

BİDGE Yayınları

Mühendislikte İnovatif Yaklaşımlar

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Hüsnü AYDEMİR

ISBN: XXXXXX

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2023

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Kıymetli okuyucularımız,

Değerli araştırmacılarımız tarafından hazırlanan “Mühendislikte İnovatif Yaklaşımlar” adlı kitabımızda günümüz mühendislik çalışmalarına katkı sunacak yenilikçi araştırmaları bir araya getirmiş bulunuyoruz. Dünya çapındaki endüstrinin hızlı gelişimine paralel olarak yenilikçi tasarım ve üretim süreçlerinin geliştirilmesi bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün maliyetlerin azaltılması, birim zamandaki üretimin artırılması ve enerjinin verimli kullanımı mühendislik çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Kullanılmakta olan ürünlerden beklentilerin artmasıyla yeni dizaynların araştırılması süreci hız kazanmıştır. Bu eserde mühendislik alanındaki son gelişmeleri takip eden yeni uygulama, modelleme ve nano boyutta yüzeylerle ilgili çalışmalar yer almaktadır. Elde edilen veriler ile yapılan analizler değerlendirilerek sonuçlara ulaşılmıştır.

Çalışmamızın mühendislik alanına yapacağı katkının önemli olacağını ve yeni çalışmalara ışık tutacağı kanısındayım. Kitaba katkıda bulunan araştırmacılarımıza ve yayın ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Hüsnü AYDEMİR

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	4
Gıda Sektöründe Multidisipliner Yaklaşımlar: Bir, Çok Kriterli Karar Verme (Çkkv) Uygulaması.....	6
Adnan ABDULVAHİTOĞLU	6
Şanlıurfa İlindeki İşletmelerin Endüstri 4.0, İnovasyon Ve Dijital Dönüşüme Yaklaşımını Etkileyen Faktörlerin Crt Karar Ağacı İle Modellemesi.....	63
Gencay SARIŞIK.....	63
Ahmet Sabri ÖĞÜTLÜ	63
Nanoliflerde Elektroegirme Süresinin Hava Geçirgenliği Ve Gözenekliliğe Etkisi	87
Hüsnü AYDEMİR	87
Müslüm EROL	87

Yalın Üretim Teknikleri ve Süreç İyileştirme: Enerji Sektöründe Bir Uygulama	111
Bahar Özyörük	111
Bir Üretim Firmasında Süreç İyileştirme Çalışmaları	128
Ediz ATMACA	128
TOPSIS ve AHP Yöntemleri ile Hemşire Seçimi ve Sıralanması	154
Esra Pamuk ÜNAL	154
Bahar ÖZYÖRÜK	154
Evde Aşı Hizmeti İçin Bir Karar Destek Sistemi Tasarımı	167
Zeki Umut CİNDİLOĞLU	167
Bahar ÖZYÖRÜK	167
A novel multi-objective mathematical model for the placement problem of electric vehicle charging stations	184
Gülçin DİNÇ YALÇIN	184
Production and Characterization of Microcapsules Containing Three-component Thermochromic System with Chitosan/sodium alginate Walls Capable of Temperature-sensitive Reversible Color Change	197
Sena DEMİRBAĞ GENÇ	197
Müyesser Selda TÖZÜM	197
Sennur ALAY AKSOY	197

BÖLÜM I

Gıda Sektöründe Multidisipliner Yaklaşımlar: Bir, Çok Kriterli Karar Verme (Çkkv) Uygulaması

Adnan ABDULVAHİTOĞLU¹

Giriş

Gıda ve gıda güvenliği toplumlar için insanlık tarihi boyunca stratejik bir konu olarak süregelmiştir. Ülkeler 21'nci yüzyıla kadar başta temel gıda maddeleri olmak üzere gıda konusunda kendi kendilerine yeterli olmaya çalışmışlardır. Ancak hızla küreselleşen dünyada yaşanan hızlı iklim değişikliği gıdada kendi kendine yeterlilik algısını, gıda güvenliğinin sağlanması ve gıda teminin güvence altına alınması şeklinde değiştirmiştir. Kendi kendine yeterlilik ülkelerin gıda tüketimin hangi oranda ulusal üretimle karşılandığını ifade etmesine karşın yeterliliğin sağlanması ülkede yaşayan tüm bireylerin yeterli ve dengeli beslendiği anlamına gelmemektedir. Bireylerin gıdaya erişiminin de göz önüne alınması gerekmektedir. Bu yüzden 21'nci yüzyılda gıda algısı kendi kendine yeterlilik yerine gıda güvenliği çerçevesinde ele alınmaktadır.

¹ Doktor, Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademisi, abdulvahitoglu@gmail.com

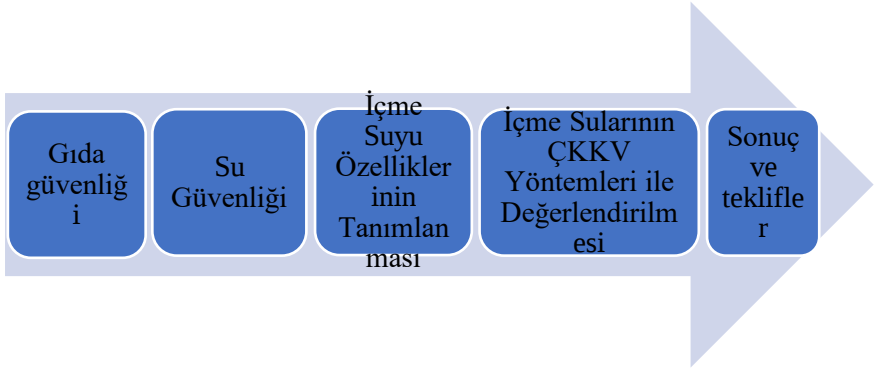
Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), bir ülkede veya belirli bir bölgede yaşayan bireylerin tamamının aktif ve sağlıklı bir yaşam sürmeleri için ihtiyaç duydukları veya tercih ettikleri besin ihtiyaçlarına, yeterli, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde fiziksel ve ekonomik olarak erişebilmelerini gıda güvenliği olarak tanımlamaktadır. Ayrıca bu gıda ihtiyaçlarının sağlığa zararlı maddelerden arındırılmış olarak kaliteli bir şekilde edinebilmesi de gıda güvenliğini doğrudan ilgilendirmektedir. Bu doğrultuda hızla yoğunlaşan gıda sektörü, küreselleşen dünya gıda pazarı dev uluslararası şirketlerin ilgi alanına girerek zorlu ve baskıcı bir rekabet ortamının yaşanmasına sahne olmaktadır. Bu uluslararası firmaların gıda üretim, imalat, perakende ve pazarlama sektöründeki hâkimiyetleri, küçük ve gelişmekte olan ülkelerdeki yerel üreticileri; teknolojik gelişmeler, ürün çeşitlendirmeleri, pazarlama, gıda hammaddelerine erişim konularında rekabet edemez duruma düşürmektedir. Bu yüzden yerel üreticilerin ve yerel ürünlerin gıda pazarlarında yer alabilmeleri her geçen gün daha fazla zorlaşmakta olup, ülkelerin geleceği için hayati öneme sahip olan gıda güvenliği ve güvencesi konusunun bir devlet politikası haline getirilerek yerel Küçük ve Orta Ölçekli İşletme (KOBİ)'lerin desteklenmesi zaruretin ötesine geçmektedir.

Gıda söz konusu olduğu zaman su ve su kaynaklarının zamanla azalması, kirlenmesi, bununla birlikte dünya nüfusu ile su ihtiyacının sürekli artması su güvenliğini gıda güvenliği kavramı içerisinde en önemli unsurlardan biri haline getirmektedir. Yaşam, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal gelişme açısından su, vazgeçilmez bir özelliğe sahiptir. Bunun bilincinde olan uluslar su kaynaklarının kendi gelecekleri için sürekli kontrol altında bulundurmaya istemekte, başta küresel şirketler olmak üzere birçok yerel işletme de suyu ticari bir meta olarak ele almakta ve ekonomik kazanca dönüştürmektedir. Bu hali ile su ve su kaynaklarının güvenliği ve kontrolü gıda, ekonomik ve çevre güvenliği kavramların tam merkezinde yer almaktadır.

Su kıtlığı yaşanan bir coğrafyada yer alan Türkiye Fırat, Dicle, Kızılırmak, Yeşilırmak, Seyhan, Ceyhan ve Sakarya gibi

büyük nehirleri ile su kaynakları bol bir ülke izlenimi vermektedir. Ancak küresel iklim değişikliğinin sebep olduğu kuraklık, hızlı artan nüfusun su ihtiyacı ve tarımsal alanda kullanılan su miktarının sürekli artması ile Türkiye’de kişi başına düşen su miktarı kritik sınırın altına düşmüştür. İlerleyen yıllarda kuraklık ve su yeterliliği sorununun daha da derinleşmesi beklenmektedir. Bu bağlamda paketlenmiş su pazarında yer alan küresel ölçekli firmalar ile birlikte yerel firmaların sayısı her geçen gün daha da artmasına rağmen su pazarının büyümeye hızlanarak devam edeceği öngörülmektedir.

Tüketiciler kullandıkları su markalarının üzerinde yazan mineral değerlerine bakarak veya ekonomik olarak fiyatına bakarak marka seçimi yapmaktadır. Marka seçiminde çok fazla faktör etkili olmakla beraber birçok tüketici pH değerine bakarak karar verme eğilimi göstermektedir. Sadece bu değer değil suyun içerisinde bulunan minerallerin de insan hayatı için vazgeçilmez etkileri bulunmaktadır. Ancak su ambalajların üzerinde ki etiketlerde bir standartlık bulunmamakta, tüketiciler bu etiketleri karşılaştırarak bir değerlendirme yapmakta zorlanmaktadır. Ayrıca mevsimsel olarak veya değişik markaların değişik coğrafi bölgelerde bulunan farklı su kaynaklarından paketleme yapmaları, tüketilen suyun mineral değerlerinin de üretimden üretime değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle birden fazla özelliği olan su markalarını konunun önemi anlatmak ve tüketicilerde tercihlerini değerlendirmede bilinçlenmelerini sağlamak maksadıyla Türkiye’de üretim yapan 10 adet yerel ve küresel firma markalarının su özelliklerinin Çok Kriterli Karar Verme (ÇÇKV) yöntemleri ile karşılaştırılarak değerlendirildiği bir model oluşturulmuştur. Böylece tüketicilere tercihlerini değerlendirmede karar desteği oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışmanın aşamaları aşağıda Şekil 1.’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın Aşamaları

Gıda Güvenliği

Tarımsal alanda özellikle gıda sektöründe yapılan üretim, insan sağlığı, çevre ve ekonomiyle doğrudan ilişkili olduğu için ülkeler ve çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından yoğun olarak ele alınan bir konudur. Dünya genelinde gıda güvencesi ve güvenliği stratejileri belirlenirken, mevzuat düzenlemeleri ve hükümet politikalarında gıda teminin güvenliği ve gıda güvencesinin bütünleştirilmesine özen gösterilmektedir.

Günümüzde, bir dizi sorunun birleşmesi sonucunda gıda güvenliği ve güvencesi ciddi şekilde tehdit altındadır. Bu yüzden dünya genelinde yapılacak işbirliği ile alınacak önlemler, gıda güvencesi ve güvenliğinin temini için zorunlu hale gelmiştir. Aksi halde, önümüzdeki yıllarda sürdürülebilir, yeterli, sağlıklı ve güvenli gıda ve gıda kaynaklarına erişim zorlaşacak, hastalıklar ve toplumsal açlık durumları hızla yayılmaya başlayacaktır.

Türkiye'de gıda güvenliği, rekabetin ve rekabetin devam ettirilebilmesi amacıyla bazı kalite kontrol ve yönetim sistemleri oluşturulmuş olup, yapılan tüm işlemler bu temel üzerinde inşa edilmektedir. Bu sistemler arasında, Uluslararası Standardizasyon Örgütü'nce oluşturulmuş "ISO 9000 Kalite Standartları" ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nce 1960 yılında oluşturulmuş "Türk Standardı" öne çıkmaktadır. TSE tarafından gıda güvenliği

konusunda oluşturulmuş TS 13001 Standardı ise uluslararası ortamda kullanılan bir risk analizi ve değerlendirme yöntemi "Kritik Kontrol Noktalarında Tehlike Analizi (HACCP)" prensiplerine dayanmaktadır.

HACCP bir kantitatif risk analiz tekniği olarak kullanılan ve özellikle yiyecek ve içecek endüstrileri için geliştirilen bir metottur. Gıda sektöründe risk değerlendirme ve risk yönetimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir (Altun, 2021; Özçakmak vd., 2017; Onbaşı ve Çınar, 2021).

i. İnsan sağlığına etkisi olan biyolojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik tehlikelerin HACCP yönteminde hassasiyetle dikkate alınması, tehlikelerin tespiti ve kontrolü açısından büyük önem taşır.

ii. Analiz yapılırken tespit edilen tehlikeleri ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla belirlenen kritik kontrol noktaları, üretim sürecinde kontrol edilmesi gereken kritik aşamaları temsil eder.

iii. HACCP aynı zamanda kabul edilebilir ve kabul edilemez tehlike sınırlarını belirleyerek, tehlikelerin bu limitler arasında kalmasını öngörür. Bu özelliğiyle metot, ölçülebilir ve kantitatif bir yaklaşım benimser.

iv. HACCP, yiyecek ve içecek endüstrileri gibi teknoloji yoğun sektörlerde, ürün güvenliğini sağlamak ve potansiyel riskleri minimize etmek için etkili bir araçtır. İnsan sağlığının korunması ve kaliteli üretimin temini açısından önemli bir rol oynamaktadır.

Bu kapsamda ABD Gıda ve Tarım Dairesi (FDA)'nce 1960 yılında geliştirilen, NASA ve Amerikan Ordusu Araştırma Laboratuvarları tarafından ABD uzay programları kapsamında kullanılan bu yöntem, daha sonra 1974 yılından itibaren detaylandırılarak uygulanmaya başlanmıştır. HACCP 1988-1995 yılları arasında batılı ülkeler genelinde kabul görmüş (Koç vd., 2008) olup, uygulaması yedi aşamadan oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıda belirtilmiştir (Unnevehr ve Hirschhorn, 2000).

i. Üretim sürecinde potansiyel tehlikelerin değerlendirilmesi ve önlemlerin tanımlanması için uygulanacak adımlar belirlenir ve listelenir.

ii. Süreçteki, kontrol altında tutulmaları gereken kritik aşamaları temsil eden kritik noktalar tanımlanır.

iii. Her kritik nokta için kritik limitler belirlenmelidir. Bu limitler, kabul edilebilir ve kabul edilemez durumlar arasında sınırların açık ve net olarak belirlenmesini ve kontrol noktalarında uygun önlemlerin alınmasını sağlar.

iv. Sürekli olarak kontrol edilmesi gereken parametrelerin belirlenmesine yardımcı olacak her kritik kontrol noktasının takibi için prosedürler belirlenir.

v. Kritik kontrol noktalarında limitlere uyulmadığı durumlarda düzeltici faaliyetlerin tanımlanması gerekir. Bu faaliyetler, sorunları düzeltmek ve yeniden uygun koşullara dönmek için atılacak adımları içerir.

vi. Süreçteki önemli adımların kaydedilmesini ve izlenebilirliği sağlayabilmek için HACCP sistemi içerisinde bir kayıt sistemi oluşturulur.

vii. HACCP sisteminin doğru çalışmasını sağlamak için tanımlayıcı prosedürler oluşturulur. Bu prosedürler, HACCP sisteminin uygulanması ve sürekli iyileştirilmesi için rehberlik eder.

Gıda güvenliği, sürdürülebilir ve sağlıklı gıda üretiminin tesisi maksadıyla gıdaların üretim, işleme, muhafaza, nakliye ve pazarlama faaliyetlerinde uyulması gereken kuralların ve alınması gereken önlemlerin tanımlandığı bir kavramdır. Gıda güvenliği, ürünlerin üretildikleri an itibarıyla başlayarak yukarıda belirtilen faaliyetler ile birlikte hazırlama ve pişirme gibi süreçler boyunca biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikelerden korunarak tüketici güvenliğinin sağlanmasıdır. Bu nedenle, gıda tedarik zinciri boyunca izlenmesi ve kontrol edilmesi son derece önemlidir.

Gıda güvenliği, tüm ülkeler için en önemli konulardan biri olarak kabul edilmektedir. Ancak, çevresel ve sosyal sorunlar, güvenli gıdaya erişimi engelleyen faktörler arasında yer almaktadır. Tüketiciler, gıda güvenliğinin son halkası olarak büyük bir rol oynamaktadır. Bu sebeple, tüketicinin satın alma gücü ve bilinç düzeyi, gıda güvenliğini sağlamaya yönelik temel faktörlerdir. Maalesef, birçok tüketici düşük alım gücüne ve düşük eğitim seviyesine sahip olduğu için tüketici bilincinin oluşması zorlaşmaktadır. Bu durum, sağlıksız ve düşük kaliteli gıdalar üreten işletmelerin artmasına yol açmaktadır (Onurlubaş ve Gürler, 2016).

Gelişmekte olan ülkelerde, hızla artan gelir düzeyi, artan nüfus ve kentleşme gibi sosyo-ekonomik faktörlere bağlı olarak gıda tüketim alışkanlıkları sürekli değişmektedir. Bu değişim, tarımsal üretim sistemleri ile gıda üretim teknolojilerinin hızla gelişmesine katkı sağlarken, aynı zamanda tarım sektöründe ve gıda üretim zincirinin farklı aşamalarında kullanılan suyun kalitesini etkileyerek su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir. Bu durum, gıda güvenliği ve insan sağlığıyla ilişkin konuların ihmal edilmesine yol açabilir (Jawahar vd., 2009). Bu bağlamda su güvenliğinin de ayrıca ele alınması gerekmektedir.

Su Güvenliği

Günümüzde, şehirlerin birçoğunun su kaynakları ve bu kaynaklarının yönetimi konusunda karşılaştığı zorluklar hayati öneme sahiptir. Kentlerin su yönetimi, şehirleşmeyi ve su havzalarının yönetimini aynı eksen üzerinde ele alarak sürdürülebilir ekonomik, sosyal ve çevresel hedeflere ulaşmaya çalışmaktadır. Bu bağlamda arazi kullanımı, ekonomik kalkınma, su temini, arıtma, yağmur suyu ve atık su yönetimi gibi konular birlikte ele alınmalıdır. Şehirlerin su yönetimi çalışmalarında, planlama aşamasında arazi, konut, enerji ve ulaşım gibi diğer sektörlerle bütünleşme hedeflenir. Böylece kamusal farkındalık oluşturmaya katkı sağlanırken ve hükümetlerin karar alma süreçlerinde bölünme veya tekrar edilen faaliyetler engellenmiş olur.

Kentsel su güvenliğini sağlamak birçok ülkede oldukça zorlu bir görevdir. Az sayıda çalışma bölgesel düzeyde su güvenliğini değerlendirirken, birçok çalışma ise kentsel düzeyde başarı elde etmek için ölçümlerin uygulanması ve su güvenliğinin değerlendirilmesi konusundaki eksikliklere dikkat çekmektedir.

Evsel su kaynaklarının varlığı ve çeşitliliği, su ve enerji sistemlerinin erişilebilirliği, ekonomiklik ve verimlilik gibi faktörlerle birlikte, su kalitesi, yeterlilik ve eşitlik gibi diğer kaynaklara bağımlılığı da dikkate alarak değerlendirilmelidir. Tuzdan arındırma, tekrar kullanım ve yağmur suyundan faydalanma gibi çeşitli yöntemler, su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlayabilir. Bu analizler, su ve enerji sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılmasını, kaynakların adil ve verimli bir şekilde dağıtılmasını ve çevresel etkilerin minimize edilmesini amaçlar.

Ancak iklim değişikliğinin olumsuz etkileri artık açıkça görülmekte ve doğal kaynak sularının güvenliği devletlerin geleceği için doğrudan bir tehdidi oluşturmaktadır. Su, tüm canlıların hayatta kalması için temel bir gereklilik olmasının yanı sıra, ekonomik, sosyal ve kültürel gelişme için de vazgeçilmezdir. İklim, çevre, enerji, ekosistem ve gıda güvenliğinin sağlanmasının önkoşulu suyun varlığıdır. Ancak, hızla artan dünya nüfusu paralel olarak ekonomideki gelişmeler, su talebini artırırken zaten sınırlı olan tatlı su kaynaklarını tehdit etmektedir. Sınırlı kaynaklarla sınırsız bir büyüme hedefi, su başta olmak üzere tüm doğal kaynakların aşırı kullanılmasına yol açmaktadır. Su kaynaklarının korunması konusunda toplumda yeterli bir farkındalığın oluşmaması, hızlı şehirleşme, tarım ve sanayi sektörlerin neden olduğu kirlilik, su kaynaklarının birçoğunun kullanılamaz hale gelmesine ve birçok kaynağın ciddi bir tehdit altında olmasına yol açmaktadır (Tuğaç, 2014). Kentsel bölgelerde olduğu kadar, kırsal alanlardaki faaliyetler de çevreyi kirlletmektedir ve bu da iklim değişikliğine ve su kaynaklarının zarar görmesine yol açmaktadır.

İklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkilerin ulusal sınırları aşması, küresel düzeyde bir güvenlik tehdidi oluşturmaları kaçınılmaz hale getirmiştir. Ancak, ilginç bir şekilde uluslararası ortamda başta petrol olmak üzere enerji kaynakları, ekonomi, güvenlik gibi alanlarda sık sık krizler yaşanmasına rağmen, su krizi yakın zamana kadar yeterince dikkat çekmemiştir (Kılıç, 2008). Oysa çevresel güvenliği tehdit eden ve ülkeler arasında potansiyel çatışmalara yol açabilecek en muhtemel sorun kaynağının su olması kaçınılmaz bir sonuçtur (Dixon, 2013). Bu sorun Türkiye’de de derinden hissedilmektedir. Şehirleşme, arazi kullanımındaki değişimler ve küresel ısınma sonucu doğal afetlerdeki artış, tatlı su kaynaklarına ulaşım, miktarı ve kalitesi üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Türkiye’de, şehirlerinin nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte su talebi de artmaktadır.

Günümüzde, dünyadaki nüfus artışının hızı birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Nüfusu kontrol edilemez bir şekilde çoğalan dünyanın enerji, gıda ve su taleplerini karşılamak, en önde gelen zorlukları oluşturmaktadır. Nüfus artışı ve beraberinde gelen sorunlar, özellikle iklim değişikliği gibi 21. yüzyılda ortaya çıkan küresel çevresel değişikliklerin yaratmış olduğu sorunlarla birleştğinde, su konusu çok boyutlu bir problem olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde su ve suyla bağlantılı sorunlar, global anlamda en kritik konular arasında yer almaktadır (Tzanakakis vd., 2020). 2000 yıllara 6,1 milyar olarak giren dünya nüfusu, 2023 yılında 7 milyar 924 milyon kişi ile 8 milyara yaklaşmıştır (Milliyet, 2023).

Tatlı su kıtlığı, içme suyuna erişim güvenliğini, hijyen ve halk sağlığını, çevre kirliliğini ve gıda güvenliğini doğrudan etkilemektedir (Taylor, 2009). 2002 yılında icra edilen BM Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi’nde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda güvenli su kaynaklarına erişim en temel husus olarak ön plana çıkmıştır. Su ve su kaynaklarının etkili ve verimli kullanımı, dünyada yaşamın sürdürülebilirliği açısından olduğu kadar yoksulluğun azaltılmasında da önemli bir rol oynar. Çünkü temiz suya erişim, tüm

canlı hayatı ve yaşam kalitesinin yeterliliği açısından gerekli bir önceliktir.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yaşanan nüfus artışı, kentleşme ve ekonomik gelişmeye yönelik hedeflerin neden olduğu aşırı su tüketimi, su kaynaklarının yeterliliği açısından yaşanan sıkıntıları önemli ölçüde artırmaktadır. Tarımsal alanlarda tüketilen su miktarının toplam su tüketimi içinde yüksek bir payı bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, artan içme-kullanma suyu talebi, enerji ve inşaat sektörlerindeki su tüketimiyle birleştiğinde, 2008 yılında 44 milyar m³ olan yıllık su tüketimi, 2021 yılı sonunda 57,73 milyar metreküpe ulaşmıştır. Bu miktarın 44 milyar metreküpü sulama amaçlı kullanılmakta, 13,73 milyar metreküpü ise içme-kullanma suyu ve sanayi suyu ihtiyaçlarını karşılamaktadır. (DSİ, 2023).

Bu kapsamda uzmanlarca genel olarak kabul edilen bir ölçeye göre, kişi başına düşen su tüketimi için yıllık 1000-1700 m³ aralığı su kıtlığının başlangıcı olarak görülmektedir. Türkiye'de yıllık kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı her geçen gün daha fazla azalmaktadır. 2000 yılında 1652 m³ olarak ölçülen bu değer, 2009 yılında 1544 m³ ve 2020 yılında ise 1346 m³ olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Türkiye'nin su kıtlığı yaşayan ülkeler arasında yer aldığını göstermektedir (Sarış, 2021). Bu yüzden paketlenmiş su pazarı halen doymamış ve bu pazarda yer alan işletme sayılarındaki artış devam etmektedir.

Ayrıca gıda maddelerinin satışının daha çok zincir marketlere ve alışveriş merkezlerinde bulunan büyük marketlere yönelmesi, gıda malzemelerinin zorunlu olarak paketlenerek sunulması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Gıdaların tazeliklerinin ve kalitelerinin korunması için yapılan bu paketler etiketlerinde yazan ürün özellikleri ile tüketicilerin bilgileneşine de katkı sağlamaktadır. (Öksüztepe ve Beyazgül, 2015). Bu nedenle hazır gıda tüketimi ile birlikte paketlenmiş su tüketimi ve ürün olarak su çeşitleri hızla artmaktadır.

Küresel düzeydeki su kriziyle ilgili tüm veriler, mevcut durumun her geçen daha kötüye gittiğini ve düzenleyici önlemler alınmadığı takdirde su sorununun daha da artacağını göstermektedir. Kullanılabilir su projeksiyonlarına göre, artan su ihtiyacıyla birlikte azalan temiz su kaynakların ölçek olarak 2030 yılında kesişmektedir. Bu durum, 2030'lı yıllardan itibaren dünya genelinde küresel bir su krizi ortaya çıkacağını açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu durum paketlenmiş içme su pazarının öneminin daha da artacağını göstermektedir.

İnsanlar, yaşamlarını sürdürebilmek için kullanılabilir özellikte suya ihtiyaç duyarlar. Ancak içme suyu kalitesi değerlendirilirken, içme suyunun kokusuz, berrak, tatsız ve içimi yumuşak olması gibi bazı özellikleri göz önünde bulundurulurken, suyun içerisinde bulunabilecek mineraller ile koliform bakteri vb organik ve inorganik birçok özellik göz ardı edebilmektedirler. Ayrıca bazı kirletici maddeler üzerinde de yeterince durulmadığı göze çarpmaktadır. Birçok arıtma tesisi, temel kirletici parametreleri dikkate alarak arıtma işlemini gerçekleştirmektedir. Ancak örneğin sentetik mikro kirleticiler gibi bazı kirleticiler, bu arıtma işlemleriyle göz ardı edilebilmektedir. Bu tür kirleticilerin sudan arındırılması için daha ileri arıtma tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu yüzden temiz su tüketme kaygısı taşıyan insanlar arasında, şişe ve damacanalarda satılan sular giderek artan bir tercih haline gelmiştir. Bu sular, kaynak suları veya arıtılmış sular olabilir. Ancak damacana suları değişik sağlık riskleri taşımaktadır. Dolum esnasında mikrobiyolojik güvenlik yeterince sağlanamadığında sağlık açısından sakıncalı olan bakterilerin su içinde çoğalmasına sebep verilebilir. Paketlenmiş sular tüketicilere ulaştırılana kadar güneş ışığına uzun süre maruz kalabilirler. Bu durum, organik maddelerin büyümesi veya çoğalması için uygun şartlar sağlarken aynı zamanda çoğunlukla plastikten yapılmış olan su paketlerinin içerdikleri kimyasalların suya geçmesine de yol açabilir. Özellikle yeniden kullanılan damacanalarda içerdikleri kimyasalların suya karışması daha kolay olmaktadır. Bu nedenle, su satan şirketlerin düzenli aralıklarla damacaneleri yenilemeleri ve paketlenmiş

sularının uzun süre güneş ışığına maruz kalmasını engellemeleri önem arz etmektedir.

Tüketicilerin bilinçli davranması, tercihlerini bilgi sahibi olarak yapmaları ve yasal denetim mekanizmalarının etkili bir şekilde işletilmesi, üreticilerin daha özenli davranmalarına katkı sağlayacaktır. İnsan vücudu yaklaşık olarak yüzde 70 oranında sudan oluştuğu göz önüne alındığında, yeterli miktarda ve nitelikte su tüketilmemesi böbrek yetmezliği gibi birçok sağlık sorununa neden olabileceği gibi fiziksel anlamda da güç kaybına yol açabilir. Suyun, içilebilir kalitede olması için tüm parametreler göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi ve gerekli arıtma ve paketlenme işlemlerinin sağlıklı olarak yapılması ve tüketim süresi boyunca uygun şartlarda muhafaza edilmesi, insan sağlığı açısından hayati bir öneme sahiptir.

İçme suyu ve insan refahı

19 yüzyılın ikinci yarısından itibaren teknoloji ve diğer alanlarda meydana gelen ilerlemeler, toplumsal yapıda önemli değişimlere yol açmış ve tüketim alışkanlıklarında önemli ölçüde dönüşümler meydana getirmiştir (Başaran, 2016). Yeni düzene uyum sağlamak amacıyla gelişen ve değişen alışkanlıklar, toplumları geleneksel yapılarından uzaklaştırmış, hazır gıda tüketiminde büyük bir artış yaşanmasına sebep olmuştur. Özellikle bazı şehir şebeke suları sağlıklı olmasına rağmen altyapının eski olması, su taşıyıcısında asbestli boruların kullanılması, su havzalarının kirlenmesi vb. sebeplerden dolayı musluk suyunun içme suyu olarak tüketimi azalırken, hazır paketlenmiş suların daha sağlıklı düşüncesiyle kullanımı ve tüketimi artarak devam etmektedir.

Birleşmiş Milletler, suyun insan hakkı olduğunu vurgulayarak, su kaynağının yeterli, sürekli, sağlıklı ve sürdürülebilir olması gerektiğini ifade etmektedir. (UNESCO, 2019). Su tüketiminin insan hayatının temel gereksinimlerinin birçoğunu karşıladığı ve sağlık sorunlarını minimum düzeye indirdiği bir durumu sağlamak için kişi başına günlük 50 ila 100 litre

suya ihtiyaç duyulduğu Dünya Sağlık rgt (WHO) tarafından belirtmektedir (Waldron, 2005).

Bir yetişkinin günlük olarak yaklaşık olarak 2 ile 2.5 litre arasında içme suyu tüketmesi gerekmektedir. İnsan vücudu kullandığı suyun yaklaşık 1.5 litresini idrarla, 500 mililitresini fark edilmeyen su kaybıyla, 350 mililitresini solunum yoluyla ve 50 mililitresini dışkıyla dışarı atmaktadır. Bu nedenle, sağlıklı bir yaşam için en az günlük kaybedilen su miktarı kadar su içilmesi gerekmektedir. Gıda maddesi olarak kullanılan su, renksiz, kokusuz, berrak ve doğal bir su tadına sahip olmalıdır. İçme suları, iyi bir çözücü olarak doğal kimyasal maddeleri içererek vücudun sağlıklı bir yaşam için ihtiyaç duyduğu kalsiyum, magnezyum, sodyum gibi temel mineralleri de içermesi gerekmektedir. Ancak nitrit, nitrat, organik madde, kimyasal maddeler, ağır metaller ve mikroplar gibi suyun içinde bulunan ve insan sağlığına zararlı olan maddeler, belirli sınır değerlerinde bulunmalı veya hiç bulunmamalıdır (Ertaş ve Sarımehtetoğlu, 2019).

Bu bağlamda günümüzde neredeyse eşme suyu içen kalmamıştır. Özellikle son zamanlarda içme suyu analiz değerleri ile ilgili çok fazla inceleme yapılmakta ve yayınlanmaktadır. Marka alışkanlığı, tüketimde esas belirleyici olmaktadır. Ancak acaba çok kaliteli diye bilinen markaların belirtilen yararlı mineral değerleri gerçekten yüksek mi? Veya bu minerallerin hangi değerler arasında olması insan sağlığı için daha önemlidir? Bilinçli tüketici bu tip sorgulamalarla sık sık karşı karşıya kalmaktadır. Bu yüzden tüketiciye karar desteği vermesi açısından değişik markaların etiketleri üzerinde yazan analiz değerleri üzerinden bir karşılaştırma yapılması ve bir model önerilmesi ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Türkiye’de onlarca içme suyu markası ülke genelinde veya yerel olarak tüketicilere sunulmaktadır. İlerleyen bölümlerde paketlenmiş içme suyu özellikleri ile ilgili Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Avrupa Birliği (AB) Standartları ve Dünya Sağlık rgt (WHO)’nun standartları da anlatılarak bir tüketici bilinci oluştırmaya çalışılacaktır. Bugün birçok şehir, su kaynakları ve yönetimi konusunda önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Sadece su

kaynaklarının yönetimi değil temin edilen suyun kalitesi de yaşam için önem arz etmektedir.

Su Kalitesi

Sanayi, Şehirleşme ve tarımsal faaliyetler sonucunda kirlenen tatlı su kaynaklarının ve rezervlerinin kendi kendilerini temizleme kapasitesi sınırlıdır. Su kıtlığının asıl kaynağı su kalitesindeki azalmadır. Yüzey suyu akışının hızlanması ve yağışın artması gibi faktörler, su kalitesindeki düşüşe neden olmaktadır. Bu durumda, su daha fazla miktarda madde, patojen ve kirleticileri taşıma eğilimi gösterecektir. Bu kirleticiler aslında kirlenmiş olan yer altı su rezervlerinde saklanmaktadır, ancak artan yağışlar bu kirleticilerin deşarj edilen sularla diğer su kaynaklarına geçişine neden olmaktadır.

Kuraklık koşullarının devam ettiği ve yeraltı su rezervlerinin azaldığı bölgelerde, sınırlı miktarda yeterli kalitede su bulunmaktadır. Bu husus, tuzluluk seviyesinin yüksek olması, kirli suyun yeryüzünün alt tabakalara geçerek yeraltı sularını kirletmesi veya kirletici oranı yüksek su kütlelerinin bu kirleticileri yüksek oranda su kaynaklarına taşımalarıyla açıklanabilir. Yağış ve akıştaki azalma ile su kaynaklarındaki durağanlık suyun kirlilik oranının artmasına yol açmakta, böylece su akış kanalları ve içme suyu kaynaklarında mikroorganizma sayısı da artmaktadır.

Su kalitesindeki düşüşün bir diğer sebebi de su sıcaklığındaki artıştır. Yükselen sıcaklık, bakteri ve mikrop popülasyonu için üreme imkanı sağlamakta bu husus ta insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ayrıca, sıcaklığa bağlı olarak ekosistemde bulunan diğer organizmalar da zarar görebilir. Su kütlelerinin sağlığı ve kalitesi, biyolojik bozulma ile başa çıkma ve sudaki çözülmüş oksijen seviyesini yenileme kabiliyetine bağlıdır. Su sıcaklığı arttıkça, suyun taşıdığı oksijen miktarı azalır. Bu nedenle, yağışlarla birlikte kirletici maddeler su kanallarına ve içme suyu rezervuarlarına taşınarak, tüketilen suya karışır. Bu husus yeterli

kaliteye sahip olmayan suların tüketilmesi ile insan sağığına olumsuz yönde etki yapar (Tuğaç, 2014).

Gıda maksatlı tüketimde özellikle içme suyu olarak kullanılan suyun genellikle renksiz, kokusuz, tatsız, berrak ve sağığına zararlı mikrobiyolojik ve kimyasal kirleticiler içermemesi gerekmektedir. Bununla birlikte içme suları uygun ve yeterli miktarda sağığı için gerekli mineraller içermelidir. İçme sularındaki kirleticiler, hem kısa hem de uzun vadede önemli sağığı sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle, içme suyu kalite faktörlerinin belirlenmesi için ulusal ve uluslararası düzeyde birçok standart oluşturulmuştur (Ertaş ve Sarımeahmetoğlu, 2019).

İdeal İçme Suyu Değerleri

Türkiye’de tüketime sunulan birçok markada yüksek seviyede Alüminyum (Al), Sodyum (Na), Amonyum (NH₄) gibi istenmeyen mineraller bulunmaktadır. Bunlar standartların üzerinde olsa bile üretim için izin alabilmekte ve satışa sunulabilmektedir. Bu yüzden tüketicilerin marka tercihinde bu oranlara dikkat etmesi gerekmektedir. Son zamanlarda sıklıkla pH değeri ön plana çıkarılarak marka reklamı yapılmaktadır. Oysa sağııklı veya faydalı bir içme suyu için tek şart pH değeri değildir.

Genel olarak bir içme suyunda bulunması istenmeyen mineraller aşağıda açıklanmıştır (Web, 2023; Web-a, 2014, Korkmazhaber, 2022).

Alüminyum (Al): İçme suyunda istenmeyen özelliklerden biridir. Ancak Türkiye’de çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Alüminyum değeri yüksek olan suların içilmesi tavsiye edilmemektedir. Tüketiliyorsa da değeri 200µg/L’nin altında olmalıdır.

Amonyum: İçme sularında değişik tat ve kokuların oluşmasına neden olur. Su kaynağı çevresinde hayvansal, endüstriyel veya gübre gibi tarımsal atık kullanıldığını veya bulunduğunu gösterir. Birçok içme suyunda özellikle musluklardan

akan sulara sıklıkla rastlanmaktadır. 100 ml suda 0,50 değeri altında olması tavsiye edilmektedir. İçme sularının bazıları fabrika kaynaklarına yakın bölgelerden çıkarılıyor olması doğal olarak olmasa bile fabrika atıklarından dolayı bazı kimyasal atık kirlenmelerine maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle el değmemiş doğal alanlardan getirilen veya çıkarılan içme suları tercih edilmelidir.

Sülfat: belirli miktarda alınması insan hayatı için faydalı olsa da içme sularındaki sülfat oranı 250'yi geçmemelidir. Ayrıca fazlasının suyun tadını bozduğu da bilinmelidir.

Florür: belirli bir oranda alınması kemik ve diş sağlığı açısından faydalıdır. Ancak gıda maksatlı kullanılan sulara fazla miktarda bulunması istenmez. Uzmanlar yüksek oranda florür bulunan suların florizis hastalığına sebep olabileceğini belirtmektedir.

Klorür: su ve su kaynaklarında çok yaygın karşılaşılan, fazlası tuzluluk hissi veren, başlıca iki şekilde suya karışan bir iyon türüdür. Su kaynaklarındaki tatlı ve tuzlu sularının bir araya gelmesi şeklinde veya idrar ve temizlik sularının bulaşması ile suya karışabilir. Toprakta doğal yollarla karışması ve 250 mg/l değerini aşmadığı sürece sağlığı olumsuz etkileyecek bir durum söz konusu değildir.

Koliform: koliform bir bakteri türüdür. Daha çok sıcakkanlı hayvanların bağırsaklarında yaşaması nedeniyle hayvanların fiziksel atıkları ile atılır. Su kaynaklarının çevresinde hayvan atığı varsa koliformların suya bulaşma ihtimali yüksektir. İçme sularında koliform değeri mutlaka 0 olması istenir.

Suyun pH değeri: içme sularının karşılaştırılmasında sıklıkla kullanılan bir değerdir. Sudaki asit oranını belirlemek için kullanılır. Yüksek pH değerine sahip olan içme suları daha çok oksijen bulundurur ve uzun süre tazeliğini korur. İnsan kanının pH değeri 7,30 ile 7,50 arasında değişmektedir. Bu yüzden içme suyu pH değerinin en az 7 olması tavsiye edilir. .

İletkenlik: iletkenlik değeri 2500'ü geçmemesi önerilir. Bunun üzerinde olması sağlık açısından son derece tehlikelidir.

Oksitlenebilirlik: organik maddelerinin suda çözünmüş şekilde bulunduğu oranı ifade eder. Suda bulunan organik madde miktarı arttıkça tükettiği oksijen de artar. Bu husus içme suyunun kalitesini düşürmektedir. İçme sularında 0,5 mg/l değerini aşmaması tercih edilmektedir.

Nitrat: Nitrat azotlu bileşiklerden olup, içindeki azotun suda kolaylıkla çözünmesi karıştığı su ve su kaynakları için risk barındırır. Tarımsal üretimde kullanılan kimyasallar, evsel atıklar ile endüstriyel atıklar yoluyla içme sularına veya su kaynaklarına kolaylıkla karışabilmektedir. Fazla nitrat alınımı insan kanındaki oksijeni azalttığı açısından özellikle bebeklerinin sağlığı açısından önem arz etmektedir. 45 mg/l değerinin altında bulunması istenmektedir.

Magnezyum: kemik ve kas sağlığı için önemli olan minerallerden biridir. Bir insanın günlük ortalama 200 ile 400 mg alması gerekir. Normal değerlere sahip bir içme suyundan gümde 2-3 litre içilmesi durumunda bu ihtiyaç karşılanabilmektedir. Ama bazı sularda bu değerler çok düşüktür. En kolay edinimi su ile olduğu için magnezyum değeri yüksek içme sularının seçilmesi tavsiye edilmektedir.

Potasyum: vücutta bol miktarda bulunan ve diğer besin maddeleri ile kolaylıkla alınan minerallerden biridir. Tek başına bir işlevi yoktur. Sodyum ile birlikte değerlendirilir. Fazlası risklidir. Bu yüzden içme sularında maksimum 12 değerinde olması istenir.

Değişik değerlendirme esaslarına göre içme suyunun kalitesini belirleyen içindekilere ait parametre değerleri aşağıda Çizelge 1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. İçme suyunun kabul edilebilir maximum parametre değerleri (Web-b, 2023).

