

BAKAD
2012
BATI KARADENİZ
AKADEMİSYENLER
DERNEĞİ

UMÜFED

ULUSLARARASI
BATI KARADENİZ
MÜHENDİSLİK
VE FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ

INTERNATIONAL WEST BLACK SEA
ENGINEERING AND SCIENCE
JOURNAL

EDİTÖR KURULU

SAHİBİ

Batı Karadeniz Akademisyenler Derneği Adına

Prof. Dr. Mahmut BOZAN

EDİTÖR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

ALAN EDİTÖRLERİ

Doç. Dr. Bilal TÛTÛNCÛ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih İLKBAHAR

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan SOLMAZ

YAYIN KURULU

Prof. Dr. Davut KARAASLAN

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Prof. Dr. Giray TOPAL

Prof. Dr. Deniz AYDEMİR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Doç. Dr. Bilal TÛTÛNCÛ

Doç. Dr. Medeni AYKUT

Doç. Dr. Dahaman ISHAK

Doç. Dr. Şahin PALTA

Doç. Dr. Salih PAŞA

Doç. Dr. Suhaidi SHAFİE

Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL

Doç. Dr. Ersin ALAYBEYOĞLU

Doç. Dr. Kamil ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih İLKBAHAR

Dr. Azizul AZİZAN

Dr. Haslina JAAFAR

Dr. Mohd Nazim MOHTAR

Dr. Mohd Amrallah MUSTAFA

Dr. Fakhrul HAZMAN YUSOFF

Öğr. Gör. M. Semih SARAÖĞLU

Öğr. Gör. Taylan TUĞRUL

İLETİŞİM

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü

Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Oda:307

MERKEZ/BARTIN

E-posta: (eyupburak@gmail.com)

TEKNİK DESTEK

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

E-posta: eyupburak@gmail.com

DİZİNLER VE PLATFORMLAR

[DERGİPARK](#)

[ResearchBib](#)

[DRJI](#)

[Index Copernicus](#)

[ASOS Index](#)

E-ISSN: 2687-2927

Yeni dizinlere başvurular yapılmış olup gelecek sayılarda eklenmiş olması planlanmaktadır.

İÇİNDEKİLER

KENEVİR İÇEREN POLİPROPİLENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ÇÖREK OTU İLAVESİNİN
VE UYUMLAŞTIRICI KONSANTRASYONUNUN ETKİSİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 1-15 / Yazarlar: Duygu BALCI, Doğa KELEŞ, Münir TAŞDEMİR, Elif ULUTAŞ

OTOMOTİV TEDARİKÇİSİ OLAN BİR FİRMADA ÇOK MODELLİ HAT ÜZERİNDE MONTAJ
HATTI DENGELEME ÇALIŞMASI

Araştırma Makalesi

Sayfa: 16-32 / Yazarlar: Merve AYZAZ DERTLİ

UMÜFED

ULUSLARARASI
BATI KARADENİZ
MÜHENDİSLİK
VE FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ

Değerli Okurlarımız,

Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi'nin altıncı cilt birinci sayısını yayınlamanın mutluluğunu yaşıyoruz.

Gönderilen makaleler arasında iki makale bu sayımızdaki hakemler tarafından yayınlanmaya değer bulunmuştur.

Duygu BALCI, Doğa KELEŞ, Münir TAŞDEMİR ve Elif ULUTAŞ tarafından hazırlanan ilk makalenin amacı ağırlıkça (ağ.) %20 oranında kenevir içeren polipropilenin (PP) mekanik özelliklerine çörek otu (ÇO) ilavesinin ve uyumlaştırıcı konsantrasyonunun etkisini incelemektir. Her bir grup için PP/20KNR matris içerisine ağ. %20 oranında öğütülmüş ÇO ve ara yüzey uyumunu arttırmak için sırasıyla ağ. %5, 10, 15 oranlarında maleik anhidrit aşılı PP (MAPP) maddesi eklenmiştir. Eriyik haline getirme ekstrüder ile sağlanmıştır. Polimer kompozitler granül haline getirilerek enjeksiyon makinesi ile kalıplanmıştır. ÇO ve MAPP'nin mekanik özellikler üzerindeki etkileri; çekme testi, izod darbe testi, sertlik testi ve yoğunluk testi ile incelenmiştir. ÇO, kenevir ve MAPP oranlarının matris içerisindeki dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile test edilmiştir.

Merve AYAZ DERTLİ tarafından hazırlanan ikinci makalede, 9 farklı istasyondan oluşan ve operasyon süreleri değişkenlik gösteren montaj hatları deneysel olarak analiz edilmiştir. Gözlemler, zaman ve metot olarak çeşitlilik gösteren operatörlerin farklı iş yüküne sahip olduklarını göstermektedir. Analiz sonuçları montaj hattındaki optimum dengelemeyi elde etmek için mümkün olan işlerin tek bir operatör tarafından yapılmasını sağlamak için birleştirilerek minimum operatör sayısı ile istasyonlar arasındaki iş yükü dengesizliği minimize edilebileceğini göstermektedir.

Dergimize çalışmalarını gönderen değerli yazarlarımıza, hazırlanmasında emeği geçen alan editörlerine ve kıymetli vakitlerini ayırarak makaleleri değerlendiren hakemlerimize teşekkür ediyoruz. Sonraki sayılarda siz değerli okurlarımızın önerileriyle ve gönderecekleri

makalelerle desteklerini esirgemeyeceklerinden eminiz. Bu vesileyle gelecek sayımızın Aralık 2024 tarihinde yayınlanması planlandığını hatırlatıyor, gelecek sayıya da çalışmalarınızı bekliyoruz. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi'nin bu sayısının da ilim dünyasına hayırlı olmasını diliyorum, saygılarımla sunarım. 30.06.2024

EDİTÖR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

KENEVİR İÇEREN POLİPROPİLENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ÇÖREK OTU İLAVESİNİN VE UYUMLAŞTIRICI KONSANTRASYONUNUN ETKİSİ

Duygu BALCI^{1,a}, Doğa KELEŞ^{1,b}, Münir TAŞDEMİR^{1,c}, Elif ULUTAŞ^{1,d,*}

¹Marmara Üniversitesi TF Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,

^aduygu.balci.02@gmail.com, ORCID: 0009-0002-6917-1011

^bdogakeles2001@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2173-6979

^cmunir@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8635-7251

^delif.ulutas@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7753-8878

ÖZET

Polimerler; kolay işlenebilme, düşük maliyete sahip olma ve hafiflik gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda hayatımızda oldukça büyük bir yere sahip olan malzemelerdendir. Bu çalışmanın amacı ağırlıkça (ağ.) %20 oranında kenevir içeren polipropilenin (PP) mekanik özelliklerine çörek otu (ÇO) ilavesinin ve uyumlaştırıcı konsantrasyonunun etkisi incelemektir. Her bir grup için PP/20KNR matris içerisine ağ. %20 oranında öğütülmüş ÇO ve ara yüzey uyumunu arttırmak için sırasıyla ağ. %5, 10, 15 oranlarında maleik anhidrit aşılı PP (MAPP) maddesi eklenmiştir. Eriyik haline getirme ekstrüder ile sağlanmıştır. Polimer kompozitler granül haline getirilerek enjeksiyon makinesi ile kalıplanmıştır. ÇO ve MAPP'nin mekanik özellikler üzerindeki etkileri; çekme testi, izod darbe testi, sertlik testi ve yoğunluk testi ile incelenmiştir. ÇO, kenevir ve MAPP oranlarının matris içerisindeki dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen, mekanik özellikler, çörek otu, maleik anhidrit aşılı polipropilen, kenevir.

EFFECT OF BLACK SEED ADDITION AND COMPATIBILIZER CONCENTRATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HEMP-CONTAINING POLYPROPYLENE

ABSTRACT

Polymers are materials that have gained significant importance in our lives in recent years due to their characteristics such as ease of processing, low cost, and lightweight. The aim of this study is to examine the effect of black cumin addition and compatibilizer concentration on the mechanical properties of polypropylene (PP) containing 20% hemp by weight. For each group, 20% ground

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Balci, D., Keleş, D., Taşdemir, M., Ulutaş, E., "Kenevir İçeren Polipropilenin Mekanik Özelliklerine Çörek Otu İlavesinin ve Uyumlaştırıcı Konsantrasyonunun Etkisi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(1): 1-15, 2024.

Geliş (Received): 01.02.2024

Kabul (Accepted): 04.04.2024

Yayın (Published): 30.06.2024

black cumin was added to the PP/20KNR matrix, and MAPP was added at 5%, 10%, and 15% by weight levels successively to increase interfacial adhesion. The melt blending was achieved using an extruder. The polymer composites were pelletized and molded using an injection machine. The effects of black cumin and maleic anhydride grafted PP (MAPP) on the mechanical properties were investigated through tensile testing, Izod impact testing, hardness testing, and density testing. The distribution of black cumin, hemp, and MAPP in the matrix was examined using scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: Polypropylene, mechanical properties, black cumin, maleic anhydride grafted polypropylene, hemp.

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan polimerler, petrol ve doğal gaz gibi tükenen doğal kaynakların yaklaşık %5'inin kullanımıyla elde edilmektedir [1]. Endüstrinin gelişmesi ve artan nüfus ile birlikte tüketim, üretim ve hizmet faaliyetleri de artış göstermiştir. Hızlı sanayileşme ile birlikte azalan kaynaklar ve artan çevre dostu yaklaşımlar; sektörleri ve bilim insanlarını sürdürülebilir, işlenmesi kolay, düşük maliyetli, çevre dostu ve mekanik özellikleri yüksek olan kompozitler üretmek için araştırmalar yapmaya teşvik etmiştir [2-5]. Fosil kaynaklı malzemelerin küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi zararları ve petrol rezervlerindeki azalma ile birlikte; polimer kompozitlerde çevre dostu ve yenilenebilir doğal liflerin kullanımı yaygınlaşmıştır [1, 6-8]. Doğal lifler sentetik liflere oranla daha sürdürülebilir, matris ile daha uyumlu bir yapı oluşturan, daha az karbon dioksit salımlı ve daha yüksek mekanik özelliklere sahip malzemelerdir. Özellikle kenevir liflerinin yüksek mukavemeti ve sürdürülebilir olması, polimer kompozitlerde kullanımını mümkün kılmaktadır [9-11]. Kenevir lifi, sertliği ile cam liflerinin yapısına benzerlik gösterir. Polimer kompozitlerin mühendislik özelliklerini arttırmak için kullanılan bu takviye malzemesi ile kompozitlerde daha iyi mühendislik özellikleri elde edilir [12].

Çalışmada kullanılan Nigella Sativa olarak da bilinen ÇO, selüloz temelli bir bitki türüdür. Türkiye'de de çeşitliliği oldukça fazla olan bu bitkinin; siyah tohumları, bitkinin ince otsu dallarının tepesindeki kapsüllerinin içerisinde bulunur. Nem çekme özelliğine sahip bu tohumlar siyah kimyon veya bereket tanesi olarak da bilinir [13,14]. Çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan polipropilen, kolay işlenebilirliği, düşük yoğunluğu, mükemmel

kimyasal dayanımı ile otomotiv sektöründen tekstil sektörüne kadar kullanımı çok yaygın polimerlerden biridir [15].

Kompozit malzemelerde matris malzemesi ile takviye malzemesi arasındaki ara yüz etkileşimini arttırmak amacı ile uyumlaştırıcı malzemeler kullanılır. Uyumlaştırıcı malzemeler ile kompozitlerin özellikleri iyileştirilir, kullanım ömrü uzatılır ve dış etmenlere karşı dayanımı arttırılır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; doğal lif takviyeli kompozitlerde daha iyi uyumlaştırma sağlamak için MAPP kullanılmıştır [16-23]. Ulutaş ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada geri dönüştürülmüş PP içerisine ağ. %5, 10, 20, 30 oranında pirinç kabuğu ilave ederek doğal lif takviyeli kompozitler elde etmişlerdir. Yapılan çalışma kapsamında matris ve takviye elemanı arasındaki uyumlaştırmayı arttırmak için her grupta ağ. %5 oranında MAPP kullanılmıştır. Mekanik incelemeler sonucunda pirinç kabuğu ilavesi ile çekme mukavemetinin, kopma mukavemetinin ve elastiklik modülünün arttığı; bunun aksine kopma uzamasının azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda sertlik değerinin pirinç kabuğu ilavesi ile doğru orantılı bir değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir [24]. Sullins ve arkadaşları çalışmalarında kenevir lifi takviyeli PP kompozitlerin mekanik davranışlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. MAPP uyumlaştırıcı maddesinin eklenmesinin ardından çekme, izod darbe, sertlik ve eğme testleri yapılmıştır. Eğme ve gerilme özelliklerinin arttığı; doğal lif takviyeli malzemelerin eklenmesi ile kompozitlerin modülünün, sertliğinin ve darbe dayanımının arttığı gözlemlenmiştir [25].

