



**SIVI GÜBRE TANKERİNDE KOMPOZİT MALZEME
KULLANIMI VE İMALAT YÖNTEMLERİNİN
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert GÜVENÇ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SIVI GÜBRE TANKERİNDE KOMPOZİT MALZEME
KULLANIMI VE İMALAT YÖNTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Mert GÜVENÇ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Mert Güvenç tarafından hazırlanan “Sıvı Gübre Tankerinde Kompozit Malzeme Kullanımı ve İmalat Yöntemlerinin Optimizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23 / 05 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA

Başkan : Doç. Dr. Yusuf KAYALI
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammet KARABAŞ
Kırklareli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi

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

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

- 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.

23 / 05 / 2023

Mert GÜVENÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIVI GÜBRE TANKERİNDE KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI VE İMALAT YÖNTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Mert GÜVENÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA

Tankerler günümüzde insan ihtiyaçlarının karşılanmasında sürekliliği devam etmekte olan bir imalat dalı olarak yerini korumaktadır. Birçok ürünün depolanmasında kullanılmakla beraber bunların güvenli bir şekilde istenilen bölgelere taşınması amacı ile kullanılan gereçlerdir. Günümüzde, tankerler içerisinde depolanan malzemeye göre farklı materyallerden imal edilirler. Tankerlerin imal edilen malzemeye göre göstermiş olduğu özellikler tankerlerin enerji tasarrufu, uzun ömürlülüğü, korozyon direnci, maliyet, mukavemet vb. optimizasyonlarını da belirlemektedir.

Yapılan bu çalışmada günümüzde özellikle tarım sektöründe çiftçilerin ihtiyaçlarını karşılayan sıvı ve katı gübre tankerlerinin imalatında gövdesi çelik ve cam elyaf takviyeli plastik (CTP) olarak tasarlanan tankerlerinin karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Tanker imalatında kullanılan bu malzemelerden alınan deney numuneleri korozyon testlerine tabi tutulmuştur. Burada korozif ortam oluşturan gübrelerin tanker malzemesine yapmış olduğu etkiler değerlendirilmiştir. Çelik ve CTP tankerlere yapılmış olan sonlu elemanlar statik analizi ile tankerlerin mukavemetleri değerlendirilerek CTP malzemedan imal edilen tankerlerin elyaf kalınlığı artırılarak mukavemetinin arttırıldığı, korozyon direncinin ise çelik tankere göre daha yüksek olduğu sonuçlarına varılmıştır.

2023, ix + 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tanker, Çelik, CTP, Optimizasyon, Gübre.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

USAGE OF COMPOSITE METERIALS IN LIQUID FERTILIZER TANKERS AND OPTIMIZATION OF MANUFACTURING METHODS

Mert GÜVENÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Today, tankers maintain their place as a manufacturing branch that continues to meet human needs. Although they are used in children of most products, they are tools that are used for the purpose of directing them safely. Meaningful tankers are manufactured from different materials according to the material stored in them. The characteristics of the tankers according to the manufactured material are energy saving, longevity, corrosion resistance, costs, durability, etc. of the tankers. determines the optimizations.

In this study, the comparison of tankers designed as steel and fiberglass reinforced plastics (FRP) in the manufacture of liquid and solid fertilizer tankers that meet the needs of farmers, especially in the agricultural sector, is given. Test samples taken from these materials used in tanker manufacturing were subjected to corrosion tests. Here, the effects of the fertilizers that create a corrosive environment on the tanker material were evaluated. By evaluating the strength of the tankers with the finite element static analysis made on steel and FRP tankers, it was concluded that the strength of the tankers made of FRP material was increased by increasing the fiber thickness, and the corrosion resistance was higher than the steel tanker.

2023, ix + 59 pages

Keywords: Tanker, Steel, FRP, Optimization, Fertilizer.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA hocama teşekkür ederim.

Araştırma, yazım süresince ve deneysel yapmış olduğumuz çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Selim Acar'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yapmış olduğum tasarım, çizim, analiz aşamalarında desteğini ve yardımlarını benden hiç esirgemeyen Sayın ARGE Direktörüm Latif Soylu' ya teşekkür ederim.

Bugüne kadar maddi manevi hiçbir desteğini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan, emekleri sayesinde bu günlere gelmemi sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mert GÜVENÇ
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Literatür Taraması.....	2
2.2 Kompozit Malzeme.....	7
2.2.1 Kompozit Malzemelerin Karşılaştırılması	7
2.2.2 Kompozit Malzemelerde Matris ve Takviyelerin Rolü	8
2.3 Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme	9
2.3.1 Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Dayanım	10
2.3.2 El Yatırma Yöntemi	11
2.4 St37 Malzeme	12
2.5 Korozyon Tanımı	13
2.5.1 Göz ile Görülebilen Korozyon Çeşitleri	13
2.5.2 Korozyon Hızı.....	14
2.6 Taramalı Elektron Mikroskobu ile Korozyon Analizi	14
2.7 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	15
2.8 Tanker İmalatında Malzeme Çeşitliliği	16
3. MATERYAL ve METOT	17
3.1 Deney Düzenegi ve Kullanılan Ekipmanlar	17
3.1.1 Hayvan Gübresi Numuneleri.....	17
3.1.2 CTP ve St37 Malzemelerinden Numuneler	18
3.2 Korozyon Deneyleri.....	19
3.3 Tanker Tasarımları.....	21
3.4 Tanker Sonlu Eleman Analizi	21
4. BULGULAR	22

4.1 Çelik ve CTP Numunelerinin Korozyon ile Fiziksel ve Kütlesel Değişimi ...	22
4.2 Çelik ve Ctp Numunelerinin Korozyon Hızı	30
4.3 Çelik ve CTP Mikroyapı Analizi	31
4.3.1 Çelik Malzemenin Mikroyapı Analizi.....	31
4.3.2 CTP Malzemenin Mikroyapı Analizi	40
4.4 Çelik ve CTP XRD Analizi.....	48
4.5 Çelik ve CTP Tanker Statik Analizi	49
4.6 Çelik ve Ctp Tanker Optimizasyon Parametreleri	51
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	53
6. KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	59



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

B ₂ O ₃	Borik asit
SiO ₂	Silikon oksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
Mpa	Megapascal
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
TiO ₂	Titanyum dioksit
GPa	Gigapascal
mM	Milimolar
CaO	Kalsiyum oksit
MgO	Magnezyum oksit
Fe ₂ O ₃	Demir oksit

Kısaltmalar

3D	Üç boyutlu tasarım
C1	Tavuk gübresi içerisinde bulunan CTP numune
C2	Küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP numune
C3	Güvercin gübresi içerisinde bulunan CTP numune
C4	Büyükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP numune
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
CTP	Cam elyaf takviyeli plastik
LLDPE	Lineer düşük yoğunluklu polietilen
M1	Tavuk gübresi içerisinde bulunan St37 numune
M2	Küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan St37 numune
M3	Güvercin gübresi içerisinde bulunan St37 numune
M4	Büyükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan St37 numune
RTM	Reçine transfer kalıplama
ST37	Karbon çeliği
SEM	Taramalı Elektron mikroskobu
EDS	Enerji Dispersiv Spektrum
XRD	X-Işınları Difraktometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Farklı malzemelerin çeşitli özelliklerinin karşılaştırılması	7
Şekil 2.2 Liflerin kompozit içerisinde yerleşimi. a) kesikli rastgele, b) sürekli tek yönlü, c) sürekli düzlemsel iki yönlü, d) sürekli düzlemsel üç yönlü, e) üç boyutlu iken ok yönleri ise mekanik dayanımın iyi olduğu yönleri göstermektedir.	9
Şekil 2.3 Plastik malzemenin elyaf takviyesi ile çekme gerilmesi artışı.....	10
Şekil 2.4 Kalıp içerisine el yatırma yöntemi a) Reçine, b) Elyaf c) Jelkot d) Kalıp.	11
Şekil 2.5 Göz ile Görülebilen Korozyon Çeşitleri a) Eşit dağılımlı korozyon, b) Çukur korozyonu, c) çatlak-yarık korozyonu, d) Galvanik korozyon.....	13

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Matris ve takviyelerin malzemelerdeki rolü.	8
Çizelge 2.2 Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşenleri	11
Çizelge 2.3 St37 Malzemesinin mekanik özellikleri ve bileşen.....	12
Çizelge 3.1 Hayvansal gübrelerin kimyasal yapıları.....	18
Çizelge 4.1 Numune kütle değişim çizelgesi	28
Çizelge 4.2 CTP Malzemenin Kütlesel Değişimi.	29
Çizelge 4.3 St37 Malzemenin Kütlesel Değişimi.	29
Çizelge 4.4 Korozyon hızı.....	30
Çizelge 4.5 Korozyon hızı grafiği	31
Çizelge 4.6 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütlesel Değişimi. 32	
Çizelge 4.7 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütlesel Değişimi	34
Çizelge 4.8 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütlesel Değişimi	36
Çizelge 4.9 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütlesel Değişimi	38
Çizelge 4.10 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi 41	
Çizelge 4.11 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi	43
Çizelge 4.12 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi	45
Çizelge 4.13 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi	47
Çizelge 4.14 Çelik ve CTP Tanker optimizasyon Parametreleri	52

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1 10m ³ Tanker Basınç Analizi	15
Resim 2. 2 (a) Çelik malzemeden üretilen tanker (b) Alüminyumdan üretilen tanker (İnt. Kyn. 2). (c) Paslanmaz çelikten üretilen tanker (d) Polietilen malzemeden üretilen tanker (e) Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeden üretilen tanker.....	16
Resim 3.1 (a) Büyükbaş hayvan gübresi, (b) Küçükbaş hayvan gübresi, (c) Güvercin gübresi, (d) Tavuk gübresi.....	18
Resim 3. 2 (a) 25x40x2mm ebatlarındaki CTP ve St37 numuneler, (b) 10x10x2mm ebatlarındaki Ctp ve St37 numuneler	19
Resim 3.3 a) St37 Numunesinin SEM Görüntüsü b) CTP Numunesinin SEM Görüntüsü	20
Resim 3.4 (a) St37 malzemeden tasarlanan tanker, (b) CTP malzemeden tasarlanan tanker	21
Resim 4.1 CTP ve st37 numunelerin Elli Gün Boyunca Gübre İçerisinde Kalması Sonucu Fiziksel Değişimi.....	23
Resim 4.2 Elli Gün Boyunca Tavuk Gübresi İçerisinde Kalan CTP ve St37 Numunelerin 100X Görüntüleri.....	24
Resim 4.3 Elli Gün Boyunca Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Kalan CTP ve St37 Numunelerin 100X Görüntüleri.....	25
Resim 4.4 Elli Gün Boyunca Güvercin Gübresi İçerisinde Kalan CTP ve St37 Numunelerin 100X Görüntüleri.....	26
Resim 4.5 Elli Gün Boyunca Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Kalan CTP ve St37 Numunelerin 100X Görüntüleri.....	27
Resim 4.6 St37 Numune SEM Görüntüleri.....	31
Resim 4.7 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesi SEM Görüntüleri.....	33
Resim 4.8 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 malzeme SEM Görüntüleri	35
Resim 4.9 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan St37 malzeme SEM Görüntüleri.....	37
Resim 4.10 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 malzeme SEM Görüntüleri	39

Resim 4.11 CTP Numune SEM Görüntüleri	40
Resim 4.12 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesi SEM Görüntüleri.....	41
Resim 4.13 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP malzeme SEM Görüntüleri	43
Resim 4.14 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan CTP malzeme SEM Görüntüleri....	45
Resim 4.15 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP malzeme SEM Görüntüleri	47
Resim 4.16 Numune ve 2 Hafta Gübre İçerisinde Bekletilmiş St37 XRD Görüntüsü	48
Resim 4.17 St37 malzemedden tasarlanan 3mm kalınlığında 10m ³ tanker statik analizi	49
Resim 4.18 CTP malzemedden tasarlanan 10mm kalınlığında 10m ³ tanker statik analizi	50
Resim 4.19 CTP malzemedden tasarlanan 12mm kalınlığında 10m ³ tanker statik analizi	50
Resim 4.20 CTP malzemedden tasarlanan 14mm kalınlığında 10m ³ tanker statik analizi	51

1. GİRİŞ

Tankerlerin imal edildiği malzemelerin tankerlere yapmış olduğu mekanik ve yapısal özellikler günümüzde önemini sürdürmektedir. Bunlar insanların günlük hayatta kullandığı temiz su ve sulama suyu, gıda, petrol, gübre gibi ürünlerin depolanıp taşınmasında etkin bir şekilde rol almaktadır. Bundan dolayı tankerin içerisinde depolanan veya taşınan maddelerin tanker malzemesine yapmış olduğu kimyasal etkilerin en aza indirgenip tanker ömrünün daha uzun olması gerekmektedir. Tankerin üretim malzemesi tankerin bulunduğu ortamlarda dışarıdan meydana gelebilecek fiziksel darbelerden, rüzgârdan, güneşten, nemden, yağmurdan hem kendini (tanker gövdesini) hem de tanker içerisinde depolanacak ürünü koruyabilmelidir. Bununla birlikte depolanacak ürün ile tanker arasında kimyasal bir reaksiyonun olmaması gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen çeşitli ürünlerin yanı sıra artan tarım ürünleri ihtiyacına bağlı olarak tarımda kullanılan gübrenin güvenli ve yönetmeliklere uygun bir şekilde depolanması ve sevkiyatı önemli bir konudur. Gübrelerin bir kısmı kendi ambalajlarında (plastik bidon, metal varil vb.) taşınırken bir kısmı da sıvı halde doğrudan tankerlerle taşınmaktadır. Gübre tankeri traktörlerin arkasına direk takılmak suretiyle ekim alanlarında direkt olarak uygulama yapılabilmektedir. Gübrelerin depolanması ve taşımacılığında kullanılan, emsallerine göre üstün özelliklere sahip uzun ömürlü, içindeki gübrenin özelliğine göre daha düşük tepkime oranına sahip tankerlerin tasarımı ve üretimi bu tez çalışmasında ele alınmıştır. Tanker imalatında kullanılan malzemelerin (CTP, St37) korozyon dirençlerini karşılaştırmak için deney parametreleri belirlenmiştir. Bunlar büyükbaş ve küçükbaş hayvan, güvercin ve tavuk gübresidir. Her iki malzemedan tedarik edilen eni 25mm boyu 40mm kalınlığı 2mm olan parçalar deney kapları içerisinde yer alan 60g ağırlığındaki gübrelere gömülerek her on günde bir temizlendikten sonra hassasiyeti 0,0001g olan terazide ağırlık değişimleri takip edilmiştir. Bununla beraber fiziksel olarak yüzeylerinde meydana gelen değişim gözlemlenerek korozyon hızlarının hesaplanması amaçlanmıştır. İçerisinde gübre bulunan deney kaplarındaki malzemelerde meydana gelen korozyonu (SEM) taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleme yapılarak yüzeyde oluşan farklılıklar değerlendirilmiştir. Eni 10mm boyu 10mm kalınlığı 2mm olan CTP ve St37 numuneleri her gübre içerisine üçer adet gömülerek her hafta çıkarılan numune temizlenerek tartıldıktan sonra SEM analizi yapılır ve bir sonraki hafta

aynı işlemler diğer numune için yapılarak parça yüzeylerinde fizyolojik ve patolojik olarak morfolojik değişikliklerin analizi yapılmıştır.

Bunlarla beraber gübre tankeri tasarımında bilgisayar destekli çizim programı ile tasarlanmış olan 10m³ hacme sahip tankerin statik analizleri sonucunda CTP malzemesi kullanımı ile cam elyaf katman sayısını arttırarak malzemenin mekanik özelliklerin arttığı gözlemlenmiştir. (Türkmen 2012) günümüzde üretimi yaygın olarak devam eden çelik tanker ile CTP malzemedan üretimi gerçekleşen tankerin elyaf katman sayısı arttırılarak darbe dayanımı, yer değiştirmesi, güvenlik faktörü, statik gerinim değerlerinin yakınsaması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın ortaya çıkardığı faydalardan birisi de gübre tankeri imalatında CTP malzeme kullanılarak tanker ağırlığının azaltılması ve buna bağlı olarak yakıt tasarrufu ve karbon salınımının azalmasını sağlanmasıdır. Diğer taraftan çelik malzeme kullanımı yerine CTP malzemesi kullanılarak çelik malzemedeki korozyonun önüne geçilmesi ve CTP malzemesi kullanımında elyaf sayısını arttırarak tanker mukavemetinin arttırılması olmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Literatür Taraması

Gözde Demircioğlu yapmış olduğu çalışmada cam elyaf takviyeli epoksi kompozitler üreterek; elyaf oranının ve boyunun kompozit yapı üzerine etkilerini inceleyerek kompozitlerin karakterizasyonu aşamasında mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 3 nokta eğilme ve çekme testleri yapmıştır. Yaptığı mekanik karakterizasyon sonucunda artan lif uzunluğu ve oranının, kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetini giderek daha fazla etkilediği yazılmıştır. Eğilme ve çekme uzaması değerlerinin ise artan elyaf oranı ile azaldığı, artan elyaf boyu ile arttığı gözlemlenmiştir (Demircioğlu 2006).

Mehmet Bağcı yapmış olduğu çalışmada, fiberglas takviyeli epoksi kompozit malzemeleri tercih etmiştir. Bu saf yapıya %15 reçine dışında borik asit (B₂O₃), boraks (B₂O₃), silikon oksit (SiO₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) gibi dolgular ilave edilerek cam elyaf epoksi kompozit malzemeler elde etmiştir. Üç çeşit darbe açısı (30°, 60° ve 90°), üç

farklı darbe hızı (823, 34 ve 53 m/s), iki farklı alümina aşındırıcı parçacık boyutu (8200 ve 400 µm) ve iki farklı fiber oryantasyonu (0° ve 5°) için erozyon aşınma davranışı incelemiştir. Bu saf yapıya eklenen dört farklı katkı maddesi ile oluşturulan test numunelerinin erozyon aşınması ve test numunelerinin erozyon aşınması incelendiğinde, alümina ve silika ilaveleri benzer sonuçlar vermiş ancak erozyonu azaltmıştır. Borik asit ilavesi kıyaslandığında erozyon direncinde azalmaya neden olmuştur. Saf GF/EP örneklerine boraks ilavesi ise yapıya eklenen diğer maddelere göre en olumsuz etkiyi göstermiştir. Ayrıca darbe açısı, darbe hızı, aşındırıcı parçacık boyutu ve lif yönelimindeki değişikliklerin erozyon hızında önemli farklılıklara neden olduğu sonucuna varmıştır (Bağcı 2010).

İlyas Türkmen yapmış olduğu çalışmada, manuel yerleştirme ve farklı sayıda cam elyaf katmanları ile reçine transfer kalıplama (RTM) gibi çeşitli imalat yöntemleriyle yapılan cam elyaf takviyeli kompozitlerin fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Hazırlanan kompozit malzemeler üzerinde çekme ve üç nokta eğme testleri yapılmış ve ortalama dayanım değerleri elde edilmiştir. Bu testlere ek olarak yavaş bir şekilde darbe testi yapılarak malzemelerin darbe dayanımlarını incelemiştir. CTP kompozitlerin çekme testi sonucunda, fiberglas katman sayısına göre çekme dayanımının arttığını ve elyaf takviyesi ve reçine kalınlığı da bu büyümeyi etkilediğini gözlemlemiştir. CTP kompozitlerin üç nokta eğme testleri sonucunda; Elyaf tabakası sayısına bağlı olarak kopma mukavemeti değerleri de yükseldiğini görmüştür. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine bakıldığında, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin fiber katman sayısı ile yani lifli tabaka sayısı ile arttığı tespit etmiştir. CTP keçe miktarında bir artış ile tabakalar arasındaki alan kompozitin mukavemetinin olması gerekenden az olmasına neden olduğundan, elyaf tabakası sayısındaki artışa bağlı olarak belli sayıda elyaf tabakasından sonra istenilen artışın sağlanamadığı sonucuna varmıştır. (Türkmen 2012).

Dilek Asi yapmış olduğu bu çalışmada, cam elyaf takviyeli polimer matriks kompozitte yardımcı parçacık olarak kullanılan seramik Al₂O₃-TiO₂ tozlarının (üç tip, Al₂O₃ - %3 TiO₂, Al₂O₃ - %13 TiO₂, Al₂O₃-%40 TiO₂) karışım oranlarını belirlemiştir. Geometri ve boyutu kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelemiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde takviye olarak 270 g/m² cam elyaf

kumaşlar, matris malzemesi olarak epoksi reçinesi Epikote resin 828 kullanmıştır. Reçineye katkı maddeleri %0, %5, %10, %15 oranlarında Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozları ilave etmiştir. Kompozit malzemeler manuel düzenleme yöntemi kullanılarak yapmıştır. Numunelerin kalınlık, elyaf kütle oranı, yoğunluk, gözeneklilik değerleri ve fiziksel özellikler gibi mekanik özelliklerini belirlemek için çekme, eğme, kesme ve çentik darbe testleri kullanmıştır. Cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin üretiminde, reçine matrisine eklenen seramik tozlarının karışım oranları, boyutları ve geometrisinin üretilen kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği tespit etmiştir (Ası 2018).