Sıra Nu.	Standartlar:	TSE 266 Türk Standartları Enstitüsü	EC Avrupa Birliği Standartları	WHO Dünya Sağlık Örgütü Standartları
Mikrobiyolojik EMS/100ml.				
1	Koliform bakteri	0	0	0
2	Esherichia Coli (E.Coli) max.	0	0	0
3	Toplam Kloloni sayısı (22C ⁰) max	20	20	20
4	Toplam Kloloni sayısı (37C ⁰) max	5	5	5
5	C.Perfringers değerleri max.	0	0	0
6	Pseudomonas Aeruginosa değ. max.	0	0	0
Kimyasal Değerler mg./Litre				
7	pH değeri min-max	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5
8	İletkenlik 20° (uS/cm) max	2500	2500	2500
9	Nitrat (NO ₃) max	50	50	50
10	Nitrit (NO ₂) max	0,5	0,5	0,5
11	Nor (B) max	1	2	2
12	Nikel (Ni) max.	0,02	0,02	0,02
13	Arsenik (As) max	0,01	0,01	0,01
14	Kadmiyum (Cd) max.	0,005	0,005	0,003
15	Civa (Hg) max	0,001	0,001	0,001
16	Krom (Cr) max	0,05	0,05	0,05
17	Baryum (Ba) max	0	0	0
18	Florür (F) max	1,5	1,5	1,5
19	Kurşun (Pb) max	0,01	0,01	0,01
20	Siyanür (Cn) max	0,05	0,05	0,07
21	Bromat (Br) max	0,01	0,01	0,025
22	Benzen (C ₆ H ₆) max	0,001	0,001	0,01
23	Selenyum (Se) max	0,01	0,01	0,01
24	Antimon (Sb) max	0,005	0,005	0,005

25	Bakır (Cu) max	2	2	2
26	Fosfor (P)	04-5,0	0,4-5,0	
27	Demir (Fe) max	0,2	0,2	0,3
28	Çinko (Zn) max	5	5	5
29	Mangan (Mn) max	0,05	0,05	0,1
30	Magnezyum (Mg) max	50	50	50
31	Alüminyum (Al) max	0,2	0,2	0,2
32	Amonyum (NH ₄) max	0,5	0,5	1,5
33	Sodyum (Na) max	175	200	200
34	Potasyum (K) max	12	15	15
35	Serbest Klor (Cl ₂) max	0,5	0,5	5
36	Klorür (Cl) max	250	250	250
37	Kalsiyum (Ca) max	200	100	100
38	Sülfat (SO ₄) max	250	250	250
39	Sertlik (CaCO ₃) max	500	500	500
Fiziksel ve Duyusal Değerler				
40	Renk (Co-Pt birimi) max	20	20	15
41	Bulanıklık (NTU Brimi) max	5	4	5
42	Koku	Duyusal	Duyusal	Duyusal
43	Tat	Duyusal	Duyusal	Duyusal

Mineraller vücutta büyüme, kan oluşumu, sinir ve kas fonksiyonlarının oluşmasını sağlayan temel yapı taşlarındandır. Vücudun sıvı dengesini sağlayan sodyum ve potasyumun önemi kadar kemik gelişimine katkı sağlayan kalsiyum ve kan oluşumuna katkı sağlayan demir de önem arz etmektedir. Dengeli beslenme ile vücut mineral ihtiyacı karşılar. Ancak günümüzün beslenme alışkanlıkları ve fast food türü yemekler bu ihtiyaçların dengeli olarak karşılanmasını zorlaştırmaktadır. Bu yüzden tüm minerallerin alınacağı bir beslenmeye içme suları da içerilerinde bulundurdıkları mineraller ile katkı sağlarlar. Aşağıda Çizelge 2.'de ihtiyaç duyulan bu minerallerin faydaları ve nereden temin edilebilecekleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. Mineraller, fonksiyonları ve bulundukları besin kaynakları (Nestle, 2023).

Mineral	Fonksiyonu	Bulunduğu besin kaynakları
Kalsiyum	Kemik ve diş oluşumu, pıhtılaşma, sinir sistemi fonksiyonu	Süt, yoğurt, peynir, yeşil sebzeler, kalsiyum açısından zengin maden suyu
Fosfor	Kemik oluşumu, metabolizma	Süt, peynir, et, sos, balık
Sodyum	Sıvı dengesi, sinir ve kas fonksiyonu	Patatesler, sebzeler, muzlar, kurutulmuş meyveler, bakliyat
Potasyum	Sıvı dengesi, sinir ve kas sinyalleri iletimi	Tam tahıllı ürünler, bakliyat, patates, domuz, süt, sebzeler, meyve, balık
Magnezyum	Kemik oluşumu, enerji metabolizması, enzimler, sinir ve kas fonksiyonu	Tam taneli tahıl ürünleri, süt ve süt ürünleri, yeşil sebzeler, taneli meyveler, portakallar, muzlar
Demir	Kan oluşumu, kanda oksijen taşınması	Et, yumurta sarısı, sos, tam taneli tahıl ürünleri, yulaf gevreği, darı
İyot	Tiroit hormonları sentezi	Ocean balık, deniz mahsulleri, iyotlu tuzla hazırlanmış besinler
Flor	Çürüklere karşı dişin direnç kazanması, diş minesinin güçlendirilmesi	Balık, tahıllar, cevizler, siyah çay, maden suyu
Selenyum	Hücrel koruma	Ciğer, balık, et, kabuklu yemişler, baklagiller, tahıllar
Çinko	Vücut savunma sistemi, yara iyileşmesi	Et, kabuklu deniz hayvanları, peynir

Türkiye’de Bazı İçme Suyu Markalarının Su Değerleri

Su, tarih boyunca her zaman bedava bir gıda maddesi olarak kullanılmış ve algılanmıştır. Günümüzde, küresel ısınmanın etkilerinin yoğun bir şekilde hissedildiği bir dönemde, dünyanın birçok yerinde erişilebilir ve kullanılabilir tatlı su kaynaklarının düşüncesizce tüketimi, su ve su kaynaklarının ekonomik bir faktör olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, suyun tüketicilere sağlıklı ve yeterli bir şekilde ulaştırılabilmesi için ekonomik olarak ele alınması, fiyatlandırılması, sağlıklı ve adil bir şekilde etkili kullanılması ön plana çıkmaktadır.

Türkiye’nin en eski ve köklü kaynak suyu markalarından olan Hamidiye suyunun tarihi, İstanbul’a kaliteli içme suyu temin etmek amacıyla II. Abdülhamid’in emriyle kurulan bir

komisyonla başlamıştır. 1898 Yılında yapılan projenin 1900’da büyük bölümü tamamlanmış, suyun şehre verilmesi ise 26 Mayıs 1902’de gerçekleşmiştir. Halen İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilmekte olup, Hamidiye suyun mineral değerleri Şekil 2.’de gösterilmiştir.

	Kaynak Suyu Kemerburgaz	
	Oksitlenebilirlik	0,6 mg/l
	Sülfat	6,5 mg/l
	Sodyum	15,3 mg/l
	Alüminyum	<2 µg/l
	Amonyum	<0,05 mg/l
	Klorür	11,8 mg/l
	Demir	<2 µg/l
	Mangan	<1 µg/l
	İletkenlik	129,3 µS/cm
	pH Factor	7,0

Şekil 2. Hamidiye su mineral değerleri (Hamidiye-su, 2023)

Diğer bir kaynak suyu markası olan Elmacık suyu Başkent Ankara’da çıkarılan ve müşterilerin tüketimine sunulan bir marka olup mineral değerleri Şekil 3.’te belirtilmiştir.

pH	7,96
Kalsiyum (Ca)	37,5 (mg/L)
Magnezyum (Mg)	1,7 (mg/L)
Potasyum (K)	0,3 (mg/L)
Sodyum (Na)	2,6 (mg/L)
Klorür (Cl)	1,07 (mg/L)
Florür (F)	0,12 (mg/L)
Sulfat (SO₄)	5,37 (mg/L)
Bikarbonat (HCO₃)	122 (mg/L)
Demir (Fe⁺²)	Tespit edilmedi
TOPLAM Mineralizasyon	178,2 (mg/L)

Şekil 3. Elmacık su mineral değerleri (Elmacık, 2023)

2004 yılında Çamlıca kaynağından gelen su ile faaliyete geçen Hendek Fabrikası'nda üretime başlayan Saka su Türkiye genelinde tüketicilere ulaştırılan su markalarından biri olup mineral değerleri Şekil 4.'te belirtilmiştir.

Florür (F ⁻)	0,04 mg/L
Bikarbonat (HCO ₃)	104,92 mg/L
Klorür (Cl ⁻)	1,2 mg/L
Sülfat (SO ₄)	6,9 mg/L
Kalsiyum (Ca)	32,2 mg/L
Magnezyum (Mg)	4,2 mg/L
Potasyum (K)	0,2 mg/L
Sodyum (Na)	5,4 mg/L
Demir (Fe ⁺²)	0,007 mg/L

Şekil 4. Saka su mineral değerleri (Saka, 2023)

Toros dağlarından çıkan kaynaktan doldurulan Hayat su Türkiye genelinde tüketiciye ulaştırılan kaynak sularından biri olup, mineral değerleri Şekil 5.'de gösterilmiştir.

Analiz Değerleri

Florür (F)	<0,04 mg/L	Potasyum (K) T.E.*	mg/L
Bikarbonat (HCO ₃)	73,2 mg/L	Sodyum (Na)	4,4 mg/L
Klorür (Cl)	1,2 mg/L	Demir (Fe ⁺²)	<0,01 mg/L
Sülfat (SO ₄)	6 mg/L	pH	8
Kalsiyum (Ca)	19,3 mg/L	Toplam Mineral Madde	115,49 mg/L
Magnezyum (Mg)	2,4 mg/L	*T.E.: Tespit Edilemedi.	



Şekil 5. Hayat su mineral değerleri (Hayat, 2023).

Dünya genelinde değişik gıda ürünleri ile tüketicilere ulaşan Nestle markasının kendi adıyla pazarladığı Nestle Purelife içme suyu markasının mineral değerleri Şekil 6.'da gösterilmiştir.

Gösterge Parametreleri	
Alüminyum	TE*
Amonyum	TE*
Klorür	1,0 mg/L
Renk	Uygun
İletkenlik 20°C'de	156,3 µS/cm
pH	7,68
Demir	TE*
Mangan	TE*
Koku	Uygun
Oksitlenebilirlik	0,41 mg/L O ₂
Sülfat	7,65 mg/L
Sodyum	1,98 mg/L
Tat	Uygun
Koloni sayısı (22°C)	ml'de 0
Koliform bakteri	250 ml'de 0
Bulanıklık	Uygun

*Tespit Edilemedi

NUTRITIONAL COMPASS®
Tescilli marka sahibi:
Soci  t   des Produits Nestl   S.A.

Şekil 6. Nestle Purelife su mineral değerleri (Nestle, 2023)

Yerel markalardan biri olan Munzur su Türkiye'nin en bakir topraklarından doğan kaynak suyunun paketlemesi müşterilere ulaştırılmakta olup, mineral değerleri Şekil 7.'de gösterilmiştir.

Suyun İnsan Yaşamındaki Önemi	
İnsan vücudunun 3/4'ü (dörtte üçü) sudan oluşmuştur. Sağlıklı yaşamın devamı için vücudun aşağıda yazılı olan temel fonksiyonlarının hepsi su ile sağlanmaktadır.	
Bu fonksiyonlar:	
• Vücudumuzun ihtiyaç duyduğu zengin minerallerin temini • Besinlerin sindirilmesi, emilmesi, hücrelere taşınması • Oluşan artık maddelerin vücuttan atılması • Eklemelerin kayganlığının sağlanması • Vücut ısısının ayarlanması • Hücre içi ve hücre dışı sıvılar içindeki maddelerin dengede tutulması • Derinin nemlenmesi, toksinlerin atılması • Böbreklerin çalışması • Çözücü rolüyle vitaminleri ve mineralleri hem taşıyıp hem de vücutta çözülmesinin sağlanması..	
Kimyasal Analiz	
Trityum	1.11
Kalsiyum (Mg/L)	32
Alüminyum (µg/L)	2.9
Amonyum (Mg/L)	<0.00
Klorür (Mg/L)	0.33
İletkenlik (20°C'de µS/cm)	173
PH	8.45
Demir (µg/L)	89.4
Mangan (µg /L)	<.05
Oksitlenebilirlik (Mg/L O ₂)	1.2
Magnezyum (Mg/L)	2.4
Sülfat (Mg/L)	1.3
Sodyum (Mg/L)	0.23
Potasyum (Mh/L)	1
Florür (Mg/L)	0.02
Antimon (µg/L)	3.2
Selenyum (µg/L)	0.3

Şekil 7. Munzur su mineral değerleri (Munzur, 2023).

Türkiye genelinde bilinen markalardan biri olan sırma su Sakarya, Bursa, Aydın, Burdur burdur gibi Türkiye'nin birbirinden değerli doğal su kaynakların bulunduğu illerden çıkarılmakta ve paketlenmekte olup, mineral değerleri Şekil 8.'de gösterilmiştir.

Gösterge Parametreleri	
Alüminyum	: *TE
Amonyum	: <0.05 mg/L
Klorür	: 10.2 mg/L
Demir (Çift Değerli)	: *TE
Manganez	: *TE
Sülfat	: 22.6 mg/L
Sodyum	: 6.9 mg/L
pH	: 7.4
İletkenlik	: 371 µS/cm
Oksitlenebilirlik	: 0.7 mg/L
TOC	: Bakılmadı
Bulanıklık	: Uygun
Renk	: Uygun
Koku	: Uygun
Tat	: Bakılmadı
Koloni Sayısı (22°C'de)	: 0/ml
Koliform Bakteri	: 0/250ml
Escherichia coli	: Bakılmadı

Şekil 8. Sırma su mineral değerleri (Sırma, 2023).

Türkiye genelinde bilinen markalardan bir diğeri olan Pınar su mineral değerleri Şekil 9.'da gösterilmiştir.

Gösterge Parametreleri			
Renk	Uygun	Sodyum	4,9 mg/L
Bulanıklık	Uygun	Alüminyum	T.E*
Tat	Uygun	Amonyum	T.E*
Koku	Uygun	Demir	5,1 µg/l
pH	6,8	Manganez	T.E*
İletkenlik (20°C'de)	60 µS/cm	Koloni Sayısı (22°C'de)	ml'de 0
Sülfat (SO4)	7,9 mg/L	Koliform Bakteri	250 ml'de 0
Klorür (Cl)	3,6 mg/L	Oksitlenebilirlik	0,4 mg/L O2

* T.E: Tespit Edilemedi

Şekil 9. Pınar su mineral değerleri (Yazar tarafından fotoğrafı çekilmiştir)

Türkiye genelinde bilinen markalardan bir diğeri olan Erikli su mineral değerleri Şekil 10.'da gösterilmiştir.

Gösterge Parametreleri	
Alüminyum	TE*
Amonyum	TE*
Klorür	0,88 mg/L
Renk	Uygun
İletkenlik 20 °C'de	142,2 µS/cm
pH	7,82
Demir	TE*
Mangan	TE*
Koku	Uygun
Oksitlenebilirlik	0,46 mg/L O ₂
Sülfat	6,34 mg/L
Sodyum	TE*
Tat	Uygun
Koloni sayısı (22 °C)	ml'de 1
Koliform bakteri	250 ml'de 0
Bulanıklık	Uygun

*Tespit Edilemedi

T.C. Bursa Valiliği'nin 16.01.2012 tarih ve
İS.16.16 sayılı izni ile Erikli Su ve Mesrubat
San. Tic. A.Ş. Yeni Mh. Uludağ Cd. No: 216
Kestel Bursa'da yer alan tesislerde
doldurulmuştur.

Şekil 10. Erikli su mineral değerleri(Yazar tarafından fotoğrafı çekilmiştir)

Yine Toros dağlarından çıkıp genellikle Çukurova bölgesinde yaygın olarak pazarlanan Dalga su mineral değerleri Şekil 11.'de belirtilmiştir.

Alüminyum Al ³⁺	Tespit edilemedi/Undetectable
Amonyum NH ₄ ⁺	Tespit edilemedi/Undetectable
Renk/Colour	Uygun/Compatible
İletkenlik/Conductivity	255,2µS/cm
pH	7,64
Demir Fe ²⁺	5,57µg/L
Mangan Mn ²⁺	Tespit edilemedi/Undetectable
Koku/Smell	Uygun/Compatible
Oksitlenebilirlik Oxidizability	Tespit edilemedi/Undetectable
Sülfat SO ₄ ²⁻	5,77µg/L
Sodyum Na ⁺	8,07µg/L
Tat/Taste	Uygun/Compatible
Toplam Organik karbon(TOC)	0,86µg/L
Bulanıklık/Blur	Uygun/Compatible
Klorür Cl ⁻	10,47µg/L

Şekil 11. Dalga su mineral değerleri(Yazar tarafından fotoğrafı çekilmiştir)

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), aynı anda birden çok kriterin değerlendirilmesi yoluyla en iyi seçeneğin belirlenmesini sağlayan bir süreçtir ve karar verme sürecinin bir alt bölümünü oluşturur. Birden çok faktörün karar üzerinde etkili olduğu durumlarda, karar vericilere yardımcı olan tüm uygulamaları kapsar. Karmaşık problemlerde bulunan çok sayıda kriter önce basitleştirilerek daha anlaşılır hale getirilir, böylece karar vericilerin işleri kolaylaştırılır.

Karar vericiler, ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) teknikleri kullanarak önceden belirlenen alternatifleri, birden fazla kritere göre değerlendirir, ağırlıklandırır veya sıralar. ÇKKV yöntemleri çok çeşitlidir ve sayıları her geçen gün artmaktadır, araştırmacılar sürekli olarak yeni teknikler geliştirmektedir. ÇKKV teknikleri genel olarak iki kategoride uygulanmaktadır. Bunlar (Türkoğlu, 2017);

- i. Çok amaçlı karar verme (ÇAKV) ve
- ii. Çok ölçütlü karar verme(ÇÖKV) yöntemleridir.

ÇAKV teknikleri, Doğrusal Programlamanın (DP) bir türü olan bir yöneylem araştırması uygulamasıdır. DP'de, değişkenler genellikle sürekli olsa da, kısıtlar ve amaç fonksiyonu doğrusaldır. Ancak çok amaçlı karar verme tekniklerinde, aynı anda birden fazla amaç hedeflenmektedir. Bu şekilde, çok amaçlı karar verme teknikleri, DP'den farklılık gösterir. (Abdulvahitoğlu, 2022).

ÇKKV, karar vericilerin bir kümede bulunan çok sayıda seçenek arasından en az iki kriteri karşılaştırarak seçim yapma işlemidir. Bu, alternatifler arasında seçim yapmak için farklı yöntemlerle iki veya daha fazla kriteri karşılaştırmayı içerir. ÇKKV yöntemleri, bu kriterleri kullanarak belirlenen alternatifler arasından en uygun olanı seçmeyi sağlar.

Teknolojik gelişmelerin hayatımızı kolaylaştırmasıyla birlikte, insan ihtiyaçları da artmakta ve karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle, bireysel ve toplumsal ihtiyaçların karşılanması

sürecinde çok sayıda nitel ve nicel kriterin yer aldığı durumlarda, en uygun alternatifi seçmek karar verme sürecini zorlaştırmaktadır.

ÇKKV teknikleri, karar verme sürecindeki farklı görüşleri ve büyük karmaşık veri kümelerini ele almak için 1960'lı yıllarda geliştirilmiştir (Afshari ve Ark., 2016). Bu tür çok kriterli problemlerin genellikle çözümü için literatürde ÇKKV olarak adlandırılan metotlar kullanılmaktadır, yani karar verme sürecinde alternatifler arasında seçim yapmak için kullanılan metodolojilerin toplamıdır. Bu metotlar, zorlukları azaltarak çeşitli kriterlere uyum sağlama amacı taşımaktadır.

Karar verme sürecinde, seçilecek alternatiflerin sayısı ve bu seçimi etkileyen kriterlerin sayısı önemlidir. Kriter ve alternatif sayısının artması, karar verme sürecini zorlaştırır. Bu nedenlerden dolayı ÇKKV tekniklerinin geliştirilmesi hususu öne çıkmaktadır (Durmuş ve Tayyar, 2017). Çok kriterli karar verme teknikleri genellikle dört adımda uygulanır. Bunlar (Betrie vd., 2013);

- i. Problemin tanımlanması,
- ii. Alternatiflerin belirlenmesi ve problem modellemesi,
- iii. Alternatiflerin değerlendirilmesi ve
- iv. Seçilen tercihin önerilmesidir.

ÇKKV teknikleri arasındaki temel fark, kullanılan algoritmaların, girdi ve veri çeşitlerinin ve nihai sonucun farklı olmasıdır. ÇKKV, yöneylem araştırmasının bir alt disiplini olup tamamen gelişmiş bir alandır. Tek bir karar verici veya bir grup, belirli kriterleri göz önünde bulundurarak alternatifleri değerlendirir ve bu değerlendirmeyi desteklemek için matematiksel araçlar veya yöntemler tasarlar veya kullanır. Genellikle bağımsız, orantısız ve çelişkili özelliklere sahip alternatiflerin önceliklendirilmesi, sıralanması veya seçilmesi için kullanılır (Karim ve Karmaker, 2016).

Başka bir araştırmacıya göre, ÇKKV yöntemleri, belirlenen kriterlere göre alternatifleri en iyi olanından en kötüsüne doğru

sıralayarak optimum kararı verme ve en uygun alternatifi seçme amacıyla kullanılır. Hayatın hemen hemen her alanında bir sıralama yapma durumuyla karşılaşabileceğimiz için ÇKKV yöntemlerini kullanabiliriz. Bu alanlardan bazıları şunlardır (Abdulahitoğlu, 2022);

- i. Finans,
- ii. Üretim,
- iii. Sermaye yatırımı,
- iv. Gıda,
- v. Pazarlama,
- vi. Planlama,
- vii. Risk analizi,
- viii. Tesis yerleşim yeri seçimi,
- ix. Kaynakların tahsisi,
- x. Ulaştırma,
- xi. Eğitim,
- xii. Sağlık,
- xiii. Personel seçimi.