Yapılan çalışma kapsamında ağ. %20 kenevir takviyeli PP içerisine %20 oranından ÇO; ağ. %5, 10, 15 oranlarında MAPP konularak ekstrüzyon makinesinde polimer kompozitler üretilmiştir ve mekanik özelliklerin incelenmesi için test numuneleri enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. ÇO ve MAPP eklenmesi ile polimer kompozitlerin çekme dayanımı, elastiklik modülü, sertlik değeri ve yoğunluğunun değişimi incelenmiştir. Aynı zamanda taramalı elektron mikroskobu kullanılarak ÇO ve kenevir lif takviyesinin partikül özellikleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Yapılan çalışma kapsamında polimer kompozit üretimi için matris malzemesi olarak kullanılan $0,98 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğuna sahip PP/20KNR, Automotive Performance Materials

firmasından temin edilmiştir. Matris malzemesi olarak REFINE PF3 434A ticari kodlu PP kullanılmıştır. PP/20KNR takviyeli polimer malzemenin çekme dayanımı 2650 MPa ve MFI (190 °C/5 kg) 11,6 g/10 dk'dır. Polimer kompozitler için katkı maddesi olarak ÇO kullanılmıştır. Aynı zamanda matris ve katkı maddesi arasındaki ara yüzey yapışmasını artırmak için kullanılan Bondyram® 1001CN ticari isimli MAPP Polyram Group firmasından temin edilmiştir.

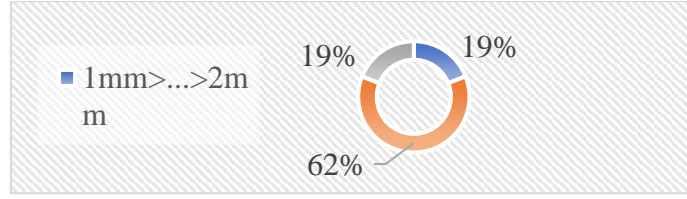
2.2. Numunelerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

ÇO ve kenevirin polimer kompozitler üzerindeki mekanik özelliklerini incelemek için beş farklı oranda karışım hazırlanmıştır ve kullanılan bileşenlere ait karışım oranları Tablo 1' de verilmiştir.

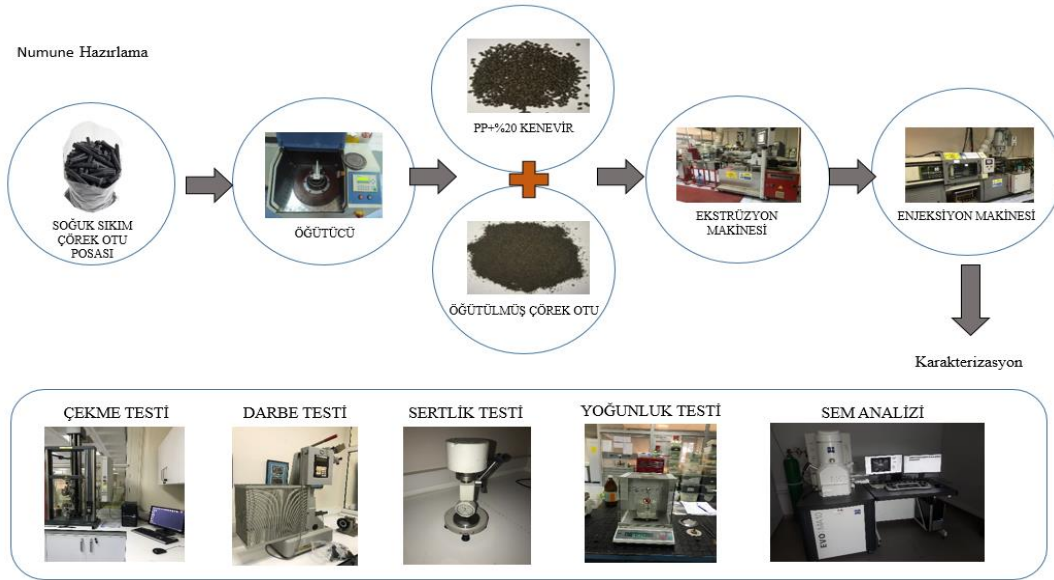
Tablo 1. PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozitini oluşturan bileşenlerin karışım oranları

Gruplar	PP/20KNR (% ağı.)	ÇO (% ağı.)	MAPP (% ağı.)
1	100	-	-
2	80	20	-
3	75	20	5
4	70	20	10
5	65	20	15

PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozit üretiminden önce daha ince taneler elde etmek amacıyla ÇO Siemens Simatic C7-621 cihazı ile öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Çörek otunun partikül boyut dağılımını incelemek için yapılan elek analizi sonuçları Şekil 'de verilmiştir. Öğütme işleminin ardından kompoziti oluşturan bileşenler 24 saat boyunca 105°C sıcaklıkta Yamato ADP-31 (Yamato/VWR Scientific Products, Japonya) etüvde kurutulmuştur. Ardından bileşenlerin mekanik karıştırma işlemi Patterson marka katı-sıvı karıştırıcıda 10 dk boyunca yapılmıştır. Polimer kompozit üretimi için bileşenler Mikrosan marka çift vidalı ekstrüderde 180-230 °C ve 35 dev/dk dönme hızında eriyik olarak karıştırılmıştır. Ekstrüderden çıkan lifler suda soğutma işlemine maruz bırakılmış ve kırıcı yardımıyla granül formuna getirilmiştir. Malzeme yapısındaki nemin uzaklaştırılması için numuneler, etüvde 24 saat kurutulmuştur. Polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan testlere ait numuneler standartlara uygun olarak enjeksiyon makinesinde (Yonca Makine, İstanbul) kalıplanmıştır.



Şekil 1. Çörek otu partiküllerine ait elek analizi sonuçları



Şekil 2. PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozitinin üretim aşamaları ve kullanılan cihazlar

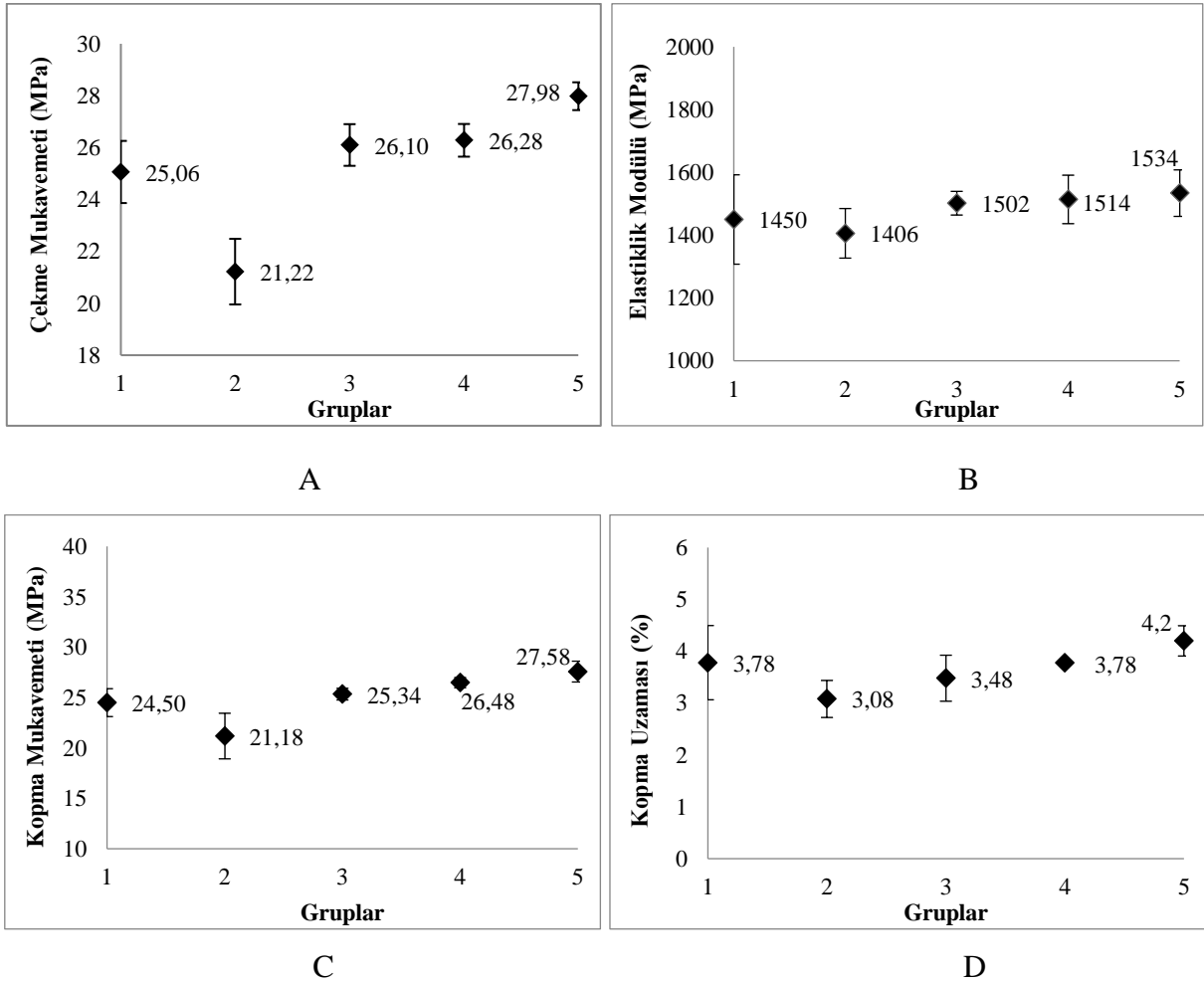
Polimer kompozitlerin elastiklik modülü, çekme dayanımı gibi özelliklerini belirlemek için Zwick Z010 marka çekme test cihazı kullanılmıştır. ASTM D 638 standardına uygun ve 50 mm/dk çekme hızında yapılan testlerde değerler 5 numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Numunelerin elastik bölgede kırılmaya karşı göstereceği direncini belirlemek amacıyla yapılan İzod darbe testi Zwick marka test cihazı ile ASTM D 256 standardına uygun çentikli olarak yapılmıştır. Numunelere 2 mm derinliğinde çentik CEAST marka cihaz ile açılmıştır. Ani yük altında malzemenin kırılması için gerekli enerji miktarı 5 adet numunenin ortalaması alınarak kJ/m² cinsinden hesaplanmıştır. Malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direncin ölçüsü olan sertlik değerleri Zwick marka Shore D durometre kullanılarak ASTM D2240 standardına uygun olarak yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk testleri, ISO 2781 standardında ve Precisa 205A SCS marka cihaz ile 3 adet numunenin ortalaması alınarak yapılmıştır. PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozitlerinin darbe testi sonrası kırılmış yüzeyleri, Polaron SC7640 marka yüksek çözünürlüklü püskürtmeli kaplayıcı (İngiltere) tarafından elektriksel şarjı önlemek için 20 Å altın-paladyum karışımı kalınlığında

kaplanmıştır. Polimer kompozitlerin mikroyapı incelemesi FEI Sirion XL30 FEG marka (Hollanda) SEM cihazı ile 20 kV ivme geriliminde gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

