviyeleri ile öne çıkmıştır. Ancak maliyet analizi sonucunda, aynı dayanımı sağlayan en düşük maliyetli malzeme S355MC olarak belirlenmiştir. Bu nedenle çalışmada bağ direği tasarımı için S355MC tercih edilmiştir. Yüksek akma dayanımı ile

dış ortam koşullarına karşı geliştirilmiş korozyon direncine sahiptir. Çinko kaplama, özellikle toprakla temas eden metal yüzeylerde yaygın olarak kullanılan bir koruma yöntemidir ve sıcak daldırma yöntemiyle uygulanmaktadır (ArcelorMittal, 2019).

S355MC+Z çeliği, tuz sisi testlerinde (Salt Spray Test - SST) benzer çelik sınıflarına göre daha uzun süreli yüzey koruması sağlamaktadır (HLC Metal Parts, 2025). Bu nedenle, dış ortamda nem, kimyasal maruziyet ve hava koşullarına karşı dayanımı öncelikli kriter olarak alınmış ve malzeme bu çerçevede tercih edilmiştir. Ayrıca S355MC+Z çeliği, yüksek şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve roll form ile şekillendirmeye uygunluğu sayesinde tasarım gereksinimlerini de karşılamaktadır.

Farklı çelik sınıflarının dış ortam koşullarına karşı korozyon dayanımını karşılaştırmak amacıyla yapılan tuz sisi testleri (Salt Spray Test - SST), malzeme seçiminde önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir. Bu testler, çelik yüzeylerin belirli sürelerde tuzlu su buharına maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilir ve paslanmaya karşı gösterdikleri direnç ölçülür. Bu bağlamda, çalışmada dikkate alınan bazı çelik sınıflarına ait korozyon dayanım süreleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Farklı çelik sınıflarının korozyon dayanım süreleri (tuz sisi testi sonuçlarına göre)

Malzeme	**Paslanma Başlangıcı (saat)**
HX340LAD+Z	>910
DX54D+Z	<720
S355MC+Z	>1000
DC04+Z	<680

Kullanılan malzemelerin korozyon dayanımını belirlemek için, ASTM B117 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus testi uygulanmıştır. Bu test yöntemi, metal ve kaplanmış metal numunelerin kontrollü tuz sisi ortamında maruz bırakılarak bağıl korozyon dirençlerinin ölçülmesini sağlar. Test parametreleri arasında %5 NaCl çözeltisi, ~35 °C sıcaklık, pH 6.5–7.2 ve numune maruziyet süreleri yer almaktadır. ASTM B117, otomotiv, inşaat ve denizcilik sektörlerinde yaygın şekilde kullanılmakta

olup, malzeme seçiminde dış ortam koşullarına dayanak çizgisi sunmaktadır (ASTM, 2011; Micom Laboratories, 2014).



Şekil 3.2. ASTM B117 Tuz Püskürtme Korozyon Test Standardı (Micom Laboratories, 2014).

3.2.3. Yapısal Yük Tanımları

Bağ tellerine uygulanan ortalama çekme kuvveti 250 N olarak belirlenmiştir. Bu değer, saha gözlemleri ve üretici tavsiyeleri doğrultusunda, literatürde de benzer şekilde 200–500 N aralığında bildirilen tel gerilmelerine dayanılarak seçilmiştir (Reynoldson et al., 2018; Kaya ve Demir, 2019).

Direğe etki eden dış yükler aşağıdaki temel bileşenler üzerinden modellenmiştir:

- Bağ teli gerilimi: Ortalama 250 N çekme kuvveti.
- Rüzgar yükü: Bölgenin meteorolojik verilerine dayalı ortalama rüzgâr basıncı, tahmini 400–600 Pa (TS EN 1991-1-4 Eurocode)
- Zemin etkisi: Direğin 700 mm'lik kısmının toprak içinde gömülü olduğu varsayılarak kısıtlanmış serbestlik derecesi.
- Ürün ve aksesuar yükü: Asma bitkilerinde bir sıra üzerindeki ürün ağırlığı, literatürde üzüm salkımlarının toplam yükünün 20–40 kg/m aralığında olabileceği (≈200–400

N/m) belirtilmiştir (Çelik ve ark., 2017). Teller, klipsler ve diğer aksesuarlar da dikkate alındığında direğe ek yük olarak yaklaşık 250–300 N hesaplanmıştır.

3.2.4. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

Tasarımın mekanik davranışı ve yapısal güvenliği, Altair HyperMesh sonlu elemanlar analiz yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Malzeme özellikleri, doğrusal elastik modelleme ile tanımlanmıştır.
- Uygulanan kuvvetler ve sınır koşulları gerçeğe uygun şekilde tanımlanmıştır.
- Statik yapısal analiz sonucunda; maksimum gerilme, toplam deplasman ve şekil değiştirme dağılımları elde edilmiştir.
- Ayrıca, direğin burkulma stabilitesi Euler burkulma analizleri ile incelenmiş, ilk beş burkulma modu görselleştirilerek değerlendirilmiştir.

3.2.5. Karşılaştırmalı Performans Analizi

Geliştirilen tasarım, bölgede yaygın olarak kullanılan geleneksel (kare veya C kesitli) bağ direkleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede;

- maksimum deformasyon miktarı,
- gerilme dağılımı,
- burkulma eğilimleri ve modları dikkate alınmıştır.

3.2.6. Üretim Uygunluğu ve Şekillendirme Değerlendirmesi

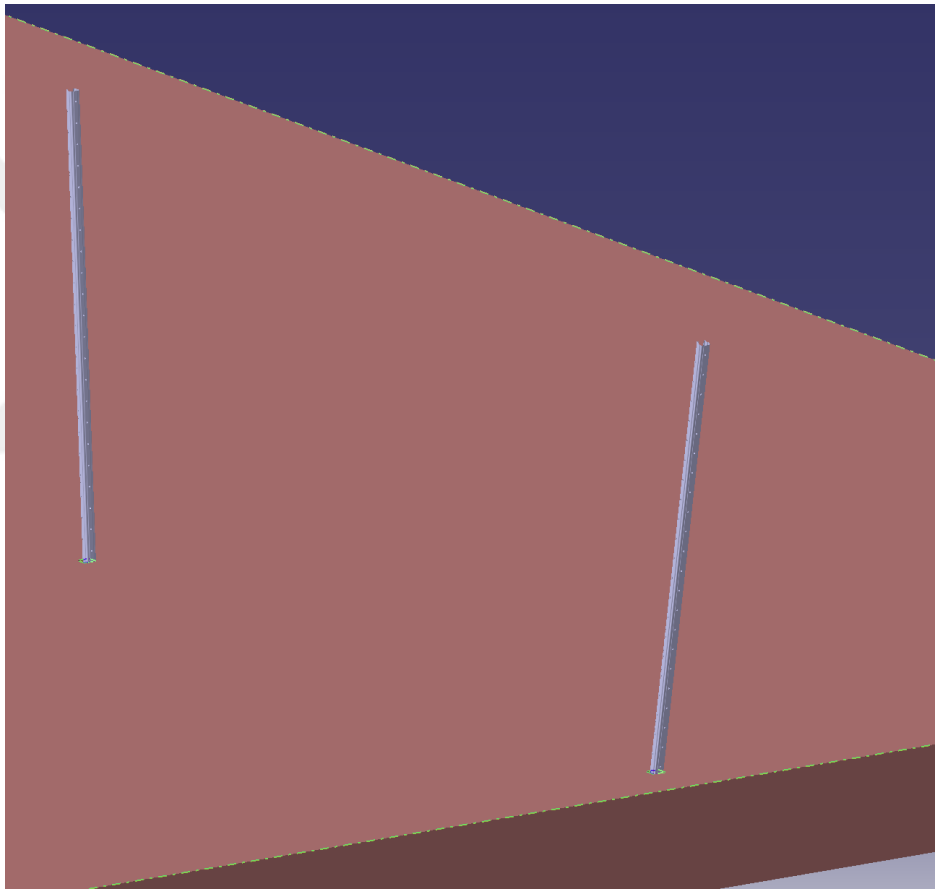
Yeni tasarımın, roll form üretim hatlarında üretilebilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda:

- sacın şekillendirme kabiliyeti ve minimum büküm yarıçapları,
- üretim toleransları içindeki hassasiyet ve
- kesit geçişlerinde oluşabilecek lokal deformasyon riskleri değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, anketlerden ortaya çıkan veriler, anket yapılan tarımsal işletme ve kuruluşlar açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yeni geliştirilen bağ direği tasarımının toprak içerisindeki konumunu ve ara ile ana direkler arasındaki farkları gösterebilmek amacıyla, 3B montaj yerleşim modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4.1. Ana ve ara bağ direklerinin toprağa gömülü montaj durumunun 3B modellemesi

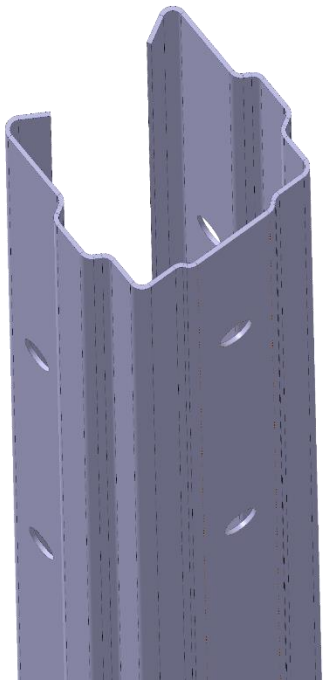
Yapılan değerlendirmeler sonucunda, S355MC+Z hem mukavemet hem de korozyon dayanımı açısından daha dengeli bir performans sergileyerek bağ direği uygulaması için en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Özellikle zeminle temas eden yapı elemanlarında galvaniz kaplamanın sunduğu servis ömrü artışı, uzun dönemli bakım maliyetlerini

azaltarak tarımsal altyapı sistemlerinin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. (ArcelorMittal, 2019; Türk ve Altunbaş, 2021).