Her bir ÇKKV yöntemi, belirli bir problem veya durum için uygun olanı seçmek için kullanılır ve tercih edilen teknikler farklılık gösterebilir.

Yukarıda belirtilen ÇKKV problemlerinin hemen hemen her alanda karşımıza çıktığı düşünülerek, karar verme sürecine dahil olan bireyler kendi düşüncelerine göre seçim, sıralama veya grupta gibi işlemleri belirli bir sistematik sıraya göre gerçekleştirirler. Bu süreçte aşağıdaki adımlar izlenir (Pekkaya ve Burak, 2018);

- i. Amaçlara uygun olarak kriterlerin oluşturulması,

- ii. Ulaşılmak istenen hedefleri veya seçeneklerin belirlenmesi,
- iii. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi,
- iv. Her bir faktör için belirlenen değerlerin yüksek, orta veya düşük şeklinde ifade edilmesi,
- v. Her bir seçenek için nitel ve nicel değerlerin belirlenmesi,
- vi. Tercih edilen ÇKKV tekniğinin uygulanması,
- vii. En iyi alternatifin belirlenmesi ve seçilmesi ile
- viii. Uygun bir çözüme ulaşamazsa yeni verilerin toplanarak ÇKKV sürecinin yeniden işletilmesidir.

ÇKKV yaklaşımı, çatışmalı ortamlarda seçim ve sıralama yapmamıza olanak sağlayan etkili bir yaklaşımdır. Birçok kriterin etkili olduğu alanlarda sıkça kullanılmakta olup son zamanlarda yöneylem araştırmasının en hızlı büyüyen alanı haline gelmiştir. Bu nedenle, ÇKKV teknikleri en yaygın kullanılan karar verme yöntemleri arasında yer almaktadır (Abdulahitoğlu, 2022). Bu maksatla paketlenmiş içme suyu özelliklerinin karşılaştırılmasında Standart Sapma tabanlı MULTIMOORA yöntemi kullanılacaktır. Burada Standart Sapma yöntemi içme suyu özelliklerinin veya içerisinde bulunan minerallerin ağırlıklandırılmasında, MULTIMOORA ise seçeneklerin sıralanmasında kullanılacaktır.

Standart Sapma Yöntemi

Karar verme problemlerinde kriterler veya özellikler birer bilgi kaynağı olarak görülmektedir. Kriterlere ait önem ağırlıkları ise içerdikleri bilgi miktarını yansıtmaktadır. Bu ağırlık “nesnel ağırlık” olarak ifade edilir. Standart Sapma yöntemi ÇKKV problemlerinde kriterlerin nesnel ağırlıklarını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biridir. Standart Sapma yönteminde değerlendirme ölçütlerinin ağırlıklandırılmasında mevcut veriler dikkate alındığı için tercih edilmektedir (Abdulahitoglu vd., 2022).

Standart Sapma yöntemi kriter ağırlıklarının tespiti amacıyla birçok çalışmada farklı ÇKKV teknikleri ile birlikte kullanılmaktadır. Paketlenmiş içme suyu tercihinde etkili olan içme suyu özelliklerinin veya mineral değerlerinin ağırlıklarının oluşturulan modele temel alındığı bu çalışmada Standart sapma yöntemi MULTIMOORA yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. Bu yöntem içme suyu kalitesine etki eden içme suyu özellikleri veya mineral değerlerinin ağırlıklarını hesaplamak için kullanılmıştır. Standart sapma değerlendirme için kullanılan nicel verilerin bulunduğu durumlarda sıralama veya listeleme yapmak için sıklıkla kullanılmaktadır.

Yöntem dört adımda uygulanmaktadır. Birinci adımda her ÇKKV yönteminde olduğu gibi öncelikle başlangıç karar matrisi oluşturulmakta, ikinci adımda oluşturulan karar matrisi değişik yöntemler kullanılarak normalize edilmekte, üçüncü adımda her bir kriterin standart sapması hesaplanmakta ve dördüncü adımda ağırlıklar bulunmaktadır (Demir vd., 2021).

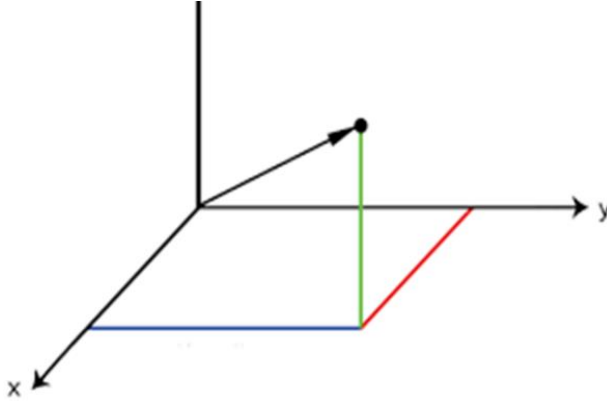
1. Aşama: Başlangıç (karar) matrisinin oluşturulması

İlk aşamada x_{ij} değerlerinden oluşturulan X başlangıç (karar) matrisi (1) numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ddots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. Aşama: Karar matrisinin normalizasyonu

Normalizasyon işlemi vektör normalizasyonu kullanılarak yapılmıştır. Vektör normalizasyonu yapılabilmesi için tüm kriterlerin nicel verilerden oluşması veya nicel olmayan verilerin de sayısallaştırılmış olması gerekmektedir.



Şekil 12. Vektör normalizasyonu

Bu yöntemde kriterlerin yönü maksatlarının maximizasyon veya minimizasyon olmasına göre değişmez. Bu nedenle işlemlerde karmaşıklığı önlediği için birçok ÇKKV yönteminde normalizasyon işlemi için tercih edilmektedir. Bu işlem (2) numaralı eşitlik kullanılarak yapılacaktır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2)$$

3. Aşama: Standart Sapma Değerlerinin Hesaplanması

Bu aşamada içme suyu özelliklerinin standart sapması eşitlik (3) kullanılarak hesaplanacaktır.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_{ij})^2}{m}} \quad (3)$$

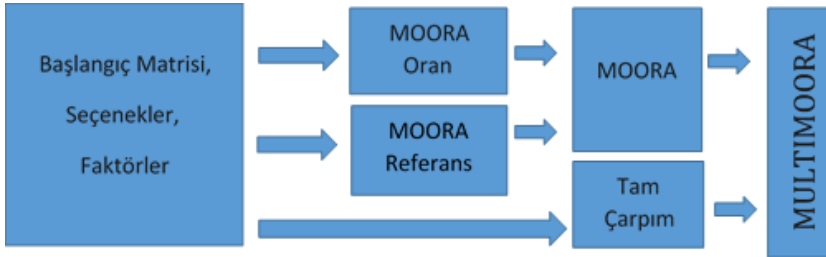
4. Aşama: Ağırlıkların Bulunması

Son aşama olan bu kısımda eşitlik (4) ile her bir kriterin standart sapması tüm kriterlerin standart sapmalarının toplamına bölünerek göreceli ağırlıkları bulunacaktır.

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{i=1}^n \sigma_j} \quad (4)$$

MULTIMOORA Yöntemi.

MULTIMOORA (Multi Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis) tekniği nicel verilerin bulunduğu ÇKKV problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, 2010 yılında Brauers ve Zavadskas tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, MOORA Oran, MOORA Referans Noktası ve MOORA Tam Çarpım yaklaşımları ile elde edilen sonuçlarının sentezlenmesine veya tümleşik olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır (Zavadskas vd., 2019). Yöntemin akış şeması Şekil 13'de gösterilmektedir.



Şekil 13. MULTIMOORA Akış Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Yöntemin bir avantajı, kriterlerin maksimum değerini tercih edildiği durumlarla minimum değerini tercih edildiği durumları aynı anda ele alabilmesidir (Bulut, 2017). Bu yaklaşım, farklı ÇKKV yöntemleriyle elde edilen faktör önem derecelerinin MOORA yöntemleriyle tümleşik olarak kullanılması ve elde edilen sonuçlara göre alternatiflere ait farklı sıralama değerlerinin sıra baskınlık teorisi veya borda kuralı gibi değişik yöntemlerle nihai değerlendirmenin yapılması sürecini kapsar (Fattahi ve Khalilzadeh, 2018).

Bu çalışmada Şekil 12'de görüldüğü gibi, uygulanan üç MOORA yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar, iyileştirilmiş borda yöntemiyle bir kez daha karşılaştırılarak bir sıralama oluşturulacak ve böylece MULTIMOORA yöntemi tamamlanmış olacaktır. Yöntemin kullandığı hesaplama yaklaşımları aşağıda sırasıyla

açıklanmıştır (Brauers ve Zavadskas, 2011), (Işık, 2019), (Fattahi ve Khalilzadeh, 2018).

MOORA Oran Yaklaşımı

MOORA-Oran tekniğinin uygulanması aşamasında öncelikle eşitlik (5) kullanılarak başlangıç matrisi ortaya konur. Müteakiben, $i = 1, 2, \dots, m$ seçenek sayısı, $j = 1, 2, \dots, n$ faktör (özellik) sayısı olacak şekilde eşitlik (6) kullanılarak vektör normalizasyonu tekniği ile başlangıç matrisi normalize edilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ddots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (6)$$

Normalize edilmiş matristeki değerler ile yukarıda anlatılan Standart Sapma yöntemi kullanılarak elde edilen (w_j) önem dereceleri eşitlik (7) kullanılarak çarpılır. Bu işlem sonunda ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmiş olur. Bu matris (v_{ij}) olarak ifade edilir.

$$v_{ij} = w_j * x_{ij}^* \quad (7)$$

Matriste bulunan kriterlerin (özelliklerin) elde ettikleri maksimum değerlerden minimum değerler eşitlik (8)'de gösterildiği gibi çıkarılır.

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g v_{ij} - \sum_{j=g+1}^n v_{ij} \quad (8)$$

y_i^* i seçeneklerin tüm kriterlere göre normalleştirilmiş değerlendirilmenin sonucudur. (8) numaralı eşitlik ile elde edilen y_i^* değerlerinin listelenmesi ile MOORA-Oran yaklaşımı tamamlanmış olur.

MOORA Referans Noktası Yaklaşımı

Referans noktası yaklaşımı uygulamasında, MOORA Oran yaklaşımına ek olarak, her bir kriter için ulaşılmak istenen amaç maksimizasyon ise en yüksek değerler, amaç minimizasyon ise en düşük değerler arası referans değerleri (r_j)'ler bulunmaktadır. Müteakiben elde edilen bu değerlerin her bir x_{ij}^* değerine mesafesi eşitlik (9) kullanılarak hesaplanmakta ve referans noktalarına uzaklık değerlerinden oluşan matris ortaya çıkmaktadır.

$$r_j - x_{ij}^* \quad (9)$$

Yeni oluşan matriste kriterler eşitlik (10) kullanılarak sıralanır.

$$\min_i = \{maks_i(|r_i - x_{ij}^*|)\} \quad (10)$$

Elde edilen sonuçlar küçükten büyüğe doğru sıralanarak MOORA Referans Noktası yaklaşımına göre seçeneklerin sıralaması bulunmuş olur.

MOORA Tam Çarpım Formu Yaklaşımı

MULTIMOORA yönteminin Tam Çarpım Formu Yaklaşımı aşamasında, her bir alternatifin amacı maksimizasyon olan verilerinin çarpımı ve amacı minimizasyon olan verilerin çarpımı sonuçları ayrı ayrı elde edilerek, birinci elde edilen sonuç ikinci elde edilen sonuca bölünmektedir. Bu işlem eşitlik (11)'te gösterilmiştir. Bu eşitlikteki A_i eşitlik (5), B_i ise eşitlik (6) ile hesaplanmaktadır.

$$U_i = \frac{A_i}{B_i} \quad (11)$$

$$A_i = \prod_{g=1}^j x_{gj} \quad (12)$$

Eşitlik (12)'teki $i=1, \dots, m$; m , seçeneklerin sayısını, j ise maksimizasyon (fayda) amaçlı kriterlerin miktarını ifade etmektedir.

$$B_i = \prod_{k=j+1}^n x_{kj} \quad (13)$$

Eşitlik (13)'de n ve j , minimizasyon (maliyet) amaçlı kriterleri ifade etmektedir. U_i alternatiflerin aldığı değeri

göstermektedir. Nihai olarak U_i değerleri büyükten küçüğe doğru listelenmekte ve ilk sıradaki seçenek en uygun tercih olarak kabul edilmektedir.

İyileştirilmiş Borda Kuralı

MULTIMOORA yönteminde nihai sonuçlar sıra baskınlık teorisi kullanılarak elde edilmektedir. Sıra baskınlık teorisi belirli bir türden ordinal ölçeğin başka türden bir ordinal ölçekle değiştirilebileceği aksiyomunu kullanmaktadır. Bu aksiyomda MULTIMOORA yönteminin değişik yaklaşımlarından elde edilen sonuçlar, Baskınlık, Baskın Olan, Geçişkenlik ve Dengelilik özellikleri kullanılarak değerlendirilmekte ve sonuç elde edilmektedir. Bu, MULTIMOORA sıralaması ile elde edilen nihai sıralamayı oluşturmaktadır. Bu çalışmada MOORA-Oran, MOORA Referans Noktası ve Tam Çarpımsal Form Yaklaşımları ile bulunan üç farklı sonuç ve sonuç değerlerin sıralanması, Sıra Baskınlık Teorisi kullanılarak tek bir sonuç yani sıralamaya dönüştürülmektedir.

Ancak, Sıra Baskınlık Teorisi, alternatiflerin göreceli önemini göz ardı ederek sadece elde edilen değerlerin sıralanmasını yapması ve döngüsel akıl yürütmenin potansiyel hatalarını içermesi nedeniyle karmaşık bir süreç olarak eleştirilmektedir. Seçenek sayısının artması ve değerlendirmelerin ikili karşılaştırmalara dayanması, bu yöntemle MULTIMOORA yöntemi kullanılarak nihai sıralamanın bulunmasını oldukça zorlaştırmaktadır (Hafezalkotob vd., 2019).

Bu nedenle, daha uygun yaklaşımlar kullanılarak bu nihai sıralama yapılıyor. Bu yaklaşımlardan biri, 1784 yılında Borda tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan Borda Kuralı'dır. Bu kural, birden fazla yaklaşımın kullanılarak elde edilen sıra değerlerini bir araya getirerek tek bir sıralama oluşturma imkanı sağlar (Akyüz ve Aka, 2017; Wu vd., 2011). Borda yaklaşımında, en çok tercih edilen seçeneğe $(n-1)$, en az tercih edilene ise 0 değeri ve bir sonraki seçeneğe ise 1 değeri verilir. Ardından, borda skorları toplanır ve elde edilen sonuçlara göre seçenekler sıralanır (Gök,

2015). B_k^i , k karar vericinin i seçeneğine verdiği sırayı bulmak için i seçeneğin eşitlik (14) ile hesaplanan Borda değeri bulunur (Çakır ve Perçin, 2013).

$$B(i) = \sum_{k=1}^K B_k^i \quad (14)$$

Uzmanlar Sıra Baskınlık Teorisini, seçeneklerin göreceli önemini göz önüne almayarak sadece sıra değerlerini kullandığı için ve döngüsel akıl yürütme olumsuz sonuçlar doğurabildiği için karmaşık bulmakta ve eleştirmektedir. İkili karşılaştırmaya dayanan bu teori ile seçeneklerin sayısının artması durumunda nihai sıralamanın hesaplanması oldukça zorlaştırmaktadır (Hafezalkotob vd., 2019). Bu nedenle nihai sıralamanın elde edilmesinde Borda Kuralı yerine İyileştirilmiş Borda Kuralı kullanılmıştır. Wu ve diğerleri (2018) tarafından geliştirilen İyileştirilmiş Borda Kuralı, alternatiflerin sıralama değerlerini toplama yaklaşımını benimseyerek nihai sıralama sonuçlarını elde etmeyi amaçlamaktadır.

Ancak, bu kuralın orijinal Borda Kuralı'nda olduğu gibi alternatifler arasındaki sıralı ilişkileri dikkate almaması sonuçların yanlış çıkmasına neden olabilir. İyileştirilmiş Borda Kuralı, MULTIMOORA yönteminin alt yaklaşımları olan oran yaklaşımı, referans noktası yaklaşımı ve tam çarpımsal yaklaşımın temel ve sıra değerlerini birlikte kullanarak daha doğru sonuçlar elde etmeyi sağlamaktadır. Bu nedenle, yalnızca alt yaklaşımların sıra değerlerini kullanan Sıra Baskınlık Teorisi'ne göre İyileştirilmiş Borda Kuralı üstün olduğu görülmektedir. İyileştirilmiş Borda Kuralı'nı uygulamak için, ilk olarak oran yaklaşımı, referans noktası yaklaşımı ve tam çarpımsal yaklaşımdan elde edilen y_i, z_i ve u_i değerlerinin vektör normalizasyonu kullanılarak normalleştirilmiş değerleri olan y_i^*, z_i^* ve u_i^* hesaplanır. Seneklerin İyileştirilmiş Borda Kuralı (İBK) değerleri, (15) numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır (Wu vd., 2018).

$$IBK(A_i) = y_i^* \frac{m-r(y_i)+1}{m(m+1)/2} - z_i^* \frac{r(z_i)}{m(m+1)/2} + u_i^* \frac{m-r(u_i)+1}{m(m+1)/2} \quad (15)$$

Eşitlik (18)'de kullanılan $r(y_i)$, $r(z_i)$ ve $r(u_i)$ değerleri sırasıyla seçeneklerin oran yaklaşımı, referans noktası yaklaşımı ve tam çarpımsal yaklaşımdan hesaplanan sıra değerlerini göstermektedir. İyileştirilmiş Borda Kuralı ile yapılan hesaplamalara göre en iyi seçenek en büyük $IBK(A_i)$ değerine sahip olan seçenektir (Hafezalkotob vd., 2019).

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Paketlenmiş İçme Suyu Markalarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada, gıda ve su güvenliği ile ilgili yapılan çalışmaları incelemek amacıyla literatür taranmıştır. Daha sonra Türkiye içme suyu pazarında bilinen marka değerlerine sahip firmalar ile bazı yerel firmaların ürettiği, birbirine yakın kriterlerin ambalaj etiketlerinde belirtildiği 10 paketlenmiş içme suyu markası belirlenmiştir. Bu markaların su mineral değerleri tamamen nicel verilerden oluştuğu için, Standart Sapma tabanlı MULTIMOORA yöntemiyle değerlendirilmesi uygun bulunmuştur.

Çalışma kapsamında Türkiye'de üretim yapan bilinen su firmalarının ürettikleri ürün etiketleri üzerinde yazan değerler ele alınarak bir çalışma yapılmıştır. Unutulmamalı ki bu değerler mevsimsel şartlara ve su kaynaklarının değişiklik arz edebilir. Burada vurgulanmak istenen önerilen model ile tüketicilerin daha bilinçli hareket ederek karar vermelerini kolaylaştırmaktır. Bu kapsamda değerlendirilecek ürünlerin özellikleri Çizelge 3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Paketlenmiş su markalarının ürün özellikleri

Mar ka	Paketlenmiş Su Mineral Değerleri							
	pH	Sody um (Na)	Sülf at (SO 4)	Flor ür (F)	Klor ür (Cl)	De mir (Fe)	İletke nlik	Oksitleneb ilirlik
Ham	7	15,3	6,5	0	11,8	2	129,3	0,6
idiye								
Elm	7,96	2,6	5,37	0,12	1,07	0	0	0
acık								
Saka	7,6	5,4	0,9	0,04	1,2	0,007	0	0
Hay	8	4,4	6	0,04	1,2	0,01	0	0
at								
Nest	7,68	1,96	7,65	0	1	0	156,3	1,41
le								
Mun	8,45	0,23	1,3	0,02	0,33	89,4	173	1,2
zur								
Sırm	7,4	6,9	22,6	0	10,2	0	371	0,7
a								
Erikl	7,82	0	6,34	0	0,88	0	142,2	0,46
i								
Pına	6,8	4,9	7,9	3,6	0	5,1	60	0,4
r								
Dalg	7,64	8,07	5,77	0	10,5	5,57	255,2	0
a								

Ürün özelliklerinin belirtildiği çizelge oluşturulduktan sonra öncelikle standart sapma yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanır.

Standart Sapma Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

İlk aşamada Çizelge 3.'teki değerlerden başlangıç matrisi oluşturulur. Oluşturulan matris Çizelge 4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Başlangıç matrisi

Ürün	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
A ₁	7	15,3	6,5	0	11,8	2	129,3	0,6
A ₂	7,96	2,6	5,37	0,12	1,07	0	0	0
A ₃	7,6	5,4	0,9	0,04	1,2	0,007	0	0
A ₄	8	4,4	6	0,04	1,2	0,01	0	0
A ₅	7,68	1,96	7,65	0	1	0	156,3	1,41
A ₆	8,45	0,23	1,3	0,02	0,33	89,4	173	1,2
A ₇	7,4	6,9	22,6	0	10,2	0	371	0,7
A ₈	7,82	0	6,34	0	0,88	0	142,2	0,46
A ₉	6,8	4,9	7,9	3,6	0	5,1	60	0,4
A ₁₀	7,64	8,07	5,77	0	10,5	5,57	255,2	0

Müteakiben (2) numaralı eşiklik kullanılarak başlangıç matrisi vektör normalizasyonu yöntemi ile normalize edilir. Normalize edilmiş matris Çizelge 5.'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Normalize edilmiş matris.

