



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TESLİM SÜRESİ TAHMİNİ VE
SAVUNMA SANAYİNDE UYGULAMASI**

Erdem BALTACI

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TESLİM SÜRESİ TAHMİNİ VE SAVUNMA
SANAYİNDE UYGULAMASI

Erdem BALTACI

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023

KABUL VE ONAY

Erdem Baltacı tarafından hazırlanan “Yapay Sinir Ağları ile Teslim Süresi Tahmini ve Savunma Sanayinde Uygulaması” başlıklı bu çalışma, 18 Ocak 2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yetkin ÇINAR (Başkan)

Prof. Dr. Aydın ULUCAN (Danışman)

Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Üye)

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

Bu tez çalışmasında Sayın (Unvanı, Adı ve Soyadı) Ortak Danışman olarak görev almıştır.

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Prof.Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

18/01/2023

Erdem BALTACI

¹“*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü tezele ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir. Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, **Prof. Dr. Aydın ULUCAN** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Erdem BALTACI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans süresince aldığım derslerde ve tez çalışmamda bakış açısı ve önerileri ile beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Aydın ULUCAN'a,

Tez sürecinde akademik bilgisi ve tecrübesi ile rehberliğini benden esirgemeyen, en iyisini yapabilmem için beni motive değerli hocam Doç. Dr. Kazım Barış ATICI'ya,

Tezimde ele aldığım konuya ilişkin ilk fikirlerimin oluşmasında çok büyük katkısı olan, bilgisi ve hayata bakış açısıyla biz öğrencilerine değerli paylaşımlar yapan Prof. Dr. Çağdaş Hakan ALADAĞ'a,

Yüksek lisans süresince yoğun iş temposunda desteklerini benden esirgemeyen değerli yöneticim Uğur KESİCİ ve çalışma arkadaşlarıma,

Yüksek lisans hayatımın bana kattığı değerli arkadaşlarım Canberk PEHLİVAN ve Arif ESER'e,

Hem ders döneminde hem de tez aşamasında birlikte yol aldığım, aynı zamanda iş arkadaşlarım olan Özge ELCAN ve İlker KÖSELİ'ye,

Zorlu geçen tez sürecinde her zaman yanımda olan, bir aile gibi olduğumuz değerli arkadaşlarım Yavuzhan AKDURAN, Gökhan SARGIN ve Büşra YÜCEL'e,

Tez sürecinin başından sonuna kadar desteklerini benden esirgemeyen, tüm stresime rağmen yüzümü güldüren, her zaman yanımda olan ve bana güç veren canım sevgilim Büşra KARA'ya,

ve bugünlere gelmemde en çok emeği olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

BALTACI, Erdem. *Yapay sinir ağları ile teslim süresi tahmini ve savunma sanayinde uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2023.

Üretim alanında faaliyet gösteren işletmeler arasındaki rekabet gün geçtikçe artmaktadır. İşletmeler rekabetçi piyasada söz sahibi olmak adına sürekli olarak kendilerini geliştirme çabası içindedirler. Teslim süresi, işletmelerin müşteri beklentilerini karşılamak amacıyla yüksek doğruluk seviyesi ile hesaplamak ve iyileştirmek istediği en önemli performans göstergelerinden birisidir. Müşteri siparişinin alınmasından ürünün teslimatına kadar geçen süre teslim süresi olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak ürünün teslim tarihinin, üretim süresi ve hammadde tedarik süresini içerecek şekilde tahmin edilmesini sağlayan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile müşteriye iletilecek teslim süresi kabul edilebilir bir doğrulukta tahmin edilebilmektedir. Bu da gecikme olmadan zamanında teslimat yapılmasını ve müşteri memnuniyetinin istenen seviyede tutulmasını sağlayacaktır. Bu model, teslim süresini hammadde tedarik süresini de göz önünde bulundurarak tahmin edecek bir yapıda olup bu yönüyle literatürde benzeri yoktur. Üretim süreçlerinin ve ürün ağacının karmaşık olduğu üretim sistemlerinde kolaylıkla uygulanabilecek yapıdadır. Geliştirilen model, savunma sanayinde faaliyet gösteren bir firmada üretilen bir ürüne ait veri ile farklı senaryolar kurgulanarak çalıştırılmış ve teslim süreleri ile hammadde tedarik süreleri analiz edilmiştir. Teslim süresinin iyileştirilmesi amacıyla, teslim süresinin uzamasına neden olan hammaddeler tespit edilerek bu hammaddeler için emniyet stoku tutulması önerilmiştir. En fazla gecikme görülen ilk 30 hammadde için emniyet stoku tutularak gecikme süresinde %70, gecikmeden kaynaklı ceza ödemesinde ise %77 oranında iyileştirme sağlanabileceği belirtilmiştir. Bu açıdan tahmin modeli sadece bir karar verme aracı olarak değil, bir iyileştirme aracı olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmada YSA uygulamaları literatürde yer alan diğer çalışmalara kıyasla daha detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Bu yönüyle YSA tahmin uygulamalarında izlenecek adımları gösteren bir rehber niteliğindedir.

Anahtar Sözcükler: Teslim süresi tahmini, hammadde tedarik süresi, yapay sinir ağları, emniyet stoku, teslim süresi iyileştirme.

ABSTRACT

BALTACI, Erdem. Lead time estimation with artificial neural networks and its application in the defense industry, Master's Thesis, Ankara, 2023.

The competition among the companies operating in the field of production is increasing day by day. Businesses constantly strive to improve themselves to have a say in the competitive market. Lead time is one of the most important performance indicators that businesses want to calculate with high accuracy and improve in order to meet customer expectations. The time elapsed from the receipt of the customer order to the delivery of the product is called the lead time. In this study, a model has been developed to predict the lead time of the product by using artificial neural networks (ANN), including the production time and raw material supply time. With the developed model, the lead time to be promised to the customer can be estimated with an acceptable accuracy. This will ensure on-time delivery and high customer satisfaction. The model has a structure that estimates the lead time by considering the raw material supply time, and in this respect, it is unique in the literature. It can be easily applied in production systems where production processes and product tree are complex. The developed model was run by setting up different scenarios with the data of a product produced in a company operating in the defense industry, and the delivery times and raw material supply times were analyzed. In order to improve the delivery time, it has been suggested to keep a safety stock for the raw materials that cause the lead time to be extended. It has been stated that by keeping the safety stock for the first 30 raw materials with the highest delay, an improvement of 70% can be achieved in the delay time and 77% in the penalty payment due to delay. In this respect, the prediction model is used not only as a decision-making tool, but also as an improvement tool. In this study, ANN applications have been explained in more detail than other studies in the literature. In this regard, this study is a guide that shows the steps to be followed in ANN estimation applications.

Key Words: Lead time estimation, raw material lead time, artificial neural networks, safety stock, lead time improvement.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜRLER	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
TABLO DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1.BÖLÜM: KONU BAZLI LİTERATÜR TARAMASI	4
1.1 İŞLETMELER İÇİN TESLİM SÜRESİNİN ÖNEMİ	4
1.2 MAKİNE ÖĞRENMESİ	5
1.3 YAPAY SİNİR AĞLARI	7
1.3.1 Yapay Sinir Ağı Temel Bileşenleri	10
1.3.1.1 Mimari Yapı	10
1.3.1.2 Öğrenme Algoritması.....	11
1.3.1.3 Aktivasyon Fonksiyonu	11
1.4 İLGİLİ LİTERATÜR	13
2.BÖLÜM: PROBLEM TANIMI	19
2.1 TEDARİK SÜRESİNİN ÖNEMİ	19
2.2 PLANLAMA VE ÜRETİM SÜRECİ	21
2.2.1 Müşteri Siparişinin KKPS'ye Girilmesi	22
2.2.2 Üretim ve Tedarik Planının Yapılması	22
2.2.2.1 Ana Üretim Planının Yapılması	23
2.2.2.2 İşletme Bünyesinde Üretilen Yarı Mamullerin Üretim Planının Yapılması	23
2.2.2.3 Altyüklenici Firmalarda Üretilen Yarı Mamullerin Üretim Planının Yapılması	23

2.2.2.4 Satın Alınan Malzemeleri Üretim Planının Yapılması.....	24
2.2.3 Hammadde ve Yarı Mamullerin Tedarik Edilmesi.....	24
2.2.4 Yarı Mamullerin Üretilmesi/Ürettirilmesi	25
2.2.5 Nihai Ürünün Üretilmesi ve Ürünlerin Teslim Edilmesi	26
2.3 VERİ ANALİZİ.....	26
2.3.1 Ürüne Ait Veri.....	26
2.3.2 Tedarikçi Firmalardan Tedarik Edilen Malzemelere Ait Veri.....	28
2.3.2.1 Alt Yüklenici Firmalarda Ürettirilen Yarı Mamullere Ait Veri.....	28
2.3.2.2 Hazır Olarak Satın Alınan Hammadde ve Yarı Mamullere Ait Veri.....	30
3.BÖLÜM: YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN	
TEDARİK SÜRESİ TAHMİN MODELİ	34
3.1 NEDEN YAPAY SİNİR AĞLARI?.....	34
3.2 YAPAY SİNİR AĞI MODELİNİN YAPISI	36
3.2.1 Girdiler ve Çıktılar	36
3.2.2 Mimari Yapı.....	37
3.2.3 Öğrenme Algoritması.....	38
3.2.4 Aktivasyon Fonksiyonu	39
3.2.5 Eğitim, Geçerlilik ve Test Kümesi.....	39
3.2.6 Performans Ölçütü	40
3.3 EN İYİ YSA MODELLERİNİN BULUNMASI	40
4.BÖLÜM: SENARYO ANALİZİ.....	49
4.1 SENARYOLARDA KULLANILAN TALEP MİKTARI VE TESLİM	
SÜRESİ	49
4.2 SENARYO SONUÇLARI ANALİZİ	52
SONUÇ.....	56
KAYNAKÇA	60
EK 1	65
EK 2.....	66
EK 3.....	68

KISALTMALAR DİZİNİ

YSA Yapay Sinir Ağı

KKPSS Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi

TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Literatürde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları	12
Tablo 2.YSA kullanılarak yapılan üretim süresi hesaplama çalışmaları inceleme tablosu	18
Tablo 3. Firma bünyesinde üretilen yarı mamullerin standart üretim süresi	27
Tablo 4.Alt Yüklenici Firmalardan Tedarik Edilen Yarı Mamullerin Sipariş Sayıları...	28
Tablo 5.Alt Yüklenici Firmalarda Ürettirilen Yarı Mamullerin Gecikme Süreleri	30
Tablo 6.Hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamullerin ürün ağacında yer aldığı seviye ve sipariş sayıları	32
Tablo 7.1.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamullere ait sipariş bilgileri.....	32
Tablo 8.One Hot Encoding tekniği ile nümerik hale dönüştürülmüş örnek bir veri.....	36
Tablo 9.YSA model yapısı.....	40
Tablo 10.Alt yüklenicide ürettirilen yarı mamullerin üretim süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları	42
Tablo 11.Ürün ağacının 1.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları	43
Tablo 12.Ürün ağacının 2.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları	44
Tablo 13.Ürün ağacının 3.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları	45
Tablo 14.Ürün ağacının 4.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları	46
Tablo 15.Ürün ağacının 5.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları	47
Tablo 16.En iyi performansa sahip YSA modelleri	48
Tablo 17.Belirlenen 16 senaryo için sipariş miktarı ve teslim süresi bilgileri.....	50
Tablo 18. Senaryo sonuçları.....	52
Tablo 19.En fazla gecikme görülen ilk 30 hammadde ve yarı mamuller	54
Tablo 20. Emniyet stoku tutulduğu durumda elde edilen öngörü sonuçları	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Biyolojik nöron yapısı (Mehrotra vd., 1997).....	7
Şekil 2. Yapay nöron yapısı (Suzuki, 2011)	7
Şekil 3. Yapay nöronun matematiksel gösterimi (Haykin, 2009).....	8
Şekil 4. YSA Mimari Yapı Örneği (Aladag, 2011)	9
Şekil 5. İleri beslemeli ve geri beslemeli YSA yapısı (Suzuki, 2011).....	10
Şekil 6. Savunma sanayinde faaliyet gösteren firmanın planlama ve üretim süreci.....	22
Şekil 7. Çalışmaya konu olan ürünün üretim miktarı (2020-2022)	27
Şekil 8. Hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamullerin sipariş sayısına göre sınıflandırılması	31
Şekil 9. Senaryo analizi için izlenen adımlar	51

GİRİŞ

Üretim alanında faaliyet gösteren işletmeler, rekabetçi piyasada pazar avantajını kaybetmemek adına müşteri taleplerini taahhüt edilen tarihe uygun olacak şekilde teslim etmek zorundadırlar. Müşteriye söz verilen tarihte ürününün teslim edilmesi, üretim yapan işletmelerin birincil hedefidir. Bu hedef doğrultusunda üretim sürelerini kısaltmak ve müşteri taleplerini daha hızlı karşılamak günümüz koşullarında işletmeler için hayati önem taşımaktadır (Öztürk vd., 2006).

Müşteri siparişinin alınması ile ürünün müşteriye teslim edilmesi arasında geçen süre teslim süresi olarak adlandırılmaktadır. Teslim süresi temelde iki ayrı süreçten oluşmaktadır; hammadde tedarik süresi ve üretim süresi (Gunasekaran vd., 2001). Müşteri talebi geldikten sonra yapılan üretim planı, teslim süresi temel alınarak yapılmaktadır. Zamanında teslimat yapılabilmesi, üretim planının doğru bir şekilde yapılması ile mümkündür. Ancak üretim süreçlerinin ve ürün ağacı yapısının karmaşıklık seviyesinin yüksek olduğu durumlarda doğru üretim planına erişmek ve teslim tarihini öngörmek oldukça zordur. Doğru bir üretim planı için hem işletme içi üretim faaliyetlerinin hem de tedarikçilerden temin edilen hammaddelerin tedarik sürelerinin detaylı olarak ele alınması gerekmektedir (Gyulai vd., 2018a).

Teslim süresinin kabul edilebilir bir seviyede tahmin edilmesi ile plan dahilinde olmayan durumlar tespit edilebilir ve önlem alınarak zamanında teslimat yapılması sağlanabilir. Zamanında teslimat yapılması müşteri memnuniyetini arttıracaktır. Buna karşın, teslimatın gecikmeli olarak yapılması ise işletmenin prestijini kaybetmesine ve rekabet gücünün azalmasına neden olacaktır (Öztürk vd., 2006).

Günümüzde akıllı sistemler ve yapay zekânın hayatın her alanında etkisini hissettirdiği görülmektedir. Her alanda olduğu gibi endüstride de akıllı sistemler ve yapay zekanın kullanımı giderek artmaktadır. Bu durum daha önce hiç olmadığı kadar veri üretip kullanan sistemlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Yapay zekâ, üretim yönetimi faaliyetleri kapsamında veriden hareketle insan aklının yerini alacak veya insan aklını destekleyecek sistemlerin kurulmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemler ile ürünler ve süreçler hakkında detaylı veri elde edilebilse de verinin büyüklüğü ve karmaşıklığı nedeniyle işlenmeden ve analiz edilmeden doğrudan karar verme için kullanılması

mümkün değildir. Bu nedenle, karar vericiler gelişmiş veri analitiği araçlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Karmaşık sistemleri analiz etmek için ise makine öğrenimi teknikleri gereklidir. Yapay zekanın bir alt kümesi olan makine öğrenmesi, yapay zekaya ulaşmada kullanılan bir araçtır. Makine öğrenmesi, büyük ve çözümlemesi zor olan verileri işleme, modeller oluşturma ve bu modelleri temel alarak karar verme ve öngöründe bulunma yeteneğine sahiptir (Gyulai vd., 2018b). Geleneksel matematiksel ve istatistiksel modeller verideki karmaşık ilişkileri anlama konusunda yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla makine öğrenmesi geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili sonuçlar vermektedir. Bu durum makine öğrenmesi tekniklerinin üretim alanında da yaygın olarak kullanılmasına sebep olmuştur (Dogan ve Birant, 2021).

Geleneksel planlama ve kontrol yöntemlerinde üretim ve tedarik süresi hesaplaması için çoğunlukla geçmiş verilerden elde edilen ortalama teslim süreleri kullanılmaktadır. Karmaşık üretim süreçleri ve karmaşık ürün ağacı varlığında ise geleneksel yöntemler ile üretim ve tedarik faaliyetlerinde meydana gelebilecek sapmaları öngörmek oldukça zordur. Bu sapmaları tespit etmek ve önlemek adına gelişmiş tahmin sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük ve karmaşık verileri işleme yeteneği olan makine öğrenmesi teknikleri, teslim süresi tahmini için kullanılabilir (Lingitz vd., 2018).

Bu çalışmada makine öğrenmesi tekniklerinden biri olan yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak ürünün teslimat tarihinin, üretim süresini ve hammadde tedarik süresini içerecek şekilde tahmin edilmesini sağlayan bir model geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bir başka ifade ile müşteri talebi geldiği andan müşteriye teslimat yapılana kadar geçen süreyi öngörmek amaçlanmaktadır. Geliştirilen modelin etkinliği ve kullanımı sonucu elde edilebilecek faydalar, savunma sanayinde faaliyet gösteren bir firmada üretilen bir ürüne ait örnek senaryolar üzerinden numerik analizler yapılarak gösterilmektedir. Çalışmada teslim süresi iki alt kümeye ayrılmıştır; üretim süresi ve hammadde tedarik süresi. İşletme bünyesinde gerçekleştirilen üretim süresinin standart olduğu varsayılmıştır. Ürün ağacında bulunan 800 çeşit hammadde ve yarı mamulün tedarik süreleri ise yapay sinir ağları ile tahmin edilecektir.

Bu tez çalışmasının literatüre aşağıda belirtilen katkıları sağlaması beklenmektedir:

- Temel katkı, yapay sinir ağları ile geliştirilen teslim süresi tahmin modelidir. Bu model üretim alanında faaliyet gösteren tüm işletmelerin kullanabileceği yapıda olup tecrübeye dayanarak alınan kararların analitik bir temelde alınmasını sağlayacaktır.
- Geliştirilen bu model teslim süresini hem üretim süresini hem de hammadde tedarik süresini birlikte ele alarak tahmin edilecek bir yapıda olup hammadde tedarik süresini hesaba katması yönüyle literatürde benzeri yoktur.
- Tahmin modeli ile öngörülen temin süresinin iyileştirilmesi amacıyla, tedarik süresi müşteri talep tarihine uygun olmayan hammaddeler tespit edilerek bu hammaddeler için emniyet stoku tutulması önerilmiştir. Bu açıdan tahmin modeli sadece bir karar verme aracı olarak değil, bir iyileştirme aracı olarak da kullanılmaktadır.
- Bu çalışmada YSA uygulamaları literatürde yer alan benzer çalışmalara kıyasla daha detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Bu yönüyle YSA tahmin uygulamalarında izlenecek adımları gösteren bir rehber niteliğindedir.

Bu tez çalışması giriş ve sonuç bölümleri dahil olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde teslim süresi kavramının tanımı yapılarak işletmeler için öneminden bahsedilecektir. Devamında makine öğrenimi hakkında temel bilgiler aktarılarak YSA hakkında detaylı bilgiler verilecektir. Son olarak bu tez çalışmasına benzer çalışmaların incelendiği ilgili literatür hakkında bilgi verilecektir. İkinci bölümde savunma sanayi elektronik üretim alanında faaliyet gösteren firmada tespit edilen problemin tanımı yapılarak çalışmada kullanılacak veri tanıtılacaktır. Üçüncü bölümde YSA kullanılarak geliştirilen tedarik süresi tahmin modeli tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde örnek senaryolar üzerinden yapılan nümerik analizler paylaşılacak ve temin süresini iyileştirmek amacıyla stok yönetim stratejileri önerilecektir. Sonuç bölümünde ise tez çalışması ile ilgili genel bir değerlendirme yapılacaktır.

1. BÖLÜM

KONU BAZLI LİTERATÜR TARAMASI

1.1 İŞLETMELER İÇİN TESLİM SÜRESİNİN ÖNEMİ

Üretim planlama, üretim sürecine başlanmadan önce bir ürünün nasıl üretileceğine dair stratejik kararların alındığı süreçtir. Bu süreç, hammadde tedarikinden başlayarak nihai ürünün elde edilmesine kadar olan tüm olaylar zincirini kapsamaktadır. Alınan stratejik kararlar sonrasında ortaya çıkan üretim planı teslimat süresini belirlemek, tedarikçilere hammadde ve alt bileşen siparişlerini vermek ve üretim kapasitesini ayarlamak için temel oluşturur (Tremblet vd., 2022).

Üretim alanında faaliyet gösteren firmalar için teslim süresi, bir müşteri siparişinin alınması ile talep edilen ürünün müşteriye teslim edilmesi arasında geçen zamanı ifade etmektedir (Gunasekaran vd., 2001). Üretim planı, teslim süresi temel alınarak hazırlanır. Bu nedenle üretim planının etkinliği, teslim süresi tahmininin doğruluğundan direkt olarak etkilenmektedir. Doğru teslim süresi tahmini, başarılı üretim planlamanın anahtarıdır. Buna karşın, üretim süreçlerinin ve ürün ağacının karmaşık oluşu nedeniyle yüksek doğruluk elde etmek oldukça zordur (Gyulai vd, 2018a).

Teslim süresi, firmaların müşteri beklentilerini karşılamak amacıyla iyileştirmek istediği en önemli kurumsal performans göstergelerinden biridir. Firmalar ürünü müşteriye en kısa sürede teslim etmeyi hedeflemektedir. Kısa teslim süreleri, üretim yapan firmaların imajını ve gelecekteki satış potansiyelini güçlendirmektedir (Öztürk vd., 2006).

Üretim alanında faaliyet gösteren firmaların, teslim sürelerinin kabul edilebilir bir şekilde tahmin edilmesine olan ilgisi gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle karmaşık üretim süreçlerine ve ürün ağacında çok sayıda bileşen içeren ürünlere sahip firmalar teslim süresinin tahmin edilmesine yönelik çalışmalara büyük önem vermektedir. Üretim firmaları sürekli olarak bir değişim sürecindedirler. Kendilerini faaliyet gösterdikleri pazarlarda kanıtlamak durumundadırlar. Küresel boyutta rekabet sınırlarının genişlemesiyle birlikte doğru ve kabul edilebilir teslim sürelerinin gerekliliği rekabetçi bir faktör olarak ön plana çıkartmaktadır. Teslim sürelerinin kabul edilebilir bir

doğrulukta tahmin edilmesi ile teslimat tarihleri üretime başlanmadan belirlenebilir ve plan dışı sapmalar tespit edilebilir. Bir sapmanın meydana geldiği öngörülebilirse, bu bilgilerin teslim sürelerini tahmin etmek için de dikkate alınması gerekir. Teslim süresinin belirlenen sistematik bir yöntem olmadan müşteriye iletilmesi ise, teslimatın zamanında yapılamamasına yol açarak müşteri güveninin kaybolmasına ve zamanında yapılamayan teslimatlar için ek maliyetlerin oluşmasına neden olabilir (Burggräf vd., 2020).

