



**T.C.  
YALOVA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**POLİPROPİLEN/TERMOPLASTİK NİŞASTA POLİMER  
HARMANLARININ ENJEKSİYON UYGULAMALARININ  
GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜRKAN KOÇSIZ**

**DANIŞMAN: DR. ÖĞRETİM ÜYESİ MEHMET ARİF KAYA**

**YALOVA  
TEMMUZ 2022**





T.C.  
YALOVA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

POLİPROPİLEN/TERMOPLASTİK NİŞASTA POLİMER HARMANLARININ  
ENJEKSİYON UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜRKAN KOÇSIZ  
205101008

DANIŞMAN: DR. ÖĞRETİM ÜYESİ MEHMET ARIF KAYA

YALOVA  
TEMMUZ 2022



## **ETİK BEYAN**

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Gürkan KOÇSIZ





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi sürecimde her türlü yol gösterici olan, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimi ile çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan, beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Dr. Öğretim üyesi Mehmet Arif KAYA'ya sonsuz teşekkür ederim.

Tez konularını çalışırken kendi fikir ve tecrübesi ile bana ayrıca destek olan ve cihaz bilgisi ile bana hem cihazları öğreten hem de çalıştığım konuya daha çok hâkim olmamı sağlayan Arçelik AR-GE Polimer ve Kimya Ailesinde beraber çalıştığım arkadaşım Erdal PİLAV'a teşekkür ederim.

Tez konularımı yazarken yanımda olan ve bana verdikleri cesaret ile bu çalışmada katkılarını fedakârlık ile gösteren yakın arkadaşlarıma canı gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımnda bana güvenerek cihazların tümünü kullanmama olanak sağlayan, her konuda bilgi birikimini paylaşan, bana yardımcı olan ve tezimi bitirmem konusunda bana her türlü desteği sağlayan Arçelik Merkez AR-GE Polimer ve Kimya Ailesine ve yöneticilerime bir teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam süresince yanımda olan aileme özellikle de sevgili anneme, babama ve kardeşime teşekkürü bir borç bilirim. Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan sevgili eşim Merve Nur KOÇSIZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Haziran-2022

Gürkan KOÇSIZ



## İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT .....	xix
1. GİRİŞ .....	1
2. POLİMERLER.....	3
2.1. Polimer Çeşitleri.....	4
2.1.1. Termoplastikler.....	4
2.1.2. Termosetler .....	4
2.1.3. Elastomerler.....	5
2.2. Plastiklerin Şekillendirme Teknikleri.....	5
2.2.1. Ekstrüzyon .....	6
2.2.2. Enjeksiyon kalıplama.....	7
3. POLİPROPİLEN.....	11
3.1. Farklı Polipropilen Türleri.....	12
3.2. Polipropilenin Fiziksel Özellikleri .....	13
3.3. Polipropilenin Kimyasal Özellikleri.....	13
4. NİŞASTA.....	14
4.1. Nişastanın Özellikleri .....	14
4.2. Nişastadan Üretilen Plastikler .....	16
5. TERMOPLASTİK NİŞASTA .....	17
5.1. Termoplastik Nişastanın Tarihçesi .....	21
5.2. Termoplastik Nişastanın (TPS) Önemi; .....	22
5.3. TPS/PP Karışımları .....	23
6. DENEYSEL KISIM.....	25
6.1. Kullanılan Kimyasallar.....	25
6.2. Termoplastik Nişasta Örneklerinin Hazırlanması .....	27
6.3. PP/TPS Harmanlarının Hazırlanması.....	28



6.4. Karakterizasyonlar.....	31
6.4.1. Çekme Testi.....	31
6.4.2. Eğme Testi.....	32
6.4.3. İzod (Darbe) Testi.....	32
6.4.4. Yoğunluk Testi.....	33
6.4.5. MFI Testi.....	34
7. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	35
7.1. Çekme Testi Analizi.....	35
7.2. Örneklerin Eğme Testi Analizi.....	38
7.3. Örneklerin Darbe (İzod) Testi Analizi.....	41
7.4. Örneklerin Yoğunluk Analizleri.....	44
7.5. Örneklerin Akış Özellikleri (MFI).....	45
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49



## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

### KISALTMALAR

HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
MA	: Maleik Anhidrit
MTPS	: Maleatlanmış termoplastik nişasta
PP	: Polipropilen
PP-g-MA	: Maleik anhidrit aşılınmış polipropilen
PLA	: Poli laktik asit
PCL	: Polikaprolakton
PEO	: Polietilen oksit
PHB	: Poli(3-hidroksibutirat)
PGA	: Poliglikolik asit
PS	: Polistiren
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVA	: Polivinil alkol
PCLP	: Polilaktikkaprolakton
PHBV	: Poli(3-hidroksibutirat-ko-3-hidroksivalerat)
PBAT	: Polibütilen adipat-ko-tereftalat
TPS	: Termoplastik Nişast



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1 Doğal nişasta türlerinin özellikleri .....	14
Tablo 4.2 Amiloz ve amilopektin arasındaki önemli farklar.....	15
Tablo 6.1 Polimer matrisi olarak kullanılan polipropilenin özellikleri.....	25
Tablo 6.2 TPS/PP üretiminde kullanılan kimyasalların özellikleri.....	26
Tablo 6.3 Eriyik karıştırma yöntemi ile hazırlanan tüm TPS numunelerinin içerikleri .....	29
Tablo 7.1 Çekme testi analizleri .....	36
Tablo 7.2 Eğme testi analizleri .....	39
Tablo 7.3 İzod darbe testi analizi .....	42
Tablo 7.4 Yoğunluk analizi .....	44
Tablo 7.5 Erime akış indeksi (MFI) analizi.....	47



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Plastik ve elastomerler için tek vidalı bir ekstrüzyon makinasının (ekstrüderin) elemanları ve özellikleri.....	6
Şekil 2.2 Silindir içindeki bir ekstrüder vidasının ayrıntıları.....	7
Şekil 2.3 Enjeksiyon kalıplamada makine şeması .....	8
Şekil 2.4 Enjeksiyon kalıbının şeması .....	9
Şekil 2.5 Enjeksiyon kalıbından çıkan teste alınacak ürünler.....	10
Şekil 5.1 LDPE/TPSS karışımlarının SEM yüzey mikrografı: (a) ağırlıkça %10, (b) ağırlıkça %30 ve (c) ağırlıkça %50 sago nişastası yüklemesi.....	19
Şekil 5.2 LDPE/Pirinç nişastası karışımları, LDPE/Pirinç nişastası/gliserol karışımları.....	20
Şekil 5.3 Nişasta ve anhidritin hidroksil grupları arasındaki kimyasal reaksiyon PP-g-MA grupları.....	24
Şekil 6.1 Prizm marka ekstrüder.....	27
Şekil 6.2 TPS üretim şeması.....	27
Şekil 6.3 TPS/PP harmanının hazırlanması.....	28
Şekil 6.4 Enjeksiyon cihazı .....	30
Şekil 6.5 Enjeksiyondan kalıptan çıkmış test çubukları.....	30
Şekil 6.6 TPS/PP çekme çubuklarının Zwick çekme cihazında test edilmesi.....	31
Şekil 6.7 TPS/PP çekme çubuklarının Zwick eğme cihazında test edilmesi.....	32
Şekil 6.8 TPS/PP çekme çubuklarının Zwick darbe izod cihazında test edilmesi.....	33
Şekil 6.9 Yoğunluk ölçüm cihazı.....	33
Şekil 6.10 Akış Özellikleri (MFI) Analiz Cihazı .....	34
Şekil 7.1 Saf PP ve uyumlaştırıcı içermeyen TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait çekme testi mekanik özellikler.....	36
Şekil 7.2 Saf PP ve uyumlaştırıcı olarak karbodiimid içeren TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait mekanik özellikler.....	37
Şekil 7.3 Uyumlaştırıcı olarak PP-g-MA içeren TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait mekanik özellikler.....	38
Şekil 7.4 Saf PP ve uyumlaştırıcı içermeyen TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait eğme testi mekanik özellikler.....	39
Şekil 7.5 Saf PP ve uyumlaştırıcı olarak karbodiimid içeren TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait eğme testi mekanik özellikler.....	40
Şekil 7.6 Uyumlaştırıcı olarak PP-g-MA içeren TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait mekanik özellikler.....	41



Şekil 7.7 Saf PP ve uyumlaştırıcı içermeyen TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait izod darbe testi mekanik özellikler.....	42
Şekil 7.8 Saf PP ve uyumlaştırıcı olarak karbodiimid içeren TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait izod darbe testi mekanik özellikler.....	43
Şekil 7.9 Uyumlaştırıcı olarak PP-g-MA içeren TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait izod darbe testi mekanik özellikler.....	43
Şekil 7.10 TPS/PP harmanlarının yoğunluk analizi.....	45
Şekil 7.11 TPS/PP harmanlarının akış özellikleri (MFI) testi analizi .....	48





# POLİPROPİLEN/TERMOPLASTİK NİŞASTA POLİMER HARMANLARININ ENJEKSİYON UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ

## ÖZET

Mevcut araştırma çalışmaları, petrolden elde edilen malzemelerin yarattığı sorunları çözmek amacıyla çevre dostu malzeme tedarikine odaklanmaktadır. Nişasta yenilenebilir, tamamen biyolojik olarak bozunabilir ve düşük maliyetle kolayca temin edilebildiği için biyokompozit malzemeler üretmek için umut verici bir biyopolimerdir. Termoplastik nişasta (TPS) kendi başına düşük gerilme mukavemeti ve ciddi deformasyonlar gibi zayıf mekanik özellikler sergiler ve bu da ambalaj veya filmlerdeki uygulamasını sınırlar. Ek olarak, TPS yüksek higroskopiklik sunar. Nişasta matrisinde takviye maddelerinin kullanılması, bu dezavantajların üstesinden gelmek için etkili bir yoldur. Polipropilen biyolojik olarak bozunabilir takviyeler yeni ve ucuz polimer harmanları geliştirmek için kullanılmıştır.

Termoplastik türevi (TPS) formundaki nişasta, geleneksel olarak paketlenme için kullanılan sentetik polimerlerin yerine kullanılmaya uygun bir aday olarak ortaya çıkmıştır. Nişasta gerçek bir termoplastik polimer değildir, ancak jelatinleşmesinden sonra yeterli su ve/veya plastikleştiricilerle karıştırılarak işlenebilir. Çoğu çalışmada malzemenin plastikleştirilmesi bir nişasta dispersiyonu gliserol ile dökülerek gerçekleştirilir.

TPS filmlerinin gazlara karşı düşük geçirgenliğe, zayıf su buharı bariyer özelliklerine sahip olduğu ve ambalajlamada kullanımlarından kaynaklanan gerilimlere direnmesi gerektiği bildirilmektedir.

TPS nin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile polipropilen esaslı polimer harmanları hazırlandı. Hazırlanan polimer harmanlarında farklı uyumlaştırıcıların mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelendi. Termoplastik nişastanın polipropilen ile hazırlanan harmanlarında mekanik özelliklerinde artan termoplastik nişastanın oranına bağlı olarak azalmalar olduğu bunun yanında farklı uyumlaştırıcıların devreye alınması ile kabul edilebilir ölçüde mekanik performans sergileyen örneklerin hazırlanabileceği sonucuna ulaşıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen, Termoplastik nişasta, Ambalaj, Uyumlaştırıcı, Mekanik Özellikler



## **DEVELOPMENT OF INJECTION APPLICATIONS OF POLYPROPYLENE/THERMOPLASTIC STARCH POLYMER BLENDS**

### **ABSTRACT**

Current research studies focus on the supply of environmentally friendly materials with the aim of solving the problems posed by petroleum derived materials. Starch is a promising biopolymer for producing biocomposite materials as it is renewable, fully biodegradable and readily available at low cost. Thermoplastic starch (TPS) by itself exhibits poor mechanical properties such as low tensile strength and severe deformations, limiting its application in packaging or films. In addition, TPS offers high hygroscopicity. The use of reinforcements in the starch matrix is an effective way to overcome these disadvantages. Polypropylene biodegradable supplements have been used to develop new and inexpensive polymer blends. Thermoplastic starch (TPS) has emerged as a viable alternative to synthetic polymers used in packaging. Although starch is not a real thermoplastic polymer, it can be treated by combining it with water and/or other plasticizers.

Polypropylene-based polymer blends were created to improve the mechanical qualities of TPS. Different compatibilizers were tested to see how they affected the mechanical properties of the polymer blends.

It was determined that the mechanical qualities of thermoplastic starch-polypropylene blends deteriorated as the quantity of thermoplastic starch increased, and that samples with acceptable mechanical performance could be created by introducing various compatibilizers.

**Keywords:** Polypropylene, Thermoplastic starch, Packaging, Compatibilizer, Mechanical properties



## 1. GİRİŞ

Biyolojik olarak parçalanabilen ve biyolojik olarak emilebilen polimerler üzerine yapılan araştırmalar artan bir ilgi görmüştür. En popüler ve önemli biyolojik olarak parçalanabilen polimerler olarak poli laktik asit (PLA), polikaprolakton (PCL), polietilen oksit (PEO), poli(3-hidroksibutirat) (PHB), poliglikolik asit (PGA) ve termoplastik nişasta (TPS) örnekleri verilebilir. TPS ise bu alternatifler arasında en ilgi çekici malzemelerden biri olarak kabul edilir.

TPS, doğal nişastanın gliserol, sorbitol, bisformamid ve formamid gibi bir plastikleştirici mevcudiyetinde plastikleştirilmesiyle üretilir. Plastikleştiricilerin kimyasal yapısı ve kullanılan miktar, TPS performansında önemli bir rol oynar su ve polioller dahil olmak pek çok plastikleştirici bu amaçla araştırılmıştır. Ayrıca üre ve sitrik asit gibi bileşikler de bu maksatla kullanılmıştır.

Bununla birlikte, çoğu plastiğe kıyasla TPS'nin iki ana dezavantajı vardır. Suda yüksek oranda çözünür ve zayıf mekanik özelliklere sahiptir. Bu özellikler, belirli sentetik polimerlerle karıştırılarak geliştirilebilir. Polistiren (PS), polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi petrokimyasallardan üretilen sentetik polimerler, ambalaj, otomotiv, sağlık uygulamaları ve iletişim veya elektronik endüstrileri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılır.

Bununla birlikte, bu geleneksel sentetik polimerler biyobozunur özellik taşımadıklarından yüksek miktarlarda üretilerek kullanılmaları ve sonrasında atık olarak karşımıza çıkmaları nedeniyle, çevre için ciddi bir tehdit oluşturmaktadırlar.

Termoplastik özellikte, yüksek mukavemete sahip, biyolojik olarak parçalanabilir özellik taşıyan Polilaktik asitin (PLA), son yıllarda birçok alanda çalışmalara konu olduğu bilinmektedir. PLA özellikle tek kullanımlık plastik esaslı ürünler için petrol bazlı plastiklere önemli bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Yüksek maliyeti PLA'nın yaygınlaşması önündeki en önemli engel olduğu söylenebilir.

Tek kullanımlık veya kısa süreli uygulamalar için TPS yenilenebilir özelliği ve düşük maliyeti ile PLA'ya alternatif olarak öne çıkmaktadır. TPS'nin zayıf mekanik özelliklerinin üstesinden gelmek için LDPE, PP, PS gibi sentetik polimerlerle performanslı polimer harmanları hazırlanabilmektedir.

Bu çalışmada PP/TPS esaslı polimer harmanlarının enjeksiyon uygulamalarına yönelik olarak hazırlanması ve performans özelliklerinin incelenmesi hedeflendi. Bu maksatla saf nişasta ve gliserin kullanımı ile TPS örnekleri hazırlandı. Hazırlanan TPS örnekleri farklı oranlarda PP matrisine eriyik harmanlama yöntemi ile ilave edildi, İlave olarak PP/TPS polimer harmanlarının hazırlanmasında reçeteye uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (PP-g-MA) farklı oranlarda eklenerek uyumlaştırıcı içeren örnekler hazırlandı. Ayrıca PP/TPS polimer harmanlarına Stabaxol ticari isimli karbodiimid bileşiği eklenerek farklı örnekler hazırlandı. Eriyik harmanlama işlemi sonrasında granül formunda elde edilen tüm PP/TPS polimer harman örnekleri enjeksiyon yöntemi ile test numuneleri formuna şekillendirildi.

Hazırlanan test numunelerinin gerilime, eğilmeye ve darbeye karşı sergiledikleri mekanik performans özellikleri ve yoğunluk değerleri tespit edildi. Örneklerin enjeksiyon uygulamaları için önemli bir parametre olan akış özellikleri ise Eriyik Akış İndisi (MFI) değerlerinin belirlenmesi ile incelendi. Elde edilen saf PP, PP/TPS, PP-g-MA içeren PP/TPS ve karbodiimid içeren PP/TPS örneklerine ait sonuçlar kıyaslamalı olarak değerlendirildi.

## 2. POLİMERLER

Polimerler günlük hayatta pek çok alanda karşımıza çıkan büyük moleküllerdir. Vücudumuzda bulunan polimerler enzimler veya proteinler ve bitkilerde olan polimerler ise selüloz veya nişasta gibi yapılardır. Fakat insanlar normal hayatta polimer diye duyduklarında akla ilk gelen plastikler veya kauçuklardır [1].