Ürün	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
A ₁	0,289 4	0,737 8	0,227 7	0,000 0	0,622 9	0,022 3	0,237 0	0,278 3
A ₂	0,329 1	0,125 4	0,188 1	0,033 3	0,056 5	0,000 0	0,000 0	0,000 0
A ₃	0,314 2	0,260 4	0,031 5	0,011 1	0,063 4	0,000 1	0,000 0	0,000 0
A ₄	0,330 8	0,212 2	0,210 2	0,011 1	0,063 4	0,000 1	0,000 0	0,000 0
A ₅	0,317 5	0,094 5	0,268 0	0,000 0	0,052 8	0,000 0	0,286 5	0,653 9
A ₆	0,349 4	0,011 1	0,045 5	0,005 6	0,017 4	0,996 2	0,317 1	0,556 5
A ₇	0,305 9	0,332 7	0,791 8	0,000 0	0,538 5	0,000 0	0,680 0	0,324 6
A ₈	0,323 3	0,000 0	0,222 1	0,000 0	0,046 5	0,000 0	0,260 6	0,213 3
A ₉	0,281 1	0,236 3	0,276 8	0,999 3	0,000 0	0,056 8	0,110 0	0,185 5
A ₁₀	0,315 9	0,389 2	0,202 1	0,000 0	0,552 7	0,062 1	0,467 8	0,000 0

Başlangıç matrisi normalleştirildikten sonra standart sapma yönteminde bahsedilen (3) numaralı eşitlik ile kriterlerin standart sapması bulunur. Daha sonra (4) numaralı eşitlik ile her bir kriterin standart sapması bulunur ve tüm kriterlerin standart sapmalarının toplamına bölünür. Böylece her bir kriterin göreceli ağırlığı elde edilmiş olur. Kriterlerin standart sapması Çizelge 6.'da, ağırlıklar ise Çizelge 7.'te gösterilmiştir.

Çizelge 6. Kriterlerin standart sapması

Kriter	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
Standart								
rt	0,01	0,20	0,19	0,29	0,24	0,29	0,2106	0,2259
sapma	9	6	8	8	4	5	06	78

Çizelge 7. Kriterlerin ağırlıkları

Kriter	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
Ağırlık	0,01	0,20	0,19	0,29	0,24	0,29	0,21060	0,22597
k	9	6	8	8	4	5	6	8

MOORA Oran Yaklaşımı ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

MOORA Oran yaklaşımında öncelikle Çizelge 5.'te gösterilen normalize matris Çizelge 7.'te belirtilen kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris edilir. Elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris Çizelge 8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 8. Ağırlıklandırılmış normalize matris

Ürün	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
A ₁	0,00 32	0,08 96	0,02 66	0,00 00	0,08 95	0,00 39	0,02 94	0,03 71
A ₂	0,00 37	0,01 52	0,02 20	0,00 58	0,00 81	0,00 00	0,00 00	0,00 00
A ₃	0,00 35	0,03 16	0,00 37	0,00 19	0,00 91	0,00 00	0,00 00	0,00 00
A ₄	0,00 37	0,02 58	0,02 46	0,00 19	0,00 91	0,00 00	0,00 00	0,00 00

A ₅	0,00 35	0,01 15	0,03 13	0,00 00	0,00 76	0,00 00	0,03 56	0,08 71
A ₆	0,00 39	0,00 13	0,00 53	0,00 10	0,00 25	0,17 33	0,03 94	0,07 41
A ₇	0,00 34	0,04 04	0,09 25	0,00 00	0,07 74	0,00 00	0,08 44	0,04 32
A ₈	0,00 36	0,00 00	0,02 60	0,00 00	0,00 67	0,00 00	0,03 24	0,02 84
A ₉	0,00 31	0,02 87	0,03 23	0,17 55	0,00 00	0,00 99	0,01 37	0,02 47
A ₁₀	0,00 35	0,04 72	0,02 36	0,00 00	0,07 94	0,01 08	0,05 81	0,00 00

Ağırlıklanmış Normalize matris elde edildikten sonra (8) numaralı eşitlik kullanılarak fayda (max)yönlü kriterlerin toplamından maliyet (min) yönlü kriterlerin toplamı çıkarılır. Elde edilen sonuçlar büyükten küçüğe doğru sıralanarak alternatiflerin sıralaması belirlenir. MOORA Oran yöntemine göre elde edilen sıralama Çizelge 9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 9. MOORA Oran yaklaşımına göre elde edilen sıralama

Ürün	Değer	Sıralama
A ₁	-0,04047	5
A ₂	0,026908	3
A ₃	0,027737	2
A ₄	0,042938	1
A ₅	-0,08392	8
A ₆	-0,27967	10
A ₇	-0,06872	6
A ₈	-0,03789	4
A ₉	-0,15957	9
A ₁₀	-0,07391	7

MOORA Oran yaklaşımına göre 4'ncü sıradaki ürün 1'nci öncelikli olarak 6'ncı sıradaki ürün ise sonuncu olarak tercih edilmiştir.

MOORA Referans Noktası Yaklaşımına Göre Alternatiflerin Sıralanması

MOORA Referans Noktası yaklaşımı ile ağırlıklandırılmış normalize matristeki her bir kriterin fayda (max) yönlü ise en büyük değeri, maliyet(min) yönlü ise en küçük değeri referans noktası olarak belirlenir. Referans noktalarının belirtildiği ağırlıklandırılmış normalize matris Çizelge 10.'da gösterilmiştir.

Çizelge 10. Ağırlıklandırılmış normalize matriste referans noktaları

Ürün	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
A ₁	0,003 2	0,089 6	0,026 6	0,000 0	0,089 5	0,003 9	0,029 4	0,037 1
A ₂	0,003 7	0,015 2	0,022 0	0,005 8	0,008 1	0,000 0	0,000 0	0,000 0
A ₃	0,003 5	0,031 6	0,003 7	0,001 9	0,009 1	0,000 0	0,000 0	0,000 0
A ₄	0,003 7	0,025 8	0,024 6	0,001 9	0,009 1	0,000 0	0,000 0	0,000 0
A ₅	0,003 5	0,011 5	0,031 3	0,000 0	0,007 6	0,000 0	0,035 6	0,087 1
A ₆	0,003 9	0,001 3	0,005 3	0,001 0	0,002 5	0,173 3	0,039 4	0,074 1
A ₇	0,003 4	0,040 4	0,092 5	0,000 0	0,077 4	0,000 0	0,084 4	0,043 2
A ₈	0,003 6	0,000 0	0,026 0	0,000 0	0,006 7	0,000 0	0,032 4	0,028 4
A ₉	0,003 1	0,028 7	0,032 3	0,175 5	0,000 0	0,009 9	0,013 7	0,024 7
A ₁₀	0,003 5	0,047 2	0,023 6	0,000 0	0,079 4	0,010 8	0,058 1	0,000 0
Kriter yönü	max	max	max	min	min	min	min	min

Referans noktaları belirlendikten sonra fayda(max) yönlü kriterde en büyük değerden diğer değerler çıkarılarak, maliyet(min) yönlü kriterde ise her bir değerden en küçük değer çıkarılarak yeni matris elde edilir. B u yeni matriste her satırdaki en büyük değer belirlenir. Elde edilen matris ve en büyük değerler Çizelge 11.'de gösterilmiştir.

Çizelge 11. Referans noktaları sonuç matrisi

Ürün	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
A ₁	0,0007	0,0000	0,0659	0,0000	0,0895	0,0039	0,0294	0,0371
A ₂	0,0002	0,0744	0,0705	0,0058	0,0081	0,0000	0,0000	0,0000
A ₃	0,0004	0,0580	0,0888	0,0019	0,0091	0,0000	0,0000	0,0000
A ₄	0,0002	0,0638	0,0680	0,0019	0,0091	0,0000	0,0000	0,0000
A ₅	0,0004	0,0781	0,0612	0,0000	0,0076	0,0000	0,0356	0,0871
A ₆	0,0000	0,0882	0,0872	0,0010	0,0025	0,1733	0,0394	0,0741
A ₇	0,0005	0,0492	0,0000	0,0000	0,0774	0,0000	0,0844	0,0432
A ₈	0,0003	0,0896	0,0666	0,0000	0,0067	0,0000	0,0324	0,0284
A ₉	0,0008	0,0609	0,0602	0,1755	0,0000	0,0099	0,0137	0,0247
A ₁₀	0,0004	0,0423	0,0689	0,0000	0,0794	0,0108	0,0581	0,0000
Kriter yönü	max	max	max	min	min	min	min	min

Daha sonra Çizelge 11.'de her satırda koyu olarak işaretlenmiş olan en büyük değerler küçükten büyüğe küçüğe doğru sıralanarak alternatiflerin sıralaması belirlenir. MOORA Referans yöntemine göre elde edilen sıralama Çizelge 12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 12. MOORA Referans yaklaşımına göre elde edilen sıralama

Ürün	Değer	Sıralama
A ₁	0,089523	7
A ₂	0,074353	2
A ₃	0,088828	6
A ₄	0,067951	1
A ₅	0,087102	5
A ₆	0,173265	9
A ₇	0,084418	4
A ₈	0,089575	8
A ₉	0,175490	10
A ₁₀	0,079433	3

Yapılan hesaplama sonucunda 4'üncü alternatif ilk sırada 9'uncu alternatif ise son sırada yer almıştır.

MOORA Tam Çarpım Yaklaşımına Göre Alternatiflerin Sıralanması

Bu yaklaşımda diğer yaklaşımlardan farklı olarak başlangıç karar matrisinin değerleri üzerinden işlem yapılmaktadır. İlk aşamada kriterler fayda (max) ve maliyet (min) yönlü olarak ikiye ayrılmaktadır. Öncelikle fayda yönlü kriterlerin çarpımı Eşitlik (12) ile bulunarak, sonra Eşitlik (13) ile elde edilen maliyet yönlü kriterlerin çarpımına Eşitlik (11)'de gösterildiği gibi bölünmektedir. Bu işlemlerin sonucu Çizelge 13.'te gösterilmiştir. Başlangıç matrisimizde ilk üç kriter fayda yönlü diğer beş kriter ise maliyet yönlüdür. Burada dikkat edilmesi gereken husus tam çarpım metodunda değerler birbiri ile çarpılacağından 0 olan bir değer çarpım sonucunu 0 yapacağı için bir sonuç elde edilemeyeceğidir. Bu yüzden esasen etiketlerde tespit edilemedi olarak belirtilen içme suyu değerleri 0 olarak belirtilmiş olup, tam çarpım sonucunu yutmaması için 0 olan değerler boş bırakılarak işlemler yapılacaktır.

Çizelge 13. Tam Çarpım Yöntemi ile yapılan işlemler

Ürün	Max.Çarpım	Min.Çarpım	Max.Çarpım/Min.Çarpım
A ₁	696,15	1830,888	0,380225
A ₂	111,1375	0,1284	865,557
A ₃	36,936	0,000336	109928,6
A ₄	211,2	0,00048	440000
A ₅	115,1539	220,383	0,522517
A ₆	2,52655	122,4923	0,020626
A ₇	1153,956	2648,94	0,435629
A ₈	49,5788	57,56256	0,861303
A ₉	263,228	440,64	0,597377
A ₁₀	355,7482	14882,73	0,023903

Bölme işlemi tamamlandıktan sonra kriterler aldıkları en büyük değerden en küçük değere doğru sıralanır. İlk sırada yer alan alternatif en çok tercih edilen son sırada yer alan alternatif ise en az tercih edilen seçenektir. MOORA Tam Çarpım Yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre alternatiflerin sıralanması Çizelge 14.'te gösterilmiştir.

Çizelge 14. MOORA Tam Çarpım Yaklaşımına göre elde edilen sıralama

Ürün	Değer	Sıralama
A ₁	0,380225	8
A ₂	865,557	3
A ₃	109928,6	2
A ₄	440000	1
A ₅	0,522517	6
A ₆	0,020626	10
A ₇	0,435629	7
A ₈	0,861303	4
A ₉	0,597377	5
A ₁₀	0,023903	9

Bu hesaplamalar sonucunda 4'üncü alternatif en iyi özelliklere sahip 6'ncı alternatif ise en kötü özelliklere sahip içme suyu markası olarak belirlenmiştir.

İyileştirilmiş Borda Kuralı Nihai Sonucun bulunması

Borda kuralına göre yapılan işlemler sonucu elde edilen sıralama Çizelge 15.'te gösterilmiştir.

Çizelge 15. MULTIMOORA yaklaşımlarının borda kuralına göre nihai olarak sıralanması

Ürün	MOORA		MOORA		MOORA		Toplam	
	Oran	Borda	Referans	Borda	Tam	Borda	Borda	Borda
	Sıralama	Değeri	Sıralama	Değeri	Çarpımsal	Değeri	Değeri	Sıralama
					Sıralama			
A ₁	5	5	7	3	8	2	10	8
A ₂	3	7	2	8	3	7	22	2
A ₃	2	8	6	4	2	8	20	3
A ₄	1	9	1	9	1	9	27	1
A ₅	8	2	5	5	6	4	11	6 veya 7
A ₆	10	0	9	1	10	0	1	10
A ₇	6	4	4	6	7	3	13	5
A ₈	4	6	8	2	4	6	14	4
A ₉	9	1	10	0	5	5	6	9
A ₁₀	7	3	3	7	9	1	11	6 veya 7

İyileştirilmiş Borda Kuralı'nı uygulamak için, ilk olarak oran yaklaşımı, referans noktası yaklaşımı ve tam çarpımsal yaklaşımdan elde edilen y_i, z_i ve u_i değerlerinin vektör normalizasyonu kullanılarak normalleştirilmiş değerleri elde edildikten sonra Eşitlik (15) ile İBK değerleri bulunur. MULTIMOORA yaklaşımlarından oluşan başlangıç matrisi Çizelge 16.'da gösterilmiştir.

Çizelge 16. MULTIMOORA yaklaşımları sonucu başlangıç matrisi

Ürün	MOORA Oran Sıralama	MOORA Referans Sıralama	MOORA Tam Çarpımsal Sıralama
A ₁	5	7	8
A ₂	3	2	3
A ₃	2	6	2
A ₄	1	1	1
A ₅	8	5	6
A ₆	10	9	10
A ₇	6	4	7
A ₈	4	8	4
A ₉	9	10	5
A ₁₀	7	3	9

MULTIMOORA yaklaşımlarının sonuçlarından oluşan matrisinin normalize edilmesi sonucu elde edilen matris Çizelge17.'de gösterilmiştir.

Çizelge 17. MULTIMOORA yaklaşımları sonuçlarının normalize edilmiş hali

Ürün	MOORA Oran Sıralama	MOORA Referans Sıralama	MOORA Tam Çarpımsal Sıralama
A ₁	0,254824	0,356753	0,407718
A ₂	0,152894	0,101929	0,152894
A ₃	0,101929	0,305788	0,101929
A ₄	0,050965	0,050965	0,050965
A ₅	0,407718	0,254824	0,305788
A ₆	0,509647	0,458682	0,509647
A ₇	0,305788	0,203859	0,356753
A ₈	0,203859	0,407718	0,203859
A ₉	0,458682	0,509647	0,254824
A ₁₀	0,356753	0,152894	0,458682

(15) numaralı eşitlik kullanılarak İBK tabanlı değerler elde edilir. Bu değerler toplanarak her bir ürünün nihai İBK değeri bulunur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 18.'de gösterilmiştir.

Çizelge 18. MULTIMOORA yaklaşımları İBK ile elde edilen sonuçları

Ürün	İBK MOORA Oran Değerleri	İBK MOORA Referans Değerleri	İBK MOORA Tam Çarpımsal Değerleri	İBK Sonuç
A ₁	0,027799	0,045405	0,022239	0,004633
A ₂	0,022239	0,003707	0,022239	0,040772
A ₃	0,016679	0,033359	0,016679	0
A ₄	0,009266	0,000927	0,009266	0,017606
A ₅	0,022239	0,023166	0,027799	0,026872
A ₆	0,009266	0,075057	0,009266	-0,05652
A ₇	0,027799	0,014826	0,025946	0,038919
A ₈	0,025946	0,059304	0,025946	-0,00741
A ₉	0,016679	0,092663	0,027799	-0,04818
A ₁₀	0,025946	0,00834	0,016679	0,034285

Nihai olarak İBK Toplam sütunundaki değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak elde edilen sonuç matrisi Çizelge 19.'da gösterilmiştir.

Çizelge 19. İBK Tümlleşik MULTIMOORA yöntemine göre nihai sıralama

Ürün	Değer	Sıralama
A ₁	0,004633	6
A ₂	0,040772	1
A ₃	0	7
A ₄	0,017606	5
A ₅	0,026872	4
A ₆	-0,05652	10
A ₇	0,038919	2
A ₈	-0,00741	8
A ₉	-0,04818	9
A ₁₀	0,034285	3

İBK yaklaşımı ile yapılan nihai sıralama Çizelge 13.'te gösterilen borda kuralına göre yapılmış sıralamaya göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Borda kuralına göre yapılan nihai sıralamada 4 numaralı ürün özellikleri en çok istenen ürün olarak ortaya çıkarken, İBK'na göre yapılan sıralamada en iyi seçeneğin 2 numaralı ürün olduğu ortaya çıkmaktadır.

Sonuç

İklim değişikliği, çölleşme, kuraklık, arazi bozulması, şiddetli fırtınalar ve seller gibi sorunlara yol açarak ülkelerin gelişmesini olumsuz etkileyen ve ulusal güvenliklerini tehdit eden bir durumdur. Bu nedenle, hükümetler iklim değişikliğiyle ilgili acil önlemler almaya çalışmaktadır. Hâlihazırda olumsuz etkileri açıkça gözlemlenebilmekte olan özellikle su gibi doğal kaynakların korunmasına hassasiyet gösterilmesi gerekmektedir. Unutulmamalıdır ki su, canlıların hayatta kalması kadar ülkelerin ekonomik kalkınması için de hayati öneme sahiptir. Ayrıca, suya bağlı olarak gıda, enerji ve ekosistem güvenliğinin de sağlanması ülkelerin geleceği için hayati öneme sahiptir.

Bu bağlamda nüfusun ve sanayileşmenin hızla artması, tarımsal gübre ve ilaçların kullanımının yaygınlaşması gibi faktörler nedeniyle su kıtlığı yaşayan ülkelerin, 20-30 yıl sonra geri dönüşü olmayan su sorunlarıyla karşı karşıya kalacakları açıktır. Su, hayati ve temel bir insan hakkıdır, sadece bir ihtiyaç değil hayatın devamı için gereklidir. Bu bağlamda, su toplumsal bir değer olarak önemli bir role sahiptir. Herkes, sağlıklı bir yaşam sürdürebilmek için temiz ve güvenli suya erişebilmeli ve suya erişim hakkı hükümetlerce yasal teminat altına alınmalıdır.

Çünkü su, yaşamın devamı ve biyolojik-fizyolojik aktiviteler için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Her gün besinler ve doğrudan vücudumuza aldığımız ortalama 2.5 litre suyun önemi göz önünde bulundurulduğunda, içme suyunun kalitesinin sağlığımız için ne kadar değerli olduğu ortadadır. Su, sadece insanlar için değil,

bitkilerin ve hayvanların sağlığı ve verimliliği açısından da hayati bir öneme sahiptir.

Bu doğrultuda yapılan bu çalışma ile su güvenliğinin önemi ortaya konmaya çalışılmış. Paketlenmiş içme su pazarındaki gelişmeler ve işletmeler hakkında bilgi verilmiştir. Bu işletmelerde üretilen paketlenmiş içme suyu değerleri kantitatif olarak ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilerek tüketicilere bir karar verme modeli önerilmiştir. Bu çalışmada ortaya konmak istenen hangi paketlenmiş suyun daha kaliteli olduğunu kanıtlamak değerildir. Ele alınan ürünlerin tamamı bilinen ve belirli derecelendirme kuruluşlarının değerlendirmelerinden geçmiş ve beğeni ile tüketilen ürünlerdir. Amaç, birden fazla kriterin söz konusu olduğu durumlarda bir karar verici olarak tüketicilerin karar vermesine yardımcı olacak bir model önermektir. Burada da elimizde tamamen nicel değerler olduğu için Standart Sapma tabanlı MULTIMOORA yaklaşımı ile elde edilen sonuçları İyileştirilmiş Borda Kuralına göre sıralanmıştır.

Böylece tüketicileri en uygun ürünü seçme konusunda yardımcı olunmaya çalışılmıştır. Ancak Abdulvahitoğlu ve Cengiz'in (2022) alışmalarında ortaya koyduğu gibi piyasada bir ürün çok fazla çeşidinin ve üreticisinin bulunduğu, ürün içerikleri ile ilgili paketlenmiş gıda maddelerinin etiketlerinde yeterince bilgi bulunmaması veya ortak bilgilerin olmaması bu çalışmanın en büyük sınırlılığı olarak ortaya çıkmıştır. Bu husus ta karşılaştırma yapmada zorlanılmasına neden olmuş, ortak özelliklere sahip paketlenmiş sular değerlendirmeye tutulmuştur.

Sonuç olarak hayatın her anında kullanılmakta olan ÇKKV yöntemleri ile tüketicilerin daha bilinçli davranmaları ve sadece marka değerine göre değer gıda maddelerinin besin değerı, mineral değerı gibi nicel olarak ifade edilen özelliklerine göre analitik olarak değerlendirerek elde ettikleri sonuca göre davranmaları önerilmiştir. Bu çalışmanın diğer gıdalar için de yapılması durumunda tüketiciler daha bilinçli davrandığı gibi üreticilerde ürettikleri ürünler hakkında daha hassas davranıp bilinçli tüketicilerin var olduğu bir pazarda daha rekabetçi davranmak zorunda kalacaklardır. Bu husus ta

tüketicilere sunulan gıda maddelerinde kalitenin artmasına katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

Abdulahitoğlu, A., (2022). ÇKKV Yöntemleri, Matematiksel Modelleme ve CBS ile Jandarma Karakolu Kuruluş Yeri seçimi, Nobel Yayınevi, Ankara.

Abdulahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A. ve Vural D., (2022). Elektrikli Otomobil Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme: Borda Tümlleşik MULTIMOORA Yöntemi. 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, November 10-13, 2022, Konya, Türkiye.

Abdulahitoğlu, A. ve Cengiz, N., (2022). Peynir Üretiminde Kullanılan Gıda Katkı Maddelerinin SWARA Yöntemi ile Değerlendirilmesi. 1st International Conference on Scientific and Academic Research, December 10-13 2022, Konya, Türkiye.

Afshari, A., Vatanparast, M., ve Čóckalo, D., (2016). Application of Multi Criteria Decision Making to Urban Planning - A Review. Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC), 6:46–53.

Akyüz, G. ve Aka, S., (2017). Çok kriterli karar verme teknikleriyle tedarikçi performansı değerlendirmede toplamsal bir yaklaşım. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 15(2):28-46.

Altun, İ., (2011). Süt ve Ürünlerinde HACCP Uygulaması. Iğdır Üni. Fen Bil. Enst. Der., 1(2):63-67.

Başaran, B., (2016). The effect of ISO Quality Management System Standards on Industrial Property Rights in Turkey. World Patent Information, 45:33-46.

Betrie, G. D., Sadiq, R., Morin, K. A. ve Tesfamariam, S., (2013). Selection of Remedial Alternatives for Mine Sites: A Multicriteria Decision Analysis Approach. Journal of Environmental Management, 119:36-46.

Brauers, W.K.M, and Zavadskas E.K., (2011). MULTIMOORA optimization used to decide on a bank loan to buy

property. Technological and Economic Development of Economy, 17(1):174-188.

Bulut, T., (2017). MULTIMOORA Yöntemi ile Farklı İllerdeki Organize Sanayi Bölgelerinin Yabancı Yatırımcılar Açısından Optimal Yer Seçimi Olarak Değerlendirilmesi. Finans Politik & Ekonomik Yorumlar, 54(624):41-52.

Çakır, S. ve Perçin, S., (2013). AB ülkelerinde Bütünleşik Entropi Ağırlık-TOPSIS yöntemiyle AR-GE performansının ölçülmesi. Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi, 32(1):77-95.

Demir, G., Özyağın, A.T. ve Bircan, H., (2021). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve ÇKKV Yazılımı ile Problem Çözümü. Nobel Yayıncılık.

Dixon Thomas H., (1994). Environmental Scarcities and Violent Conflict: Evidence from Cases-Part 1. International Security, Peace and Conflict Studies Program, University of Toronto, 19(1):5-40.

DSİ, (2023). Devlet Su İşleri Faaliyet raporu. <https://www.dsi.gov.tr>. Erişim Tarihi: 12 Mayıs 2023.

Durmuş, M. ve Tayyar, N., (2017). AHP ve TOPSIS ile Farklı Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Kullanılması ve Karar Verici Görüşleriyle Karşılaştırılması. Eskişehir Osmangazi Üni. İİBF Dergisi, 12(3):65-80.

Elmacık. <https://elmaciksu.com.tr/> Erişim Tarihi: 26 Nisan 2023.

Ertaş, S. ve Sarımehtetoğlu, B., (2019). Su Güvenliği. Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 16(2):141-146.

Fattahi, R. and Khalilzadeh, M., (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. Safety Science 102:290-300.

Gök, M., (2015). G20 ülkelerinin enerji göstergeleri açısından çok kriterli karar verme teknikleri ile sıralanması. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Y.Lisans Tezi.

Hafezalkotob, A., Liao, H. ve Herrera, F., (2019). An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision-making: theory, developments, applications, and challenges. Information Fusion, 51:145-177.

Hamidiye Su. <https://www.perpalife.com/hamidiye-su> Erişim Tarihi: 26 Nisan 2023.

Hayat, <https://www.hayatsu.com.tr/> Erişim Tarihi: 26 Nisan 2023.

Jawahar P. ve Ringler C., (2009). Water quality and food safety: a review and discussion of risks. Water Policy, 11(6):680-695.

Karim, R. ve Karmaker, C.L., (2016). Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods, American Journal of Industrial Engineering, 4(1):7-13.

Kılıç, S., (2008). Küresel İklim Değişikliği Sürecinde Su Yönetimi. İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 39:161-186.

Koç. A.A., Bölük, G. ve Aşçı, S., (2008). Gıda Güvenliği ve Kalite Standartlarının Gıda İmalat Sanayinde Yoğunlaşmaya Etkisi. Akdeniz İİBF. Dergisi 16:83-115.

Korkmazhaber, (2022). İdeal İçme Suyu Kalitesi Maksimum Analiz Değerleri, <https://korkmazhaber.com>. Erişim Tarihi: 25 Nisan 2023.

Milliyet, (2023). Dünya Nüfusu 2023: Dünyada Kaç İnsan Var? Ülkelere Göre Dünya Nüfus Sıralaması. <https://www.milliyet.com.tr/dunya/dunya-nufusu>, Erişim Tarihi: 16 Mayıs 2023.

Munzur. <https://munzursu.com.tr/> Erişim Tarihi: 26 Nisan 2023.

Nestle. <https://nestlepurelife.com.tr/> Erişim Tarihi: 26 Nisan 2023.

Onbaşı, E. ve ınar, A., (2022). Keřköl Üretiminde HACCP Sisteminin Uygulanması. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Dergisi, 36(1):41-48.

Onurlubaş, E. ve Gürl r, A.Z., (2016). Gıda Güvenliği Konusunda Tüketicilerin Bilinç Düzeyini Etkileyen Faktörler. Gaziosmanpařa Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Dergisi, 33(1):132-141.

Öksüztepe, G. ve Beyazgül, P., (2015). Akıllı Ambalajlama Sistemleri ve Gıda Güvenliği. Fırat. .Sağ.Bil.Vet.Dergisi, 29(1):67-74.

 zakmak, S., Gökçek, M. ve G l, O., (2017). Pirinç Üretiminde HACCP Sisteminin Uygulanması. CB  Fen Bil. Dergisi. 1381):259-273.

Pekkaya, M. ve Bucak, U., (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bölgesel Liman Kuruluş Yeri Seçimi: Batı Karadeniz’de Bir Uygulama,18’nci EY  Sempozyumu  zel Sayısı:253-268.

Saka. <https://www.tazedirekt.com/saka-dogal-mineralli-su> Erişim Tarihi: 26 Nisan 2023.

Sarış, F., (2021). Türkiye’de Evsel Su Tedarik ve Tüketim İstatistiklerinin Değerlendirilmesi. Coğrafi Bilimler Dergisi, 19(1):195-216.

Sırma. <https://bim-a101-aktuel.com/bim-sirma-su> Erişim Tarihi: 26 Nisan 2023.

Taylor, R., (2009). Rethinking water scarcity: The role of storage. Eos, Transactions, AGU, 90(28):237-248.

Tuğaç, Ç., (2014). İklim güvenliği kapsamında su kaynaklarının yönetimi. TODAİE Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi, 23(3):1-30.

Türkoğlu, S.P., (2017). Karar Vermede Hedef Programlama Yöntemi ve Uygulamaları, Osmaniye Korkut Ata Üni., İİBF Dergisi, 1(2):29-46.

Tzanakakis, V.A., Paranychianakis, N., Angelakis, A., (2020). Water supply and water scarcity. Water, 12 (2347):1-16.

UNESCO, (2019). The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind; UNESCO: WorldWater Assessment Programme. Paris, France.

Unnehehr L.J. ve Hirschhorn N., (2000). Food Safety Issues in the Developing World, World Bank, Washington DC, USA.

Waldron, T., (2005). Managing and Reducing Losses from Water Distribution Systems. Manual 10, Executive Summary; Environmental Protection Agency: Brisbane, Australia, ISBN 0724294988.

Web, (2023). Maden Suyu Mucizesi. <http://www.masuder.org.tr> . Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2023

Web-a, (2014). Sudaki minerallerin vücuda olan yararları. <http://www.sabunculartarim.com.tr>. Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2023.

Web-b, (2023). İçme Suyu Kabul Edilebilir Değerleri. Doğa Bitkileri ve Su ürünleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, <https://dobisu.marmara.edu.tr> Erişim Tarihi:25 Mayıs 2023.

Wu, J., Güneş, J., Liang, L. ve Zha, Y., (2011). Determination of weights for ultimate cross efficiency using Shannon Entropy,” Expert system with Applications, 38(5):5162-5165.

Wu, X., Liao, H., Xu, Z., Hafezalkotob, A. ve Herrera, F., (2018). Probabilistic linguistic MULTIMOORA: a multicriteria decision making method based on the probabilistic linguistic

expectation function and the improved borda rule. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 26(6):3688-3702.

Zavadskas, E.D., Cereska, A., Matijosius, J., Rimkus, A. ve Bausys, R., (2019). Internal Combustion Engine Analysis of Energy Ecological Parameters by Neutrosophic MULTIMOORA and SWARA Methods. Energies, 12:1-26.

BÖLÜM II

Şanlıurfa İlindeki İşletmelerin Endüstri 4.0, İnovasyon Ve Dijital Dönüşüme Yaklaşımını Etkileyen Faktörlerin Crt Karar Ağacı İle Modellemesi

Gencay SARIİŞİK¹
Ahmet Sabri ÖĞÜTLÜ²

1. GİRİŞ

Dijital dönüşüm imalat sektöründe teknolojik gelişmeler ile birlikte akıllı üretim teknikleri beraberinde Endüstri 4.0 uygulamalarının başlaması ile ön plana çıkmıştır (Chou, 2019). Endüstri 4.0 temelinde yeni nesil teknolojiler ve kilit teknolojilerin potansiyel kullanımını belirlemek için tartışılmaktadır (Lasi vd. 2014; Alcácer ve Cruz-Machado, 2019; Drath ve Horsch, 2014; Rüßmann vd. 2015; Hermann vd. 2016). Endüstri 4.0

¹ Prof. Dr., Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği, gsariisik@harran.edu.tr, (Sorumlu Yazar), Orcid: 0000-0002-1112-3933

² Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği, sogutlu@harran.edu.tr, Orcid: 0000-0003-1634-0600

uygulamalarında yönetim perspektifleri, yönetim sisteminin hangi temel ilkelere dayanması gerektiği, iş organizasyonu modelinin tasarımı, finansal zorluklar, benimsenmesinde engeller, gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler bağlamında tartışılmaktadır (Brunelli vd. 2017; Safar vd. 2018; Özçelik vd. 2019; Ghobakhloo, 2020; Raj vd. 2020; Laskurain-Iturbe vd. 2021). Endüstri 4.0'a hazırlık ve uygunluk aşamalarını ölçebilecek bir model geliştirilmiştir (Khin ve Kee, 2022). Endüstri 4.0 teknolojilerinde geri dönüşüm ve geri kazanım araştırılmaktadır (Demir vd. 2022). Endüstri 4.0 süreci ile birlikte işletmelerde dijital işlem sayısı artmış, operasyonel süreçlerini, organizasyon yapılarını, stratejilerini ve teknolojik gelişimlerini etkilemiştir. Bu durumda işletmeler iç ve dış kaynakları ve iş süreçleri hakkında değerlendirmeler yapmaları gerekmektedir (González ve Ferencz, 2018; Lin vd. 2020).

İmalat sektöründeki işletmeler üretim teknolojilerini ve süreçlerini geleceğe hazırlamak ve sürdürülebilirliğini sağlamak için bilgi, teknik/teknoloji ve araçlara ihtiyaç duymaktadır. Bazı şirketler, geniş ve karmaşık Endüstri 4.0 altyapısı nedeniyle dijital dönüşümü anlamakta ve fırsatları öngörmekte zorluk çekmektedir. Bu nedenle, gelecekteki dijital dönüşüm süreçlerini sağlıklı bir şekilde yönetebilmek ve hazırlayabilmek için öncelikle hangi düzeyde olduklarını belirlemeleri gerekmektedir (Robet vd. 2022).

İmalat sektöründe altıncı bölgede yer alan Şanlıurfa ilinde katma değeri yüksek ürünlerin üretiminde yeni teknolojilerin kullanılması için çeşitli teşvik uygulamaları desteklenmektedir. Ar-Ge çalışmalarının teşvik edilmesinde uygun politikaların ve projelerin geliştirilmesinde tarım şehri olması ve genç nüfusun fazla olması önem arz etmektedir. 2008 yılından sonra imalat sektöründe özellikle tarıma dayalı sanayi sektöründe açılan işletmelerde ciddi bir artış olduğu görülmektedir. TÜİK verilerine göre 2021 yılında 1613 işletme kurulmuştur. İmalat sektörlerinde gıda sektöründe % 29, tekstil sektöründe % 32 ve diğer sektörlerde % 39 görünüm sergilemektedir. Şanlıurfa ilinde yer alan firmaların önemli bir bölümü; KOBİ'lerden oluşmaktadır. İmalat sektöründe gıda, tekstil, makine, kimya, plastik, seramik, enerji, doğal taş ve inşaat sektörü

öne çıkmaktadır. İl bazlı yerel politikaların geliştirilmesi beraberinde Şanlıurfa ekonomisinin hızlı gelişimini getirecek ve ulusal kalkınmanın sağlanmasında önemli bir paya sahip olmasını sağlayacaktır (KKA 2020; Siverekli ve Sarıışık 2017; Karaoğul vd. 2020).

İmalat sektöründeki işletmelerin yenilikçi yönlerinin artırılması için küresel rekabet koşullarına dayanıklı ve katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesi gerekmektedir. İşletmelerin tedarik, yönetim, üretim, finansman ve pazarlama kısımlarının dijital dönüşüm ile geliştirilmesi için Endüstri 4.0 geçiş sürecinde farkındalıklarının artırılması gerekmektedir (Sarıışık vd., 2022). Düzce ilindeki işletmelerin Endüstri 4.0 Ar-Ge yaklaşımı ve algısı (Yıldız vd. 2021), Konya ilindeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 sürecinde teknolojileri kullanım seviyeleri belirlenmesi incelenmiştir (Yiğitöl vd. 2020). Şanlıurfa ilinde imalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramı, farkındalık seviyesi ve geçiş sürecindeki öncelikleri (Sarıışık vd. 2022), akıllı ve sürdürülebilir tedarik zinciri kapsamında Endüstri 4.0 farkındalık ve olgunluk seviyeleri araştırılmıştır (Demir vd. 2022; Aşut ve Demir 2023). Bu çalışmada, Şanlıurfa ilinde imalat sektöründeki işletmelerin Endüstri 4.0, inovasyon ve dijital dönüşüme yaklaşımları belirlenmesi amaçlanmıştır. İşletmelerin Endüstri 4.0, yenilik ve dijital dönüşümü etkileyen faktörlerden Endüstri 4.0 kavramı ve farkındalık seviyesi, bilişim ve üretim teknolojileri kullanım düzeyleri aralarındaki ilişkileriyle, bağımlı ve bağımsız değişkenleri arasındaki ilişki CRT karar ağacı yöntemi kullanılarak yol gösterici öneriler sunulması hedeflenmiştir.

2. YÖNTEM

Araştırmada Şanlıurfa ilinde imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelere anketler uygulanmıştır. Hazırlanan anket formları işletmelerin sektörel ve şirket türü dağılımları, Endüstri 4.0 kavramları, farkındalık seviyesi ve geçiş sürecindeki öncelikleri, bilişim ve üretim teknolojileri kullanım düzeylerinden oluşmaktadır. Anketleri hazırlarken örneklem büyüklüğünde ilin ekonomisi,

işletmeleri sektörel farklılıkları ve sayısı dikkate alınmıştır. Çalışmada 120 işletme tabakalı örnekleme yönteminden yararlanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada uygulanan anketler için Harran Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulundan onay alınmıştır.

Anketlerde öncelikle işletmelerin Endüstri 4.0 kavramlarından yeni ekonomik ilişkiler, dijital ekonomi, ARGE, yüksek otomasyon teknolojisi ve yapay zeka hakkında görüşleri alınmıştır. Endüstri 4.0 farkındalık seviyelerinin tespiti için 5’li likert ölçeğine göre (1. Çok düşük.....5. Çok yüksek) cevaplar alınmıştır.

Anketlerde Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki öncelikleri etkileyen faktörlerin GSÖ1-GSÖ4 sorularda 4’lü likert ölçeğine (1. 2. 3. ve 4. Öncelik) göre cevaplar alınmıştır.

GSÖ1: Endüstri 4.0 kavramı hakkındaki görüşleri

GSÖ2: Endüstri 4.0’a geçme ihtiyacına ilişkin görüşleri

GSÖ3: Endüstri 4.0 ile ilgili üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilme düzeyi

GSÖ4: Endüstri 4.0 ile üretim süreci akıllı sensörler vasıtasıyla izlenmesi

Anketlerde yenilik ve dijital dönüşümü etkileyen faktörlerden BTK1-BTK5 nolu ve ÜTK1-ÜTK5 sorularda 5’li likert ölçeğine (1. Hiç uygulamıyor.....5. İleri seviyede uyguluyor) göre cevaplar alınmıştır.

KOBİ’lerin bilişim teknolojileri kullanım düzeylerine ilişkin anket soruları aşağıda verilmiştir.

BTK1: KOBİ’lerin internet kullanımı

BTK2: KOBİ’lerin kurum kaynak planlaması sistemleri kullanımı

BTK3: KOBİ’lerin sosyal ağı sistemleri kullanımı

BTK4: KOBİ'lerin dijital pazarlama sistemleri kullanımı

BTK5: KOBİ'lerin yazılım programı kullanımı

KOBİ'lerin üretim teknolojileri kullanım düzeylerine ilişkin anket soruları aşağıda verilmiştir.

ÜTK1: Bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri,

ÜTK2: Üretim yönetimi sistemleri

ÜTK3: Müşteri ilişkileri yönetimi sistemleri

ÜTK4: İleri imalat teknolojileri planlama sistemleri

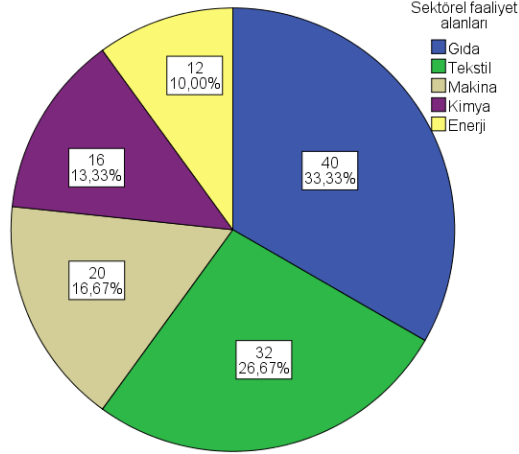
ÜTK5: Tedarik zincirinde sipariş işlemleri sistemleri

İşletmelerin Endüstri 4.0 kavramı, farkındalık seviyesi, geçiş sürecindeki öncelikleri, bilişim ve üretim teknolojileri kullanım düzeylerine ilişkin davranışları belirlenmiştir. İşletmelere anket ile hazırlanan sorular yöneltilerek, elde edilen veriler SPSS 26.0 paket programı kullanılarak, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yöntemi ile analiz edilmiştir. İşletmelerin Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki öncelikleri, bilişim ve üretim teknolojileri kullanım düzeylerine etki eden faktörleri hakkında sektörler arası toplam 14 araştırma hipotezi kurulmuş ve CRT algoritmaları kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

3.1. İşletmelere İlişkin Bulgular

Çalışmada araştırmaya katılan imalat sektöründeki işletmelerin bilgileri; işletmenin sektörel faaliyet alanı Şekil 1'de işletmenin çalışan sayısı Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İşletmenin ana faaliyet alanına göre dağılımları

Araştırmaya katılan gıda sektöründe işletme sayısı 40 ve %33.33, tekstil sektörlerinde işletme sayısı 32 ve % 26.67, makine sektörlerinde işletme sayısı 20 ve % 16.67, kimya sektörlerinde işletme sayısı 16 ve % 13.33, enerji sektörlerinde işletme sayısı 12 ve % 10 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada işletmelerin dağılımının gıda ve tekstil sektörleri % 60 oluştururken, % 40 ise diğer sektörlerden oluştuğu görülmektedir.

Tablo 1. Çalışan sayılarına göre sektörlerin işletme dağılımları

İşletmenizin ana faaliyet alanı		Çalışan Sayısı			
		1-9	10-49	50-249	≥250
Tekstil	Sayı	9	18	11	2
	Yüzde	22,5	45,0	27,5	5,0
Gıda	Sayı	8	14	9	1
	Yüzde	25,0	43,8	28,1	3,1
Kimya	Sayı	5	8	6	1
	Yüzde	25,0	40,0	30,0	5,0
Elektrik-Elektronik	Sayı	4	7	5	0
	Yüzde	25,0	43,8	31,3	0,0
Makine	Sayı	6	3	3	0
	Yüzde	50,0	25,0	25,0	0,0
Toplam	Sayı	32	50	34	4
	Yüzde	26,7	41,7	28,3	3,3

Araştırmaya katılan işletmelerin % 3,3'ü büyük işletmeler, % 96,7'si KOBİ'ler oluşturmaktadır. Toplam sektörlerin işletme dağılımları 10-49 arasında çalışan sayılarına göre % 41.7 ile en yüksek olduğu görülmektedir.