1.2 MAKİNE ÖĞRENMESİ

Akıllı sistemlerin ve yapay zekânın, günlük hayatta kapladığı alan giderek artmaktadır. Son birkaç yılda yapay zekâ, yalnızca bilişim teknolojileri sektörlerinde değil, aynı zamanda endüstride de gelişmekte olan bir alan haline gelmektedir. Akıllı sistemlerin kullanımının arttığı bu dönemde, daha önce hiç olmadığı kadar veri üretip kullanan sistemler geliştirilerek üretim yönetimi daha akıllı hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bu ise ancak insan etkileşimi ve uzman tecrübesi gerektiren konularda, yapay zekâ tekniklerinin karmaşık kararlar almak ve işlemleri otomatik bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla kullanılması durumunda mümkün olur. Yapay zekâ, üretim yönetimi faaliyetleri kapsamında veriden hareketle insan aklının yerini alacak veya insan aklını destekleyecek sistemlerin kurulmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemler ile ürünler ve süreçler hakkında detaylı veri elde edilebilse de verinin büyüklüğü ve karmaşıklığı nedeniyle işlenmeden ve analiz edilmeden doğrudan karar verme için kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle, karar vericiler veri analitiği araçlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Otomatik karar verme ve tahmin için ise makine öğrenimi teknikleri gereklidir (Gyulai vd., 2018b).

Genel olarak makine öğrenmesi, yapay zekanın bir alt kümesidir. Yapay zekaya ulaşmak için yaygın olarak uygulanan bir araçtır. Büyük ve karmaşık verileri işleme, modeller oluşturma ve bu modelleri temel alarak kararlar verme ve tahminde bulunma yeteneğine sahiptir. Geleneksel matematiksel ve istatistiksel modeller veri örneklerinin özellikleri arasındaki karmaşık ilişkileri anlama ve yeni bir örnek için bilinmeyen özellik değerlerini tahmin etme konusunda yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla makine öğrenmesi geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili sonuçlar vermektedir. Bu durum makine öğrenmesi tekniklerinin üretim alanında da kullanılmasına sebep olmuştur (Dogan ve Birant, 2021).

Makine öğrenimi teknikleri denetimli, denetimsiz ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Denetimli makine öğrenimi, örnek girdi ve çıktı çiftleri arasındaki karmaşık ilişkiyi öğrenmeyi amaçlar. Denetimli makine öğrenimi genellikle iki ayrı amaç için gerçekleştirilir: sınıflandırma ve regresyon. Sınıflandırma küçük, orta, büyük gibi ayrık kategorik değerlerin bulunması sürecidir. Regresyonda ise tahmin edilen çıktı değerleri gerçek sayılardır. Bu amaçlar doğrultusunda kullanılan birçok denetimli makine öğrenimi tekniği mevcuttur. Yapay sinir ağları, karar ağaçları, destek vektör makineleri, k-en yakın komşuluk tekniği yaygın olarak kullanılan denetimli makine öğrenimi tekniklerindedir. Denetimsiz makine öğrenimi, verideki paterni belirlemeyi amaçlar. Denetimli öğrenmeden farklı olarak insan denetimi olmadan, makinelerin kendi kendilerini öğrenmesi sağlanır. Kümeleme, anormallik tespiti, yoğunluk tahmini en popüler denetimsiz makine öğrenimi tekniklerindedir (Dogan ve Birant, 2021). Takviyeli makine öğreniminde ise makine sürekli değişen ortam karşısında deneme yanılma yoluyla etkileşim kurarak davranışı öğrenir. Takviyeli öğrenme ile sistem bulunduğu ortamı algılar ve hedefe ulaşmak için doğru kararları vermeyi öğrenir. Hedefe nasıl ulaşılacağı belirlenmeden ödül ve ceza kavramları kullanılarak öğrenme sağlanır. Bu öğrenme türünde denetmen sadece ödül ve ceza konusunda yönlendirme yapmaktadır (Alzubi vd., 2018).

Hem denetimli hem de denetimsiz makine öğrenimi teknikleri üretim alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretim alanında uygulanan makine öğrenimi tekniklerinin %90-95'ini denetimli ve denetimsiz öğrenme teknikleri oluşturmaktadır. Takviyeli makine öğrenimi teknikleri ise üretim alanında diğer tekniklere göre çok daha az tercih edilmektedir. Üretim yönetiminde makine öğrenimi teknikleri çoğunlukla kalite kontrol ve bakım alanlarında uygulansa da üretim planlama alanında da uygulama alanları mevcuttur (Weichert vd., 2019).

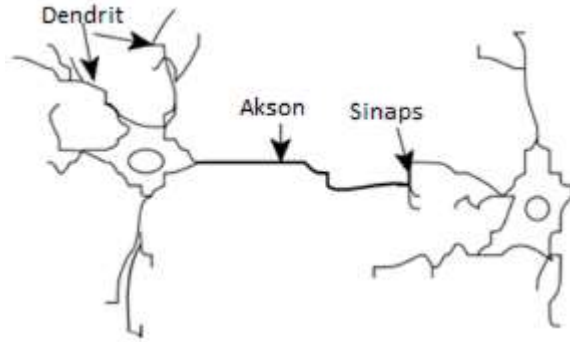
Teslim süresinin doğru tahmini, üretim planlama ve çizelgelemenin kalitesini ve verimliliğini önemli ölçüde etkiler. Geleneksel planlama ve kontrol yöntemlerinde çoğunlukla geçmiş verilerden elde edilen ortalama teslim süreleri kullanılmaktadır. Üretim planlama sorumluları, günümüzün karmaşık üretim ortamında birden fazla kriterden etkilenen teslim süresinde meydana gelebilecek değişiklikleri dikkate alamadığı için yapılan planlamada büyük sapmalar olur. Bu sapmaların önüne geçebilmek adına

gelişmiş teslim süresi tahmin yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla geçmiş tedarik ve üretim verilerine dayanarak teslim süresi tahmini için denetimli makine öğrenimi yaklaşımları kullanılabilir (Lingitz vd., 2018).

1.3 YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay Sinir Ağı (YSA), biyolojik sinir ağlarının yapısını ve işlevlerini taklit etmeye çalışan matematiksel bir modeldir (Suzuki, 2011).

Biyolojik nöronlar, nöronun dendritleri veya zarı üzerinde bulunan sinapslar yoluyla sinyaller alır. Alınan sinyaller yeterince güçlü olduğunda ve belirli bir eşiği aştığında nöron aktive olur ve akson aracılığıyla bir sinyal yayar. Bu sinyal başka bir sinapsa gönderilebilir ve diğer nöronları aktive edebilir (Mehrotra vd., 1997).



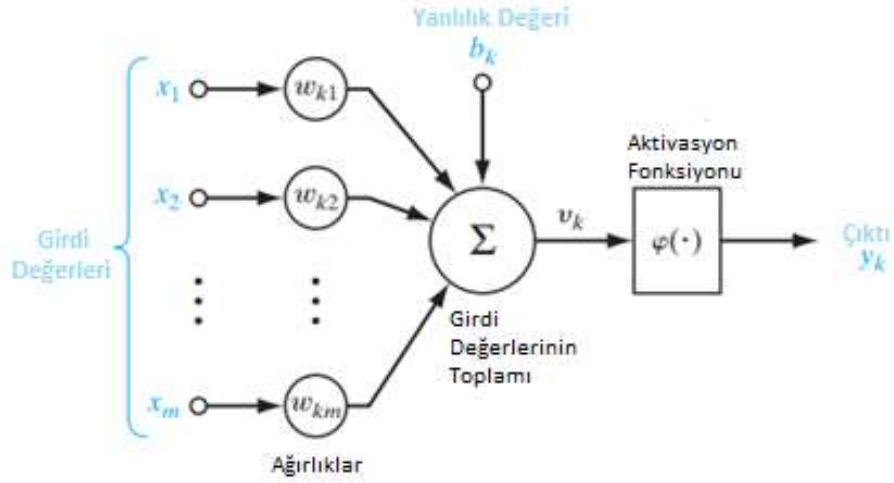
Şekil 1. Biyolojik nöron yapısı (Mehrotra vd., 1997)

Yapay nöron, her yapay sinir ağının temel yapı taşıdır. Tasarımı ve işlevleri, biyolojik sinir sistemlerinin temel yapı taşı olan biyolojik bir nöronun gözlemlenmesinden türetilmiştir (Suzuki, 2011).



Şekil 2. Yapay nöron yapısı (Suzuki, 2011)

Biyolojik nöronların karmaşıklığı, yapay nöronlar modellenirken yüksek oranda ifade edilir. Yapay nöronların temel yapısında, ağırlıklarla (ilgili sinyallerin gücü) çarpılan girdiler (sinapslar gibi) ve daha sonra nöronun aktivasyonunu belirleyen matematiksel bir fonksiyon yer alır (Mehrotra vd., 1997). Yapay nöronun matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.Yapay nöronun matematiksel gösterimi (Haykin, 2009)

- x_1, x_2, \dots, x_m girdi değerleri
- $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ k nöronunun ağırlığı
- b_k yanlılık (bias) değeri
- v_k girdi değerlerinin toplam fonksiyonu çıktısı, diğer bir ifade ile girdi değerleri ile ağırlıkların çarpımının toplam değeri ile yanlılık değerinin toplamı
- φ aktivasyon fonksiyonu
- y_k ağın çıktısı

Bu bilgiler doğrultusunda denklemler aşağıdaki şekilde tanımlanır (Haykin, 2009):

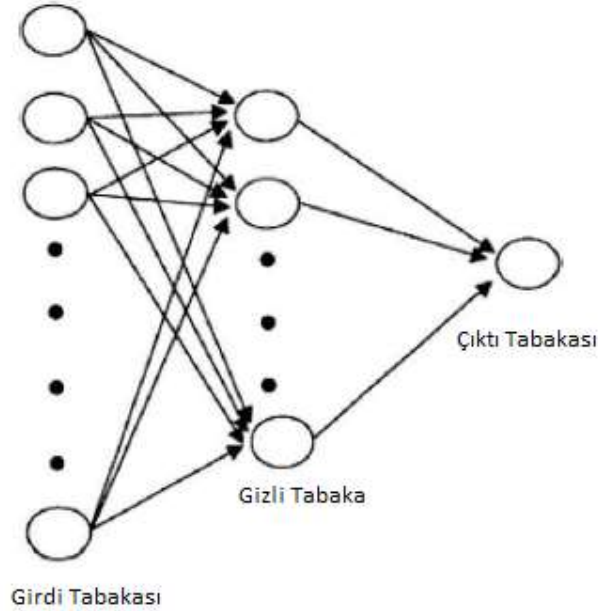
$$\mu_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j$$

$$v_k = \mu_k + b_k$$

$$y_k = \varphi(\mu_k + b_k)$$

İki veya daha fazla yapay nöronun bir araya gelmesi ile bir yapay sinir ağı elde edilir. Tek bir yapay nöronu ile gerçek hayattaki problemleri çözmeye çalışmak bir fayda sağlamaz. Ancak yapay sinir ağları ile gerçek hayat problemleri daha anlaşılır bir şekilde ifade edilebilir ve kabul edilebilir bir çözüm elde edilir. Yapay sinir ağları, temel yapı taşı olan yapay nöronlardaki bilgileri işleyerek karmaşık gerçek hayat problemlerini çözme yeteneğine sahiptir (Suzuki, 2011).

Yapay sinir ağları girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakası olmak üzere üç kısımdan oluşur. Her tabaka nöronlardan oluşur. Bu nöronlar ağırlıklarla birbirine bağlıdır. Aynı tabakadaki nöronlar arasında bağlantı yoktur (Aladag, 2011). Mimari yapıda birden fazla gizli tabaka kullanmak mümkündür (Aladag, 2019).



Şekil 4. YSA Mimari Yapı Örneği (Aladag, 2011)

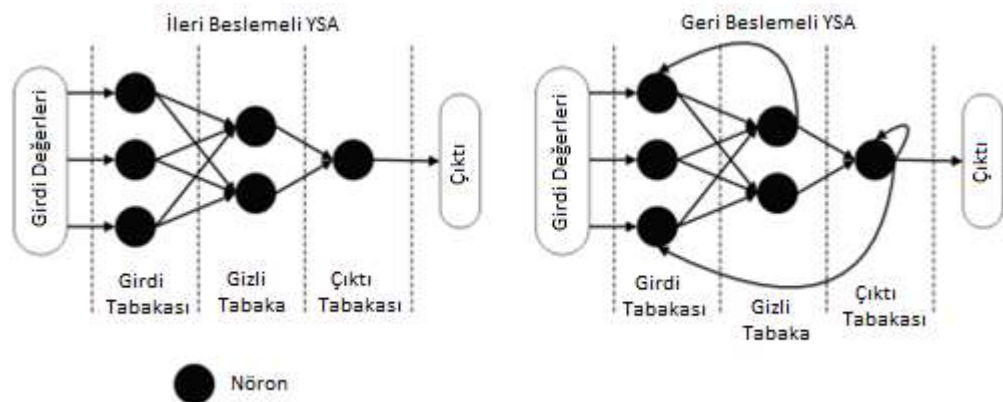
Gizli terimi, sinir ağının bu kısmının doğrudan ağın girişinden veya çıkışından görülmediği anlamına gelmektedir. Gizli nöronlar/tabakalar, ağın girdi tabakası ile çıktı tabakası arasında faydalı bir bağlantı kurmak amacıyla kullanılır. Bir veya daha fazla gizli tabaka ekleyerek, ağın girdisinden, yüksek doğruluğa sahip çıktılar elde edilmesi sağlanır. Diğer bir ifade ile ağ, ekstra sinaptik bağlantılar ve sinirsel etkileşimler kurarak küresel bir bakış açısı kazanır ve performansını artırır (Churchland ve Sejnowski, 1994).

1.3.1 Yapay Sinir Ağı Temel Bileşenleri

Yapay sinir ağlarının temel bileşenlerinin belirlenmesi oldukça önemli bir problemdir ve YSA'nın tahmin performansını doğrudan etkilemektedir. YSA'nın temel bileşenleri; ağ mimarisi, öğrenme algoritması ve aktivasyon fonksiyonudur (Eğrioğlu vd., 2008).

1.3.1.1 Mimari Yapı

Bireysel yapay nöronların birbirine bağlanma şekli, yapay sinir ağının topolojisi veya mimarisi olarak adlandırılır. Nöronlar birbirine çok farklı şekilde bağlanabilir, bu bağlantı şekli temelde iki sınıfa ayrılmaktadır: Bilgilerin girişten çıkışa yalnızca bir yönde aktığı ileri beslemeli (*feedforward*) mimarisi ve bilgilerin yalnızca bir yönde akmadığı, zıt yönde bilgi akışının da olduğu geri beslemeli (*recurrent*) mimarisi (Suzuki, 2011).



Şekil 5. İleri beslemeli ve geri beslemeli YSA yapısı (Suzuki, 2011)

Yapay sinir ağları kullanımındaki en büyük sorunlardan biri en iyi mimariyi belirlemektir. Bu çok önemli bir problemdir; çünkü en iyi mimari yapıyı seçmek için belirlenen genel bir kural bulunmamaktadır. En iyi mimarinin seçimi, bir ağın kaç tabakaya sahip olacağını ve her tabakada kaç nöron kullanılması gerektiğini belirlemektir. Mimari yapı seçimi ağın performansını doğrudan etkilemektedir. Literatürde bu problemin çözümü için deneme yanılma yönteminden sezgisel optimizasyon algoritmalarına kadar çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Literatürde sistematik yaklaşımlar olmasına rağmen, deneme

yanılma yöntemi iyi bir mimari bulmak için kullanılan en yaygın yaklaşımdır (Aladag, 2019).

1.3.1.2 Öğrenme Algoritması

YSA'da öğrenme işlemi, girdilerden istenen çıktının elde edilmesi amacıyla ağırlıkların en iyi değerlerinin bulunması anlamına gelmektedir. En iyi ağırlık değerlerinin belirlenmesi için çeşitli eğitim algoritmaları bulunmaktadır. En popüler eğitim yöntemi, geri yayılım (*back propagation*) algoritmasıdır. Geri yayılım algoritması çok çeşitli problemlere başarıyla uygulanmıştır (Aladag, 2011).

Geri yayılım algoritmasının temel işlem adımları aşağıda belirtilmiştir (Hu, 2002):

1. Ağa bir girdi değeri verilir ve çıktı değerleri hesaplanır.
2. Ağın çıktı değeri ile hedef değer karşılaştırılır ve fark/hata hesaplanır.
3. Hatayı azaltmak için her bir ağırlığın hangi yönde (pozitif/negatif) değiştirileceği belirlenir. Bu, hata değerinin her bir ağırlığa göre türevinin alınması ile elde edilir.
4. Her bir ağırlığa uygulanacak değişimin büyüklüğü belirlenir.
5. Ayarlamalar ağırlıklara uygulanarak hata en aza indirilir.
6. Eğitim setindeki tüm çıktı değerleri için hata kabul edilebilir bir seviyeye düşene veya belirli bir durma kriteri karşılanıncaya kadar önceki tüm adımlar tüm eğitim setinde tekrarlanır.

1.3.1.3 Aktivasyon Fonksiyonu

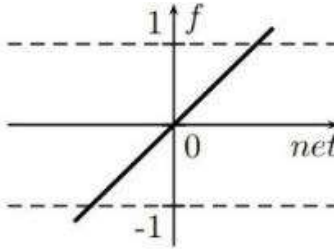
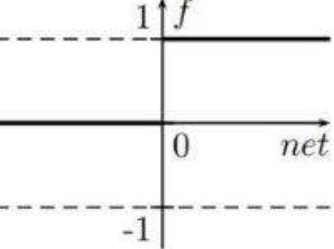
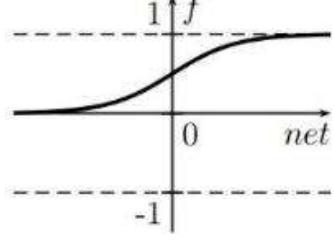
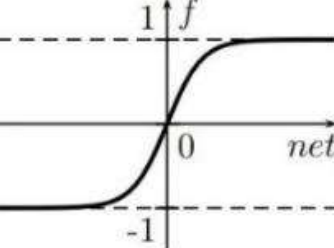
Aktivasyon fonksiyonu, bir ağın girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkiyi belirler. Ağın giriş ve çıkışı arasında doğrusal olmayan ilişkilerin kurulması aktivasyon fonksiyonu ile sağlanır. Ağların performansı, aktivasyon işlevinin doğru seçiminden direkt olarak etkilenmektedir (Aladag, 2011).

En sık kullanılan aktivasyon fonksiyonları doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonlarıdır. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun kullanım alanı sınırlıdır ve eğer kullanılırlarsa, ağ yalnızca girdinin doğrusal değişikliklerine uyum sağlayabilir. Ancak gerçek dünyada hatalar doğrusal olmayan özelliklere sahiptir. Bu nedenle, YSA'da doğrusal aktivasyon

fonksiyonu yerine doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları tercih edilir (Sharma vd., 2017).

Literatürde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Literatürde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon Fonksiyonu	Grafik	Denklem	Fonksiyon Aralığı
Adım Fonksiyonu		$f(x) = x$	$(-\infty, \infty)$
Lineer Fonksiyon		$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$	$\{0,1\}$
Sigmoid Fonksiyon		$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$[0,1]$
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu		$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	$[-1,1]$

1.4 İLGİLİ LİTERATÜR

Bu tez çalışmasında ele alınan problem ile ilgili literatür taraması için “*Web of Sciences*” veri tabanında bulunan makaleler ve bu makalelerde kaynak olarak gösterilen makaleler incelenmiştir. Tedarikçilerden temin edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini ele alan çalışmalara erişmek için “konu (*topic*)” alanında “yapay sinir ağları (*artificial neural networks*)” anahtar kelimesi ile arama yapılmıştır. Ardından aşağıda belirtilen anahtar kelimeler ile tarama sonuçları birbirinden bağımsız olacak şekilde daraltılmıştır:

- “Teslim süresi (*lead time*)” ve “tedarik (*procurement*)”
- “Teslim süresi (*lead time*)” ve “satıcı (*vendor*)”
- “Teslim süresi (*lead time*)” ve “tedarikçi (*supplier*)”
- “Teslim süresi (*lead time*)” ve “tedarik (*procurement*)”
- “Termin tarihi (*due date*)”
- “Malzeme varış süresi (*material arrival time*)”
- “Planlanan teslim tarihi (*shipping date*)”
- “Teslim tarihi (*delivery date*)”
- “Taahhüt (*promise*)” ve “gün (*date*)”
- “Hammadde (*raw material*)” ve “termin tarihi (*due date*)”
- “Hammadde (*raw material*)” ve “temin süresi (*lead time*)”

Tarama sonucunda ulaşılan makaleler incelendiğinde tedarikçilerden temin edilen hammaddelerin tedarik süresine ilişkin YSA kullanılarak yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ulaşılan bu sonuç sonrasında genel bir tarama yapmak amacıyla “konu (*topic*)” alanında “teslim süresi (*lead time*)” anahtar kelimesi ile yeniden tarama yapılmıştır. Tarama sonuçları “hammadde (*raw material*)” anahtar sözcüğü ile daraltılarak erişilen çalışmalar incelenmiştir. Tarama sonucunda bu tez kapsamında ele alınan konunun literatürde yer almadığı görülmüştür. YSA ile hammadde temin sürelerinin tahmin edilmesini amaçlayan bu çalışma literatüre bu yönüyle katkı sağlayacaktır.