Mehmet Turhan yapmış olduğu çalışmada, elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin elastik modülünün arttığını göstermiştir. Liflerin hacim oranları %51,8 kadar artarsa, elastisite modülü %43,5 kadar artacağını belirtmiştir. Lif hacim oranı arttıkça malzemenin Poisson oranının düştüğü gözlemlenmiştir. %51,8 ile lif hacim oranları arttıkça malzemenin Poisson oranının %17 düştüğünü gözlemiştir. Malzemenin cam elyaf içeriği arttıkça sünekliliğin azaldığını da gözlemiştir. CTP malzemede elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin mukavemeti artarken sünekliliği azaldığını belirtmiştir. Deneysel çalışmalar ile teorik hesaplamaların birbirine yakın olması için, liflerin yönlenmelerinin muntazam olmaması, lif ile matris arasındaki bağlantının iyi olmaması, liflerin matris içinde eşit dağılmaması, cam elyafının mekanik özellikleri üniform olmaması, iç yapısında kırık elyaf olmaması, plastiğin sertleşmesi sırasında oluşan iç gerilimlerin olması gibi nedenleri düzeltirsek mümkün olacağını belirtmiştir. Sürekli elyaf takviyeli ve polyester bazlı kompozitlerin tek yönlü çekme mukavemeti, elyaf yönüne çok duyarlı olduğu sonucuna varmıştır (Turhan 2017).

Ahmet Arslan yapmış olduğu bu çalışmada yapı malzemesi olarak uzay çerçeve sisteminin unsurlarından biri olan çeliği kullanmaktadır. Çelik kullanımı da yapıyı ağırlaştırır ve bahsettiğimiz çökme riskini artırır. Yeni yapı malzemesi fiberglas takviyeli polyester teknolojisi ile yapılmıştır. Bu kompozit malzemeyi öne çıkaran temel özellik istenilen özelliklerde hafif olarak üretilebilmesidir. Bu tez çalışmasında, tek kemerli uzay kafes sistem ihtiyaçlarını karşılayan, hafif, güvenilir, dayanıklı ve hızlı bir yapı malzemesi olan pultrüzyon yöntemiyle üretilen fiberglas takviyeli polyester profillerin

diğer bir seçenek olarak yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini çalışmıştır. Cam elyaf takviyeli poliesterlerin yapısı, mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikleri literatür araştırması kullanılarak incelenmiştir. Literatür taramasından elde edilen bilgiler ışığında çelik yerine fiberglas takviyeli polyesterlerin kullanıldığı tek eğimli uzay kafes sistemleri modellenmiştir. Mekânsal ızgara sistemlerinin statik analizinden ve ardından parçaların tasarımından elde edilen 17520 verisi, çok katmanlı bir ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modeli geliştirmek için kullanılmıştır. Geliştirilen yapay sinir ağı modelinden alınan minimum kesit alanlarının, analizden elde edilen minimum kesit alanlarına çok yakın olduğunu sonuçlandırmıştır (Arslan 2019).

Ece Aydan Aydın'ın yaptığı bu çalışmada, S355JR kalite çelik profil numunelerinin mikro yapısının perlit ve ferlit ve fazlarından oluştuğunu ve perlit fazında bir yuvarlanma yönü bölgesinin gözlemlendiğini göstermiştir. Ferritik perlitin yapısı dağılmıştır. CTP kompozit profillerin cam elyaf oranı %15 matriks içinde homojen olarak bulunur. Çekme gerilmesi sonucunda S355JR kalite çelik profillerin maksimum dayanımı 451,20 MPa, CTP profillerin maksimum dayanımı ise 687,11 MPa olarak ölçülmüştür. Eğilme testinde S355JR kalite çelik profillerin maksimum dayanımı 552,12 MPa, ctp kalite profillerin maksimum dayanımı 483,75 MPa olarak ölçülmüştür. Yorulma testlerinden sonra, S355JR çelik kesitli numunelerin yorulma ömrü 106 devire kadar çıkarken, Ctp kesitli numunelerin yorulma ömrü 107 devire kadar çıkmıştır. S355JR kalite çelik profillerin yorulma dayanım limiti 272 MPa, Ctp kompozit profil numunelerin ise 67 MPa olarak belirlenmiştir. S355JR kalite çelik numunelerin yorulma özellikleri kumsal işaretleri göstermesine rağmen, ctp profil numunesi elyafların matristen ayrıldığını ve izoftalik polyester reçinenin elyaflar arası bölgeden ve matrisin dışına döküldüğünü göstermiştir (Aydın'ın 2021).

Yusuf Ekiz, Mehmet Sarıbiyik ve Ferhat Aydın'ın yaptığı çalışmada, çekme testi sonuçlarında en yüksek mukavemeti düz CTP yüzeyde çelik donatı için vermiştir. Düz CTP takviyeleri ile yapılan soyma testleri, yüzeylerin düzgünlüğünden dolayı soyulma göstermiştir. Kumlanmış CTP donatının sıyrılma direncinin düz ve yivli CTP donatılara göre daha iyi olduğu ve göçmenin soyulmadan meydana geldiği görülmüştür. Çekme testlerinde CTP donatılar, çelik donatılar kadar yüksek çekme dayanımı göstermiştir.

Belirtilen mekanik dayanım sonuçlarına ek olarak, CTP inşaat demirinin korozyon direnci, hafiflik ve dayanıklılık gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir (Ekiz vd. 2013).

Can ipek yapmış olduğu çalışmada, S355JR kalite çeliğin oda sıcaklığında darbe enerjisi 1,59 J/mm² ve kalın profil CTP' nün darbe enerjisi 0,27 J/mm² iken, -50°C' de çeliğin darbe enerjisi 0,09J ve CTP' nün darbe enerjisi 0,32J/mm² dir. Sıcaklık düştükçe, çeliğin darbe enerjisi sünekten kırılma hale geçerken, CTP malzemesinin darbe enerjisi neredeyse sabit kaldığını belirtmiştir.

Oda sıcaklığında darbe testi sonrasında elde edilen kırılmaya bakıldığında, çelik gövdeler plastik deformasyon, kırılan yüzeyin büzülmesi nedeniyle kırılırken, polimer matrisli kompozitler cam elyaf kırılması ve polimer matris ayrılması nedeniyle zarar görmüştür. Polimer matrisli kompozitlerin kırılma tipi -50 °C'de değişmemesine rağmen pürüzsüz yüzeyli ve plastik deformasyon olmayan çelik malzemede kırılmaların meydana geldiğini belirtmiştir.

Mekanik testlerin ardından çelik numunelerde plastik deformasyon ve hasar görülürken, polimer matrisli kompozitlerde cam elyaf yırtılması ve matrisin katman, katman ayrılması şeklinde hasarlar görüldüğü belirtilmiştir.

Çelik numunelerin kuru ortamdaki aşınma direnci, korozif ortama göre düşüktür. Bu hem kuru hem de korozif ortamlarda polimer matrisli kompozitlerin aşınma direncinden daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

Malzemelerin aşınma yüzeylerine bakıldığında aşınmış çelik yüzeylerde aşınma izleri görülürken, kompozitlerde aşınmış tarafları tabakanın sıvanmış halini anımsatmakta ve parlak olduğu gözlemlenmiştir. (Altan 2020)

Muhammet Ali Kaftan yapmış olduğu çalışmada korozyon oluşumu, korozyonun önemi ve korozyon çeşitleri hakkında detaylı bilgilere yer vermiştir. Bunun neticesinde korozyon oluşturacak ortamlarda malzemede alınabilecek önlemlere yer vermiştir. Ayrıca korozyon önlemek için yapılan örneklerde doğru ve yanlış uygulamalara

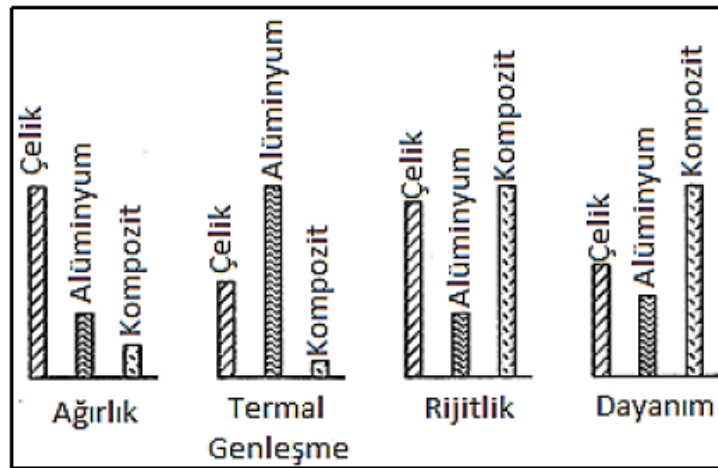
değirmiştir. Korozyon etkisini en aza indirmek için korozyondan korunma tekniklerinin doğru ve bilinçli kullanılmasının ve onarımları ile bakımlarının titizlikle yapılması gerektiğini tasarım aşamasında ise korozyonun etkisini en aza indirgeyen yolların uygulanmasının faydalı olacağını belirtmiştir (Kaftan 2006)

2.2 Kompozit Malzeme

Özellikleri farklı birden çok malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan malzemedir. Farklı özelliklerdeki malzemelerin bir araya getirilerek, arzu edilen özelliklere ulaşılması, malzemedeki beklenen performansın elde edilmesi, kompozit malzemelere yönelimi hızlandırmıştır.

2.2.1 Kompozit Malzemelerin Karşılaştırılması

Farklı malzeme türlerinin çeşitli özellikleriyle karşılaştırılmasına şekil 2.1 de yer verilmiştir. Kompozit malzemenin yoğunluk değerinin düşük olması sebebi ile aynı hacimdeki kompozit malzeme ağırlığı diğer malzemelere göre düşüktür. Sıcaklığı artan malzemelerden kompozit malzemenin hacmin büyümemesi veya boyunun uzamaması durumundan kaynaklı olarak termal genişmesi diğer malzemelere göre düşüktür. Kompozit malzemenin yük altında deformasyona, gerilime dayanması yüksek iken diğer malzemelerin düşüktür.



Şekil 2.1 Farklı malzemelerin çeşitli özelliklerinin karşılaştırılması (Matthews 2012).

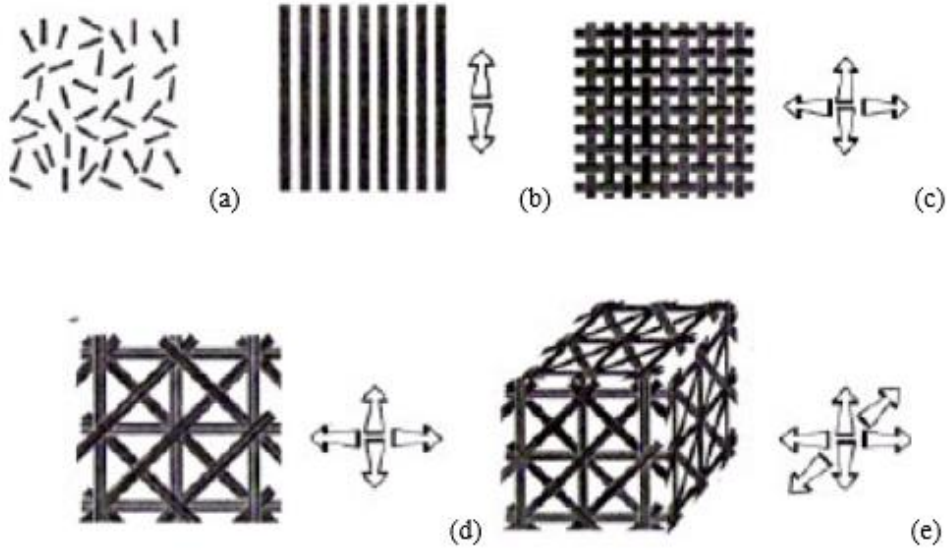
2.2.2 Kompozit Malzemelerde Matris ve Takviyelerin Rolü

Matrisin birincil görevi yapılara şekil sağlamaktır. Bununla beraber matris malzemeler kolayca şekil alabilir ve sonradan bu şeklini korur. Matris olarak kompozitlerin büyük bir kısmında polimer kullanılmaktadır. Matris takviyelerin etrafını sarmakla beraber bunun neticesinde kompozitin dış çevresi ile doğrudan etkileşim içindedir. Bu özelliği ile matris takviyeyi dış çevreden izole ederek korumaktadır (Doğanay 2007). Matrisler kompozitlerde dışardan malzemeye gelen kuvvetleri karşılaştıran ilk bölümdür. Ancak matrisler genel itibarıyla fiberlerden güçlü değildirler. Takviye ve matrislerin malzemede aldıkları roller çizelge 2.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Matris ve takviyelerin malzemelerdeki rolü.

Matris	Takviye
Kompozit parçaya şekil verir.	Mukavemet, sağlamlık ve diğer mekanik özellikleri verir.
Takviyeleri çevresel etkilerden korur.	Termal genleşme katsayısı, ısı taşınım ve iletkenlik gibi diğer özellikleri kapsar.
Yükleri takviyelere iletir.	
Takviye ve matrise bağlı olan tokluk gibi özelliklere faydası bulunur.	

Kompozit malzemelerin dayanımını belirleyen diğer bir özellik elyafların çapıdır. Elyaf çapı ince oldukça reçine elyafı daha iyi ıslatır ve bununla beraber reçine ile elyaf arasındaki bağda iyi bir kuvvet oluşur. Bununla beraber yük dağılımını homojen bir hale getirerek kompozit malzemenin dayanımını artırılır. Elyaf demeti dışarıdan gelen yük sebebi ile kopma, kırılma vb. hasarlara uğrasa da hasar diğer elyaf demetlerine iletilmez. Malzemede elyaf demetlerinin hangi yönlerde yerleştirildiği kompozitin dayanımında önemli rol oynamaktadır. Elyaf malzeme birbirine dik yerleştirildiğinde veya dokuması farklı şekilde olan elyaf kumaş kullanıldığında farklı yönlerde dayanımında artış görülmektedir. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin korozyon dirençleri ve yorulma dirençleri çok daha yüksektir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Liflerin kompozit içerisinde yerleşimi. a) kesikli rastgele, b) sürekli tek yönlü, c) sürekli düzlemsel iki yönlü, d) sürekli düzlemsel üç yönlü, e) üç boyutlu iken ok yönleri ise mekanik dayanımın iyi olduğu yönleri göstermektedir (Yastımoğlu ve Özkan 2017).

2.3 Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme

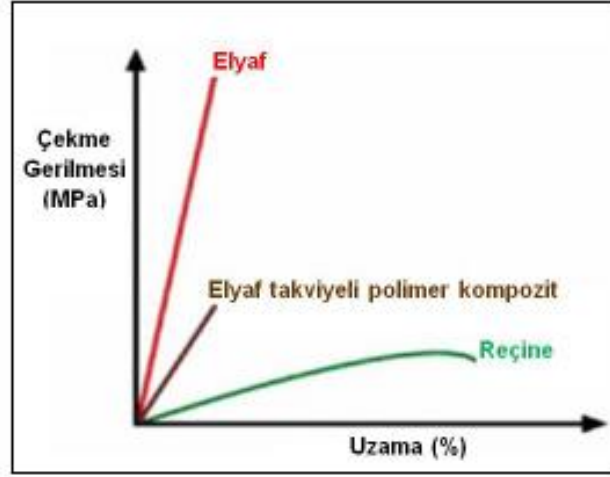
Takviye elemanı olarak elyaf kullanılan kompozit bir malzemede eğme, çekme ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikler oldukça yüksektir. Takviye elemanı malzemeye uygulanan yükü taşımak ve malzemenin mukavemetini arttırarak temel fonksiyonunu yerine getirmektedir (Asi 2018). Takviye elemanına gerilimi aktarabilmek için matris ile takviyeyi bir arada tutmak ve bunun yanı sıra takviye elemanlarının çok kırılğan olması neticesi ile onların yüzeyleri dış etmenlere karşı korumaktır. Sünek ve plastik üstünlüğü yüksek olan elyafalar da çatlakların yayılmasını engeller.

CTP malzeme özellikleri ve tercih edilme sebepleri, hafiflik, tasarım çeşitliliği, düşük araç gereç maliyeti, yüksek ısıl mukavemeti, yüksek özgül dayanım, yüksek korozyon dayanımı, kolay tamir olabilme, kalıplama esnekliği (değişik metotlarla üretilebilme olanağı), kendinden renklendirilebilme, yüksek kimyasal dayanım, alev geciktirici katkıları ve alev dayanımı sağlanması, isteğe bağlı olarak ışık geçirebilir olması, mükemmel dielektrik nitelikler, birim ağırlık başına düşen çekme mukavemeti çelikten

yüksek olması, elde edilmek istenen mekanik özelliklere göre farklı katmanlarda malzeme üretilebilir olması, hava koşullarına dayanım, sınırsız kalıp boyutları, üstün boyutsal stabilite, mükemmel elastikiyet, amortisman süreleri yani uzun ömürlülük gibi özetlenebilmektedir.

2.3.1 Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Dayanım

Şekil 2.3 de birçok kompozit malzeme kırılmış ve kısa boylu kesikli elyaf içerir. Aynı orandaki elyaf hacimlerindeki kompozitler sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemelerden daha düşük mukavemet oluşturur. Fakat daha uzun kesikli elyaflardan oluşanlar ise çok daha fazla mukavimdir. Uzun elyaflar için mukavemet sürekli elyaf takviyeli kompozitlere yakındır.



Şekil 2.3 Plastik malzemenin elyaf takviyesi ile çekme gerilmesi artışı (Sayman 2021).

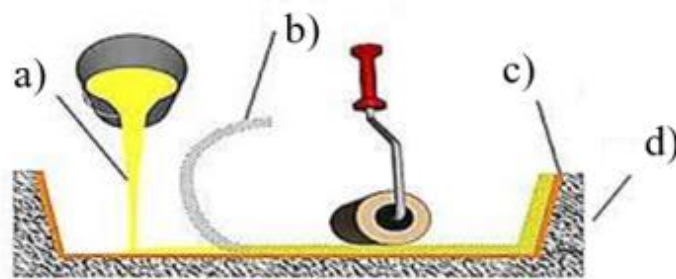
Çizelge 2.2 de cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin cam tiplerine göre mekanik özellikleri ve kimyasal bileşenlerine yer verilmiştir.

Çizelge 2.2 Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşenleri.

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,5	2,49	2,54	2,48
Elastiklik modülü (GPa)	-	69	72,4	85,5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033	3033	3448	4585
Isıl genleşme katsayısı	8,6	7,2	5	5,6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727	749	841	970
Katki Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72	64,4	52,4	64,4
Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	0,6	4,1	14,4	25
CaO	10	13,4	17,2	-
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3
Na ₂ O ₁ K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-
BaO	-	0,9	-	-

2.3.2 El Yatırma Yöntemi

Şekil 2.4 de Kırpılmış ve dokuma elyaflarla hazır hale gelmiş takviye el yardımı ile kalıp üzerine yatırılarak, sıvı reçine üzerine akıtılarak elyaf katmanlarına emdirilmektedir. Kalıp temizlenerek elyaf yatırılarak jelkot sürülür. Jelkot' un sertleşmesiyle beraber elyaf katları yatırılır. Kompozit malzemenin hazır olması için en son reçine sürülür. Bu işlem basamaklarında elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi çok önemlidir. El yatırma yönteminde en çok kullanılan epoksi ve polyester yanı sıra fenolik ve vinilester reçineler de tercih edilir. Elle yatırma yöntemi işçilik gerektirmesine rağmen seri üretimler için uygundur. Fiziksel performans cam elyafın içerik dağılımına, oranına ve içerik yönüne bağlıdır.



Şekil 2.4 Kalıp içerisine el yatırma yöntemi a) Reçine, b) Elyaf c) Jelkot d) Kalıp (Aydın ve Demirer 2016).

2.4 St37 Malzeme

St37 malzemenin en az 37kg/mm^2 çekme dayanımına sahip olduğunu belirler. St ifadesi ise yapıda bulunan karbonun %0,2 oranında olduğu mukavemeti son derece yüksek olan ve sert üretim özelliğine sahip olan St37 siyah levha saclar özellikle mukavemet isteyen alanlar için önemlidir. Günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

St37 çeliğinin kullanımının tercih edilmesinin sebeplerini sıralayacak olursak diğer çelik türlerine göre daha uygun olması, karbon değeri düşük mangan değeri arttırılmış olduğundan dolayı malzemenin direncinin fazla oluşu, kaynak edilebilirlik, çekme dayanımı, kolay işlenebilirlik. St37 yapı çeliği otomotiv, beyaz eşya, kablo sektörü, giyim sektörü gibi sektörlerde kullanılmaktadır.

Çizelge 2.3 St37 Malzemesinin mekanik özellikleri ve bileşen.

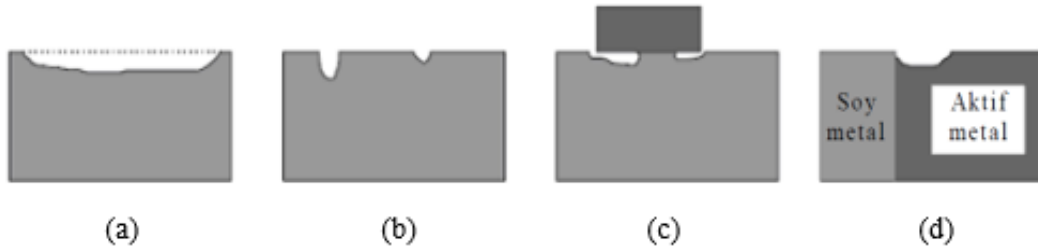
Özellikler	St37
Yoğunluk (kg/m^3)	7,7
Elastisite Modülü (MPa)	210000
Uzama (%)	15
Poisson Oranı (0,3)	0,3
Gerilme Mukavemeti (MPa)	1158
Akma Mukavemeti (MPa)	1034
Termal İletkenlik (W/m.K)	42,7
Özgül Isı (J/kg.K)	477
Termal Genleşme (K)	17
Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	1370

2.5 Korozyon Tanımı

Metalik malzemelerin ve alaşımların çevrede bulunan elektro kimyasal ve kimyasal etkiler ile fiziksel veya kimyasal değişim sonucu aşınması olayına korozyon denilmektedir. Görünümüne göre korozyon çeşitleri özel araçlar ile, göz ile ve mikroskop ile görülebilir olarak üçe ayrılmaktadır.