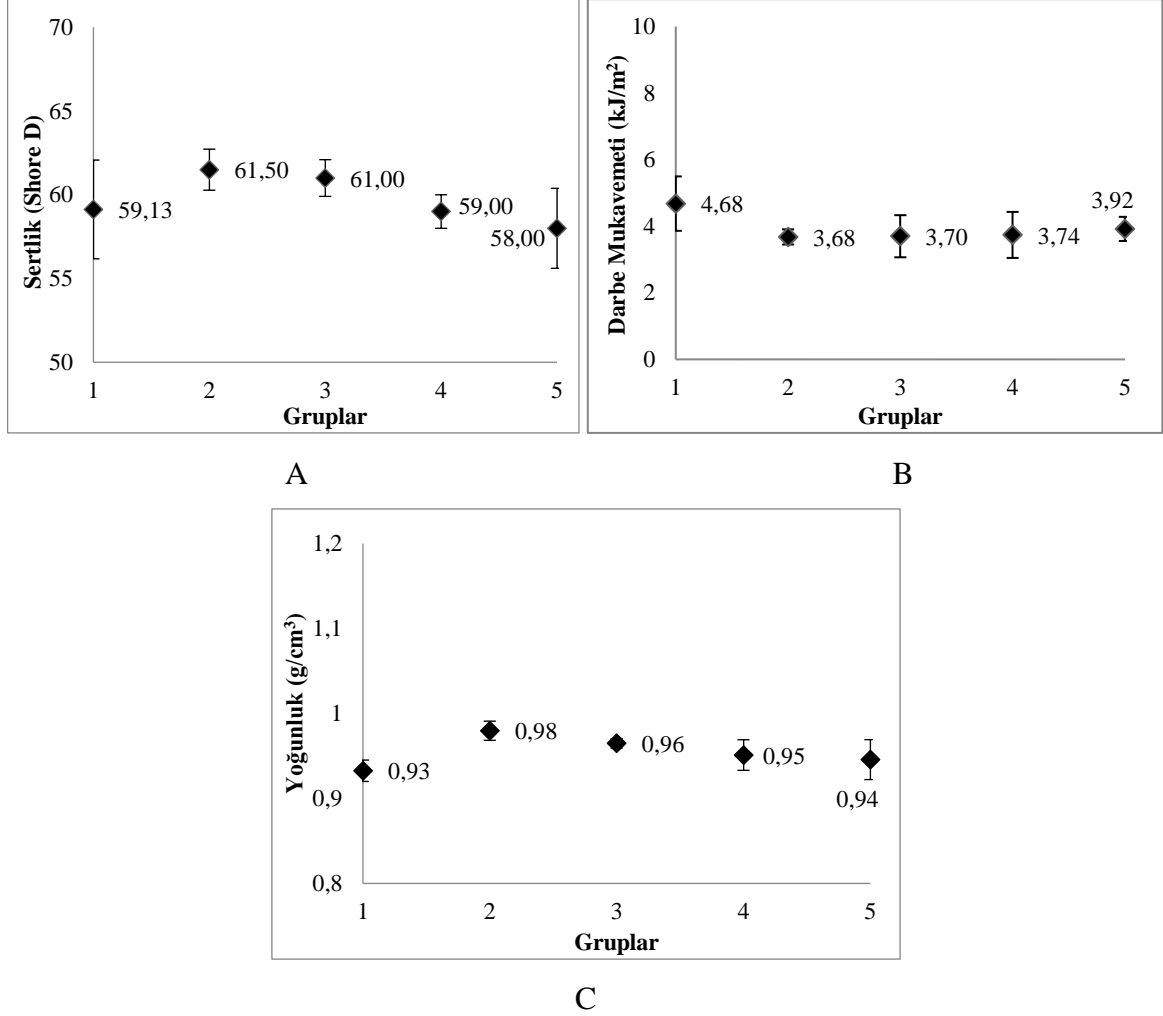
Yapılan çalışmada PP/20KNR içerisine, farklı oranda MAPP ve ağ. %20 oranında ÇO eklenerek oluşturulan polimer kompozitinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen çekme testi ile polimer kompozitlere ait çekme mukavemetindeki, elastiklik modülündeki, kopma mukavemetindeki ve %uzamadaki değişim sırasıyla Şekil 3A, 3B, 3C ve 3D’de verilmiştir. PP/20KNR matrisine ağ. %20 ÇO eklenmesi ile oluşan 2. grup numunelerinin çekme mukavemeti değeri en düşük iken, ağ. %20 ÇO ve %15 MAPP içeren 3. grup numuneleri en yüksek değere sahiptir. Benzer şekilde Atıklar’in yapmış olduğu çalışmada; selüloz, talaş ve PP içerisine takviye olarak buğday samanı ve MAPP uyumlaştırıcı maddesi eklenmiştir. MAPP kullanımı ile çekme mukavemetindeki artış %50’ye çıkmış ve ara yüzey etkileşimleri önemli ölçüde iyileşmiştir [26]. Bengtsson ve arkadaşlarının çalışmasında; selüloz elyaf takviyeli polipropilenin içerisine ilave edilen odun lifi oranındaki artış ile mukavemetinin düştüğü; eklenen MAPP oranındaki artışla ise yükseldiği gözlemlenmiştir [27]. Elastiklik modülü değerleri uyumlaştırıcı içermeyen 2. grup numunelerinde ağ. %20 ÇO eklenmesiyle azalırken kompozitlere ilave edilen MAPP uyumlaştırıcı maddesi ile artmıştır. En düşük elastiklik modül değeri 2. grup numunesine, en yüksek elastiklik modülü değeri ise ağ. 5. grup numunesine aittir. Atıklar’in yapmış olduğu doğal lif takviyeli PP içerisine buğday samanı ve MAPP maddesinin eklendiği çalışmada da olduğu gibi MAPP artmasıyla birlikte elastiklik modülü artış göstermiştir [26]. Yalnızca ağ. %20 oranında ÇO içeren kompozitin kopma mukavemetinde azalma gözlenmiştir. MAPP uyumlaştırıcı maddesinin eklenmesi ile kopma mukavemeti artmıştır. En yüksek kopma mukavemeti değeri 5. grup numunesine aittir. Ulutaş ve arkadaşlarına ait bir çalışmada; geri dönüşümlü PP içerisine ağ. %5, 10, 20, 30 pirinç kabuğu ve her grup için ağ. %5 MAPP ile edilerek polimer kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Saf PP’ye kıyasla ağ. %5 MAPP ve %20 pirinç kabuğu eklenmesi ile kopma mukavemetinde 21,34 MPa’ya kadar düzenli bir artış gerçekleşmiştir [24]. Yapılan çalışmada, %uzama değerinde MAPP uyumlaştırıcı maddesi oranının artması ile artış gözlenirken, ÇO ilavesi ile azalma gözlenmiştir. En düşük değer 2. grup numunesine aittir. Partikül takviyeli kompozitlerin

mekanik özellikleri büyük oranda partikül boyutuna, partikül-matris ara yüzeyi yapışmasına ve partikül yüküne bağlıdır. ÇÖ partiküllerinin PP matris ile uyumsuzluğu sonucu oluşan aglomerasyon malzemede heterojenliğe sebep olur. Malzemeye yük uygulama sonrası heterojen yapının varlığı ile iç gerilmeler ve yük taşıma kapasitesinde azalma meydana gelir. Bu durum çekme mukavemetinde ve uzamada azalmaya sebep olur. Aynı zamanda kopma uzamasındaki düşüş üretim esnasında kenevir liflerinin kırılması sonucu meydana gelen süreksizlikler ile açıklanabilir [28, 29]. Uyumlaştırıcı malzeme eklenmesiyle MA fonksiyonel grubu ile mikrofiberler ve selüloz -OH grupları arasında doğrudan bağlanma gerçekleşir. Bu etkileşim, uyumlaştırıcı içermeyen numunelere kıyasla çekme özelliklerinin artmasına olanak sağlamaktadır. Başboğa ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada; PP içerisine ağ. %15, %30 ve %45 odun unu eklenmiştir. Odun unu eklenmesi ile birlikte % uzama değerlerinde yaklaşık yarısı kadar bir azalma gözlenmiştir [17].



Şekil 3. PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozitinin çekme testine ait sonuçlar

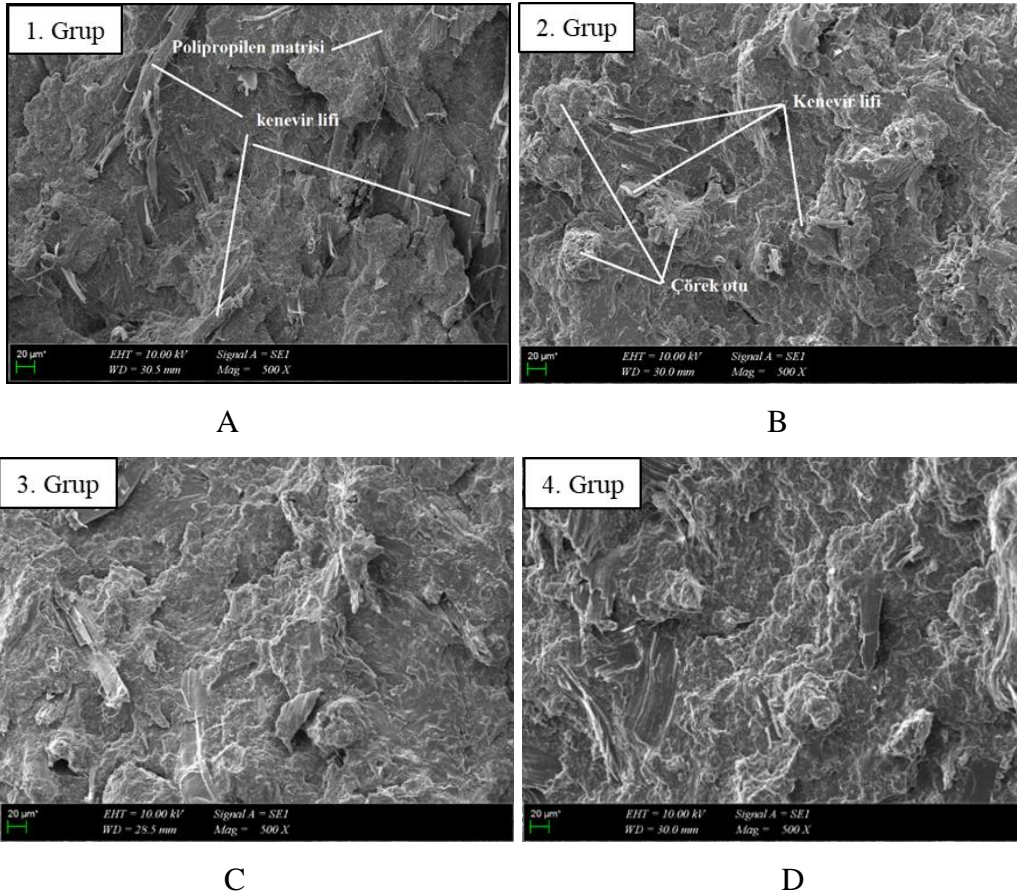
Şekil 4A'da polimer kompozitine, ÇO ve MAPP uyumlaştırıcı maddesi eklenmesi ile sertlik değerinden oluşan değişimler gösterilmiştir. Yapılan Shore D sertlik testi ile PP/20KNR matrisine ağ. %20 ÇO eklenmesi ile sertlik değeri en yüksek değere ulaşırken, MAPP uyumlaştırıcı maddesinin oranının artması ile birlikte sertliğin azaldığı incelenmiştir. Test sonuçlarında; ağ. %20 ÇO ve %15 MAPP ilave edilmiş polimer kompozit grubunun 58 Shore D değeri ile en düşük sertliğe sahip olduğu görülmüştür. Savaş ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada PP/poliamid (PA) karışımlarında kullanılan ağ. %5, 10, 20,30 kemik külü ve ağ. %0,50, 1, 1,5 MAPP etkisi incelenmiştir. Kemik külü ve MAPP oranının artmasıyla sertlik değerinin arttığı görülmüştür [30]. Kartal ve arkadaşlarına ait bir çalışmada; lif/reçine ağırlık oranı %12 olan bambu lifi-vinilester, cam lifi- vinilester, bambu+cam lifi-vinilester kompozitlerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Her bir kompozit grubu için, takviye elemanının eklenmesiyle sertlik değerinin arttığı görülmüştür [31]. Izod darbe testi ile ölçülen darbe mukavemeti değerleri Şekil 4B'de verilmiştir. 4,68 kJ/m² değerindeki PP/20KNR matrisine %20 ÇO eklenmesi ile; darbe mukavemeti %21 azalma göstererek 3,68 kJ/m² değerine düşmüştür. MAPP artışı ile birlikte 2.gruba oranla darbe mukavemeti artarken, 1.gruba oranla azalmıştır. ÇO ilavesiyle darbe mukavemetinde meydana gelen düşüş takviye ile matris arasındaki arayüzey bağlantısının zayıf olmasıyla açıklanabilir. Kompozite eklenen MAPP ile birlikte darbe mukavemeti artmaktadır. Fakat bu artış oranı önemli değerlerde değildir. Bununla birlikte en yüksek darbe mukavemeti değeri PP/20KNR kompozitinde elde edilmiştir. Özdemir ve Özgan'ın yapmış olduğu çalışmada, PP'ye eklenen MAPP uyumlaştırıcı maddesi ile darbe direncinde belirgin bir değişkenlik göstermemiştir [32]. Özmen ve arkadaşlarının çalışmasında; ağ. %20 MDF unu katkılı PP kompozitinin içerisine ağ. %5 oranında MAPP ilave edilerek darbe direncinde üzerinde yaklaşık %14'lük bir iyileşme gözlenmiştir [33].

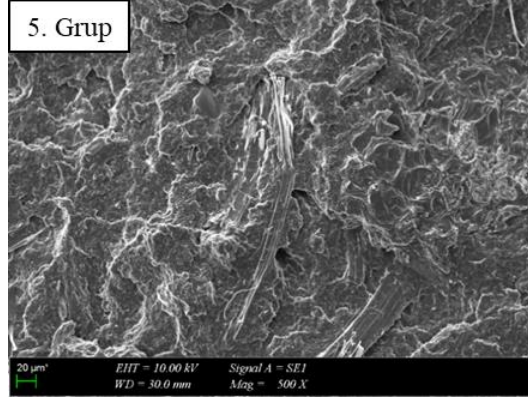


Şekil 4. PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozitlerine ait bazı özellikler

Şekil 4C’de verilen PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozitine ait yoğunluk değerleri incelendiğinde ağ. %20 ÇO eklenmesi ile yoğunluğun arttığı görülmüştür ve 0,98 g/cm³ olarak ölçülen en yüksek yoğunluk değeri 2.grup numunelerine aittir. MAPP oranının artmasıyla birlikte yoğunluk değeri 2. gruba kıyasla azalmıştır ve en düşük yoğunluk değeri 1 grup numunesine aittir. Taşdemir ve Kaştan’ın, PP içerisine zeytin çekirdeği ve MAPP uyumlaştırıcı maddesi ekleyerek yapmış olduğu çalışmada da görüldüğü üzere matristen daha yoğun olan zeytin çekirdeği eklenmesiyle yoğunluk artışı meydana gelmiştir [34]. Ulutaş ve arkadaşlarına ait çalışmada PP içerisine pirinç kabuğu eklenmesi ile yoğunluk artmıştır. En yüksek yoğunluk ağ. %30 pirinç kabuğu ve %5 MAPP ilaveli kompozitte gözlemlenmiştir. Takviye elemanı ilavesi ile yoğunluktaki artış; PP’ye kıyasla pirinç kabuğunun yoğunluğunun daha fazla olması ile ilişkilendirmiştir [24].