Tarama sonuçları incelendiğinde tedarik süresinin hesaba katılmadığı, tüm malzemelerin hazır olduğu varsayımı ile üretim süresini YSA ile tahmin etmeyi amaçlayan çalışmalara

rastlanmıştır. Bu noktada YSA'nın teknik kullanımı ve üretim süresi tahmin uygulamaları incelenmek üzere literatür taraması yapılmıştır. “*Web of Sciences*” veri tabanı üzerinden yapılan tarama “yapay sinir ağları (*artificial neural networks*)” anahtar kelimesi ile yapılmış ve tarama “konu (*topic*)” esas alınarak uygulanmıştır. Ardından aşağıda belirtilen anahtar kelimeler ile tarama sonuçları birbirinden bağımsız olacak şekilde daraltılmıştır:

- “Teslim süresi (*lead time*)” ve “üretim (*production*)”
- “Teslim süresi (*lead time*)” ve “imalat (*manufacturing*)”
- “Teslim tarihi (*due date*)” ve “üretim (*production*)”
- “Teslim tarihi (*due date*)” ve “imalat (*manufacturing*)”
- “Çevrim süresi (*cycle time*)” ve “üretim (*production*)”
- “Çevrim süresi (*cycle time*)” ve “imalat (*manufacturing*)”

Tarama sonuçları arasından 23 çalışma kapsam ve alaka düzeyine göre ayrıntılı olarak incelenmiştir. İncelenen 23 çalışmaya ilişkin hazırlanan tablo 2; YSA türü, tahmin edilen gösterge, YSA tekniğinin detay düzeyi, YSA çözüm aracı, kullanılan verinin büyüklüğü, çalışma türü (teorik ya da pratik) ve tahmin edilen göstergeye dair iyileştirme önerisi olup olmadığına göre hazırlanmıştır.

Bilgilerin tek yönde, girdiden çıktıya doğru aktığı ileri beslemeli YSA, denetimli makine öğrenimi yöntemlerinden birisi olup sınıflandırma ve tahmin amacıyla kullanılmaktadır. Üretim süresini tahmin etmeyi amaçlayan 23 çalışmanın tümünde ileri beslemeli YSA kullanıldığı görülmektedir. Hammaddede tedarik süresini tahmin etmeyi amaçlayan bu tez çalışmasında da ileri beslemeli YSA kullanılmıştır.

YSA uygulamalarında kullanılan çeşitli çözüm araçları bulunmaktadır. Detaylı incelenen 23 çalışmadan 9 tanesinde MATLAB'ın çözüm aracı olarak kullanıldığı görülmektedir. MATLAB en sık kullanılan YSA çözüm aracı olarak öne çıkmaktadır. Neuralworks Professionals II/Plus ve C++ 2'ser çalışmada çözüm aracı olarak kullanılmıştır. Kullanılan diğer çözüm araçları ise NeuroXL Predictor, Scilab, Neuron Solution ve FAAN'dır. 6 çalışmada ise kullanılan çözüm aracı belirtilmemiştir. Bu çalışma, YSA uygulaması için literatürde en sık kullanılan çözüm aracı olan MATLAB ile yapılmıştır.

YSA ile az sayıda veri ile çözüm yapılabilme mümkündür. Veri sayısının artması öğrenme işleminin artmasına ve hata payının azalmasına katkıda bulunurken işlem süresini uzatmaktadır. İncelenen 23 çalışmanın 17'sinde veri sayısının 500 satır altında olduğu görülmektedir. En fazla veri sayısı ise 32990 satırdır. 2 çalışmada ise veri sayısı belirtilmemiştir. Bu tez çalışmasında 30010 satır veri ile çözümleme yapılmıştır.

Üretim süresini tahmin etmeyi amaçlayan 23 çalışmanın 10 adedi teorik olarak ele alınmıştır. 13 çalışmada ise geliştirilen ileri beslemeli YSA'da işletmeye ait gerçek veri kullanılarak uygulama yapılmıştır. Bu tez kapsamında savunma sanayinde faaliyet gösteren bir firmanın tedarikçilerden satın aldığı hammadde ve yarı mamullere ait geçmiş sipariş bilgileri kullanılarak pratik bir uygulama yapılmıştır.

23 çalışmanın 22 adedinde sadece üretim süresi tahmin edilmiş olup üretim süresini iyileştirecek bir öneri sunulmamıştır. Sadece 1 çalışmada üretim süresi tahminine ek olarak bir iyileştirme önerisi sunulmuştur. Schneckenreither vd. (2021) üretim süresi tahminine ek olarak müşteri siparişlerini daha kısa sürede teslim edebilmek amacıyla, teslim süresini belirli bir süre altında tutacak son ürün emniyet stoku yapılmasını önermiştir. Bu tez çalışmasında ise belirlenen örnek senaryolarda satın alınan hammadde ve yarı mamullerin tedarik süreleri hesaplanmış, tedarik sürelerine üretim süreleri eklenerek ürünün teslim tarihi tahmin edilmiştir. Senaryolarda belirtilen müşteri talep tarihine göre gecikme görülen senaryolar analiz edilerek gecikmeye sebep olan hammadde ve yarı mamuller tespit edilmiştir. En fazla gecikmeye sebep olan hammadde ve yarı mamuller için emniyet stoku yapılması önerilmiş ve bu hammadde ve yarı mamullerden emniyet stoku tutulduğu durumda, gecikme sürelerinin ve gecikmeden kaynaklı ceza maliyetinin büyük oranda azaltılacağı belirtilmiştir.

YSA, literatürde sıklıkla kullanılan makine öğrenimi yöntemlerinden birisidir. Kabul edilebilir bir hata ile sonuca ulaşılması ve uygulamasının kolay olması sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak literatürde yer alan birçok YSA uygulamasında, uygulama detayları verilmeden hazır çözüm araçları kullanılarak sonuç elde edildiği görülmektedir. YSA uygulamasının detaylı anlatımı, YSA temel bileşenlerinin neden ve nasıl seçildiği ve birbiri ile uyumlu olup olmadığı bilgisi çalışmalarda yer almamaktadır. Bu noktada elde edilen sonucun ne kadar güvenilir olduğu sorgulanmalıdır. Bu tez kapsamında incelenen 23 çalışma YSA uygulaması anlatımının detay seviyesine göre karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma yapılırken YSA uygulamalarında dikkat edilmesi gereken aşağıdaki soruların cevabı aranmıştır:

- Mimari yapı nasıl seçildi? Deneme yanılma yöntemi tercih edildi ise yapılan denemelerin ayrıntıları ve sonuçları belirtilmiş midir?
- YSA uygulaması öncesi gerekli olan veri normalizasyon işlemi hakkında bilgi verilmiş midir? Kullanılan çözüm aracında varsayılan olarak arka planda çalışan bu detay incelenmiş midir?
- Aktivasyon fonksiyonunun çalışma aralığı ile normalize edilen verinin aralığı birbiri ile uyuyor mu?
- Öğrenme algoritmasının neden seçildiği detaylı olarak anlatılmış mıdır? Farklı öğrenme algoritmaları ile deneme yapılmış ve deneme sonuçları aktarılmış mıdır?

YSA temel bileşenlerinden mimari yapı seçimi ağı performansı doğrudan etkilemektedir. Literatürde mimari yapı seçimi için en sık başvurulan yöntem deneme yanılma yöntemidir. İncelenen 23 çalışmanın 14'ünde mimari yapı seçimi için deneme yanılma yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Raaymakers ve Weijters (2003) ve Kumru ve Kumru (2014) deneme yanılma yöntemi ile oluşturulan tüm YSA yapıları ile elde edilen sonuçları çalışmalarında paylaşmışlardır. Diğer 12 çalışmada ise alternatif mimari yapılara ait sonuçlar paylaşılmamış olup sadece seçilen mimari yapıya ait sonuçlar belirtilmiştir. Silva vd. (2017) ve Huang vd. (1999) çalışmalarında mimari yapı seçimi için genel bir kuralı benimsemiştir. Bu iki çalışmada gizli tabaka nöron sayısı, girdi ve çıktı tabakasında yer alan nöronların toplamının yarısı olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu çalışmalarda alternatif mimari yapılar denenmemiştir. Mimari yapı seçimi için Okubo vd. (2000) Akaike Bilgi Kriteri'ni, Li vd. (2007) ise genetik algoritmayı kullanmıştır. 5 çalışmada ise mimari yapı seçimine ait detay belirtilmemiştir.

YSA da kullanılacak verinin normalizasyon aralığı ile seçilen aktivasyon fonksiyonunun çalışma aralığının birbiri ile uyumlu olması oldukça önemlidir. Normalize edilen girdi verisinin aktivasyon fonksiyonu ile etkileşimi sırasında farklı bir aralıkta yeni bir değer alması ve aktivasyon fonksiyonu ile etkileşim sonrası verinin ilk baştaki normalizasyon aralığına çekilmesi ağı hata değerinin artmasına neden olacaktır (Gacek, 2018).

İncelenen 23 çalışmanın sadece 2'sinde verinin normalizasyon aralığı ile seçilen aktivasyon fonksiyonunun çalışma aralığının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Lee ve Gao (2021) ile Gacek (2018) çalışmalarında veri normalizasyon aralığı ile seçilen aktivasyon fonksiyonunun çalışma aralığının birbiri ile uyumuna dikkat etmiştir. 7 çalışmada ise veri normalizasyonunun nasıl yapıldığı aktarılmasına rağmen aktivasyon fonksiyonu ile uyumuna dikkat edilmemiştir. Chakravorty ve Nagarur (2022) veriyi normal dağılım formülü ile normalize etmiştir ancak seçilen aktivasyon fonksiyonu $[0,1]$ aralığında çalışmaktadır. Schneckenreither vd. (2021) çalışmasında veriyi $[-1,1]$ aralığında normalize etmiştir ancak tercih edilen aktivasyon fonksiyonu doğrultulmuş lineer birim (*rectified linear unit- RELU*) $[0, +\infty)$ aralığında çalışmaktadır. Karaoglan ve Kandemir (2017), Sajko vd. (2020) ve Eraslan (2009) veriyi $[0,1]$ aralığında normalize etmiştir ancak gizli tabakada tercih edilen hiperbolik tanjant fonksiyonu $[-1,1]$ aralığında çalışmaktadır. Chen (2015) veriyi $[0.1,0.9]$ arasında normalize etmiştir ancak gizli tabakada tercih edilen hiperbolik tanjant fonksiyonu $[-1,1]$ aralığında çalışmaktadır. Asadzadeh vd. (2011) veriyi $[0.1,0.9]$ arasında normalize etmiştir ancak tercih edilen sigmoid aktivasyon fonksiyonu $[0,1]$ aralığında çalışmaktadır. 14 çalışmada ise normalizasyon detayı belirtilmemiştir. Bu nedenle aktivasyon fonksiyonu çalışma aralığı ile verinin normalizasyon aralığının birbiri ile uyumuna bakılamamıştır.

YSA temel bileşenlerinden bir diğeri ise öğrenme algoritmasıdır. Literatürde YSA uygulamalarında kullanılan farklı öğrenme algoritmaları vardır. En sık kullanılan algoritma ise geri yayılım algoritmasıdır (Aladag, 2011). İncelenen 23 çalışmanın 21'inde öğrenme algoritması olarak geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Bu 21 çalışmadan 19'unda öğrenme algoritmasının detayına değinilmeden, literatürde çoğunlukla kullanıldığı için tercih edildiği belirtilmiştir. 2 çalışmada ise geri yayılım algoritmasının farklı varyasyonları ile denemeler yapılarak hata oranı en az olan algoritma tercih edilmiştir. Chen (2015) 2 farklı öğrenme algoritması ile, Eraslan (2009) ise 4 farklı öğrenme algoritması ile denemeler yapmıştır. İncelenen 2 çalışmada ise öğrenme algoritmasının belirtilmediği görülmüştür.

Tablo 2.YSA kullanılarak yapılan üretim süresi hesaplama çalışmaları inceleme tablosu

#	Çalışma	Çözüm Aracı	Veri Büyüklüğü	Mimari Yapı Seçim Yöntemi	Veri Normalizasyon Detayı	Aktivasyon Fonksiyonu ile Veri Normalizasyon Uyumu	Öğrenme Algoritması	Alternatif Öğrenme Algoritması Denemesi	Uygulama	Tahmin Edilen Gösterge İçin İyileştirme Önerisi
1	Chakravorty ve Nagarur (2022)	neuralworks professional	644 satır	DY	✓	-	BP	-	✓	-
2	Schneckenreither vd. (2021)	belirtilmemiş	400 satır	DY	✓	-	BP	-	-	✓
3	Cao ve Ji (2021)	MATLAB	89 satır	DY	-	-	BP	-	-	-
4	Lee ve Gao (2021)	C++	120 satır	DY	✓	✓	BP	-	✓	-
5	Sajko vd. (2020)	MATLAB	54 satır	DY	✓	-	belirtilmemiş	-	✓	-
6	Gacek (2018)	FANN	32990 satır	DY	✓	✓	BP	-	✓	-
7	Karaoglan ve Kandemir (2017)	MATLAB	200 satır	DY	✓	-	BP	-	✓	-
8	Silva vd. (2017)	MATLAB	200 satır	(Girdi+Çıktı NS)/2	-	-	BP	-	-	-
9	Chen (2015)	MATLAB	120 satır	DY	✓	-	BP	✓	✓	-
10	Kumru ve Kumru (2014)	NeuroXL Predictor	39 satır	DY	-	-	BP	-	-	-
11	Gelmereanu vd. (2014)	belirtilmemiş	11 satır	belirtilmemiş	-	-	BP	-	-	-
12	Susanto vd. (2012)	Scilab	120 satır	belirtilmemiş	-	-	BP	-	✓	-
13	Asadzadeh vd. (2011)	MATLAB	70 satır	DY	✓	-	BP	-	✓	-
14	Kumar ve Arunagiri (2010)	MATLAB	100 satır	belirtilmemiş	-	-	BP	-	-	-
15	Eraslan (2009)	C++	belirtilmemiş	DY	✓	-	BP	✓	✓	-
16	Lin vd. (2009)	MATLAB	belirtilmemiş	belirtilmemiş	-	-	belirtilmemiş	-	✓	-
17	Kutschenreiter-Praszkiewicz (2008)	belirtilmemiş	150 satır	DY	-	-	BP	-	✓	-
18	Chang vd. (2008)	MATLAB	240 satır	belirtilmemiş	-	-	BP	-	✓	-
19	Li vd. (2007)	Neuron Solution	1050 satır	GA	-	-	BP	-	-	-
20	Hsu ve Sha (2004)	neuralworks professional	3000 satır	DY	-	-	BP	-	-	-
21	Raaymakers ve Weijters (2003)	belirtilmemiş	1176 satır	DY	-	-	BP	-	-	-
22	Okubo vd. (2000)	belirtilmemiş	125 satır	AIC	-	-	BP	-	-	-
23	Huang vd. (1999)	belirtilmemiş	130 satır	(Girdi+Çıktı NS)/2	-	-	BP	-	✓	-
	Bu Çalışma	MATLAB	30010	DY	✓	✓	BP	✓	✓	✓

FNN: İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı, BP: Geri Yayılım Algoritması, GA: Genetik Algoritma, AIC:Akaike Bilgi Kriteri, DY:Deneme Yanılma, NS: Nöron Sayısı

2. BÖLÜM

PROBLEM TANIMI

Bu bölümde ilk olarak işletmeler için hammadde tedarik sürelerinin önemi ve rekabetçi piyasada getirdiği avantajlar anlatılacaktır. Devamında bu çalışma kapsamında bir savunma sanayi firması için örnek senaryolar üzerinden uygulaması yapılacak tedarik süresi tahmin modelinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla firmada yürütülen üretim ve tedarik faaliyetleri detaylı olarak anlatılacaktır. Son olarak firmada üretilen ve bu çalışmaya konu olan ürün ile bu ürüne ait veri tanıtılacaktır.

2.1 TEDARİK SÜRESİNİN ÖNEMİ

Üretim alanında faaliyet gösteren işletmeler için artan rekabet ortamında ayakta kalmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Rekabet ortamının sınırları küreselleşme etkisiyle genişleyerek ülke sınırları dışına çıkmıştır. İşletmeler, rekabetçi piyasa koşullarında kendini kanıtlamak amacıyla yurtiçi ve yurtdışı müşterilerine yüksek kalitede, rekabetçi fiyatlar ile ürünler sunmak ve zamanında teslimat yapmak için gelişim yolları aramaktadır.

Ürünün müşteriye söz verilen tarihte veya daha erken teslim edilmesi üretim yapan işletmelerin rekabet gücünü artıran önemli bir unsurdur. İşletmeler bu hedefine ulaşmak için hammadde tedarikinden müşteriye teslimat yapılabildiği kadar olan tüm süreçlerini gözden geçirmektedir. İşletmelerin kendilerini güvenli bölgede tutarak teslim sürelerini uzun tutması, müşterinin daha kısa teslim süresi veren işletmeye yönelmesine neden olmaktadır. Teslim sürelerinin kısa tutularak müşteriden sipariş alınması ve sonrasında müşteriye söz verilen tarihte teslimat yapılamaması ise işletmelere olan güvenin sarsılmasına neden olmaktadır. İşletmeler rekabetçi piyasada ön plana çıkmak için bu dengeyi iyi bir şekilde kurmalıdır.

Teslim tarihini belirleyen iki ana faktör bulunmaktadır; üretim süresi ve tedarik süresi. Üretim süresi işletmenin kendi kontrolünde olan ve kendi imkanları ile geliştirebileceği

bir faktördür. Tedarik süresi ise işletmenin kontrolü dışında, tedarikçi firmalara bağlı olan bir faktördür. Hammadde tedarik süreleri, müşteri teslimat tarihini doğrudan etkilemektedir. Hammadde tedarik sürelerinin ön görülebileceği bir model, üretim yapan işletmelere teslim süresinin belirlenmesi konusunda önemli bir katkı sağlayacaktır.

Tüm sektörlerde olduğu gibi savunma sanayinde de rekabet çok önemli bir unsurdur. Ancak rekabetin yapısı daha farklıdır. Savunma sanayinde daha keskin sınırlara sahip bir rekabet ortamı bulunmaktadır. Birçok ülkede savunma sanayi ulusal bir güç olarak benimsenmiş ve uluslararası alanda yıkıcı bir rekabet ortamı oluşmuştur. Uluslararası rekabet ortamında savunma sanayi firmalarını ön plana çıkartacak olan ürünlerin yüksek performans ve kaliteye sahip olması ve müşterinin istediği tarihte teslimat yapılmasıdır. Üretim maliyeti ve karlılık ikinci plandadır.

Türkiye savunma sanayisi ile ön plana çıkan ülkelerden birisidir. Ülkenin jeopolitik konumu nedeni ile savunma sanayisine ayrı bir önem verilmektedir. Uluslararası alanda söz sahibi olmak isteyen Türkiye, güçlü bir silahlı kuvvetlere sahip olmayı ilke olarak benimsemiştir. Bu güç, yüksek teknolojiye sahip savunma sanayi ürünlerinin milli kaynaklar ile üretilmesi ile mümkündür. Ülkenin ihtiyaç duyduğu savunma sanayi ürünlerinin yüksek performans ve kalite ile zamanında silahlı kuvvetler envanterine kazandırılması savunma sanayi firmalarının ana amacıdır. Zamanında ve hızlı teslimat yapılabilmesi için savunma sanayi ürünlerinin ürün ağacında yer alan elektronik hammadde ve yarı mamullerin yurtiçi ve yurtdışı firmalardan zamanında tedarik edilmesi gerekmektedir.

Teknolojik gelişmelerin artmasıyla elektronik ürünlerin insan hayatında kapladığı alan da giderek artmaktadır. Savunma sanayi ürünleri, elektrikli araçlar, bilgisayarlar, elektrikli ev aletleri, cep telefonları vb. birçok elektronik ürün günlük hayatın bir parçası haline gelmiştir. Bu ürünleri üreten işletme sayısı da giderek artmaktadır. Elektronik alanında üretim yapan işletmeler için rekabet edilen firma sayısı artmakta ve işletmelerin pazardaki gücünü koruması gittikçe zorlaşmaktadır. Müşteri kaybetmek istemeyen işletmeler, zamanında teslimat yapmak amacıyla büyük efor sarf etmektedir. Zamanında teslimat yapılması ise hammaddelerin zamanında tedarik edilmesi ve üretimin zamanında yapılması ile mümkündür. Elektronik üretim alanında faaliyet gösteren işletmeler üretim süreçlerini gözden geçirerek üretim sürelerini her ne kadar kısaltmaya çalışsalar da

hammadde tedarik sorunları nedeniyle müşterilerine zamanında teslimat yapmakta zorlanmaktadırlar.

Elektronik ürünlerin kullanım amacı her ne kadar farklı olsa da bu ürünlerin üretimi için gerekli hammaddelerin çoğu ortaktır. Elektronik hammaddeler dünya genelinde belirli ülkelerden, belirli firmalardan temin edilmektedir. Hammadde sağlayan firmalar artan talepleri karşılamakta zorlanır duruma gelmiştir. Elektronik ürün üretimi yapan firmalar ise hammaddeyi ne zaman tedarik edeceğini kesin olarak bilmemekte ve müşteri ile mutabık kaldıkları teslimat tarihine ne kadar uyum sağlayacaklarını öngörememektedirler. Hammadde tedarik süreleri, müşteri teslimat tarihini doğrudan etkilemekte olup işletmelerin kendi kontrolü dışında gerçekleşen bir süreçtir. Hammadde tedarik sürelerinin öngörülmesi, müşteriye iletilecek teslimat tarihinin belirlenmesi konusunda önemli bir unsurdur.

Bu bilgiler birlikte ele alındığında savunma sanayi ürünlerinin ana hammaddesi olan elektronik malzemelerin tedarik sürelerinin, müşteri teslimat tarihini doğrudan etkilediği ve günümüz koşullarında önemli bir rekabet unsuru olduğu görülmektedir. Hammadde tedarik sürelerinin ön görülebileceği bir model, üretim yapan işletmelere önemli bir katkı sağlayacaktır.

2.2 PLANLAMA VE ÜRETİM SÜRECİ

Bir savunma sanayi firmasında üretilen ve bu tez çalışmasına konu olan ürün firmanın faaliyet gösterdiği alanda en çok ürettiği ürünlerden birisidir. Kullanım alanının genişliği ve farklı platformlarda kullanılabilirliği sebebiyle birçok proje kapsamında müşteriler tarafından talep edilmektedir.

Müşteri siparişinden teslimata kadar yürütülen işlemlerin toplam süresi ürünün teslim süresi olarak adlandırılmaktadır. Teslim süresi müşterinin sözleşmeyi imzalaması ile başlar ve ürünün müşteriye fiziksel olarak teslim edilmesi ile sonuçlanır. Bu süre dahilinde yapılan çalışmalar sırasıyla; müşteri ile temin süresi konusunda mutabık kalınarak siparişin, firmanın tüm süreçlerinin yürütüldüğü Kurumsal Kaynak Planlama Sistemine (KKPS) girilmesi, üretim ve tedarik planının yapılması, yurtiçi ve yurtdışı firmalardan gerekli hammadde ve yarı mamullerin tedarik edilmesi, firma bünyesinde ve

alt yüklenici firmalarda ihtiyaç duyulan yarı mamullerin üretilmesi/ürettirilmesi, nihai ürünün üretilmesi ve son olarak ürünün teslimatının yapılmasıdır.