2.5.1 Göz ile Görülebilen Korozyon Çeşitleri

Şekil 2.5 da çıplak göz ile görülebilen korozyon çeşitlerinde en yaygın olarak görülen eşit dağılımlı korozyon bu tip korozyonlar parçanın her yerinde eşit korozyon olacak şekilde gerçekleşir. Bu tip korozyonlarda metal kaybı oldukça yüksek olmasına karşın bu türde korozyon hızı hesaplanabilmektedir. Çukur korozyonunda ise genel olarak yüzeyde delik veya oyuk oluşması görülmektedir, bu da parçanın zaman içinde kırılmasına neden olmaktadır. Bu korozyon türünde parçanın en içine kadar korozyon yürüyebilir. Çatlak yarık korozyonunda iki parça arasında bulunan boşluğa örneğin civata ile civata somunu arasında çatlak korozyonu görülebilmektedir. Galvanik korozyon metal ve türevi bir alaşım arasındaki farktan kaynaklanan aynı ortamda birbiri ile temas halindeyken meydana gelen korozyon türüdür.



Şekil 2.5 Göz ile Görülebilen Korozyon Çeşitleri a) Eşit dağılımlı korozyon, b) Çukur korozyonu, c) çatlak-yarık korozyonu, d) Galvanik korozyon (Roberto 2000).

2.5.2 Korozyon Hızı

Korozyon deneyi kütle kaybı deneyi ve elektrokimyasal deneyler olmak üzere iki çeşit yol ile yapılabilmektedir. Kütle kaybı deneylerinde korozyon kaybı ve korozyon hızının belirlenmesi mümkündür. Korozyon deneyi yapılacak malzemenin korozif ortama bırakılarak belli periyotlar ile çıkartılması ve tartılması esası ile gerçekleşir. Malzemenin kaybetmiş olduğu kütle hesaplanarak buradan korozyon hızı bulunmaktadır (Serkan 2021).

$$\text{Korozyon Hızı} = \frac{\Delta W}{A \times T}$$

$$\text{Korozyon Hızı} = \frac{1. \text{ Gün kütlesi} - 50. \text{ Gün kütlesi}}{\text{Yüzey alanı} \times \text{Zaman}}$$

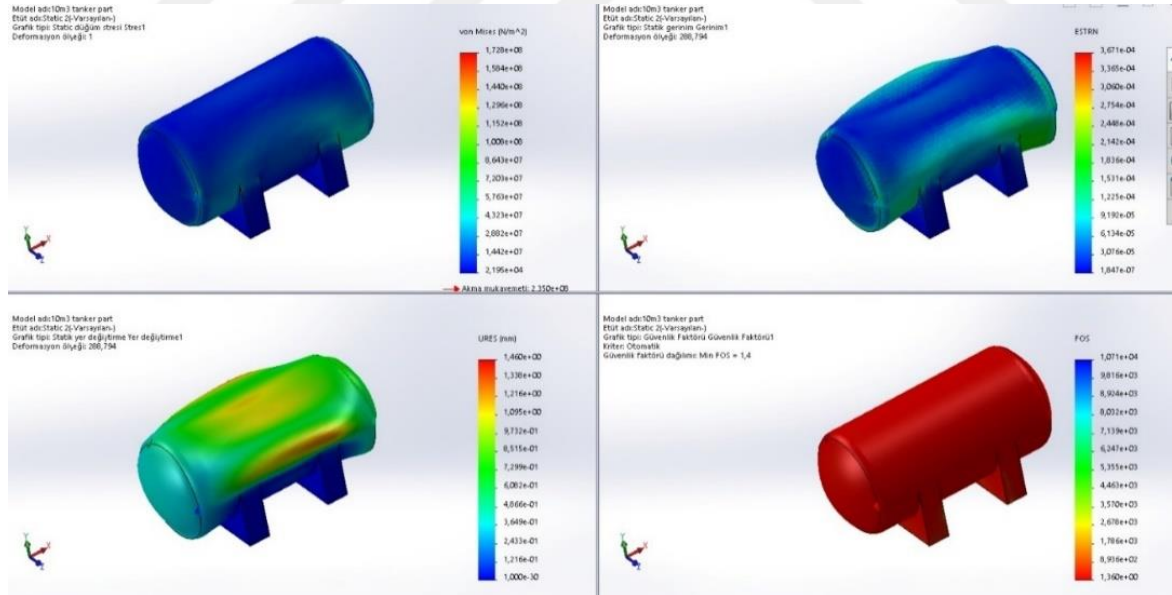
Kütle kaybı yönteminde ΔW kütle kaybını (mg), A yüzey alanını (cm²), T ise uygulanan zamanı (saat) göstermektedir.

2.6 Taramalı Elektron Mikroskobu ile Korozyon Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi yüksek voltaj ile elektronların numune üzerinde toplanması ile bu demetin numune yüzeyinde taratılması sırasında ortaya çıkan etkilerin uygun algılayıcılarla toparlanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçerek katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Bu sayede yüzeyin 3 boyutu görüntülerine ulaşılabilir. Sem analizinin yapılabilmesi için numunelerin cihaza uygun boyutlarda olması ayrıca numunenin şekil değiştirmemesi, numune yüzeylerinin yağdan, lekeden, tozdan arındırılması gerekmektedir. Ayrıca SEM analizi yapılacak olan numunenin zarar görmemesi alınacak görüntünün sonuçları etkilememesi için oldukça önemlidir. Gerekli durumlarda numunelerin elektrik iletimi için numunelere kaplama yapılabilmektedir (Tuncay 2009).

2.7 Sonlu Elemanlar Yöntemi

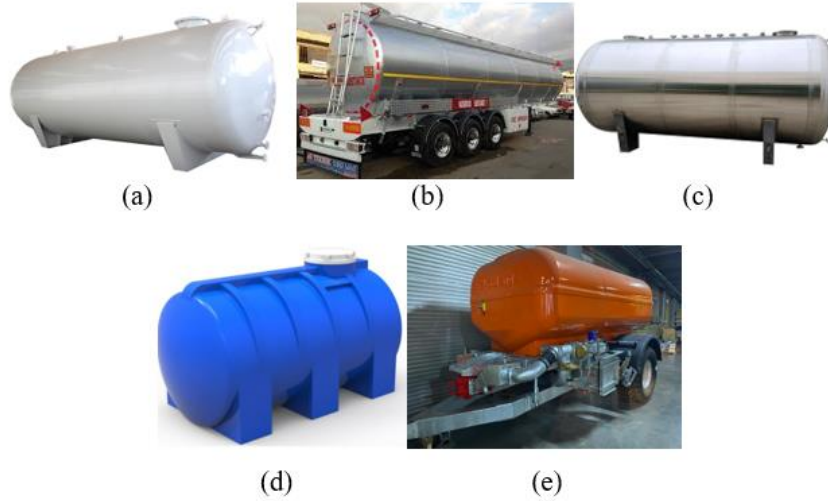
Tasarım ve imalat süreçlerinin zaman, işçilik, maliyet gibi maddelerden tasarruf edilebilmesi adına ve mühendislik hesaplarının daha doğru ve kolay çözüme ulaşılabilmesi için sonlu eleman analiz yöntemi çok yararlı bir uygulamadır (Nalbant 2021). Sonlu eleman yöntemi ile istenildiği kadar deneme yapılması mümkün iken yapılacak olan analizin türü, cismin geometrik modeli, başlangıç, sınır ve yükleme koşulları ve elemanların (elastite modülü, poisson oranı vb.) belirlenmesi yeterli olacaktır. (Güler ve Şen 2015). Günümüz üretimlerinde kompleks yapıların kurumsal hesaplamaların yanı sıra nümerik hesapların yapıyor olabilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Sonlu eleman yönteminin, düşünce esnekliği sağlaması, elde edilen verilerin doğruluğunun teyit edilebilmesi, yapılan analizin ortam koşullarının karmaşık ve düzensiz oluşu bu yöntem için bir engel teşkil etmediği gibi sınır şartlarını analize dahil etmeye imkân vermesi bu yöntemin avantajlarından (Güler ve Şen 2015). Şekil 2.5 de sonlu elemanlar yöntemi ile tasarlanmış olan 10m³ gübre tankerine ait statik analiz örneğine yer verilmiştir.



Resim 2.1 10m³ Tanker Basınç Analizi.

2.8 Tanker İmalatında Malzeme Çeşitliliği

Şekil 2.6 de kullanım alanlarına göre imal edilen tanker çeşitlerinden çelik malzemedен üretilen tankerlerin tercih edilmesinin en önemli nedenleri sac maliyetinin düşük olması, mukavemetinin yüksek olması, saca erişimin kolay olması ve kaynak edilebilir olması iken korozyon direnci oldukça düşük olması bu tankerlerin dezavantajlarıdır. Alüminyum malzemedен üretilen tankerlerin tercih edilmesinin en önemli sebebi hafif olması iken alaşımları olmadan mukavemet açısından oldukça gerilerdedir. Bu tankerler genel olarak yakıt depolanması ve taşınmasında kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikten üretilen tankerler uzun ömürlülük ve dayanıklılık konusunda oldukça iyi olmalarına karşın maliyetleri oldukça yüksektir. Bu tankerler genel olarak özellikle hijyenin önemli olduğu ilaç, gıda, kozmetik, kimyasal gibi sektörlerin ürünlerini depolamakta ve taşımakta kullanılır. Polietilen malzemedен üretilen tankerler uzun raf ömrü, yüksek mukavemet gibi avantajlarının yanı sıra düşük olan sürtünme katsayısı sebebi ile oldukça kaygan yüzeye sahip bir malzemedir. Genellikle su tankerlerinin imalatında kullanılmaktadır. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemedен üretilen tankerlerin hafif olması, korozyon dayanımının yüksek olması, uzun ömürlü oluşu en önemli tercih sebeplerindedir. Gübre taşınması ve depolanmasında kullanılmaktadır.



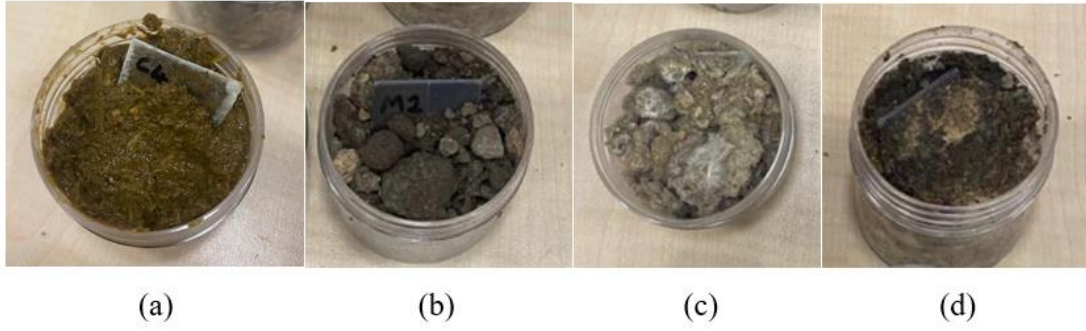
Resim 2.2 (a) Çelik malzemedен üretilen tanker (İnt. Kyn. 1). (b) Alüminyumdan üretilen tanker (İnt. Kyn. 2). (c) Paslanmaz çelikten üretilen tanker (İnt. Kyn. 3). (d) Polietilen malzemedен üretilen tanker (İnt. Kyn. 4). (e) Cam elyaf takviyeli kompozit malzemedен üretilen tanker.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deney Düzeneği ve Kullanılan Ekipmanlar

3.1.1 Hayvan Gübresi Numuneleri

Tarım sektöründe bitkilerin gelişiminin artırılması için gübreler kullanılmaktadır. Dünya tarımında en çok kullanılan gübre organik gübredir. Bitkiler büyümek ve hayatta kalmak için azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum(Ca), magnezyum(Mg), kükürt(S), demir(Fe), manganez(Mn), bakır(Cu), çinko(Zn) ve bor(B) gibi büyük miktarlarda elementlere ihtiyaç duyar. Resim 3.1 da görüldüğü üzere büyükbaş hayvan gübresi besin içerikleri fosfor elementi oranı %0,44 potasyum oranı %0,8 kalsiyum %2,0 (Erdal 2018). Küçükbaş hayvan gübresi koyun ve at gübreleri diğerlerine göre az su içerdiği için kuru gübrelerdir. Çürümeleri daha basit olup, çürüme sırasında yüksek sıcaklık oluştururlar. Besin içerikleri fosfor elementi oranı %0,71 potasyum oranı %2,1 kalsiyum %1,6, güvercin gübresi en yüksek ürik asit seviyelerine sahiptir. Eski zamanlarda tarım yapmak için kısıtlı arazisi olan bölgelerde ürün verimini arttırmak amacıyla güvercin gübresi sıkça kullanılmıştır. Besin içerikleri fosfor elementi oranı %0,62 potasyum oranı %0,7 kalsiyum %2,1, tavuk Gübresi, bitki köklerinin solunum ve oluşumunu hızlandırır. Bitkinin gücünü artırır. Tohumların çimlenme kapasitesini artırır. Bu toprağın su kapasitesini artırır. Bitki organlarının ve köklerinin büyümesini uyarır. Besin içerikleri fosfor elementi oranı %1,15 potasyum oranı %3,0 kalsiyum %1,7' dir. Resim 3.1 de yer alan gübrelerin 20 °C' de kapalı kap içerisinde etrafi yalıtılarak ölçülen nem oranı %58 olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca her numunenin içerisinden alınan 20g gübre ile 200ml su cam beher kabı içerisinde karıştırılarak 20 dakika bekletildikten sonra ohaus AB23PH-F Masa tipi pH metre ile ölçülmüştür. Ölçülen değerler sonucunda tavuk gübresi pH değeri 8,44 küçükbaş hayvan gübresinin pH değeri 8,34 güvercin gübresinin pH değeri 7,54 ve büyükbaş hayvan gübresinin pH değeri 9,03 olarak ölçülmüştür.



Resim 3.1 (a) Büyükbaş hayvan gübresi, (b) Küçükbaş hayvan gübresi, (c) Güvercin gübresi, (d) Tavuk gübresi.

Çizelge 3.1 de verilen hayvansal gübrelerin kimyasal yapıları bu tez çalışmasında yakınsanmıştır. Oranların bu tez çalışmasında yakın olduğu tahmin edilmektedir.

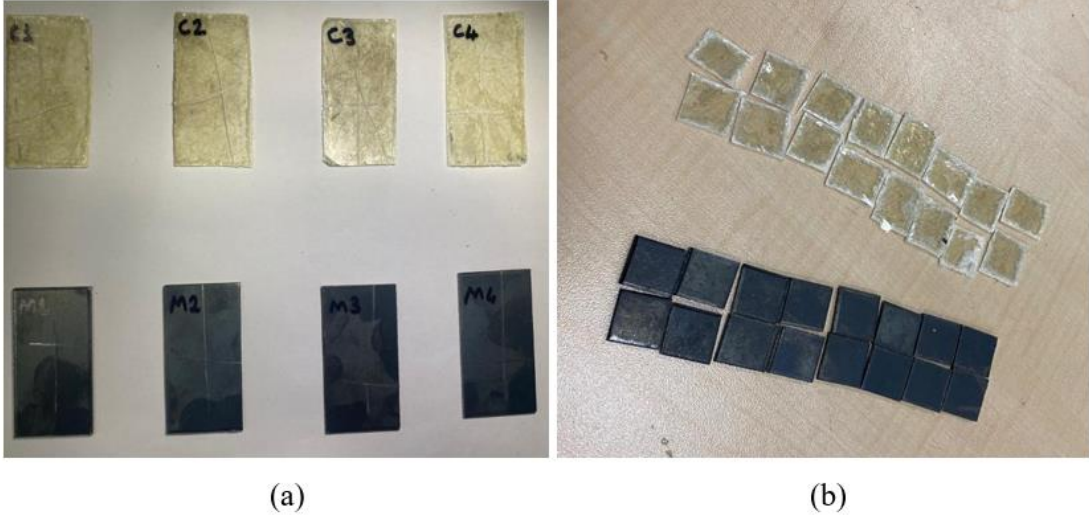
Çizelge 3.1 Hayvansal gübrelerin kimyasal yapıları (Sezen 1984).

Hayvan Türü	H ₂ O	Kuru Madde (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O	CaO
Büyükbaş	83,2	16,2	0,29	0,17	0,1	0,34
Küçükbaş	65,5	34,8	0,55	0,31	0,15	0,46
Güvercin	62	38	1,7	1,6	0,9	2
Tavuk	62	38	1,7	1,6	0,9	2

3.1.2 CTP ve St37 Malzemelerinden Numuneler

Resim 3.2 da Ctp malzemesi ve St37 malzemesinden eni 25mm boyu 40mm kalınlığı 2mm ebatlarında parçalar tedarik edilmiştir. Daha sonra Bel Engineering M214Ai markalı hassas terazi yardımı ile deneye geçilmeden önce ağırlıkları tartılmış ve not edilmiştir. Ayrıca her parçanın üzerleri çapraz ve derin bir şekilde çizilerek görüntülerin aynı noktalardan alınması sağlanmıştır. Mikroskopik görüntüler Skygo 500x 8 Led markalı endoskop kameralı mikroskop yardımı ile sağlanmıştır. Ayrıca resim 3.2 de CTP ve St37 malzemesinden eni 10mm boyu 10mm kalınlığı 2mm ebatlarında parçalar tedarik edilmiştir. Bu numuneler ile taramalı elektron mikroskobu analizi yapılarak enerji dağılım spektrumu (EDS) görüntüleri ve x ışını kırınım yöntemi (XRD) ile faz analizleri

alınmıştır. CTP malzemelerin elektrik iletkenliği olmadığı için altın kaplama yapılarak görüntüleri alınmıştır.



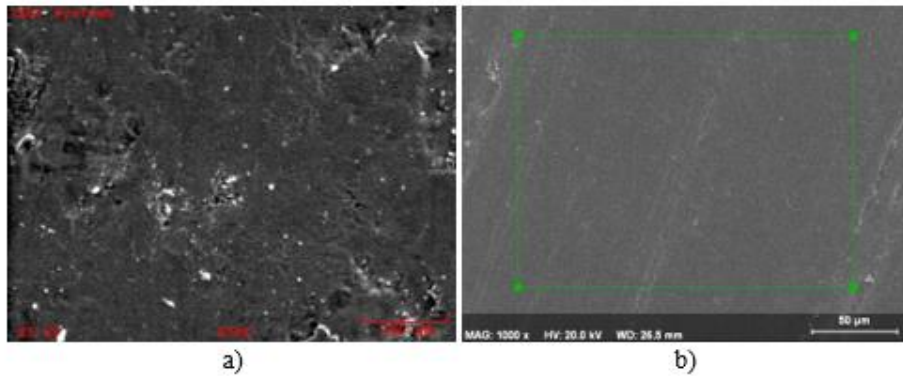
Resim 3.2 (a) 25x40x2mm ebatlarındaki Ctp ve St37 numuneler, (b) 10x10x2mm ebatlarındaki Ctp ve St37 numuneler.

3.2 Korozyon Deneyleri

Bu çalışmada öncelikli olarak dört çeşit gübre içerisinde bu gübreler sırasıyla tavuk gübresi, küçükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi, büyükbaş hayvan gübresi korozyona uğratmak üzere bekletilen eni 25mm boyu 40mm kalınlığı 2mm olan dört adet St37 ve dört adet CTP numuneden her birisi bir çeşit gübrenin içerisine konulmuştur. Resim 3.2 de görüldüğü üzere numunelerin üzerlerinde yazan C1 tavuk gübresi içerisine gömülecek olan CTP numuneyi, C2 küçükbaş hayvan gübresi içerisine gömülecek olan CTP numuneyi, C3 güvercin gübresi içerisine gömülecek olan CTP numuneyi, C4 büyükbaş hayvan gübresi içerisine gömülecek olan CTP numuneyi, M1 tavuk gübresi içerisine gömülecek olan St37 numuneyi, M2 küçükbaş hayvan gübresi içerisine gömülecek olan St37 numuneyi, M3 güvercin gübresi içerisine gömülecek olan St37 numuneyi, M4 büyükbaş hayvan gübresi içerisine gömülecek olan St37 numuneyi göstermektedir. Bu numuneler on günde bir gübre içerisinden çıkartılarak asit ve sünger yardımı ile kısa sürede temizlenmiştir. Bu sayede numune yüzeyinden oksit tabakanın kalkması engellenmiştir. Üzerindeki gübre kalıntıları alınmaya çalışılmıştır. Daha sonra her numune kurutularak Bel Engineering M214Ai markalı hassas terazi yardımı ile tartılarak ağırlık tablosu oluşturulmuştur. Bununla beraber gübre içerisinden çıkarılan numunelerin Skygo 500x 8 Led markalı kameralı mikroskop ile parça üzerindeki aynı konumlardan

görüntülenmesi sağlanmıştır. Numune üzerine atılan çiziklerin amacı optik görüntüyü aynı yerden sağlamak ile kenarlarında oluşan korozyonlar değerlendirilmiştir. Her hafta oluşturulan ağırlık tablosu ile St37 malzemesinin korozyon hızı grafiği oluşturulmuştur. Şekil 3.2 de b seçeneğinde görülen numuneler SEM analiz cihazının (Jeol Jsm-6060Lv markalı) içerisinde rahat konulması için küçük ölçülerde temin edilmiştir, bu sebeple eni 10mm boyu 10mm kalınlığı 2mm olan numunelerden her gübre çeşidi içerisine üç adet ctp numune ve üç adet St37 numune konulmadan önce ayrı ayrı hassas terazi ile tartılarak not edilmiştir. Daha sonra her gübre türünün içerisine 3 adet numune gömülmüştür. Her hafta sırası ile çıkarılan numuneler SEM analiz cihazı ile görüntüleri alınarak elementel grafiği çıkarılmıştır. Ayrıca analiz öncesi numunelerin temizlenme işlemi asit ile sağlanmıştır. Temizleme süresi numune yüzeyinden oksit tabakanın kalkabilmesine karşın kısa tutulmuştur.