Ayrıca sıcak daldırma galvaniz kaplama yapılacak olan bağ direği üstün korozyon direnci sağlar. Bu özellik özellikle dış mekân uygulamaları veya neme, kimyasallara veya sert hava koşullarına maruz kalan ortamlar için faydalıdır. S355MC+Z çeliği, diğer çelik sınıflarına kıyasla dış ortamda en uzun korozyon direncini sergilemektedir. 1000 saatlik (Çizelge 3.3) tuz sis testi sonucunda ne kadar süre ile paslanmaya karşı malzemelerin gösterdikleri direnç incelendiğinde S355MC +Z çeliğinin en iyi performans gösterdiği gözlemlenmektedir (HLC Metal Parts, 2025).

4.1. Geometrik Yapının Rijitlik Üzerine Etkisi

Yeni tasarlanan bağ direk profiline entegre edilen çok kademeli katlama yapısı (Şekil 4.1), taşıyıcı sistemin eksenel ve yatay yükler altında rijitliğini önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle her iki kenarda uygulanan kıvrım ve uç bölgedeki bükümler, enine kesitin atalet momentini artırarak hem eğilme momentlerine karşı direnç kazandırmış hem de burkulma modlarının ötelenmesini sağlamıştır.



Şekil 4.2. Tasarımı yapılan taşıyıcı bağ direğinin izometrik görseli

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, yeni tasarımın yanal rijitlik değeri 7.8 kNm olup, bu değer geleneksel C kesitli direğe göre %140’tan fazla artış göstermektedir. Yanal rijitliğin artması, direğin tel gerilmeleri altında daha az yatmasını sağlayacak ve bağın hizalamasını uzun süre koruyacaktır.

Bu durum, bağ bitkilerinin düzgün büyümesini ve hasat verimliliğini doğrudan etkileyebilecek niteliktedir. Bu sonucun bağlamı, yapısal mühendislik literatüründe de doğrulanmaktadır; kompleks kıvrım geometrilerinin rijitliği artırma etkisi, özellikle ince cidarlı açık profillerde sıkça raporlanmıştır (Timoshenko & Gere, 1961).

Çizelge 4.1. Geleneksel ve tasarlanan direğin yanal rijitlik ve burkulma dayanımı karşılaştırması

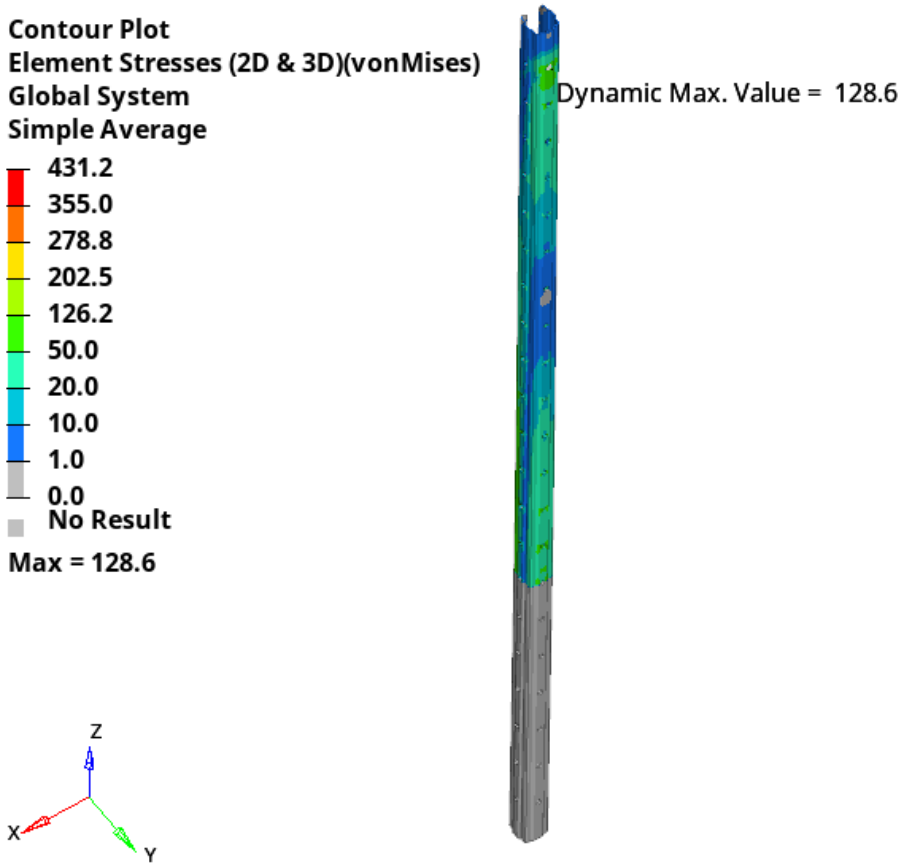
Direk Tipi	**Yanal Rijitlik (kNm)**	**Burkulma Dayanımı (N)**
Geleneksel C Direk	3.2	310
Yeni Tasarım Direk	7.8	790

Yeni profil tasarımı, geleneksel modellere göre yaklaşık 2.5 kat daha rijit olduğu görülmüştür. Bu yapı sayesinde tel gerilmesi ve rüzgâr yükü gibi kuvvetler altında profildeki şekil değişimi minimum seviyeye inmiştir.

4.2. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

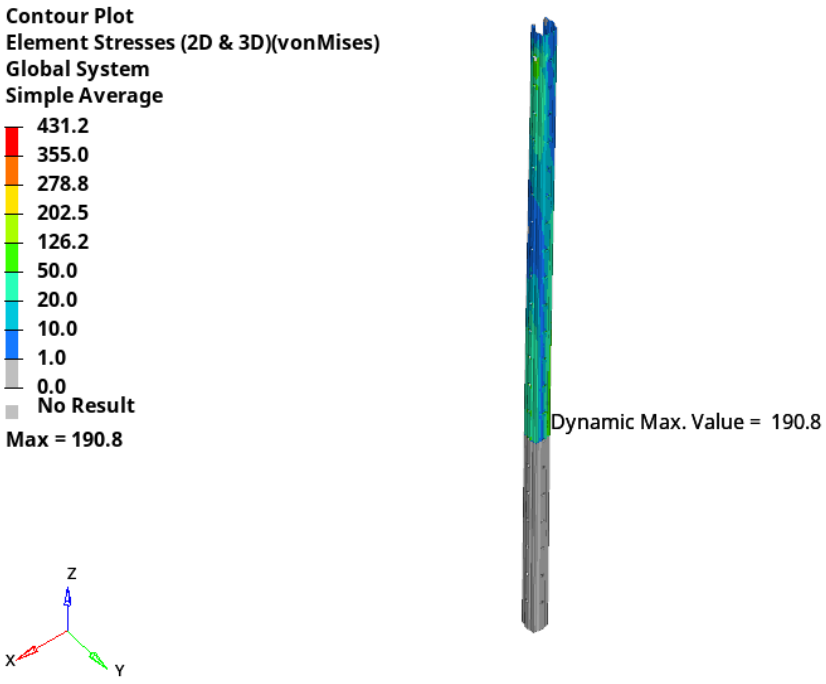
HyperMesh tabanlı analizlerde, Von Mises gerilme dağılımı esas alınarak yapılan değerlendirmelerde, kritik noktaların iç bükey kıvrım bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Maksimum gerilme değeri olan 128,6 MPa, kullanılan S355MC+Z çeliğinin nominal akma dayanımı olan 355 MPa'ın oldukça altındadır.

Sonuç olarak bu bulgu, yapı elemanının elastik bölge içerisinde kaldığını ve herhangi bir plastik deformasyona maruz kalmadığını göstermektedir.

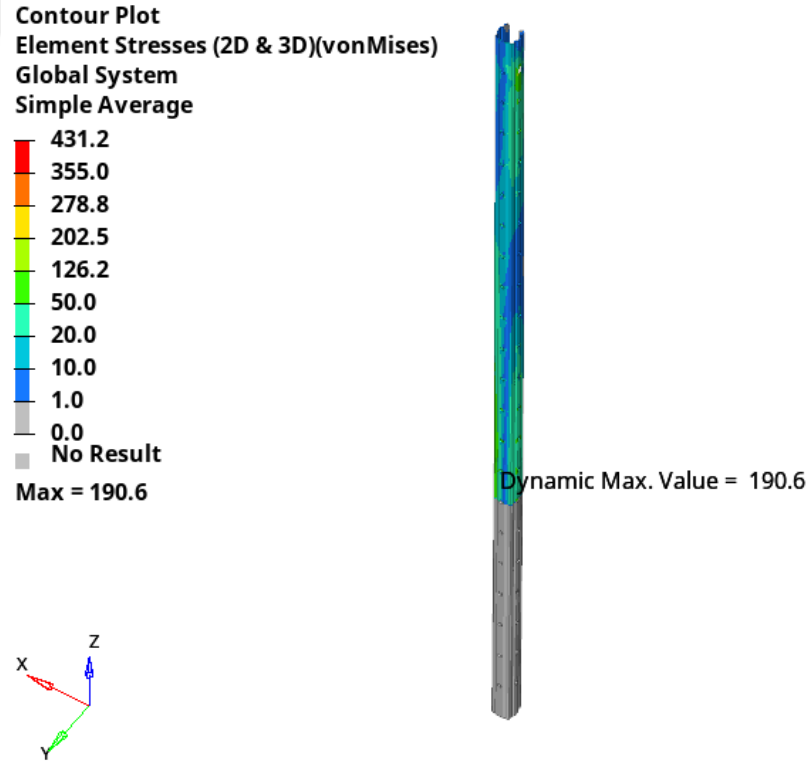


Şekil 4.3. Yeni tasarım ana bağ direğine arkadan uygulanan yük altında Von Mises gerilme dağılımı

Bağ direğine yanal yönde uygulanan yükler altında oluşan maksimum Von Mises gerilme değeri 190.8 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değer, kullanılan S355MC+Z çeliğinin nominal akma dayanımı olan 355 MPa'ın altındadır. Bu durum, yapı elemanının elastik bölge içerisinde kaldığını ve herhangi bir plastik deformasyona maruz kalmadığını göstermektedir.



a) Sağ Yan



b) Sol Yan

Şekil 4.4. Yeni tasarım ana bağ direğine yan bükümlerden uygulanan yük altında Von Mises gerilme dağılımı

Bu bulgu, tasarımın hem statik dayanım hem de güvenli çalışma aralığı açısından mühendislik kabul kriterlerini karşıladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca gerilme dağılımının daha homojen olduğu ve noktasal gerilme yığılmalarının sınırlı olduğu da görülmüştür.