3.2. Endüstri 4.0 Geçiş Sürecindeki Önceliklerine Ait Hipotezler

Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren işletmelere yönelik gerçekleştirilen saha çalışması ile bu işletmelere yönelik Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki öncelikleri değerlendirilmiştir. Aşağıda araştırmaya katılan imalat sektöründeki işletmelerin Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki önceliklerine ilişkin araştırma hipotezleri verilmiştir. İşletmelerin H_1 - H_4 hipotezleri konularında sektörler arasında fark vardır.

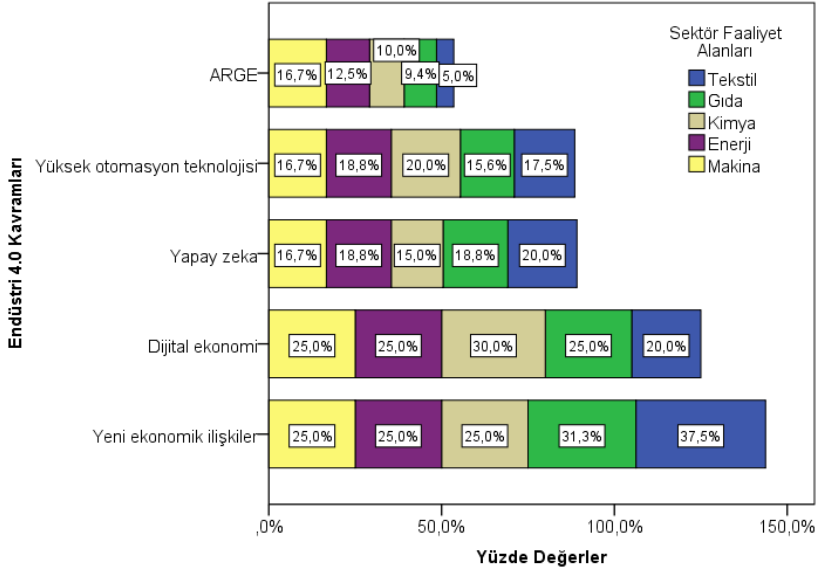
Araştırmada oluşturulan H_1 - H_5 hipotezleri ANOVA analizi kullanılarak Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki öncelikleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tablo 2'de H_1 - H_4 hipotezlerinin varyans homojenliği testine göre p değerinin 0,05'ten büyük, ANOVA analizinde ise p değeri 0,05 değerinden küçük olduğu için hipotezler kabul edilir.

Tablo 2. H_1 - H_5 hipotezlerin varyans homojenliği testi ve ANOVA analizi sonuçları

Hipotez	Levene İstatistik	df 1	df 2	Sig.	Kareler Topl.	df	Kareler Ort.	F	Sig
H_1	2,243	4	115	0,072	4,083	4	1,021	1,651	0,017
H_2	1,065	4	115	0,358	5,158	4	1,264	2,210	0,032
H_3	1,758	4	115	0,139	4,473	4	1,118	1,975	0,011
H_4	1,983	4	115	0,108	5,221	4	1,305	2,272	0,007

3.2. İşletmelerin Endüstri 4.0'a Kavramına Göre CRT Modeli

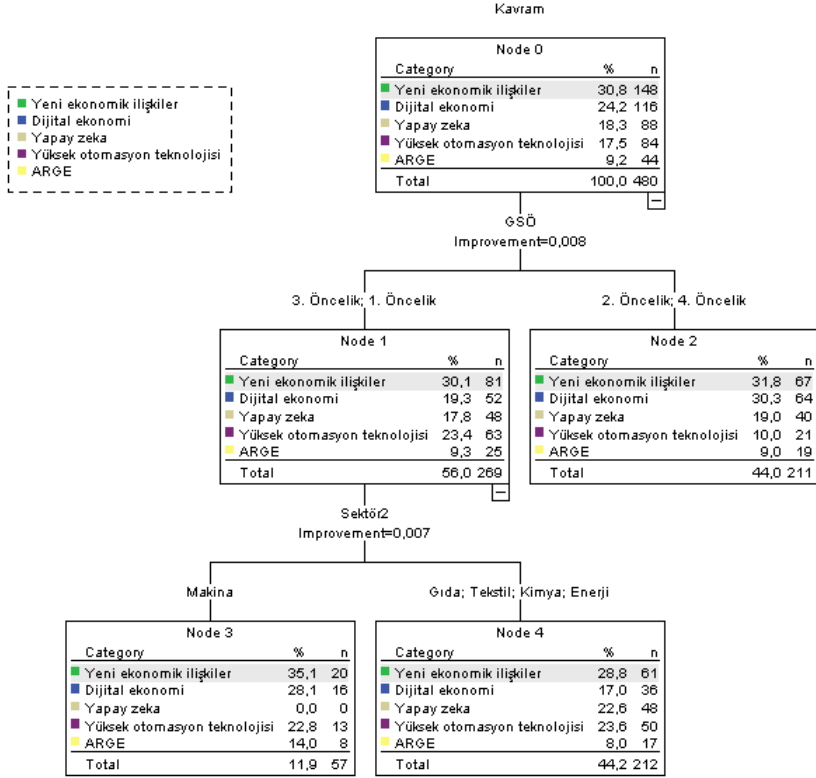
İşletmelerin Endüstri 4.0 kavramlarından yeni ekonomik ilişkiler, dijital ekonomi, ARGE, yüksek otomasyon teknolojisi ve yapay zeka hakkında görüşleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. İşletmelerin Endüstri 4.0 Kavramı Hakkında Görüşleri

Endüstri 4.0 kavramından dijital ekonomi ve yeni ekonomik ilişkiler cevapları makina ve enerji sektöründe % 50'i, kimya sektöründe %55'i, gıda sektöründe 56,3'ü ve tekstil sektöründe yaklaşık %57,5'i ile eşdeğer algılamışlardır. Katılımcıların % 5,0-16,7'si ARGE, % 15,6-20,0'si yüksek otomasyon teknolojisi, %15,0-20,0'si yapay zeka yönündeki görüşleri tercih etmişlerdir. Bu durumda İşletmelerin Endüstri 4.0 kavramları hakkında bilgileri olduklarını görülmektedir.

İşletmelerin Endüstri 4.0 kavramı ile geçiş sürecindeki öncelikleri (GSÖ) arasında CRT algoritmaları Şekil 3'de verilmiştir.



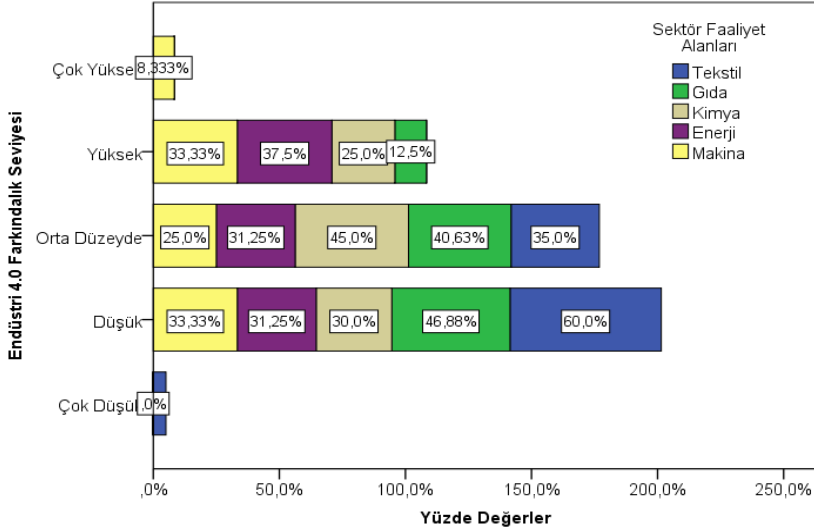
Şekil 3. İşletmelerin Endüstri 4.0 kavramı ile GSÖ arasında CRT modeli

Bu çalışmada işletmelerin Endüstri 4.0 kavramı ile GSÖ arasında CRT modeli geliştirilmiştir. Endüstri 4.0 kavramına ilişkin algıların sektör alanları ve öncelik derecelendirmesinden etkilendiği görülmektedir. Katılımcıların 1. ve 3. öncelikte %30,1'i yeni ekonomik ilişkiler, %19,3'ü dijital ekonomi, %23,4'ü yüksek otomasyon teknolojisi, %9,2'si ARGE ve %17,8'i yapay zeka yönündeki görüşlerinden oluşmaktadır Katılımcıların 1. ve 3. öncelikte ve makina sektöründe %35,1'i yeni ekonomik ilişkiler, %28,1'i dijital ekonomi, %14'ü ARGE ve %22,8'i yüksek otomasyon teknolojisi yönündeki görüşleri ile diğer sektörlerin toplamından daha fazla tercih ettiği görülmektedir. KOBİ'lerin

Endüstri 4.0 kavramları hakkında yeterli bir düzeyde olmasada bilgi sahibi oldukları görülmektedir.

3.3. İşletmelerin Endüstri 4.0 Farkındalık Seviyesine Göre CRT Modeli

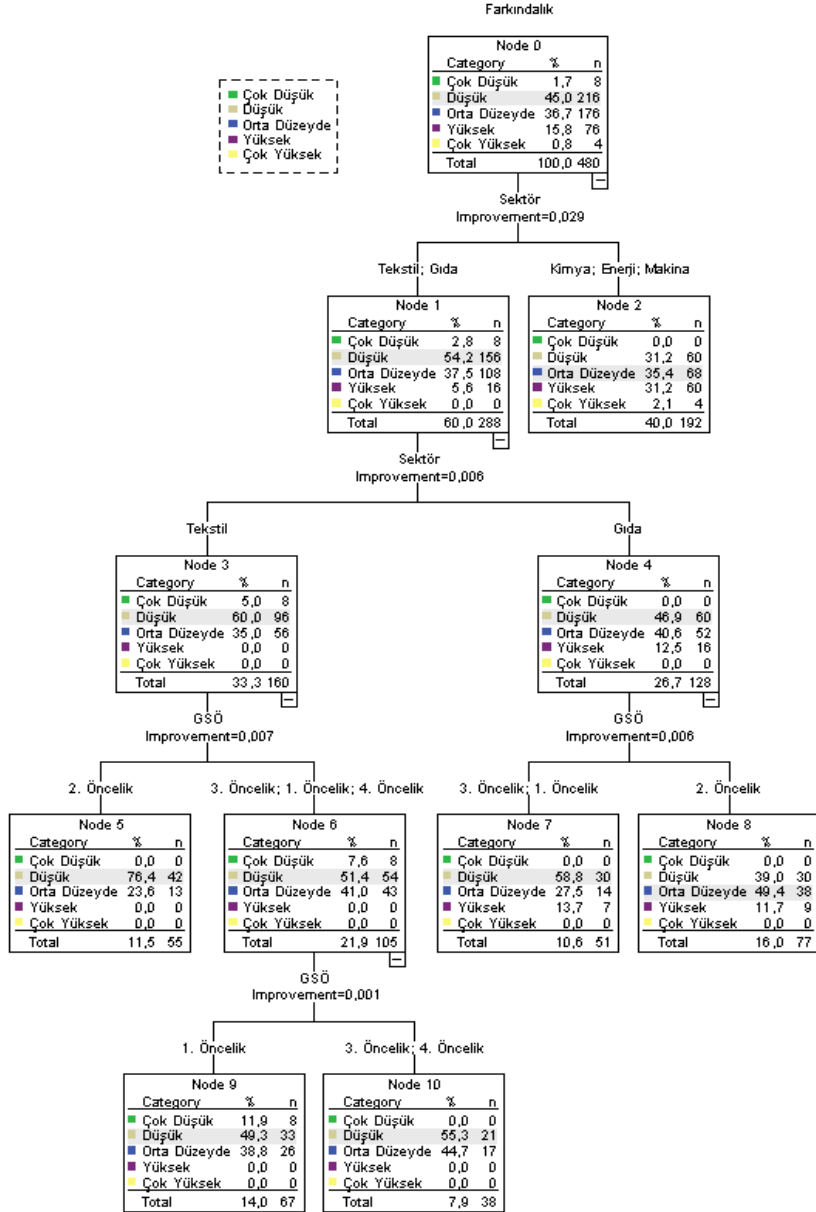
İşletmelerin sektörel faaliyet alanlarına göre Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalık seviyesi Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. İşletmelerin Sektörel Faaliyet Alanlarına Göre Endüstri 4.0 Farkındalık Seviyesi

İşletmelerin Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalığı gıda sektöründe % 46,88’i ve tekstil sektöründe %60’ı düşük seviyede, kimya sektöründe %45’i ve enerji sektöründe % 37,5’u orta düzeyde, makine sektöründe ise % 33, 33’u yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Kimya, makina ve enerji sektöründe Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi gıda ve tekstil sektörüne göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

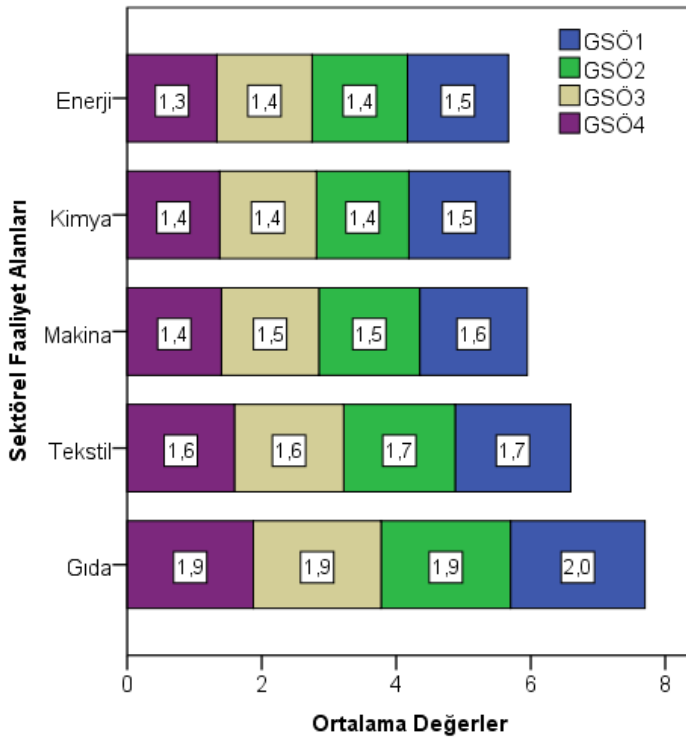
İşletmelerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi ile GSÖ arasında CRT modeli Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. İşletmelerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi ile GSÖ arasında CRT modeli

Bu çalışmada İşletmelerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi ile GSÖ arasında CRT modeli geliştirilmiştir. Endüstri 4.0 farkındalık seviyesinin sektör alanları ve öncelik derecelendirmesinden etkilendiği görülmektedir. Endüstri 4.0 farkındalık seviyesinin tekstil ve gıda sektörü diğer sektörlerle daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Endüstri 4.0'a geçişleri açısından 1. önceliğin tercihinin göre tekstil sektöründe % 49,3'ü ile Endüstri 4.0 farkındalık seviyesinin düşük olduğu görülmektedir.

İşletmelerin sektörel faaliyet alanlarına göre Endüstri 4.0 önceliklerini belirlemek için anket cevap ortalama değerleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. İşletmelerin Sektörel Faaliyet Alanlarına Göre Endüstri 4.0 Öncelikleri

Gıda ve tekstil sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin Endüstri 4.0 öncelikleri anket sorularına verdikleri cevaplar yaklaşık ortalama 2,0 değerinde olduğu için ikincil öncelik tercih edilmiştir. Kimya, makina ve enerji sektöründe ise yaklaşık ortalama 1,0-1,5 değerinde olduğu için birinci öncelik tercih edildiği görülmektedir. Kimya, makina ve enerji sektöründe Endüstri 4.0 öncelikleri birinci öncelik olarak benimsemesi İşletmelerin Endüstri 4.0 kavramları hakkında yeterli bir düzeyde bilgiye sahip olduğunu ve Endüstri 4.0 farkındalık seviyesinin orta düzeyde olduğunu doğrulamaktadır.

3.4. İşletmelerin Bilişim Teknolojileri Kullanım Düzeyleri

İmalat sektöründeki İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeyleri ilişkin hipotezler oluşturulmuştur.

H₅: İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeylerinde internet kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.

H₆: İşletmelerin kurum kaynak planlaması sistemleri kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.

H₇: İşletmelerin sosyal ağ sistemleri kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.

H₈: İşletmelerin dijital pazarlama sistemleri kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.

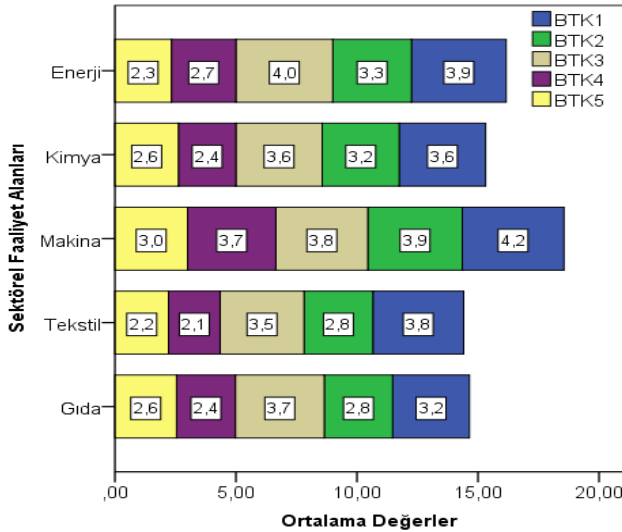
H₉: İşletmelerin yazılım programı kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.

Tablo 3'de H₅-H₉ hipotezlerinin varyans homojenliği testine göre p değerinin 0,05'ten büyük, ANOVA analizinde ise p değeri 0,05 değerinden küçük olduğu için hipotezler kabul edilir.

Tablo 3. H_6 - H_{10} hipotezlerinin varyans homojenliği testi ve ANOVA analiz sonuçları

Hipotez	Levene İstatistiki	df 1	df2	Sig.	Kareler Topl.	df	Kareler Ort.	F	Sig
H ₁	2,324	4	115	0,061	16,296	4	4,074	11,20	0,000
H ₂	2,814	4	115	0,069	18,319	4	4,580	7,472	0,000
H ₃	8,801	4	115	0,070	3,110	4	0,778	1,660	0,016
H ₄	2,832	4	115	0,078	31,225	4	7,806	8,143	0,000
H ₅	4,857	4	115	0,071	8,140	4	2,035	1,562	0,018

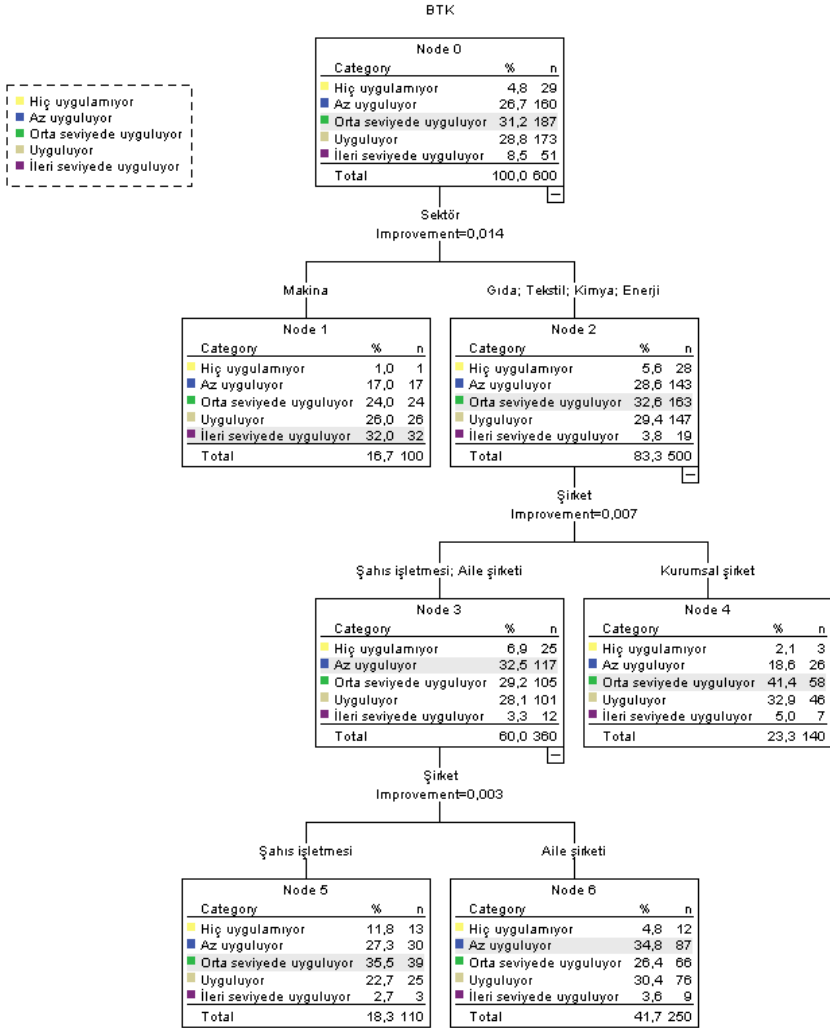
Araştırmaya katılan imalat sektöründeki İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeylerini belirlemek için BTK1-BTK5 anket sorularına verdikleri cevaplar ortalama değerleri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Sektörler arası İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeyleri

Şekil 7 incelendiğinde, makina sektöründe ortalama 3.0-4.2 değer aralığı ile internet kullanımı, kurum kaynak planlaması sistemleri kullanımı, sosyal ağ sistemleri kullanımı, dijital pazarlama sistemleri kullanımı ve yazılım programı kullanımı en yüksek bilişim teknolojileri kullanım düzeyinde olduğu görülmektedir. Makine sektörünü sırasıyla Enerji ve Kimya sektörü takip ederken Tekstil ve Gıda sektöründe bilişim teknolojileri kullanım düzeyi kullanımı az uygulandığı tespit edilmiştir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeylerini belirlemek CRT algoritmaları Şekil 8’de verilmiştir. Bu çalışmada İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeylerine etki eden faktörlerin kendi aralarındaki ilişkileriyle, bağımlı değişken ve bağımsız değişkenleri arasındaki ilişki CRT algoritmaları kullanılarak değerlendirilmiştir. İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeylerinin şirket türü ve sektör alanlarından etkilendiği görülmektedir. Makine sektöründe bilişim teknolojileri kullanımı %32 ile ileri seviyede uygulanırken diğer sektörlerde bu seviye %3,8 olarak tespit edilmiştir. Kurumsal şirketlerde bilişim teknolojileri kullanımı %41,4 ile orta seviyede uygulanırken aile şirketine %26,4’te uygulanmaktadır. İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeyleri anket bulguları ışığında makine sektöründe daha yüksek iken aile şirketlerinde uygulama düzeyinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 8. İşletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeyleri CRT modeli

3.5. İşletmelerin Üretim Teknolojileri Kullanım Düzeyleri

İmalat sektöründeki işletmelerin üretim teknolojileri kullanım düzeyleri ilişkin hipotezler oluşturulmuştur.