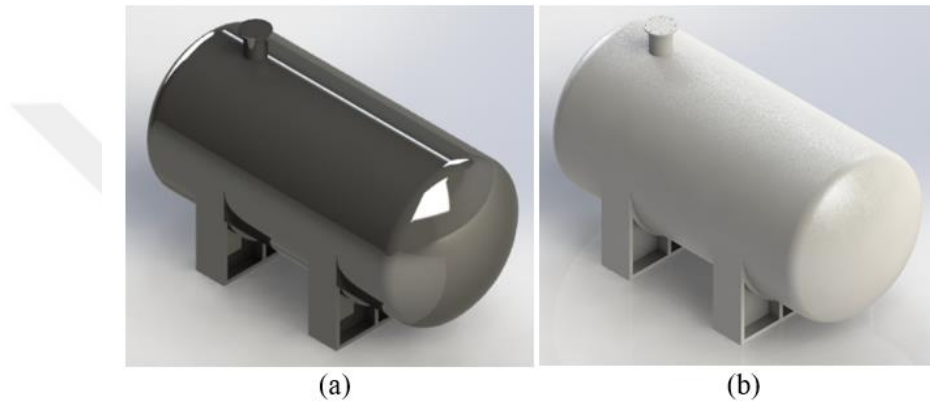
CTP numunelerinin iletken olmaması nedeni ile numunelere altın kaplama işlemi yapılmıştır. Bunlarla beraber ilk numuneler ile gübre içerisnde 2 hafta kalmış St37 numunelerine XRD analizi (D8 advance) markalı cihaz ile yapılmıştır. Çıkan sonuçlar doğrultusunda SEM analizi ile gübre içerisnde korozyona maruz kalmış numunelerin kimyasal bileşenlerinin incelenmesi sağlanmıştır, XRD analizi ile numunede oluşan fazlar gözlemlenmiştir. Resim 3.4' de çelik numunenin gübre içerisine konulmadan önce alınmış SEM görüntülerine yer verilmiştir. Numunede herhangi bir işlem olmaması nedeni ile gübre içerisnde durmamış numunelerde ise ufak çukurlaşmalar gözlemlenmektedir.



Resim 3.3 a) St37 Numunesinin SEM Görüntüsü b) CTP Numunesinin SEM Görüntüsü.

3.3 Tanker Tasarımları

Solidworks üç boyutlu tasarım programı ile yapmış olduğum Şekil 3.5 de bulunan 10m^3 hacmindeki St37 malzemeden tasarlanan tanker ve ctp malzemeden tasarlanan tanker çizimleri katı modelleme olarak yapılmıştır. Yapılacak statik analiz için tasarımda elastikiyet modülü, poisson oranı, kütle yoğunluğu, gerilme mukavemeti, akma mukavemeti gibi malzeme özelliklerinin değerleri işlenmiştir. Ayrıca farklı kalınlıklarda çizilen tankerler ile mukavemet, yer değiştirme, enerji tasarrufu gibi optimizasyonların sağlanması amaçlanmıştır.



Resim 3.4 (a) St37 malzemeden tasarlanan tanker, (b) CTP malzemeden tasarlanan tanker.

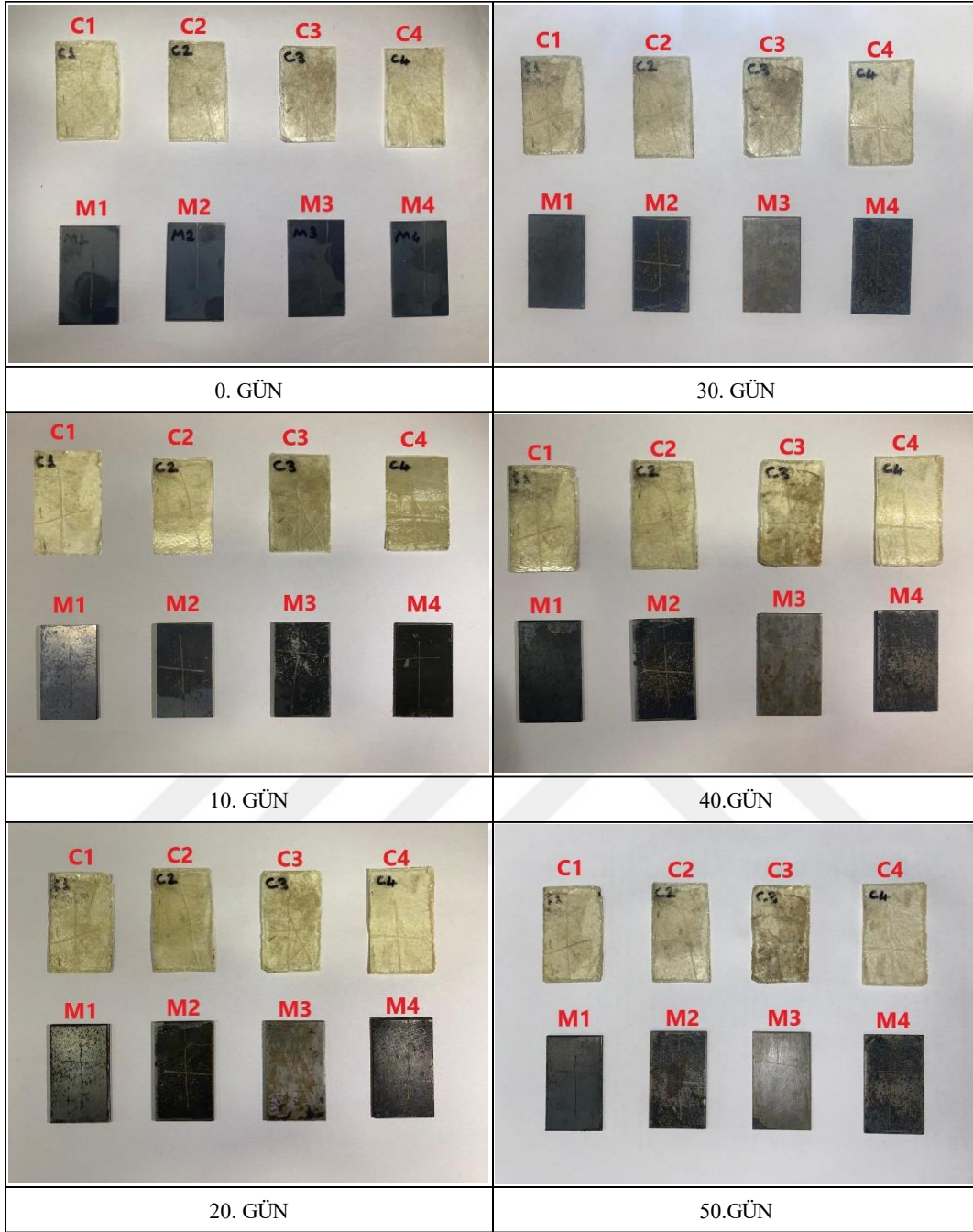
3.4 Tanker Sonlu Eleman Analizi

Tasarımı gerçekleştirilmiş olan 10m^3 tankere CTP malzemesi değerleri elastik modülü 72,4 GPa, poisson oranı 0,38, özgül ağırlık $2,54\text{ g/cm}^3$, çekme mukavemeti 3448 MPa olarak alınmıştır. St37 malzeme değerleri ise elastik modülü 210 GPa, poisson oranı 0,30, yoğunluk $7,7\text{ kg/m}^3$, çekme mukavemeti 1158 MPa olarak alınmıştır. Gübrenin yoğunluğu $0,8\text{kg/m}^3$ (İnt kyn 5) olarak alınmıştır. Bu durumda 800kg gübre 1m^3 hacme eşit olmaktadır. Bu çalışmada ise 10m^3 tankerin içerisine yaklaşık olarak 8000kg gübre olduğu düşünülerek tanker cidarına uygulanan kuvvet yaklaşık olarak 80000N kabul edilmiştir. Bunun sonucunda iki tankerin farklı kalınlıklarda göstermiş olduğu stres, statik gerinim, yer değiştirmesi ve güvenlik faktörü incelenmiştir.

4. BULGULAR

4.1 Çelik ve CTP Numunelerinin Korozyon ile Fiziksel ve Kütlesel Değişimi

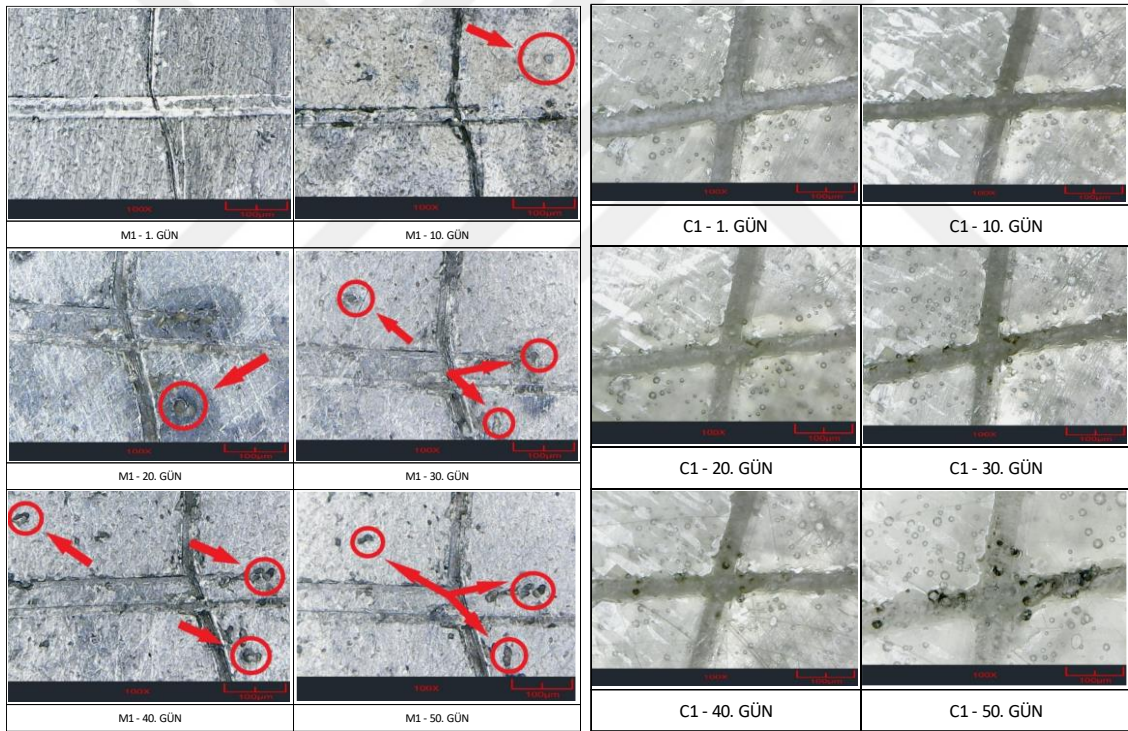
İlk olarak eni 20mm boyu 40mm kalınlığı 2mm olan CTP ve St37 numune parçalar içleri gübre dolu deney kaplarına gömülmeden önce hassas terazi yardımı ile tartımı yapılarak numunelerin fotoğrafı çekilmiştir (Resim 4.1). Fiziksel olarak St37 numunelerinin 10. günden itibaren korozyona uğrayarak yüzeyinden dış tabakalarının uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber korozyona uğrayan sacların paslandığı görülmüştür. En çok fiziksel olarak belli olan korozyon güvercin gübresi içerisinde duran St37 numunede gerçekleşmiştir. Diğer gübrelerin kimyasal bileşenlerinden farklı olarak azotun fazla olması nedeni ile en çok korozyonun güvercin gübresinde gerçekleştiği ön görülmüştür. C1 tavuk gübresi içerisinde bulunan CTP malzemeyi, C2 küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP malzemeyi, C3 güvercin gübresi içerisinde bulunan CTP malzemeyi, C4 büyükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP malzemeyi, M1 tavuk gübresi içerisinde bulunan St37 malzemeyi, M2 küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan St37 malzemeyi, M3 güvercin gübresi içerisinde bulunan St37 malzemeyi, M4 büyükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan St37 malzemeyi ifade etmektedir.



Resim 4.1 CTP ve st37 numunelerin Elli Gün Boyunca Gübre İçerisinde Kalması Sonucu Fiziksel Değişimi.

Tavuk gübresi içerisinde bulunan CTP malzemesinin ilk kütlesi 2,7994g, St37 malzemesinin ilk kütlesi ise 24,0681g ölçülmüştür. CTP ve St37 numuneleri içleri gübre dolu deney kaplarından on gün sonra çıkarılarak üzerleri iyice temizlendikten sonra hassas terazi yardımı ile ağırlıkları tartılarak numunelerin aynı yerlerinden görüntü alabilmek için atılan çapraz çiziklerin olduğu bölgeden kameralı mikroskop yardımı ile

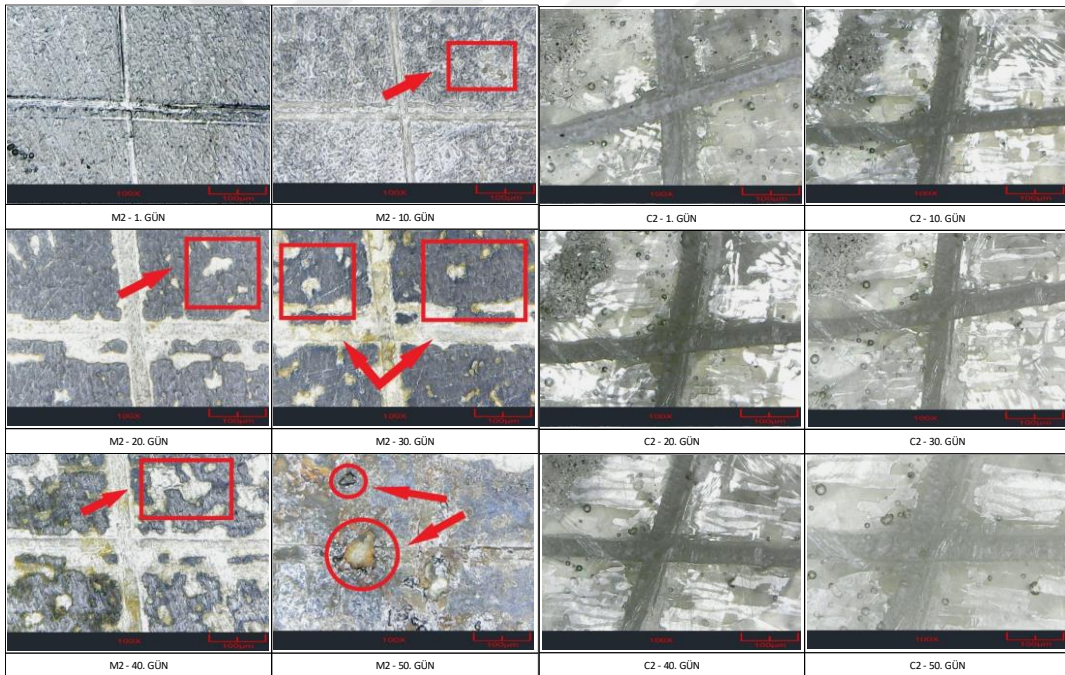
görüntüleri alınmıştır (Resim 4.2). On gün sonra çıkartılan CTP numunesinin kütlesi 2,7998g, St37 numunesinin kütlesi ise 24,0671g ölçülmüştür. Yirmi gün sonra çıkartılan bulunan CTP numunesinin kütlesi 2,8011g, St37 numunesinin kütlesi ise 24,0626g ölçülmüştür. Otuz gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,8023g, St37 numunesinin kütlesi ise 24,0585g ölçülmüştür. Kırk gün sonra çıkartılan CTP numunesinin kütlesi 2,8045g, St37 numunesinin kütlesi ise 24,0583g ölçülmüştür. Elli gün sonra çıkartılan CTP numunesinin kütlesi 2,8043g, St37 numunesinin kütlesi ise 24,0572g ölçülmüştür. Bu durumda CTP malzeme oda sıcaklığı 20°C, nem oranı %58, 8,44 pH değerinde içinde bulunduğu tavuk gübresinde nemi emerek çok az miktarda ağırlık kazandığı düşünülmekte iken St37 malzeme resim 4.2 de görüldüğü gibi numune üzerlerinde çukurlaşma ve yüzeyden dış tabakanın uzaklaştığı gözlemlenmiştir.



Resim 4.2 Elli Gün Boyunca Tavuk Gübresi İçerisinde Kalan Ctp ve St37 Numunelerin 100X Görüntüleri.

Küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP numunesinin ilk kütlesi 2,7704g, St37 malzemesinin ilk kütlesi ise 23,9994g olarak ölçülmüştür. CTP ve St37 numuneleri içleri gübre dolu deney kaplarından on gün sonra çıkarılarak üzerleri iyice temizlendikten sonra hassas terazi yardımı ile ağırlıkları tartılarak numunelerin aynı yerlerinden görüntü

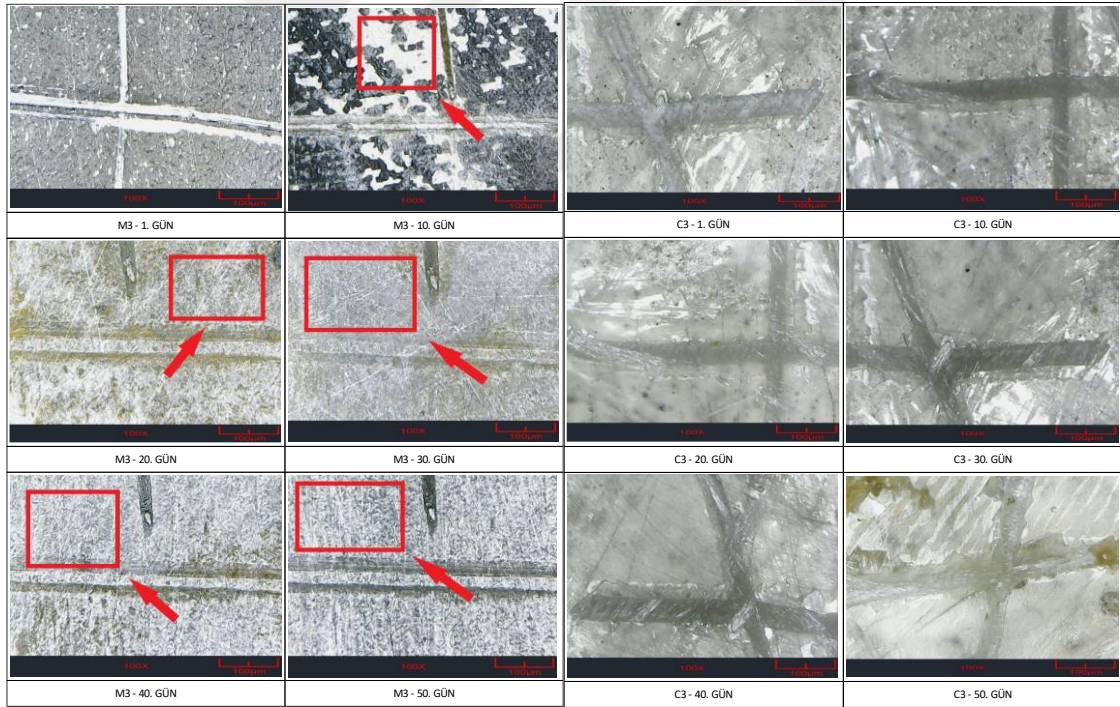
alabilmek için atılan çapraz çiziklerin olduğu bölgeden kamaralı mikroskop yardımı ile görüntüleri alınmıştır (Resim 4.3). On gün sonra çıkartılan CTP numunesinin kütlesi 2,7711g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9596g olarak ölçülmüştür. Yirmi gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,7222g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9376g olarak ölçülmüştür. Otuz gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,7738g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9235g olarak ölçülmüştür. Kırk gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,7746g, st37 numunesinin kütlesi ise 23,9116g olarak ölçülmüştür. Küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP malzemesinin kütlesi 2,7729g, St37 malzemesinin kütlesi ise 23,8945g olarak ölçülmüştür. Bu durumda CTP malzeme oda sıcaklığı 20°, nem oranı %58, 8,34 pH değerinde içinde bulunduğu küçükbaş hayvan gübresinde nemi emerek çok az miktarda ağırlık kazandığı düşünülmekte iken St37 numune resim 4.3 de görüldüğü gibi numune üzerlerinde yayvan şekilde malzeme kaybı gözlenmiştir. Ayrıca malzeme kalınlığı giderek azalmış çizgi görünmez hale gelmiştir.