Çalışmada SEM kullanılarak kompozitlerin kırık yüzeylerinden incelenen mikroyapı görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir ve SEM görüntüleri 500x büyütmede incelenmiştir. Görüntüler incelendiğinde MAPP içermeyen 1. ve 2. Grup numunelerinde kenevir liflerinin dağılımı açıkça görülmektedir. MAPP kullanıldığında diğer gruplarda lifler ve matris içerisine gömüldüğü ve uyumun arttığı gözlemlenmiştir. Polimer kompozitlerin SEM görüntüleri incelendiğinde; numune yüzeylerinde herhangi bir deformasyon, hava kabarcığı veya çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Bu sonuç, uyumlaştırıcı kullanımı ile ÇO ve kenevir lifinin matris içerisinde iyi yapıştığını göstermektedir ve mekanik özelliklerdeki artışı açıklamaktadır. Çetin'e ait pirinç kabuğu unu takviyeli polilaktik asitin özelliklerinin incelendiği bir çalışmada ağ. %4 MAPP eklenmesi liflerin dağılımının daha homojen olduğu ve arayüzey yapışmasının sağlandığı görülmüştür [35]. Özdemir ve Özgan'a ait bir çalışmada; PP içerisine yumurta kabuğu, odun unu ve %3 MAPP uyumlaştırıcı maddesi eklenerek takviye elemanlarının matris içerisindeki dağılımı incelenmiştir. MAPP eklenmesi ile matris ve takviye malzemesi arasındaki ara yüzey iyileştirilmesi sağlanmıştır ve partiküllerin homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür [32].





E

Şekil 5. PP/20KNR/ÇO/MAPP polimer kompozitinin SEM görüntüleri

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Polimerik malzemelerin hazırlanmasında kullanılacak alana göre yüksek mekanik özelliklere sahip üretim yapılması en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle mekanik özelliklerin karakterizasyonu, malzemelerin değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada ağ. %20 oranında kenevir içeren PP'nin mekanik özelliklerine çörek otu ilavesinin ve uyumlaştırıcı konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Mekanik özelliklerin değerlendirilmesinde kompozitlerin çekme mukavemeti, kopma uzaması, kopma mukavemeti, elastiklik modülü, darbe mukavemeti, sertlik değerleri ve bunun yanı sıra yoğunluk özellikleri ve mikroyapı incelemesi dikkate alınmıştır. PP ile karşılaştırıldığında çörek otunun nispeten daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir ve ÇO ilavesiyle kompozitlerin yoğunluğunu artırmıştır. Yoğunluk ile doğru orantılı olarak; ÇO ilavesi kompozitlerin sertliğini artırmıştır, fakat MAPP konsantrasyonundaki artış sertliğin düşmesine sebep olmuştur.

Mekanik değerler incelendiğinde; çekme testi değerleri ile takviye oranı ters orantılıdır. Kompozitlerde bir arayüzey uyumlaştırıcı maddesi kullanımı takviye-matris arasındaki yapışmayı artırır ve bunun sonucunda mukavemeti de artırması beklenir. MAPP oranındaki artış ile arayüz kalitesinin artması, daha iyi bir yük dağılımına ve dinamik yükün zayıf matristen, yüksek mukavemetli liflere daha verimli bir şekilde aktarılmasına yol açar. Bunun sonucunda çekme özellikler artış gösterir. Sürdürülebilir bir takviye elemanı olarak ÇO parçacıklarının PP bazlı kompozitlerde kullanımı hafif ve yüksek mukavemetli malzemenin talep edildiği üretim sektörlerine alternatiftir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK-2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Desteği Programı kapsamında 1919B012310333 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Benek Hamamcı, "Yeşil kompozitlerde biyopolimerlerin kullanımının önemi", Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 8(1), 12-24, 2018
- [2] Dilara Demirbek ve Meliha Oktav Bulut, "Kenevir Liflerinin Eldesi, Özellikleri ve Kompozit Uygulama Alanları", Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences, 4(2), 176-191, 2021.
- [3] Ahmet Güngör, "The effect of Cumin Black (Nigella Sativa L.) as bio-based filler on chemical, rheological and mechanical properties of epdm composites", Turkish Journal of Engineering 7(4), 279-285, 2023.
- [4] Kadir Karakuş, "Üniversitemizdeki polietilen ve polipropilen atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi", Diss, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2008.
- [5] Zhan Guo, et al. "Test on residual ultimate strength of pultruded concrete-filled GFRP tubular short columns after lateral impact", Composite Structures 260, 113520, 2021.
- [6] Rachid Hsissou, et al. "Polymer composite materials: A comprehensive review", Composite structures 262, 113640, 2021.
- [7] Elif Ulutaş, "Geri Dönüşümlü Polipropilen/Çeltik Polimer Kompozitinin Mekanik, Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi," Marmara Üniversitesi (Turkey), 2019.
- [8] Afife Binnaz Hazar Yoruç ve Volkan Uğraşkan, "Yeşil Polimerler ve Uygulamaları", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 17(1), 318-337, 2017.
- [9] Anıl Yılmaz, "Kenevir fiber katkılı biyokompozit malzeme geliştirilmesi," Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [10] Selçuk Akbaş, Türker Güleç, Mürşit Tufan, Cihat Taşcıoğlu ve Hüseyin Peker, "Fındık kabuklarının polipropilen esaslı polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi ", 2013.

- [11] Süleyman Köytepe, Büşra Aksoy ve Turgay Seçkin, "Doğal Selüloz Lifleri Kullanılarak Biyobozunur Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Termal Özelliklerinin Belirlenmesi", 2010.
- [12] Dasong Dai, ve Mizi Fan, "Characteristic and performance of elementary hemp fibre", *Materials Sciences and Applications* 1.06, 336, 2010.
- [13] Zeinab Solati, Badlishah Sham Baharin, ve Hossein Bagheri, "Antioxidant property, thymoquinone content and chemical characteristics of different extracts from *Nigella sativa* L. seeds", *Journal of the American Oil Chemists' Society* 91, 295-300, 2014.
- [14] Elif Bacak Güllü ve Gülcan Avcı, "Timokinon: *Nigella Sativa*'nm Biyoaktif Komponenti", 2013.
- [15] Merve Açıkgenç, Ufuk Arazsu, ve Kürşat Esat Alyamaç. "Farkli karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri." *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi* 4(3), 41-54, 2012.
- [16] Krishna Prasad Rajan, Selvin P Thomas, Aravinthan Gopanna, Ahmed Al-Ghamdi, Murthy Chavali, "Rheology, mechanical properties and thermal degradation kinetics of polypropylene (PP) and polylactic acid (PLA) blends", *Materials Research Express*, 5(8), 085304, 2018.
- [17] İbrahim Halil Başboğa, İbrahim Kılıç, İlkey Atar, Fatih Mengenoğlu, "Tropik ağaç türü olan dahoma (*Piptadeniastrum africanum*) odununun odun plastik kompozit üretiminde kullanımı", *Ormancılık Araştırma Dergisi* 9.Özel Sayı, 271-280, 2022.
- [18] Şule Seda Yılmaz, "Maleik anhidrit aşılansmış polipropilen uyumlulaştırıcı ile organokil-polipropilen nanokompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu", Yüksek Lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2011.
- [19] Marie Le Baillif, and Kristiina Oksman, "The effect of processing on fiber dispersion, fiber length, and thermal degradation of bleached sulfite cellulose fiber polypropylene composites", *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 22(2), 115-133, 2009.
- [20] Ertuğrul Altuntaş, Tufan Salan, Ferhat Özdemir, İsa Küçük, Mustafa Çiçekler, Abdullah Kürşat Arıkan, "Evaluation of Perlite and Lignocellulosic Wastes in Wood Plastic Composite Production", 2017.
- [21] Smita Mohanty, Sanjeev Nayak, Sushanta Tripathi, "Effect of MAPP as coupling agent on the performance of sisal-PP composites. *Journal of reinforced plastics and composites*", 23(18), 2047-2063, 2004.
- [22] Ertuğrul Altuntaş, Halime Acar, Alma Mehmet, Eyyüp Karaoğul, "Kt Polipropilen (PP) ve Atık Pirinç Saplarından Üretilen Kompozitlerin Bazı Mekanik ve Fiziksel

Özelliklerinin Belirlenmesi", Kahramanmaraş, Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Avşar Yerleşkesi, 46100, Kahramanmaraş.

- [23] Joung-Man Park, Son Tran Quang, Byung-Sun Hwang, Lawrence Devries, "Interfacial evaluation of modified Jute and Hemp fibers/polypropylene (PP)-maleic anhydride polypropylene copolymers (PP-MAPP) composites using micromechanical technique and nondestructive acoustic emission", *Composites Science and Technology* 66(15), 2686-2699, 2006.
- [24] Elif Ulutaş, Münir Taşdemir, ve Emine Koçak, "Geri dönüşümlü polipropilen/pirinç kabuğu polimer kompozitinin mekanik özelliklerinin incelenmesi".
- [25] Theresa Sullins, Selvam Pillay, Alatair Komus, Haibin Ning, "Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. *Composites Part B: Engineering*", 114, 15-22, 2017.
- [26] Ulaş Atıklar, "Preparation and characterization of polypropylene-cellulose composites, *Izmir Institute of Technology*", Turkey, 2004.
- [27] Magnus Bengtsson, Marie Le Baillif, Kristiina Oksman, "Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre–polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*", 38(8), 1922-1931, 2007.
- [28] Mateusz Barczewski, Kamila Sałasińska, Joanna Szulc, "Application of sunflower husk, hazelnut shell and walnut shell as waste agricultural fillers for epoxy-based composites: A study into mechanical behavior related to structural and rheological properties", *Polymer Testing*, 75, 1-11, 2019. doi:10.1016/j.polymertesting.2019.01.017
- [29] Asya Nur Sunmaz, Ulaş Doğan, Alaeddin Burak İrez, "Ayçiçeği kabuğu takviyeli biyo-epoksi matrisli çevreci ve maliyet etkin kompozitlerin geliştirilmesi ve mekanik karakterizasyonu", *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 35(4), 494-503, 2023. doi:10.7240/jeps.1359961
- [30] Lemiye Atabek Savaş, Yusuf Uzunoğlu, Soner Savaş, "Kemik Külü ve Uyumlaştırıcının PP/PA6 Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi", *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 6(1), 118-128, 2022.
- [31] İlyas Kartal, Gülşah Nalcı, Halil Demirer, "Cam ve bambu lifleriyle takviyelendirilmiş vinilester kompozitlerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi", *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 34-37, 2019.

- [32] Ali Osman Özğan, Ferhat Özdemir, "Yumurta Kabuğunun Odun Plastik Kompoziti Üzerinde Kullanımı", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(4), 308-318, 2021.
- [33] Nilgün Özmen, Nihat Sami Çetin, Nasır Narlıoğlu, Vedat Çavuş, Ertuğrul Altuntaş, "MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi", SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 15, 65-71, 2014.
- [34] Münir Taşdemir, Alim Kaştan, "Zeytin çekirdeği tozu ilave edilmiş polipropilen kompozitinin mekanik özellikleri", Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4(1), 36-49, 2022.
- [35] Baran Çetin. Doğal lif ile güçlendirilmiş polilaktik asit/polipropilen kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Teknik Üniversitesi, 2019.

OTOMOTİV TEDARİKÇİSİ OLAN BİR FİRMADA ÇOK MODELLİ HAT ÜZERİNDE MONTAJ HATTI Dengeleme ÇALIŞMASI

Merve AYAZ DERTLİ^{1,a,*}

¹TEKNOROT Otomotiv A.Ş

^amerveayazz98@gmail.com, ORCID: 0009-0003-0515-376X

ÖZET

Montaj hatları, bir ürünün birden fazla iş istasyonundan geçerek son haline getirildiği üretim hatlarıdır. Ürünün kısa sürede üretim hattından çıkmasını sağlamak amacıyla işi küçük parçalara ayırmak ve oluşan çoklu iş istasyonlarını optimum seviyede tutmak önem arz etmektedir. Diğer taraftan iş istasyonları arasında metot ve zaman açısından farklılıkları en aza indirmek için montaj hattının dengelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, 9 farklı istasyondan oluşan ve operasyon süreleri değişkenlik gösteren montaj hatları deneysel olarak analiz edilmiştir. Gözlemler, zaman ve metot olarak çeşitlilik gösteren operatörlerin farklı iş yüküne sahip olduklarını göstermektedir. Analiz sonuçları montaj hattındaki optimum dengelemeyi elde etmek için mümkün olan işlerin tek bir operatör tarafından yapılmasını sağlamak için birleştirilerek minimum operatör sayısı ile istasyonlar arasındaki iş yükü dengesizliği minimize edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Montaj Hattı Dengeleme, Hat Verimliliği, İş Etüdü, REFA

ASSEMBLY LINE BALANCING STUDY ON A MULTI-MODEL LINE OF AN AUTOMOTIVE SECTOR SUPPLY COMPANY

ABSTRACT

An assembly lines are production lines on which a product passes more than one workstation to obtain the final product. The aim of a multi-workstation system is ensuring the products leave the line in a shorter time by separating the similar pieces of the work. As for assembly line balance, it is the work of the greatest reduction between the divided workstations and the point to view of time and method. Reducing the method and time difference between workstations will directly ensure the possibility of line balance.

In this study, an assembly line made up of 9 different workstations was studied. On the studied assembly line, time differences between work stations were observed. According to the analysis, the fact that each

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Ayaz Dertli, M. "Otomotiv Tedarikçisi Olan Bir Firmada Çok Modelli Hat Üzerinde Montaj Hattı Dengeleme Çalışması", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(1): 16-32, 2024

Geliş (Received): 23.10.2023

Kabul (Accepted): 29.12.2023

Yayın (Published): 30.06.2024

operator does not have the same workload causes flow variability. In order to balance the assembly line, the workload was balanced by combining the tasks that could be done by a single operator. As a result of the study, the workload imbalance between stations was minimised by removing one operator from the assembly line.