Şekil 6. Savunma sanayinde faaliyet gösteren firmanın planlama ve üretim süreci

2.2.1 Müşteri Siparişinin KKPS'ye Girilmesi

Müşteri siparişinin KKPS'ye girilmesi öncesinde müşteri ile temin süresi hakkında mutabık kalınması gerekmektedir. Temin süresi planlama ve üretim sorumlularının tecrübesine dayalı olarak belirlenmektedir. Önerilen temin süresine müşteri tarafından onay verildikten sonra sipariş girişleri gerçekleştirilmektedir. KKPS'ye girilen sipariş içinde; ürün, talep miktarı ve talep tarihi bilgileri yer almaktadır. Tüm planlama faaliyetleri bu bilgilere göre yürütülmektedir.

2.2.2 Üretim ve Tedarik Planının Yapılması

Müşteri siparişinin KKPS'ye girilmesinin ardından ilk olarak müşterinin talep ettiği ürünün üretim planı, diğer bir ifade ile ana üretim planı yapılmaktadır. Sonrasında firma bünyesinde üretilecek yarı mamullerin ve alt yüklenici firmalarda üretilirilecek yarı mamullerin üretim planı yapılmaktadır. Son olarak yurtiçi ve yurtdışı firmalardan hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamullerin tedarik planı yapılmaktadır.

2.2.2.1 Ana Üretim Planının Yapılması

Müşterinin talep ettiği ürüne uygulanacak işlemler ve bu işlemlerin standart süreleri KKPS’de yer almaktadır. İşlem sürelerinden hareketle bir adet ürün için üretim süresi ve talep miktarına göre toplam üretim süresi hesaplanabilmektedir. Toplam üretim süresi hesaplandıktan sonra ürünün ürün ağacının bir alt seviyesinde yer alan hammadde ve yarı mamullere ihtiyaç duyulan en geç tarih, müşteri ile mutabık kalınan teslimat tarihinden geriye gelerek (müşteri teslimat tarihi – ürünün toplam üretim süresi) hesaplanmaktadır.

2.2.2.2 İşletme Bünyesinde Üretilen Yarı Mamullerin Üretim Planının Yapılması

Firma bünyesinde üretilen yarı mamullere ihtiyaç duyulan son tarih, müşterinin talep ettiği ürünün üretim planının yapılması sonrasında belirlenmektedir. Bu yarı mamullere uygulanacak işlemler ve bu işlemlerin standart süreleri KKPS’de yer almaktadır. İşlem sürelerinden hareketle bir adet ürün için üretim süresi ve talep miktarına göre toplam üretim süresi hesaplanabilmektedir. Yarı mamullerin toplam üretim süresi hesaplandıktan sonra ürün ağacında yarı mamullerin bir alt seviyesinde yer alan hammadde ve eğer varsa yarı mamullere ihtiyaç duyulan en geç tarih, müşteri ile mutabık kalınan teslimat tarihinden geriye gelerek (müşteri teslimat tarihi – müşterinin talep ettiği ürünün toplam üretim süresi – yarı mamulün üretim süresi) hesaplanmaktadır.

2.2.2.3 Altyüklenici Firmalarda Ürettirilen Yarı Mamullerin Üretim Planının Yapılması

Altyüklenici firmalarda ürettirilecek yarı mamullere ihtiyaç duyulan son tarih, müşterinin talep ettiği ürünün üretim planının yapılması sonrasında belirlenmektedir. Planlama sorumluları tarafından ihtiyaç tarihi ve ihtiyaç miktarına göre işçilik hizmeti için satın alım talebi oluşturulmaktadır. Bu yarı mamullerin üretimi için gerekli hammadde ve eğer varsa yarı mamuller firma tarafından tedarik edilerek altyüklenici firmaya gönderilmektedir. Altyüklenici firmalarda ürettirilen yarı mamuller onaylı tedarikçi firma havuzundan seçilmekte olup bir yarı mamul birden fazla firmada ürettirilebilmektedir. Bir yarı mamulün hangi firmada ürettirileceği satın alma yönergesine göre, firma çıkarlarına en uygun olacak şekilde belirlenmekte olup firmaya göre üretim süresinin değişmediği varsayılmaktadır. Bu yarı mamullerin altyüklenici firmalardaki üretim süresi

KKPS sisteminde sabit bir değer olarak bulunmaktadır. KKPS’de yer alan sabit üretim süresi planlama, üretim ve satın alma sorumlularının tecrübesine dayalı olarak belirlenmektedir. Bu üretim süresi bilgisi, ürettirilecek yarı mamulün ihtiyaç miktarına göre değişmemektedir.

KKPS’de yer alan sabit üretim süresi bilgisi ile ürün ağacında yarı mamulün bir alt seviyesinde yer alan hammadde ve eğer varsa yarı mamullere ihtiyaç duyulan en geç tarih, müşteri ile mutabık kalınan teslimat tarihinden geriye gelerek (müşteri teslimat tarihi – müşterinin talep ettiği ürünün toplam üretim süresi – altyüklenici firmada ürettirilecek yarı mamulün sabit üretim süresi) hesaplanmaktadır.

2.2.2.4 Satın Alınan Malzemelerin Üretim Planının Yapılması

Yurtiçi ve yurtdışı firmalardan hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamullere ihtiyaç duyulan son tarih, ürün ağacında bu hammadde ve yarı mamullerin üst seviyesinde bulunan yarı mamullerin ve müşterinin talep ettiği ürünün üretim planının yapılması sonrasında belirlenmektedir. Bu hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresi KKPS’de sabit bir değer olarak bulunmaktadır. KKPS’de yer alan sabit tedarik süresi planlama ve satın alma sorumlularının tecrübesine dayalı olarak belirlenmektedir. Bu tedarik süresi bilgisi satın alınacak hammadde ve yarı mamullerin miktarına göre değişmemektedir. Satın alınan hammadde ve yarı mamullerin bazıları tek bir firmadan bazıları ise birden fazla firmadan tedarik edilebilmektedir. Satın alınacak kalemlerin hangi firmadan tedarik edileceği satın alma yönergesine göre, firma çıkarlarına en uygun olacak şekilde belirlenmekte olup firmaya göre tedarik süresini değişmediği varsayılmaktadır.

2.2.3 Hammadde ve Yarı Mamullerin Tedarik Edilmesi

Yurtiçi ve yurtdışı firmalardan gerekli hammadde ve yarı mamullerin tedarik edilmesi için satın alım talepleri planlama sorumlularınca oluşturulmaktadır. Oluşturulan satın alım talepleri satın alma sorumluları tarafından incelenerek satın alım miktarı ve ihtiyaç tarihine göre tedarikçi firmalar ile görüşmeler başlatılmaktadır. Görüşmeler sonrasında satın alma yönergesine göre, firma çıkarlarına en uygun olacak şekilde belirlenen tedarikçi firmaya sipariş verilmektedir. Sipariş sonrası ihtiyaç duyulan hammadde veya

yarı mamulün istenen tarihte ve miktarda gelmesini sağlamak için gerekli takip işlemleri planlama ve satın alma sorumluları tarafından yapılmaktadır. Tedarikçi firmadan gönderilen ürünler firmaya ulaştıktan sonra ilk olarak kalite kontrolü yapılmaktadır. Kalite kontrol sonrasında uygun bulunan ürünler depoya gönderilmektedir. Uygun bulunmayan ürünler ise firmaya iade edilmektedir.

2.2.4 Yarı Mamullerin Üretilmesi/Ürettirilmesi

Firma bünyesinde ürettirilecek yarı mamullerin ürün ağacında yer alan alt malzemeleri planlama sorumluları tarafından kontrol edilmekte olup alt malzemelerin eksiksiz olduğu tespit edildikten sonra üretim iş emirlerinin açılmasına onay verilmektedir. Onay sonrası yarı mamulün alt malzemeleri kit halinde hazırlanarak ilgili üretim istasyonuna gönderilmektedir.

Alt yüklenici firmalarda ürettirilecek yarı mamullerin ürün ağacında yer alan alt malzemeleri planlama sorumluları tarafından kontrol edilmekte olup alt malzemelerin eksiksiz olduğu tespit edildikten sonra alt yüklenici firmaya üretim iş emirlerinin açılmasına onay verilmektedir. Onay sonrası yarı mamulün alt malzemeleri kit halinde hazırlanarak alt yüklenici firmaya teslim alınmaya hazır olduğu bilgisi verilmektedir. Alt yüklenici firmalardan aynı şehirde bulunanlar, firmaya gelip sayım yaparak alt malzemeleri teslim almaktadır. Şehir dışında bulunan firmalar ise bazen nakliyecilerle firma ile gönderilmesini talep ederken bazen kendi araçları ile alt malzemeleri teslim almaktadır.

Alt yüklenici firmada ürettirilen yarı mamuller üretimleri tamamlandıktan sonra firmaya gönderildikten sonra ilk olarak kalite kontrolü yapılmaktadır. Kalite kontrol sonrasında uygun bulunan ürünler depoya gönderilmektedir. Uygun bulunmayan ürünler ise firmaya iade edilmektedir.

2.2.5 Nihai Ürünün Üretilmesi ve Ürünlerin Teslim Edilmesi

Müşterinin talep ettiği ürünün ürün ağacında bulunan tüm hammaddeler tedarik edilip yarı mamuller üretildikten sonra nihai ürünün üretim işlemlerine başlanmaktadır. Müşteri teslim tarihi ile ürünün tüm alt malzemelerinin eksiksiz hale getirildiği tarih arasındaki fark, ürünün toplam üretim süresine eşit veya daha fazla ise müşteriye iletilen tarihte teslimat yapılması beklenmektedir. Eğer bu fark ürünün toplam üretim süresinden daha az ise müşteriye iletilen tarihte teslimat yapılmama ihtimali bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda fazla mesai, ek personel desteği ve vardiya sayısının artırılması kararları alınarak üretim kapasitesinin artırılması sağlanmaktadır. Bu kapasite artırımının yetersiz kalması durumunda müşteriye iletilen tarihte teslimat yapılamamaktadır.

Müşteri ile mutabık kalınan tarihte teslimat yapılamaması durumunda ceza süreci işleme alınmaktadır. Müşteriden müşteriye ceza oranı değişmekle birlikte sıklıkla uygulanan ceza yöntemi; ilk 30 gün cezasız süre, 30 gün sonrasında her gün başına teslimat tutarının on binde biri şeklindedir.

2.3 VERİ ANALİZİ

Bu bölümde çalışmaya konu olan ürün ve bu ürünün ürün ağacında (EK-1) yer alan hammadde ve yarı mamullere ait bilgiler aktarılacaktır.

2.3.1 Ürüne Ait Veri

Ürün firmada en çok üretilen ve müşteriler tarafından en çok talep edilen ürünlerden birisidir. Bu sebeple atölye tipi üretim yapan firmada, seri üretim yaklaşımıyla ele alınabilecek en uygun ürünlerin başında gelmektedir. Her ay düzenli bir üretim ve teslimat miktarına sahip olan ürün yurtiçi müşterilerin yanı sıra yurtdışı müşterilerce de sıklıkla talep edilmektedir.

2020 yılı ocak ayından itibaren ürünün aylık ortalama üretim miktarı 356 adettir. Bir ayda en fazla 698 adet, en az 117 adet üretilmiştir.



Şekil 7. Çalışmaya konu olan ürünün üretim miktarı (2020-2022)

Ürünün ürün ağacında toplam 813 çeşit hammadde ve yarı mamul bulunmaktadır. Bu alt malzemelerden 760 çeşidi yurtiçi ve yurtdışından satın alınan hammadde ve yarı mamuller, 13 çeşidi firma bünyesinde üretilen yarı mamuller, 40 çeşidi ise alt yüklenici firmalardan üretilen yarı mamullerdir.

Ürünün tüm alt malzemeleri hazır olduğunda 1 adet ürünü üretmek için gereken standart süre 122 dakikadır. Firma bünyesinde üretilen ve ürünün ürün ağacında yer alan yarı mamullerin toplam üretim süresi ise 360 dakikadır. Firma bünyesinde üretilen her bir yarı mamulün üretim süresi tablo 1’de belirtilmiştir. Ürünün kendisi ile firma bünyesinde üretimi yapılan yarı mamullerin toplam üretim süresi birlikte ele alındığında, 1 adet ürünün üretimi için firma bünyesinde toplam 482 dakika harcandığı görülmektedir.

Tablo 3. Firma bünyesinde üretilen yarı mamullerin standart üretim süresi

Yarı Mamul	Standart Üretim Süresi(dk)
M2	20,25
M23	38,40
M365	15,10
M39	4,95
M642	20,00
M643	20,00
M644	20,00
M645	20,00
M3	23,31
M59	10,80
M4	10,05
M17	92,86
M21	64,12
Toplam	359,83

2.3.2 Tedarikçi Firmalardan Tedarik Edilen Malzemelere Ait Veri

Bu bölümde tedarikçi firmalardan satın alma talebi oluşturularak satın alınan hammadde ve yarı mamuller ele alınacaktır. Tedarikçi firmaların söz verdikleri tarihte ve miktarda istenen hammadde veya yarı mamulü göndermesi, ürünün müşteriye teslim edileceği zamana direkt etki etmektedir. Firmada tedarikçi firmanın performansını ölçecek, istenen hammadde veya yarı mamulün hangi tarihte teslim edilebileceğini öngörecek dinamik bir sistem bulunmamaktadır. Bu hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresi KKPS sisteminde sabit bir değer olarak bulunmaktadır. Ürün ağacında yer alan 760 çeşit hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamul, 40 çeşit alt yüklenici firmada satın alım talebi ile ürettirilen yarı mamul olmak üzere toplam 800 çeşit malzemenin tedarikçi firmalardan istenen tarih ve miktarda tedarik edilmesi gerekmektedir.

2.3.2.1 Alt Yüklenici Firmalarda Ürettirilen Yarı Mamullere Ait Veri

Alt yüklenici firmalarda ürettirilecek yarı mamuller için planlama sorumluları tarafından ihtiyaç tarihi ve ihtiyaç miktarına göre işçilik hizmeti için satın alım talebi oluşturulmaktadır. Bu yarı mamuller için KKPS’de yer alan sabit üretim süresi planlama, üretim ve satın alma sorumlularının tecrübesine dayalı olarak belirlenmektedir. Bu üretim süresi bilgisi ürettirilecek yarı mamulün ihtiyaç miktarına göre değişmemektedir.

Bu çalışma kapsamında alt yüklenici firmalarda ürettirilen 40 çeşit yarı mamul için kayıtlarına erişilebilen 2758 adet sipariş incelenmiştir.

Alt yüklenici firmalardan temin edilen yarı mamuller için ortalama sipariş sayısı 67 adettir. Bir yarı mamul için en az sipariş sayısı 4, en fazla sipariş sayısı 395 adettir. 6 çeşit yarı mamulün sipariş sayısı 10 adet altında olup kalan 34 çeşit yarı mamulün sipariş sayısı 20 adedin üstündedir.

Tablo 4. Alt Yüklenici Firmalardan Tedarik Edilen Yarı Mamullerin Sipariş Sayıları

Yarı Mamul	Sipariş Sayısı	Yarı Mamul	Sipariş Sayısı
M86	4	M780	56
M841	5	M31	58
M840	5	M779	59
M839	6	M362	59
M79	6	M63	60
M34	7	M32	64
M472	21	M93	65
M471	25	M778	76
M40	25	M92	95
M24	25	M70	99
M876	38	M46	99
M777	42	M38	100
M877	43	M64	106
M210	43	M5	118
M843	44	M75	119
M45	45	M462	120
M94	45	M37	120
M15	46	M69	156
M80	47	M43	163
M370	49	M363	395

Yarı mamullerin sipariş sayılarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılığın nedenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Yarı mamullerin sipariş sayısının genele oranla az olmasının 2 nedeni bulunmaktadır: Yarı mamulün ürün ağacına sonradan eklenmiş olması veya daha önce firma bünyesinde üretiliyorken alt yüklenici firmada ürettirilmesi kararlaştırılmış olması.
- Yarı mamullerin sipariş sayısının genele oranla çok fazla olmasının nedeni; bu yarı mamulün birden fazla üründe kullanılıyor olmasıdır.
- Alt yüklenicide üretim süresinin uzun olacağı öngörülen yarı mamullere olan toplam ihtiyaç birden fazla alt yükleniciye dağıtılmaktadır. Bu durumda her bir alt yüklenici firma için ayrı bir sipariş açılmaktadır.

2758 sipariştten 930 adedi (%34) alt yüklenici firmalardan istenen tarihe uygun olarak tedarik edilememiştir. Tüm siparişlere bakıldığında 35 çeşit yarı mamule ait siparişlerde gecikme olduğu görülmektedir. 5 çeşit yarı mamulde ise tüm siparişler istenen tarihi uygun olarak tedarik edilmiştir.

Tablo 5.Alt Yüklenici Firmalarda Ürettirilen Yarı Mamullerin Gecikme Süreleri

Yarı Mamul	Toplam Gecikme (gün)	Ortalama Gecikme (gün)	Yarı Mamul	Toplam Gecikme (gün)	Ortalama Gecikme (gün)
M38	6964	69,6	M370	240	4,9
M362	2941	49,8	M779	272	4,6
M45	2234	49,6	M780	255	4,6
M37	3770	31,4	M462	541	4,5
M70	3022	30,5	M46	407	4,1
M75	3239	27,2	M876	148	3,9
M69	3540	22,7	M471	85	3,4
M94	1014	22,5	M63	178	3,0
M64	2209	20,8	M877	122	2,8
M777	833	19,8	M840	11	2,2
M363	7606	19,3	M841	10	2,0
M93	1077	16,6	M32	75	1,2
M210	700	16,3	M40	29	1,2
M843	525	11,9	M24	26	1,0
M472	237	11,3	M80	20	0,4
M778	801	10,5	M31	0	0,0
M15	459	10,0	M34	0	0,0
M5	1087	9,2	M79	0	0,0
M43	1421	8,7	M839	0	0,0
M92	803	8,5	M86	0	0,0

2.3.2.2 Hazır Olarak Satın Alınan Hammadde ve Yarı Mamullere Ait Veri

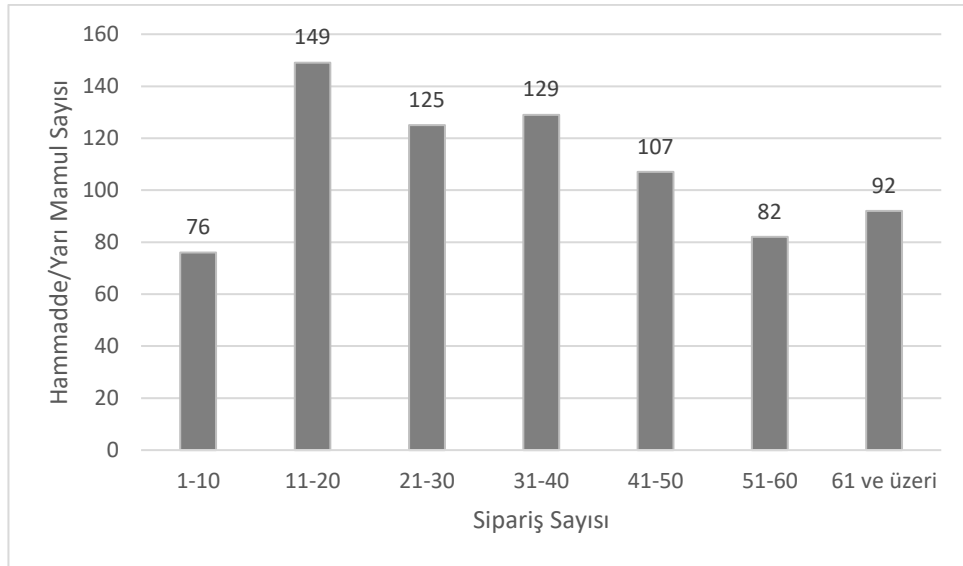
Yurtiçi ve yurtdışı tedarikçi firmalardan satın alınacak hammadde ve yarı mamuller için planlama sorumluları tarafından ihtiyaç tarihi ve ihtiyaç miktarına göre satın alım talebi oluşturulmaktadır. Bu hammadde ve yarı mamuller için KKPS’de yer alan sabit üretim süresi planlama, üretim ve satın alma sorumlularının tecrübesine dayalı olarak belirlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında yurtiçi ve yurtdışı tedarikçi firmalardan satın alınan 760 çeşit hammadde ve yarı mamul için kayıtlarına erişilebilen 27252 adet sipariş incelenmiştir. Bu hammadde ve yarı mamuller için ortalama sipariş sayısı 36 adettir. En az sipariş sayısı 4, en fazla sipariş sayısı 159 adettir.

27252 sipariştten 8857 adedi (%33) tedarikçi firmalardan istenen tarihe uygun olarak tedarik edilememiştir. Tüm siparişlere bakıldığında 16 çeşit hammadde ve yarı mamule ait siparişlerde gecikme olmadığı görülmektedir. 744 çeşit hammadde ve yarı mamule ait siparişler istenen tarihine uygun olarak tedarik edilememiştir.

Hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamullerin sipariş sayılarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılığın nedenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Sipariş sayısının genele oranla az olmasının 2 nedeni bulunmaktadır. Birinci neden, hammadde veya yarı mamulün ürün ağacına sonradan eklenmiş olmasıdır. İkinci neden, hammadde veya yarı mamulün tedarikçi firma tarafından belirlenmiş minimum sipariş miktarı kadar tedarik edilmesi sonucu ihtiyaç miktarından fazla temin edilmesidir. Bu fazla miktarın sonradan gelen siparişler için yeterli stok oluşturması durumunda ek sipariş geçilmesine gerek kalmamaktadır.
- Sipariş sayısının genele oranla çok fazla olmasının nedeni; bu hammadde ve yarı mamullerin birden fazla üründe kullanılıyor olmasıdır.



Şekil 8. Hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamullerin sipariş sayısına göre sınıflandırılması

760 çeşit hammadde ve yarı mamul, ürün ağacında yer aldığı seviyeye göre sınıflandırılmıştır. Müşteriye teslim edilecek ürünün ürün ağacının en alt seviyesinde bulunana hammadde ve yarı mamuller 5.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamuller olarak adlandırılmıştır. Ürün ağacında müşteriye teslim edilecek ürünün bir alt seviyesinde bulunan hammadde ve yarı mamuller ise 1.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamuller olarak adlandırılmıştır.