Resim 4.3 Elli Gün Boyunca Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Kalan CTP ve St37 Numunelerin 100X Görüntüleri.

Güvercin gübresi içerisinde bulunan CTP numunesinin ilk kütlesi 2,8354g, St37 malzemesinin ilk kütlesi ise 24,0687g olarak ölçülmüştür. CTP ve St37 numuneleri içleri gübre dolu deney kaplarından on gün sonra çıkarılarak üzerleri iyice temizlendikten sonra hassas terazi yardımı ile ağırlıkları tartılarak numunelerin aynı yerlerinden görüntü

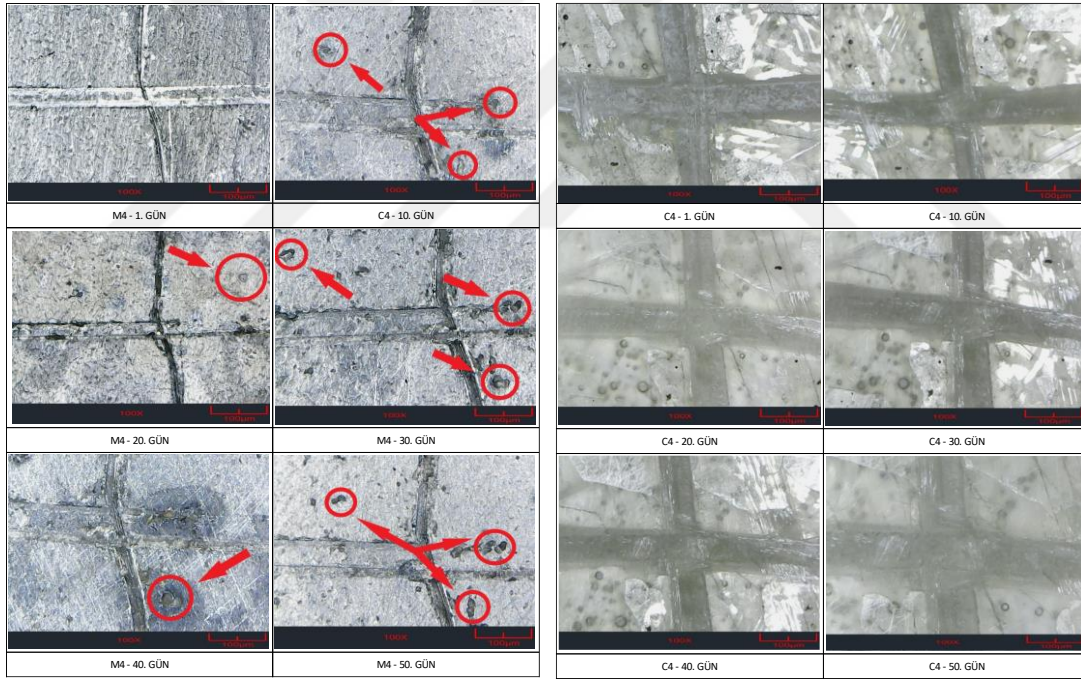
alabilmek için atılan çapraz çiziklerin olduğu bölgeden kameralı mikroskop yardımı ile görüntüleri alınmıştır (Resim 4.4). On gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,8356g, St37 numunesinin kütlesi ise 24,0183g olarak ölçülmüştür. Yirmi gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,8378g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9616g olarak ölçülmüştür. Otuz gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,8411g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9377g olarak ölçülmüştür. Kırk gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,8456g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9257g olarak ölçülmüştür. Elli gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,8476g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9191g olarak ölçülmüştür. Bu durumda CTP malzeme oda sıcaklığı 20°, nem oranı %58, 7,54 pH değerinde içinde bulunduğu güvercin gübresinde nemi emerek çok az miktarda ağırlık kazandığı düşünülmekte iken St37 numune resim 4.4 de görüldüğü gibi numune yüzeyinde direk olarak katman yok olması gözlemlenmiştir. Güvercin gübresinin kimyasal bileşeninde bulunan azotun fazla olması korozyonu hızlandırıp kütle kaybını arttırdığı ön görülmektedir.



Resim 4.4 Elli Gün Boyunca Güvercin Gübresi İçerisinde Kalan CTP ve St37 Numunelerin 100X Görüntüleri.

Büyük baş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP numunesinin ilk kütlesi 2,8456g, St37 numunesinin ilk kütlesi ise 23,9904g olarak ölçülmüştür. CTP ve St37 numuneleri içleri gübre dolu deney kaplarından on gün sonra çıkarılarak üzerleri iyice temizlendikten sonra

hassas terazi yardımı ile ağırlıkları tartılarak numunelerin aynı yerlerinden görüntü alabilmek için atılan çapraz çiziklerin olduğu bölgeden kamaralı mikroskop yardımı ile görüntüleri alınmıştır (Resim 4.5). On gün sonra CTP numunesinin kütlesi 2,8465g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9783g olarak ölçülmüştür. CTP numunesinin kütlesi 2,8492g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9671g olarak ölçülmüştür. CTP numunesinin kütlesi 2,8508g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9598g olarak ölçülmüştür. CTP numunesinin kütlesi 2,8538g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9483g olarak ölçülmüştür. CTP numunesinin kütlesi 2,8538g, St37 numunesinin kütlesi ise 23,9349g olarak ölçülmüştür. Bu durumda CTP malzeme oda sıcaklığı 20°C, nem oranı %58, 9,03 pH değerinde içinde bulunduğu büyükbaş hayvan gübresinde nemi emerek çok az miktarda ağırlık kazandığı düşünülmekte iken St37 numune resim 4.5 de görüldüğü gibi onuncu günden itibaren farklı noktalarda çukurlaşmalar oluştuğu gözlemlenmektedir.



Resim 4.5 Elli Gün Boyunca Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Kalan CTP ve St37 Numunelerinin 100X Görüntüleri.

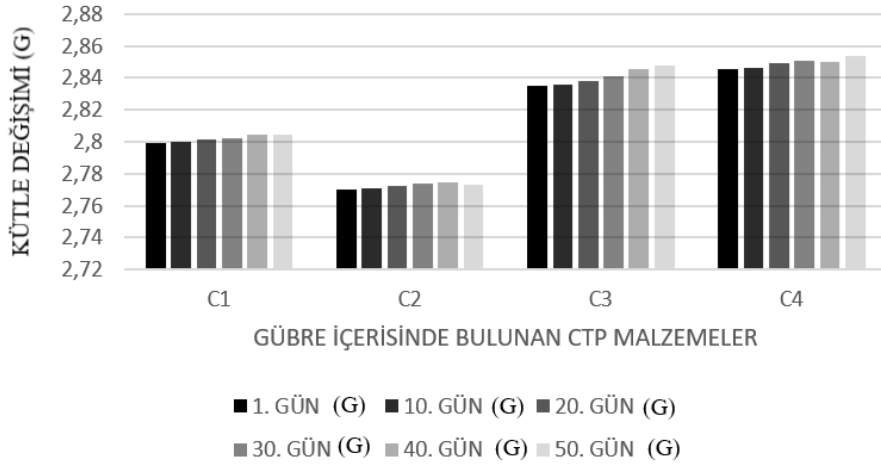
Çelik ve CTP malzemeleri her on günde bir gübre içerisinde çıkartılıp temizlenerek hassas terazi ile tartılarak ağırlık sonuçları not edilmiştir. Tablo da görüldüğü üzere ctp numunelerinde kütle kaybı gözlenmemiştir, St37 malzemelerde her on günde kütle kaybı gözlemlenmiştir. (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1 Numune kütle değişim çizelgesi.

Numune Adı	1. Gün (g)	10. Gün (g)	20. Gün (g)	30. Gün (g)	40. Gün (g)	50. Gün (g)
C1	2,7994	2,7998	2,8011	2,8023	2,8045	2,8043
C2	2,7704	2,7711	2,7722	2,7738	2,7746	2,7729
C3	2,8354	2,8356	2,8378	2,8411	2,8456	2,8476
C4	2,8456	2,8465	2,8492	2,8508	2,8501	2,8538
M1	24,0681	24,0671	24,0626	24,0585	24,0583	24,0572
M2	23,9994	23,9596	23,9376	23,9235	23,9116	23,8945
M3	24,0687	24,0183	23,9616	23,9377	23,9257	23,9191
M4	23,9904	23,9783	23,9671	23,9598	23,9483	23,9349

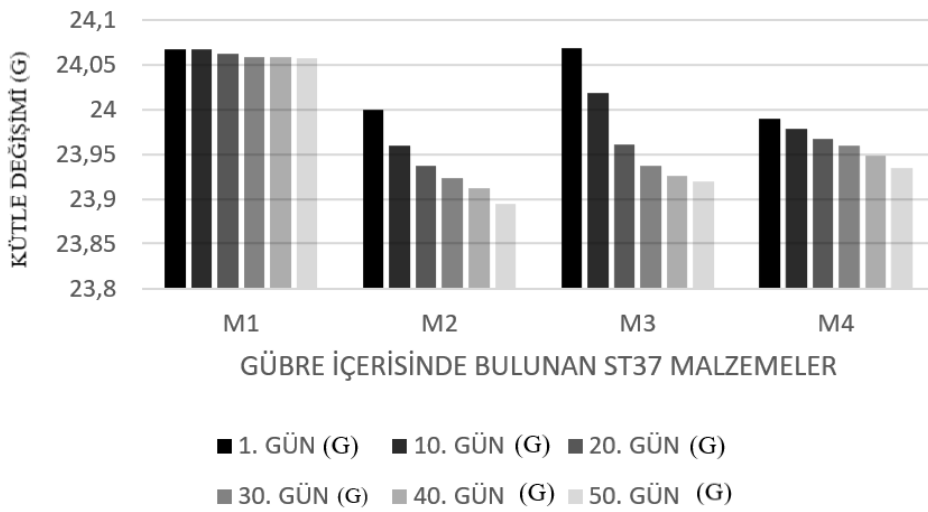
CTP numunelerinin her on günde bir gübre içerisinde çıkartılıp temizlenerek hassas terazi ile tartılması sonucu elli gün sonunda elde edilen kütle değişimi grafiği (Çizelge 4.2) verilmiştir. CTP malzemelerin zaman içerisinde gübre içerisinde nemden dolayı malzemenin su emmesi ile ağırlık artışının gözlemlendiği düşünülmektedir. Bunun bir başka nedeni numune üzerinde kalan gübre kalıntılarında olabileceği düşünülmektedir. Kütle kaybı olmamasının ve mikroskobik görüntülerde korozyona rastlanmaması CTP numunesinin korozyona uğramadığını gözlemlenmiştir. C1: Tavuk gübresi içerisinde bulunan CTP malzeme, C2: Küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP malzeme, C3: Güvercin gübresi içerisinde bulunan CTP malzeme, C4: Büyükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan CTP malzemedir.

Çizelge 4.2 CTP Malzemenin Kütlesel Değişimi.



St37 numunelerinin her on günde bir gübre içerisinde çıkartılıp temizlenerek hassas terazi ile tartılması sonucu elli gün sonunda elde edilen kütle değişimi grafiği (Çizelge 4.5). Tüm gübre çeşitlerinde bulunan St37 malzemede kütle kaybı gözlemlenmiştir. Ayrıca mikroskopik görüntülerde numunelerin korozyona uğradığı gözlemlenmiştir. Birinci ve ellinci gün arasında en çok kilo kaybının güvercin gübresi içerisinde bulunan St37 malzemede olmasının sebebi güvercin gübresinin kimyasal bileşeninde bulunan azotun fazla olması korozyonu hızlandırıp kütle kaybını arttırdığı ön görülmektedir. M1: Tavuk gübresi içerisinde bulunan St37 malzeme, M2: Küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan St37 malzeme, M3: Güvercin gübresi içerisinde bulunan St37 malzeme, M4: Büyükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan St37 malzeme.

Çizelge 4.3 St37 Malzemenin Kütlesel Değişimi.



4.2 Çelik ve Ctp Numunelerinin Korozyon Hızı

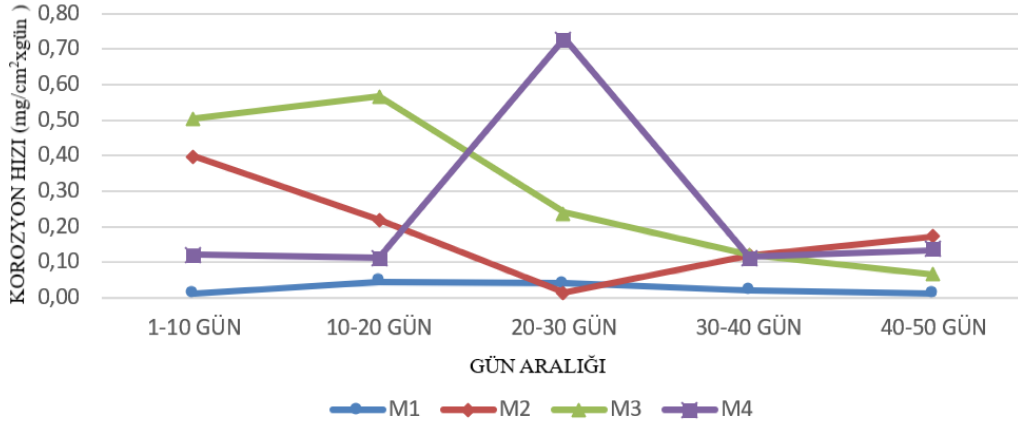
Çizelge 4.4 verilen St37 numunelerin onar günlük periyotlar sonucunda kaybetmiş oldukları kütleler gösterilmiştir. Bunun neticesinde korozyon hızı hesaplanması ile çizelge 4.5 da korozyon hızına göre grafik oluşturulmuştur.

Çizelge 4.4 Korozyon hızı.

Numuneler / Korozyon Hızı	1-10 Gün (mg/cm ² xgün)	10-20 Gün (mg/cm ² xgün)	20-30 Gün (mg/cm ² xgün)	30-40 Gün (mg/cm ² xgün)	40-50 Gün (mg/cm ² xgün)
M1	0,01	0,045	0,041	0,02	0,011
M2	0,398	0,22	0,0141	0,119	0,171
M3	0,504	0,567	0,239	0,12	0,066
M4	0,121	0,112	0,73	0,115	0,134

Tavuk gübresi içerisinde bekletilen St37 numunesinin korozyon hızı onuncu ve yirminci gün arasında 0,01 mg/cm²xgün' den 0,045 mg/cm²xgün yükselmiştir. Daha sonra düşüş geçmiştir bunun sebeplerinden birisinin pasif oksit tabakasının bozulması olarak değerlendirilmiştir. Küçükbaş hayvan gübresi içerisinde bekletilen St37 numunesinin korozyon hızı yirmi ile otuzuncu gün arasına kadar stabil olarak azalmaktayken bu noktadan itibaren artarak ilerlemiştir. Bunun nedeninin korozyona uğrayan tabakanın çukurlaşmasının artması olduğu düşünülmektedir. Güvercin gübresi içerisinde bulunan St37 numunesinin kütlesi onuncu gün ile yirminci gün arasında 0,567 mg/cm²xgün korozyon hızına ulaşmışken pasif oksit film tabakasının bozulması ile bu hızın azalması ilişkilendirilmiştir. Büyükbaş hayvan gübresinde ise maksimum korozyon hızı yirminci ve otuzuncu gün arasında 0,73 olarak görülmüştür. Bunun sebebinin büyükbaş hayvan gübresinin pH değerinin diğer gübrelere göre daha yüksek olması ve maksimum noktadan sonra tabakada üzerinde korozyona uğrayacak yer kalmamasının korozyon hızını düşürdüğü düşünülmektedir (Çizelge 4.5).

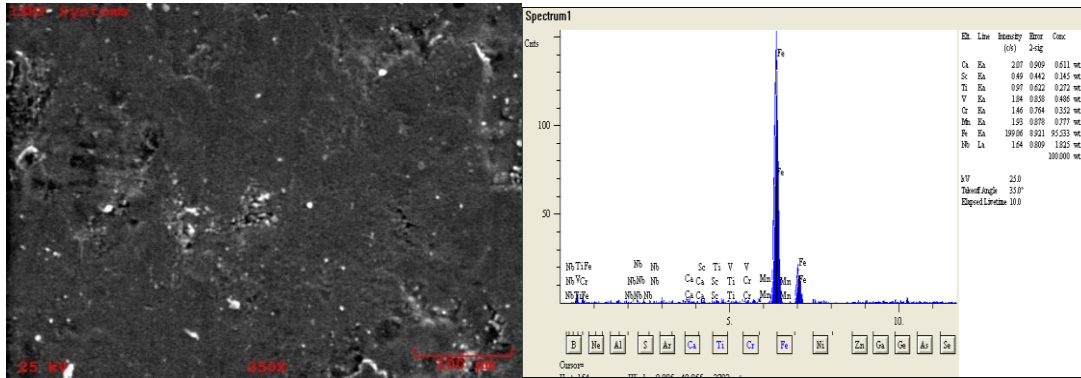
Çizelge 4.5 Korozyon hızı grafiği.



4.3 Çelik ve CTP Mikroyapı Analizi

4.3.1 Çelik Malzemenin Mikroyapı Analizi

St37 malzemenin SEM görüntüsünde sadece malzemeye ait elementlerin varlığı görülmektedir. Bu malzeme içerisinde ağırlıklı olarak Fe elementi %95,53 oranında belirlenmiştir. Malzeme yüzeyinde herhangi bir işlem yapılmadan sadece yüzey temizliği yapıldığı için malzemenin içerisinde bulunan doğal yapılar olan haddemeye bağlı resim 4.6 da görülen çok az miktarda çukurlaşmalar oluşmuştur.



Resim 4.6 St37 Numune SEM Görüntüleri.

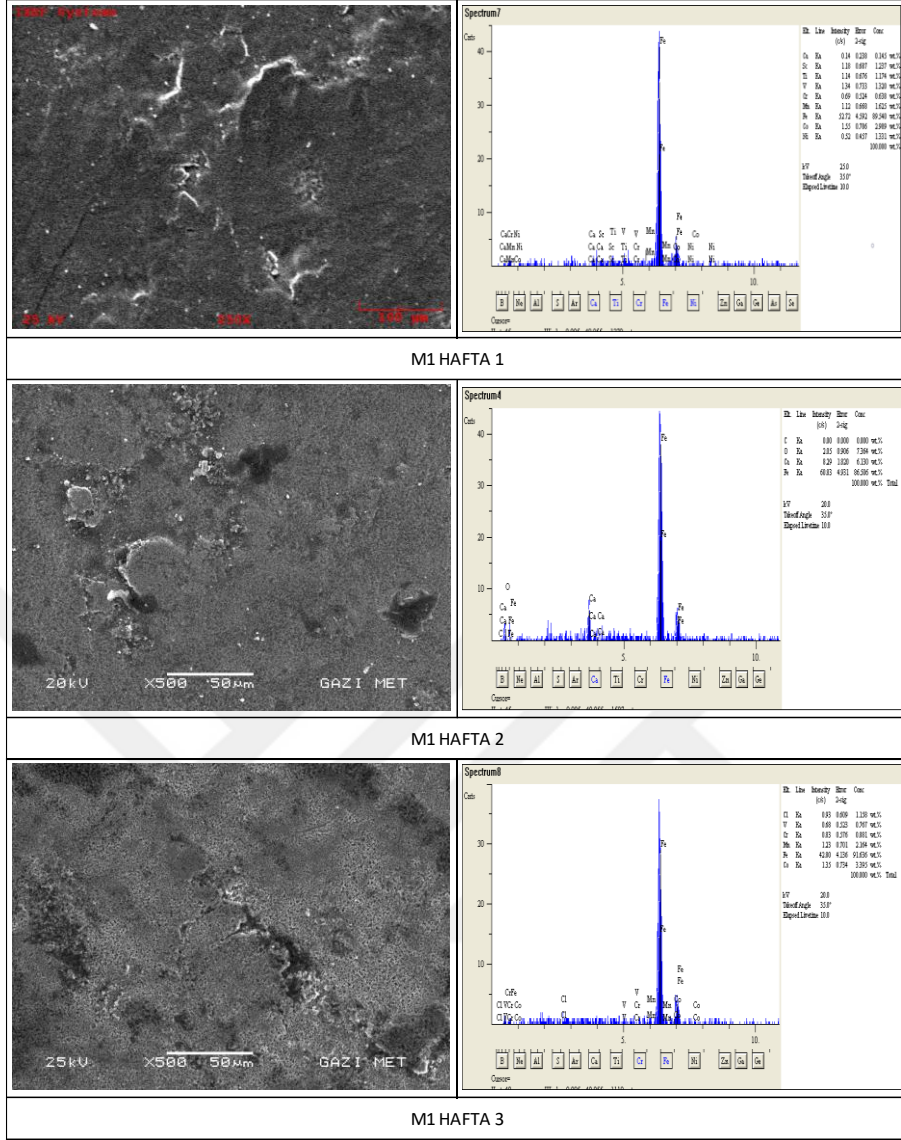
Resim 4.7 de 1-2-3 hafta süresince oda sıcaklığı 20°C, nem oranı %58, 8,44 pH değerinde tavuk gübresi içerisinde bekletilen St37 malzemenin SEM görüntüsünde malzemeye ait elementlerin varlığı dışında ekstra kirlilik oluşmamıştır. Bu malzeme içerisinde ilk hafta ağırlıklı olarak %89,57 Fe elementi gözlemlenmiştir. Malzeme yüzeyinde herhangi bir

işlem yapılmadan sadece yüzey temizliği yapılarak sem görüntüsü alınmıştır. Resim 4.6 da görülen çukurluklar resim 4.7 de de benzer şekilde oluşmuştur. Tavuk gübresinin içerisinde korozyon oluşturabilecek elementlerin malzeme yüzeydeki çukurluklar işlemsiz malzemeye göre daha belirgin olarak görülmektedir. Bu malzemelerin ağırlık kayıplarına bakıldığında da azalmanın olduğu görülmüştür (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütlesel Değişimi.

Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Tavuk gübresi	M1	1. NUMUNE	3,4461	3,4453		
		2. NUMUNE	3,4011		3,4009	
		3. NUMUNE	3,4438			3,4441

Çizelge 4.6 da görüldüğü üzere ilk hafta tavuk gübresi içerisinden çıkartılan numunenin kütle değişimi 0,0008 g iken ikinci hafta gübre içerisinden çıkartılan ikinci numunenin kütle değişimi 0,0002 g iken üçüncü hafta gübre içerisinden çıkartılan üçüncü numunenin kütle değişimi 0,0003 g olduğu gözlemlenmiştir.



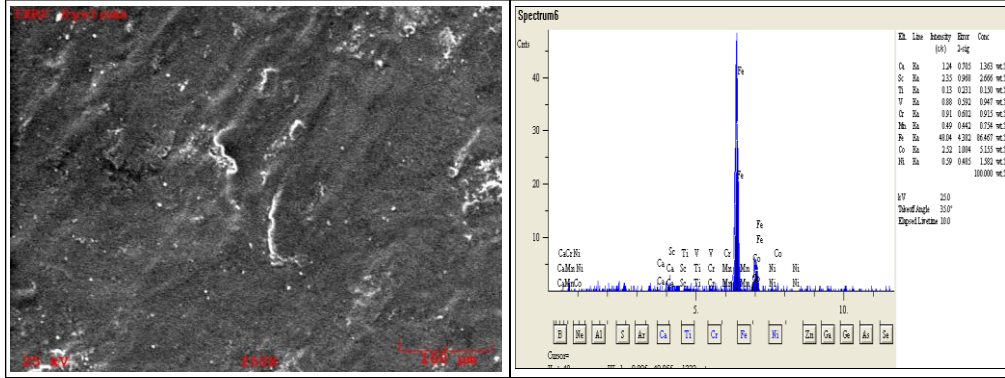
Resim 4.7 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesi SEM Görüntüleri.

1-2-3 hafta süresince küçükbaş hayvan gübresi içerisine bekletilen St37 malzemenin sem görüntüsünde malzemeye ait elementlerle beraber yüzeyde belirgin kirlilikler oluşmuştur. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit kalıntıları tavuk gübresine göre daha fazla oluştuğu görülmüştür. SEM görüntülerindeki büyüyen bölgeler demir oksit piklerinin varlığı daha fazla oksitlenmenin oluştuğunu göstermektedir (Resim 4.8).

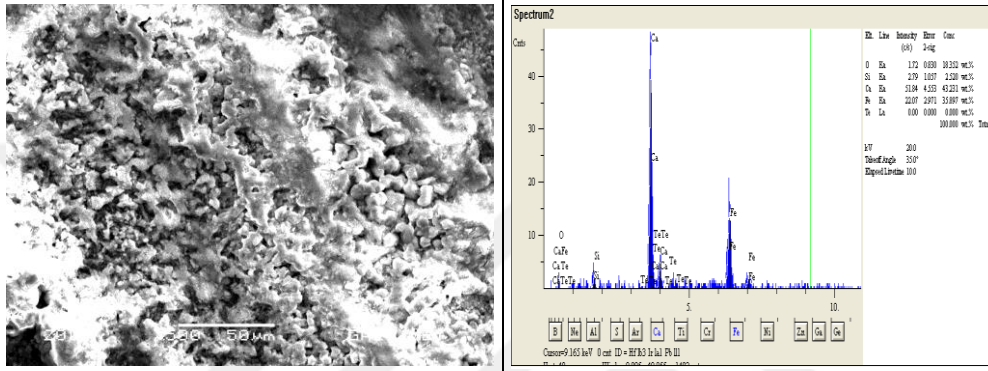
Çizelge 4.7 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütlesel Değişimi.

Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Küçükbaş	M2	1. NUMUNE	3,4441	3,4435		
		2. NUMUNE	3,4431		3,4349	
		3. NUMUNE	3,4322			3,4039

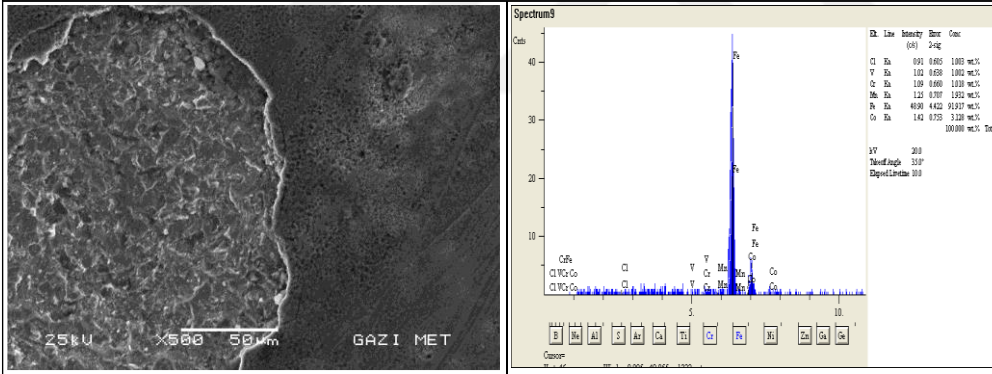
Çizelge 4.7 da görüldüğü üzere ilk hafta küçükbaş hayvan gübresi içerisinden çıkartılan numunenin kütle değişimi 0,0006 g iken ikinci hafta gübre içerisinden çıkartılan ikinci numunenin kütle değişimi 0,0082 g iken üçüncü hafta gübre içerisinden çıkartılan üçüncü numunenin kütle değişimi 0,0283 g olduğu gözlemlenmiştir. Her hafta numune parçalar ile gübre içerisinden çıkartılan parçaların ağırlık farkı arttığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte küçükbaş hayvan gübresine maruz kalan st37 numunesinin gübre ile temas süresi arttıkça ağırlık kaybının da arttığı gözlemlenmiştir.



M2 HAFTA 1



M2 HAFTA 2



M2 HAFTA 3

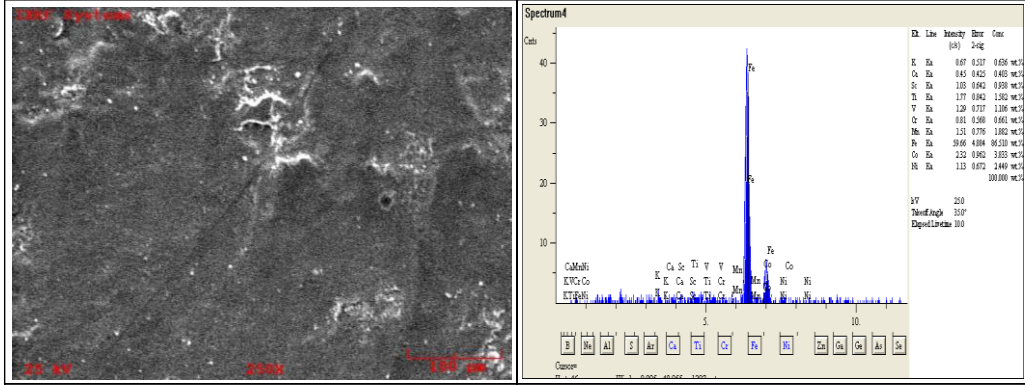
Resim 4.8 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 malzeme SEM Görüntüleri.

1-2-3 hafta süresince güvercin gübresi içerisinde bekletilen St37 malzemenin SEM görüntüsünde malzemeye ait elementlerle beraber yüzeyde belirgin kirlilikler oluşmuştur. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit kalıntıları olduğu görülmüştür. SEM görüntülerindeki büyüyen bölgeler ve XRD grafiklerindeki demir oksit piklerinin varlığı daha fazla oksitlenmenin meydana geldiğini göstermektedir (Resim 4.9). Ayrıca ağırlık kaybı çizelgesinden de bu kayıpların varlığı belirlenmiştir.

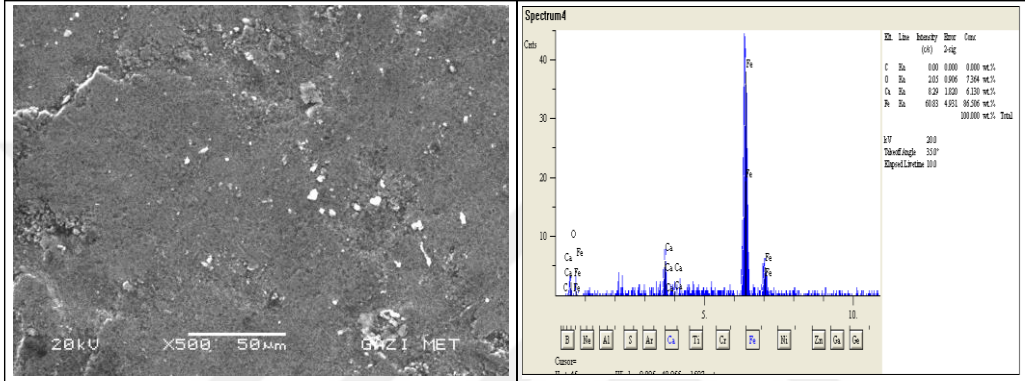
Çizelge 4.8 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütlesel Değişimi.

Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Güvercin	M3	1. NUMUNE	3,4517	3,4495		
		2. NUMUNE	3,4619		3,4546	
		3. NUMUNE	3,4408			3,4356

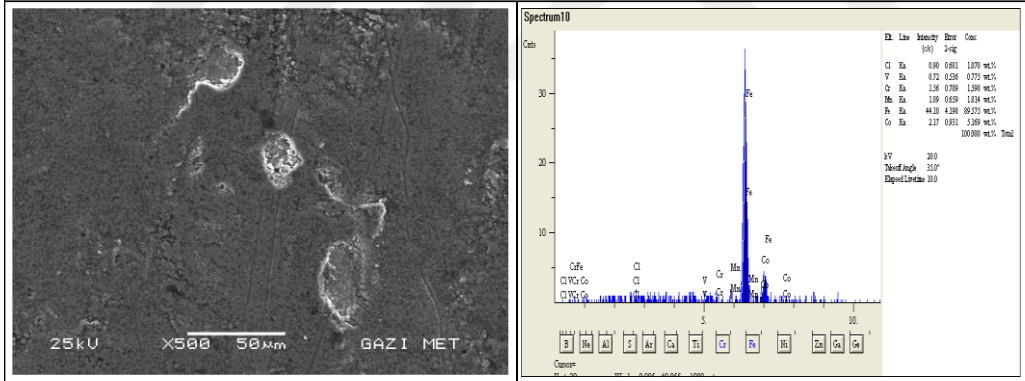
Çizelge 4.8 da görüldüğü üzere ilk hafta güvercin gübresi içerisinden çıkartılan numunenin kütle değişimi 0,0022 g iken ikinci hafta gübre içerisinden çıkartılan ikinci numunenin kütle değişimi 0,0073 g iken üçüncü hafta gübre içerisinden çıkartılan üçüncü numunenin kütle değişimi 0,0052 g olduğu gözlemlenmiştir. İkinci numunenin gübre ile temas süresi ilk numuneye göre daha fazla olduğu için kütle kaybının daha çok olduğu gözlemlenmiştir.



M3 HAFTA 1



M3 HAFTA 2



M3 HAFTA 3

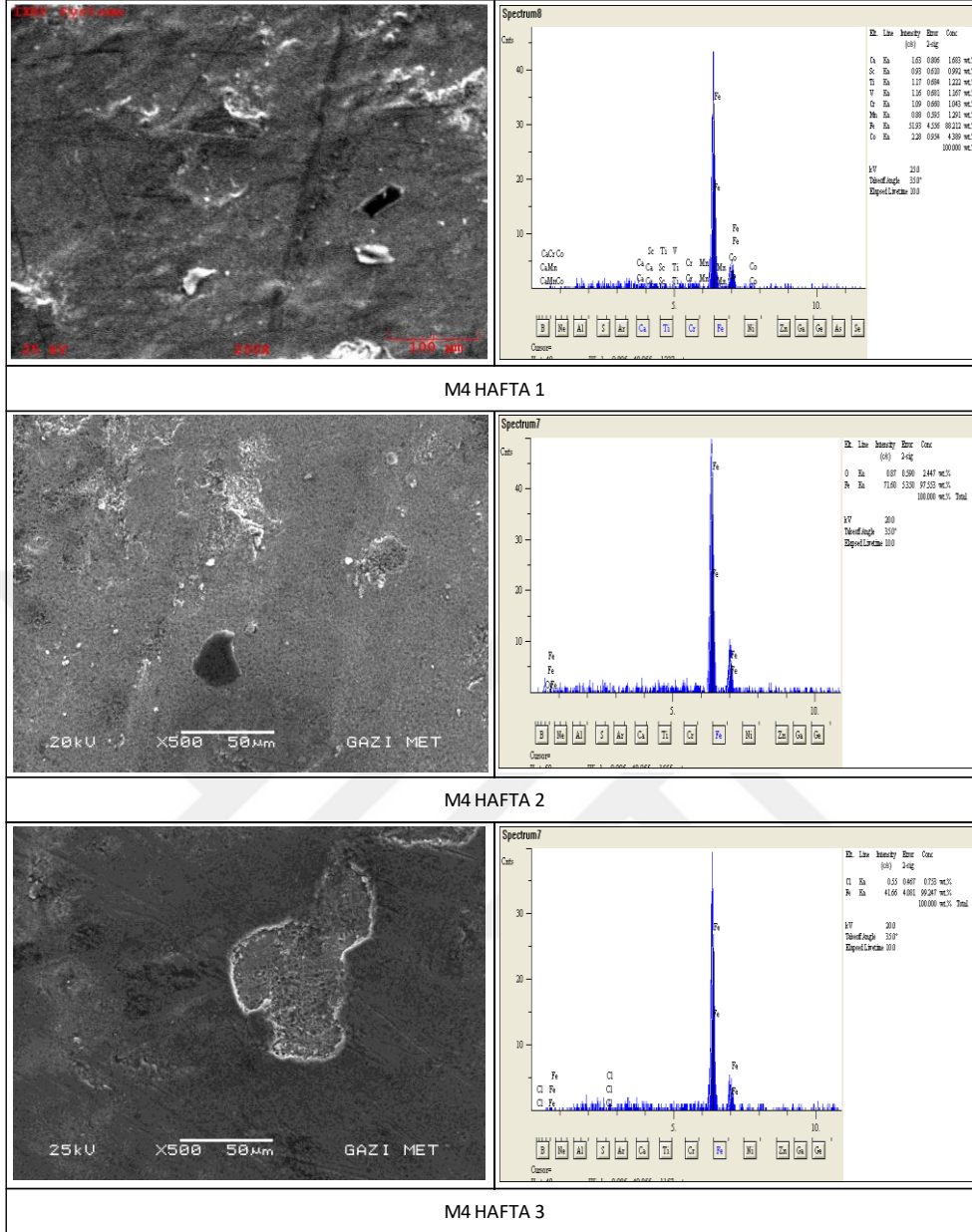
Resim 4.9 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan St37 malzeme SEM Görüntüleri.

1-2-3 hafta süresince büyükbaş hayvan gübresi içerisine bekletilen St37 malzemenin SEM görüntüsünde malzemeye ait elementlerle beraber yüzeyde belirgin kirlilikler oluşmuştur. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit kalıntıları oluştuğu görülmüştür. SEM görüntülerindeki büyüyen bölgeler ve XRD grafiklerindeki demir oksit piklerinin varlığı daha fazla oksitlenmenin meydana geldiğini göstermektedir (Resim 4.10). Ayrıca ağırlık kaybı çizelgesinden de bu kayıpların varlığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.9 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 Numunesinin Kütleli Değişimi.

Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Büyükbaş	M4	1. NUMUNE	3,5149	3,5102		
		2. NUMUNE	3,4021		3,3961	
		3. NUMUNE	3,4154			3,4089

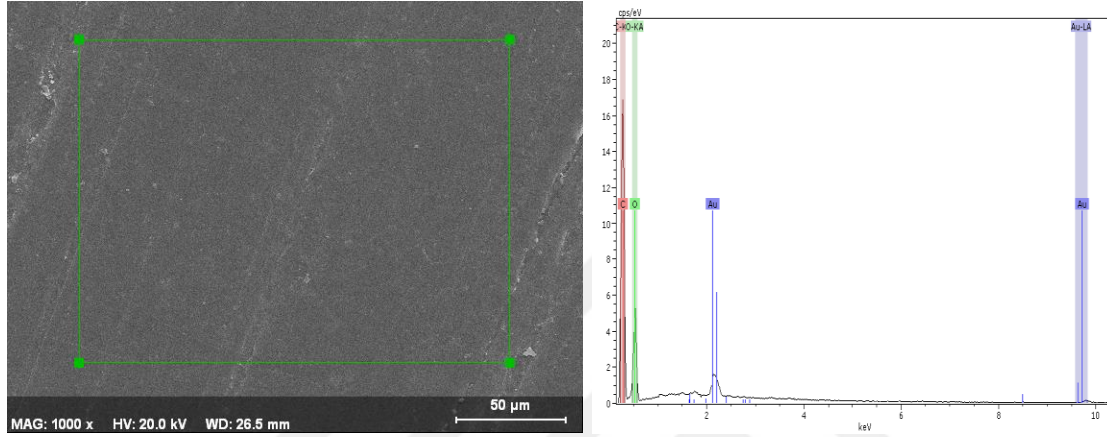
Çizelge 4.9 da görüldüğü üzere büyükbaş hayvan gübresi içerisine konulan birinci numunenin ilk hafta gübre içerisinden çıkartıldıktan sonra tartılması sonucunda ağırlık farkı 0,0047g iken ikinci numunenin ikinci hafta sonunda gübreden çıkarılarak tartılması sonucu çıkan ağırlık farkı 0,006g ve son olarak üçüncü numunenin üçüncü hafta sonunda gübre içerisinden çıkartılarak tartılması sonucu ortaya çıkan ağırlık farkı 0,0065g' dır. Her hafta numune parçalar ile gübre içerisinden çıkartılan parçaların ağırlık farkı arttığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte st37 numunesinin gübre ile temas süresi arttıkça ağırlık kaybının da arttığı gözlemlenmiştir.



Resim 4.10 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan St37 malzeme SEM Görüntüleri.

4.3.2 CTP Malzemenin Mikroyapı Analizi

CTP malzemenin SEM görüntüsünde sadece malzemeye ait elementlerin varlığı görülmektedir. Bu malzeme içerisinde ağırlıklı olarak karbon ve oksijen elementine rastlanmıştır. Malzeme yüzeyinde herhangi bir işlem yapılmadan sadece yüzey temizliği ve sem görüntüsü alınabilmesi için altın kaplama yapılarak alınan görüntü (Resim 4.11).

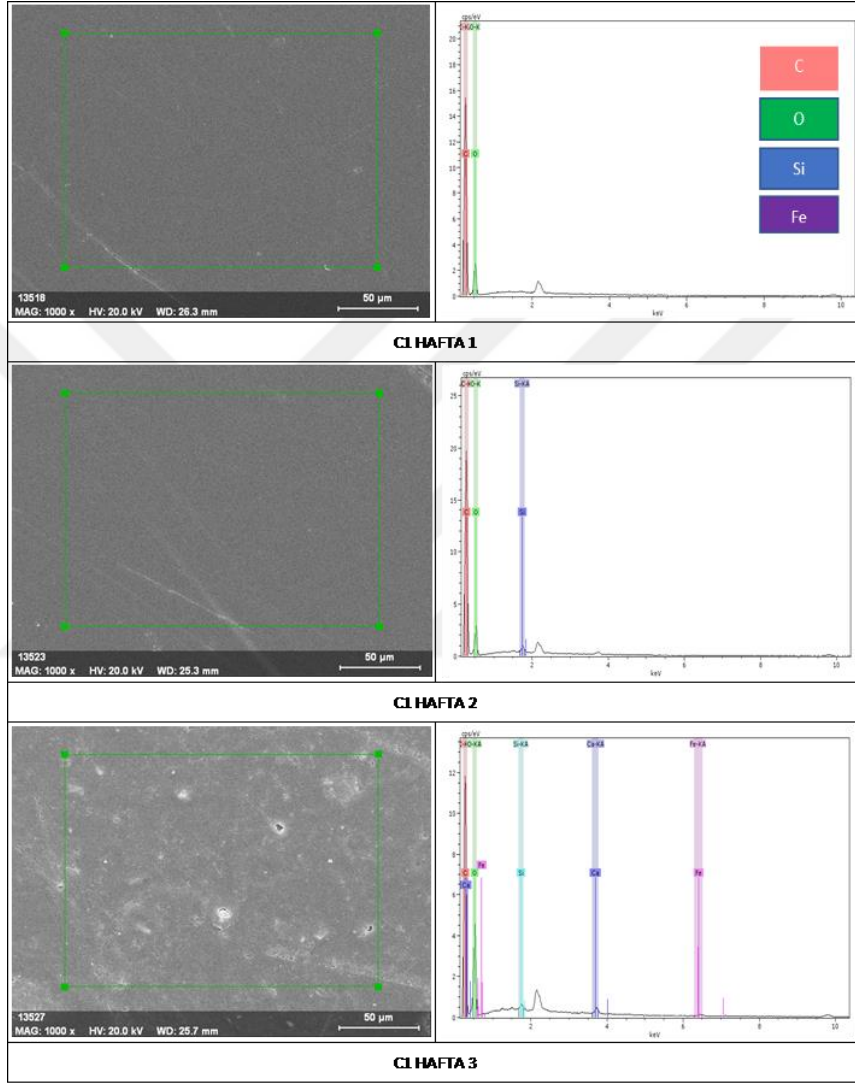


Resim 4.11 CTP Numune SEM Görüntüleri.