Polimer malzemeler birçok açıdan farklıdır. Seramiklerden tutunda metallere ve küçük organik moleküllere kadar. Bu farklılıkları şu şekilde açıklayabiliriz;

Monomer, en küçük mol kütleli kimyasal maddelere denir. Birbirine kovalent bağ ile bağlanarak bu sayede daha büyük moleküller oluşturur. Oluşan orta büyük haldeki bu moleküllere Oligomer adı verilir. Fakat yüzlerce monomerin bir araya gelerek oluşturduğu daha büyük makro moleküllere polimer denir. Çok sayıda monomerin oluşturduğu uzun yapılı bir polimer molekülü aynı zincir yapısına benzediği için buna Polimer Zinciri adı verilir.

Polimerin bulunduğu çözelti, sıcaklık ve basınç gibi koşullara göre konformasyonu değişik şekiller alabilir. Konformasyon şekilleri 2 adettir;

Tam uzamış polimer zinciri konformasyonu (Çubuk gibi) ve tam büzülme şeklini almış (yumak) gibi. Bu iki ayrı uçta bulunan geometrik düzendir ve yüksek enerji seviyesinde bulunurlar. Genellikle bu iki ucun arasındaki geometriyi tercih ederler ve rasgele büzülmüş konformasyonda bulunurlar [2].

Polimerler zincir yapılarının fiziksel durumunun şekline göre kendi arasında 4'e ayrılır;

- Lineer (doğrusal)
- Dallanmış
- Çapraz bağlı
- Ağ yapılı

Lineer (Doğrusal) polimerler

Ana zincire sadece yan grubun bağlı olduğu bir polimerdir. Defalarca eritilip, sonra yeniden defalarca şekil verilebilir. Sünek bir yapıda olabilirler.

Dallanmış polimerler

Ana zincire kovalent bağ ile bağlanarak ayrılan dal görünümdeki başka zincirlerin olmasıdır. Yan dal olarak ayrılan yapıların üzerinde başka dallanma da olabilir.

Çapraz bağlı polimerler

Ana zincirde oluşan yan dallanmaların tekrar daha farklı bir ana zincire bağlanması ile oluşur. Çözünmeleri yoktur fakat emme yetenekleri sayesinde şişebilirler [3].

Ağ yapılı polimerler

Birden fazla fonksiyonlu monomerlerin ağimsı yapıyı 3 boyutlu olarak oluşturdukları yapıdır. Çok fazla sayıda aktif kovalent bağa sahip yapılardır.

## **2.1. Polimer Çeşitleri**

Polimerler pek çok değişik çeşitte bulunabilir fakat iki ana başlık altında bulunabilirler. Doğal yollarla kendi kendine oluşmuş polimerler ve insan eliyle sentetik olarak oluşturulmuş polimerler şeklinde ikiye ayırabiliriz. Ayrıca polimerler genel olarak 3 başlık altında toplanabilir [4].

### **2.1.1. Termoplastikler**

Plastikler klasik halk dilindeki kelime anlamına karşılık gelir ve birçok kez ısıtılarak yeniden birçok kez şekillendirilebilirler. Günümüzde en çok kullanılır. Çoğunlukla doğrusal zincirler bulundurlar. Mukavemetleri oldukça düşüktür. Yaygın olarak kullanılan örnekleri; polistiren (PS), polietilen (PE) [5].

### **2.1.2. Termosetler**

Termoset reçine veya termoset polimerler olarak da adlandırılan termoset plastikler, tipik olarak oda sıcaklığında sıvıdır ve daha sonra ısıtıldığında veya kimyasal bir ilave ile sertleşir. Genellikle reaksiyon enjeksiyonlu kalıplama (RIM) veya reçine transfer kalıplama (RTM) kullanılarak üretilirler ve kütleme işlemi sırasında kalıcı kimyasal bağlar oluştururlar. Malzeme içindeki monomer zincirleri arasındaki çapraz bağlar olarak adlandırılan bu kimyasal bağlar, molekülleri yerinde tutar ve malzemenin yapısını değiştirerek erimesini ve sıvı hale dönmesini engeller. Isıtıldığında, termoset plastikler belirli bir forma dönüşür, ancak aşırı ısınma, sıvı faza girmeden bozunmalarına neden olabilir.

Termoset plastikler, daha büyük yapısal bütünlükleri ve hem ısıya hem de kimyasallara karşı dirençleri nedeniyle elektronik muhafazalar ve cihazlar veya kimyasal işleme ekipmanları gibi ısının bir faktör olduğu durumlarda kullanım için idealdir. Deformasyona ve darbeye direnebilen yaygın termosetler, kompozitlerde sıklıkla kullanılan epoksi reçineleri, poliimid ve fenolik içerir. [6].

### **2.1.3. Elastomerler**

Elastomer esnekliği fazla olan büyük moleküllü maddedir. Sentetik kauçuk ve kauçuk niteliğinde plastik maddeler birer elastomerdir. Bir maddenin elastomer sayılması için esnetildikten sonra aynen değilse bile eskisine çok yakın biçimini alması gerekir. Örneğin çelik ya da bazı plastikler esnek oldukları halde elastomer değildirler. Ancak bir kauçuk tel beş kat çekilip uzatıldığı halde, serbest bırakılınca elastomer özelliği nedeniyle hemen hemen eski uzunluğuna döner.

Sanayide geniş kullanma alanı bulunan elastomerler, doğal kauçuğun üretime yetmemesi üzerine onun yerini tutacak maddelerin araştırılması sırasında bulunmuştur [7].

### **2.2. Plastiklerin Şekillendirme Teknikleri**

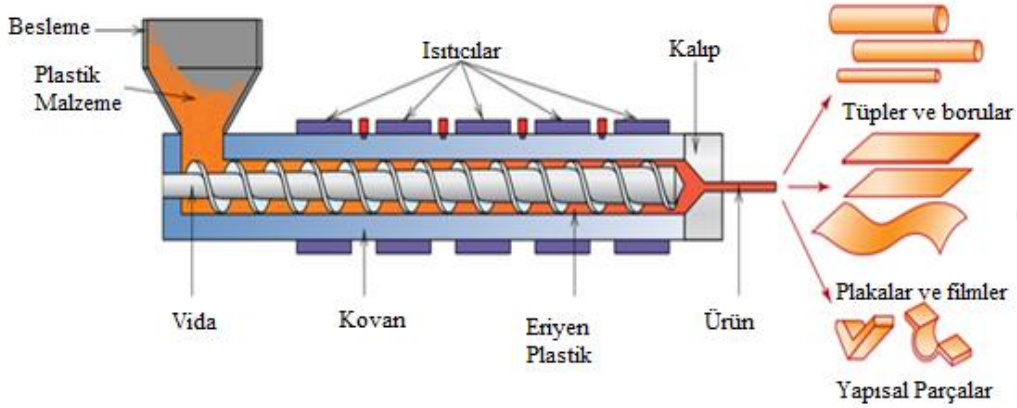
Plastik şekillendirmede, plastik malzemeler basitçe yeni bir şekle dönüştürülür. Malzemenin sıvı veya yarı sıvı halde olması gereken daha geleneksel kalıplama yöntemlerinden farklı olarak, şekillendirme yalnızca malzemenin yeni bir şekle dönüştürülecek kadar yumuşak ve sünek olmasını gerektirir. Şekillendirme asırlık bir tekniktir ve her türlü malzeme ile her türlü şekilde kullanılmıştır: ıslak kil tokatlanarak şekillendirilir, odun buharda pişirilir ve bükülür, bitki dokuları bir macun haline getirilir ve daha sonra yassılaştırılır ve kurutulur. Plastiklerin oluşumu o kadar da farklı değildir, ancak biraz yardımın (ısı, basınç vb.) yanı sıra farklı türde bir işleme ihtiyaç duyabilirler.

Plastik şekillendirme genellikle açık (veya tek taraflı) kalıpların veya masterların veya fikstürlerin veya kalıpların veya bunların bir kombinasyonunun kullanımını içerir. Bazı yaygın yöntemler, vakumla şekillendirme ve basınçla şekillendirmeyi içerir, diğeri ise plastik kaynaktır. Plastiklerin ekstrüzyonu hem şekillendirme hem de kalıplama unsurlarını içeren benzer bir işleme teknolojisidir [7].

### 2.2.1. Ekstrüzyon

Plastik ekstrüzyon, istenen katkı maddeleriyle zenginleştirilmiş bir polimer malzemenin sürekli bir işlemde eritilip oluşturulduğu normalde yüksek hacimli bir üretim işlemidir.

Katı haldeki malzemeler, bir kuvvet veya basınç uygulanarak istenilen şekillere getirilir. İşlenecek malzeme nispeten sert ve stabil bir durumda ve çubuk, levha, pelet veya toz gibi formlarda olabilir veya yumuşak, plastik veya macunsu bir formda olabilir. Katı malzemeler sıcak veya soğuk olarak şekillendirilebilir. Metallerin katı halde işlenmesi iki ana aşamaya ayrılabilir: birincisi, büyük külçeler veya kütükler şeklindeki hammaddeler, genellikle haddeleme, dövme veya ekstrüzyon yoluyla daha küçük şekil ve boyutlara sıcak işlenir; ikincisi, bu şekiller, bir veya daha fazla küçük ölçekli sıcak veya soğuk şekillendirme prosesi ile nihai parçalara ve ürünlere işlenir.



Şekil 2.1 Plastik ve elastomerler için tek vidalı bir ekstrüzyon makinasının (ekstrüderin) elemanları ve özellikleri [9]

Bir ekstrüderin iki önemli bölümü vardır;

1.Kovan

2. Vida

Kalıp ekstrüderin parçası değildir. Bu belirli bir profil elde etmek için üretilmiş bir takımdır.

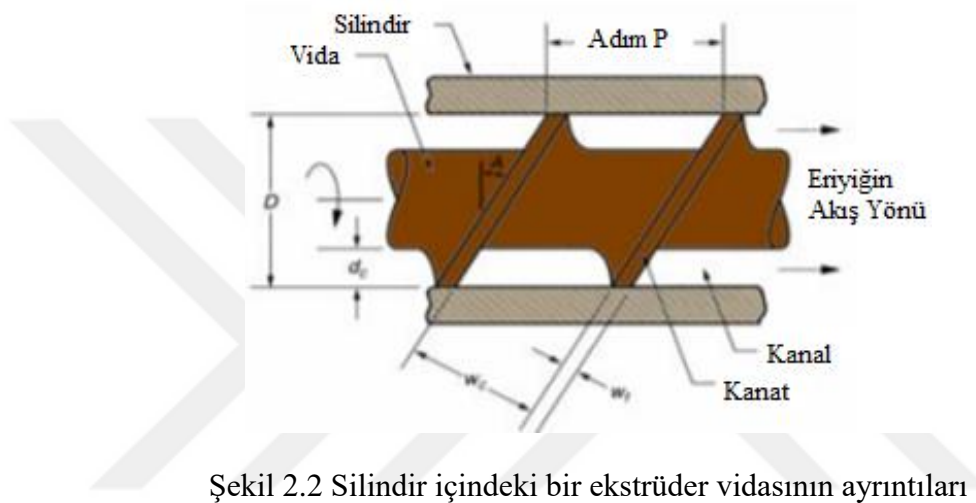
Beslenen polimerik malzeme vida yardımı ile kovan içinde ötelenir. Beslenen malzeme elektrikli ısıtıcılar yardımı ile yumuşatılır ve eritilir. Karıştırma ve mekanik

zorlama ile oluşan ısı, eriyiğin ısınmasına katkıda bulunur. Ekstrüder Vidası, değişik işlemlere sahip bölümlerden oluşur;

Besleme bölümü: Malzeme besleme hunisinden alınır ve ısıtılır.

Basınç bölümü: Polimer eriyiğe dönüştürülür, karıştırılır ve malzeme basınç altında kalır.

Şekillendirme bölümü: Eriyik homojenize edilmek ve kalıp boşluğuna doldurmak için yeterli basınç oluşturulur [10].



### 2.2.2. Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyon kalıplama, ısı ile erimiş plastik malzemelerin bir kalıba enjekte edilmesi ve ardından soğutulması ve katılaştırılmasıyla kalıplanmış ürünler elde etme yöntemidir.

Enjeksiyon kalıplamanın ilk aşaması, kalıbın kendisini oluşturmaktır. Çoğu kalıp metalden, genellikle alüminyum veya çelikten yapılır ve üretilecekleri ürünün özelliklerine uyacak şekilde hassas bir şekilde işlenir [37].

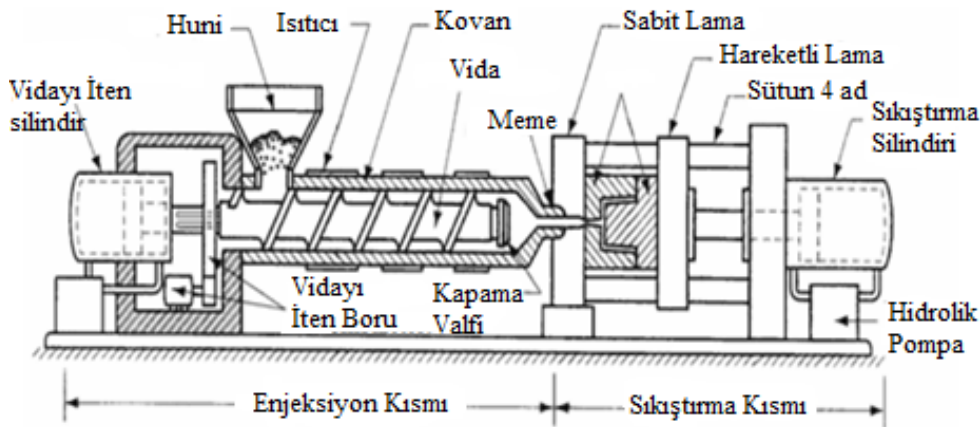
Yöntem, karmaşık şekillere sahip ürünlerin seri üretimi için uygundur ve plastik işleme alanında büyük bir yer tutar.

Enjeksiyon kalıplama işlemi, aşağıda gösterildiği gibi 6 ana adıma ayrılmıştır.

1. Sıkıştırma
2. Enjeksiyon
3. Konut
4. Soğutma
5. Kalıp açma
6. Ürünlerin kaldırılması

Enjeksiyon kalıplama makinesi, sıkıştırma ünitesi ve enjeksiyon ünitesi olmak üzere 2 üniteye ayrılmıştır. Kapatma ünitesinin işlevleri, bir kalıbın açılması ve kapatılması ve ürünlerin çıkarılmasıdır. Aşağıdaki şekilde gösterilen mafsalı tip ve bir kalıbın doğrudan hidrolik silindir ile açılıp kapatıldığı düz-hidrolik tip olmak üzere 2 çeşit bağlama yöntemi vardır [11].

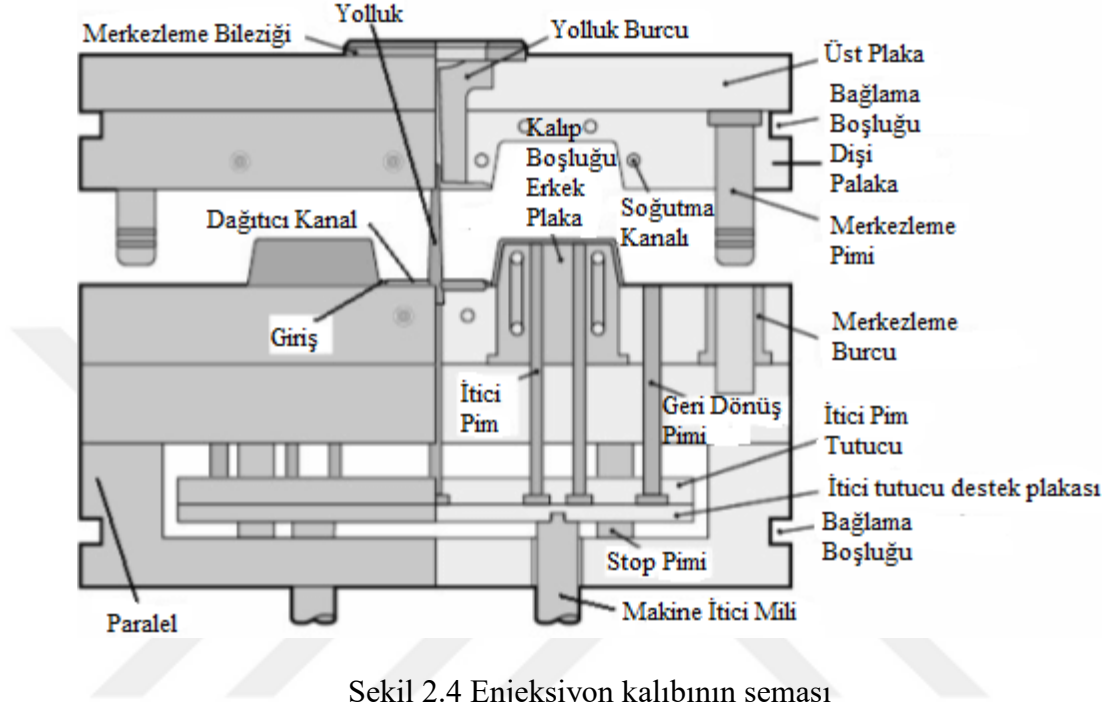
Enjeksiyon ünitesinin işlevleri, plastiği ısı ile eritmek ve daha sonra erimiş plastiği bir sıvıya enjekte etmektir. Vida, huniden gelen plastiği eritmek ve erimiş plastiği vidanın önünde biriktirmek için döndürülür (ölçme olarak adlandırılır). Gerekli miktarda erimiş plastik biriktirildikten sonra enjeksiyon işlemine geçilir. Erimiş plastik bir kalıp içinde akarken, makine vidanın hareket hızını veya enjeksiyon hızını kontrol eder. Öte yandan, erimiş plastik boşlukları doldurduktan sonra kalma basıncını kontrol eder. Hız kontrolünden basınç kontrolüne geçiş konumu, vida konumu veya enjeksiyon basıncının belirli bir sabit değere ulaştığı noktada ayarlanır.