Tablo 6.Hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamullerin ürün ağacında yer aldığı seviye ve sipariş sayıları

Seviye	Hammadde ve Yarı Mamul Sayısı	Toplam Sipariş Sayısı	Geciken Sipariş Sayısı	Geciken Sipariş Yüzdesi
1.seviye	3	85	24	%28
2.seviye	187	5765	1650	%29
3.seviye	372	12459	3844	%31
4.seviye	188	8488	3138	%37
5.seviye	10	455	201	%44

1.seviyede tedarik edilen 3 çeşit hammadde ve yarı mamul bulunmaktadır. Bu 3 çeşit hammadde ve yarı mamule ait toplam 85 siparişe incelenmiştir. 85 adet siparişin 24 adedi (%28) tedarikçi firmalardan istenen tarihe uygun olarak tedarik edilememiştir. 1.seviyede tedarik edilen her üç malzemeye ait siparişlerde gecikme olduğu görülmektedir.

Tablo 7.1.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamullere ait sipariş bilgileri

Hammadde ve Yarı Mamul	Toplam Sipariş Sayısı	Geciken Sipariş Sayısı	Toplam Gecikme (gün)	Ortalama Gecikme (gün)
M11	22	5	147	7
M16	33	8	260	8
M8	30	11	208	7

Ürün ağacının 2.seviyesinde hazır olarak tedarikçi firmalardan satın alınan 187 çeşit hammadde ve yarı mamul bulunmaktadır. Bu 187 çeşit hammadde ve yarı mamule ait toplam 5765 siparişe incelenmiştir. 5765 adet siparişin 1650 adedi (%29) tedarikçi firmalardan istenen tarihe uygun olarak tedarik edilememiştir. Bu seviyede tedarik edilen 7 çeşit hammadde ve yarı mamulde gecikme olmadığı görülmemiştir. 180 çeşit hammadde ve yarı mamule ait siparişlerde gecikme olduğu görülmüştür. Bu seviyede görülen en yüksek gecikme süresi 331 gündür.

Ürün ağacının 3.seviyesinde hazır olarak tedarikçi firmalardan satın alınan 372 çeşit hammadde ve yarı mamul bulunmaktadır. Bu 372 çeşit hammadde ve yarı mamule ait toplam 12459 siparişe incelenmiştir. 12459 adet siparişin 3844 adedi (%31) tedarikçi firmalardan istenen tarihe uygun olarak tedarik edilememiştir. Bu seviyede tedarik edilen 9 çeşit hammadde ve yarı mamulde gecikme olmadığı görülmemiştir. 363 çeşit

hammadde ve yarı mamule ait siparişlerde gecikme olduğu görülmüştür. Bu seviyede görülen en yüksek gecikme süresi 280 gündür.

Ürün ağacının 4.seviyesinde hazır olarak tedarikçi firmalardan satın alınan 188 çeşit hammadde ve yarı mamul bulunmaktadır. Bu 188 çeşit hammadde ve yarı mamule ait toplam 8488 siparişe incelenmiştir. 8488 adet siparişin 3138 adedi (%37) tedarikçi firmalardan istenen tarihe uygun olarak tedarik edilememiştir. Bu seviyede tedarik edilen tüm hammadde ve yarı mamule ait siparişlerde gecikme olduğu görülmüştür. Bu seviyede görülen en yüksek gecikme süresi 360 gündür.

Ürün ağacının 5.seviyesinde hazır olarak tedarikçi firmalardan satın alınan 10 çeşit hammadde ve yarı mamul bulunmaktadır. Bu 10 çeşit hammadde ve yarı mamule ait toplam 455 siparişe incelenmiştir. 455 adet siparişin 201 adedi (%44) tedarikçi firmalardan istenen tarihe uygun olarak tedarik edilememiştir. Bu seviyede tedarik edilen tüm hammadde ve yarı mamule ait siparişlerde gecikme olduğu görülmüştür. Bu seviyede görülen en yüksek gecikme süresi 108 gündür.

3. BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN TEDARİK SÜRESİ TAHMİN MODELİ

Bu bölümde bu çalışma kapsamında ele alınan ürünün ürün ağacında yer alan, tedarikçi firmalardan hazır olarak satın alınan hammadde ve yarı mamuller ile alt yüklenici firmalardan ürettirilen yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak geliştirilen tahmin modeli tanıtılacaktır. Geliştirilen bu model örnek senaryolar üzerinden çalıştırılarak ürünün müşteriye teslim edileceği tarih tahmin edilmiştir. Öngörü sonrasında ürünün müşteriye zamanında teslim edilip edilemeyeceği, zamanında teslim edilemeyecekse ne kadar gecikeceği ve gecikmeden dolayı müşteriye ne kadar ceza ödeneceği bilgilerine ulaşılmaktadır.

3.1 NEDEN YAPAY SİNİR AĞLARI?

Yapay sinir ağları canlıların beyninin çalışma yapısını taklit eden, beynin öğrenme, hatırlama ve çıkarım yapma yeteneklerinden esinlenerek oluşturulmuş bir bilgi işlem teknolojisidir.

Yapay sinir ağları aşağıda belirtilen avantajları sebebiyle bu çalışmada kullanılmıştır:

- Matematiksel bir modele ihtiyaç duymadan, az sayıda gözlemle bile çözümlene yapılabilir.
- Öğrenme yeteneği sayesinde daha önce karşılaşılmamış durumlar için çözüm üretebilmektedir.
- Geleneksel yöntemlerle ulaşılamayan, bilinmeyen karmaşık ilişkileri veriden hareketle öğrenebilmektedir.
- Verinin doğrusal yapıda olup olmadığına bakmadan çözümlene yapılabilir.
- Geleneksel yöntemlere kıyasla doğrusal olmayan veri ile daha kolay bir şekilde çalışır.
- Geleneksel tahmin yöntemlerine göre genel olarak daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında tedarik süresi tahmin edilecek 800 çeşit hammadde ve yarı mamulün toplam 76 çeşidinin sipariş sayısı 10 ve altındadır. 14 çeşit hammadde ve yarı mamulün sipariş sayısı ise 5 ve altındadır. Bu hammadde ve yarı mamuller için YSA kullanılarak az sayıda gözlem olmasına rağmen çözümleme yapılabilecektir.

Ürünün müşteri tarafından ne zaman ve kaç adet talep edileceği büyük değişkenlik göstermektedir. Örnek olarak; müşteri 360 gün sonraya da 600 gün sonraya da ürün talep edebilmektedir. Aynı şekilde 50 adet ürün de 750 adet ürün de talep edilebilmektedir. Yeni gelecek müşteri taleplerinin daha önce gelen taleplerden farklı olması durumunda, YSA öğrenme yeteneği sayesinde çözüm üretebilecek yapıdadır.

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla beraber elektronik malzemelere olan talep giderek artmaktadır. Elektrikli araçlar, elektrikli ev aletleri, bilgisayar bileşenleri vb. ürünlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu ürünlerde kullanılan ve tedarikçi firmalardan satın alınan elektronik malzemelerin (direnç, kondansatör, çip, konektör vb.) bazıları tüm ürünlerde ortak olarak kullanılmaktadır. Bazılarının ise hammaddesi aynıdır. Bundan dolayı artan pazar talebini karşılamakta zorlanan elektronik malzeme üreticileri müşterileri arasında öncelik sırası belirleyerek taleplere karşılık vermektedirler. Aynı şekilde elektronik malzeme üreticilerine hammadde sağlayan firmalar da müşterileri arasında öncelik sırası belirleyerek talepleri işleme almaktadır. Elektronik malzeme üreticileri ve hammadde sağlayan firmalar dünya üzerinde sınırlı sayıda bulunduğu için elektronik malzeme ve hammaddelerin alternatif kaynaklardan tedarik edilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Bu çalışmaya konu olan ürünün ürün ağacında yer alan hammadde ve yarı mamullerin büyük bir kısmını yurtdışından temin edilen elektronik malzemeler oluşturmaktadır. Elektronik hammadde ve yarı mamuller için elektronik malzeme üreticilerine talep iletildiğinde; firmanın üreticide hangi öncelik sırasında olduğu, üretici firmanın kapasite doluluk oranı, üretici firmanın hammaddeye ihtiyacı olup olmadığı, hammadde gerekli ise hammadde sağlayan firmanın elektronik malzeme üreticisini hangi öncelikle işleme aldığı bilinememektedir. Bilinemeyen bu karmaşık ilişkilerin çözümü konusunda YSA veriden öğrenme yeteneği sebebiyle tercih edilmiştir.

3.2 YAPAY SINIR AĞI MODELİNİN YAPISI

Bu çalışmada 1 girdi tabakası, 1 gizli tabaka ve 1 çıktı tabakası olmak üzere 3 tabakadan oluşan ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılmıştır. Alt yüklenicide ürettirilen yarı mamullerin üretim süresini tahmin etmek için 1 YSA modeli, yurtiçi ve yurtdışı tedarikçi firmalardan satın alınan hammadde ve yarı mamuller için ürün ağacında bulunduğu seviyeye göre yapılan sınıflandırmaya göre 5 YSA modeli olmak üzere 6 ileri beslemeli YSA modeli kurulmuştur. Yapay sinir ağlarının temel bileşenleri olan mimari yapı, öğrenme algoritması ve aktivasyon fonksiyonu parametreleri değiştirilerek deneme yanılma yöntemi ile en iyi performansa sahip modellere ulaşılmıştır. Modeller Matlab R2022a bilgisayar programı ile kurulmuştur.

3.2.1 Girdiler ve Çıktılar

Ürün ağacında yer alan, alt yükleniciden ürettirilen yarı mamullerin alt seviyesinde bulunan ve tedarikçi firmalardan satın alınan hammadde ve yarı mamullere ne zaman ihtiyaç duyulacağı bilgisine ulaşmak için öncelikli olarak alt yüklenicide ürettirilen bu yarı mamullerin üretim süresinin tahmin edilmesi gerekmektedir.

Altyükleniciden ürettirilen yarı mamullerin üretim süresini tahmin etmek için kullanılan YSA modeli girdi tabakasında temelde 2 girdi bulunmaktadır; yarı mamul ve talep miktarı. YSA sayısal veriyle çalışan bir yapıya sahiptir. Kategorik verinin YSA modelinde kullanımı için verilerin nümerik hale dönüştürülmesi gerekmektedir. *One Hot Encoding*, kategorik değişkenleri kodlamak için tercih edilen en popüler tekniktir. Bu teknikte, farklı kategorilerin her biri için sütun oluşturulur ve verilerde kategorinin varlığını belirtmek için 1 veya 0 atanır (Sahu ve Mukherjee, 2020). Tablo 8’de *One Hot Encoding* tekniği ile nümerik hale dönüştürülmüş örnek bir veri belirtilmiştir.

Tablo 8. *One Hot Encoding* tekniği ile nümerik hale dönüştürülmüş örnek bir veri

Araç	Fiyat	Otobüs	Uçak	Tren	Fiyat
Otobüs	95	1	0	0	95
Uçak	230	0	1	0	230
Tren	50	0	0	1	50

a) orijinal veri

b) *One Hot Encoding* yöntemi ile dönüştürülmüş veri

Alt yüklenicide ürettirilen 40 çeşit yarı mamul kategorik veri tipindedir; malzeme1, malzeme2, malzeme3...Yarı mamul bilgisinin YSA modelinde girdi olarak kullanılması amacıyla *One Hot Encoding* yaklaşımı kullanılmıştır. Dolayısıyla alt yüklenicide ürettirilen yarı mamuller için kullanılan YSA modeli girdi tabakasında 1 adedi talep miktarını, 40 adedi ilgili yarı mamulü temsil eden 41 nöron bulunmaktadır. Çıktı tabakasında ise tek nöron, tahmin edilen üretim süresi bulunmaktadır. Bu YSA modeli ile alt yüklenici firmada ürettirilen 40 çeşit yarı mamulün ihtiyaç duyulan toplam miktarının ne kadar sürede üretilebileceği tahmin edilmiştir.

Yurtiçi ve yurtdışı tedarikçi firmalardan satın alınan hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek için kullanılan YSA modelleri girdi tabakasında temelde 3 girdi bulunmaktadır; hammadde/yarı mamul, talep miktarı ve hammadde/yarı mamulün ne zamana istendiği bilgisi. *Dummy Encoding* yaklaşımı ile kategorik veri tipindeki hammadde/yarı mamul bilgisi sayısal veriye dönüştürülmüştür. 1.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamuller için oluşturulan YSA modeli girdi tabakasında 5 nöron, 2.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamuller için oluşturulan YSA modeli girdi tabakasında 189 nöron, 3.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamuller için oluşturulan YSA modeli girdi tabakasında 387 nöron, 4.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamuller için oluşturulan YSA modeli girdi tabakasında 190 nöron ve 5.seviyede tedarik edilen hammadde ve yarı mamuller için oluşturulan YSA modeli girdi tabakasında 12 nöron bulunmaktadır. Çıktı tabakasında ise tek nöron, tahmin edilen tedarik süresi bulunmaktadır. Bu YSA modelleri ile yurtiçi ve yurtdışı tedarikçi firmalardan satın alınan 760 çeşit hammadde ve yarı mamulün, müşterinin talep miktarına göre ihtiyaç duyulan toplam miktarının ne zaman tedarik edileceği tahmin edilmiştir.

3.2.2 Mimari Yapı

Mimari yapı yapay sinir ağının karmaşıklığını belirlemektedir. Ağda kullanılan tabaka sayısı ve nöron sayısı ağın mimarisini oluşturmaktadır. YSA’da kullanılan tabaka sayısı ve nöron sayısı arttıkça ağ daha karmaşık bir yapıya bürünmektedir. Nöron ve tabaka sayısının artması YSA’nın öğrenme yeteneğini artırırken işlem süresini de uzatmaktadır. Gereğinden fazla kullanılması durumunda YSA öğrenme durumundan ezberleme

durumuna geçmekte ve genelleme yapma yeteneği düşmektedir. Tabaka sayısı ve nöron sayısının gereğinden az olması YSA'nın yeteri kadar öğrenememesine yol açmaktadır.

Tüm modellerde 1 girdi tabakası, 1 gizli tabaka ve 1 çıktı tabakası olmak üzere 3 tabakadan oluşan ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayısı en iyi modeli bulmak amacıyla 1'den 10'a kadar değiştirilerek model performansları ölçülmüştür.

3.2.3 Öğrenme Algoritması

Yapay sinir ağları ile tahminleme yapmak için ilk olarak ağın eğitilmesi gerekmektedir. YSA'da eğitim işlemi diğer bir ifade ile öğrenme işlemi, ağırlıkların en iyi değerinin bulunması işlemidir. Bu çalışmada kurulan YSA modelleri rastgele başlangıç ağırlıkları ile çalışmaya başlamaktadır.

Geri yayılım öğrenme algoritması en çok tercih edilen öğrenme algoritmalarındandır. Geri yayılım algoritması ileri beslemeli yapay sinir ağında; ağın çıkış değeri ile hedef değer arasındaki farkı kabul edilebilir bir düzeyde tutacak ağırlıkların belirlenmesini sağlayarak öğrenme işlemini gerçekleştirmektedir.

En iyi YSA modelini bulmak amacıyla geri yayılım algoritmasının 3 farklı versiyonu kullanılarak model performansları ölçülmüştür. Kullanılan geri yayılım algoritmaları; Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım algoritması, Scaled Conjugate Gradient (SCG) geri yayılım algoritması ve Powell-Beale Conjugate Gradient (PB) geri yayılım algoritmasıdır.

Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım algoritması tahmin modellerinde en sık kullanılan geri yayılım algoritmalarından birisidir. Hızlı bir şekilde çözümlene yapması ve kabul edilebilir bir hata ile sonuca ulaşması sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir. YSA'da bulunan, öğrenme işlemi sırasında en iyi değerleri bulunacak ağırlıkların sayısı çok fazla olmadığı sürece Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım algoritmasının en iyi sonucu vermesi beklenmektedir. Hesaplanacak ağırlık sayısı arttıkça algoritmanın etkinliği azalmaktadır.

Scaled Conjugate Gradient (SCG) geri yayılım algoritması hesaplanacak ağırlık sayısının fazla olduğu, karmaşık ağlarda kullanılmaktadır. Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım algoritmasının ağırlık sayısının fazla olduğu modellerde yaşadığı dezavantaj nedeniyle Scaled Conjugate Gradient (SCG) geri yayılım algoritması tercih edilmiştir. Bu algoritmanın hemen hemen Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım algoritması kadar hızlı çözümlene yapması bir diğer tercih sebebidir.

Powell-Beale Conjugate Gradient (PB) geri yayılım algoritması ağırlık sayısının fazla olduğu modellerde Scaled Conjugate Gradient (SCG) geri yayılım algoritmasına benzer bir performans göstermektedir. Diğer iki geri yayılım algoritmasına göre daha yavaş çözümlene yapmaktadır.

3.2.4 Aktivasyon Fonksiyonu

YSA'da kullanılan aktivasyon fonksiyonu problemin yapısına uygun olacak şekilde seçilmelidir. Normalize edilen veri ile seçilen aktivasyon fonksiyonun yapısı birbiri ile uyumlu olmak zorundadır. Normalize edilen veriye özgü aktivasyon fonksiyonu seçimi, ağırlık çıkış değerinin hatalı olmasını engelleyecektir.

Matlab R2022a bilgisayar programında kurulan YSA modellerinde girdi ve çıktılar $[-1,1]$ aralığında normalize edilmiştir. YSA gizli tabakasında normalize edilen veriye uygun şekilde $[-1,1]$ aralığında değer alan hiperbolik tanjant fonksiyonu aktivasyon fonksiyonu olarak seçilmiştir.

Ağırlık çıkış değerlerinin denormalize edilerek anlamlı hale getirilmesi amacıyla çıktı tabakasında lineer transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

3.2.5 Eğitim, Geçerlilik ve Test Kümesi

Malzeme tedarik sürelerini öngörmek amacıyla kurulan 6 YSA modelinde verilerin %90'ı eğitim, %5'i test ve %5'i geçerlilik kümesini oluşturacak şekilde seçilmiştir. Veri eğitim, test ve doğrulama kümelerine her model çalıştırılmasında rastgele dağıtılmıştır.

Veri setlerinde birden fazla hammadde ve yarı mamule ait bilgiler yer almaktadır. Bundan dolayı eğitim kümesi oranı yüksek seçilerek YSA'nın tüm hammadde ve yarı mamuller için öğrenmeyi en yüksek seviyede gerçekleştirmesi amaçlanmıştır.

3.2.6 Performans Ölçütü

YSA modellerinde performans ölçütü olarak hata kareler ortalaması (MSE) kullanılmıştır. Matlab R2022a bilgisayar programında hata kareler ortalaması normalize edilmiş girdi ve çıktılar üzerinden hesaplanmıştır.

Tablo 9.YSA model yapısı

YSA Bileşeni	Seçimler
Girdiler	Hammadde ve yarı mamuller Talep miktarı Hammadde/yarı mamul kaç gün sonraya isteniyor?
Mimari Yapı	İleri beslemeli YSA n nörona sahip 1 gizli tabaka n=1,2,...,10
Öğrenme Algoritması	Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım algoritması Scaled Conjugate Gradient (SCG) geri yayılım algoritması Powell-Beale Conjugate Gradient (PB) geri yayılım algoritması
Aktivasyon Fonksiyonu	Hiperbolik tanjant fonksiyonu
Eğitim, Test ve Geçerlilik Kümesi Dağılımı	Eğitim:%90 Test:%5 Geçerlilik: %5
Performans Ölçütü	MSE
Çıktı	Tedarik Süresi

3.3 EN İYİ YSA MODELLERİNİN BULUNMASI

Veri setleri özelinde en iyi YSA modelini bulmak amacıyla seçilen YSA bileşenleri ile oluşturulabilecek tüm modellerin performansı ölçülmüştür. Gizli tabakadaki nöron sayısı ve öğrenme algoritması bileşenlerinin değiştirilmesi ile her veri seti için 30 farklı model oluşturulmuştur. Her bir model 10 defa çalıştırılıp bu 10 çalıştırmada elde edilen en iyi MSE değeri modelin performans göstergesi olarak alınmıştır. Bir veri seti için en iyi modeli bulmak amacıyla 30 farklı model toplamda 300 defa çalıştırılmıştır.

Alt yüklenicide ürettirilen yarı mamullerin üretim süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları tablo 10'da, ürün ağacının 1.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla

kurulan YSA modelleri ve performansları tablo 11’de, ürün ağacının 2.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları tablo 12’de, ürün ağacının 3.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları tablo 13’de, ürün ağacının 4.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları tablo 14’de, ürün ağacının 5.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları tablo 15’de belirtilmiştir. Matlab R2022a bilgisayar programı ile yapılan denemeler için yazılan kod EK-2’te belirtilmiştir.