Resim 4.12’de CTP malzeme oda sıcaklığı 20°C, nem oranı %58, 8,44 pH değerinde 60g tavuk gübresi içerisinde 1-2-3 hafta süreyle bekletilen numunelerin SEM görüntülerinde içerisindeki gübreye bağlı yüzeyde yapılan elementel haritalama sonucunda numunede korozyon oluşmadığı görülmüştür. Bu yüzey topografyasında ilk hafta gübre içerisinden çıkartılan numunede karbon ve oksijen elementi gözlemlenirken ikinci hafta bu elementlere ilave olarak silisyum elementi gözlemlenmiştir. Bunun sebebi oksijen ile birleşmesi olarak ön görülmektedir. Üçüncü hafta gübre içerisinden çıkartılan numunede ise kalsiyum ve demir elementi de gözlemlenmiştir. Resim 4.12 görülen çukurlaşmaların yüzey kirliliği veya gübre kalıntıları veya yüzey temizleme esnasında zarar gördüğü düşünülmektedir. Çünkü çizelge 4.10’ da görüldüğü üzere CTP malzemede ağırlık kaybına rastlanmamaktadır artan ağırlıklar ise kompozit malzemenin üzerine nem almasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.10 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi.

Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Tavuk Gübresi	C1	1. NUMUNE	0,3292	0,3298		
		2. NUMUNE	0,3921		0,3932	
		3. NUMUNE	0,3581			0,3582

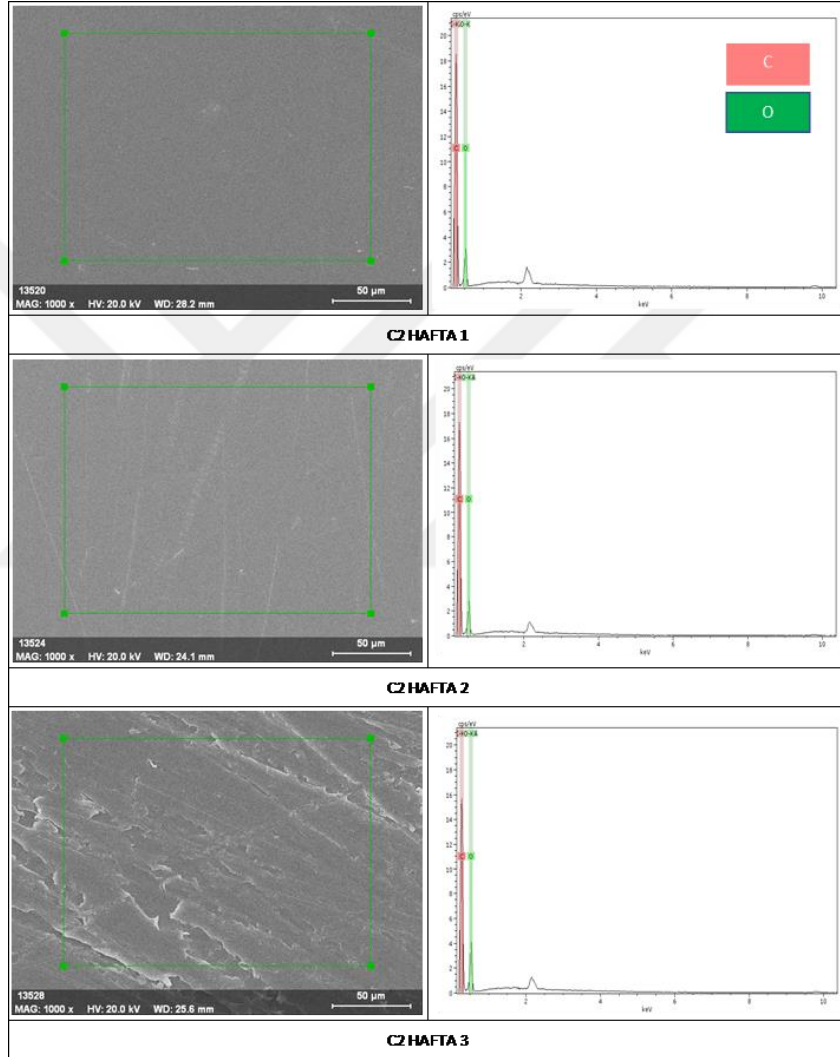


Resim 4. 12 Tavuk Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesi SEM Görüntüleri.

Resim 4.13' de CTP malzeme oda sıcaklığı 20°C, nem oranı %58, 8,44 pH değerinde 60g küçükbaş hayvan gübresi içerisinde 1-2-3 hafta süreyle bekletilen numunelerin SEM görüntülerinde içerisindeki gübreye bağlı yüzeyde yapılan elementel haritalama sonucunda ilk iki haftada numunede korozyon oluşmadığı görülmüştür. Bu yüzey topografyasında üç hafta boyunca gübre içerisinde çıkarılan numunelerde karbon ve oksijen elementi gözlemlenmiştir. Üçüncü hafta gübre içerisinde çıkarılan numune yüzeyinde yırtılmalar gözlemlenmiştir bunun nedeninin yüzey kirliliği veya gübre kalıntıları veya yüzey temizleme esnasında zarar gördüğünden dolayı olduğu düşünülmektedir. Çünkü çizelge 4.11' de görüldüğü üzere CTP malzemede ağırlık kaybına rastlanmamaktadır artan ağırlıklar ise kompozit malzemenin üzerine nem almasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.11 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi.

Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Küçükbaş	C2	1. NUMUNE	0,3708	0,3712		
		2. NUMUNE	0,3097		0,3099	
		3. NUMUNE	0,3361			0,3362

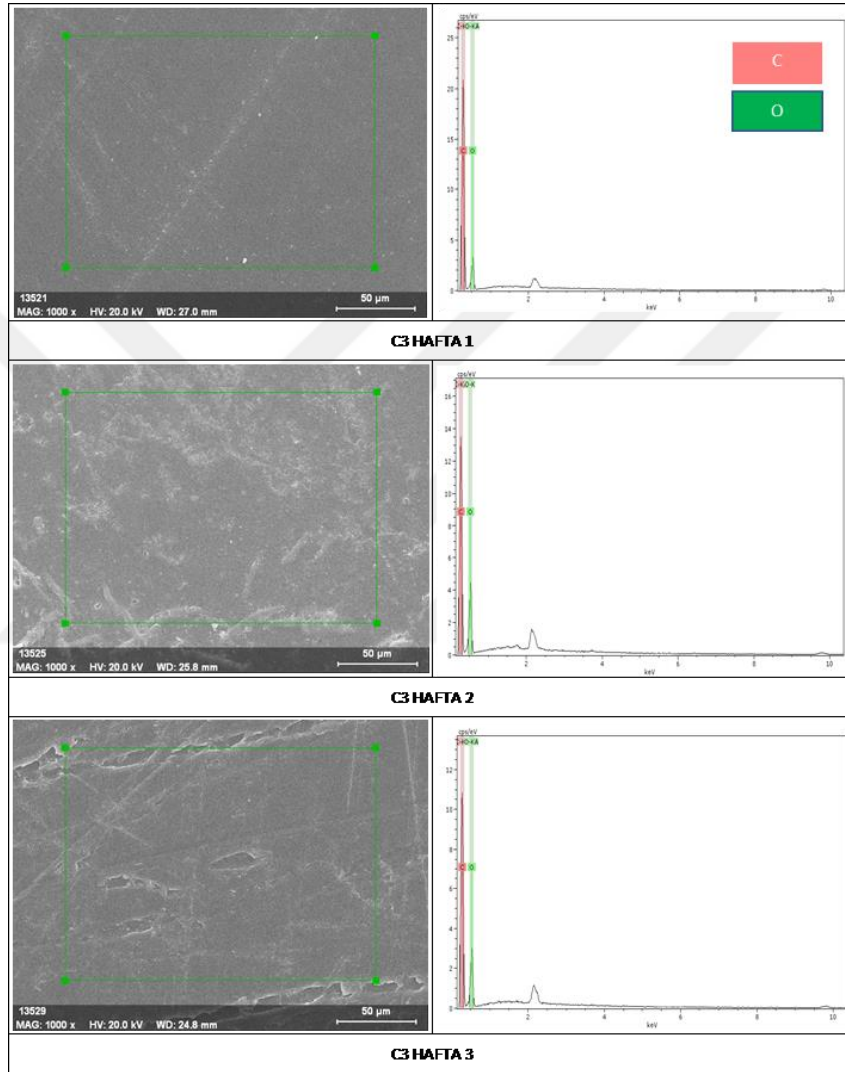


Resim 4.13 Küçükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP malzeme SEM Görüntüleri.

Resim 4.14' de CTP malzeme oda sıcaklığı 20°C, nem oranı %58, 8,44 pH değerinde 60g güvercin gübresi içerisinde 1-2-3 hafta süreyle bekletilen numunelerin SEM görüntülerinde içerisindeki gübreye bağlı yüzeyde yapılan elementel haritalama sonucunda ilk iki haftada numunede korozyon oluşmadığı görülmüştür. Bu yüzey topografyasında üç hafta boyunca gübre içerisinde çıkarılan numunelerde karbon ve oksijen elementi gözlemlenmiştir. Üçüncü hafta gübre içerisinde çıkarılan numune yüzeyinde yırtılmalar gözlemlenmiştir bunun nedeninin yüzey kirliliği veya gübre kalıntıları veya yüzey temizleme esnasında zarar gördüğünden dolayı olduğu düşünülmektedir. Çünkü çizelge 4.12' de görüldüğü üzere CTP malzemede ağırlık kaybına rastlanmamaktadır artan ağırlıklar ise kompozit malzemenin üzerine nem almasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.12 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi.

Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Güvercin	C3	1. NUMUNE	0,4048	0,4062		
		2. NUMUNE	0,3753		0,3762	
		3. NUMUNE	0,2678			0,2679

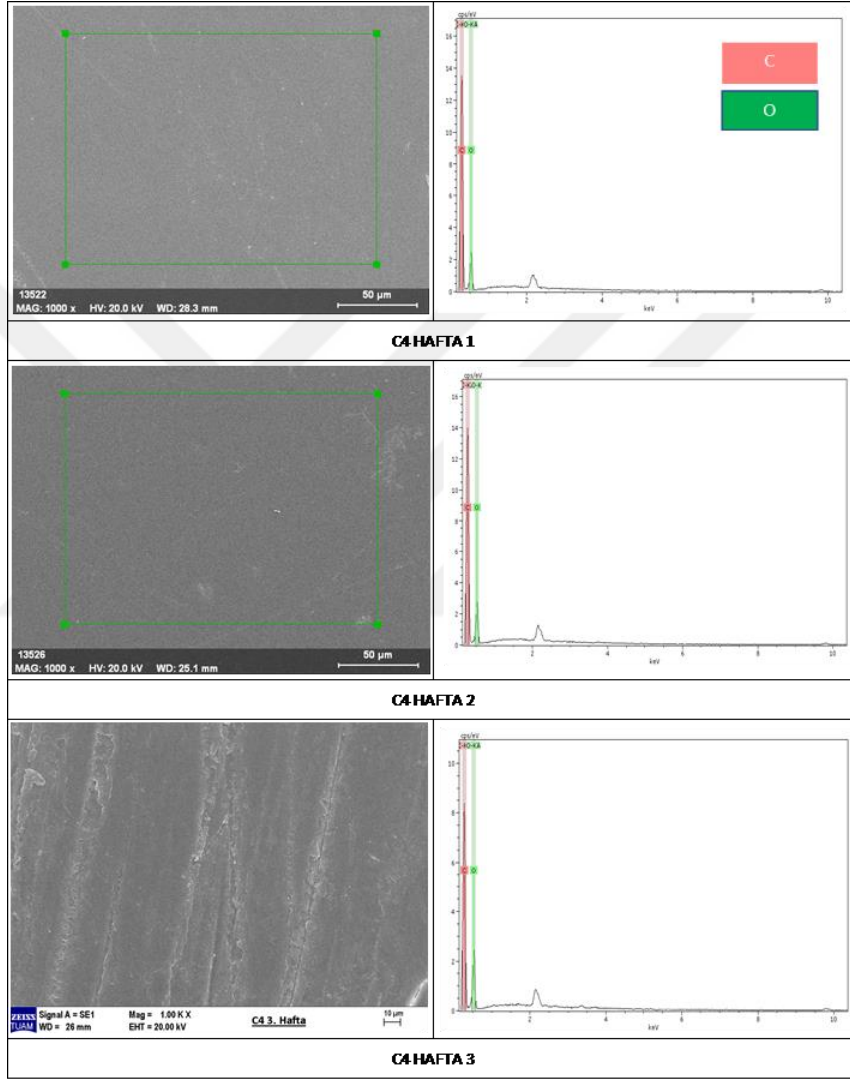


Resim 4.14 Güvercin Gübresi İçerisinde Bulunan CTP malzeme SEM Görüntüleri.

Resim 4.15' de CTP malzeme oda sıcaklığı 20°C, nem oranı %58, 8,44 pH değerinde 60g büyükbaş hayvan gübresi içerisinde 1-2-3 hafta süreyle bekletilen numunelerin SEM görüntülerinde içerisindeki gübreye bağlı yüzeyde yapılan elementel haritalama sonucunda ilk iki haftada numunede korozyon oluşmadığı görülmüştür. Bu yüzey topografyasında üç hafta boyunca gübre içerisinde çıkarılan numunelerde karbon ve oksijen elementi gözlemlenmiştir. Üçüncü hafta gübre içerisinde çıkarılan numune yüzeyinde yırtılmalar gözlemlenmiştir bunun nedeninin yüzey kirliliği veya gübre kalıntıları veya yüzey temizleme esnasında zarar gördüğünden dolayı olduğu düşünülmektedir. Çünkü çizelge 4.13' da görüldüğü üzere CTP malzemede ağırlık kaybına rastlanmamaktadır artan ağırlıklar ise kompozit malzemenin üzerine nem almasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.13 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP Numunesinin Kütlesel Değişimi.

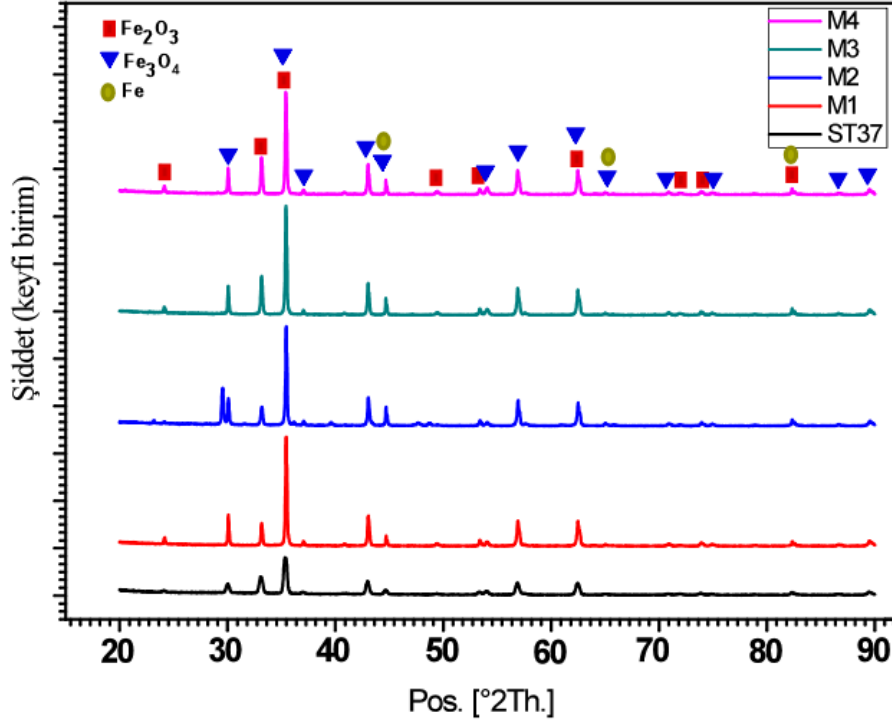
Gübre Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune Sırası	0. Hafta (g)	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)
Büyükbaş	C4	1. NUMUNE	0,3958	0,3981		
		2. NUMUNE	0,3809		0,3813	
		3. NUMUNE	0,3739			0,3739



Resim 4.15 Büyükbaş Hayvan Gübresi İçerisinde Bulunan CTP malzeme SEM Görüntüleri.

4.4 Çelik ve CTP XRD Analizi

Resim 4.16' da gösterilmiş gübre içerisinde konulmamış St37 numunesine ait XRD grafiğine ait görsel yer almaktadır.



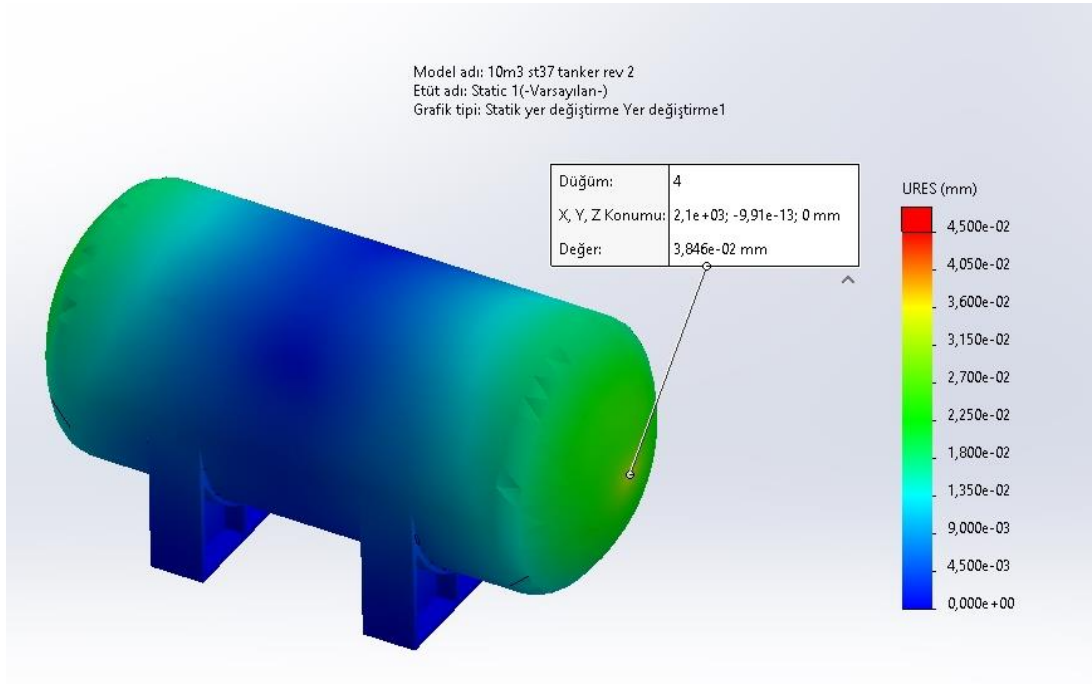
Resim 4. 16 Numune ve 2 Hafta Gübre İçerisinde Bekletilmiş St37 XRD Görüntüsü.

Şekil 4.16'de korozyon öncesi ve korozyon deneyleri sonrası St37 çeliğine ait XRD kırınım desenleri verilmiştir. Korozyon öncesi St37 malzemesinin faz yapısı incelendiğinde 3 fazlı bir yapı ile karşılaşılmıştır. Malzeme yüzeyinden alınan XRD analizine göre Fe_2O_3 ve Fe_3O_4 olmak üzere demir oksit piklerinin en yüksek pikler olduğu görülmektedir. Düşük şiddette Fe pikleri de belirlenmiştir. Fakat yüzeyde oluşan pasif oksit filme ait oksit pikleri daha yüksek şiddette kendini göstermektedir.

Korozyon testleri sonrası elde edilen M1, M2, M3 ve M4 numunelerine ait faz yapısı incelendiğinde ise, korozyon testleri sonrası St37 çeliğinin faz yapısında bir değişim olmamıştır. Yine üç fazlı bir yapı mevcuttur. Fakat demir oksit bileşiklerine ait pik şiddetlerinde korozyon deneyleri sonrası neredeyse 3 kat artış söz konusudur. Bu durumun sebebi korozyon testleri esnasında yüzeyde daha fazla demir oksit bileşiklerinin oluşmasıdır.