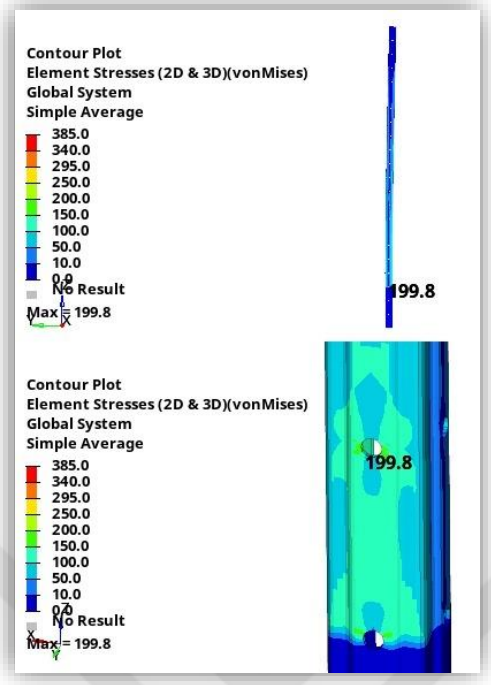
Çizelge 4.2. Tasarlanan bağ direği için yapılan sonlu elemanlar analizi sonuçları

Parametre	**Değer**
Maks. Von Mises Gerilmesi	190,8 MPa
Min. Gerilme	8 MPa
Akma Dayanımı (S355MC+Z)	≥355 MPa

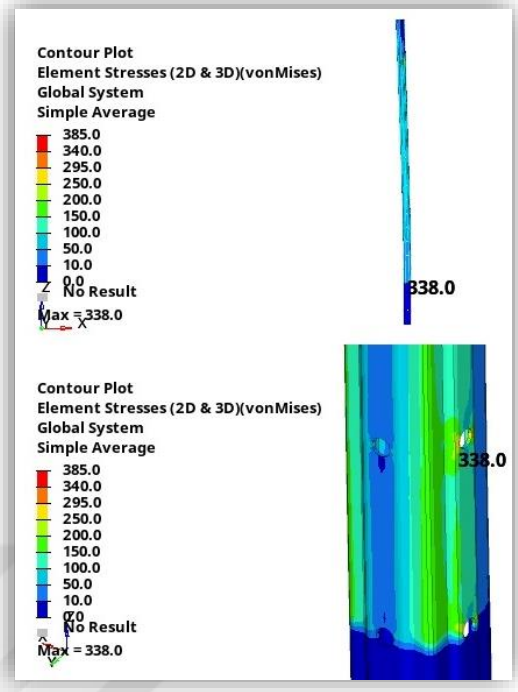
Altair HyperMesh ile sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilen deformasyon analizleri sonucunda, bağ teli gerilmesi ve bölgesel rüzgâr yükü etkisi altında direğin üst kısmında maksimum 1.8 mm'lik bir sapma görülmüştür. Bu değer, bağ sistemlerinde tolerans dahilindedir ve direğin yatmasını önleyecek seviyededir.

Bunun ardından maksimum deformasyon kuvveti uygulanarak ne kadar yer değiştirme yapacağını görmek için 300 N'luk deplasman yük uygulanmıştır. Bu yük altında tasarlanan bağ direğinde oluşan toplam deformasyon dağılımı gösterilmektedir. (Şekil 4.1) Maksimum deformasyon bölgeleri renk skalası ile belirtilmiştir.

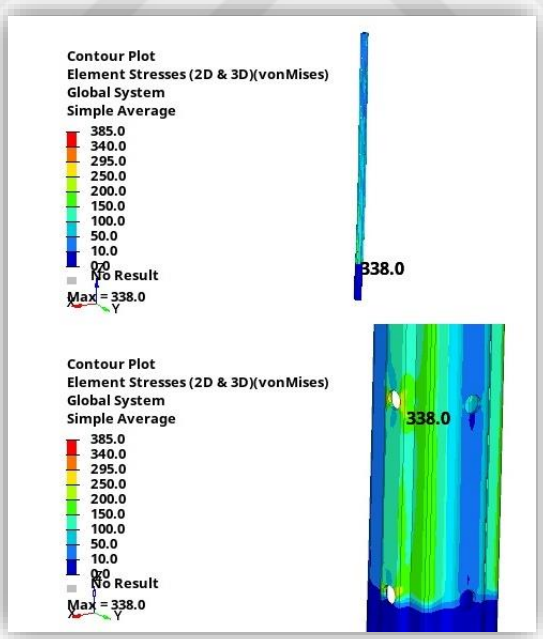
Bağ direğine arka yönden uygulanan ve yanal yüzeylerden uygulanan yer değiştirme (sapma) miktarında 8.9 mm eğilme-bükülme gerçekleşmiştir. 300 N'luk yer değiştirme kuvvetine rağmen direk plastik deformasyona uğramamış olup yük kaldırıldığında direk eski haline dönmektedir.



a) Arka Yön

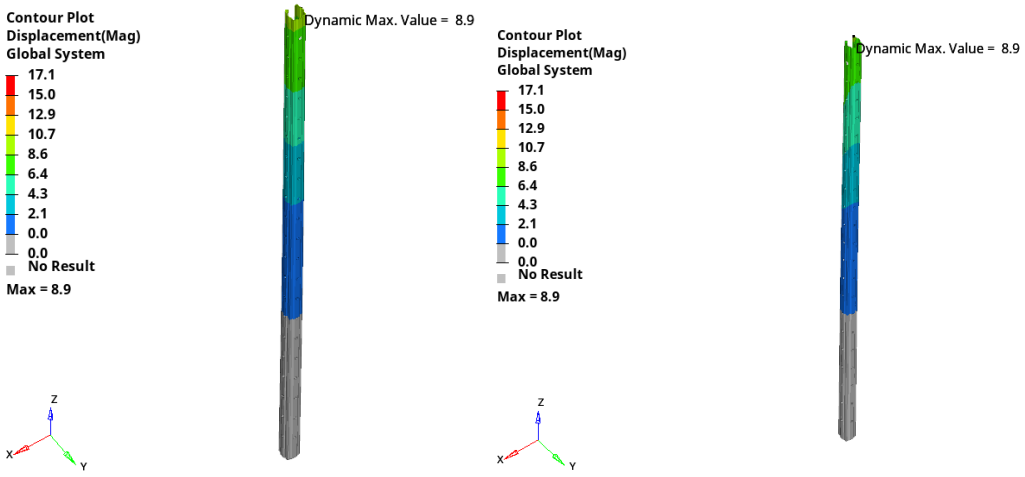


b) Sağ yan



c) Sol Yan

Şekil 4.5. Yeni tasarlanan bağ direğinin statik yük altında deformasyon dağılımı



a) Arka Yön *b)Yan yüzeyler*

Şekil 4.6. Arka ve yan yüzeylerden uygulanan deformasyon miktarı (mm)

4.3 Burkulma Analizi

Burkulma analizi, direğin en zayıf düşey eksende dış kuvvetler altında denge kaybına uğrayıp uğramadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Yeni tasarlanan bağ direğinin ilk mod burkulma analizi sonuçları

Analiz Türü	**Kritik Yük (N)**	**Gerçek Yük (N)**	**Güvenlik Katsayısı**
İlk mod burkulma	845	250	2.81

Çizelge 4.3'te sunulan ilk mod burkulma analiz sonuçlarına göre, tasarlanan bağ direği yapısı için hesaplanan güvenlik katsayısı 2.81 olarak bulunmuştur. Bu değer, tarımsal yapılar ve dış ortam koşullarına maruz kalan çelik konstrüksiyon sistemlerde genel kabul görmüş güvenlik katsayısı aralığı olan 2.5–3.0 bandı içerisinde yer almaktadır (Salama et al., 2017). Özellikle rüzgâr yükleri ve tel çekme kuvvetlerinin bileşik etkileri düşünüldüğünde, bu katsayının bağ direğinin güvenli çalışmasını sağlayacak düzeyde olduğu değerlendirilmektedir.