Şekil 2.3 Enjeksiyon kalıplamada makine şeması

Kalıp, içine erimiş plastiğin belirli bir sabit şekilden enjekte edildiği içi boş bir metal bloktur. Aşağıda gösterilen şekilde gösterilmemesine rağmen, aslında sıcak su, yağ veya ısıtıcılar vasıtasıyla sıcaklık kontrolü için blokta birçok delik açılmıştır.

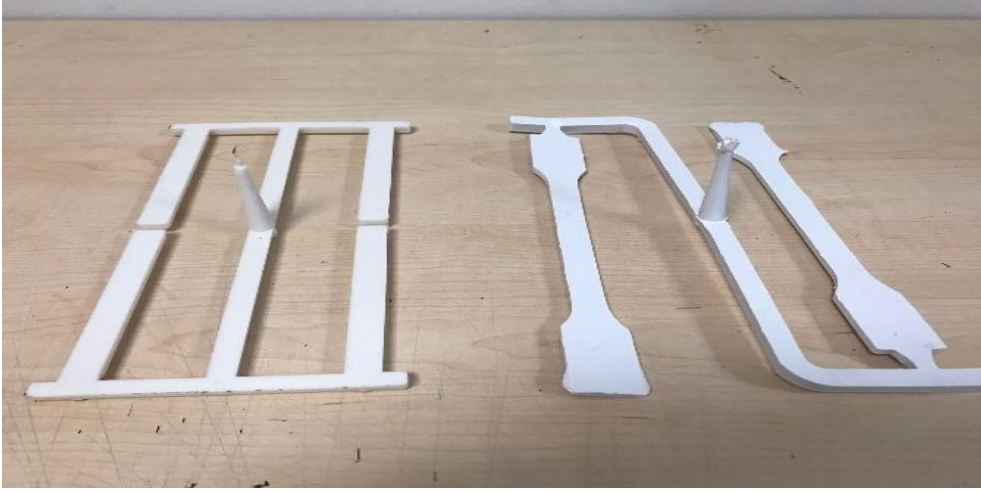
Erimiş plastik bir ladin vasıtasıyla bir kalıba akar ve boşlukları yolluklar ve kapılar yoluyla doldurur. Ardından, soğutma işleminden sonra kalıp açılır ve enjeksiyon kalıplama makinesinin ejektör çubuğu, kalıpları daha fazla çıkarmak için kalıbın ejektör plakasını iter.



Bir kalıplama, erimiş reçineyi sokmak için bir yolluk, onu boşluklara yönlendirmek için bir yolluk ve ürünlerden oluşur. Tek seferde sadece bir ürün elde etmek çok verimsiz olduğu için, bir kalıp genellikle bir koşucu ile bağlantılı birden fazla oyuga sahip olacak şekilde tasarlanır, böylece bir atışta birçok ürün yapılabilir.

Kalıplama koşulu, gerekli kalıpları elde etmek için bir kalıplama makinesinde ayarlanan silindir sıcaklığı, enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı vb. anlamına gelir ve koşul kombinasyonlarının sayısı sayısızdır. Seçilen koşullara bağlı olarak, kalıplanmış ürünlerin görünümleri, boyutları ve mekanik özellikleri önemli ölçüde değişmektedir.

Bu nedenle, en uygun kalıplama koşullarını seçmek için iyi denenmiş teknoloji ve deneyim gereklidir [38].



Şekil 2.5 Enjeksiyon kalıbından çıkan teste alınacak ürünler

Pervazlar arasındaki yolluklar ve yolluklar ürün değildir. Bu kısımlar bazen atılır, ancak çoğu durumda yeniden öğütülür ve kalıplama malzemeleri olarak yeniden kullanılır. Bu malzemelere yeniden işlenmiş malzemeler denir. Yeniden işlenmiş malzemeler, yalnızca kalıplama için malzeme olarak kullanılmaz, ancak ilk kalıplama işlemi nedeniyle plastiklerin çeşitli özelliklerinde bozulma olasılığı olduğundan, genellikle işlenmemiş peletler ile karıştırıldıktan sonra kullanılır. Yeniden işlenmiş malzemelerin oranı için izin verilen maksimum sınır yaklaşık %30'dur, çünkü yeniden işlenmiş malzemelerin çok yüksek oranı kullanılan plastiklerin orijinal özelliklerini bozabilir.

### 3. POLİPROPİLEN

Polipropilen (PP), propilen monomerlerinin polimerizasyonu ile üretilen termoplastik bir “ilave polimerdir”. Tüketici ürünleri için ambalajlar, otomotiv endüstrisi dahil olmak üzere çeşitli endüstriler için plastik parçaları, hareketli menteşeler gibi özel cihazları ve tekstilleri içerecek şekilde çeşitli uygulamalarda kullanılır.

Natta, 1954'te İspanya'da ilk polipropilen reçinesini sentezledi ve polipropilenin kristalleşme yeteneği büyük heyecan yarattı. 1957'de popülaritesi patladı ve Avrupa çapında yaygın ticari üretim başladı. Bugün dünyada en çok üretilen plastiklerden biridir.

Bazı raporlara göre, malzemeye yönelik mevcut küresel talep, yıllık yaklaşık 45 milyon tonluk bir pazar oluşturuyor ve talebin 2020 yılına kadar yaklaşık 62 milyon tona yükseleceği tahmin ediliyor. Polipropilenin başlıca son kullanıcıları, toplamın yaklaşık %30'unu tüketen ambalaj endüstrisidir ve bunu, her birinin yaklaşık %13'ünü kullanan elektrik ve ekipman imalatı izlemektedir. Beyaz eşya ve otomotiv sektörlerinin her ikisi de %10'luk bir pay tüketirken, bunu %5 ile inşaat malzemeleri takip etmektedir. Diğer uygulamalar birlikte küresel polipropilen tüketiminin geri kalanını oluşturur.

Oda sıcaklığında yağlar gibi organik çözücülere karşı olağanüstü bir dirence sahiptir, ancak daha yüksek sıcaklıklarda oksidasyona maruz kalır. Diğer avantajlardan biri, polipropilenin, daha hızlı prototip geliştirmeye olanak tanıyan ve diğer prototipleme yöntemlerinden daha ucuz olan, talaşlı işlemler ile şekillendirilebilmesidir.

Polipropilenin bir başka avantajı, polietilen gibi diğer polimerlerle kolayca kopolimerize edilebilmesidir. Kopolimerizasyon, malzeme özelliklerini önemli ölçüde değiştirerek, saf polipropilen ile mümkün olandan daha sağlam mühendislik uygulamalarına izin verir.

Polipropilenin en önemli özelliklerinden bazıları şunlardır:

**Kimyasal Direnç:** Seyreltilmiş bazlar ve asitler, polipropilen ile kolayca reaksiyona girmez, bu da onu temizlik maddeleri, ilk yardım ürünleri ve daha fazlası gibi bu tür sıvıların bulunduğu kaplar için iyi bir seçim haline getirir.

Elastikiyet ve Tokluk: Polipropilenin, belirli bir sapma aralığında elastikiyetle hareket eder, ancak aynı zamanda deformasyon sürecinin başlarında plastik deformasyona uğrar, bu nedenle genellikle "sert" bir malzeme olarak kabul edilir. Tokluk, bir malzemenin kırılmadan şekil değiştirme yeteneği olarak tanımlanan bir mühendislik terimidir [12].

Yorulma Direnci: Polipropilen, çok fazla burulma, bükülme ve/veya esnemenin sonra şeklini korur. Bu özellik özellikle hareketli menteşeler yapmak için değerlidir.

Yalıtım: polipropilen elektriğe karşı çok yüksek bir dirence sahiptir ve elektronik bileşenler için çok kullanışlıdır.

İletkenlik: Polipropilen şeffaf hale getirilebilse de normalde doğal olarak opak renkte üretilir. Polipropilen, bir miktar ışık transferinin önemli olduğu veya estetik değerin olduğu uygulamalar için kullanılabilir.

### **3.1. Farklı Polipropilen Türleri**

Mevcut iki ana polipropilen türü vardır: homopolimerler ve kopolimerler. Kopolimerler ayrıca blok kopolimerler ve rastgele kopolimerler olarak ikiye ayrılır.

Her kategori, belirli uygulamalara diğerlerinden daha iyi uyar. Polipropilen, belirli bir amaca en iyi şekilde hizmet etmek için değiştirilebileceği veya özelleştirilebileceği çeşitli şekillerden dolayı genellikle plastik endüstrisinin "çeliği" olarak adlandırılır.

Bu genellikle ona özel katkı maddeleri ekleyerek veya çok özel bir şekilde üreterek elde edilir. Bu uyarlanabilirlik hayati bir özelliktir.

Homopolimer polipropilen, genel amaçlı bir kalitedir. Blok kopolimer polipropilen, bloklar halinde (yani, düzenli bir düzende) düzenlenmiş ko-monomer birimlerine sahiptir ve %5 ila %15 arasında herhangi bir yerde etilen içerir. Etilen, darbe direnci gibi belirli özellikleri geliştirirken, diğer katkı maddeleri diğer özellikleri geliştirir. Rastgele kopolimer polipropilen- blok kopolimer polipropilenin aksine polipropilen molekülü boyunca düzensiz veya rastgele desenlerde düzenlenmiş ko-monomer birimlerine sahiptir.

### 3.2. Polipropilenin Fiziksel Özellikleri

Polipropilen (PP) sert, opak ve sağlam bir malzemedir. Düşük özgül ağırlığa sahiptir, suda yüzebilir. En yaygın ticari polipropilenin kristal yapısı, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) arasında bir seviyededir. LDPE'den daha az sert ve HDPE'den çok az gevrek bir yapıdadır. Elektriksel olarak yalıtkan bir malzemedir. Düşük yüzey pürüzlülük değeri sayesinde sürtünme direnci de düşüktür. Düşük yüzey pürüzlülük değerleri, malzemelerin gıda saklama kaplarında kullanılmasına olanak sağlar. Polipropilen, tekrar eden dinamik yüklere karşı dayanıklıdır. Dinamik tekrar eden yüklemeler karşısında malzeme yüzeyinde çatlak oluşumuna karşı dirençlidir. Ultraviyole ışınlarına karşı dayanıksızdır. Polipropilen malzemelerin sıcaklığa maruz kaldıktan sonra genleşme katsayısını yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak bu genleşme katsayısı polietileninki kadar yüksek değildir [13].

### 3.3. Polipropilenin Kimyasal Özellikleri

Polipropilenin erime sıcaklığı 130°C ile 170°C arasındadır. Düşük maliyetli olması nedeniyle ticari kullanım alanı oldukça geniştir. Darbe dayanımı iyidir. Tüm termoplastik işleme proseslerine uygundur. Hava şartlarına karşı dayanıksızdır, oksitlenmeye açıktır. Yanıcı özelliğe sahiptir, klor içeren solventler ile etkileşime girer.

Polipropilenin teknik özellikleri şu şekildedir;

- Yüksek kimyasal dayanım
- Yüksek elektriksel dayanım
- Yüksek çekme dayanımı,
- Düşük aşınma dayanımı,
- Düşük özgül ağırlığı
- Düşük atmosfer etkilerine dayanım
- Kaynakla birleştirilebilme
- Gıda ile temasa uygundur [14].

## 4.NİŞASTA

### 4.1. Nişastanın Özellikleri

Nişastanın fonksiyonel özellikleri, polimer bileşimi, moleküler yapı, zincirler arası organizasyon ve lipidler, fosfat ester grupları ve proteinler gibi küçük bileşenleri içeren bir dizi entegre faktöre bağlıdır. Doğal granülün korunması veya yok edilmesiyle nişastanın kimyasal, enzimsel ve fiziksel modifikasyonu, farklı nişastaların işlevsellik kazandıran özelliklerini genişletir. En büyük zorluk, nişastanın fizikokimyasal özelliklerini ve işlevlerini, çeşitli yapı seviyelerine ilişkin bilgilerle ilişkilendirmektir. Nişasta kaynağına, amiloz-amilopektin oranlarına, lipid, nem ve plastikleştirici içeriklerine ve termo-mekanik geçmişlerine bağlı olarak yapı çeşitliliği vardır. Nişasta malzemelerinin yapısal morfolojisinin tanımlanması ve ölçülmesindeki zorluklara ek olarak, nişastanın ultra yapısal seviyesi de büyük bir zorluk teşkil eder [15].

Tablo 4.1 Doğal nişasta türlerinin özellikleri

Nişasta Türleri	%Amiloz	%Amilopektin
Mısır	73	27
Mumlu Mısır	99	1
Patates	78	22
Pirinç	83	17
Tapyoka	82	18
Arpa	76	24

Nişasta, bitkilerde depolanmış karbonhidratlar olarak bulunan renksiz ve kokusuz bir polisakkarittir. Bir polisakkarit oluşturmak için birbirine bağlanan glikoz monomerlerinin bir polimeridir [16].

Nişasta iki tip polisakkarit molekülünden oluşur:

- Amiloz
- Amilopektin

Amiloz, birkaç D-glikoz biriminden oluşan bir polisakkarittir. 1,4-glikosidik bağlarla bağlanırlar. Nişastaya iyot eklendiğinde, nişastada bulunan amiloz varlığından dolayı renk koyu mavi veya siyah olur. Amiloz suda çözünür ve  $\alpha$ -amilaz enzimleri tarafından glikoz birimlerine hidrolize edilebilir. Nişastadaki amiloz, iyot varlığında koyu mavi rengi vermekten sorumludur. İyot, amiloz sarmallarında hapsolür.

Amilopektin, birkaç D-glukoz molekülünün bir polimeridir. Amilopektinin %80'i nişastada bulunur. Amilopektin molekülleri  $\alpha$ -1,4-glikosidik bağlar ve  $\alpha$ -1,6-glikosidik bağlar ile bağlanır. Suda çözünmeyen bir fraksiyondur.

Nişastanın suyla ısıtılması, nişasta granüllerinin şişmesi nedeniyle kolloidal bir süspansiyon oluşturur. Sıcak suda kolayca çözünür. Soğuduğunda bir nişasta macunu veya nişasta jeli oluşturur.

Tablo 4.2 Amiloz ve amilopektin arasındaki önemli farklar

Amiloz	Amilopektin
D-glukoz birimleri düz zincirli bir polimerdir.	D-glukoz birimlerinin dallı zincirli bir polimeridir.
Nişastanın %20'sini oluşturur.	Nişastanın %80'ini oluşturur
Suda çözünür.	Suda çözünmez
Düz zincir yapısı	Dallanmış yapı
İki glikoz birimi arasında $\alpha$ -1,4-glikosidik bağlar içerir.	Düz zincirde iki glikoz birimi arasında $\alpha$ -1,4-glikosidik bağlar ve dallanmada $\alpha$ -1,6-glikosidik bağlar içerir.
Moleküler ağırlık genelde <0.5 milyon	Moleküler ağırlık 50-500 milyon

## 4.2. Nişastadan Üretilen Plastikler

Nişasta bazlı paketleme hali hazırda ticarileştirilmiş olmasına rağmen, özellikleri hala geleneksel plastiklere göre zayıf bariyer (buhar ve oksijen) ve mekanik özellikler gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bunları geliştirmek, işlenebilirliğini ve ticarileşmesini daha iyi bilmek için büyük bir zorluktur. Şu anda, laboratuvar ölçeğinde nişasta bazlı biyolojik olarak parçalanabilen plastikler geliştirmek için yoğun bir arayış mevcuttur. Devlet politikaları, endüstrilerin sürdürülebilirlik eylemleri ve tüketici davranışlarındaki değişiklikler arasında biyolojik olarak parçalanabilen ambalaj kullanımına yönelik teşvikler de bulunmaktadır.

Çevre dostu polimerler, çevresel kaygılar nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Nişasta doğada bulunan bir biyopolimerdir ve nişasta bazlı plastikler büyük ilgi gören son ürünlerden biridir. Nişasta bazlı plastikler, tarımsal, tıbbi ve farmasötik amaçlara ve örneğin gıda ambalajlarına uygulanabilir [17].

İspanya'da pipet, balon çubuk ve plastik çatal bıçak takımı gibi tek kullanımlık ürünlerin ticarileştirilmesinin yanı sıra mikroplastiklerin kozmetik ve deterjanlarda kullanımı yasaklanmıştır. Brezilya'da, Rio de Janeiro eyaleti, ticari kuruluşlarda plastik pipet tedarikini veya satışını yasaklayan yönetmelikleri zaten oluşturmuştur. Nişasta bazlı malzemelerin ana faydasının, sentetik plastiklere kıyasla daha hızlı bozunma ve daha az çöp sahası gereksinimi nedeniyle biyolojik olarak bozunabilirlik olduğu iyi bilinmektedir. Ayrıca, özellikle tarım sektöründeki istihdamlarıyla ilgili olarak, biyo-bazlı polimerlerin üretimini içeren olumlu sosyal-ekonomik etkiler beklenmektedir. Ayrıca, ticari ölçekte üretilen mısır, patates ve manyok nişastaları ve plastik üretimi için en çok keşfedilen nişasta kaynakları olan nişasta kaynağı geniş ölçüde erişilebilirdir [18].