Keywords: Assembly Line Balancing, Line Efficiency, Time Study, REFA

1. GİRİŞ

Endüstri, insanlığın var oluşundan itibaren değişikliğe uğrayarak günümüze kadar gelen bir kavramdır. Günümüzde makineleşmeye dayanan endüstri, 18.yy. öncesinde insan, hayvan ve topraktan oluşan üretim şekillerine dayanmaktaydı. Buhar gücünün olmadığı bu dönemlerde tarım, hayvancılık, marangozluk veya demircilik, üretimi oluşturmaktaydı.

18.yy'ın başlarında buharlı makinenin icat edilmesi ile sanayi devrimi resmen başlamıştır. Sanayileşmenin temelini oluşturan buharlı makineler, Modern Sanayi Felsefesinin babası olan Henry Ford'a da yol göstermiştir. 1880'li yıllarda taşımacılık alanında kullanılan motorların yapısını incelemeye başlayan Ford, 1899 yılında Quadricycle araçlarıyla motorlu taşıtlar tarihine yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Kendi atölyesinde üretmiş olduğu bu araçların üretim maliyetlerini düşürmek için seri üretim montaj bandı üzerinde çalışmalar yapmasıyla sanayi alanında yeni bir dönemi başlatmıştır. 1913 yılında Ford'un uzun süredir üzerinde çalıştığı montaj bandı nihayet kullanıma hazır hale gelmiştir.

Henry Ford'un bir asır önce devreye almış olduğu seri üretim montaj bantları, günümüzde birçok sektörde kullanılmaya devam etmektedir. Her gün değişmeye devam eden dünya koşulları ve buna bağlı olarak artan rekabetler karşısında, her firma üretim maliyetlerini azaltmak için çalışmalar yapmaktadır.

Literatürde montaj hattı dengeleme ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Eryürük ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları çalışmada "Konum Ağırlıklı Montaj Hattı Dengeleme" kullanılarak en yüksek hat etkinliği bulunmuştur [1]. Kutlak ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları çalışmada ise REFA ile Minitab ile dağılım uygunluk testi yaparak montaj hattı dengeleme çalışması yapmıştır. [2].

Montaj hatlarının tasarımındaki ana amaçlardan biri, her iş istasyonuna eşit miktarda iş dağıtımını yapabilmektir [3]. Montaj hatlarının tasarımı ve dengelenmesi problemlerinin

çözümleri ile ilgili deterministik, stokastik sezgisel ve bulanık yöntemler kullanılarak çok sayıda çalışmalar yapılmıştır [4].

Montaj hatlarında dengeleme yapmanın ana fikri, müşterinin çoğunlukla talep ettiği ürünleri en kısa zamanda, istenen kalitede ve aynı zamanda en ucuz şekliyle üretebilmek amacıyla hattı organize ederek verimliliği sağlamaktır [5].

Verimliliği sağlayıp sürdürebilmek ve işletme faaliyetlerini kontrol edebilmek için standart verilere ihtiyaç vardır. İş akış süreleri bu standartların başında gelmektedir. Bu iş akış sürelerinin tespit edilmesinde kullanılan yöntemlerden bir tanesi “REFA (İş ve Zaman Etüdü Sistemi)” dir.

1924 yılında Reichsausschuss für Arbeitszeterminnung (Devlet İş Zamanları Belirleme Komisyonu) kısa adıyla kurulan REFA, sistemlerinin incelenmesi ve düzenlenmesine ilişkin yöntem ve deneyimlerin, çalışan kişinin iş yapabilme gücünü ve gereksinimlerini de göz önünde tutarak, işin iyileştirilmesi ve işletmenin daha ekonomik çalışmasını sağlamak amacıyla yapılan iş etüdü faaliyetlerini kapsamaktadır [5].

Bu çalışmada ise, otomotiv tedarikçisi olan bir firmanın Dövme Döküm Salıncak-Kol montaj hattı incelenerek montaj hattındaki her bir iş istasyonu için kronometre ile süre alınmıştır. Kronometre ile alınan süreler, REFA Zaman Etüdü Formuna yazılarak her bir operasyon için standart süre hesaplanmıştır. Her bir iş istasyonuna ait standart süreler Excel programında şekil üzerinde gösterildiğinde, bu iş istasyonları arasında süre farklılıkları olduğu görülmüştür. İstasyonlar arasındaki süre farklılıkları, hat verimsizliğine sebep olmaktadır. Hat verimsizliğini azaltmak amacı ile, beraber yapılması mümkün olan işler belirlenerek, verimsizliğe neden olan iş istasyonu kaldırılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında, hattın ve incelenen vardiyanın genel durumundan bahsedilerek, şekiller açıklanmıştır.

Operasyonlar hakkında ayrıntılı bilgilerin yer aldığı üçüncü kısımda kronometre ile süre alındıktan sonra her bir iş istasyonuna ait çevrim sürelerinin yer aldığı şekiller görülmektedir. Her bir ürün kodu (referans) için öncesi ve sonrası durumunu gösteren 2 şekil yer almaktadır.

Dördüncü bölümde ise montaj hattında tespit edilen diğer metot hatalarına değinilerek önerilerde bulunulmuştur. Aynı zamanda mevcut durum ve iyileştirme sonrası durum için hat

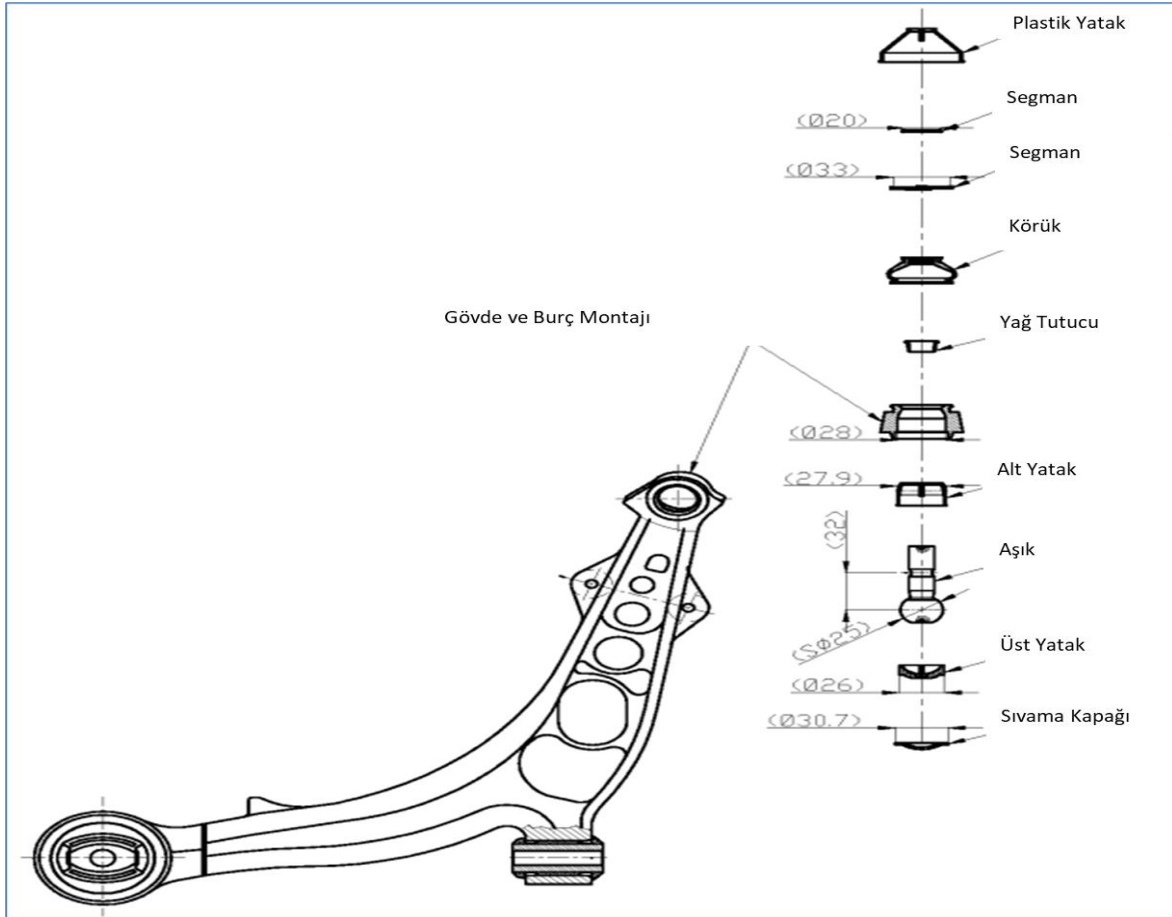
verimlilikleri hesaplanarak, bir istasyon kaldırmanın hat verimliliği üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

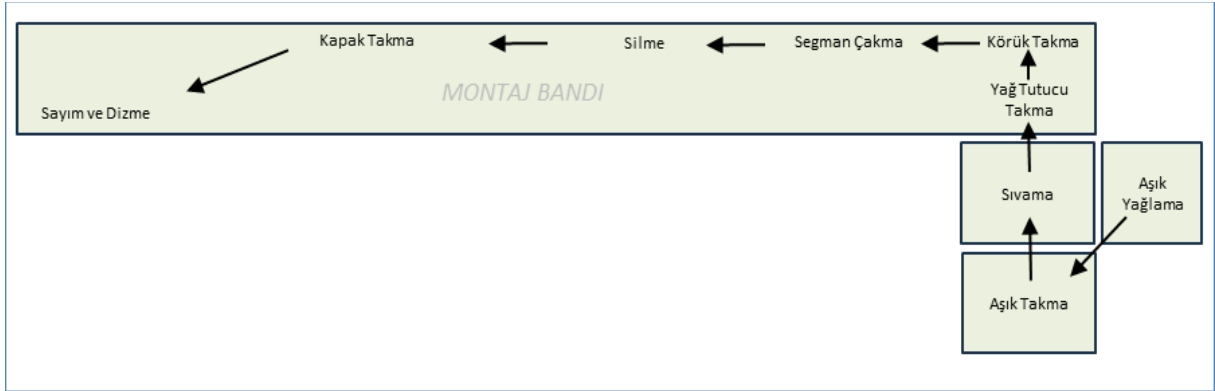
Bu çalışma, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılmıştır. 30 yıldır faaliyet gösteren bu firma, direksiyon ve tekerlek arasında yer alan ön takım ve süspansiyon parçalarını üretmektedir.

Bu çalışma ile montaj hattındaki metot hataları tespit edilerek iyileştirme çalışmaları yapılarak hat verimliliğini arttırmak hedeflenmiştir. Çalışmanın yapıldığı montaj hattında ise, direksiyon mafsalı ve direksiyon kontrol kolunu bağlayan hareketli aksenal yataktan oluşan rotilli kol parçaları üretilmektedir.

Analiz yapılan montaj hattında üretilen rotilli kol, bir aracın ön tekerleri ile aracın şasisini birbirine bağlayan ön süspansiyon bağlantı elemanıdır.



Şekil 1. SL-F-476 Ürününe Ait Montaj Parçaları



Şekil 2. Montaj Hattı Temsili Resmi

Çalışmayı gerçekleştirmek için montaj hattında üretilen referanslara ait gerçek sürelere ihtiyaç vardır. Zaman etütlerinin doğru sonuç vermesi için ürün akışı sağlandıktan sonra kronometre ile operasyon süreleri ölçülmüştür. Bu kapsamda farklı gün ve vardiyada üretimde olan referanslar analiz edilmiştir. Analiz öncesi montaj hattı, video kaydı alınmadan gözlemlenerek vardiya süreci hakkında ön bilgi edinilmiştir. Yapılan gözlemlere göre, bir sonraki ürüne geçiş aşamasında hat 10 dakika beklemektedir. Bekleme süresi içinde depodan ürün alıp gelme, malzeme rafından segman, yağ tutucu, körük gibi komponentleri alıp gelme ve sıvama presi ayarı yapma yer almaktadır. Aynı zamanda depodan ürün alınırken kutu içi miktar bilinmediği için, üretim esnasında iş emrindeki sayıya ulaşılmadığı takdirde, depodan tekrar ürün gelmesi beklenmektedir. Bu süre incelenen referanslar için iki seferde toplam 15 dk olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra malzeme rafında bir düzen olmamasından kaynaklı personelin segmanı aramak için 2 dakika zaman kaybettiği gözlemlenmiştir.

Yapılan gözlem sonrası 08:00-16:00 vardiyasında video çekimine başlanmıştır. Mevcut durumda montaj hattına bağlı çalışan 3 adet pres makinesi bulunmaktadır. Bu makinelerde sırasıyla yağlama, aşık takma, sıvama işlemleri yapılmaktadır. Sıvama presinden çıkan ürün direkt olarak montaj bandına verilmektedir. Burada ürün çeşidine bağlı olmakla beraber genellikle körük takma operasyonu ile montaj işlemi başlamaktadır. Körük takma operasyonunu sırasıyla segman çakma, körük indirme, silme, somun ve yatak takma, sayım ve dizme operasyonları takip etmektedir.

Analizin ikinci gününde 16:00-00:00 vardiyasında aynı şekilde tekrar video çekimi yapılmıştır. Video analiz edilirken kronometre ile süre tutularak her bir iş için operasyon süresi Excel tabanlı REFA Etüt formu kullanılarak bulunmuştur. Aynı zamanda analiz edilen her ürün için gerekli olan istasyon sayısı ve hat verimliliği Excel üzerinde hesaplanmıştır.