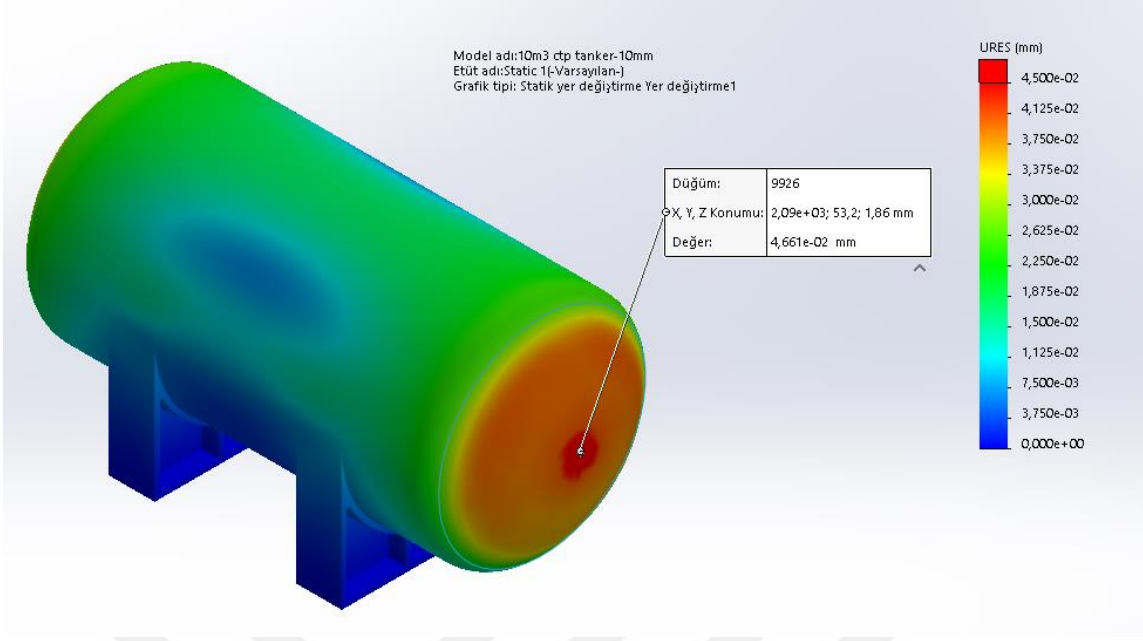
4.5 Çelik ve CTP Tanker Statik Analizi

Şekil 4.20 de bulunan analizde St37 malzemeden 3mm et kalınlığında çizilmiş olan tankerin içerisinde bulunan gübrenin yoğunluğu $0,8\text{kg/m}^3$ (İnt kyn 5) olarak alınmıştır. Bu durumda 800kg gübre 1m^3 hacme eşit olmaktadır. Bu çalışmada ise 10m^3 tankerin içerisine yaklaşık olarak 8000kg gübre olduğu düşünülerek tanker cidarına uygulanan kuvvet yaklaşık olarak 80000N kabul edilmiştir. Bu durumda yapılan analiz sonucunda 3mm St37 malzemesinin yer değiştirmesi $0,03846\text{mm}$ olmuştur.



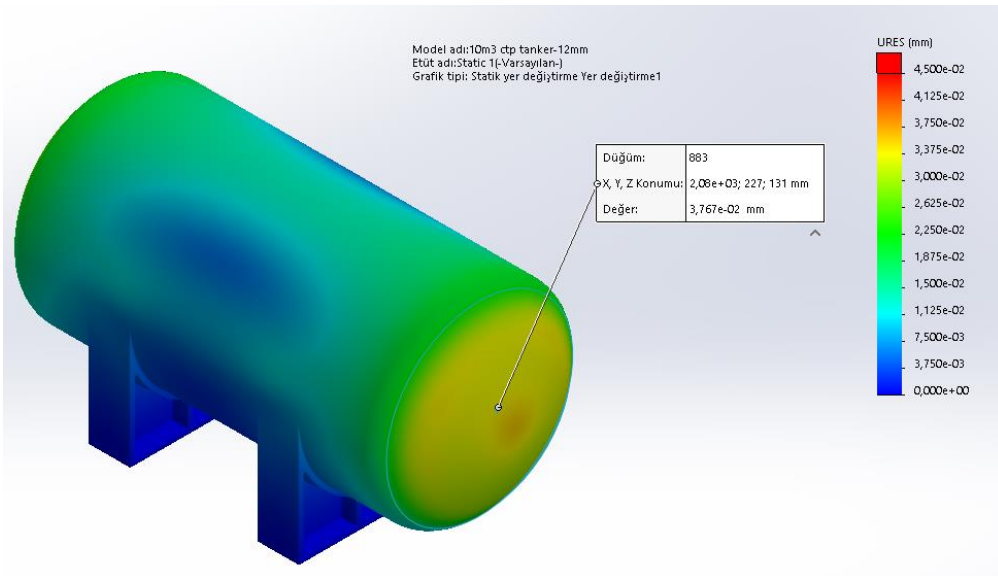
Resim 4.17 St37 malzemeden tasarlanan 3mm kalınlığında 10m^3 tanker statik analizi.

Resim 4.21 de bulunan analizde ise CTP malzemeden 10mm kalınlığında tasarlanmış olan tankerin aynı şartlar altında uygulanan kuvvet sonucunda yer değiştirmesi $0,04661\text{mm}$ olduğu gözlemlenmiştir.



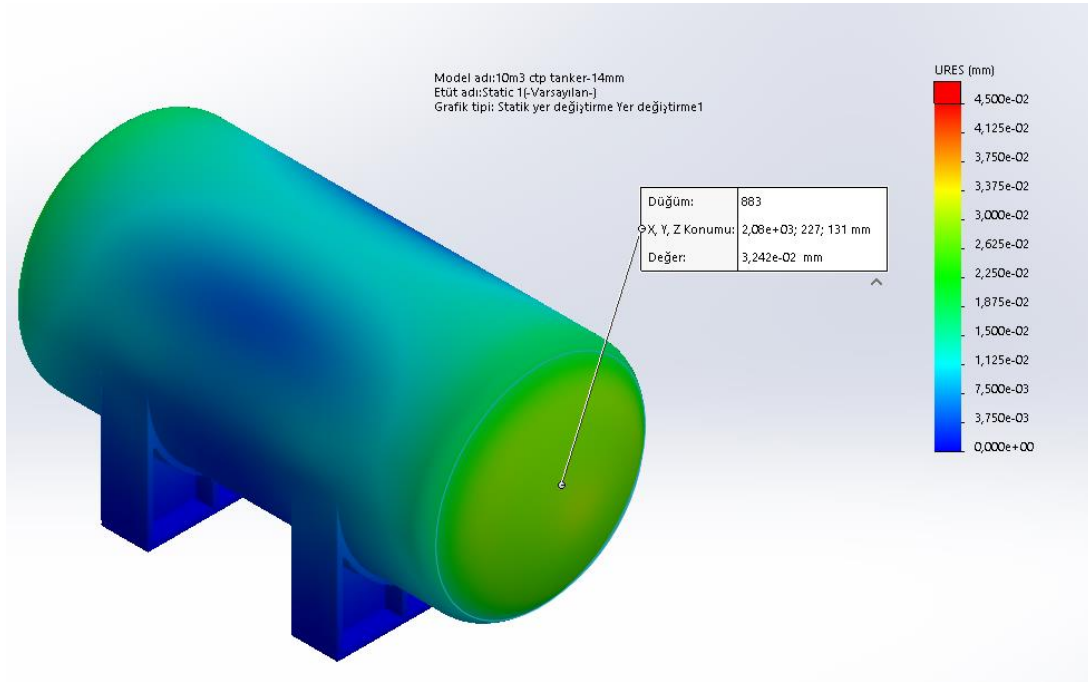
Resim 4.18 CTP malzemeden tasarlanan 10mm kalınlığında $10m^3$ tanker statik analizi.

Resim 4.22 de bulunan analizde ise ctp malzemeden 12mm kalınlığında tasarlanmış olan tankerin aynı şartlar altında uygulanan kuvvet sonucunda yer değiştirmesi $0,03767mm$ olduğu gözlemlenmiştir. Bu kalınlıkta tasarlanan CTP tanker 3mm St37 malzemeden tasarlanan tanker dayanımı ile yaklaşık olarak aynı koşullara gelerek aynı yer değiştirme değerine ulaşmıştır.



Resim 4.19 CTP malzemeden tasarlanan 12mm kalınlığında $10m^3$ tanker statik analizi.

Resim 4.23 de bulunan analizde ise ctp malzemeden 14mm kalınlığında olan tankerin aynı şartlar altında uygulanan kuvvet sonucu yer değiştirmesi 0,03242mm olduğu gözlemlenmiştir. Bu kalınlıkta tasarlanmış olan CTP tanker 3mm St37 malzemeden tasarlanan tankere göre çok daha güvenli olduğu yer değiştirmesinin daha az olduğu sonucuna varılmıştır.



Resim 4.20 CTP malzemeden tasarlanan 14mm kalınlığında 10m³ tanker statik analizi.

4.6 Çelik ve Ctp Tanker Optimizasyon Parametreleri

Çizelge 4.14' da verilmiş olan tanker optimizasyon parametrelerinden ctp malzemeden imal edilecek tankerin kalıplama yöntemi ile üretiminin gerçekleştirilmesi sebebi ile 3d tasarım programında yapılacak olan tanker tasarımda çelik malzemeden tasarlanacak olan bir tankere göre sınırlama olmaması ctp malzemenin en büyük avantajlarındanır. Çelik malzemeden imal edilecek olan tankerde malzemenin şekillendirilmesinin sınırlı oluşu, üretim aşamasında kaynaklı imalatın olması gerektiği, hammadde tedariginde sacların belli standartlarda olması vb. tankerlerin tasarım ve imalat sürecini sınırlayan parametrelerdendir. Günümüzde havacılık ve uzay sektöründe kanatların pervanelerin

imal edilmesinde, otomotiv sektöründe çamurluk, araç kapıları vb. üretiminde yapı sektöründe otoyol korkulukları, sera paneller vb. üretiminde spor dalında su kaydırakları, bisiklet, kast vb. üretiminde, korozyon dayanımı gereken ürünlerin arıtma tesisleri, su boruları, endüstriyel tanklar vb. üretiminde, elektrik elektronik sektöründe baskılı devre panellerinde, elektrik ve aydınlatma direklerinin vb. üretiminde, askeri alanda helikopter kaportaları, silah ve roket parçaları vb. üretiminde, denizcilikte yelkenli, kano, tekne vb. üretiminde CTP malzeme kullanılmaktadır (Topuz 2021). Eşit hacimlerde tasarlanmış olan tankerlerden CTP malzemesinden tasarlanmış olan 12mm kalınlığındaki tankerin ağırlığı 702kg iken St37 malzemesinden tasarlanan 3mm kalınlığındaki tankerin ağırlığı 3504kg gelmektedir. Bu durumda CTP malzemedan imal edilecek olan tanker ağırlığının az olması ile enerji tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı çekici ile taşınacak olan CTP malzemedan imal edilmiş tankerin ağırlığının düşük olması sebebi ile çekicinin daha az güç harcayacağı düşünülmekte iken, St37 malzemesinden imal edilen tankeri çekmek için daha fazla güç harcaması gerektiği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilmiş olan korozyon deneyleri sonucunda gerek optik görüntüler gerek ise SEM analizleri sonucunda ortaya çıkan bulgulara göre St37 malzemesi uğradı korozyon sonucunda kütle kaybı ve fiziksel değişimler yaşayarak uzun ömürlü bir malzeme olmadığı gözlemlenirken, CTP malzemesinde gözlemlenmemiştir. Aynı hacimde 3mm kalınlığında St37 malzemedan tasarlanan tanker ile 12mm kalınlığında CTP malzemedan tasarlanan tankerlere yapılmış olan statik analizler sonucunda CTP malzemesinin kalınlığı arttırılarak St37 malzemedan tasarlanan tanker ile mukavemetlerinin yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.14 Çelik ve CTP Tanker optimizasyon Parametreleri.

	10m³ CTP Tanker	10m³ St37 Tanker
Tasarım Özgünlüğü	Yüksek	Sınırlı
Tanker Ağırlığı	Hafif	Ağır
Korozyon Dayanımı	Yüksek	Düşük
İmal Edilebilirlik	Kolay	Zor
Uzun Ömürlülük	Uzun Ömür	Kısa Ömür
Yakıt Sarfiyatı	Düşük	Yüksek
Mukavemet	Yüksek	Yüksek

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada dört çeşit gübre içerisine maruz bırakılmış olan CTP ve St37 numunelerinin uğradığı korozyon sonucunda, numunelerin fiziksel görünüşleri, optik görünüşleri, SEM analizleri, XRD analizleri, kütle kayıpları, korozyon hızları araştırılmıştır. Bununla beraber CTP ve St37 malzemesinden tasarlanmış olan tankerlerin statik analizleri araştırılmıştır.

- Belli zaman aralıkları ile optik görüntüleri alınmış ve ağırlıkları tartılmış olan numunelerden St37 numunesinin dış yüzeyinde korozyonla beraber meydana gelen fiziksel değişim gözlemlenirken aynı zamanda tüm St37 numunelerinde kütle kaybı gözlemlenmiştir. CTP numunesinde ise fiziksel olarak bir değişim olmaması ve ağırlığında bir azalma olmadığı gözlemlenmiştir. Can İpek yapmış olduğu çalışmada çelik numunelerin kuru ortamdaki aşınma direnci, korozif ortama göre düşük olduğunu ayrıca hem kuru hem de korozif ortamlarda kompozitlerin aşınma direncinden daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir.
- Belli zaman aralıkları ile mikroyapı analizleri yapılmış olan numunelerden St37 numunesinde meydana gelen çukurlaşmalar yüzeyde belirgin kirlilikler oluşmuştur. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit kalıntıları ve çukurlaşmaların oluştuğu görülmüştür. CTP numunelerinde ise korozyona dair bir belirtiye rastlanmamıştır.
- Korozyon hızının en pik yaptığı numune büyükbaş hayvan gübresi içerisinde bulunan St37 numunesi iken en çok kütle kaybının yaşandığı numune güvercin gübresi içerisinde bulunan St37 numune olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin güvercin gübresinin kimyasal bileşeninde bulunan azotun fazla olması korozyonu hızlandırıp kütle kaybını arttırdığı düşünülmektedir.
- St37 ve CTP malzemelerinden tasarlanmış olan 10m³ hacmindeki tankerlere yapılmış olan sonlu analiz sonucunda 3mm kalınlığında imal edilebilecek bir St37 tanker yerine 12mm kalınlığında imal edilebilecek bir ctp tankerin aynı ağırlık ve kuvvet altında yer değiştirmeleri yaklaşık olarak eşit gözlemlenmiştir. Gözde Demircioğlu artan lif uzunluğu ve oranının, kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetini giderek daha fazla etkilediğini çalışmasında belirtmiştir. Ayrıca eşit hacimlerde tasarlanmış olan tankerlerden CTP malzemesinden tasarlanmış

olan 12mm kalınlığındaki tankerin ağırlığı 702 kg iken st37 malzemesinden tasarlanan 3mm kalınlığındaki tankerin ağırlığı 3504kg olmaktadır. Bu durumda CTP den imal edilecek olan tankerin enerji tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir.

- 10m³ CTP tanker yüzey alanı yaklaşık olarak 26m² geliyorken elyaf kalınlığını 12 kat yani 12mm olarak düşünürsek 312m² lik alanın m² sini 1,15kg reçine kullanılacak şekilde toplamda 359kg reçine kullanılmaktadır. Reçinenin kilosu 7,5 dolar olduğundan 10m³ tankerde reçine maliyetimiz 2.700 dolar olmaktadır. Elyaf maliyetinin m² fiyatı 1,6 dolar, bununla birlikte 312m² için maliyetimiz 560 dolar olmaktadır. Diğer aseton, dondurucu, hızlandırıcı gibi malzemelerin toplam maliyeti 500 dolar olmaktadır. Son olarak işçilik maliyeti 4 işçi 10 gün boyunca günlüğü 70 dolar olacak şekilde toplamda 2800 dolara çıkmaktadır. Toplamda 10m³ CTP tanker maliyeti 6560 dolar olmaktadır. St37 malzemedan imal edilecek olan 3mm kalınlığındaki 10m³ tankerin sac maliyetinin kilogram fiyatı 0,72 dolar 3504kg ağırlığındaki tankerin sac maliyeti 2522 dolar olmaktadır. Bu sacların presleme işlemi, büküm işlemi ve kaynak işlemi için 2 işçi 3 gün presleme, 2 işçi 3 gün büküm, 2 işçi 10 gün kaynak işlemi yapacak şekilde toplamda maliyeti 2240 dolara çıkmaktadır. Diğer kaynak teli, elektrik vb. maliyetlerin toplamı 500 dolar olmaktadır. Toplamda 10m³ St37 malzemedan imal edilen tankerin maliyeti 5262 dolar olmaktadır. Bu durumda St37 malzemedan imal edilen tanker daha düşük maliyette olmasına karşın imalat hatalarına daha müsait olduğu ve kullanım ömrünün daha az olduğu ön görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Demircioğlu G, 2006, Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyutunun Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126s, Ankara.
- Bağcı M, 2010, Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 167s, Konya.
- Türkmen İ, 2012, Cam Elyaf Takviyeli Malzemelerde Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin ve Darbe Dayanımının İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Manisa.
- Asi D, 2017, Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 153s, Uşak.
- Dursun İ, 2018, Cam Elyaf Polimerlerin Değişik Sıcaklıklarda Mekanik Davranışları, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Gebze.
- Sandallı H, 2019, Investigation Of Mechanical Properties And Fatigue Performance Of Carbon – Glass Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites, Graduate School Of Engineering And Sciences Of İzmir Institute Of Technology, Master Of Science, 49s, İzmir.
- Akduman M, 2021, Düşük Karbonlu St37 Yapı Çeliğinin Isıl İşlem Sonrası Yapısı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Karabük.
- Özer H, 2015, Sürekli Cam Elyaf Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 124s, Bursa
- Altan C, 2020, Cam Elyaf Takviyeli Plastik Profiller ile S355JR Kalite Çelik Profillerin Korozif Ortam Aşınma Davranışlarının Karşılaştırılması, Karabük Üniversitesi,

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Karabük

Korku M, 2021, Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerin Farklı Çevresel Koşullardaki Aşınma Özellikleri, Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Kocaeli

Kocakulak T, Kıyaklı A O, Thallapalli V K T, 2021, Modeling of an Electric Tractor and Determining Energy Consumption Values for Different Duties, JB Institute of Engineering & Technology, Mechanical Engineering Department, Automotive Engineering Department, Faculty of Technology, Gazi University, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Technical Sciences of High Vocational School, 7s

Turhan M, 2007, Ctp' lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 168s, Sakarya

Aydınlı E A, 2021, S355JR Kalite Çelik Profiller ile Ctp Profillerin Mekanik Özellikleri ve Yorulma Davranışlarının Karşılaştırılması, Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 45s, Karabük

Yıldız S, 2021, Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) atıklarının geri kazanımı ve yeni hazırlanan kompozitlerde değerlendirilmesi, Kocaeli Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 172s, Kocaeli

Mollicone D, 2021, Preliminary Analysis of the Effects of Different Machining Techniques on Carbon Fibre Epoxy Materials, Ryerson University, Theses and dissertations, 36s, Canada

Shanmugam K, Balasubramanian V, 2014, Influence of chloride ion concentration on immersion corrosion behaviour of plasma sprayed alumina coatings on AZ31B magnesium Alloy, Annamalai University, Department of Manufacturing Engineering, Article, 10s, India

Başlayıcı S, 2014, Magnezyum Alaşımların Farklı Yöntemlerle Hidroksiapatit Kaplanarak Korozyon Hızının Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 114s, İstanbul

- Demirer A, Aydın U, 2016, Cam Elyaf Takviyeli Polyester Malzeme Üretiminde Kalsit Dolgusunun Mekanik Davranışlara Etkisinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16, 5-10
- Doğanay S, 2007, Lif Takviyeli Marina Kompozitlerin Aşınma ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek lisans Tezi, 90s, Bursa
- Güler M S, 2013, Dolgu Malzemesi Özellikleri Dolgu Geometrisi ve Çalışma Şartlarının Dolgulu Dişteki gerilme Dağılımına Etkisinin Sonlu Eleman Yöntemiyle İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 208s, Erzurum
- Taşkaya S, 2017, St37 Çeliğinin Ansys Programında Basınca Bağlı Olarak Mekanik Gerilmelerin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Akademik Yayın, 9s, Elazığ
- Yüksel E, 2005, Çelik Malzemelerin Aşınma ve Korozyon Dayanımını Arttırmak İçin Çeşitli Kimyasal Kaplamaların İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 111s, İstanbul
- Korku M, Feyzullohoğlu E, İlhan R, 2022, Farklı Polyester ve Çekme Katkısı İçeren Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerde Çevresel Koşulların Aşınma Davranışlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi, Araştırma Makalesi, 2147-9429

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.urtmuhendislik.com.tr/amonyak-tanki/>, 18.11.2022
- 2- <http://www.astekniktanker.com/Asteknik/adrlu-aluminyum-tankerler>, 18.11.2022
- 3- <https://ondermekatronik.com/tank-imalati>, 18.11.2022
- 4- <https://rmaplastik.com/>, 18.11.2022
- 5- yildiz.edu.tr, 15.11.2022
- 6- <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/272433>, 03.03.2023