Bu plastik türü hali hazırda ticarileştiriliyor olsa da üretimi ve nihai özelliklerinin iyileştirilmesi hala büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Nişasta bazlı plastik zayıf mekanik özelliklere sahiptir ve hidrofilik karakteri nedeniyle uygulamalarını sınırlayan yüksek su buharı geçirgenliği sunar. Bu sorunun üstesinden gelmek için nişasta modifikasyonu, nanomalzemelerle güçlendirme, harmanlama ve çok katmanlı stratejiler gibi farklı yaklaşımlar çalışılmıştır [19].

## 5. TERMOPLASTİK NİŞASTA

Yenilenebilir malzemelerin kullanımına sürekli artan ilgi, araştırmacıları biyolojik olarak parçalanabilen plastikleri yoğun bir şekilde incelemeye ve geliştirmeye yöneltmiştir. Protein ve lipid ile karşılaştırıldığında, nişasta biyolojik olarak parçalanabilirliği, evrenselliği, yenilenebilirliği ve düşük maliyeti nedeniyle plastik üretiminde kullanım için en umut verici malzemelerden biri haline geldi.

En önemli nişasta kaynakları mısır, buğday ve pirinç gibi tahıl taneleri ile patates ve manyok gibi yumru köklerdir. Doğal nişasta yarı kristal bir granül içinde bulunur ve iki ana yapıdan oluşur; amiloz ve amilopektin. Amiloz,  $\alpha$ -(1-4)-bağlı d' den oluşur-glikoz ve amilopektin, amiloz ile aynı omurgaya sahiptir, ancak sayısız  $\alpha$ -(1-6)-bağlı dal noktalarına sahiptir. Bu iki polisakkarit, biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin üretiminde kullanılan polimer kaynaklarıdır.

Nişasta bazlı bir film üretmek için yüksek miktarda su veya plastikleştirici gerekir (gliserol, sorbitol). Bu plastikleştirilmiş malzemeler (mekanik ve termal enerjinin uygulanması) termoplastik nişastalar olarak bilinir [33].

Termoplastik nişasta (TPS), çeşitli şekillerde farklı ürünler halinde kalıplanabilir veya filmlere dönüştürülebilir. Bu ürünlerin çekme mukavemeti, kopma uzaması, elastik modül, camsı geçiş sıcaklığı, gaz bariyeri ve diğerleri gibi özellikleri, işleme parametreleri, plastikleştirici içeriği, nem içeriği vb. tarafından önemli ölçüde etkilenir. Nişasta bazlı polimerler, gıda paketlenme, esnek filmler, enjeksiyon kalıplı kaplar, şeker tepsileri, kompost torbaları, bitki kapları, kaplamalar, ilaç dağıtım kapsülleri, golf tişörtleri, çatal bıçak takımı, tabaklar ve gıda kaplarının imalatında kullanılmaktadır. Nişasta bazlı polimerlerin iki önemli eksikliği vardır; Yüksek su hassasiyeti ve düşük mekanik mukavemet. Son araştırmalar, örneğin nişastayı diğer polimerlerle karıştırarak, nişasta matrisine nanokil ekleyerek, farklı türde plastikleştiriciler seçerek ve yüksek amiloz içerikli nişasta kaynakları kullanarak bu iki sorunun üstesinden gelmeye odaklanmıştır. Bu bölüm, TPS özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan en son gelişmeleri gözden geçirmektedir [20].

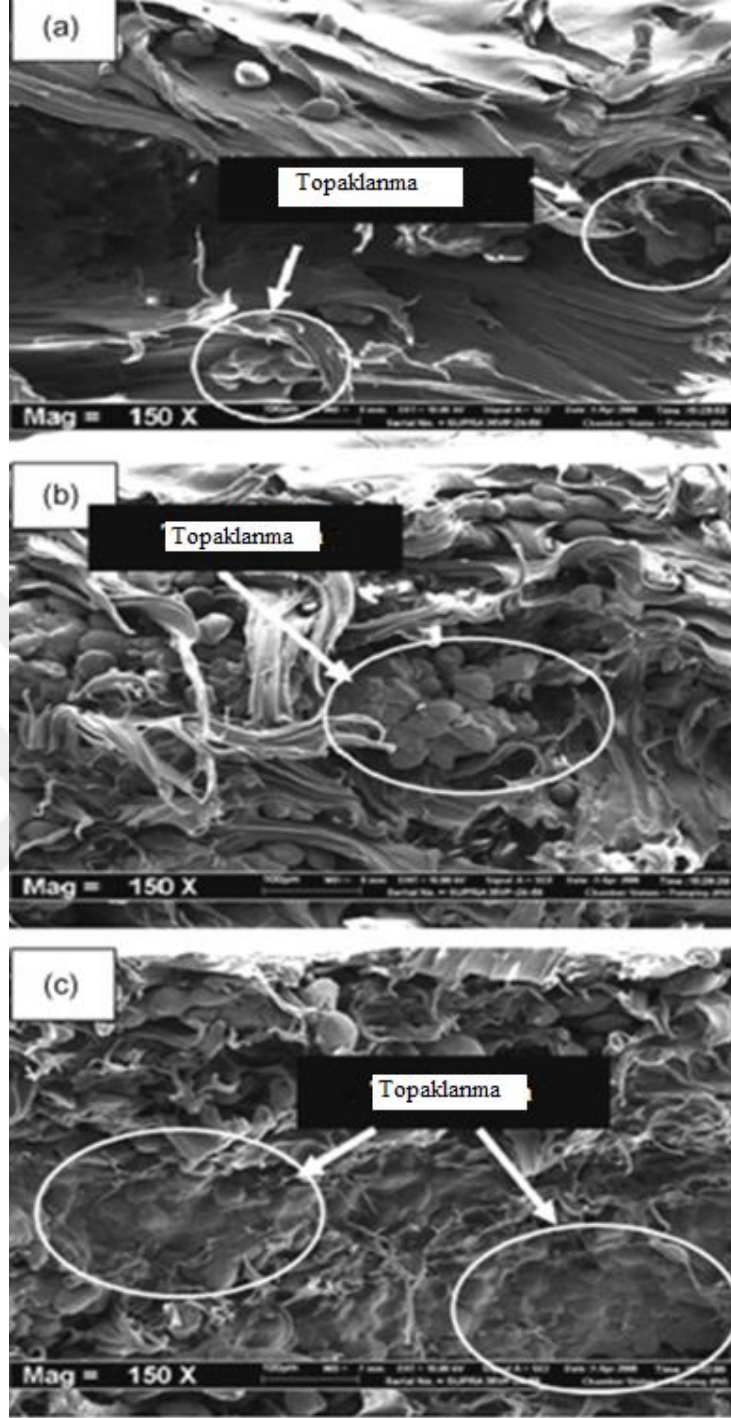
Huneault ve Li yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polilaktik asit (PLA) ve polikaprolakton (PCL) ile TPS harmanlarının özelliklerini incelemiştir. Bu polimerler TPS ile karşılaştırıldığında, elastik modülü ve

kopma mukavemeti gibi mekanik özellikleri iyileştirildi. Ayrıca maleik anhidritin kullanımını ile bir TPS/PE harmanının %80'e kadar uzayabildiğini bildirdiler [21].

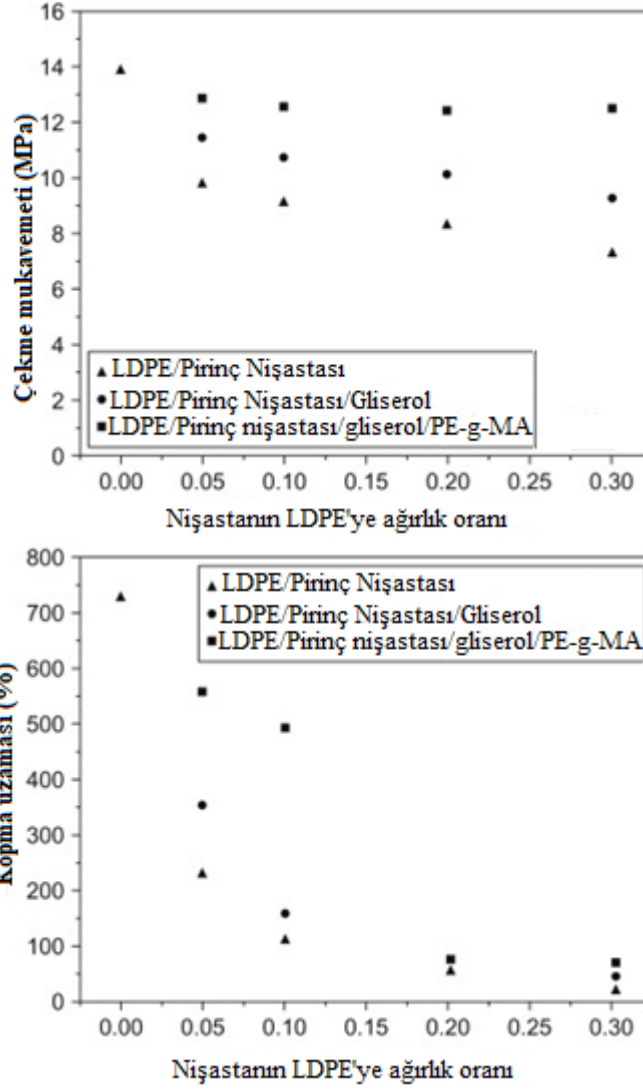
Bugüne kadar nişasta bazlı malzemelerin işlenmesi için tekniklerin (ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama ve film döküm) geleneksel polimerler için kullanılanlara benzer olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, nişastanın işlenmesi karmaşık olmasına rağmen, uygun bir formülasyon geliştirilirse ve yeterli işleme koşulları oluşturulursa başarılı bir şekilde elde edilebileceğini belirtmek önemlidir [34].

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak nişasta/LDPE karışımlarının morfoloji çalışmaları, polar olmayan PE ile yüksek düzeyde polar nişasta arasındaki yüksek ara yüzey gerilimi nedeniyle nişasta parçacıklarının LDPE matrisinde topaklandığını bulunmuştur.

Moleküller düzenlerinden kurtuldukça viskozite önemli ölçüde artar. Üst yapılar ve jelatinimsi kütle şeffaf hale gelir. Jelatinleştirilmiş nişasta amorfur ve çok uzun süre yeniden işlenebildiği için termoplastik nişasta (TPS) olarak adlandırılır. Su içeriği muhafaza edildiğinden veya yenilediğinden nişastanın cam geçiş sıcaklığı belirsizdir, ancak su içeriği uygun olan  $-50^{\circ}\text{C}$  ila  $-10^{\circ}\text{C}$  civarında olması muhtemeldir. TPS, herhangi bir termoplastikten beklenen özelliklere sahiptir. Ancak bunların açığa çıkması için su içeriği gereklidir. TPS cam geçişlidir. Isıtıldığında kayma altında akabilir ve yavaş yavaş kristalleşebilir. TPS sayfaları şeffaftır, ancak kesme karışımının derecesine bağlı olarak izler olabilir soluk ana hatlar olarak tanınan nişasta granülleri. Bunlara hayalet granüller denir ve bunlar Bazı ambalajlar için bir sorun olan TPS tabakalarının ve filmlerinin netliğini bozar uygulamalar [36].



Şekil: 5.1 LDPE/TPSS karışımlarının SEM yüzey mikrografları: (a) ağırlıkça %10, (b) ağırlıkça %30 ve (c) ağırlıkça %50 nişasta yüklemesi [21]



Şekil 5.2 LDPE/pirinç nişastası karışımları, LDPE/pirinç nişastası/gliserol karışımları LDPE/pirinç nişastası karışımları, LDPE/pirinç nişastası/gliserol karışımları ve LDPE/pirinç nişastası/gliserol/PE-g-MA harmanlarının çekme özellikleri, uyumlulaştırılmış nişasta/PE kompozit numunelerinin daha yüksek gerilme mukavemetine ve kopma uzamasına sahip olduğunu göstermektedir [29].

Uyumlaştırıcıların eklenmesinin yanı sıra, nişastanın modifikasyonu, karışımlardaki nişasta ve sentetik polimerler arasındaki uyumluluğu geliştirmek için başka bir alternatiftir. Stagner ve ark. maleatlanmış termoplastik nişasta (MTPS) ve polibütilen adipat- ko- tereftalat) (PBAT) karışımını inceledi. %20 MTPS içeren filmlerin TS ve E değerleri sırasıyla %50 poli (3-hidroksibutirat- ko -3-hidroksivalerat) (PHBV), %30 PBAT, içeren filmlerin değerlerinden daha yüksek sırasıyla 17 MPa ve %900 idi. Sırasıyla 15 MPa ve %368'lik çekme mukavemeti ve uzama değerleri sergileyen

yüksek amilozlu mısır nişastası ve %8 gliserin oranına sahiptir. Modifiye edilmiş TPS/PBAT ile diğer araştırmacılar tarafından rapor edilen TPS/PBAT'nikilerle değiştirilmiş ve modifiye edilmiş TPS/PBAT'nin daha güçlü ve daha esnek bir mekanik yapı sergilediği sonucuna varılmıştır [31].

### **5.1. Termoplastik Nişastanın Tarihçesi**

Biyobozunur polimerler konusundaki araştırmalar 1960'larda başlamış, ancak sadece 1970'lerde granüler nişastanın plastiklerde dolgu maddesi olarak kullanılmasıyla önem kazanmıştır. Nişasta içeren polietilen filmler günümüze kadar bu teknoloji kullanılarak pazarlanmıştır. Nişasta sentetik polimer karışımlarını kullanan yeni teknolojiler, geliştirilmiş özellikler ve bu karışımlardaki nişasta oranını artırma olasılığı nedeniyle daha fazla ilgi kazanmıştır. Bu teknolojiye, tane yapısı, tamamen bozulur. Nişasta ayrıca vinil monomerler (örneğin metil akrilat) ile nişasta omurgası üzerine aşılanarak modifiye edildi ve düşük yoğunluklu polietilene benzer özelliklere sahip enjeksiyonla kalıplanabilen veya filmlere ekstrüde edilebilen termoplastik malzemeler elde edildi.

Biyobozunur polimerler için nişasta kullanımına ilişkin nihai teknoloji, termoplastik nişastanın kullanılmasıdır. Bu malzemeler tamamen parçalanmış nişasta granülünden yüksek sıcaklıkta, kesme altında ve plastifiyan varlığında işlenerek üretilir. Nişasta bazlı biyolojik olarak parçalanabilen plastik üzerine yapılan araştırmalar günümüzde, esasen saf nişastadan tek yönlü kullanım için tüketici ürünleri geliştirmeye ve sentetik polimerleri formülasyondan hariç tutmaya odaklanmıştır [22].

Bitkisel biyokütle, yılda tahmini 155 milyar ton üretim potansiyeline sahip yenilenebilir bir kaynaktır. Biyokütleden elde edilen polimerler, modifiye edildiklerinde bile biyolojik olarak parçalanabilirler ve kompostlaştırılabilen kısa ömürlü ürünlerin üretimi için avantajlarla kullanılabilirler [23].

## 5.2. Termoplastik Nişastanın (TPS) Önemi

Nişasta, tamamen biyolojik olarak parçalanabilen bir polisakkarittir. Termoplastik nişasta (TPS) olarak bilinen homojen bir eriyik, termoplastik özelliklere sahip olur.

TPS çevre ile uyumludur. TPS yenilenebilir bir malzemedir ve toprağa organik olarak dahil edilebilir. Plastik malzemelerin birikmesi, belirli bir ölçüde çevre kirliliğine katkıda bulunabilmesine rağmen geleneksel plastiklerin çoğu inatçıdır [28].

Günümüzde birçok temel ve uygulamalı çalışma ucuz ve bol doğal bir polimer olarak nişasta üzerinde yürütülmekte olan biyobozunur TPS'nin geliştirilmesi ve üretilmesi, toplam sentetik plastik atık miktarın azaltılmasında önemli olarak kabul edilir.

Nişasta, paketlenme, tarımsal malç ve diğer düşük maliyetli uygulamalarda kısmen sentetik polimerin yerini almak için mükemmel bir aday olarak kabul edilmiştir. Son zamanlarda, nişasta granülleri, ısıtma ve kesme altında farklı plastikleştiriciler kullanılarak plastikleştirildi ve enjeksiyonlu kalıplama ve ekstrüzyon gibi geleneksel plastik işleme teknikleri kullanılarak işlenebilen viskoz bir eriyik formunda sürekli bir faza yol açtı. Bu tür nişasta kompozitlerine termoplastik nişasta denir. Ne yazık ki, termoplastik nişasta, işlenmesini zorlaştıran düşük bozunma sıcaklıkları, zayıf mekanik özellikler ve yüksek su duyarlılığı gibi bazı dezavantajlar sunar. Bu olumsuzlukları gidermek için pek çok çalışma yapılmıştır [27].

Petrokimyasal kaynaklara dayalı termoplastikler, film, kaplama ve gıda ambalajı üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunları nişasta bazlı biyolojik olarak parçalanabilen ürünlerle değiştirme fırsatları vardır. Ancak, bu tür yeni ürünlerin kalite ve performansını, yerleşik plastiklerinkilerle rekabetçi bir fiyatla eşleştirmeye ihtiyaç vardır. Bu projenin amaçları, termoplastik nişastaların üretimi ve kullanımı ile ilgili faktörler hakkında daha fazla arka plan bilgisi elde etmektir [30].