Tespit edilen operasyon süreleri, hat süresiyle beraber şekil üzerinde gösterilerek her bir personelin hat süresine göre boş zamanı ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak birleştirilmesi veya ayrıştırılması gereken operasyonlar alternatif olarak farklı bir şekilde gösterilmiştir. Sonrası durumu için hat verimlilikleri tekrar hesaplanmıştır.

Yıllık sipariş miktarı belirli olan üretimlerde hat süresi, takt zamanı olarak hesaplanmaktadır. Takt zamanı basit olarak, müşterinin üreticiden ne kadar zamanda bir ürün istediğini ifade eder. Ancak analiz yapılan işletmede siparişler değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple hat süresi takt zamanı olarak değil, en yavaş operasyon süresine göre belirlenmiştir.

$$\text{Optimum İstasyon Sayısı} = \frac{\sum CT}{\text{Takt Zamanı}} \quad (1)$$

$$\text{Hat verimliliği} = \frac{\sum CT}{\text{Takt Zamanı} \times \text{Adam Sayısı}} \quad (2)$$

Şekil 3'te SL-F-476 numaralı ürüne ait mevcut operasyon süreleri yer almaktadır. Tablo 1'de bu ürüne ait REFA Zaman Etüdü formu örnek olarak gösterilmiştir. Excel tabanlı REFA Zaman Etüdü Formunda her bir operasyona ait çevrim süreleri 20 çevrim olacak şekilde yazılmıştır.

L; tempo değerini,

T_i; belirtilen işlem için alınan süreyi,

F; sapma süreyi temsil etmektedir.

Normal zaman (**t**): Temel zaman (**t_i**)*tempo değeri (**L**)

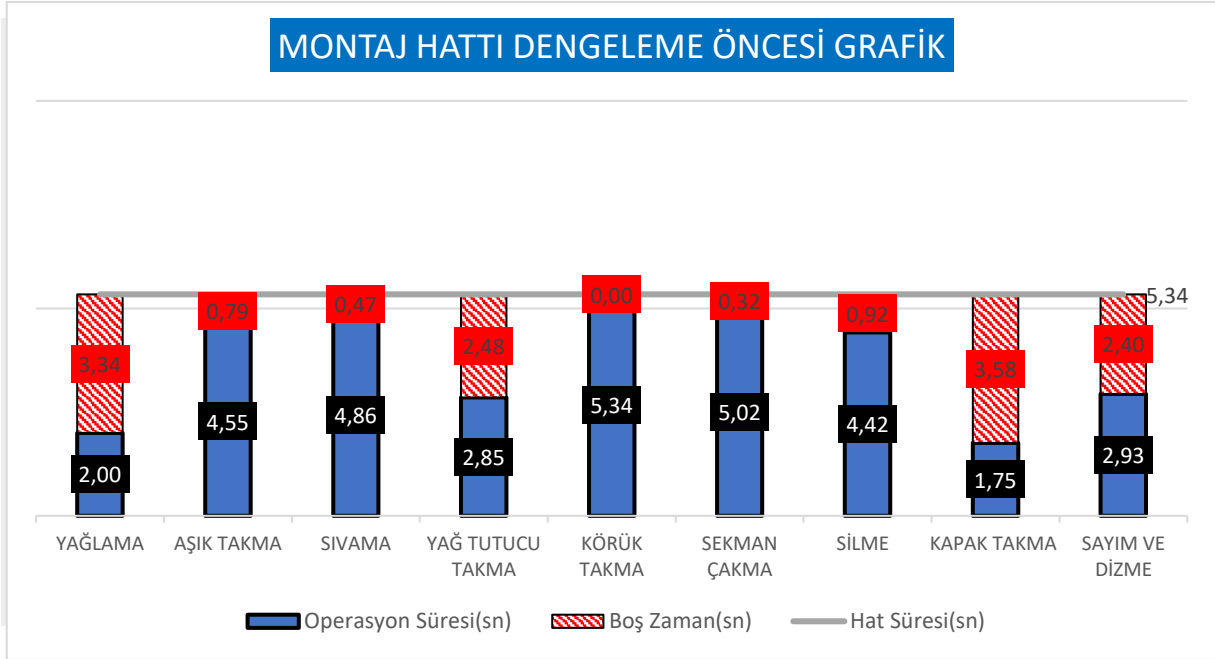
Tempo değeri 100 (normal çalışma) olarak belirlenmiştir.

$$\text{Standart Zaman} = \text{Çevrim Süresi} * \text{Kişisel Pay (0,04)} \quad (3)$$

Mevcut durumda operasyon süreleri, Standart Zaman formülü ile hesaplanmıştır.

Şekil üzerinde mavi renkli alanlar mevcut standart süreyi, kırmızı renkli alanlar ise hat süresine göre operatörün boş zamanını göstermektedir.

$$\text{Boş Zaman} = \text{Hat Süresi}(sn) - \text{Standart Süre}(sn) \quad (4)$$



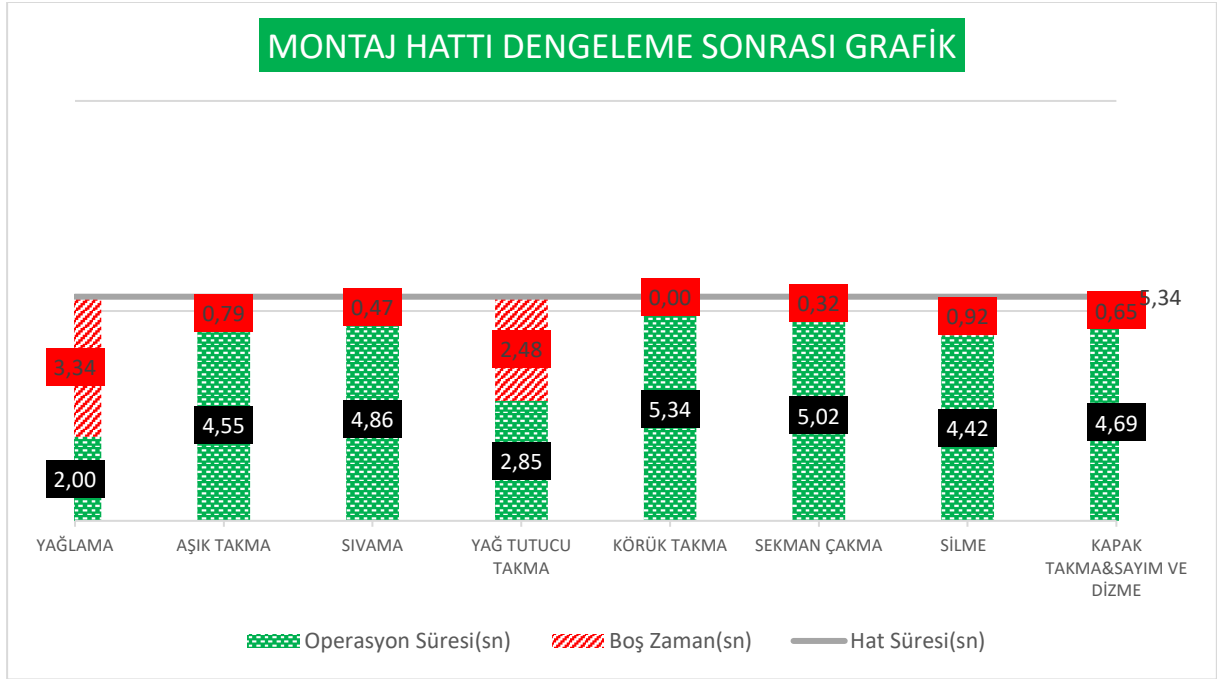
Şekil 3. Dengeleme Öncesi Operasyon Süreleri (SL-F-476)

Şekil 4’te ise yapılan iyileştirme sonrası standart süreler ve hat süresine göre operatörün boş kalan zamanları gösterilmiştir.

Şekil 4’te gösterilen yeşil alanlar iyileştirme sonrası standart süreyi, kırmızı alanlar ise hat süresine göre operatörün boş kalan zamanlarını göstermektedir.

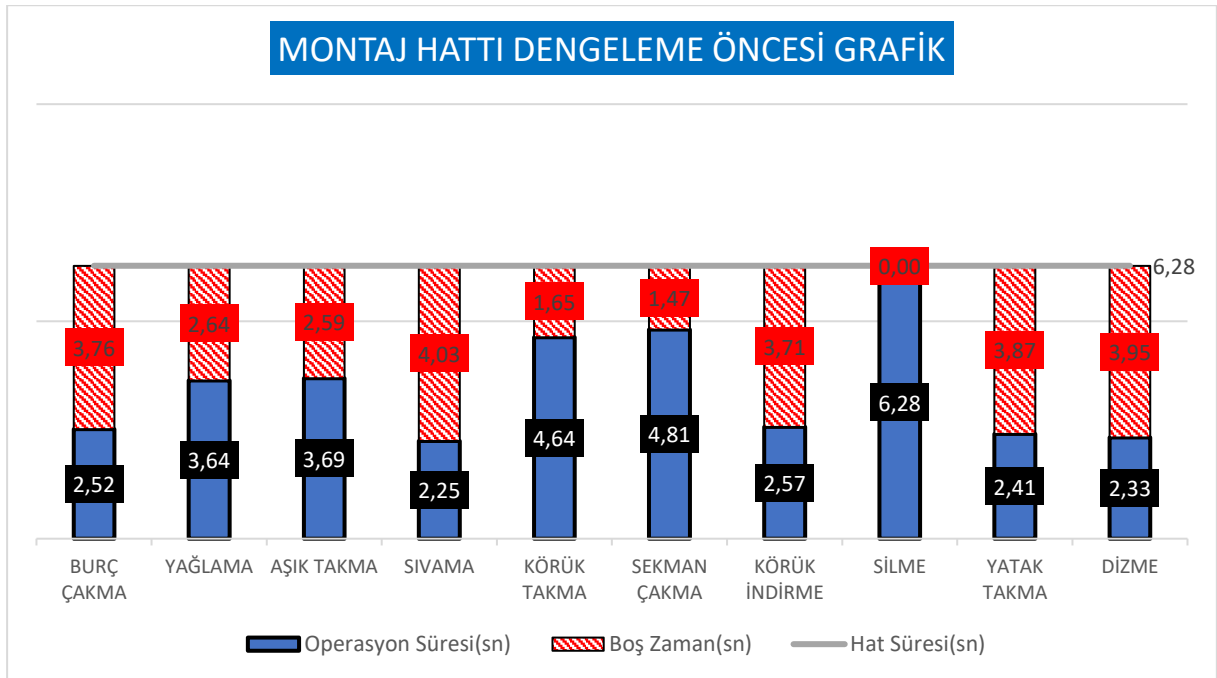
Şekil 3’te “Kapak Takma” operasyonu için hat süresine göre operatörün boş kaldığı süre 3,58 sn olarak görülmektedir. Buna göre “Sayım ve Dizme” olarak adlandırılan bir sonraki operasyon (2,93 sn) operatörün boş kaldığı sürede tamamlanabilir olarak gözükmemektedir.

Bu hesaplama doğrultusunda, “Sayım ve Dizme” operasyonunun ayrı bir operatör tarafından yapılması yerine, iş birleştirme yapılarak “Kapak Takma& Sayım ve Dizme” olarak tek bir operatör tarafından yapılabileceği görülmüştür.



Şekil 4. Dengeleme Sonrası Operasyon Süreleri (SL-F-476)

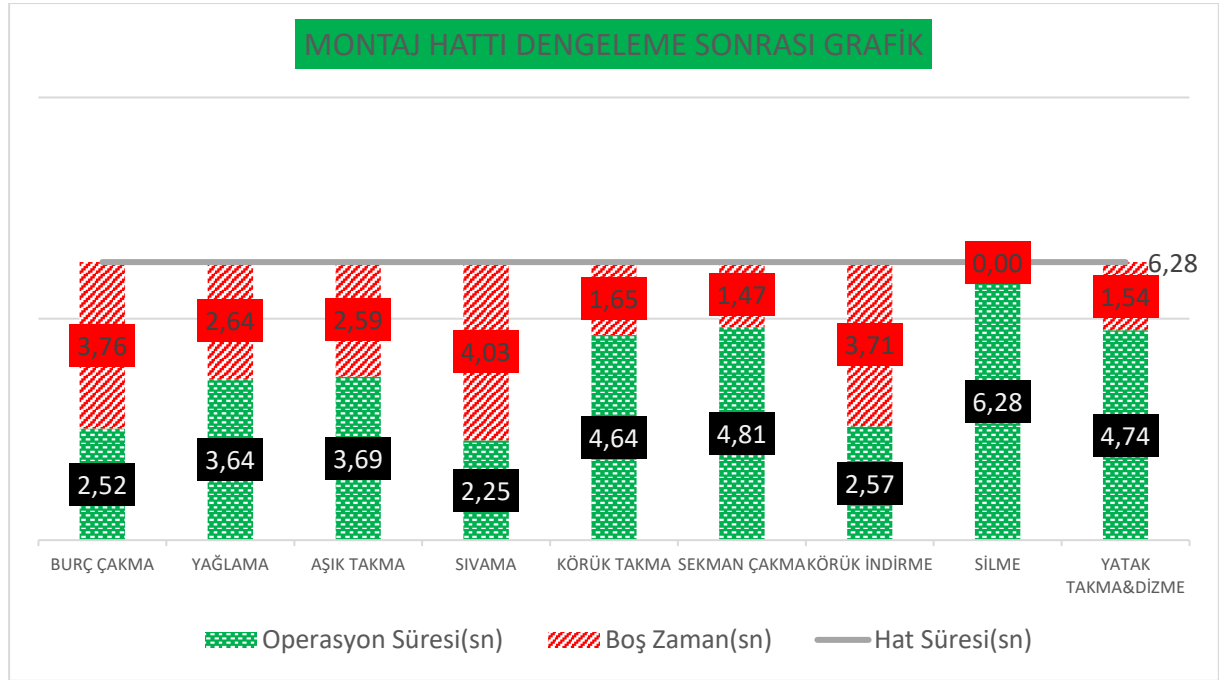
Şekil 5’te KL-A-583 numaralı ürüne ait mevcut operasyon süreleri yer almaktadır. En yavaş operasyon süresine sahip olan “Silme” operasyonu, hat süresini belirlemiştir. Bu süreye göre, her bir operasyonun boş zamanları hesaplanarak kırmızı alanda gösterilmiştir.