Tablo 10.Alt yüklenicide ürettirilen yarı mamullerin üretim süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları

Gizli Tabaka Nöron Sayısı	Öğrenme Algoritması	Gizli Tabaka Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Tabakası Aktivasyon Fonksiyonu	MSE 1	MSE 2	MSE 3	MSE 4	MSE 5	MSE 6	MSE 7	MSE 8	MSE 9	MSE 10	En İyi MSE
1	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4282,4	4687,6	5328,3	4586,1	4233,2	4289,4	4236,9	4791,1	4365,6	4236,8	4233,2
2	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4784,5	4314,8	4391,5	4122,7	4258,8	4138,1	4231,1	4380,4	5059,2	4480,2	4122,7
3	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3931,3	4030,6	3843,2	4293,1	3937,7	3743,1	4068,9	3995,3	4436,5	4074,9	3743,1
4	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4274,1	3843,3	3989,6	4129,4	3998,7	4040	4723,3	4009,6	4408,5	5168,8	3843,3
5	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4078,6	4004,4	4291,5	4025,9	4051,9	3988,8	3982,1	3886,8	3968,9	3903,7	3886,8
6	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4047,4	4013,4	4151	4099,4	3713,3	3991,8	3934,6	3689,8	4118,7	3896,4	3689,8
7	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4262,4	4008	4043,8	3772,2	4134,6	4355,2	4199,5	4246,5	3965,1	4423,6	3772,2
8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3973,8	3653,2	3808,5	3950,2	3726,2	3970,6	4538	3612,9	3698,4	4124,1	3612,9
9	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3980,3	4050,2	3990,6	3800,6	3985,3	3733,5	4010,7	3971,5	4010,1	4152,7	3733,5
10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4230,9	4205,9	3994,7	4036	4017,6	3644,5	3931,8	4235,2	4189,5	4046,1	3644,5
1	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4731,4	5101	4710,3	4960,2	5806,3	4500	5499	4520,5	4596,5	4507,5	4500
2	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5263,9	5572,7	5863,1	4829	4586,2	4679	4641,7	4613,1	4536,5	4759,4	4536,5
3	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4460,9	4389,4	5915,5	4971,3	4720,2	4702,9	4466,7	5703,2	4466,6	4538,9	4389,4
4	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4484,3	4564,6	4538,2	4508,7	4290,6	5020,9	4716,5	5785,6	4570,1	4959,6	4290,6
5	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4690,4	5822,2	4654,2	4529,6	4461,8	4932,5	4402,2	4336,2	4540,9	5464,8	4336,2
6	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5777,1	4483,2	4653,8	4379,1	4360	4824,6	5561	4562,1	4483,3	4748,1	4360
7	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5079,8	5564,6	4626,6	4539,3	4617,1	4700,6	4455,2	4327,9	4803,9	4471,8	4327,9
8	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4441,2	4284,6	5415,6	5558,1	4376	4668,6	4399,3	4375,8	5602,8	5108,1	4284,6
9	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4411,2	4903,6	5844,2	4404,7	4644,3	4342,7	4523,5	5795,8	4636,2	4571,4	4342,7
10	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4914,8	4590,2	4394,5	4500,2	4411,7	4589,7	5373,8	5500	4589,6	5438	4394,5
1	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5694,8	4521	4407,8	5865,6	4710,5	6017	5264,4	4493,3	4641,4	5875,7	4407,8
2	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5888,2	4643,9	5927,8	5699,6	4471,4	4851	4769,6	5498,5	4344,8	5238,8	4344,8
3	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4417,2	4467,5	4692,7	5637,1	5042	4489,2	4693,9	4473,8	4514,1	4357,2	4357,2
4	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5724,7	4488,3	5782,9	4708,6	4579,2	4657,3	4573,4	5286,2	5505,5	4512,1	4488,3
5	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5485,2	5581,1	4710,2	4384,3	4461,5	4422,6	4818,8	4727,5	5252,4	4475	4384,3
6	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4471,2	4978,6	4482,1	4401,5	4542,7	4463,2	5787,9	4603,4	4532,7	4538,1	4401,5
7	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5752,5	5479,9	4728,4	4353	4431,7	4466,2	4451,9	4343,3	4980,5	5813,3	4343,3
8	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4794,8	4399,3	4629,6	4380	4823,3	5721,7	4459,8	5445,8	4398,5	4347,5	4347,5
9	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5054,1	4443,4	4342,7	4508,2	4432	5385,1	5109,2	5174,7	4830,5	4620,8	4342,7
10	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4570,3	4724,4	4327,1	4365,6	4807,2	4429,1	4632,4	4861,4	4706,7	4423,9	4327,1

LM:Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması , PB: Powell-Beale Conjugate Gradient geri yayılım algoritması, SCD: Scaled Conjugate Gradient geri yayılım algoritması

Tablo 11. Ürün ağacının 1.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları

Gizli Tabaka Nöron Sayısı	Öğrenme Algoritması	Gizli Tabaka Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Tabakası Aktivasyon Fonksiyonu	MSE 1	MSE 2	MSE 3	MSE 4	MSE 5	MSE 6	MSE 7	MSE 8	MSE 9	MSE 10	En İyi MSE
1	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	16783	2006,4	1664,7	8814,9	1666,9	8925,9	1672,6	4214,1	1900,6	4202,9	1664,7
2	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1654,3	1641,5	2014	8080,7	1975,3	7787	1794,8	1487,1	1912,2	1470,8	1470,8
3	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1375,2	1894,3	6738,5	1573,8	1579,5	1482,5	1476,7	4056,4	1309,9	1101,8	1101,8
4	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3105,2	1752,5	1782,1	1380,5	3745,3	1557,2	1417,9	3062,3	2630,2	1876,9	1380,5
5	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1535	1560,4	1590,5	5131,8	2854,7	87729	1462,5	1462,2	1509,3	1557,2	1462,2
6	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1036	1796,2	1649,7	4098,9	1438,9	14652	1417,9	1547,7	4327,9	1610,4	1036
7	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1500,2	1500,6	4836,7	6361,8	1438,1	1181,8	1253,1	1451,9	2832,1	1469,5	1181,8
8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3169,8	1621,3	3879,6	952,89	1618,1	1235,3	1351	1211,6	1109,7	2827,9	952,89
9	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1779,4	1510,1	1213,6	2396,1	1174,7	1439,5	2031,6	7774	1624,3	1752,5	1174,7
10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3235	1585,5	1424,8	2716	1232,6	1514,5	1352,5	947,39	1594,7	1214,1	947,39
1	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6677,6	2176,8	3270	8897,7	6563,7	7862,8	4086,9	4275,7	7169,3	1983,8	1983,8
2	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5442,8	4519,5	3818,3	6527,1	1669,8	4423,3	1856	7252,7	2680,3	2580,5	1669,8
3	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5596,4	2784,5	2557,2	1854	5001	10801	15127	2676,2	3059	1940,1	1854
4	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2066,9	9725,5	6122,7	1824,9	1534,9	3805,2	7987,4	1714,9	5938,2	2293,6	1534,9
5	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4615,7	1813,1	2922,2	4072,7	2240,3	1573,4	1818,8	2224,5	1581,2	3793,5	1573,4
6	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5081,1	2506,8	2409,1	2027,3	1517	2141,6	2213	1513,2	2568,3	2976,8	1513,2
7	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1517,1	1748,1	2899,5	1752,3	1792,8	1845,3	1600	2891,4	1543,2	1628,8	1517,1
8	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2152,1	1659,1	1633,7	2085,7	9708,8	2014,7	2230,3	1504,9	4466,5	8843,9	1504,9
9	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1968,2	1495,5	2250,4	3143,9	1827,2	2965,8	2401,4	1474	1623,4	1642,7	1474
10	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3049,5	1515,3	1854	1749,8	7876,8	4470,7	2549,3	1911,6	1551,1	1961,3	1515,3
1	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5307,2	1740,4	6280,2	1720,6	10956	11082	6154,9	9513,2	1809	3679,7	1720,6
2	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4238,9	5649,6	4644,9	5245,3	4640,1	3444,7	5089	2337,8	5393,5	4853,4	2337,8
3	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6724,7	5477,7	2312,2	3900,1	3671,5	5235,7	2099,1	3739,6	14344	8725,1	2099,1
4	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	79811	5308,8	1674,2	1947,2	1874,4	3136,2	8877,9	5470,2	3543,4	6853,8	1674,2
5	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6096,1	1627,2	2382,9	1635,8	3847,7	1878,8	4848,8	2820,2	3700,9	1974,9	1627,2
6	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	8010,4	3301,5	7188,5	4424,1	3182,7	1928,6	6208,7	2125	4166,9	4079,6	1928,6
7	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2913,7	2330	1895	2370,5	1485,9	4293,3	2028,3	9643,9	2703	2159,2	1485,9
8	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2461,4	6444,5	4424,6	2517,1	1810,9	1740	2651,4	1776,6	1527,7	2156,5	1527,7
9	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1653,4	2404,5	1542,1	2706,7	1737,3	5596,2	4019,3	3002,6	3079,4	1934,5	1542,1
10	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5895,1	1456,4	2141,4	2467,7	1771,8	1765,3	3537,9	5932,1	3017,1	6899	1456,4

LM:Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması , PB: Powell-Beale Conjugate Gradient geri yayılım algoritması, SCD: Scaled Conjugate Gradient geri yayılım algoritması

Tablo 12. Ürün ağacının 2.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları

Gizli Tabaka Nöron Sayısı	Öğrenme Algoritması	Gizli Tabaka Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Tabakası Aktivasyon Fonksiyonu	MSE 1	MSE 2	MSE 3	MSE 4	MSE 5	MSE 6	MSE 7	MSE 8	MSE 9	MSE 10	En İyi MSE
1	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1878,6	1898,6	2038,3	1900,9	1879,4	1879,5	2015,2	1935,5	1878,1	6861,1	1878,1
2	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1768,1	2204,1	1802,2	1916,7	1830,9	6755,9	1885	1806,5	4767,1	1879,4	1768,1
3	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1753,8	2260	6362,9	1638	2857,1	1658,5	1654,9	1762,9	3211,1	1760,8	1638
4	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1659	4459,7	1798,8	1655	1753,9	2263	4697,7	2621,7	2133	2684,1	1655
5	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1847,9	1894,1	1824,1	1594,8	2183,5	1638,9	2612,3	2451,7	1633,7	1732,3	1594,8
6	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1632,5	1861,2	4795,5	1867,1	1712,7	3558,7	1549,3	4355,7	1762,5	3175,4	1549,3
7	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1648,2	1616,5	1628,2	1712,6	1591,2	1669,3	1700,8	1690,9	1829,9	1548,1	1548,1
8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1735,8	1580	1621,9	1735	1833,5	1785,2	1592,4	1613,8	1808,9	1524,8	1524,8
9	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1600,1	1583,8	1942,1	1714,1	1625,7	1432	1723,7	1828,6	1836,1	2328,3	1432
10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1676,8	1505,4	1653,5	2012,6	1701,2	1698,6	1534,9	1747,5	1627,1	1602,5	1505,4
1	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6861,2	6861,2	6859,4	2136,5	6831,5	2029,1	6861,9	6861,1	2132,4	2289	2029,1
2	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1950,7	6416,7	6863,9	1987,5	6925,4	3461,1	2850,7	2364,6	2780,2	2204,5	1950,7
3	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6666,2	2122,5	3687,8	2044,8	3038,6	2139,6	6490,6	1967	3427,9	6862,1	1967
4	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2312,4	6375,9	2102,5	2293,2	2750,1	2055,5	2078,6	2915,2	2100,4	6861,3	2055,5
5	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2447	3012,3	2425,7	6878,5	2053,6	1930,6	1967,7	2106,6	2582,2	2085,2	1930,6
6	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3987,7	2047,6	6616,1	2918,2	2209,5	2140,9	6772,5	1931,9	11531	1980,7	1931,9
7	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4247,8	1983,1	8563,2	1985,3	3087,3	1857,7	6709,2	2032,3	2107,3	1870,2	1857,7
8	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2463	2025,7	5033,8	4260,2	2191,8	2291,5	1872,1	2134,8	5390,5	2040,4	1872,1
9	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2674,4	2988,3	3117,8	2026,8	3183	2243,9	6657,7	2009,9	2633,2	1942,6	1942,6
10	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2000,2	1922,9	1919,4	8941	6615,2	2586,5	2012,5	6002,9	2542,4	1951,7	1919,4
1	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6866,5	6864,2	6045,2	6861,1	2022,4	6861,3	2092	6868,7	1920,2	2564,6	1920,2
2	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1956,3	6866,3	2022,7	2233,9	2051,2	6863,7	2280,8	2600,7	3051,5	2128,6	1956,3
3	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2358,4	2018,5	2277	3753,6	2009,5	6861,3	2544,3	1952,4	2001,1	2022,9	1952,4
4	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2026,9	3586,2	3532,3	6464,3	2337,9	6674,2	2387,1	2448,2	2247,4	2040,9	2026,9
5	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1957	3220,8	2011,5	1996,8	2318,2	2813,2	3008,3	2201,4	2294	1918,9	1918,9
6	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3028,1	2060,1	3304,2	2213,5	2453,5	2415,4	2261,6	2945,5	2435,9	2876,9	2060,1
7	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2525,3	2199,5	2314,8	2317,4	1942,7	2775,6	2178,2	2138,3	2141,1	2160,7	1942,7
8	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2041,7	2210,7	3412,4	3057,8	2361,3	1910,8	2054	1939,9	2486	2064,3	1910,8
9	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2024,2	2236,2	2460,4	3534,4	3073,6	2150,6	2895,4	3263,8	1954,4	2042,3	1954,4
10	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2103,3	6277,9	2308,8	6709,6	2298,9	2287,7	3600,9	2378,6	1925,3	2139,4	1925,3

LM:Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması , PB: Powell-Beale Conjugate Gradient geri yayılım algoritması, SCD: Scaled Conjugate Gradient geri yayılım algoritması

Tablo 13. Ürün ağacının 3.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları

Gizli Tabaka Nöron Sayısı	Öğrenme Algoritması	Gizli Tabaka Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Tabakası Aktivasyon Fonksiyonu	MSE 1	MSE 2	MSE 3	MSE 4	MSE 5	MSE 6	MSE 7	MSE 8	MSE 9	MSE 10	En İyi MSE
1	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1854,7	1825	1861,1	1857,4	1825,8	1892,6	4322,5	2479,9	1879,6	7095,1	1825
2	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1769,5	1764,8	1690,5	1826,1	1573,3	1593,4	1825,9	2490,8	1550	1822,4	1550
3	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1639,2	1635	4081,1	1602,5	1765,1	1828,5	1496,2	1480,7	1478,7	1678,5	1478,7
4	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5574,9	1612,7	4055,2	1594,4	2995,1	6991,1	1717	1935,5	1745,2	1799,8	1594,4
5	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1574,9	1727,3	1563,8	1834,6	1444	1505,3	1498,7	1582,4	1578,2	1839,5	1444
6	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1486	3078,2	1487,3	1449,8	1813	1442,4	1543,9	1547,4	1749,4	1527,9	1442,4
7	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6752,1	1511,8	2014,8	1595	1423,1	3871,2	1574,1	1525	1531,1	1742,7	1423,1
8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1497	1540,3	1429,5	1436	1847,6	3611,8	2929,8	1637,8	1759,9	1576,9	1429,5
9	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1481,5	1376,1	1553,1	1701,4	1583,1	1761,1	1530,7	1407,5	1513	1453,6	1376,1
10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1781,2	2138,6	1676,5	1368,6	1539,9	1559,7	1382,3	1377,7	1479,7	1431,9	1368,6
1	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	7209,6	7095,1	7095,9	2170,9	7095,1	2027,2	3524,2	7095,2	7095,3	7095,2	2027,2
2	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2392,9	1884,6	2983,8	2502,2	7041,4	7050,8	1956,4	2001,7	7095,5	3537,1	1884,6
3	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	7095,3	6996,5	2054,4	1982,1	2182,1	2237	8944,7	3697,3	4564,4	1899,8	1899,8
4	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2185,6	7104,6	2653,8	1965	1920,5	1951,8	2069,8	1878,2	1954,9	2037,8	1878,2
5	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1893,1	2387,4	4508,3	2917,4	1956,3	2111,2	2175,5	1913,5	1950,4	2774,4	1893,1
6	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3590,7	7123,5	1978,1	3703,6	6895,8	3831,7	6909,2	6318,8	1930,1	8943,1	1930,1
7	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	6453	1924,6	2458,2	2882,5	6867,5	1898,8	3495,6	2599	1868,8	2265,1	1868,8
8	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2157,1	2308,5	4672,2	5042,9	3631,9	1885	1943,4	2781,1	2319,8	5783,5	1885
9	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1937,8	6967,2	8129,9	6050,7	7066,1	1935,9	1921,8	7040,1	1830,9	2380,9	1830,9
10	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1888,4	1878	1957,3	2006,4	6547,4	1942,6	2199,6	6791,8	2061,2	1867,2	1867,2
1	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	7095,4	3447,2	7096	4435,1	7154,3	7095,1	3356,2	7103,2	3388,8	3668,6	3356,2
2	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1965,9	3386,9	3536	3472,3	2813,3	2040,8	2351,6	3576	3396,4	3462	1965,9
3	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2341,5	7103,3	2536,2	2930,6	2265,5	2355,7	2553,1	2586	2519,6	2237,4	2237,4
4	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1987,7	2719,4	2365,1	7095,2	2806,2	2235,7	2214,9	2052,8	6922,4	1948,7	1948,7
5	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2006,3	2593,7	2387,5	2198,7	1977,1	3074,5	2721,3	2635,8	2231,3	2480	1977,1
6	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2351	2488,7	1898,4	2041,2	3324,1	2124	6951,8	2169,5	1915	2042,5	1898,4
7	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2326,5	1953,3	2216,7	4454,2	3443,1	2084,5	2209,2	2199,3	3010,8	2044,8	1953,3
8	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2607,6	2447,5	1872	2544,8	1969,6	2219,7	1886	2798,5	1910,2	2180,7	1872
9	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2536,3	2190	2637,7	4205,2	2389	3049,9	2244,8	2496	2108,6	3397,5	2108,6
10	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2399,9	6479,7	2845,8	2143,4	5731,1	2107,9	2523,6	1985	2443,3	2287,1	1985

LM:Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması , PB: Powell-Beale Conjugate Gradient geri yayılım algoritması, SCD: Scaled Conjugate Gradient geri yayılım algoritması

Tablo 14.Ürün ağacının 4.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları

Gizli Tabaka Nöron Sayısı	Öğrenme Algoritması	Gizli Tabaka Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Tabakası Aktivasyon Fonksiyonu	MSE 1	MSE 2	MSE 3	MSE 4	MSE 5	MSE 6	MSE 7	MSE 8	MSE 9	MSE 10	En İyi MSE
1	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1654,9	1589,6	1898,6	1534,1	1536,9	1690	1535,3	1877,1	2516,8	1536,9	1534,1
2	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1533,3	1450,6	1728,7	1534,3	1510,2	1342,1	1589	1520,7	1379,9	1357,6	1342,1
3	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1444,8	1309,3	4329,8	1360,4	1483,2	5675,1	1286,7	1476,1	1340,7	1536,1	1286,7
4	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5220,5	3618	1369,4	1519,1	1407,9	1377,3	1938	1382,6	1555,7	1305,2	1305,2
5	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1388,2	1346,1	1425,7	1381,4	1417,3	1346,3	1326,1	5672,2	1320,7	2660,1	1320,7
6	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1311,6	1340,6	1396,1	1349,6	1507,4	1347,2	1424,4	1395,2	1338,6	1450,2	1311,6
7	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1491,4	1335,5	1435,2	2068,2	1309,4	1773	1302,1	1434,2	1323,7	1617,2	1302,1
8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1411,3	1392,3	1305,9	1461,7	1239,6	1466,2	1355,1	1409,4	1577,3	1614,1	1239,6
9	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1366	3570	1619,1	1249,7	1439,3	1355	1344,3	1430,7	1466,2	1365,2	1249,7
10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1441,8	1514,5	1502,4	1549,5	1306,7	1281,2	1502,2	1324,3	1364,3	1379,4	1281,2
1	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1627,8	2113,7	1572,6	3347,8	5675,1	4454,4	2387,6	1605,8	5675	5675	1572,6
2	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3370	1864,9	1652,7	1600	1605,9	1587,5	2976,9	1561,9	1768,5	5676,9	1561,9
3	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1669,2	5227,7	3633,9	1550,3	5672,1	5584,5	5679,3	1710,8	1684,2	5677,6	1550,3
4	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1590,6	1628	1793,1	1602,9	1609,7	1596,8	1481,1	5598	1550,7	1614,1	1481,1
5	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1610,9	1613,2	1616,4	1820,3	1695,1	4728,2	2169,8	5397,9	1570,5	5632,5	1570,5
6	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5681,3	1587,7	1628	1653,1	1792,9	1772,6	3802	1571,9	1988,4	1916,2	1571,9
7	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2406,2	5743,3	1822,5	1752,4	1573,7	1672,2	4490,3	1895,6	1594,9	1735,5	1573,7
8	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1607,8	2524,7	3039,4	5548,4	1537,3	1644,4	1556,2	1652,2	1658,6	5717,8	1537,3
9	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5665,7	1612,3	1613,4	1820,6	1583,5	2047	1767,3	5993,3	1613,9	2676	1583,5
10	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1561,8	1681,3	1638,9	1604,6	1923	1933,1	2078,5	2022,8	1596,1	1731,2	1561,8
1	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3080	1686,2	1639,3	1582,7	2310,6	5675,1	1643,2	5675,1	1563,4	5675,3	1563,4
2	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1692,6	1614,2	5675	4680,6	5675,4	1626,9	1633	3054,9	2117,7	1657,2	1614,2
3	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1777,5	1709,8	1832,1	5375,7	5675,3	2100,4	1668,7	1844	5692,6	4692,2	1668,7
4	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1629	2457,6	1583,9	1614,9	5702,9	1717,3	1575,4	1597,7	2024,7	1687,8	1575,4
5	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1607,7	1771,9	1943,9	1624,6	1606,8	2559,4	2442,9	2288,5	2732,6	1775,3	1606,8
6	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1630,1	1593,8	1755,8	2346,4	1673,9	1820	1739,1	5659,6	1780,6	1550,7	1550,7
7	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1677,6	1617,1	1646,8	5177,3	2501,8	2058,3	1982,5	4960,5	1642,8	1648,4	1617,1
8	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2430,8	1614,2	1592,1	1728	1880,7	1582,8	2476	1652,4	2373,6	1697,1	1582,8
9	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2098,1	3747,1	2662,1	4993,1	2312	1808	1642,3	1664,5	2099,7	2373,6	1642,3
10	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2204,6	2500,9	1766,8	2306,8	1769,7	1595,5	1803,7	3194,2	2266	3035,7	1595,5

LM:Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması , PB: Powell-Beale Conjugate Gradient geri yayılım algoritması, SCD: Scaled Conjugate Gradient geri yayılım algoritması

Tablo 15. Ürün ağacının 5.seviyesinde tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresini tahmin etmek amacıyla kurulan YSA modelleri ve performansları

Gizli Tabaka Nöron Sayısı	Öğrenme Algoritması	Gizli Tabaka Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Tabakası Aktivasyon Fonksiyonu	MSE 1	MSE 2	MSE 3	MSE 4	MSE 5	MSE 6	MSE 7	MSE 8	MSE 9	MSE 10	En İyi MSE
1	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2459,9	2979,1	1623	3636,8	2458,3	5575,4	2113	5075,5	4878,7	2716,4	1623
2	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2629,2	1584,2	1437,9	1655,4	5708,3	2741	5566,8	1437,2	1486,8	1515,1	1437,2
3	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1505,6	3586,8	1382,5	2204,1	1794,1	4741,5	1549,3	2640,1	1403,8	2089,1	1382,5
4	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2322,8	2128,6	3295,2	1430,3	4800,9	3465,4	1419,9	2102,2	1444,5	1344,2	1344,2
5	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1322,7	3542,6	1471,3	3409,9	1310	1416,7	1952	2000,7	1420,5	4070,2	1310
6	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1528,1	1373,8	1439,5	1973,4	1396	1491	1360,5	1566,6	2626,4	1351,9	1351,9
7	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1844,7	1564,7	1906,2	1498	1588,4	1977,6	2028	1476,5	1435,8	1899,9	1435,8
8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1804,7	1404,8	1571,3	1424,2	1471,2	1604	1444,9	1377,3	1409,2	1564,2	1377,3
9	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1823,6	1593,8	1323,7	1758,6	1392,8	1818,3	2296	1471,8	1396,9	1981,5	1323,7
10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1492	3709,1	1623,9	1333	1383,9	3171,8	2131,7	3290,7	1460,5	1623,2	1333
1	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4821,8	4435,3	5965	5905,5	5373,1	5631,9	5906,7	5216,8	5900,8	2832,7	2832,7
2	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5907,1	5572,7	5553,3	3514,1	6126,5	2253,2	2707,9	5902,6	3561,2	5818,6	2253,2
3	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2999,4	2931,2	6117	4765,6	4144,8	5898,1	5971,3	5790,7	5408,9	4484,2	2931,2
4	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5751,4	3338,3	5875,1	3062,3	3189,2	5013,4	3362,2	3609,6	5987,1	2489,1	2489,1
5	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1768,6	6144,2	5872,1	2502,3	4149,4	6346,1	2120,1	5392,6	5535,4	5576,8	1768,6
6	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1840,8	2153,7	5908,9	1797,2	1771,7	5001,2	2862,4	3431,4	4618	3662,4	1771,7
7	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2953,7	5052,7	2047,9	5329,8	1614,2	2262,8	1801,8	3679,4	2302,5	4606,5	1614,2
8	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2125	3374,1	2199,7	1818,2	5281,6	4640,9	2388,4	5556,2	2318,6	2447,4	1818,2
9	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2769,6	2001,7	5885,5	1882	2062,6	2473,6	2742,1	3461,8	3273	4259,8	1882
10	PB	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3399,4	1971,7	1537,6	5289,3	7458,9	2713,8	2174,2	2764,4	2314,6	3253,1	1537,6
1	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2147,5	4712,3	5703,6	5923,4	5886,6	4068,8	5344,8	4478,4	3014,2	5673,6	2147,5
2	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5901,8	5356	4777,6	5553,9	5341,5	4962,2	4853,4	6003,2	5860,3	3914,8	3914,8
3	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2290,3	5875,8	3646,2	5916,1	5326,4	3743,8	3588,4	5890,9	4987,5	5927,1	2290,3
4	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	4924,4	2565,4	5851,6	5737,3	3279,9	5885,7	6521,6	4769,5	5186,1	2790,6	2565,4
5	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5935,3	6117,6	3001,6	2711,9	5496,8	4140	4848,2	4647,7	5056,2	3832,4	2711,9
6	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3766	4118,9	5382,8	3976,3	4082,6	4872,3	5573,4	5790,8	5767	5554,8	3766
7	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3167,7	2175,3	6664,2	5416,2	3077,1	1906,7	2287,2	4563,8	2156,3	2432,1	1906,7
8	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	5127	3120,9	1648,4	3006,7	2891,2	7559,5	3980,8	1598,6	2959	5098	1598,6
9	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	2427,2	5497,1	5550,9	6289,5	9558,4	3173,1	2454,7	1589,2	2691,2	5634	1589,2
10	SCG	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3922,1	1647,4	4968,2	2470,7	4235,6	2663,8	2086,6	2175,1	4608,2	3249,6	1647,4

LM:Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması , PB: Powell-Beale Conjugate Gradient geri yayılım algoritması, SCD: Scaled Conjugate Gradient geri yayılım algoritması

Her veri seti için YSA temel bileşenleri değiştirilerek elde edilen 300 farklı modelden en iyi performansa sahip model, geliştirilen tahmin modelinde kullanılmak üzere seçilmiştir.