Literatürde, tarım yapılarında kullanılan boru kesitli veya soğuk şekillendirilmiş çelik

profillerle ilgili benzer burkulma analizlerinde, güvenlik katsayılarının 2.8 ile 3.6 arasında değiştiği raporlanmıştır (Zhao & Hancock, 1991; Schafer, 2002). Bu kapsamda elde edilen bulgular, yeni tasarlanan bağ direğinin benzer yükleme koşullarında yapısal yeterliliğe sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca mevcut sonuçlar, hem geometrik stabilite hem de malzeme seçiminin uygunluğunu teyit etmekte, önceki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Sonuç olarak, önerilen tasarım, burkulma güvenliği açısından tarımsal mekanizasyon sistemlerinde kullanılabilecek düzeyde bir yapısal dayanım sergilemekte; bu yönüyle literatürde yer alan benzer uygulamalarla karşılaştırıldığında teknik açıdan rekabetçi bir çözüm sunduğu anlaşılmaktadır.

4.4 Toprak İçi Stabilite Gözlemleri

Yapılan saha ön değerlendirmelerinde, 700 mm toprak içine gömülen direğin düşey stabilitesi test edilmiştir. Toprakla temas eden uç bölgedeki özel büküm geometrileri, temas yüzeyini artırarak sürtünme direncini yükseltmiş ve direğin toprak içi stabilitesini iyileştirmiştir (Şekil 4.5). Özellikle gevşek ve nemli toprakta klasik direklerde görülen 7.2 mm'lik sapma, yeni tasarımda 2.9 mm'ye düşmüştür (Çizelge 4.4). Böylece sapma %60 oranında azaltılmıştır. Sert zeminlerde fark daha az olmasına rağmen yine de anlamlı düzeydedir.



Şekil 4.7. Yatma direncini artıran uç geometrisiyle toprak içine gömülü bağ direği 3B

modeli

Bu gözlemler, direğin yalnızca yük altında değil, zeminle etkileşim halinde de daha stabil davranış gösterdiğini doğrulamaktadır. Bu sonuç, toprak içine gömülen tarımsal yapı elemanlarında uç geometrisinin zeminle olan etkileşim açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. Farklı zemin sıkılıklarında direk sapma değerlerinin karşılaştırılması

Zemin Sıkılığı	**Geleneksel Direk Sapması**	**Yeni Tasarım Direk Sapması**
Gevşek (nemli toprak)	7.2 mm	2.9 mm
Orta Sert	4.3 mm	1.2 mm
Sert Zemin	1.6 mm	0.5 mm

Sonuç olarak, tasarlanan uç büküm geometrisinin toprakla daha fazla sürtünme yaratarak direği daha stabil hale getirdiği bulunmuştur.

4.5 Üretim ve Uygulama Açısından Değerlendirme

Tasarımın roll form hattında üretilebilirliği, mevcut büküm sayısı ve kesit geometrileri üzerinden incelenmiştir. Sac kalınlığı ve şekil verilebilirlik açısından S355MC+Z malzeme, 2 mm kalınlığında tercih edilmiştir.

Tasarımın roll form hattında üretime uygunluğu, yapılan prototip üretimleriyle test edilmiş, büküm bölgelerinde geri yaylanma etkisinin minimize edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, saha uygulamaları sırasında, montaj sürelerinin kısaldığı ve direğin zemin adaptasyonunun klasik modellere göre daha pratik olduğu tespit edilmiştir.

Bu durum, tasarımın yalnızca yapısal olarak değil, uygulama kolaylığı ve iş gücü maliyetleri açısından da avantaj sunduğunu göstermektedir. Özellikle bağ sistemlerinin yoğun olarak kurulduğu bölgelerde zaman ve işçilik optimizasyonu bakımından bu önemli bir kazanımdır.

4.6 Karşılaştırmalı Sonuçlar

Bu çalışmada ele alınan kriterler göz önüne alınarak tasarlanan bağ direğinin, geleneksel modele göre yapısal performans açısından karşılaştırması Çizelge 4.5'te özetlenmiştir. Yanal rijitlikte %140'a yakın bir artış (yaklaşık 2.5 kat), maksimum Von Mises gerilme değerinde düşüş, deformasyonda %60'a varan azalma ve burkulma güvenlik katsayısında iki katın üzerinde artış sağlandığı görülmektedir. Ayrıca, galvaniz kaplı malzeme seçimi ile korozyon dayanımı iyileştirilmiş, roll form üretim yöntemi sayesinde üretim kolaylığı ve uygulama pratikliği artırılmıştır.

Çizelge 4.5. Geleneksel bağ direği ile tasarlanan yeni direğin farklı kriterlere göre karşılaştırması

Kriter	**Geleneksel Direk**	**Yeni Tasarım Direk**
Malzeme	Boyasız sac	S355MC+Z
Rijitlik (kNm)	3.12	7.8
Maks. Gerilme (MPa)	288	226
Deformasyon (mm)	4.2	1.8
Burkulma Güvenliği	1.6	3.4
Korozyon Dayanımı Üretilebilirlik	Düşük Orta	Yüksek Uygun

Bu bulgulara göre, bu araştırmada kullanılan yaklaşımın sadece tasarımda (optimum kesit geometrisinin ve uygun malzeme seçiminde) değil, aynı zamanda bütünsel olarak (sistem başarısında) da belirleyici olduğu sonucuna varılabilir.

Analiz sonuçlarına göre, incelenen diğer malzemelerden HX340LAD mukavemet açısından seçilen S355MC malzemesine en yakın değerlere sahip bulunmuştur (EK 1). Ancak, maliyet açısından karşılaştırıldığında (Çizelge 3.2), HX340LAD daha maliyetli bir çözümdür. Bu değerlendirmeye göre, hem daha dayanıklı hem de maliyet etkin olması nedeniyle bu araştırma sonucunda optimum çözümün S355MC malzemesini kullanmak olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer malzemelerin tümü hem daha maliyetli hem de daha düşük dayanıma sahip olduklarından bulgular detaylı bir şekilde tartışılmamış, analiz sonuçları EK 2 ve 3 verilmiştir.

En uygun çözüm olarak seçilen 2 mm kalındığında S355MC malzemenin maliyetinin daha fazla düşürülüp düşürülemeyeceğini belirlemek için 1.5 mm sac kalınlığında da analiz edilmiştir (EK 4a). Analiz sonucuna göre, 1.5 mm kalınlığındaki S355MC malzemeden yapılacak bağ direğinin gerilme değeri, malzemenin akma sınırına yakın olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, daha ince bir malzemenin kullanılamayacağı, 2 mm'lik sacın en uygun çözüm olacağı bulunmuştur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, üzüm bağlarında bağ direk olarak kullanılmak üzere geliştirilen yeni bir tasarım; yapısal rijitlik, burkulma dayanımı, deformasyon kontrolü ve toprak içi stabilite gibi çok boyutlu mühendislik kriterleri açısından değerlendirilmiş ve geleneksel modellere kıyasla üstün performans sergilemiştir.

Yapılan analizler neticesinde aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır:

Geometrik yapı ve rijitlik: Çok kademeli büküm ve uç bölge kulak geometrileri sayesinde, yeni tasarımın yanal rijitliği geleneksel C kesitli modellere göre yaklaşık 2.5 kat artış göstermiştir (7.8 kNm). Bu durum, özellikle bağ teli gerilmeleri ve rüzgâr yükü altında daha düşük deformasyonla sistem bütünlüğünün korunmasını sağlamaktadır.

Mekanik güvenlik: Sonlu elemanlar analizinde elde edilen maksimum Von Mises gerilme değeri (190.8 MPa), kullanılan S355MC+Z çeliğinin akma dayanımının (%53,75 altında) güvenli sınırlarında kalmıştır. Bu, tasarımın normal çalışma koşullarında plastik deformasyona uğramayacağını göstermektedir.

Burkulma dayanımı: İlk mod burkulma analizinde 845 N kritik yük değeri elde edilmiştir. 300 N'luk dış yükle karşılaştırıldığında, yaklaşık 2,8'lİk bir güvenlik katsayısı hesaplanmıştır. Bu katsayı, TS EN 1993 (Eurocode 3) standartları ve benzer zemin üstü yapı elemanları için önerilen minimum emniyet katsayılarının üzerinde olup, yapının burkulmaya karşı yeterli güvenlikte olduğunu teyit etmektedir.

Toprak içi stabilite: Farklı zemin sıkılıklarında yapılan saha ön testlerinde, yeni tasarımın sapma değerleri geleneksel modellere kıyasla önemli ölçüde düşük bulunmuştur. Özellikle nemli gevşek toprak koşullarında bile sapma %60'tan fazla azalmış, bu da uç büküm geometrisinin toprakla temas alanını artırarak stabiliteyi geliştirdiğini göstermektedir.

Üretim ve uygulanabilirlik: Roll form teknolojisine uyumlu olarak geliştirilen kesit

geometrisi, üretim hattında sorunsuz şekillendirilebilmiş, yaylanma (springback) etkisi prototip denemelerinde kontrol altına alınmıştır. Ayrıca, sahadaki ilk uygulama testlerinde montaj süresi ve zemin adaptasyonu açısından yeni direklerin daha pratik olduğu belirlenmiştir.

Performans karşılaştırması: Malzeme kalitesi, rijitlik, deformasyon direnci, burkulma güvenliği, korozyon dayanımı ve üretim kolaylığı gibi kriterler bazında yapılan karşılaştırmalı analizde, yeni tasarım tüm parametrelerde geleneksel sistemlere üstünlük sağlamıştır (Çizelge 4.5).

Sonuç olarak, geliştirilen bağ direk tasarımı; yapısal olarak güvenilir, üretim açısından uygulanabilir ve saha koşullarına uygun bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu tasarımın geniş ölçekli bağ uygulamalarında kullanılabilirliği ve ekonomik etkinliği, gelecekte yapılacak uzun süreli saha testleri ve maliyet analizleri ile daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilir. Ayrıca bu çalışma, bağcılık altyapı elemanlarının mühendislik temelli yeniden ele alınmasına yönelik literatürdeki boşluğu doldurarak, tarımsal yapılar alanına somut bir katkı sunmaktadır.