Nişastanın erimesi, Flory Huggins modeli ve tamamen kristal malzemelerin erime ve çözünme davranışına ilişkin çalışmalardan elde edilen çeşitli parametreler kullanılarak incelenmiştir. Düşük moleküler ağırlıklı çözünenlerin etkileri, dioller ve geleneksel nişasta çözücülerini arasındaki farkları göstererek araştırılmıştır. Helisite gibi kısa mesafe düzenindeki değişiklikleri ölçmek için geliştirilmiş bir FT IR yöntemi geliştirilmiştir [33].

Nişasta kristalliğinin kantitatif analizi için iki yöntem geliştirilmiştir. Amiloz ve amilopektin oranı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki incelenmiştir. İşleme alışmaları, eriyiğin reolojik özellikleri ile ekstruzyon sırasında moleküler bozunma arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Bu ilişkiyi açıklamak ve anlamak için modeller uygulanmış ve fiziksel depolimerizasyon için bir yöntem çalışılmıştır [24].

### 5.3. TPS/PP Karışımları

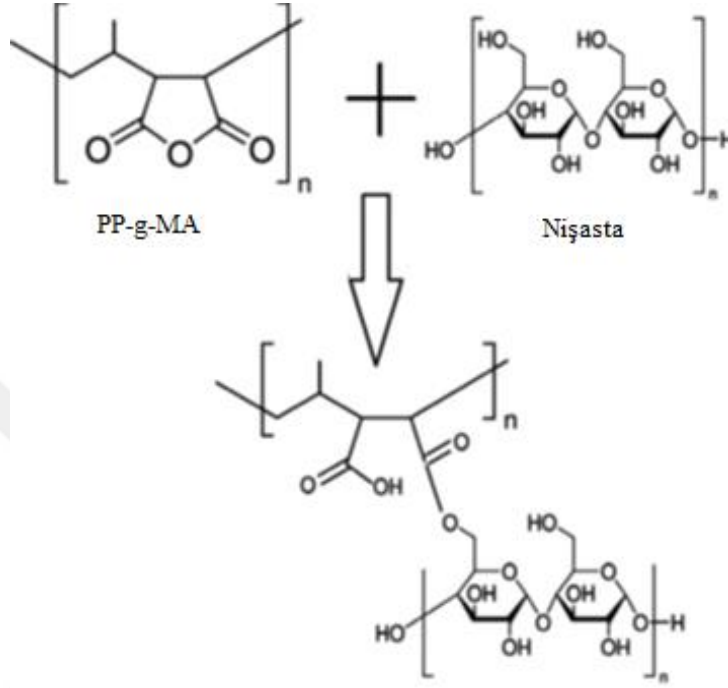
Birçok yazar tek vidalı ekstrüder yardımıyla plastikleştirici olarak gliserol içeren TPS/PP polimer karışımları üretmiş ve özellikleri de incelenmiştir. Karışımlar, geleneksel makinelerde işlenirken işlenebilir olduklarını gösteren incelme kesme davranışı sergilediler. Ayrıca, gliserol içeriği arttıka, harman malzemeleri ve kılcal reometre kalıbı arasındaki gliserolün yağlanmasının etkisi, karışımın viskozitesini azalttı. Karışımın mekanik zellikleri, TPS ve gliserol içeriği arttıka, Young modülünün önemli ölçüde arttığını ve kopma geriliminin azaldığını ortaya çıkardı [34].

TPS/PP karışımlarının hazırlanmasında kullanılan endüstriyel gliserol ve biyodizel gliserolün plastikleştirilmesinin etkisini değerlendirmiş ve karışılaştırmıştır. Bulgular neredeyse aynıydı: TPS içeriği arttıka harmanın gerilme mukavemeti azaldı. Montmorillonit killeri (MMT) ve kloisit 30B kullanılarak yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir içeriğe ve daha iyi mekanik özelliklere sahip TPS/PP karışımları oluşturulmuş ve bis-2-hidroksietil, metil, kuaterner amonyum ve donyağı tuzları ile organik olarak modifiye edildi [25].

Çok bileşenli uyumlu polimerin geliştirilmesi karışımlar, kişiye özel ürettikleri için yüksek ticari ilgiye sahiptir. Biyobozunur karışımlar ve biyo-bazlı polimer ürünler ve gibi yenilenebilir tarımsal kaynaklara dayalı nanomalzemeler nişasta, sürdürülebilir ürünler portföyü için bir temel oluşturabilir. Birçok evresel sorunun çözülmesine izin verebilir ve doğadan çıkarılırlar.

PP ve TPS karışmaz ve dolayısıyla büyük bir uyumsuzluk nedeniyle polar olmayan PP ve yüksek polar TPS arasında iki fazlı karışımlar üretecektir. Zayıf etkileşim iki bileşen arasında zayıf bir ara yüzey yapışması ile sonuçlanır. Bu nedenle, bu koşullar altında bir miktar uyumluluk gereklidir. Fazlar arasındaki ara yüzey gerilimini azaltmak için karıştırma sırasında daha ince faz dağılımının oluşumu sağlar [26].

Son katı halde iki faz arasındaki yapışma ve işlendikten sonra birleşmenin sağlanması için reaktif uyumluluk etkin bir yöntemdir. PP/TPS karışımları için uyumlaştırıcı olarak PP-g-MA kullanılabilir. PP zincirleri ise hidroksil grupları ile bağdaştırıcı aşılammış bir yapı oluşturan PP matrisi ile etkileşime girer [32].



Şekil 5.3 Nişasta ve anhidritin hidroksil grupları arasındaki kimyasal reaksiyon PP-g-MA grupları [35]

## 6. DENEYSEL KISIM

### 6.1. Kullanılan Kimyasallar

Çalışmalarımızda polimer matrisi olarak kullandığımız Tablo 6.1’de özellikleri verilen Borealis 125MO marka polipropilen (PP) EFA KAÜÇUK VE PLASTİK SAN. TİC. A.Ş firmasından, termoplastik nişasta hazırlanmasında kullanılan Tablo 4.1’de özellikleri verilen mısır nişastası Cargill (Orhangazi, Türkiye) şirketi tarafından, termoplastik nişastanın hazırlanmasında kullanılan Tablo 6.2’de özellikleri verilen gliserol Sigma-Aldrich firmasından, uyumlaştırıcı olarak kullanılan maleik anhidrit graft edilmiş polipropilen (PP-g-MA) TİSAN firmasından ve karbodiimid esaslı katkı maddesi olan Tablo 6.2’de özellikleri verilen stabaxol ise EFA KAÜÇUK VE PLASTİK SAN. TİC. A.Ş firmasından temin edildi. Tüm kimyasallar ilave bir saflaştırma uygulanmaksızın temin edildikleri gibi kullanıldı.

Tablo 6.1 Polimer matrisi olarak kullanılan polipropilenin özellikleri

	<b>Yöntem</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Yoğunluk	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	908
Eriyik Akış Hızı (230 °C/2,16 kg)	ISO 1133	g/10min	12
Sertlik, Rockwell (R ölçeği)	ISO 2039-2	Rockwell	100

Tablo 6.2 TPS/PP üretiminde kullanılan kimyasalların özellikleri

Kimyasal Özellikler		
Mısır Nişastası	Kül	<% 1
	Görünür Amiloz İçeriği	23%
	Nem İçeriği	16
	Parçacık Boyutu	7-11µm
Gliserol	Yoğunluk	1,25 g/cm <sup>3</sup>
	Moleküler Ağırlık	92,1 g/mol
	Cam Geçiş Sıcaklığı.	- 65 °C
	Erime noktası	17 °C
	Kaynama noktası	290 °C

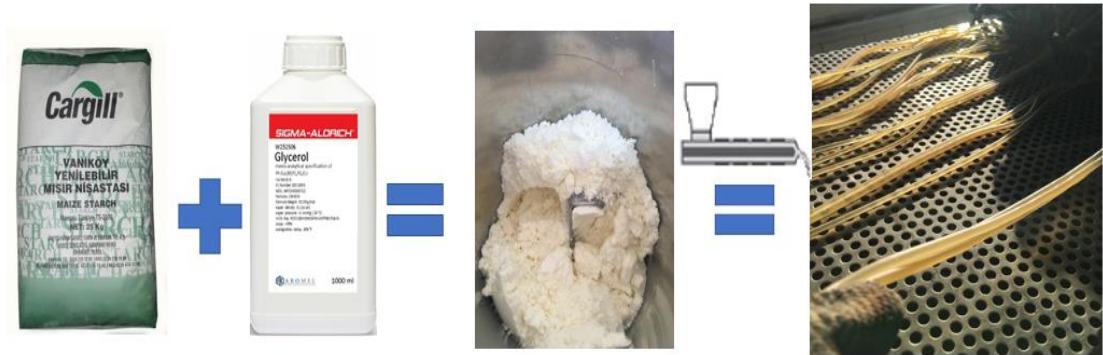
Karbodiimid	Yoğunluk	1,05 g/cm <sup>3</sup>
	Erime aralığı	60- 90 °C
	Karbodiimid içeriği	> 12.5 %
	Alevlenme noktası	310 °C
	Ateşleme Sıcaklığı	455 °C
Maleik anhidrit graft edilmiş PP (PP-g-MA)	Erime Noktası	53°C
	Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	475°C
	Yoğunluk	1,48g/cm <sup>3</sup>
	Viskozite	1,131mPa.s

## 6.2. Termoplastik Nişasta Örneklerinin Hazırlanması

Nişasta ve gliserin, 1 dakika boyunca mekanik bir karıştırıcı kullanılarak homojen olarak ön harmanlama yapıldı. Homojen yapıdaki harmanlanan malzemeler, 18 mm vida çapına sahip eş yönlü çift vidalı Prizm marka ekstrüder (Şekil 6.1) kullanılarak (L/D:24) plastikleştirildi. Ekstrüzyon vida hızı, sürekli akış sağlanması için 100 rpm'de tutuldu ve besleme bölgesinden çıkış bölgesine kadar kullanılan sıcaklıklar sırasıyla, 50°C, 120°C, 130°C ve 140°C olarak sabitlendi. TPS filamentleri ekstrüder çıkışından granülatöre kadar hava soğutma yöntemiyle katılaştırıldı. Granülasyon işleminin ardından, granüller desikatörde bekletildi ve nem geçirmeyen torbalarda saklandı.



Şekil 6.1 Prizm marka ekstrüder



Şekil 6.2 TPS üretim şeması

### 6.3. PP/TPS Harmanlarının Hazırlanması

Önceden hazırlanan TPS ve polipropilen, mekanik bir karıştırıcı kullanılarak homojen olarak karıştırıldı, homojen olarak karışan TPS, PP ile maleik anhidrit aşılı polipropilen (PP-g-MA) ve Stabaxol önceden belirlenen oranlarda 18 mm vida çapına sahip Eş Yönlü Çift Vidalı Prizm marka ekstrüdere (L/D:24) beslenerek (şekil 6.3) PP/TPS harmanları elde edildi. Ekstrüzyon vida hızı, sürekli akış sağlanması için 100-150 rpm'de tutuldu ve besleme bölgesinden çıkış bölgesine kadar kullanılan sıcaklıklar sırasıyla, 100°C, 180°C, 190°C ve 200°C olarak sabitlendi. TPS/PP filamentleri ekstrüder çıkışından granülatöre kadar su soğutma yöntemiyle katılaştırıldı. Granülasyon işleminin ardından, granüller 60°C-70°C etüvde kuruma işlemine alındı.



Şekil 6.3 TPS/PP harmanlarının hazırlanması

Hazırlanan TPS örnekleri T: Termoplastik nişasta, P: Polipropilen, M: maleik anhidrit aşılı polipropilen (PP-g-MA), S: Stabaxol ve ağırlıkça yüzde birleşim miktarlarını gösterecek şekilde kodlandı. Örneğin 85P5T10M örneğinde %85 Polipropilen, %5 Termoplastik Nişasta ve %10 maleik anhidrit aşılı polipropilen (PP-g-MA) bulunmaktadır. Eriyik karıştırma yöntemi ile hazırlanan tüm TPS numunelerinin içeriği Tablo 6.3'de verilmektedir.

Tablo 6.3 Eriyik karıştırma yöntemi ile hazırlanan tüm TPS numunelerinin içerikleri

<b>Kod</b>	<b>PP (%)</b>	<b>TPS (%)</b>	<b>Karbodiimid (Stabaxol) (%)</b>	<b>PP-g-MA (%)</b>
<b>100P</b>	100	0	0	0
<b>85P5T10M</b>	85	5	0	10
<b>93P5T2K</b>	93	5	2	0
<b>95P5T</b>	95	5	0	0
<b>80P10T10M</b>	80	10	0	10
<b>88P10T2K</b>	88	10	2	0
<b>90P10T</b>	90	10	0	0
<b>70P20T10M</b>	70	20	0	10
<b>78P20T2K</b>	78	20	2	0
<b>80P20T</b>	80	20	0	0
<b>60P30T10M</b>	60	30	0	10
<b>68P30T2K</b>	68	30	2	0
<b>70P30T</b>	70	30	0	0
<b>50P40T10M</b>	50	40	0	10
<b>58P40T2K</b>	58	40	2	0
<b>60P40T</b>	60	40	0	0



Şekil 6.4 Enjeksiyon cihazı

Etüvde 70°C de 24 saat şartlandırılan farklı bileşimdeki PP/TPS harmanları Arburg marka, 35 kN kapama basıncına sahip enjeksiyon cihazında 210-220°C sıcaklıkları arasında 800 bar enjeksiyon basıncında test numuneleri şeklinde hazırlandı.



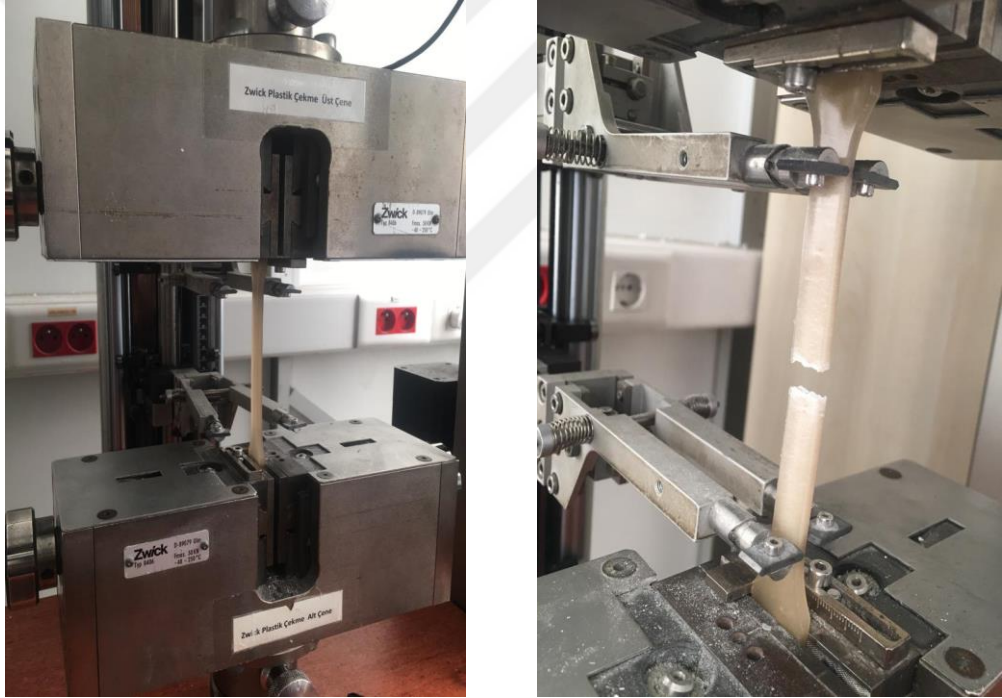
Şekil 6.5 Enjeksiyondan kalıbından çıkmış test çubukları

Enjeksiyon kalıplama cihazında basılan (Şekil 6.5) numuneler mekanik testlere alınmadan önce 48 saat şartlanması beklenir. Numunelerin basılmımdan 48 saat geçtikten sonra numunelere mekanik testler yapıldı.

#### 6.4. Karakterizasyonlar

##### 6.4.1. Çekme Testi

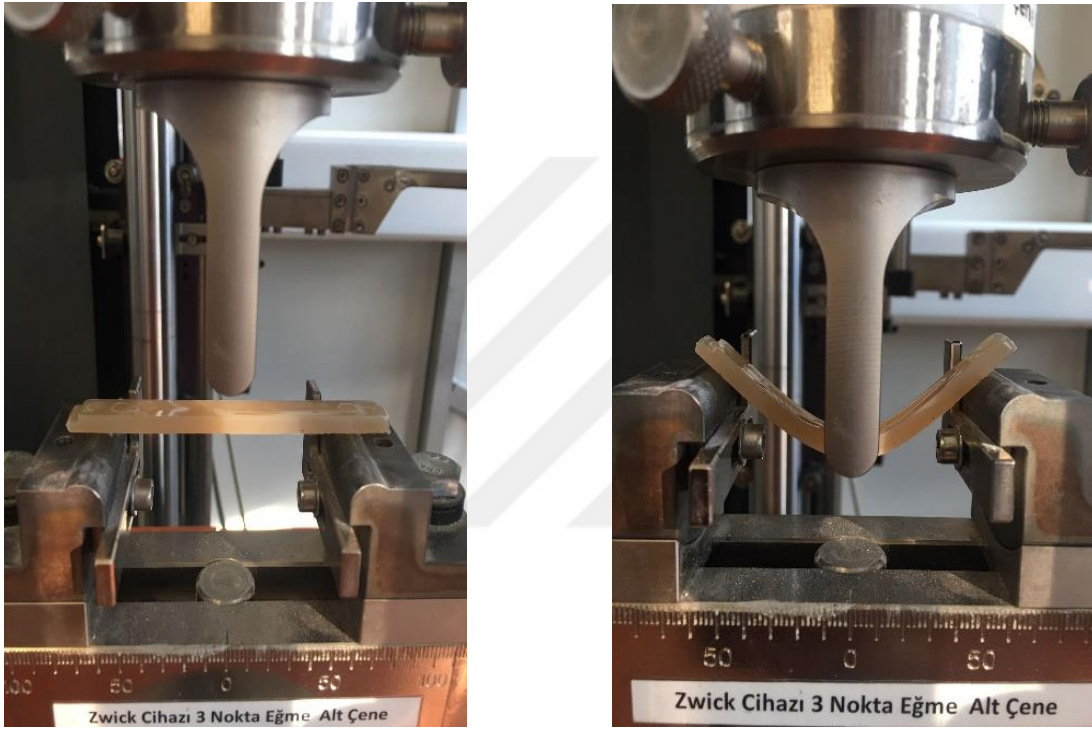
Mekanik özelliklerinin tespiti için Zwick marka 8406 model çekme cihazında (Şekil 6.6) enjeksiyon kalıplama makinesinden üretilen çekme çubukları üretiminden 48 saat şartlanması beklendikten sonra minimum 10'ar adet olacak şekilde ISO 527 standartına uygun olarak 50mm/dak hızında 23°C'de çekme testi yapıldı. Örneklerin mekanik özellik değerlerine ait sonuçlar tüm örneklerin ortalaması olarak verildi.