Tablo 16.En iyi performansa sahip YSA modelleri

Veri Grubu	Gizli Tabaka Nöron Sayısı	Öğrenme Algoritması	Gizli Tabaka Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Tabakası Aktivasyon Fonksiyonu	En İyi MSE
Alt yüklenici firma	8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	3612,9
Ürün ağacının 1.seviyesi	10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	947,39
Ürün ağacının 2.seviyesi	9	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1432
Ürün ağacının 3.seviyesi	10	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1368,6
Ürün ağacının 4.seviyesi	8	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1239,6
Ürün ağacının 5.seviyesi	5	LM	Hiperbolik tanjant	Lineer transfer	1310

LM:Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması

4. BÖLÜM

SENARYO ANALİZİ

İleri beslemeli YSA ile geliştirilen modeller örnek 16 senaryo üzerinden çalıştırılarak ürünün müşteriye teslim edileceği tarih tahmin edilmiştir. Öngörü sonrasında ürünün müşteriye ne zaman teslim edilebileceği, gecikmeli teslim edilecekse ne kadar gecikeceği ve gecikmeden dolayı müşteriye ne kadar ceza ödeneceği bilgilerine ulaşılmaktadır. Ayrıca gecikmeye neden olan malzemeler tespit edilerek bu malzemeler için stok yönetim politikaları önerilmiştir

4.1 SENARYOLARDA KULLANILAN TALEP MİKTARI VE TESLİM SÜRESİ

Firmada müşteri siparişlerinin takibi KKPS sistemi üzerinde yapılmaktadır. KKPS sisteminden ürüne gelen talebin miktarı ve teslim süresi bilgilerine erişilebilmektedir. Müşteri siparişlerinin kesinleşip KKPS'ye girilmesi öncesinde, muhtemel satış fırsatlarına daha hızlı yanıt verebilmek adına KKPS sistemine satış tahminleri girilmektedir. Müşteri siparişi iletildiğinde ilk olarak daha önce KKPS'ye girilen satış tahmini silinip sonra müşteri siparişinin girişi yapılmaktadır. KKPS üzerinde hangi satış tahmininin hangi müşteri siparişine karşılık olarak silindiğinin bilgisine erişilememektedir. Satış tahmini ve müşteri siparişi eşleşmesi, satış sorumlusu bilgisi dahilinde manuel olarak takip edilmektedir. Bu nedenle KKPS'de bilgilerine erişilebilen müşteri siparişleri üzerinden senaryo analizleri yapmak, firmanın problemine çözüm getirecek gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır. Bu çalışmada kapsamında senaryo analizlerinde girdi olarak kullanılacak talep miktarı bilgisi Şekil 7'de belirtilen aylık üretim miktarı verisi ile uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Teslim süresi girdisi ise satın alınan hammadde ve yarı mamuller için planlama ve satın alma sorumlularının tecrübesine dayalı olarak elde edilen tedarik süresi bilgisi ile ürünün ve ürün ağacında yer alan yarı mamullerden firmada üretilenlerin üretim süresi bilgilerine göre seçilmiştir.

Şekil 7'de görüleceği üzere; 2020 yılı ocak ayından itibaren ürünün aylık ortalama üretim miktarı 356 adettir. Bir ayda en fazla 698 adet, en az 117 adet üretilmiştir. Bu çalışma kapsamında belirlenen 16 senaryo için müşteri talep miktarı bu bilgileri kapsayacak

şekilde en az 50 adet, en fazla 750 adet olarak seçilmiştir. Planlama ve üretim sorumlularının müşterinin talep ettiği ürün için tecrübeye dayalı olarak verdikleri minimum teslim süresi 12 aydır. Tecrübeye dayalı olarak verilen bu teslim süresi, ürünün ürün ağacında yer alan hiçbir hammadde ve yarı mamulün depoda olmadığı varsayımı ile iletilmiştir.

Belirlenen 16 senaryoya ait bilgiler Tablo 17’da belirtilmiştir.

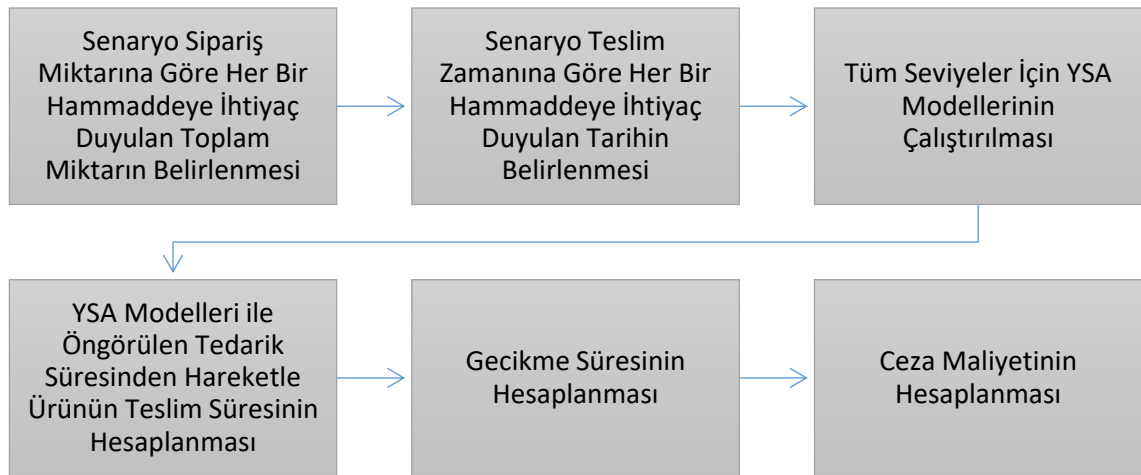
Tablo 17.Belirlenen 16 senaryo için sipariş miktarı ve teslim süresi bilgileri

Senaryo No	Sipariş Miktarı	Müşteri Kaç Gün Sonraya Talep Ediyor?
1	50	360
2	100	360
3	200	360
4	200	450
5	300	360
6	300	450
7	400	450
8	400	540
9	500	450
10	500	540
11	600	450
12	600	540
13	600	600
14	750	540
15	750	600
16	750	650

Belirlenen senaryolar aşağıda belirtilen varsayımlara göre analiz edilmiştir:

- Müşteriden talep geldiği anda planlama faaliyetlerine başlanarak hammadde ve yarı mamullerin ihtiyaç miktarı ve talep tarihi tedarikçi firmalara bildirilir. Planlama ve sipariş geçme süreci en fazla 5 gün sürmektedir.
- Hiçbir hammadde ve yarı mamul stokta hazır olarak bulunmamaktadır.
- Firma her gün çalışmaktadır, günlük aktif çalışma süresi 8 saattir.
- Firmada üretilen birimler için tek bir üretim hattı bulunmaktadır.
- Alt yüklenici ve tedarikçi firmalar her gün çalışmaktadır.
- Senaryolar birbirinden bağımsız olup birbiriyle çakışmamaktadır.
- Firmada üretim kapasitesi sorunu bulunmamaktadır. Gelen talepleri karşılayacak kapasiteye sahiptir.

- Ürünün kendisinin, firma bünyesinde üretilen yarı mamullerin ve alt yüklenici ürettirilen yarı mamullerin üretimine bu ürün ve yarı mamullerin ürün ağacında yer alan tüm malzemeler tedarik edildikten sonra başlanmaktadır.
- Eksiksiz birimlerin üretimine hemen başlanmaktadır.
- Tedarikçi firmalardan ve alt yüklenici firmalardan gelen hammadde ve yarı mamuller kalite kontrol sonrası firma deposuna aktarılmaktadır. Hammadde veya yarı mamulün kalite kontrolü firmaya geldikten en fazla 3 gün içinde tamamlanarak depoya aktarımı yapılmaktadır.
- Tedarikçi firmalardan ve alt yüklenici firmalardan gelen hammadde ve yarı mamuller istenen özelliklere uygun gelmektedir. Üretimleri engelleyecek bir uygunsuzluk olmayacağı varsayılmıştır.
- Alt yüklenici firmalarda ürettirilecek yarı mamullerin ürün ağacında yer alan alt malzemelerinin hazırlanarak firmaya iletilmesi en fazla 2 gün sürmektedir.



Şekil 9. Senaryo analizi için izlenen adımlar

4.2 SENARYO SONUÇLARI ANALİZİ

İleri beslemeli YSA ile geliştirilen modeller 16 farklı senaryo için çalıştırılarak ürünün müşteriye teslim edileceği tarih tahmin edilmiştir. YSA modelleri ile tedarik süresi tahmin edilirken her model her senaryo için 10 defa çalıştırılmış ve bu 10 çalıştırmadan elde edilen en iyi sonuç tahmin edilen tedarik süresi olarak alınarak senaryo analizinde kullanılmıştır. Senaryo sonuçlarına ulaşmak için yazılan kod EK-3’te belirtilmiştir.

Model sonuçları arasından en iyi tahmin seti belirlenirken, veri setinde yer alan hammadde ve yarı mamullerin talep edilen tarihe göre gecikme sürelerine bakılmıştır. Hammadde ve yarı mamullerin ürün ağacında bulunduğu seviyeye göre yapılan sınıflandırmaya sonucunda 6 farklı YSA tahmin modeli elde edilmiştir. Her model için veri setinde yer alan hammadde ve yarı mamullerden en fazla gecikmeye sahip olanın gecikme süresi, o seviyenin gecikme süresi olarak kabul edilmiş ve modellerin karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır. En fazla gecikmesi minimum olan modele ait tahmin seti senaryo analizi için kullanılmıştır. En fazla gecikme süresinin birden çok çalıştırma için aynı olduğu durumlarda toplam gecikme süresine bakılmıştır. Bu durumda toplam gecikme süresi minimum olan çalıştırmaya ait tahmin seti senaryo analizi için kullanılmıştır.

Tablo 18. Senaryo sonuçları

Senaryo No	Sipariş Miktarı	Kaç gün sonraya istendi?	Öngörülen Süre	Gecikme Süresi	Ceza Süresi
1	50	360	372	12	
2	100	360	374	14	
3	200	360	386	26	
4	200	450	456	6	
5	300	360	400	40	10
6	300	450	449		
7	400	450	480	30	
8	400	540	536		
9	500	450	491	41	11
10	500	540	553	13	
11	600	450	560	110	80
12	600	540	565	25	
13	600	600	597		
14	750	540	624	84	54
15	750	600	632	32	2
16	750	650	652	2	
Toplam				435	157

16 senaryodan 3'ü için tahmin edilen teslim süresinin, müşterinin talep tarihe uygun olduğu gözlenmiştir. 13 senaryo için ise ürün müşteriye gecikmeli olarak teslim edilebilmiştir. 5 senaryoda ise gecikme süresi 30 günü aştığı için ceza süreci işletilmiştir. 16 senaryo için toplam gecikmesi süresi 435 gün, toplam ceza süresi ise 157 gün olarak tahmin edilmiştir.

İleri beslemeli YSA ile geliştirilen tahmin modeli çıktılarının, müşteriye iletilecek teslim tarihinin belirlenmesi amacıyla kullanılması önerilmektedir. Örnek olarak; bu çalışmada 600 adet için senaryolarda belirlenen teslim süreleri 450, 540 ve 600 gündür. Tablo 18'de görüleceği üzere 450 gün sonrası için talep geldiği durumda 110 gün gecikmeli olarak, 540 gün sonrası için talep geldiği durumda 25 gün gecikmeli olarak ve 600 gün sonra talep geldiği durumda gecikmesiz bir şekilde ürün müşteriye teslim edilebilecektir. Müşteriden 600 adet ürün için sipariş talebi geldiğinde, satın alınan hammadde ve yarı mamullerin tedarik süresi ile yarı mamullerin üretim süresi ve ürünün üretim süresi göz önünde bulundurularak geliştirilen YSA tahmin modeli çalıştırılıp teslim süresi olarak 600 gün sonrasının verilmesi en uygun karar olarak görünmektedir. Bu karar ile senaryoda belirtilen teslim süresi 600 güne uygun olarak planlama ve üretim süreçleri devam ettirebilir. Firma, güvenli bölge sınırları içinde olan bu kararın müşteride ne ölçüde memnuniyet yaratacağını mutlaka değerlendirmelidir. Aynı bakış açısı ile 750 adet ürün için 652 gün ve üzeri, 500 adet ürün için 553 gün ve üzeri, 400 adet ürün için 536 gün ve üzeri, 300 adet ürün için 449 gün ve üzeri, 200 adet ürün için 456 gün ve üzeri, 100 adet için 374 gün ve üzeri, 50 adet için 372 gün ve üzeri teslim süresi verilebilir.

Bir diğer bakış açısı ise tablo 17'de belirtilen şekilde modele girdi olarak verilen teslim süresi bilgisine göre planlama ve üretim süreçlerini devam ettirmek ve modelin çıktısı olan teslim süresine göre karar vermektedir. Bu bakış açısıyla; 600 adet ürün için model 450 gün teslim süresiyle çalıştırıldığında, teslim süresi olarak 560 gün sonrasının verilmesi en uygun karar olarak görünmektedir. Güvenli bölge sınırlarını biraz esneterek müşteri memnuniyeti arttırmak amacıyla bu yöntem ile karar verilmesi rekabetçi piyasada firmaya avantaj sağlayacaktır. Aynı bakış açısı ile 750 adet ürün için 540 gün teslim süresiyle çalıştırıldığında 624 gün ve üzeri, 500 adet ürün için 450 gün teslim süresiyle çalıştırıldığında 491 gün ve üzeri, 400 adet ürün için 450 gün teslim süresiyle çalıştırıldığında 480 gün ve üzeri, 300 adet ürün için 360 gün teslim süresiyle

çalıştırıldığında 400 gün ve üzeri, 200 adet ürün için 360 gün teslim süresiyle çalıştırıldığında 386 gün ve üzeri, 100 adet için 374 gün ve üzeri, 50 adet için 372 gün ve üzeri teslim süresi verilebilir.

Müşteri talep tarihine uygun üretim yapabilmek adına firma bu sonuçlardan yola çıkarak üretim kapasitesinin artırımına yönelik kararlar alabilir. Örnek olarak; üretim hattı sayısı artırılması firmada üretilen her ürün için düşünülebilir, fazla mesai gündeme alınabilir. Teslim süresini tahmini için bu çalışmada geliştirilen model esnek yapısı sayesinde bu değişikliklere göre revize edilebilecektir.

Müşteri siparişinden teslimata kadar yürütülen işlemlerin toplam süresi ürünün teslim süresini belirlemektedir. Ürünün teslim süresi ne kadar az ise müşteri memnuniyeti o kadar fazla olmaktadır. Firma yurtiçi ve yurtdışı satış fırsatlarını kaçırmamak adına teslim süresini olabildiğince kısa tutmayı hedeflemektedir. Belirlenen 16 senaryoya ait teslim sürelerini kısaltmak adına hammadde ve yarı mamullerin gecikme süreleri analiz edilmiştir.

Tablo 19.En fazla gecikme görülen ilk 30 hammadde ve yarı mamuller

Hammadde/Yarı Mamul	Toplam Gecikme	Gecikme Sayısı	Ortalama Gecikme	Hammadde/Yarı Mamul	Toplam Gecikme	Gecikme Sayısı	Ortalama Gecikme
M892	770	27	29	M771	84	4	21
M893	529	20	26	M797	76	5	15
M894	486	15	32	M701	76	8	9
M899	420	13	32	M584	73	5	15
M897	407	12	34	M458	73	8	9
M895	369	11	34	M161	72	4	18
M896	346	9	38	M746	72	6	12
M885	237	11	22	M757	71	6	12
M903	213	13	16	M445	68	6	11
M898	139	5	28	M847	65	4	16
M547	128	7	18	M752	64	5	13
M734	120	6	20	M543	62	5	12
M871	112	6	19	M759	62	5	12
M844	100	8	12	M848	62	4	15
M805	84	4	21	M578	61	10	6

En fazla gecikme görülen ilk 30 hammadde ve yarı mamul için emniyet stoku tutulduğu varsayımı ile 16 senaryoya ait müşteri teslim tarihleri yeniden hesaplanmıştır. 16 senaryodan 10'u için tahmin edilen teslim süresinin, müşterinin talep tarihe uygun olduğu

gözenmiştir. 6 senaryo için ise ürün müşteriye gecikmeli olarak teslim edilebilmiştir. 1 senaryoda ise gecikme süresi 30 günü aştığı için ceza sürecine girilmiştir. 16 senaryo için toplam gecikmesi süresi 131 gün, toplam ceza süresi ise 36 gün olarak tahmin edilmiştir. En fazla gecikme görülen ilk 30 hammadde ve yarı mamul için emniyet stoku tutularak gecikme süresi 304 gün (%70), ceza süresi ise 121 gün (%77) azaltılmıştır. Firmanın bu hammadde ve yarı mamuller için emniyet stoku tutarak müşterilerine daha kısa sürede ürün teslim edebileceği ve pazardaki gücünü attıracağı görülmektedir.

Tablo 20. Emniyet stoku tutulduğu durumda elde edilen öngörü sonuçları

Senaryo No	Sipariş miktarı	Kaç gün sonraya istendi?	Öngörülen Süre	Gecikme Süresi	Ceza Süresi
1	50	360	340		
2	100	360	359		
3	200	360	374	14	
4	200	450	439		
5	300	360	370	10	
6	300	450	449		
7	400	450	457	7	
8	400	540	521		
9	500	450	456	6	
10	500	540	528		
11	600	450	516	66	36
12	600	540	536		
13	600	600	587		
14	750	540	568	28	
15	750	600	600		
16	750	650	630		
Toplam				131	36

SONUÇ

Üretim alanında faaliyet gösteren işletmeler arasındaki rekabet gün geçtikçe artmaktadır. Rekabetçi piyasada söz sahibi olmak adına işletmeler sürekli olarak kendilerini geliştirme çabası içindedirler. Bu çabaların temel amacı yüksek kalitede, rekabetçi fiyata sahip ürünler ortaya çıkarmak ve bu ürünleri zamanında teslim ederek müşteri memnuniyet seviyesini en üst seviyede tutmaktır. Müşteri siparişinin alınmasından ürünün teslimatına kadar geçen süre teslim süresi olarak adlandırılmaktadır. Teslim süresi, işletmelerin müşteri beklentilerini karşılamak amacıyla iyileştirmek istediği en önemli kurumsal performans göstergelerinden biridir. İşletmeler ürünü müşteriye en kısa sürede teslim etmeyi hedeflemektedir. Kısa teslim süreleri, üretim yapan firmaların imajını ve gelecekteki satış potansiyelini güçlendirmektedir. Söz verilen tarihte yapılamayan teslimatlar ise firmanın prestij kaybetmesine neden olmaktadır. Rakip işletmelere göre daha uzun verilen teslim süreleri ise işin diğer işletmelere gitmesine neden olmaktadır. Bu da işletmenin piyasadaki rekabet gücünü azaltmaktadır. Bu nedenle müşteriye iletilecek teslim süresinin mümkün olan en yüksek doğruluk seviyesi ile hesaplanması işletmeler için hayati önem taşımaktadır.

Geleneksel planlama ve kontrol yöntemlerinde teslim süresi hesaplaması için çoğunlukla geçmiş verilerden elde edilen ortalama teslim süreleri kullanılmaktadır. Ancak üretim süreçlerinin ve ürün ağacı yapısının karmaşık olduğu durumlarda bu yöntem ile kabul edilebilir bir doğrulukta teslim süresinin hesaplanması mümkün değildir. Teslim süresini tahmin etmeyi amaçlayan çalışmalar incelendiğinde; çalışmaların sadece işletme bünyesinde gerçekleştirilen üretim sürelerini dikkate alarak tahminde bulunduğu fark edilmiştir. Ancak işletmelerin üretim faaliyetlerine başlaması için ilk olarak hammaddeleri tedarikçi firmalardan tedarik etmesi gerekmektedir. Hammadde tedarikinin ne kadar süreceği, işletmenin müşteriye vereceği teslim süresini direkt olarak etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle teslim süresi hesaplamalarında üretim süresi ile birlikte hammadde tedarik sürelerinin de mutlaka hesaba katılması gerekmektedir.