Bu araştırma sonucunda şunlar önerilebilir:

Geliştirilen bağ direk tasarımı kısa vadeli statik yük ve stabilite testlerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak farklı iklim bölgelerinde, değişen toprak türlerinde ve yıllık bağ bakım işlemleri sırasında oluşabilecek dinamik etkilerin değerlendirilmesi amacıyla uzun dönemli saha gözlemleri yapılması önerilmektedir.

Galvanizli çelik malzeme yüksek korozyon direnci sunsa da, çok yıllık dış ortam koşullarında malzemenin yıpranma davranışının laboratuvar ortamında hızlandırılmış korozyon testleri (ör. tuz püskürtme testleri, ASTM B117) ile değerlendirilmesi yararlı olacaktır.
Bu çalışmada geliştirilen çok kademeli U profiline ek olarak, farklı kesit varyasyonlarının (örneğin C, Sigma veya Omega profillerin) rijitlik, üretim kolaylığı ve maliyet açısından optimizasyonu yapılabilir.

Burada sınırlı şekilde değerlendirilen toprak direnç etkisi, farklı gömülme derinlikleri ve zemin tiplerine göre detaylı sayısal modellemeler ile analiz edilebilir. Özellikle toprak çökmesi, don-çözülme gibi etkiler direk performansını etkileyebilir.

Geliştirilen profilin seri üretimi için roll form üreticileriyle işbirliği yapılmalı, üretim sürecinde tolerans yönetimi, maliyet analizleri ve kalite kontrol prosedürleri oluşturulmalıdır.

Yeni direk modelinin pratikte uygulanabilirliği, montaj kolaylığı ve uzun vadeli memnuniyeti üzerine bağ işletmecilerinden geri bildirimler toplanarak tasarım döngüsüne geri besleme sağlanmalıdır.

Geliştirilen ürünün tarımsal yapılar kapsamında kullanımının yaygınlaştırılması için, TS veya ISO normlarına uygunluk açısından tip testleri yapılarak belgelendirme süreci başlatılmalıdır.

KAYNAKLAR

Altın, M., & Alagöz, T. (2019). Tarımsal Üretimde Altyapı Sistemlerinin Verimlilik Üzerine Etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi, 25(3), 415–422

Altıntop, B. (2015). Tarımsal Yapı Elemanlarında Kullanılan Metal Profillerin Roll Form Yöntemi ile Üretimi ve Mukavemet Özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

ASTM (2011). ASTM B117-11: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. ASTM International.

Türk, A., & Altunbaş, B. (2021). Galvanizli çeliklerin dış ortam koşullarına dayanımı üzerine bir değerlendirme. Malzeme ve İmalat Teknolojileri Dergisi, 18(1), 42–48.

ArcelorMittal (2019). Product catalogue: Advanced high strength steels – HX grades. ArcelorMittal Europe - Flat Products. Retrieved from *https://industry.arcelormittal.com*

Blom, P. E., & Tarara, J. M. (2009). Trellis tension monitoring improves yield estimation in vineyards. *HortScience*, *44*(3), 678-685.

Chen, J., Wang, Y., & Guo, W. (2017). Development and Application of Roll Forming Process in the Automotive Industry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 213(1), 012028.

Çelik, H., & Arslan, M. (2022). Galvanizli çelik sac profillerin tarımsal yapılarda kullanımı: Roll form üretim yöntemi ile şekillendirme üzerine bir değerlendirme. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 18(1), 45–52.

Davis, J. R. (2001). Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. ASM International.

De Kleine, M., Booker, P., Lewis, K., & Pezeshki, C. (2016). Engineering analysis for high density trellis structures (Tree Fruit Research Commission Report No. 775). Washington State University.

Demirtaş, M., & Yılmaz, S. (2021). Üzüm Bağcılığında Mekanizasyon ve Altyapı Sistemlerinin Önemi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 8(2), 134–142.

Dobrei, A., Nistor, E., Sala, F., Cirt, S., Mălăescu, M., & Dobrei, A. G. (2022). Reducing the vineyard establishment costs by choosing the trellising system according with the grape variety and local natural resources.

Duran, E., & Aydın, T. (2020). Bağcılıkta kullanılan metal destek sistemlerinin yapısal analizi ve performans incelemesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(2), 78–85.

Ed Kweik (2007). Vineyard Trellis and Training. Erişim Linki: *https://winemakermag.com/article/1388-backyard-vineyard-trellis-and-training*

Gültekin, F. (2021). Rüzgar ve Tel Gerilmesi Etkisi Altında Bağ Direklerinde Oluşan Deformasyonların Analizi. Ziraat Mühendisliği Dergisi, 33(4), 317–325.

HLC Metal Parts. (2025). A comprehensive guide to salt spray testing. Erişim adresi: *https://www.hlc-metalparts.com/news/a-comprehensive-guide-to-salt-spray-testing-71821821.html*

Jensen Infrastructure (2025). Prestressed Concrete Post – 3x3. Erişim adresi: *https://www.jensenprecast.com/products/prestressed-concrete-post-3x3/*

Koç, A., & Ertürk, S. (2018). Bağcılıkta Kullanılan Direk Sistemlerinin Yapısal Dayanımı Üzerine Bir İnceleme. Tarım Yapıları Dergisi, 9(1), 35–42.

MGM. (2023). Bursa İli Rüzgâr Verileri – Meteorolojik Gözlem İstatistikleri. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Erişim adresi: *https://www.mgm.gov.tr*

Kara, H., & Yılmaz, B. (2020). Galvanizli çelik sacların korozyon dayanımı ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin incelenmesi. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Dergisi*, 45(2), 85–92.

Kaya, H., & Demir, M. (2019). Analysis of Vine Wire Tension: Field Measurements and Design Recommendations. Journal of Agricultural Structures, 14(2), 101–110.

Koleva, D. A., van Breugel, K., & Koenders, E. A. B. (2012). Durability and corrosion protection of galvanized steel in atmospheric environments. Construction and Building Materials, 28(1), 632–641.

Li, Z., Wang, J., & Chen, H. (2021). Structural optimization of vineyard trellis posts using finite element analysis. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 23(3), 112–119.

Maier, B. (2012). *Trellis End Post Assembly Designs for Vineyards*. NM State University, Cooperative Extension Service.

Micom Laboratories. (2014). ASTM B117 Testing Quality Control.

Reynoldson, A.M., Venderley, M.J., & Brooks, R.C. (2018). Wire Tension in Horticultural Trellis Systems. International Journal of Fruit Production Engineering, 5(1), 45–53.

Reynolds, A. G., De Savigny, C., & Willwerth, J. (2018). Impact of vine support structure and training system on vine physiology and grape composition. American Journal of Enology and Viticulture, 69(1), 12–24.

Salama, M. M., Alhamad, M. N., & Al-Dousari, A. M. (2017). Buckling resistance of steel posts in harsh environments. Journal of Structural Engineering, 143(2), 04016173.

Schafer, B. W. (2002). Local, distortional, and Euler buckling in thin-walled columns. Journal of Structural Engineering, 128(3), 289–299.

Smith, A. J. & Jones, B. R. (2012). Vineyard trellis wire tension for structural stability. Journal of Viticulture Engineering, 18(3), 123–130.

VineWorks (2025). Premium 2.75m End Vineyard Posts, Hot-Dipped Galvanised Metal. Erişim adresi: *https://vine-works.com/products/2-75m-end-posts*

Yan, Z., Martinez, L. Y., Mitchell, P., Strandgard, M., & Singh, T. (2025). Performance Assessment of New and Aged Vineyard CCA Treated Timber Posts

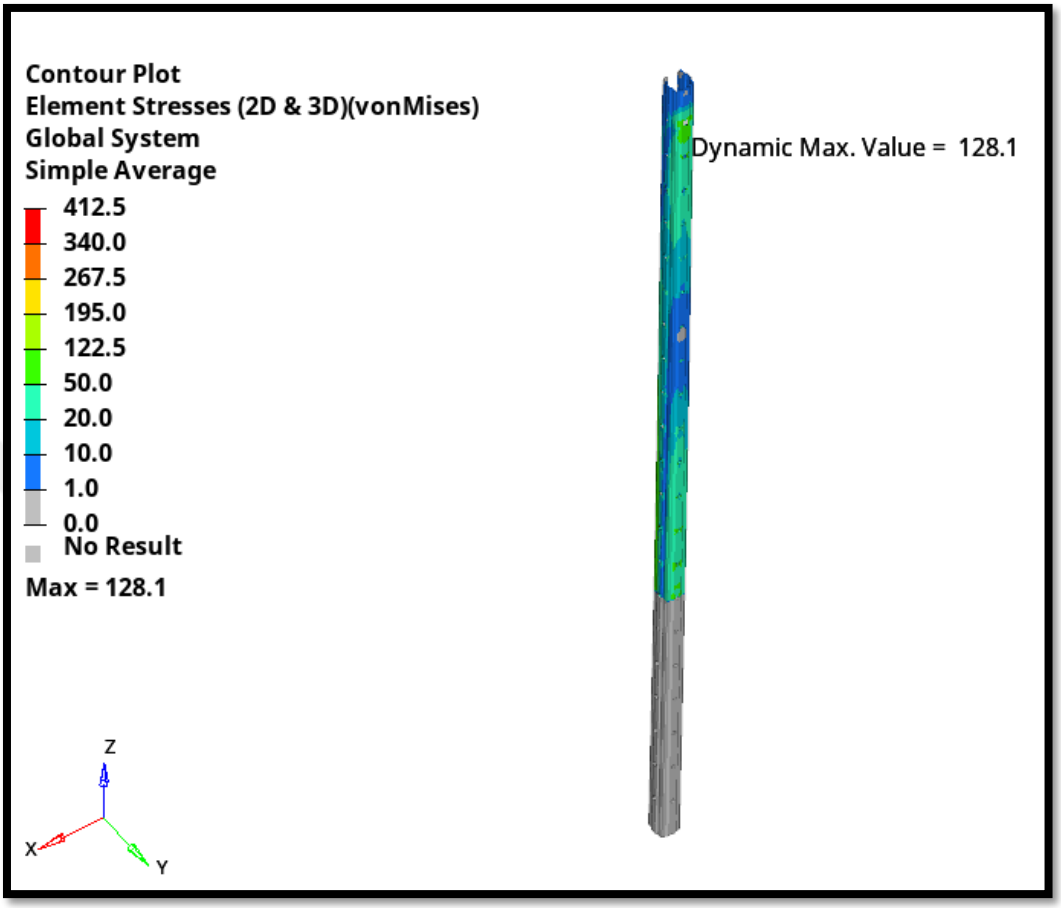
Yıldırım, H. (2020). Bağ Direklerinde Zamanla Meydana Gelen Deformasyonların Üretim Verimliliğine Etkileri. Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(2), 210–218.