Şekil 5. Dengeleme Öncesi Operasyon Süreleri (KL-A-583)

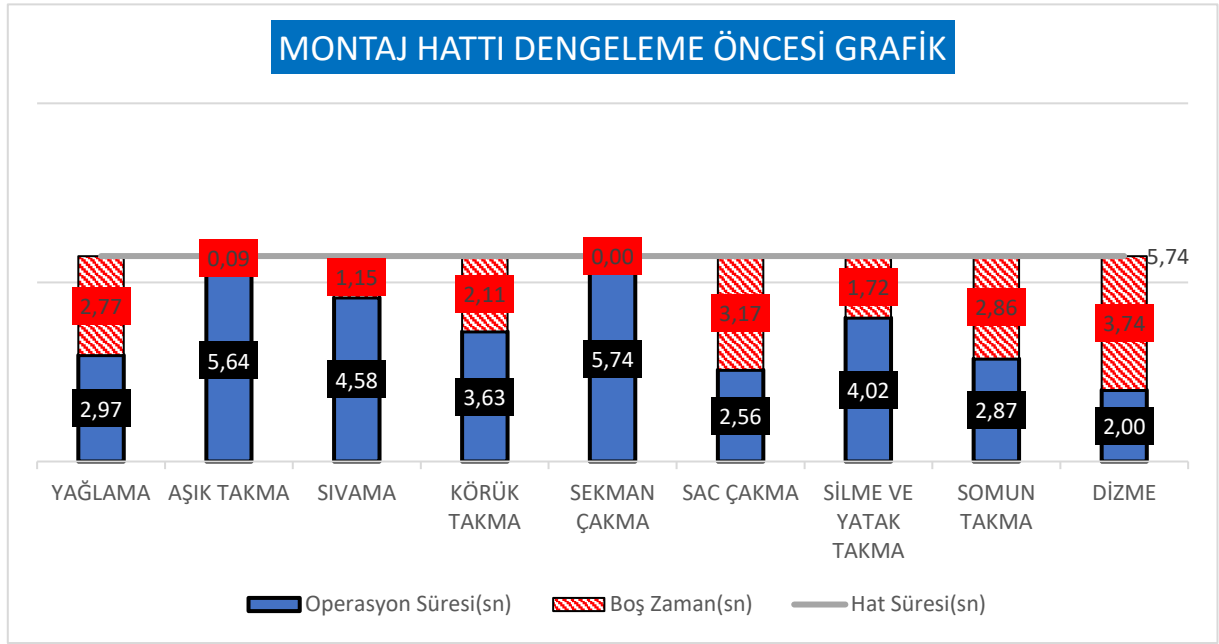
Şekil 5’te “Yatak Takma” operasyonuna ait boş süre 3,87 olarak hesaplanmıştır. Bu süre içerisinde 2,33 sn süreye sahip olan “Dizme” operasyonunun “Yatak Takma” operasyonu ile beraber yapılabilmesi görülmektedir.

Şekil 6’da iş birleştirme yapılarak “Dizme” operasyonuna ait istasyon kaldırılmıştır ve “Yatak Takma” operasyonuna ait istasyonda 3,87 sn olan boş süre 1,54 sn’ye düşürülmüştür.



Şekil 6. Dengeleme Sonrası Operasyon Süreleri (KL-A-583)

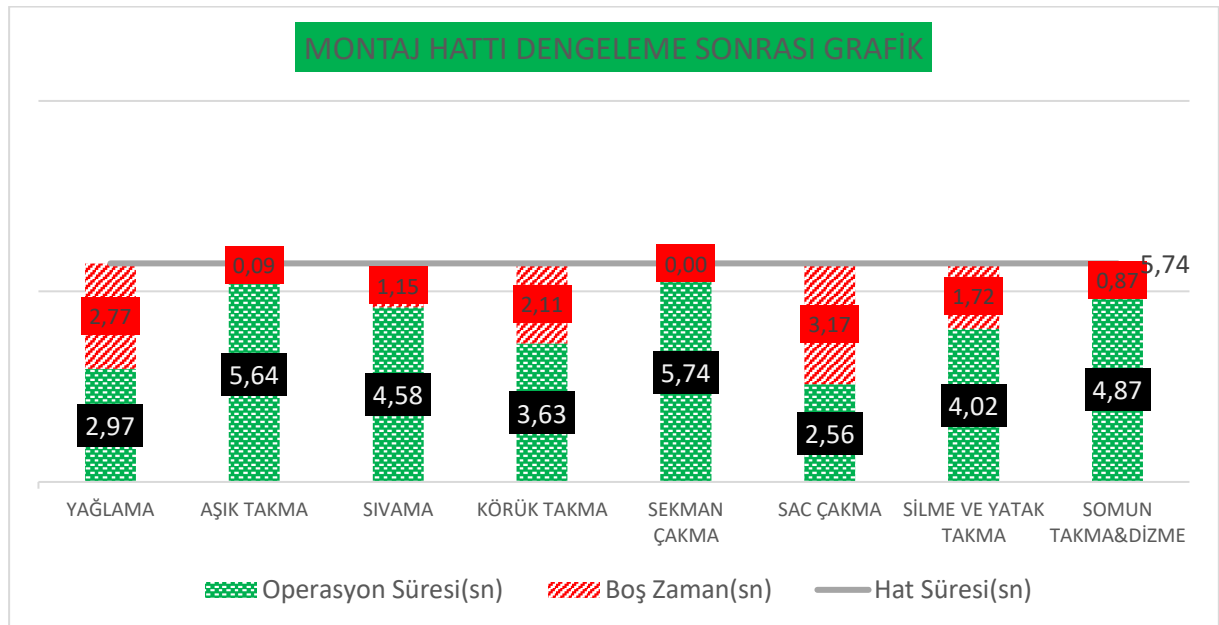
Şekil 7’de KL-B-865-PDUZ numaralı ürüne ait mevcut operasyon süreleri yer almaktadır. En yavaş operasyon süresine sahip olan “Segman Çakma” operasyonu, hat süresini belirlemiştir. Bu süreye göre, her bir operasyonun boş zamanları hesaplanarak kırmızı alanda gösterilmiştir.



Şekil 7. Dengeleme Öncesi Operasyon Süreleri (KL-B-865-PDUZ)

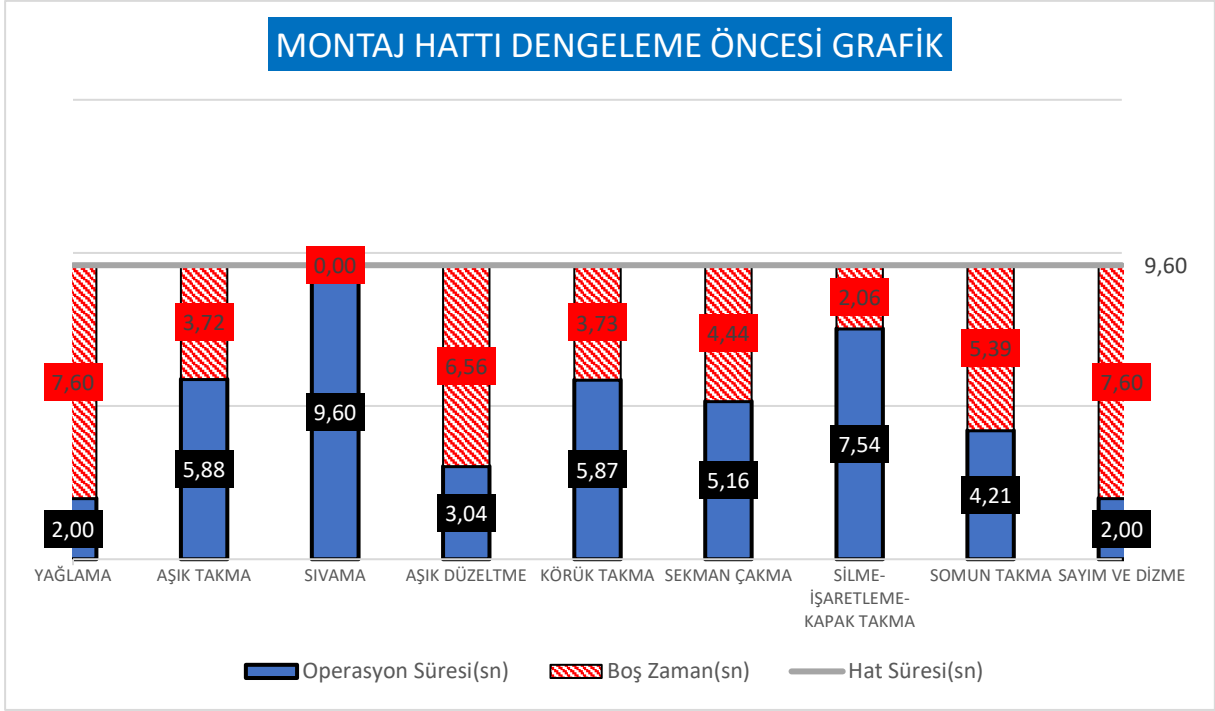
Şekil 7’de “Somun Takma” operasyonuna ait boş süre 2,86 olarak hesaplanmıştır. Bu süre içerisinde 2 sn süreye sahip olan “Dizme” operasyonunun “Somun Takma” operasyonu ile beraber yapılabileceği görülmektedir.

Şekil 8’de iş birleştirme yapılarak “Dizme” operasyonuna ait istasyon kaldırılmıştır ve “Somun Takma” operasyonuna ait istasyonda 2,86 sn olan boş süre 0,86 sn’ye düşürülmüştür.



Şekil 8. Dengeleme Sonrası Operasyon Süreleri (KL-B-865-PDUZ)

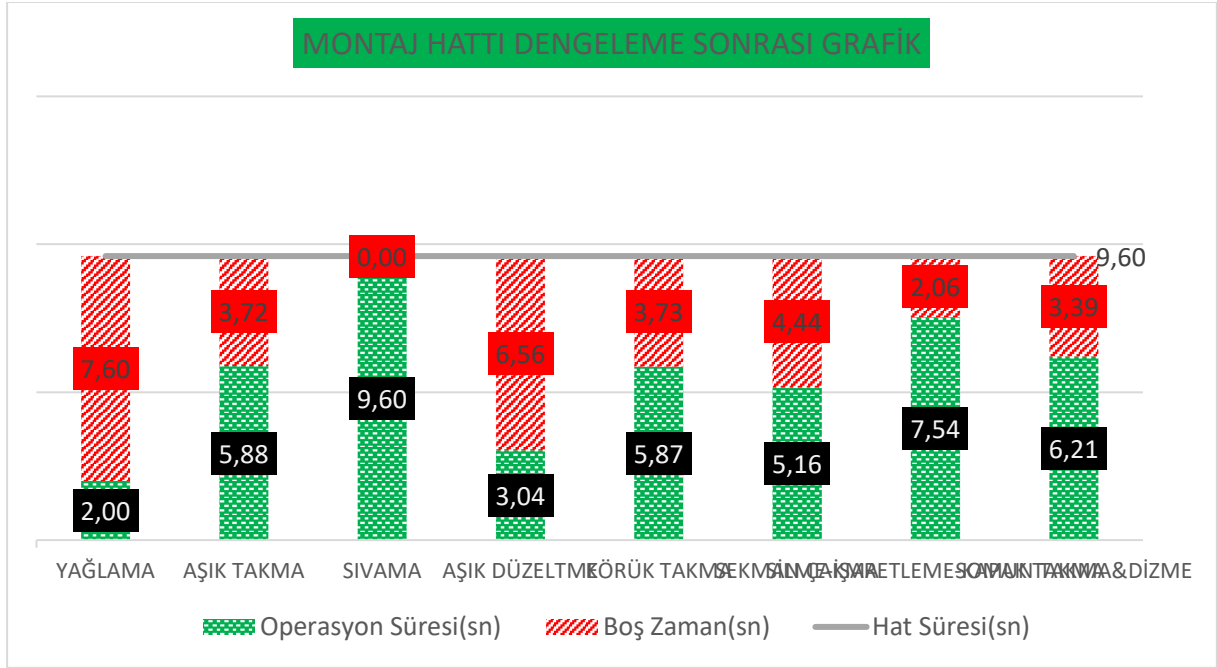
Şekil 9’da KL-A-520-PMOT numaralı ürüne ait mevcut operasyon süreleri yer almaktadır. En yavaş operasyon süresine sahip olan “Sıvama” operasyonu, hat süresini belirlemiştir. Bu süreye göre, her bir operasyonun boş zamanları hesaplanarak kırmızı alanda gösterilmiştir.