Şekil 6.6 TPS/PP çekme çubuklarının Zwick çekme cihazında test edilmesi

### 6.4.2. Eğme Testi

Mekanik özelliklerinin tespiti için Zwick marka 8406 model eğme cihazında (Şekil 6.7) enjeksiyon kalıplama makinesinden üretilen eğme çubukları üretiminden 48 saat şartlanması beklendikten sonra minimum 10'ar adet olacak şekilde ISO 178 standartına uygun olarak 5mm/dak hızında 23°C'de eğme testi yapıldı, örneklerin mekanik özellik değerlerine ait sonuçlar tüm örneklerin ortalaması olarak verildi. Örneklerin Eğilme mukavemeti ve eğilme modülleri tespit edildi.



Şekil 6.7 TPS/PP çekme çubuklarının Zwick eğme cihazında test edilmesi

### 6.4.3 İzod (Darbe) Testi

Mekanik özelliklerinin tespiti için Zwick marka HIT5.5P model izod darbe cihazında (Şekil 6.8) enjeksiyon kalıplama makinesinden üretilen izod darbe çubukları üretiminden 48 saat şartlanması beklendikten sonra minimum 10'ar adet olacak şekilde ISO 180/1A standartına uygun olarak 23°C 'de izod darbe testi yapıldı, örneklerin mekanik özellik değerlerine ait sonuçlar tüm örneklerin ortalaması olarak verildi. Darbe yüklerine karşı davranışını karakterize etmek amacı ile izod darbe testi yapıldı.



Şekil 6.8 TPS/PP çekme çubuklarının Zwick darbe izod cihazında test edilmesi

#### 6.4.4. Yoğunluk Testi

Mekanik özelliklerin testi için Mettler Toledo marka XS204 model yoğunluk ölçüm cihazında (Şekil 6.9) enjeksiyon cihazında üretilen 48 saat şartlanması beklenen izod darbe çubuklarından veya çekme çubuklarının parçalarından en az 3'er adet olacak şekilde ISO 1183 standartına uygun olarak 23°C'de yoğunluk testi yapıldı.



Şekil 6.9 Yoğunluk ölçüm cihazı

#### 6.4.5. MFI Testi

Enjeksiyon yöntemi ile kalıplanan örneklerin INSTRON marka cihazda (Şekil 6.10) ISO 1133 standartlarına uygun olarak 230<sup>0</sup>C ve 2,16 kg ağırlığında erime akış indeksi g/10dk cinsinden test edildi.



Şekil 6.10 Akış özellikleri (MFI) analizi cihazı

## 7. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 7.1. Çekme Testi Analizi

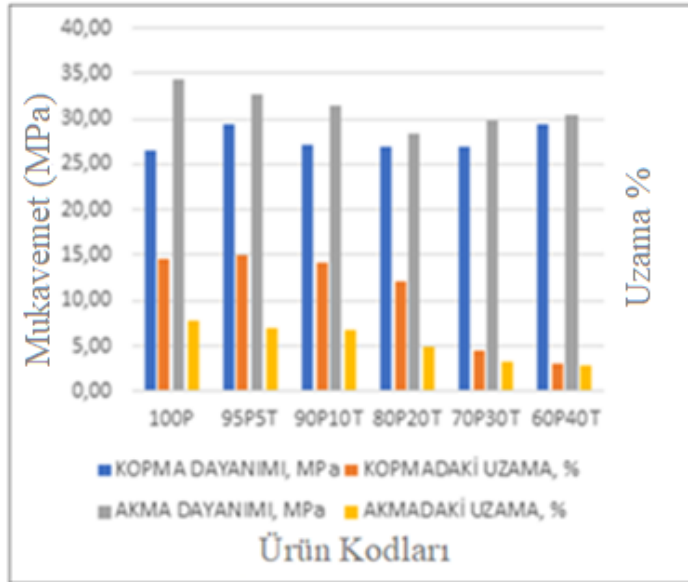
Plastik parçalar kullanım alanlarına göre pek çok farklı mekanik yüklere maruz kalmaktadırlar. Maruz kalınan bu gerilimler esnasında boyut ve şekil değişimi, yapısal bütünlüğün korunması başta olmak üzere parçaların bu etkilere mukavemet göstermesi beklenir. Çalışmamızda saf PP den enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçaların imalatında maliyet düşürücü ve çevreci bir yaklaşımla PP/TPS polimer harmanlarının ikamesi hedeflendiğinden mekanik özellikler perspektifinden üretilen ürünler incelemeye tabi tutuldu.

Enjeksiyon yöntemi ile kalıplanan tüm örneklerin Zwick marka cihazda ISO 527 standartlarına uygun olarak 50mm/dk hızda ve 23°C derece sıcaklıkta tespit edilen mekanik özellikleri Tablo 7.1’de verilmektedir.

Gerçekleştirilen mekanik testlerde elde edilen kopma uzaması ve kopma mukavemeti değerleri tekrarlanabilir sonuçlar vermediği için mekanik özelliklerin değerlendirilmesinde akma dayanımı ve akmadaki uzama değerleri kullanılmıştır. Tablo 7.1’de ve Şekil 7.1’de verilen kopma uzaması ve kopma dayanımı ait değerler geniş bir aralıkta dağılım gösteren değerlerin bir ortalaması olarak verilmiştir.

Tablo 7.1 Çekme testi analizleri

FORMÜL	KOPMA DAYANIMI, MPa	KOPMA DAKİ UZAMA %	AKMA DAYANIMI MPa	AKMADAKİ UZAMA %
100P	26,48	14,58	34,43	7,72
95P5T	29,39	15,00	32,73	6,86
90P10T	27,10	14,13	31,49	6,69
80P20T	27,01	12,01	28,46	4,90
70P30T	26,92	4,47	29,82	3,25
60P40T	29,48	3,01	30,41	2,78
93P5T2S	29,79	12,36	33,24	6,42
88P10T2S	29,50	11,75	32,76	5,87
78P20T2S	29,70	6,87	32,73	4,61
68P30T2S	30,36	4,04	31,54	3,54
58P40T2S	31,12	2,91	31,32	2,83
85P5T10M	24,48	17,80	32,54	6,40
80P10T10M	27,68	7,50	31,91	4,86
70P20T10M	28,28	7,47	32,72	4,64
60P30T10M	33,81	4,21	34,17	3,95
50P40T10M	35,43	2,89	35,46	2,87

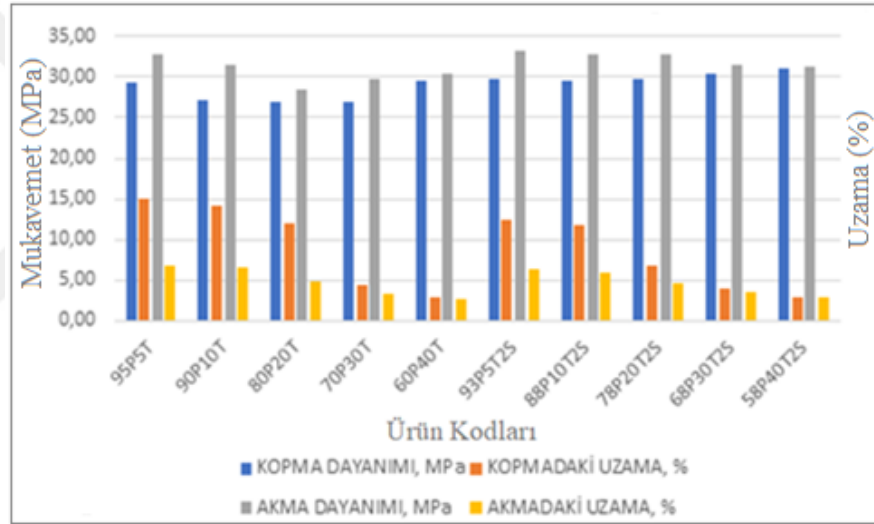


Şekil 7.1 Saf PP ve uyumlaştırıcı içermeyen TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait çekme testi mekanik özellikler

Saf polipropilene ait akma dayanımı değerine (34,43 MPa) kıyasla yapıya uyumlaştırıcı ve katkı içermeyen saf TPS eklendiğinde TPS içeren tüm örneklerin

akma dayanımı değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Saf TPS, saf PP'ye kıyasla çok daha düşük mekanik özelliklere sahip olduğundan PP matrisine giren TPS, akma dayanımı değerlerinde beklenildiği gibi düşüşe sebep olmaktadır.

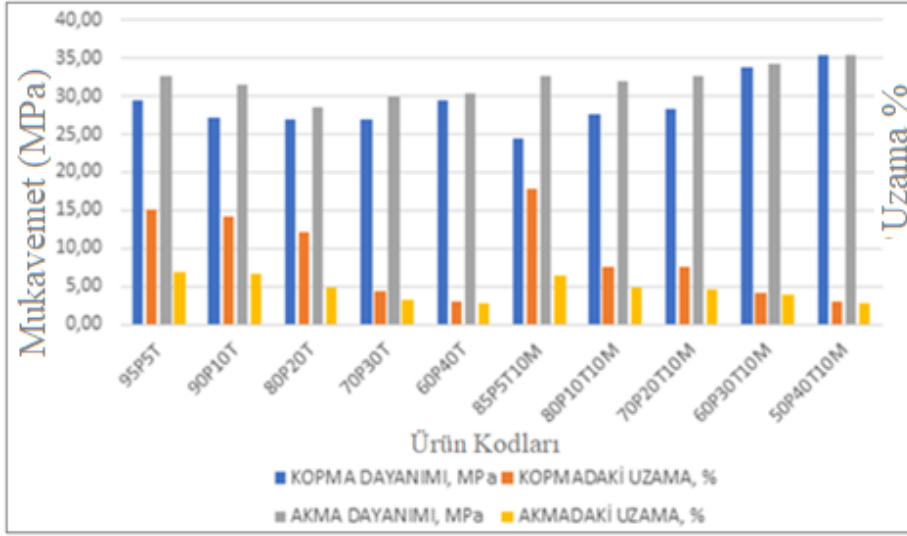
Saf polipropilene ait akma uzaması değerine (% 7.72) kıyasla yapıya uyumlaştırıcı ve katkı içermeyen saf TPS eklendiğinde TPS içeren tüm örneklerin akma uzaması değerlerinde de düşüş olduğu gözlemlendi. Hazırlanan PP/TPS harmanlarında fazların sergilediği uyumsuzluk akma dayanımı değerlerinde görüldüğü gibi mekanik özelliklerde düşüşe neden olmakta ve yine bu düşük etkileşim polimer zincirlerinin birbirinin üzerinden akarak uzamaları esnasında uygulanan gerilim etkisi ile elastik özelliklerini sergileme fırsatı bulamadan hızlıca kopmalarına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.2 Saf PP/TPS harmanları ile stabaxol içeren PP/TPS polimer harmanlarına ait mekanik özellikler

PP/TPS polimer harmanına stabaxolün eklenmesi ile akma dayanımı değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla arttığı tespit edilmiştir. Stabaxolün yapısındaki karbodiimidlerin moleküler arası etkileşime katkı sağladığı bu nedenle de mekanik özellikleri daha üst seviyeye çıkarıldığı düşünülmektedir.

PP/TPS polimer harmanına stabaxolün eklenmesi ile akma uzaması değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla düşüş olduğu gözlemlendi. Bu sonuçta yine benzer şekilde stabaxolün zincirler arasındaki etkileşimlere katkı sağladığını böylelikle uzama değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmüştür.



Şekil 7.3 Saf PP/TPS harmanı ile PP-g-MA içeren PP/TPS polimer harmanlarına ait mekanik özellikler

PP/TPS polimer harmanına PP-g-MA eklenmesi ile akma dayanımı değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla sabit kaldığı veya arttığı tespit edilmiştir. PP-g-MA uyumlaştırıcı etkisinin aynı stabaxole benzer şekilde fazlar arasındaki etkileşime katkı sağladığı böylelikle akma dayanımı değerlerini iyileştirdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

PP/TPS polimer harmanına PP-g-MA eklenmesi ile akma uzaması değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla düşüş olduğu gözlemlendi. PP-g-MA kullanımının zincirler arasındaki etkileşimlere katkı sağlaması nedeni ile beklenildiği gibi uzama değerlerinde azalma eğiliminin olduğu tespit edildi.

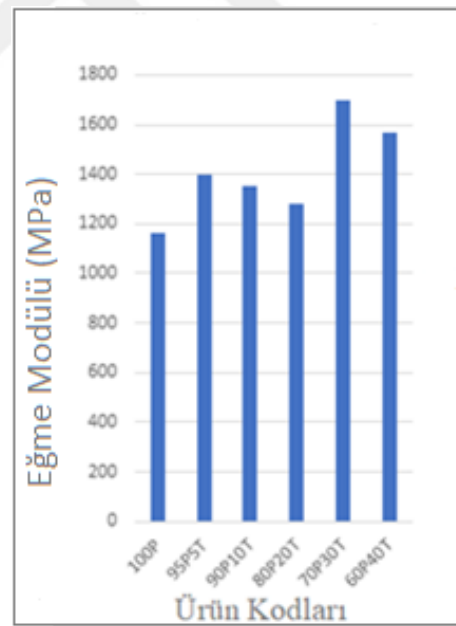
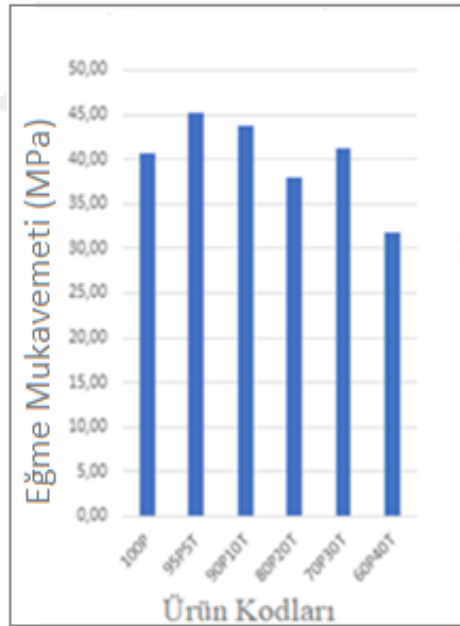
## 7.2. Örneklerin Eğme Testi Analizi

Eğme gerilmesi eğmeye zorlanan bir çubuk boyunca, orta kısımdaki nötr liften başlayarak çevreye doğru artarak kenar bölgede maksimum değere ulaşan çekme ve basınç gerilmeleri etkiler.

Enjeksiyon yöntemi ile üretilen örneklerin Zwick marka cihazda ISO 178 standartlarına uygun olarak 5mm/dk hızda ve 23°C sıcaklıkta eğme özelliklerine ait değerler Tablo 7.2’de verilmektedir.