Büyük ve karmaşık verilerin bulunduğu üretim sistemlerinde, karmaşık işlemler arasındaki ilişkiyi geleneksel yöntemler kurmak oldukça zordur. Bu zorluğu aşmak akıllı sistemlerin kullanılması mümkündür. Yapay zekanın bir alt kümesi olan makine

öğrenmesi, büyük ve karmaşık verileri işleme, modeller oluşturma ve bu modelleri temel olarak kararlar verme ve tahminde bulunma yeteneğine sahiptir. Üretim sistemlerinde bulunan büyük ve karmaşık veri ile çözümleme yapmak amacıyla makine öğrenmesi yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Bir makine öğrenmesi tekniği olan yapay sinir ağları (YSA) ile az sayıda gözlemle bile çözümleme yapılabilir, öğrenme yeteneği sayesinde daha önce karşılaşılmamış durumlar için çözüm üretilebilir, geleneksel yöntemlerle ulaşılamayan, bilinmeyen karmaşık ilişkileri veriden hareketle öğrenilebilir ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu avantajları nedeniyle bu çalışmada YSA tercih edilmiştir. Literatürde YSA kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde YSA uygulamasının detaylı olarak aktarılmadığı fark edilmiştir. Bu çalışmada YSA uygulamaları literatürde yer alan diğer çalışmalara kıyasla daha detaylı bir şekilde aktarılmıştır. YSA temel bileşenleri olan mimari yapı, aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmasının seçim aşamaları ve birbiri ile uyumu detaylı olarak aktarılmıştır. Bu yönüyle bu tez çalışması YSA tahmin uygulamalarında izlenecek adımları gösteren bir rehber niteliğindedir.

Bu çalışmada YSA kullanılarak ürünün teslim tarihinin, üretim süresi ve hammadde tedarik süresini içerecek şekilde tahmin edilmesini sağlayan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model üretim süreçlerinin ve ürün ağacının karmaşık olduğu üretim sistemlerinde kolaylıkla uygulanabilecek yapıdadır. Esnek yapısı sayesinde her işletmede, üretilen her ürün için kullanılacak bir yapıya sahiptir. Savunma sanayinde faaliyet gösteren bir firmada üretilen bir ürüne ait geçmiş veri kullanılarak geliştirilen ve ürünün teslim süresinin hesaplanmasında kullanılan bu modelde üretim süreleri, firmada tarafından belirlenen standart süreler kullanılarak hesaplanmıştır. Karmaşık ürün ağacı yapısı bulunan ürünün üretimi için 800 çeşit hammadde ve yarı mamulün tedarikçi firmalardan tedarik edilmesi için gereken süre ise ileri beslemeli YSA kullanılarak geliştirilen tahmin modeli ile hesaplanmıştır. Tedarik sürelerinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen bu modelin literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

İleri beslemeli YSA ile geliştirilen teslim süresi tahmin modeli örnek 16 senaryo üzerinden çalıştırılarak ürünün müşteriye teslim edileceği tarih tahmin edilmiştir. Senaryolarda girdi olarak kullanılacak müşteri talep miktarı bilgisi belirtilen aylık üretim miktarı verisi ile uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Teslim süresi girdisi ise planlama ve

üretim sorumlularının tecrübesi ile belirlenmiştir. Model çalıştırılması sonrasında ürünün müşteriye ne zaman teslim edilebileceği, gecikmeli teslim edilecekse ne kadar gecikeceği ve gecikmeden dolayı müşteriye ne kadar ceza ödeneceği bilgilerine ulaşılmaktadır. 16 senaryodan 3'ü için tahmin edilen teslim süresinin, müşterinin talep tarihe uygun olduğu gözlenmiştir. 13 senaryo için ise ürün müşteriye gecikmeli olarak teslim edilebilmiştir. 5 senaryoda ise gecikme süresi 30 günü aştığı için ceza süreci işletilmiştir. 16 senaryo için toplam gecikmesi süresi 435 gün, toplam ceza süresi ise 157 gün olarak tahmin edilmiştir. Müşteriye iletilen teslim süresi bilgisinin gelişmiş bir yöntem kullanılmadan tecrübeye dayalı olarak iletilmesi durumunda, teslimatın zamanında yapılamadığı ve firmanın prestij kaybettiği görülmektedir.

YSA kullanılarak geliştirilen model kullanıldığı durumda geçmiş veriden hareketle teslim sürelerinin kabul edilebilir bir doğrulukta müşteriye iletilmesi sağlanabilir. Bu da gecikme veya ceza olmadan zamanında teslimat yapılmasını ve müşteri memnuniyetinin istenen seviyede tutulmasını sağlayacaktır. Bu amaçla; geliştirilen tahmin modelinde, müşteri talep miktarının farklı teslim süresi alternatifleri ile çalıştırılması ile elde edilecek sonuçlar yorumlanarak müşteriye iletilecek teslim süresi kararı verilebilir.

Kısa teslim süreleri, müşteri memnuniyetini arttıran önemli bir faktördür. Firma yurtiçi ve yurtdışı satış fırsatlarını kaçırmamak adına teslim süresini olabildiğince kısa tutmayı hedeflemektedir. Belirlenen 16 senaryoya ait teslim sürelerini kısaltmak adına tedarik edilen hammadde ve yarı mamullerin tedarik süreleri analiz edilmiştir. En fazla gecikme görülen ilk 30 hammadde ve yarı mamul için emniyet stoku tutulması önerilmiştir. Emniyet stoku tutulduğu varsayımı ile 16 senaryoya ait müşteri teslim tarihleri geliştirilen YSA tahmin modeli ile yeniden hesaplanmıştır. 16 senaryodan 10'u için tahmin edilen teslim süresinin, müşterinin talep tarihe uygun olduğu gözlenmiştir. 6 senaryo için ise ürün müşteriye gecikmeli olarak teslim edilebilmiştir. 1 senaryoda ise gecikme süresi 30 günü aştığı için ceza sürecine girilmiştir. 16 senaryo için toplam gecikmesi süresi 131 gün, toplam ceza süresi ise 36 gün olarak tahmin edilmiştir. En fazla gecikme görülen ilk 30 hammadde ve yarı mamul için emniyet stoku tutularak gecikme süresi %70, ceza süresi ise %77 oranında azaltılmıştır. Firmanın bu hammadde ve yarı mamuller için emniyet stoku tutarak müşterilerine daha kısa sürede ürün teslim edebileceği ve pazardaki

gücünü attıracağı görülmektedir. Bu açıdan geliştirilen model sadece bir karar verme aracı olarak değil, bir iyileştirme aracı olarak da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada büyük ve karmaşık veriden hareketle işletmede üretilen ürünün teslim süresi, hem standart olarak belirlenen üretim süresini hem de tahmin edilen hammadde tedarik süresini kapsayacak şekilde hesaplanmıştır. Konuyla ilgili gelecek dönem çalışmalarında üretim süresi de dinamik bir değişken olarak ele alınabilir. Ek olarak modelin kullanım kolaylığını arttırmak ve çözüm bulmak için gerekli süreyi kısaltmak amacıyla daha etkili kodlama üzerine çalışılabilir.

KAYNAKÇA

- Aladag, C. H. (2011). A new architecture selection method based on tabu search for artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3287-3293.
- Aladag, C. H. (2019). Architecture selection in neural networks by statistical and machine learning. *Oriental Journal of Computer Science and Technology*, 12(3), 76-89.
- Alzubi, J., Nayyar, A., & Kumar, A. (2018). Machine learning from theory to algorithms: an overview. In *Journal of physics: conference series (Vol. 1142, No. 1, p. 012012)*.
- Asadzadeh, S. M., Azadeh, A., & ZiaEIFar, A. (2011). A neuro-fuzzy-regression algorithm for improved prediction of manufacturing lead time with machine breakdowns. *Concurrent Engineering*, 19(4), 269-281.
- Burggräf, P., Wagner, J., Koke, B., & Steinberg, F. (2020). Approaches for the prediction of lead times in an engineer to order environment—A systematic review. *IEEE Access*, 8, 142434-142445.
- Cao, H., & Ji, X. (2021). Prediction of Garment Production Cycle Time Based on a Neural Network. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*.
- Chakravorty, S., & Nagarur, N. N. (2022). Analysis of Artificial Neural Network Based Algorithms For Real Time Dispatching. *33rd Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)*, (s. 1-6).
- Chang, P. C., Wang, Y. W., & Ting, C. J. (2008). A fuzzy neural network for the flow time estimation in a semiconductor manufacturing factory. *International Journal of Production Research*, 46(4), 1017-1029.
- Chen, T. (2015). Combining statistical analysis and artificial neural network for classifying jobs and estimating the cycle times in wafer fabrication. *Neural Computing and Applications*, 26(1), 223-236.
- Churchland, P. S., & Sejnowski, T. J. (1994). *The computational brain*. MIT press.

- Dogan, A., & Birant, D. (2021). Machine learning and data mining in manufacturing. *Expert Systems with Applications*, 166, 114060.
- Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç. H., & Günay, S. (2008). A new model selection strategy in artificial neural networks. *Applied Mathematics and Computation*, 195(2), 591-597.
- Eraslan, E. (2009). The estimation of product standard time by artificial neural networks in the molding industry. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Gacek, S. (2018). Due date assignment using neural networks for standard products in small batch and multi assortment make-to-order company. *Proceedings of the Carpathian Logistics Congress*, (s. 3-5). Prague.
- Gelmereanu, C., Morar, L., & Bogdan, S. (2014). Productivity and cycle time prediction using artificial neural network. *Procedia Economics and Finance*, 15, 1563-1569.
- Gunasekaran, A., Patel, C., & Tirtiroglu, E. (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International journal of operations & production Management*, 21(1/2), 71-87.
- Gyulai, D., Pfeiffer, A., Bergmann, J., & Gallina, V. (2018b). Online lead time prediction supporting situation-aware production control. *Procedia CIRP*, 78,, 190-195.
- Gyulai, D., Pfeiffer, A., Nick, G., Gallina, V., Sihn, W., & Monostori, L. (2018a). Lead time prediction in a flow-shop environment with analytical and machine learning approaches. *FAC-PapersOnLine*, 51(11), 1029-1034.
- Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines*, 3/E. Pearson Education India.
- Hsu, S. Y., & Sha, D. Y. (2004). Due date assignment using artificial neural networks under different shop floor control strategies. *International Journal of Production Research*, 42(9), 1727-1745.

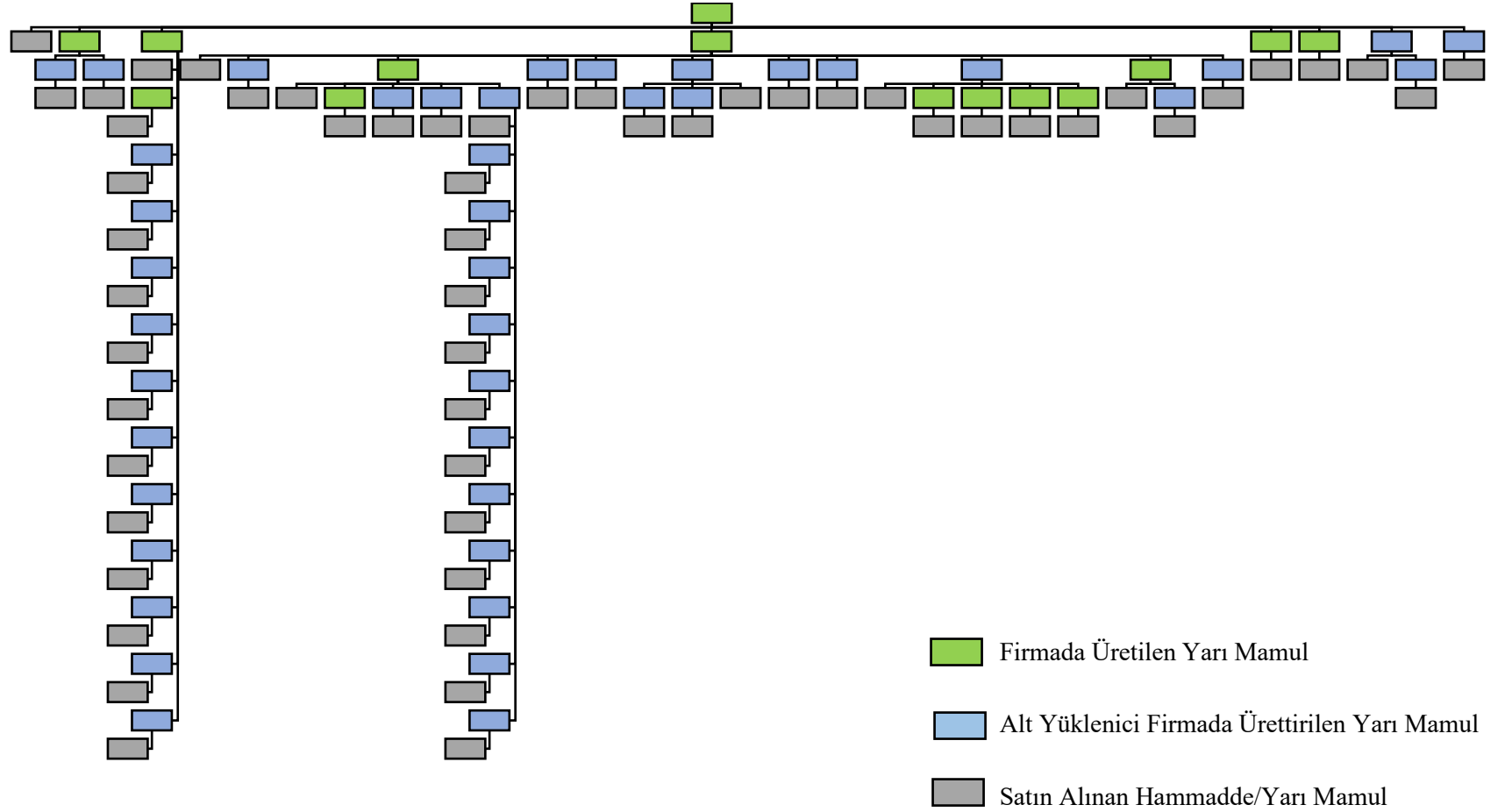
- Hu, C. (2002). *Advanced tourism demand forecasting: Artificial neural network and Box-Jenkins modeling*. Purdue University.
- Huang, C. L. (1999). The construction of production performance prediction system for semiconductor manufacturing with artificial neural networks. *International Journal of Production Research*, 37(6), 1387-1402.
- Karaoglan, A. D., & Karademir, O. (2017). Flow time and product cost estimation by using an artificial neural network (ANN): A case study for transformer orders. *The Engineering Economist*, 62(3), 272-292.
- Kumar, S., & Arunagiri, A. (2010). AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPROACH—PERFORMANCE MEASURE OF A RE-ENTRANT LINE IN A REFLOW SCREENING OPERATION. *Journal of Engineering Science and Technology*, 5(4), 447-456.
- Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2014). Using artificial neural networks to forecast operation times in metal industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(1), 48-59.
- Kutschenreiter-Praszkiwicz, I. (2008). Application of artificial neural network for determination of standard time in machining. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(2), 233-240.
- Lee, G. M., & Gao, X. (2021). hybrid approach combining fuzzy C-means-based genetic algorithm and machine learning for predicting job cycle times for semiconductor manufacturing. *Applied Sciences*, 11(16), 7428.
- Li, S., Li, Y., Liu, Y., & Xu, Y. (2007). A GA-based NN approach for makespan estimation. *Applied Mathematics and Computation*, 185(2), 1003-1014.
- Lin, Y. H., Shie, J. R., & Tsai, C. H. (2009). Using an artificial neural network prediction model to optimize work-in-process inventory level for wafer fabrication. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3421-3427.

- Lingitz, L., Gallina, V., Ansari, F., Gyulai, D., Pfeiffer, A., Sihm, W., & Monostori, L. (2018). Lead time prediction using machine learning algorithms: A case study by a semiconductor manufacturer. *Procedia Cirp*, 72,, 1051-1056.
- Mehrotra, K., Mohan, C. K., & Ranka, S. (1997). *Elements of artificial neural networks*. MIT press.
- Okubo, H., Weng, J., Kaneko, R., Simizu, T., & Onari, H. (2000). Production lead-time estimation system based on neural network. *Proceedings of Asia-Pacific Region of Decision Sciences Institute*.
- Öztürk, A., Kayaligil, S., & Özdemirel, N. E. (2006). Manufacturing lead time estimation using data mining. *European Journal of Operational Research*, 173(2), 683-700.
- Raaymakers, W. H., & Weijters, A. J. (2003). Makespan estimation in batch process industries: A comparison between regression analysis and neural networks. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 14-30.
- Sajko, N., Kovacic, S., Ficko, M., Palcic, I., & Klanecnik, S. (2020). Manufacturing lead time prediction for extrusion tools with the use of neural networks. *anagement and Production Engineering Review*.
- Schneckenreither, M., Haeussler, S., & Gerhold, C. (2021). Order release planning with predictive lead times: a machine learning approach. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3285-3303.
- Sharma, S., Sharma, S., & Athaiya, A. (2017). Activation functions in neural networks. *towards data science*, 6(12), 310-316.
- Silva, C., Ribeiro, V., Coelho, P., Magalhaes, V., & Neto, P. (2017). Job shop flow time prediction using neural networks. *Procedia Manufacturing*, 11, 1767-1773.
- Susanto, S., Tanaya, P. I., & Soembagijo, A. S. (2012). Formulating standard product lead time at a textile factory using artificial neural networks. *2nd International Conference on Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering* (s. 99-104). IEEE.

- Suzuki, K. (2011). *Artificial neural networks: methodological advances and biomedical applications*. InTech.
- Tremblet, D., Thevenin, S., & Dolgui, A. (2022). Predicting makespan in Flexible Job Shop Scheduling Problem using Machine Learning. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1-6.
- Weichert, D., Link, P., Stoll, A., Rüping, S., Ihlenfeldt, S., & Wrobel, S. (2019). A review of machine learning for the optimization of production processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(5), 1889-1902.

EK 1

Çalışmaya konu olan ürünün ürün ağacı



EK 2

Matlab R2022a bilgisayar programı ile yapılan denemeler için yazılan kod

```
% Erdem Baltacı; en iyi YSA modelleri için yazılan MATLAB kodu

format short g

% data - girdi

% gerceklesen - hedef değer

x = data';

t = gerceklesen';

hiddenLayerSize = 1:10; % gizli tabaka nöron sayısı 1 ile 10 arasında değiştirilmiştir.

sonuc=zeros(10); % sonuclar matris formatında gösterilsin

for hiddenLayerSize=hiddenLayerSize % gizli tabaka sayısına göre for döngüsü

i=1:10; % her bir mimari yapı 10 defa test edilecektir.

for i=i

trainFcn = 'trainlm'; % 3 farklı öğrenme algoritması denenmiştir:LM, PB, SCG

net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn); % seçilen mimari yapı ve öğrenme algoritması ile
YSA kurulması

net.layers{1}.transferFcn = 'tansig'; % gizli tabaka aktivasyon fonk.:hiperbolik tanjant

net.layers{2}.transferFcn = 'purelin'; % çıktı tabaka aktivasyon fonk.:lineer transfer

% Verinin eğitim, doğrulama ve test kümelerine ayırım yüzdeleri

net.divideParam.trainRatio = 90/100;

net.divideParam.valRatio = 5/100;
```



```
net.divideParam.testRatio = 5/100;

% YSA nın eğitilmesi

[net,tr] = train(net,x,t);

% YSA nın test edilmesi ve performans değerinin hesaplanması

y = net(x);

e = gsubtract(t,y);

performance = perform(net,t,y);

sonuc(hiddenLayerSize,i) = performance; %tüm sonuçların yazdırılması

end

sonuc

end

sonuç
```

EK 3

Senaryo sonuçlarına ulaşmak Matlab R2022a bilgisayar programı ile yazılan kod

% Erdem Baltacı; Senaryo sonuçları için yazılan MATLAB kodu

format short g

%ürün ağacının her kademesi için girdi ve hedef değerleri ayrı ayrı modele tanıtılmıştır.

x = kademe1input';

t = kademe1output';

% 10 defa çalıştırılma sonrasında elde edilen sonuçlar matris formatında gösterilsin.

sonuc=zeros(1,10);

hataMSE=zeros(1,10); % performans göstergesi olarak MSE kullanılmıştır.

ToplamGecikmeGun=zeros(1,10);

Toplamgecikme=zeros(10,1);

i=1:10; % 10 deneme yapılsın

k=1:372; % gecikme hesaplama indisi

for i=i

trainFcn = 'trainlm'; % öğrenme algoritması

hiddenLayerSize = 10; % gizli tabaka nöron sayısı

net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn); % YSA modeli kurulması

net.layers{1}.transferFcn = 'tansig'; % gizli tabaka aktivasyon fonk.:hiperbolik tanjant

net.layers{2}.transferFcn = 'purelin';% çıktı tabaka aktivasyon fonk.:lineer transfer

% Verinin eğitim, doğrulama ve test kümelerine ayırım yüzdeleri

```

net.divideParam.trainRatio = 90/100;

net.divideParam.valRatio = 5/100;

net.divideParam.testRatio = 5/100;

% YSA nın eğitilmesi

[net,tr] = train(net,x,t);

% YSA nın test edilmesi ve performans değerinin hesaplanması

y = net(x);

e = gsubtract(t,y);

performance = perform(net,t,y);

sonuc(1,i) = performance; % hata değerinin kayıt altına alınması

tahmin = kademe1senaryo1'; % her seviye için belirlenen senaryolar dahilinde tedarik
süresi tahmini

senaryosonuc = net(tahmin);

fprintf('%d .tahmin sonuçları:\n',i);

senaryosonuc'

% MSE hesaplaması

Fark = senaryosonuc' - kademe1senaryo1(:,374);

hataMSE(1,i) = sum (power((senaryosonuc' - kademe1senaryo1(:,374)),2))/372

%toplam gecikme günü hesaplaması, o seviyede bulunan tüm hammaddeler için

for k=k

    if Fark(k,1)>0

```

```
Toplamgecikme=Toplamgecikme+Fark(k,1);
```

```
end
```

```
end
```

```
ToplamGecikmeGun(1,i)= Toplamgecikme(1,1)
```

```
M(1,i)= max(Fark) % en büyük gecikmeye sahip hammaddenin gecikme süresi
```

```
Toplamgecikme(1,1)=0;
```

```
k=1:372;
```

```
Fark=0;
```

```
end
```

```
sonuc
```