Şekil 9. Dengeleme Öncesi Operasyon Süreleri (KL-A-520-PMOT)

Şekil 9’da “Somun Takma” operasyonuna ait boş süre 5,39 olarak hesaplanmıştır. Bu süre içerisinde 2 sn süreye sahip olan “Sayım & Dizme” operasyonunun “Somun Takma” operasyonu ile yapılabileceği görülmektedir.

Şekil 10’da iş birleştirme yapılarak “Sayım & Dizme” operasyonuna ait istasyon kaldırılmıştır ve “Somun Takma” operasyonuna ait istasyonda 5,39 sn olan boş süre 3,39 sn’ye düşürülmüştür.



Şekil 10. Dengeleme Sonrası Operasyon Süreleri (KL-A-520-PMOT)

Tespit edilen bu metot çalışmalarına ek olarak, mevcut durum ve gelecek durum için hat verimlilikleri hesaplanmıştır. Yapılacak metot çalışmalarının hat süresini değiştirmediği ancak hat verimliliğini arttırdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo1. Referanslara Göre Hat Verimlilikleri

REFERANS	Mevcut Adam Sayısı	Gelecek Durum Adam Sayısı	Optimum İstasyon Sayısı	$\sum CT$	Takt Zamanı	Mevcut Hat Verimliliği	Gelecek Durum Hat Verimliliği
SL-F-476	9	8	6,15	32,84 sn	5,34 sn	70,22%	78,99%
KL-A-583	9	8	5,59	35,14 sn	6,28 sn	55,94%	62,15%
KL-B-865-PDUZ	9	8	5,93	34,01 sn	5,74 sn	65,88%	74,12%
KL-A-520-PMOT	9	8	4,72	45,29 sn	9,60 sn	52,42%	58,98%

Tablo2. REFA Zaman Etüt Formu (SL-F-476)

Aşık dilimi ve ölçme noktası	Baz miktar (PARÇA ADEDİ)	Adam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	$\frac{\sum L_i}{n}$	\bar{f}_i	$\frac{\sum f_i}{100}$		
			$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$		$\frac{100}{f_i}$	$\frac{100}{f_i}$
YAĞLAMA	1	1	100																					100	100,0	2,00	
			1,94	1,90	1,91	1,93	1,90	1,88	1,92	1,90	1,89	1,92	1,90	1,90	1,91	1,91	1,90	1,92	1,91	1,94	1,90	1,89	38	1,9			
																									20		
AŞIK TAKMA	2	1	100																						100	100,0	4,55
			7,56	9,25	9,15	8,69	9,33	8,10	8,38	8,27	8,35	8,98	8,38	8,68	7,89	9,10	8,12	8,87	8,82	9,28	8,85	9,21	173	4,3			
																									20		
SIVAMA	1	1	100																						100	100,0	4,86
			4,46	5,70	4,47	4,44	4,27	5,05	4,40	4,41	4,63	4,87	4,61	4,68	4,61	4,47	4,79	4,48	4,53	4,75	4,47	4,48	93	4,6			
																									20		
YAĞ TUTUCU TAKMA	1	1	100																						100	100,0	2,85
			5,50	1,60	2,61	2,18	2,07	2,41	2,65	2,93	2,84	2,87	2,68	2,69	2,48	2,62	2,54	2,65	2,86	2,78	2,58	2,75	54	2,7			
																									20		
KÖRÜK TAKMA	1	1	100																						100	100,0	5,34
			5,42	4,27	4,86	4,26	5,31	3,91	5,40	5,08	8,30	3,93	4,46	5,18	5,15	5,18	5,15	5,21	5,10	5,19	5,18	5,25	102	5,1			
																									20		
SEKMAN ÇAKMA	1	1	100																						100	100,0	5,02
			4,43	4,67	4,28	4,88	5,40	4,56	4,18	4,73	4,88	4,80	4,77	4,75	4,81	4,86	4,74	4,63	4,65	5,57	4,43	5,53	96	4,8			
																									20		
SİLME	1	1	100																						100	100,0	4,42
			4,66	3,87	3,01	3,92	4,23	5,56	4,22	4,18	4,24	4,31	4,25	4,13	4,21	4,16	4,15	4,26	4,20	4,28	4,28	4,16	84	4,2			
																									20		
KAPAK TAKMA	1	1	100																						100	100,0	1,75
			1,90	2,73	1,78	1,56	1,89	1,47	0,97	1,34	1,39	1,67	1,64	1,58	1,65	1,63	1,69	1,75	1,75	1,62	1,63	1,72	33	1,7			
																									20		
SAYIM VE DİZME	1	1	100																						100	100,0	2,93
			2,15	2,56	3,26	3,21	2,57	2,68	2,85	2,91	2,65	2,76	2,83	2,76	2,87	2,90	2,89	2,72	2,89	2,61	2,86	2,83	56	2,8			
																									20		

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma ile otomotiv yan sanayi sektöründe yer alan bir firmanın Rotilli Kol-Salınca montaj hattının dengelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmaya başlamadan önce, montaj hattı çalışma şekli gözlemlenerek elde edilen montaj hattı akışı ile ilgili bilgiler şu şekildedir:

Montaj hattındaki akış, yağlama operasyonu ile başlamaktadır. Aşıklar dozatron makinesinde gres yağı ile yağlanarak plastik yatağa takılmaktadır. Burada yağlanan aşık, bir sonraki operasyonda rotilli kol veya salıncağa takılmaktadır. Aşık takma operasyonu ise sıvama operasyonunu beslemektedir. Burada aşığın üzerine sıvama kapağı konularak sıvama presi ile sıvama kapağının aşık yuvasına yerleşmesi sağlanmaktadır. Birbirini takip eden bu üç operasyondan sonra ürün montaj bandında üretilmeye devam etmektedir. Ürün üzerinde yağ tutucu varsa takılıp, yoksa körük takma ile işlem devam etmektedir. Körük takma operasyonunda dozatron makinesi ile körük yağlanır ve manuel olarak aşığa takılır.

Körüğün aşıktan çıkması için segman çakma işlemi yapılmaktadır. Bu operasyonda bir aparat ile körüğe takılan segman, başka bir aparat ile körük üzerinde yer alan segman boşluğuna çakılmaktadır. Ardından diğer operasyonda körük indirme işlemi yapılmaktadır. İki farklı operasyonda kullanılan gres yağı, elleçlemeler sonucunda parçanın tüm yüzeyine bulaşmaktadır. Bu sebeple körük indirme işleminden sonra ve somun/kapak takılmadan önce silme işlemi yapılmaktadır. Silme operasyonunun süresini, parça yüzeyinin ne kadar yağlı olduğu belirlemektedir. İncelenen montaj hattında, aşık yağlama yapılırken ve körük takılırken küre çapına göre gres yağı sıkılmadığı gözlenmiştir. Bu durum silme operasyonunun süresini 2,28 sn artırmaktadır. Silme işleminden sonra yine ürün çeşidine göre kapak ve somun takılmaktadır. Ardından hattın sonundaki kişi montajı yapılmış ürünü sayarak kutuya dizmektedir.

Şekil 3'te "Kapak Takma" operasyon süresinin diğer operasyon sürelerine göre kısa olması hattın dengesiz olmasına sebep olmaktadır. Bu durum "Kapak Takma" operasyonunu gerçekleştiren operatörün akış gereği beklemesine neden olmaktadır. "Sayım ve Dizme" operasyon süresi ise "Kapak Takma" operasyon süresi kadar kısa olmamakla birlikte, hat süresinin altında kalmaktadır. Bu durumda, "Kapak Takma" ve "Sayım ve Dizme" operasyonlarının birleştirilip, operatörlerin akış gereği bekleme süreleri ortadan kaldırılmış olup Şekil 4'te dengelenmiş hat grafiği gösterilmiştir.

Şekil 5'te ise "Yatak Takma" ve "Dizme" operasyon sürelerinin hat süresinin altında olduğu ve bu iş merkezlerinde çalışan operatörlerin akış gereği beklediği gözlemlenmiştir. Mevcut durumda birleştirilmesi mümkün olan operasyonlar "Yatak Takma" ve "Dizme" operasyonlarıdır. Bu durumda "Yatak Takma" ve "Dizme" operasyonları birleştirilerek akış gereği bekleme süreleri minimum seviyeye indirilmiş olup Şekil 6'da dengelenmiş hat grafiği gösterilmiştir.

Şekil 7'de "Somun Takma" ve "Dizme" operasyon süresi hat süresinin altında yer almakla birlikte, operatörler akış gereği beklemektedir. Bu durumda, "Somun Takma" ve "Dizme" operasyonlarının birleştirilip, operatörlerin akış gereği bekleme süreleri ortadan kaldırılmış olup Şekil 8'de dengelenmiş hat grafiği gösterilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada montaj hattında üretimi gerçekleşecek ürünlerin komponentlerinin eksik olması sürekli akışı engellemiştir.

Materyal ve yöntem bölümünde belirtilen şekillerde her ürün için operasyon süreleri ve hat süresi açıkça gösterilmiştir. Operasyon süreleri arasındaki farkın minimum ve belirtilen hat süresinin altında olması montaj hattının dengede olması yönüyle önem arz etmektedir.

Materyal ve yöntem bölümünde belirtilen şekillerde her operasyonun hat süresi ile zaman farkları görülmektedir. İş yükü dengesizliğinden kaynaklı ortaya çıkan zaman farkları, iş birleştirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, mümkün olan işler bir operatöre verilerek iş yükü dengesizliği minimize edilmeye çalışılmıştır.

SL-F-476 no'lu referansta yapılan hat dengeleme çalışması sonrası hat verimliliği %70,22'den %78,99'a çıkmıştır. Analiz yapılan diğer 3 referansta (KL-A-583, KL-B-865-PDUZ, KL-A-520-PMOT) ise hat verimlilikleri %55,94'ten %62,15'e, %65,88'den %74,12'ye ve %52,42'den %58,98'e çıkmıştır.

Yapılan analizde küre çapına göre yağlama yapılmadığı durumda silme operasyonu 6,28 sn olarak ölçülürken, küre çapına uygun yağlama yapılması durumunda silme operasyon süresi 4 sn olarak ölçülmüştür.

Analize göre, somun takma ve parçayı kasaya dizme operasyonları aynı operatör tarafından yapıldığında hatta çalışan operatör sayısının 9 kişiden 8 kişiye düştüğü gözlemlenmiştir.

Rotilli kol-salıncak montaj hattında yapılan operasyonlar arası iş yükü dengeleme çalışması 5S çalışmaları ile desteklenerek, montaj hattında sürekli akışın sağlanabildiği yapılan analizde gözlemlenmiştir.

Yapılan gözlemlerde, her yeni ürüne geçiş sürecinde 2 dakika zaman kaybına neden olan malzeme arama problemi, 5S çalışması yapılarak ortadan kaldırılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Selin Eryürük, Fatma Kalaoglu ve Murat Baskak, “Etek Üretimi Yapan Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme Çalışması”, Tekstil ve Mühendis, c. 21,sy. 96,ss. 19–26, 2014.
- [2] Hakan Kutlak, İrem Düzdar, İlyas Uygur, "Otomotiv Sektöründe Çok Modelli Bir Montaj Hattınız Mevcut Durum Analizi ", İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, vol. 6,no. 1,pp. 23–32, 2017.
- [3] F. Yeşim Kalender, Murat Mustafa Yılmaz ve Orhan Türkbey, "Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 23(1),ss. 129-138, 2008.
- [4] A. Şenel Uyanık, “Bir Traktör Fabrikasında Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme – Deterministik ve Stokastik Ölçümlere Göre Analizler”, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2020.
- [5] V. DAL, “Refa, Mtm ve Gsd İş Akış Süresi Belirleme Sistemlerinin Örnek Bir Uygulama ile Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi”, TUBAV Bilim Dergisi, 3(3), ss.224-237,2010.
- [6] Â. Yurdun Orbak, B. Türker Özalp, Pınar Korkmaz, Nilay Yarkın, Nagihan Aktaş, Aylin Dinçer, “Karışık Modelli Bir Montaj Hattında Hat Dengeleme Çalışmaları”, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi, Ankara, 2009.
- [7] Arş. Grv. Murat Kansu Karaca, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1(1), 1996.
- [8] Ayşe Özkıran, Hafize Düşünür, Otomotiv Sektöründeki Bir İşletmede Montaj Hattının Analizi ve Dengeleme Çalışması, Lisans Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir, 2011.
- [9] OfixBlog. James Watt: Sanayi Devriminin Temellerini Atan Mucit. <https://blog.ofix.com/james-watt-ve-buhar-motorunun-icadi/> Kasım 29, 2021.Erişim Tarihi Ekim 11,2023.
- [10] OfixBlog. Henry Ford: Seri Üretim Montaj Hattını Bulan Sanayici. Henry Ford hakkında merak ettikleriniz blog sayfamızda... (ofix.com). Aralık 13, 2021. Erişim Tarihi Ekim 11, 2023.

- [11] A. Baykasoğlu ve Ş. Demirkol Akyol, “Ergonomik Montaj Hattı Dengeleme”, Gummfd, C. 29,sy. 4, 2014.
- [12] A. Atahan, M. Kapuağası, Ü. N. Koç, B. Çağlar Gençosman ve T. İnkaya, “Bir Otomasyon Teknolojileri Üreticisinde Standart Zaman Hesaplama ve Montaj Hattı Dengeleme Yazılımı Geliştirilmesi”, Uujfe, C. 23,sy. 1,ss. 263–284, 2018.
- [13] G. G. Gündoğdu, “Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemi ve Bir İşletmede Uygulaması”, Journal Of Academic Value Studies (Javstudies), 5(4), Ss.651-665, 2019.