Tablo 7.2 Eğme testi analizleri

EĞME TESTİ	EĞME MUKAVEMETİ, MPa	EĞME MODÜLÜ, MPa
100P	40,70	1160
95P5T	45,10	1400
90P10T	43,80	1350
80P20T	38,00	1280
70P30T	41,20	1700
60P40T	31,70	1570
93P5T2S	48,10	1600
88P10T2S	45,30	1490
78P20T2S	43,90	1440
68P30T2S	41,30	1500
58P40T2S	39,40	1570
85P5T10M	39,60	1110
80P10T10M	42,70	1250
70P20T10M	43,10	1290
60P30T10M	43,90	1370
50P40T10M	44,00	1460

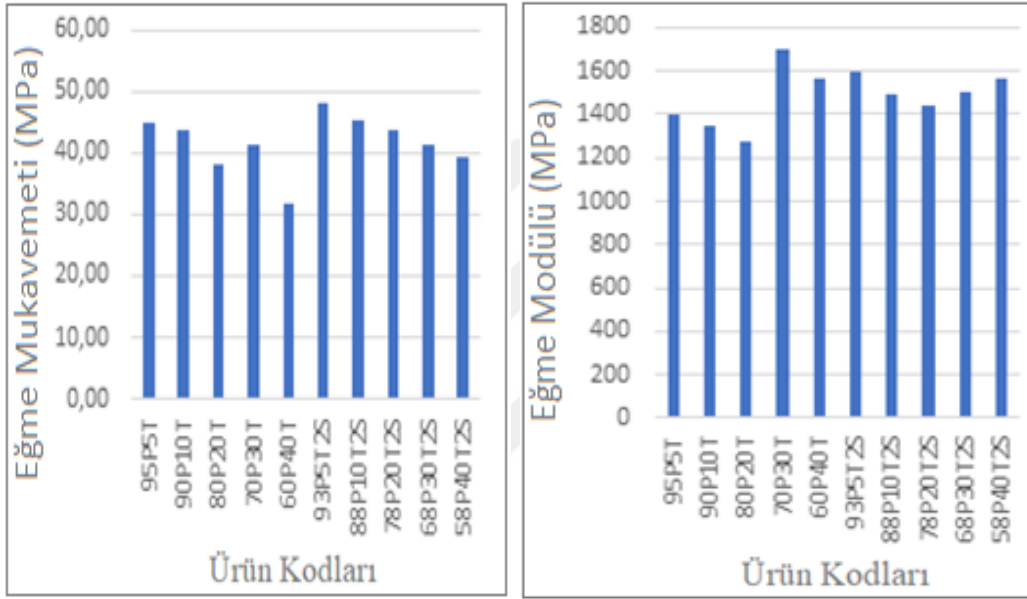


Şekil 7.4 Saf PP ve uyumlaştırıcı içermeyen TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait eğme testi mekanik özellikler

Saf polipropilene termoplastik nişasta eklendiğinde düşük TPS bileşimine sahip PP/TPS harmanların (95P5T ve 90P10T kodlu) eğme mukavemet değerlerinde saf PP'ye kıyasla daha iyi bir performans sergiledikleri tespit edildi. Artan TPS'in

bileşimine bağlı olarak eğme mukavemeti değerlerinin düştüğü, 70P30T kodlu örneğin ise sergilediği istisnai özelliğin deneysel hata olabileceği değerlendirildi. (Şekil 7.4)

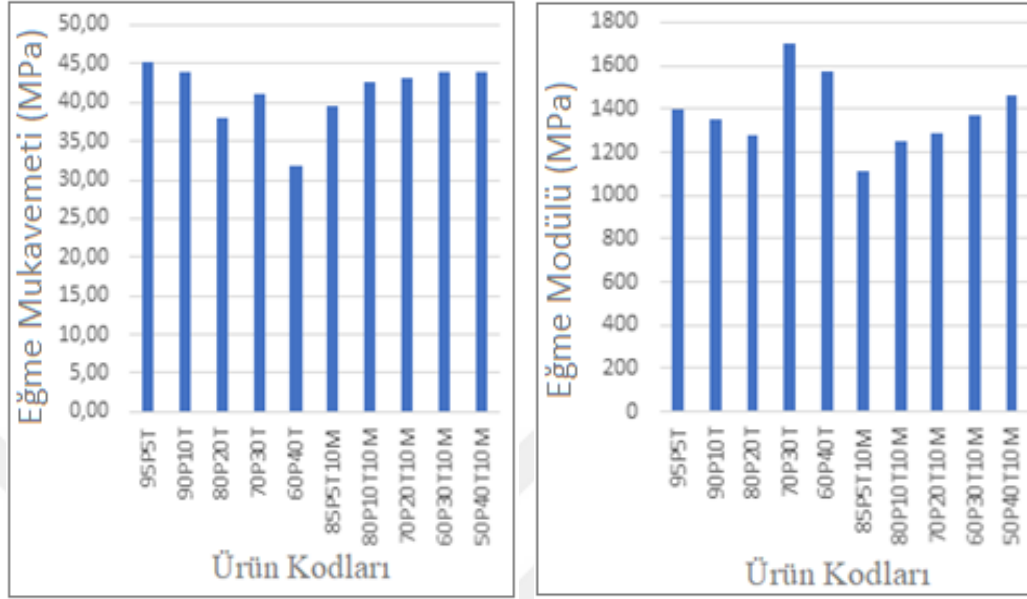
Eğme modülü değerlerinde ise artan TPS miktarına bağlı olarak PP/TPS harmanının eğme modülü değerlerinde artış eğiliminin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7.4) genel olarak bakıldığında TPS miktarı arttıkça grafiklerin artış yönünde bir eğilim sergilediği söylenebilmektedir. (Şekil 7.4)



Şekil 7.5 Saf PP/TPS harmanı ile Stabaxol içeren PP/TPS polimer harmanlarına ait eğme testi sonuçları

PP/TPS polimer harmanına stabaxolün eklenmesi ile eğme mukavemeti değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla arttığı tespit edilmiştir. Stabaxolün yapısındaki karbodiimidlerin PP/TPS harmanına akma mukavemeti ve akma uzaması değerlerinde gözlemlendiği gibi fazların etkileşimini arttırdığı yapıyı çok daha rijit bir hale getirerek yüksek eğme mukavemeti değerleri sergilediği görülmüş oldu.

Eğme modülü değerlerinde ise saf TPS'e stabaxolün eklenmesi ile miktarına bağlı olarak PP/TPS harmanının eğme modülü değerlerinde yine artış eğiliminin olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 7.5)



Şekil 7.6 Saf PP/TPS harmanı ile PP-g-MA içeren PP/TPS polimer harmanlarına ait eğme testi sonuçları

PP/TPS polimer harmanına PP-g-MA eklenmesi ile eğme mukavemeti değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla yakın değerler aldığı veya arttığı tespit edilmiştir.

PP/TPS polimer harmanına PP-g-MA eklenmesi ile eğme mukavemeti değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla yakın değerler aldığı veya azaldığı tespit edilmiştir.

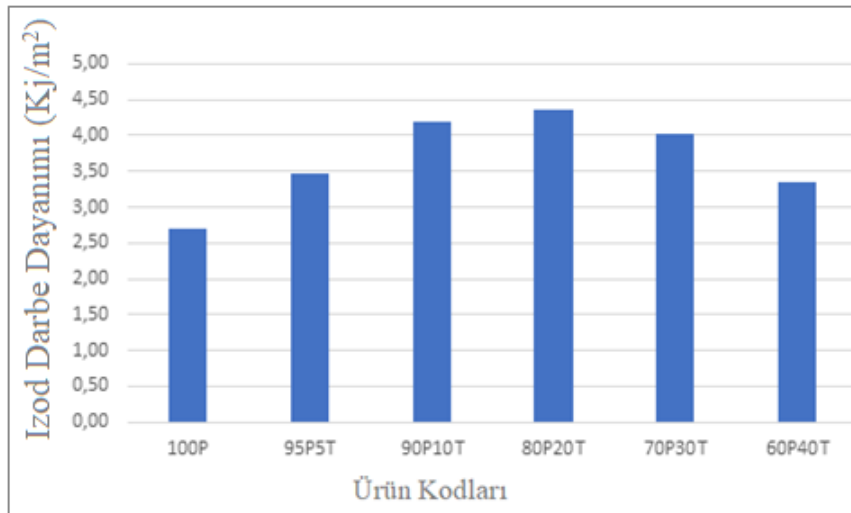
### 7.3. Örneklerin Darbe (İzod) Testi Analizi

Çentik darbe deneyi, malzemelerin bünyesinde olası bir gerilim birikiminin darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmek amacıyla yapılan mekanik bir test yöntemidir. Malzemelerin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisi değerini, ani darbe etkisi nedeniyle emilen enerji miktarını, malzemenin süneklik-gevreklik özelliklerini ve sıcaklığa bağlı sünek-gevrek davranışlarını belirlemek amacıyla çentik darbe deneyleri yapılır. Kırılma enerjisi değeri, malzemenin kırılma davranışını ve sünek-gevrek karakterini belirler. Gevrek malzemelerin kırılma enerjileri daha düşükken sünek malzemelerin yüksektir.

Enjeksiyon yöntemi ile kalıplanan örneklerin Zwick marka cihazda ISO 180'e 1A standartlarına uygun olarak NOTCHVIS çentik açma cihazında 2 mm çentik açılmış numuneler, 23°C sıcaklıkta İzod Darbe cihazında özellikleri tespit edildi.

Tablo 7.3 İzod darbe testi analizi

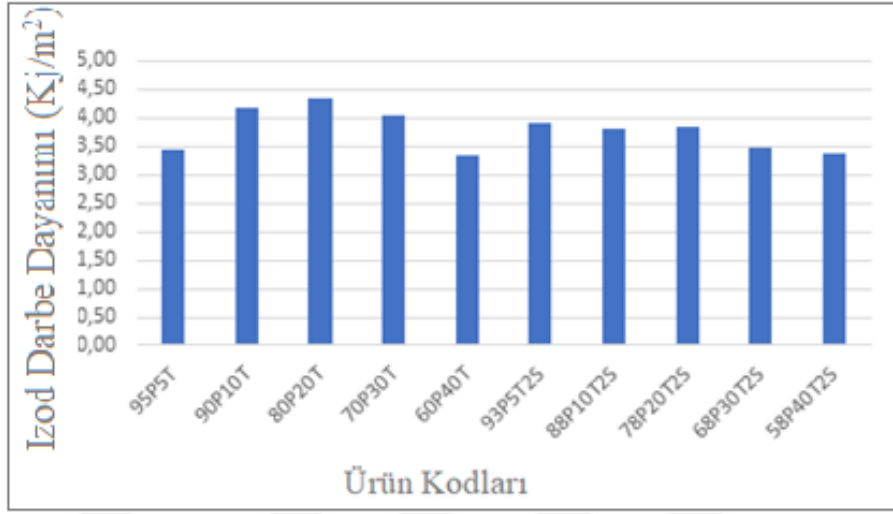
İZOD DARBE TESTİ	İZOD DARBE DAYANIMI kJ/m <sup>2</sup>
100P	2,71
95P5T	3,46
90P10T	4,19
80P20T	4,36
70P30T	4,03
60P40T	3,34
93P5T2S	3,91
88P10T2S	3,81
78P20T2S	3,84
68P30T2S	3,49
58P40T2S	3,37
85P5T10M	2,40
80P10T10M	1,89
70P20T10M	1,91
60P30T10M	1,87
50P40T10M	2,12



Şekil 7.7 Saf PP ve uyumlaştırıcı içermeyen TPS den hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarına ait izod darbe testi mekanik özellikler

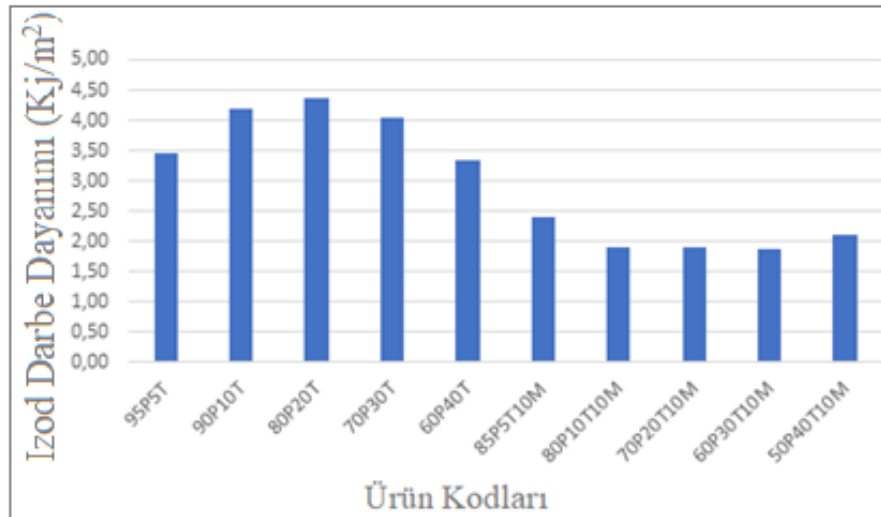
Saf polipropilene ait izod darbe dayanımı değerinin yapıya uyumlaştırıcı ve katkı içermeyen saf TPS eklendiğinde izod darbe dayanımı değerlerinde yükselme

gözlennmektedir. Burada eklenen TPS malzemesinin polipropilene darbe dayanımında olumlu yönde etki verdiğini söyleyebiliriz.



Şekil 7.8 Saf PP/TPS harmanı ile stabaxol içeren PP/TPS polimer harmanlarına ait eğme testi sonuçları

PP/TPS polimer harmanına stabaxolün eklenmesi ile izod darbe dayanımı değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla azaldığı tespit edilmiştir. Stabaxolün yapısındaki karbodiimidlerin PP/TPS harmanına izod darbe dayanımı değerlerinde gözlemlendiği gibi fazlaların etkileşimini arttırdığı yapıyı çok daha rijit bir hale getirerek düşük darbe dayanımı değerleri sergilediği görülmüş oldu.



Şekil 7.9 Saf PP/TPS harmanı ile PP-g-MA içeren PP/TPS polimer harmanlarına ait eğme testi sonuçları

PP/TPS polimer harmanına PP-g-MA eklenmesi ile izod darbe dayanımı değerlerinin aynı oranlarda TPS içeren örneklere kıyasla azaldığı tespit edilmiştir. (Şekil 7.9)

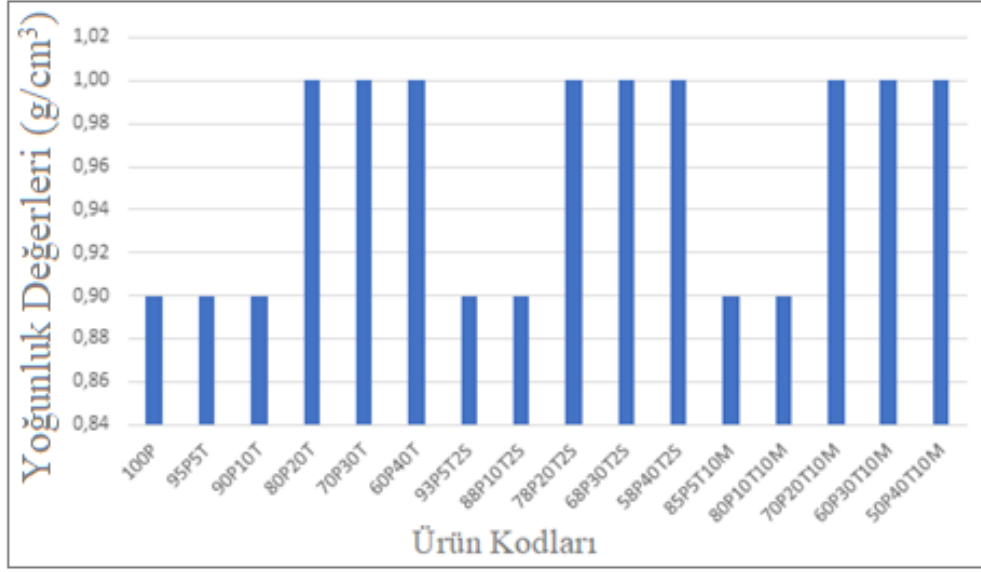
#### 7.4. Örneklerin Yoğunluk Analizleri

Enjeksiyon yöntemi ile üretilen plastik parçalar için ağırlık önemli bir kriterdir. Bu yöntemle eksiksiz ve hatasız üretilen bir parçanın hacmi sabit iken kalıbı dolduran polimer eriyiğinin içeriğine bağlı olarak yoğunluk değerleri ve buna bağlı olarak ağırlık değerleri değişebilir. Parçaların ağırlıklarındaki değişim farklı uygulamalarda belli oranlarda tolere edilebilse de, üretilen parçanın ağırlığının çok değişmemesi istenmektedir.

Örneklere ait ISO 1183 standardına uygun olarak tespit edilen yoğunluk değerleri Tablo 7.4’de ve değişimi gösteren grafik Şekil 7.10’da verilmektedir.

Tablo 7.4 Yoğunluk analizi

YOĞUNLUK	g/cm <sup>3</sup>
100P	0,90
95P5T	0,90
90P10T	0,90
80P20T	1,00
70P30T	1,00
60P40T	1,00
93P5T2S	0,90
88P10T2S	0,90
78P20T2S	1,00
68P30T2S	1,00
58P40T2S	1,00
85P5T10M	0,90
80P10T10M	0,90
70P20T10M	1,00
60P30T10M	1,00
50P40T10M	1,00



Şekil 7.10 TPS/PP harmanının yoğunluk analizi

Tablo 7.4 ve Şekil 7.10’ daki değerlere bakıldığında saf PP ve bileşimlerinde ağırlıkça %5 ve %10 oranında görece düşük bileşimde TPS içeren PP/TPS polimer harmanlarının yoğunluk değerlerinin aynı olduğu, artan TPS miktarına bağlı olarak daha yüksek bileşimde nişasta ve gliserin içeren PP/TPS polimer harmanlarında ise makul ölçüde bir artış olduğu görülmektedir. PP matrisine giren TPS bileşimindeki daha yüksek yoğunluk değerlerine sahip olan nişasta ve gliserin polimer harmanlarının yoğunluğunda artışa neden olmaktadır. Gözlenen artış enjeksiyon uygulamaları için makul düzeyde olduğu değerlendirilebilir.

Sonuç olarak saf PP yerine PP/TPS harmanlarının enjeksiyon uygulamalarında kullanımını yoğunluk değerleri ve buna bağlı olarak nihai ağırlık perspektifinden uygun olduğu söylenebilir.