Yumlu (2025). 2m Düz Beton Direk. Erişim adresi: *https://www.yumlutelorgu.com/2m-duz-beton-direk/*

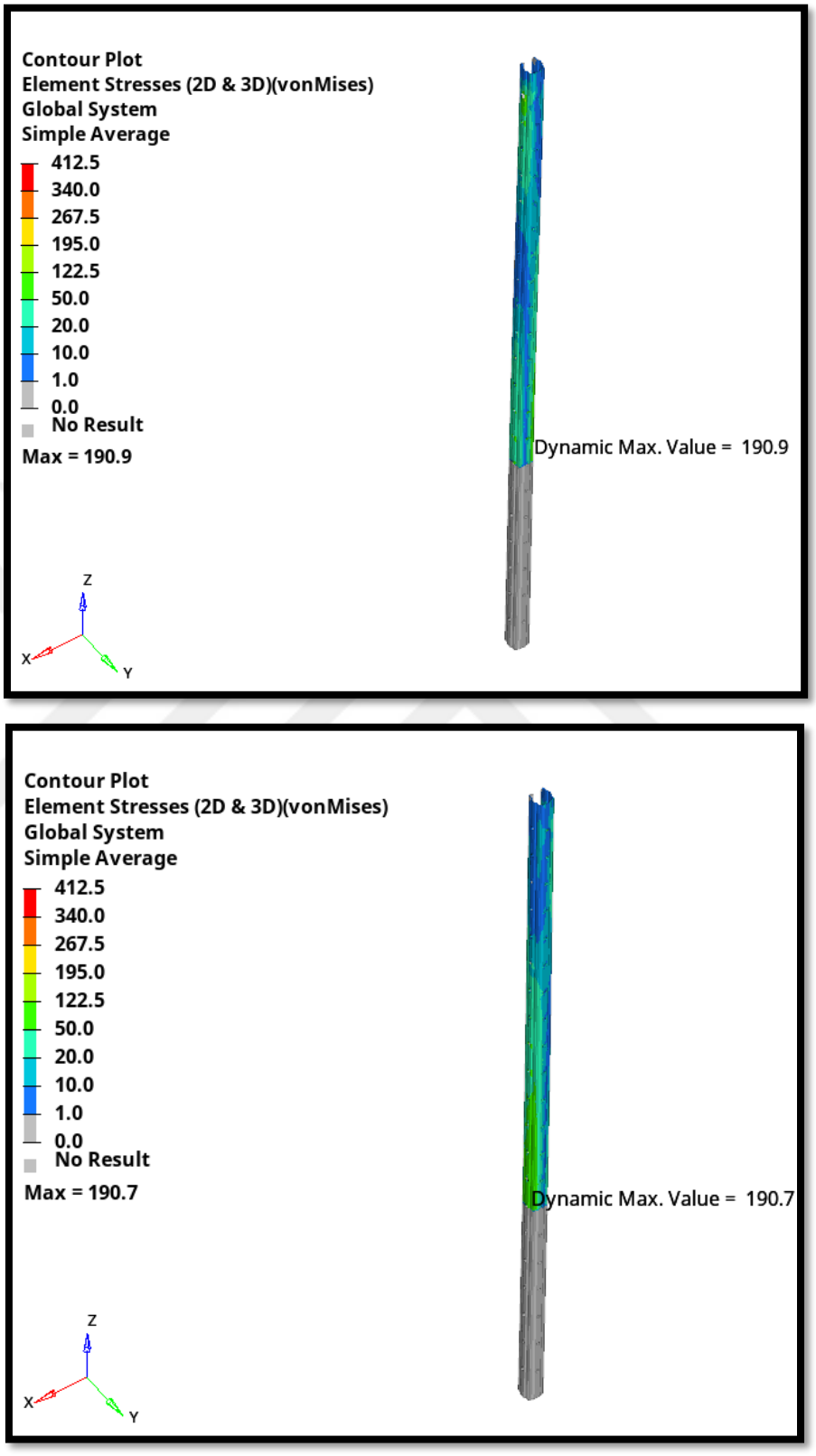
Zhao, X. L., & Hancock, G. J. (1991). Tests of cold-formed high strength steel columns. Journal of Structural Engineering, 117(5), 1353–1371.

EKLER - Alternatif Malzemelerin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

EK 1

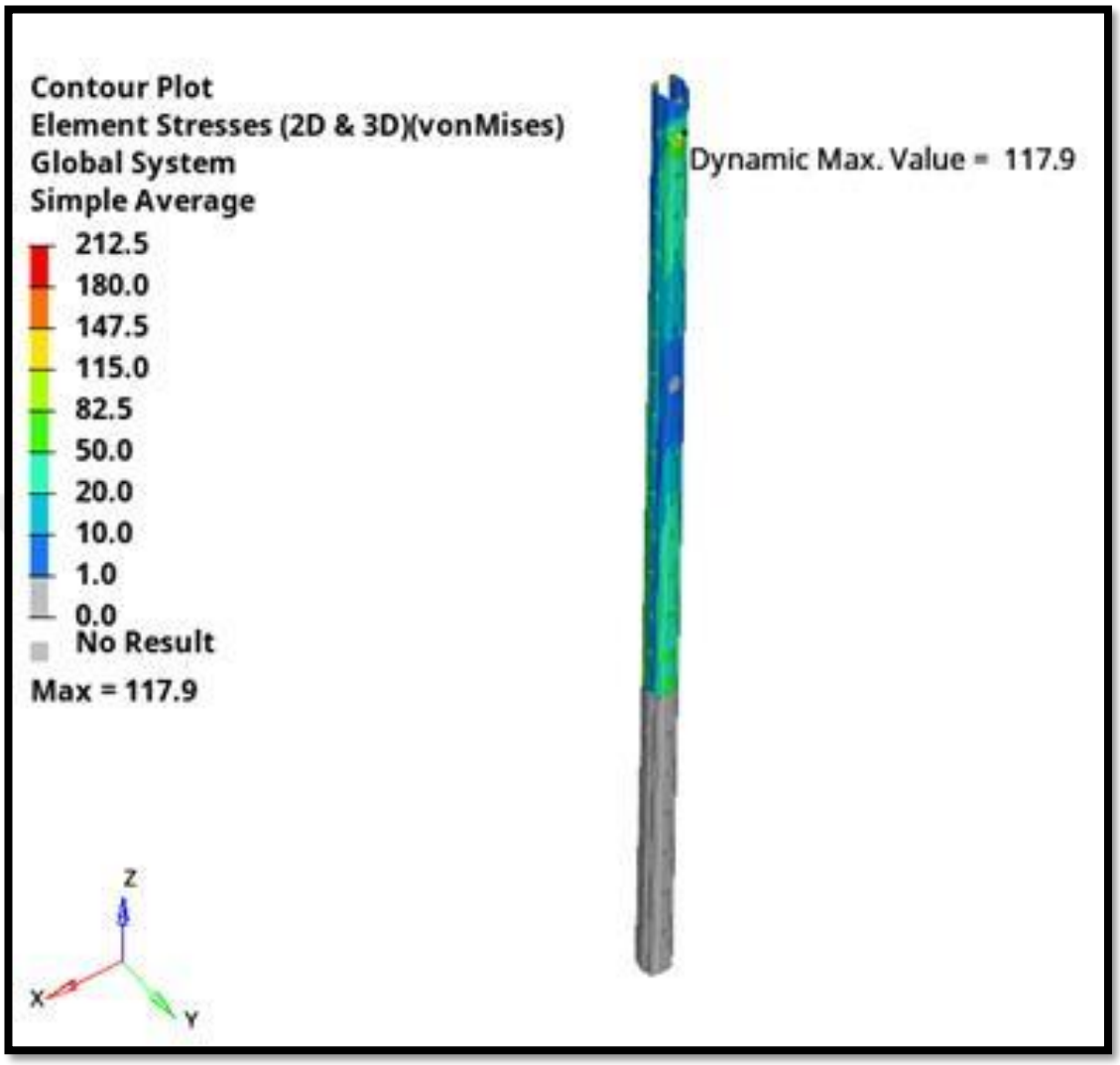


EK 1a. HX340LAD direkte arkadan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi

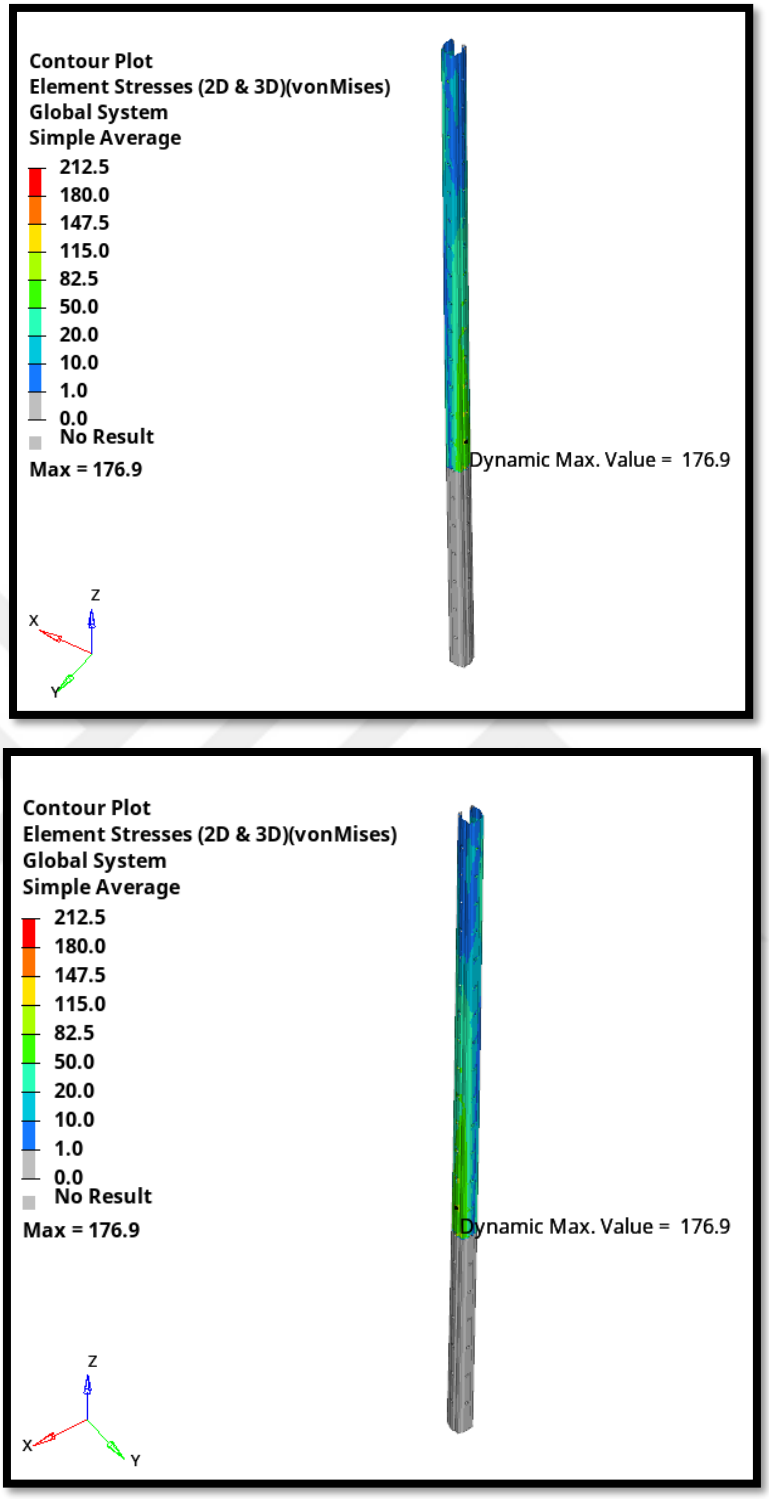


EK 1b. HX340LAD direkte sağ ve sol yandan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi

EK 2

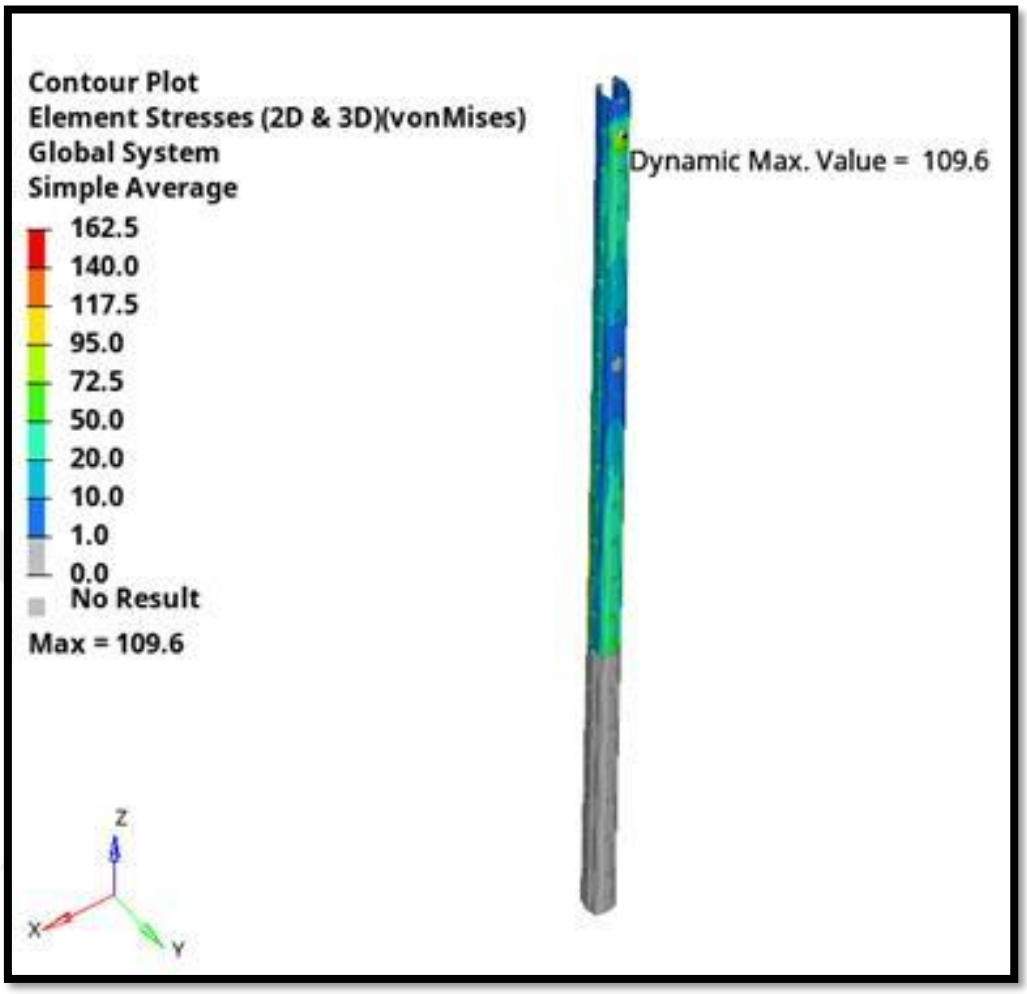


EK 2a. DX54D direkte arkadan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi

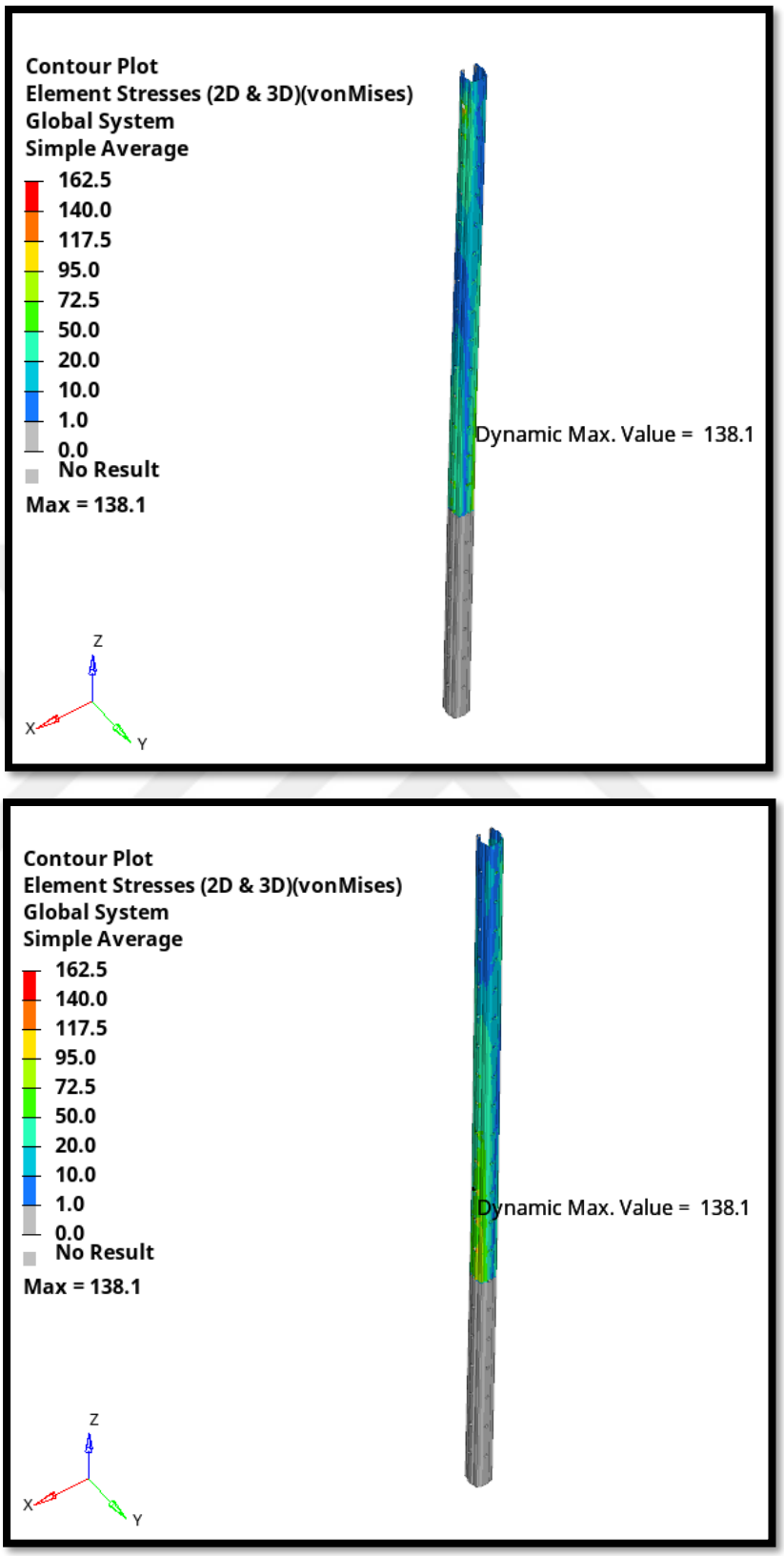


EK 2b. DX54D direkte sağ ve sol yandan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi

EK 3

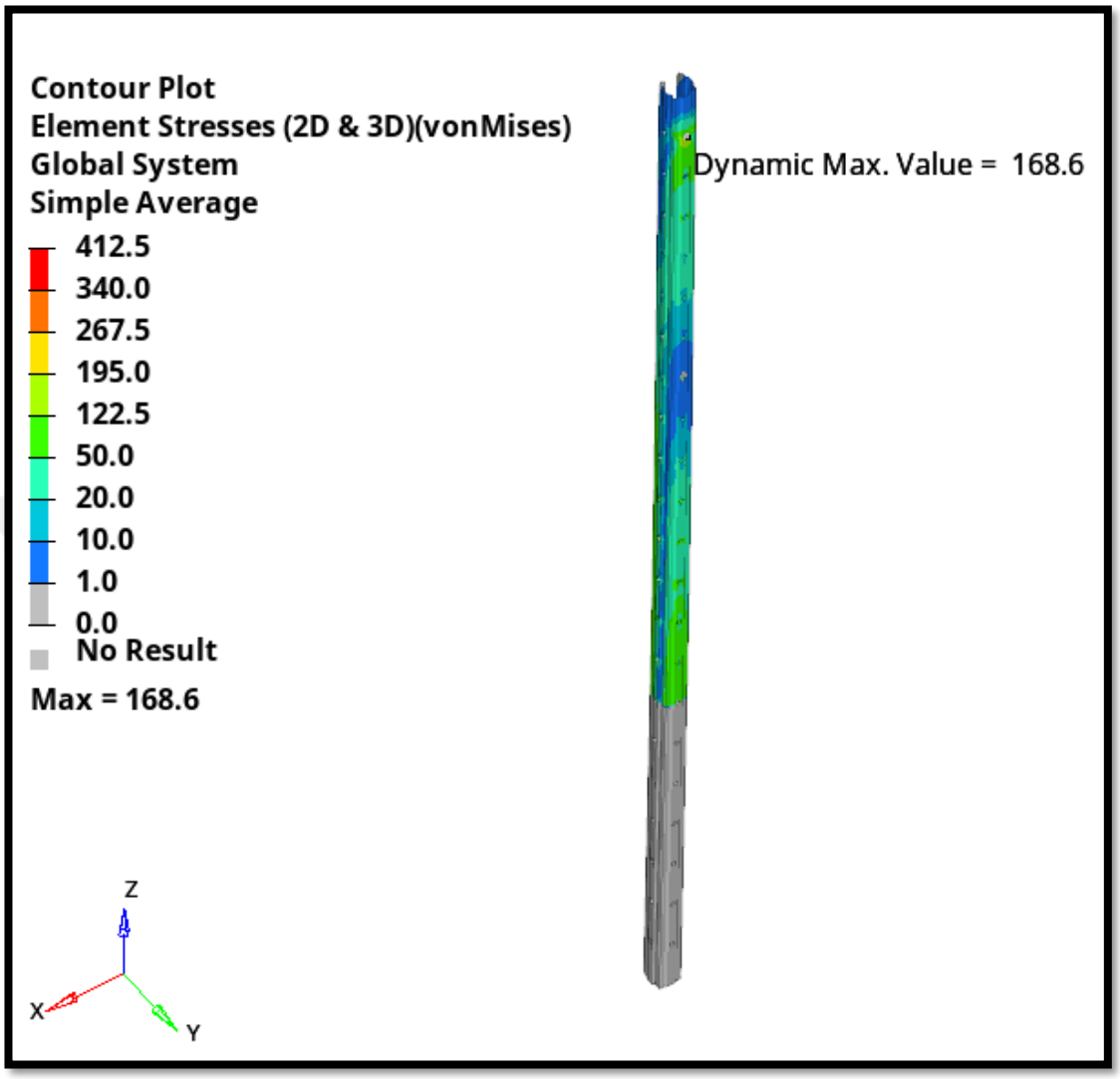


EK 3a. DC04 direkte arkadan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi

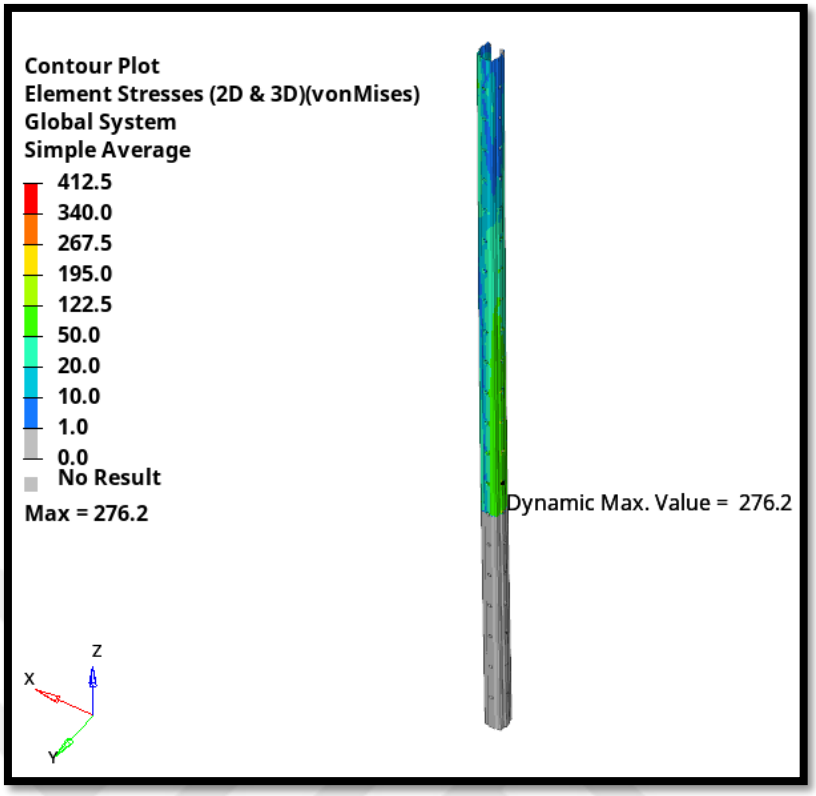


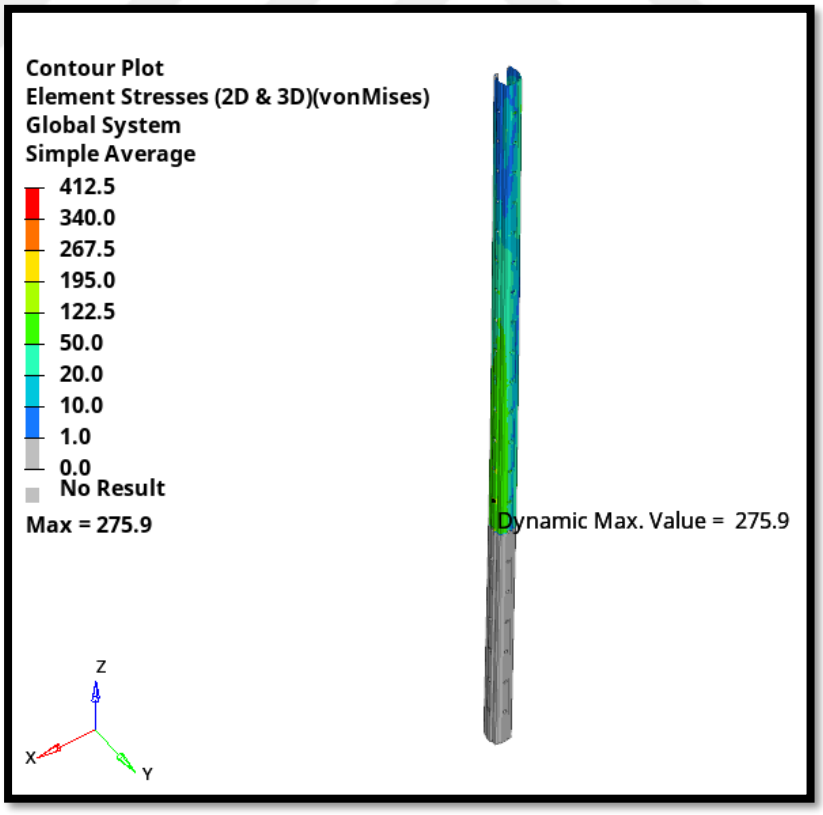
EK 3b. DC04 direkte sağ ve sol yandan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi

EK 4



EK 4a. S355MC 1.5 mm kalınlıkta tasarlanan direkte arkadan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi





EK 4b. S355MC 1.5 mm kalınlıkta tasarlanan direkte sağ ve sol yandan uygulanan yük altında Von Mises gerilmesi