### 7.5. Örneklerin Akış Özellikleri (MFI)

Polimerler ekstrüzyon, enjeksiyon, rotasyonel kalıplama vb. gibi pek çok farklı şekillendirme yöntemi ile ürün haline getirilebilirler. Ulaşılmak istenen ürünün şeklinin karmaşıklığına, kesitine, hacmine, tasarımına, kullanılan polimer ve ürünün performans özelliklerine bağlı olarak polimer işleme yönteminde seçim yapılır. İşleme yönteminin tespitinin ardından ürünün imalatında kullanılacak polimer tipi, sınıfı ve özelliklerinin belirlenmesi başarılı bir proses gerçekleştirebilmek adına önem arz etmektedir. Kullanılacak polimerin yöntem ile uygunluğunda bakılacak ilk

parametrelerden biri de polimere ait akış özellikleridir. Polimerin sahip olduğu molekül ağırlığı, dallanma miktarı vb parametrelerin etkilediği bir özellik olan akış karakteristiği için sıklıkla Eriyik Akış İndisi (Melt Flow Index – MFI) değerleri tespit edilir. Bunun için bu değerlerin tespiti için kullanılan cihazlarda polimer tipine bağlı olarak belirlenen ilgili standartlarda belirtilen uygun sıcaklık ve basınç değeri (veya ağırlık miktarı) altında polimer eriyiğinin 10 dakikadaki akan kütle miktarı tespit edilir. Bu değerlerin yüksek olması polimerin akışının yüksek, viskozitesinin düşük ve molekül ağırlığının görece küçük olduğu değerlendirilebilmektedir, bu yaklaşımla düşük değerler için tam tersi sonuçlar çıkarılabileceği söylenebilir.

Enjeksiyon yöntemi ile kalıplanan örneklerin INSTRON marka cihazda (Şekil 7.5) ISO 1133 standartlarına uygun olarak 230°C ve 2,16 kg ağırlığında erime akış indeksi g/10dk olarak aşağıdaki Tablo 7.5'te verilmektedir.

Tablo 7.5'deki sonuçlara bakıldığında çalışmada kullanılan PP örneğinin sahip olduğu MFI değerinin (12,5 g/ 10 dak.) yapıya TPS nin farklı oranlarda katılması ile arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, %10, %20, %30 ve %40 oranında TPS içeren PP/TPS harmanlarının MFI değerleri ise sırasıyla 13,39 g/10 dak, 16,36 g/10 dak, 16,9 g/10dk, 17,49 g/10dk ve 22,46 g/10dk Olarak bulunmuştur. Bu değerler yapıda artan TPS oranına bağlı olarak MFI değerlerinde doğru orantılı bir artış eğiliminin olduğu sonucuna bizi götürmektedir.

Bilindiği gibi TPS örnekleri saf nişastanın uygun plastikleştiriciler (gliserin vb.) ile ön karıştırılmasını takiben ekstrüzyon cihazı yardımıyla ısı olarak işlemesi ile elde edilmektedir. Plastikleştiriciler saf haldeki nişastanın zincirleri arasına girerek, nişastanın kristal formunda değişikliklere yol açmakta böylelikle nişastanın ısı işlemi ile plastik formunda işlenebilmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca TPS örneklerinin hazırlanmasında kullanılan bu plastikleştiriciler, TPS örnekleri ve PP kullanılarak yine ısı işlemiyle hazırlanan harmanların yapısına da dahil olmaktadır. PP/TPS harmanlarında yer alan plastikleştiriciler TPS nin hazırlanmasında nişastanın plastikleştirilmesini sağladıkları gibi PP/TPS harmanlarında da benzer şekilde zincirler ve fazlar arasına girerek örneklerin akış özellikleri iyileştirmektedir. Bu etki incelenen örneklerin MFI değerlerindeki artışın temel sebebi olarak söylenebilir.

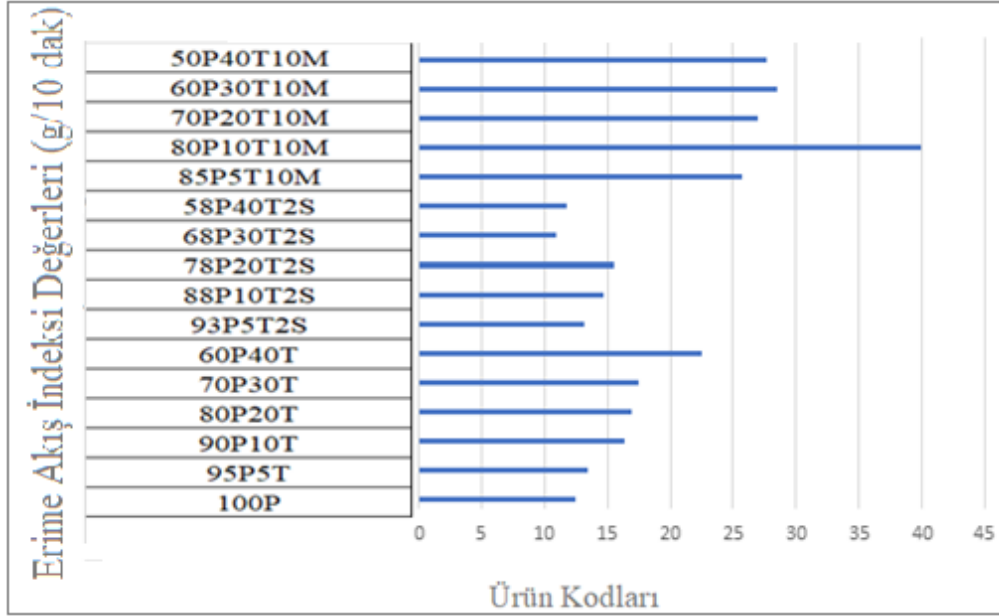
Tablo 7.5 Erime akış indeksi (MFI) analizi

FORMÜLLER	ERİME AKIŞ İNDEKSİ (MFI), g/10'
100P	12,5
95P5T	13,39
90P10T	16,36
80P20T	16,9
70P30T	17,49
60P40T	22,46
93P5T2S	13,14
88P10T2S	14,74
78P20T2S	15,5
68P30T2S	10,95
58P40T2S	11,75
85P5T10M	25,77
80P10T10M	39,86
70P20T10M	26,97
60P30T10M	28,42
50P40T10M	27,7

Tablo 7.5'deki ve Şekil 7.11'deki değerlere bakıldığında PP/TPS harmanına katılan stabaxolün kullanımı ile aynı oranda TPS içeren PP/TPS harmanlarının MFI değerlerine kıyasla, MFI değerlerinde düşme eğilimi gözlemlendi.

Bu sonuç stabaxolün PP/TPS harmanlarında akış özelliklerinde kısıtlayıcı bir karakter sergilediğinin göstergesi olarak değerlendirilebilir. Karbodiimidlerin PP/TPS harmanında homojen bir şekilde dağıldığı bunun yanında fazlarda çözünmeden mikro yapısını muhafaza ederek eriyik akış esnasındaki viskozite de sürtünme olgusuna katkı sağlayarak akışı yavaşlatıcı bir rol oynadığı değerlendirilmektedir.

Enjeksiyon uygulamalarında akış özelliklerinin ve viskozitenin istenilen seviyeye getirebilmesi önem arz etmektedir. PP/TPS harmanında stabaxol kullanımı mekanik özelliklerde performans kaybı olmaksızın akış özelliklerini istenilen seviyede modifiye etmeye olanak sağlayan önemli bir yöntem olarak önerilebilir.



Şekil 7.11 TPS/PP harmanının akış özellikleri (MFI) testi analizi

Tablo 7.5'deki ve Şekil 7.11'deki değerlere bakıldığında PP/TPS harmanına katılan PP-g-MA kullanımı ile ise aynı oranda TPS içeren PP/TPS harmanının MFI değerlerine kıyasla, MFI değerlerinde 2 katına varan oranlarda yükselme eğilimi gözlemlendi.

MFI değerlerinin yükselmesi viskozite deki düşüşün bir sonucudur. PP/TPS harmanının daha düşük viskoziteli ve daha akışkan hale gelmesinin nedeni ise PP-g-MA'nın PP ve TPS fazlarını çok daha etkin bir şekilde etkileşime sokmasıdır. Artan etkileşim TPS'nin plastikleştirici etkisinin çok daha belirgin hale gelmesine ve bu da viskozitedeki düşüşe, beraberinde ölçümlendiğimiz MFI değerlerinde yükselmeye en temel sebeptir.

Enjeksiyon uygulamalarında düşük viskoziteye sahip eriyik yüksek verimlerde ürün imalatına daha düşük sıcaklık değerlerinde daha kısa çevrim sürelerine ve daha düşük uygulama ve kapama basıncına son olarak da özellikle karmaşık formdaki ürünler de dolmama, boşluk kalma sorununu engellemesi açısından önemli bir avantajdır.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nişastanın gliserin yardımıyla plastikleştirilmesi sağlanarak termoplastik nişasta (TPS) örnekleri başarı ile hazırlandı. Hazırlanan TPS örnekleri farklı oranlarda polipropilen matrise eriyik karıştırma yöntemi ile dahil edildi. Ayrıca hazırlanan PP/TPS polimer harmanlarının hazırlanmasında (maleik anhidrit aşılınmış polipropilen) ve karbodiimid (stabaxol) kullanımının etkisi incelendi. Çift vidalı ekstrüder yardımıyla granül formunda hazırlanan PP/TPS polimer harmanları enjeksiyonla şekillendirildi. Enjeksiyon yöntemi ile şekillendirilen ürünlerin mekanik özellikleri ve fiziksel özellikleri ilgili standartlara uygun olarak tespit edildi.

Enjeksiyon kalıplama cihazında ürettiğimiz numunelerin çekme testinde saf PP'ye sadece TPS eklendiğinde değerlerin azaldığı görüldü. Fakat uyumlaştırıcı olarak kullanılan maleik anhidrit aşılınmış polipropilenin dahil olması ile birlikte değerlerin arttığı ve saf PP değerlerin üzerine çıktığı görüldü.

PP matrise TPS ilavesinin malzemenin eğme testlerinde eğme mukavemeti ve eğme modülünün değerlerinde saf PP'ye kıyasla yükselme görüldüğü ve TPS oranı arttıkça iyileşme oranının arttığı tespit edildi.

Saf PP'ye TPS eklendiğinde izod darbe dayanımının iki katı kadar yükseldiği görüldü. PP/TPS harmanına karbodiimid esaslı stabaxolün katkı maddesi eklendiğinde değerlerin saf PP'ye göre yüksek kaldığı görüldü. Fakat diğer malzeme olarak kullanılan maleik anhidrit aşılınmış polipropilenin dahil olması değerlerin saf PP'ye göre daha düşük olduğu tespit edildi.

Üretilen numunelerde TPS in saf polipropilen yapısına dahil olması ile yoğunluk değerlerinde %10 oranda bir artış gözlemlendi, bu artışın enjeksiyonla imal edilen ürün açısından kabul edebilir seviyede olduğu değerlendirildi.

Maleik anhidrit aşılınmış polipropilenin karbodiimid esaslı stabaxolün katkı maddesi olarak kullanıldığı örneklerin MFI değerlerine bakıldığında saf PP ye kıyasla artış olduğu tespit edildi.

Sonuç olarak PP/TPS polimer harmanlarında stabaxolün başta akma özellikleri ve mekanik özellikler başta olmak üzere iyileştirici özelliği kanıtlandı. Ayrıca Stabaxol kullanımının malzemenin darbe dayanıklılığını arttırdığını, akma dayanımında

herhangi bir değişime uğramadığı için malzeme kalitesini yükselttiğini ve eğme testlerindeki iyileştirme malzemenin esnekliğinin daha da arttığını tespit edildi.



## KAYNAKLAR

- [1] Mosab Kaseem, Kotiba Hamad, Fawaz Deri Polym. Bull “*Rheological and Mechanical Properties of Polypropylene/Thermoplastic Starch Blend.*” (2012) 68:1079–1091
- [2] <https://www.hatvesanmakina.com/s-polimerler-hakkinda-14.html>
- [3] <https://www.benimuhendisim.com/polimer-nedir-polimerlerin-ozellikleri-kullanim-alanlari-ve-uretim-yontemleri-nelerdir/>
- [4] <https://teknolojiprojeleri.com/mekanik/polimer>
- [5] <https://muhendistan.com/polimer-nedir-ozellikleri-ve-cesitleri-nelerdir/>
- [6] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/thermoset-vs-thermoplastic#ThermosetPlastics>
- [7] E. R. Larson, “*Thermoplastic Material Selection,*” William Andrew Publishing, Pages 19-56, 2015
- [8] <https://www.britannica.com/technology/materials-processing>
- [9] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/plastic-extrusion>
- [10] <https://web.itu.edu.tr/gulmez/IMAL%20USULLERI/ch13lastik%20isleme.pdf>
- [11] <https://www.protolabs.co.uk/services/injection-moulding/plastic-injection-moulding/>
- [12] <https://www.polyplastics.com/en/support/mold/outline/>
- [13] <https://www.enerjiportali.com/polipropilen-nedir-nelerlerde-kullanilir/>
- [14] <https://www.eymenpetrokimya.com.tr/polipropilen-nedir-polipropilen-nerelerde-kullanilir/>
- [15] J. BeMiller, R. Whistler, “*Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch. In Food Science and Technology,*” Academic Press, 2009.
- [16] K. Salimi, “Termoplastik Nişasta Sentezi ve Film Oluşturma Özelliklerinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [17] L. V. Siqueira, C. Í. F. Arias and B. C. Maniglia, C. C. Tadini, “*Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives, Current Opinion in Food Science,*” Volume 38, 2021
- [18] <https://elpais.com/sociedad/2020-06-02/el-gobierno-lanza-un-nuevo-mpuesto-sobre-los-nvases-lasticos-que-preve-recaudar-724-millones-de-euros.html>

- [19] L. V. Siqueira, C. Í. F. Arias and B. C. Maniglia, C. C. Tadini, “*Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives*, *Current Opinion in Food Science*”, 2021.
- [20] Y. Zhang, C. Rempel, D. McLaren, “*Thermoplastic Starch*. In *Food Science and Technology, Innovations in Food Packaging*”, Academic Press, 2014
- [21] Y. Zhang, C. Rempel, D. McLaren, *Thermoplastic Starch*, In *Food Science and Technology*, Innovations in Food Packaging (Second Edition), Academic Press, 2014
- [22] A.J. F de Carvalho, A.A.S Curvelo, J.A.M Agnelli, “*A first insight on composites of thermoplastic starch and kaolin*, *Carbohydrate Polymers*,” Volume 45, Issue 2, 2001
- [23] A. M. Nafchi<sup>1</sup>, M. Moradpour, M. Saeidi and A. K. Alias, “*Thermoplastic starches, Properties, challenges, and prospects Starch*,” 2013
- [24] <https://cordis.europa.eu/project/id/AIR21187>
- [25] M. Ramesh, S. M. Rangappa, J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, “*In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. Biodegradable Polymers, Blends and Composites*,” Woodhead Publishing, 2022
- [26] E. Raei, A. Avid, B. Kaffashi, Effect of compatibilizer concentration on dynamic rheological behavior and morphology of thermoplastic starch/polypropylene blends.
- [27] Mosab Kaseem, Kotiba Hamad & Fawaz Deri. *Thermoplastic starch blends: A review of recent Works*. Polymer Science Series A volume 54, pages165–176 (2012)
- [28] <https://www.peptide.com/2021/05/19/carbodiimides-and-additives/>
- [29] L. Jiang, J. Zhang, Biodegradable Polymers and Polymer Blends. Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics, William Andrew Publishing, 2013
- [30] Li, X., Tabil, L. Ve Panigrahi, S. *Chemical Treatments of Natural Fibers for Use in Natural Fiber Reinforced Composites*. Journal Of Polymers And The Environment, 2007
- [31] [https://nanopdf.com/queue/stabaxol-versatile-hydrolysis\\_pdf?queue\\_id=-1&x=1653587025&z=NDYuMTA2LjlyOS4xOTM=](https://nanopdf.com/queue/stabaxol-versatile-hydrolysis_pdf?queue_id=-1&x=1653587025&z=NDYuMTA2LjlyOS4xOTM=)
- [32] [https://www.palmerholland.com/All-Products/STABAXOL-P-POWDER#:~:text=Stabaxol%C2%AE%20P%20is%20an,PBT%2C%20TPE\)%20and%20polyamides.](https://www.palmerholland.com/All-Products/STABAXOL-P-POWDER#:~:text=Stabaxol%C2%AE%20P%20is%20an,PBT%2C%20TPE)%20and%20polyamides.)
- [33] Peelman N, Ragaert P, De Meulenaer B, Adons D, Peeters R, Cardon L, et al. *Gıda ambalajı için biyoplastiklerin uygulanması. Gıda Bilimi ve Teknolojisindeki Eğilimler*. 2013;32(2):128–41.

- [34] Liu H, Xie F, Yu L, Chen L, Li L. *Nişasta bazlı polimerlerin termal işlenmesi. Polimer Biliminde İlerleme.* 2009;34(12):1348–68.
- [35] Ehsan Raei, Arezoo Avid, Babak Kaffashi. *Effect of compatibilizer concentration on dynamic rheological behavior and morphology of thermoplastic starch/polypropylene blends.* Journal of Applied Polymer Science Volume 137, Issue 22 48742
- [36] Shanks, Robert & Kong, Ing. (2012). Thermoplastic Starch. 10.5772/36295.
- [37] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-injection-moulding>
- [38] <https://www.polyplastics.com/en/support/mold/outline/>





## ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2010 yılında girdiği Yozgat Bozok Üniversitesi Kimya Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılından beri özel sektörde çeşitli firmalarda çalışmaktadır. Son olarak 2017 yılında girdiği Çayırova Arçelik A.Ş. Kampüsünde AR-GE departmanında Polimer ve Kimya Ailesinde çalışmaktadır.