H₁₀: İşletmelerin bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri konusunda sektörler arasında fark vardır.

H₁₁: İşletmelerin üretim yönetimi sistemleri konusunda sektörler arasında fark vardır.

H₁₂: İşletmelerin müşteri ilişkileri yönetimi sistemleri konusunda sektörler arasında fark vardır.

H₁₃: İşletmelerin ileri imalat teknolojileri planlama sistemleri konusunda sektörler arasında fark vardır.

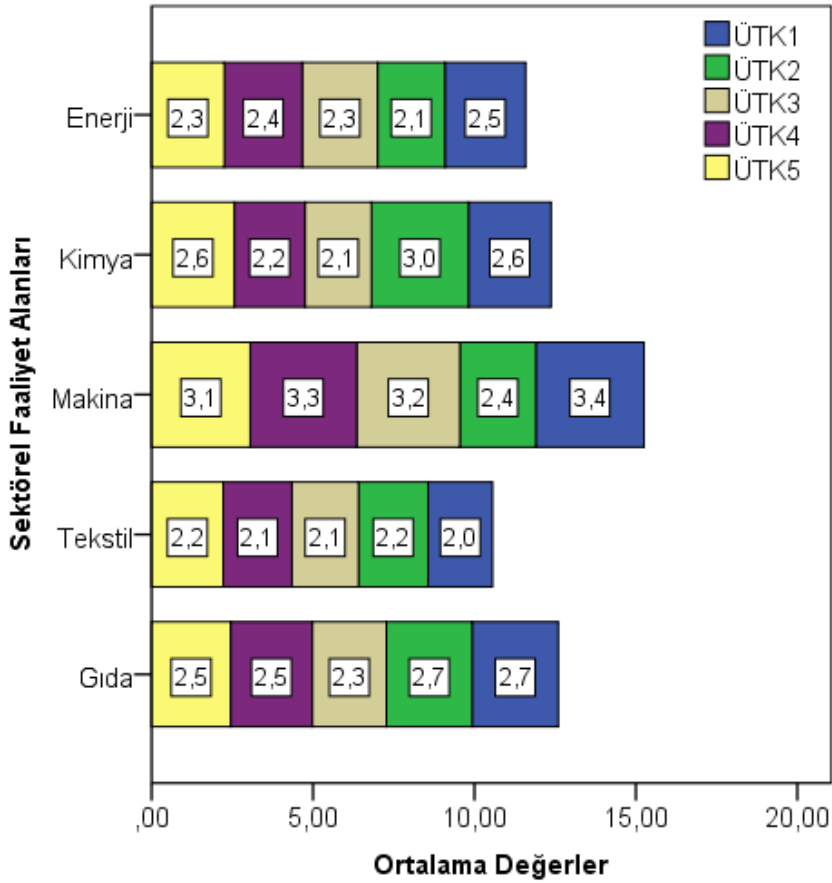
H₁₄: İşletmelerin tedarik zincirinde sipariş işlemleri sistemleri konusunda sektörler arasında fark vardır.

Tablo 4’de H₁₀-H₁₄ hipotezlerinin varyans homojenliği testine göre p değerinin 0,05’ten büyük, ANOVA analizinde ise p değeri 0,05 değerinden küçük olduğu için hipotezler kabul edilir.

Tablo 4. H10-H14 hipotezlerinin varyans homojenliği testi ve ANOVA analizi sonuçları

Hipotez	Levene İstatistiki	df 1	df2	Sig.	Kareler Topl.	df	Kareler Ort.	F	Sig
H ₆	2,979	4	115	0,052	23,063	4	5,766	4,472	0,002
H ₇	3,152	4	115	0,057	11,006	4	2,752	2,186	0,045
H ₈	4,026	4	115	0,054	18,513	4	4,628	3,827	0,006
H ₉	6,460	4	115	0,060	18,962	4	4,741	3,979	0,007
H ₁₀	4,173	4	115	0,053	9,460	4	2,365	1,783	0,006

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki İşletmelerin üretim teknolojileri kullanım düzeylerini belirlemek için ÜTK1-ÜTK5 anket sorularına verdikleri cevaplar ortalama değerleri Şekil 9’da verilmiştir.

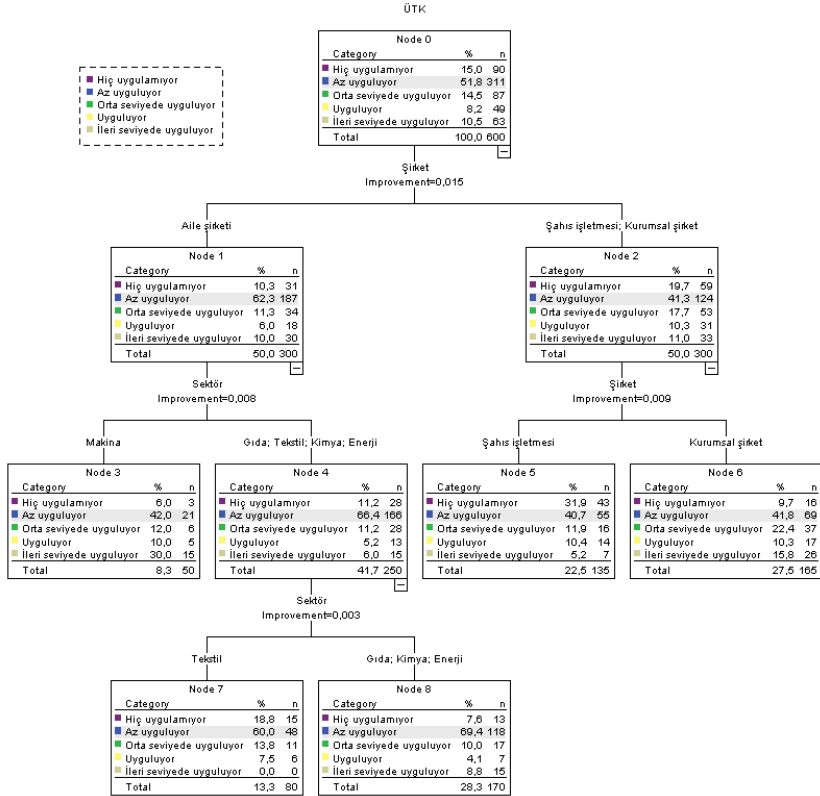


Şekil 9. Sektörler arası İşletmelerin üretim teknolojileri kullanım düzeyleri

Şekil 8 incelendiğinde, makina sektöründe ortalama 2.4-3.4 değer aralığı ile Bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri, üretim yönetimi sistemleri, müşteri ilişkileri yönetimi sistemleri, ileri imalat teknolojileri planlama sistemleri ve tedarik zincirinde sipariş işlemleri sistemlerinin en yüksek üretim teknolojileri kullanım düzeyinde olduğu görülmektedir. Makine sektörünü sırasıyla Enerji, Kimya ve Gıda sektörü takip ederken Tekstil

sektöründe üretim teknolojileri kullanım düzeyi kullanımı az uygulandığı tespit edilmiştir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki İşletmelerin üretim teknolojileri kullanım düzeylerini belirlemek CRT algoritmaları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. İşletmelerin üretim teknolojileri kullanım düzeyleri CRT modeli

Bu çalışmada İşletmelerin üretim teknolojileri kullanım düzeylerine etki eden faktörlerin kendi aralarındaki ilişkileriyle, bağımlı değişken ve bağımsız değişkenleri arasındaki ilişki CRT algoritmaları kullanılarak değerlendirilmiştir. İşletmelerin üretim teknolojileri kullanım düzeylerinin şirket türü ve sektör alanlarından

etkilendiği görülmektedir. Makine sektöründe üretim teknolojileri kullanımı %30 ile ileri seviyede uygulanırken diğer sektörlerde bu seviye %6 olarak tespit edilmiştir. Kurumsal şirketlerde üretim teknolojileri kullanımı %22,4 ile orta seviyede uygulanırken aile şirketinde %11,3'te uygulanmaktadır. İşletmelerin retim teknolojileri kullanım düzeyleri anket bulguları ışığında makine sektöründe daha yüksek iken aile şirketlerinde uygulama düzeyinin daha düşük olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada işletmelerin Endüstri 4.0 kavramı, farkındalık seviyeleri ve öncelikleri arasında ikişkileri CRT modeli ile değerlendirilmiştir. Endüstri 4.0 kavramlarından dijital ekonomi ve yeni ekonomik ilişkiler hakkında yaklaşık %55 katılımcı bilgiye sahip olduğunu söylemiştir. Endüstri 4.0 geçiş önceliklerine göre farkındalık seviyesi orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. İşletmelerin sektörel faaliyet alanları arasında Endüstri 4.0 önceliklerinde değerlendirme tekstil ve gıda sektöründe ikincil öncelik, makine, kimya ve enerji sektörlerinde birinci öncelik tercih edilmiştir. Tekstil ve gıda sektörlerindeki Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi artırabilmek için işletmelerin teknolojik altyapılarını geliştirmek gerekmektedir.

Çalışmada araştırmaya katılan işletmelerin sektör faaliyet alanı ve şirket türüne göre yenilik ve dijital dönüşümü etkileyen faktörlerden bilişim ve üretim teknolojileri kullanım düzeyleri araştırılmıştır. Makina sektöründe diğer sektörlere göre bilişim ve üretim teknolojisi kullanımı yüksek olduğu görülmektedir. Aile şirketlerinin diğer kurumsal ve şahıs şirketlerine göre bilişim ve üretim teknolojisi kullanımı düzeyinin düşük olduğu görülmektedir. Buna göre işletmelerin yenilik ve dijital dönüşüm kavramlarına ilişkin bilgilerinin yetersiz olduğunu ancak bu kavramlara olumlu yaklaştıkları ortaya koymaktadır. şanlıurfa ilinde başta tekstil sektöründeki işletmelerin yenilik ve dijital dönüşüm etkileyen faktörlerin kullanım düzeylerini artırabilmek için teknoloji altyapılarını geliştirmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda Endüstri

4.0, yenilik ve dijital dönüşüm kavramlarında bölgesel kalkınma ajansları, GAP idaresi, KOSGEB ve TÜBİTAK ile ARGE projesi destekleri verilmesi gerekliliğinin önemini arttırmıştır. Sonuç olarak, işletmelerin Endüstri 4.0, yenilik ve dijital dönüşüm yaklaşımlarını artırılması için etkin politikaların geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering science and technology, an international journal*, 22(3), 899-919.
2. Aşut, M., & DEMİR, S. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Hazırlık Durumu: Şanlıurfa İmalat Sanayisinde Örnek Bir Uygulama. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2), 141-150.
3. Brunelli, J., Lukic, V., Milon, T., & Tantardini, M. (2017). Five lessons from the Frontlines of Industry 4.0. *The Boston Consulting Group: Boston, MA, USA*.
4. Chou, S. (2019). The Fourth Digital Revolution: Digital fusion with Internet of Things. *Journal of International Affairs*, 72(1), 107-120.
5. Demir, S., Gunduz, M. A., Kayikci, Y., & Paksoy, T. (2022). Readiness and maturity of smart and sustainable supply chains: a model proposal. *Engineering Management Journal*, 1-26.
6. Demir, S., Sarıışık, G., & Öğütlü, A. S. (2022). KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Farkındalık ve Olgunluk Seviyesinin Belirlenmesi: Şanlıurfa İli Örneği. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 14(4), 2938-2955.
7. Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, 8(2), 56-5
8. Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
9. González, J. L., & Ferencz, J. (2018). Digital trade and market openness. *OECD Trade Policy Papers* No:217.

10. Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937). IEEE.
11. Karacadağ Kalkınma Ajansı (KKA).(2020). TRC2 Bölgesi Aylık Ekonomik Görünüm Raporu, *Ekonomik Görünüm Raporu*, Sayı: 109.
12. Karaoğlu, E., Sarıışık, G., Siverek, E., & Erdoğan, H. (2020). Şanlıurfa'da Faaliyetde Bulunan Firmaların Kalite & Ar-Ge ve Laboratuvar Analiz İhtiyaçları; Mevcut Durum, Beklenti ve Çözüm Önerileri, Türkiye: Ankara, *Ekin Yayınevi*, 2020, pp. 105.
13. Khin, S., & Kee, D. M. H. (2022). Factors influencing Industry 4.0 adoption. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
14. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242.
15. Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B., & Uriarte-Gallastegi, N. (2021). Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128944.
16. Lin, T. C., Wang, K. J., & Sheng, M. L. (2020). To assess smart manufacturing readiness by maturity model: A case study on Taiwan enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(1), 102-115.
17. Özçelik, T. O., Erkollar, A., & Cebeci, H. I. (2019). Bir İmalat İşletmesi için Endüstri 4.0 (Dijital) Olgunluk Seviyesi Belirleme Uygulaması. *5th Int. Management Information Systems Conf.*, Ankara, Turkey, October 24-26 2018.
18. Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0

- technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546.
19. Robert, M., Giuliani, P., & Gurau, C. (2022). Implementing industry 4.0 real-time performance management systems: the case of Schneider Electric. *Production Planning & Control*, 33(2-3), 244-260.
 20. Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), 54-89.
 21. Safar, L., Sopko, J., Bednar, S., ve Poklemba, R. (2018). Concept of SME business model for industry 4.0 environment. *TEM Journal*, 7(3), 626
 22. Sarıışık, G., Demir, S., & Öğütlü, A. S. (2022). Şanlıurfa İlindeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Farkındalık Seviyesi ve Geçiş Sürecindeki Önceliklerinin Belirlenmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(3), 433-443.
 23. Siverekli, E., & Sarıışık, G. (2017). Şanlıurfa İli Sektör Analizi: Mevcut Durum, Çözüm Önerileri Strateji ve Destek Eylem Planı. Türkiye: Ankara, *Uyum Ajans*, 2017, pp. 1-95.
 24. Yiğitöl, B., Güleş, H. K., & Tuğba, S. A. R. I. (2020). Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinde, KOBİ'lerin teknoloji seviyelerinin belirlenmesi: Konya imalat sanayi örneği. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32(3), 320-332.
 25. Yıldız, M. S., Yıldırım, Y., & Kesici, B. (2021). Düzce Bölgesindeki Firmaların Endüstri 4.0 Yaklaşımı. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(80), 1773-1797.

BÖLÜM III

Nanoliflerde Elektroeğirme Süresinin Hava Geçirgenliği Ve Gözenekliliğe Etkisi

Hüsnü AYDEMİR¹
Müslüm EROL²

Giriş

Günümüz yaşam koşullarında kullanılan tekstil malzemelerinden beklentiler her geçen gün artmaktadır. Üretimde belirlenen yapısal özelliklerin yanında kullanılacağı ortama göre ürünün yeterli düzeyde teknik özelliklere sahip olması beklenmektedir. Tekstil yüzeylerinin oluşumunda kullanılan dokuma, örme ve dokusuz yüzey yöntemleri ile istenilen özellikler sağlanamadığında birden fazla katmana sahip yapılar bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Geleneksel kumaş yapılarına göre

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, husnuaydemir@gmail.com

² Dr. Öğretim Üyesi, Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, erolmuslum@gmail.com

yüzeylerin fonksiyonel özelliklerini artıran mikro ve nano boyuttaki liflerin geleneksel malzemelerle birlikte kullanımı son zamanlarda artış göstermektedir. Liflerin inceliği arttıkça yüzeylerin kalınlığı ve yoğunluğu azalırken yüzey alanları oldukça artmaktadır. Bu duruma bağlı olarak tekstil materyalinin hava geçirgenliği ve gözeneklilik özellikleri oldukça iyileşmektedir. Hava ve sıvı filtreleme, ses ve ısı yalıtımı gibi birçok alanda kullanımlarının artması, teknik özellikleri yüksek yapılara talebin arttığını göstermektedir. Dokusuz yüzey yapılarda ortalama lif çapı, alansal yoğunluk (gramaj), kalınlık, hacimsel yoğunluk özellikleri, hava geçirgenliği ve gözenekliliği doğrudan etkileyen faktörlerdendir. Ancak nano boyuttaki liflerin üretiminde belirtilen faktörlerin dışında birçok parametre üretilen yüzeyin özelliklerini etkilemektedir. Nanolif inceliğini, konsantrasyon, akış hızı, iğne ucu-toplayıcı yüzey arası mesafe gibi parametreler etkilerken, yüzeyin kalınlığını işlem süresi ve toplayıcı yüzeyin özellikleri gibi faktörler değiştirebilmektedir. Çalışma kapsamında ilk olarak incelenen özelliklerden hava geçirgenliği ve gözeneklilik faktörleri hakkında, daha sonra ise bu faktörlere etki eden parametreler hakkında detaylı bir araştırma yapılmış ve sonuçları ile literatüre katkı sağlanmıştır.

Hava Geçirgenliği

Hava geçirgenliği tekstil malzemelerinde konforu sağlayan en önemli özelliklerden biridir. Dokusuz yüzey yapıların alansal yoğunluk, kalınlık, hacimsel yoğunluk ve ortalama lif çapı değerleri hava geçirgenliğini etkiler. Bundan dolayı mikro ve nano liflerin kullanımına talep her geçen gün artmakta ve üretim yöntemlerinden elektroğirme kullanımı ön plana çıkmaktadır. Hava geçirgenliği, bir malzemenin iki yüzeyi arasındaki hava basıncı farkını malzemeye dik olarak gönderilen hava akışı sayesinde ölçümüdür.

Düşük yoğunluk, ince lif çapları ve yüksek yüzey alanı elektroğirme ile üretilmiş nanolifli yapılar, filtreleme yüzeylerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak elektroğirme parametrelerine bağlı olarak ortalama lif çapı ve işlem süresine bağlı olarak da nanolif tabakasının kalınlığı değişim göstermektedir. Yüzeyin ön ve

arka cephelerinin özelliklerine bağı olarak nanolifli tabakaların hava geçirgenliği önemli derece değişmektedir. Hava geçirgenliği, incelenen yüzeydeki birim zamandaki (saniye) hava akış miktarının (litre) birim alandan (m^2) geçmesi esnasında ölçülen değer olarak adlandırılabilir. Bu sebeple yüzeyin konfor özelliklerinden nefes alabilirliğinin değerlendirilmesi açısından önemlidir (Guo et al., 2019; Tapanyigit et al., 2022).

Gözeneklilik

Tekstil malzemelerinin konforunu ve kullanılabilirliğini sağlayan diğer bir önemli özellik de gözenekliliktir. Tekstil yapılarında gözenekliliğin hava geçirgenliğini etkilemesini beklemek olağandır. Lifli bir yapıya sahip tekstil yüzeyleri birçok gözenek içerir. Liflerde iç gözenek yapısı karmaşık ve değişkendir, bu sebeple gözenek yapısını açıklamak zordur (Yong et al., 2021). Elyaf yığını içindeki boşluk miktarı, boşluklu alanın yapı içerisinde düzenli olmamasından dolayı karmaşıklık içerir ancak hesaplanması kolaydır. Gözeneklilik büyük ölçüde liflerin yüzey içindeki miktarına ve yönelimine bağlıdır (Ogulata & Mezarcioz, 2012). Gözenekli malzemelerde, içyapı yaklaşık %90 oranında hava bulundurmaktadır. İçindeki hava barındıran boşluklar sebebiyle oldukça hafiftirler ve fazla sayıda mikro gözenek içermektedirler (Paşayev et al., 2017).

Yapısal Parametreler

Ortalama Lif Çapı

Sabit hacme sahip bir yapıda lif çapı azaldıkça birim hacme düşen lif sayısı ve yoğunluk artar (Dunne et al., 2017). Nanolifli yapılarda ortalama lif çapı, elektroğirme öncesi çözelti hazırlık aşamasında ve işlem esnasındaki parametrelere bağı olarak değişkenlik gösterir. Ortalama lif çapı yüzey özelliklerine doğrudan etki eden faktörlerden biridir. Genellikle nanoliflerin ortalama lif çaplarının tespitinde yüzeyinden alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri üzerinden ölçüm sağlanmaktadır.

Alansal Yoğunluk (Gramaj), Kalınlık ve Hacimsel Yoğunluk

Kumaşın yapısal özelliklerinde bu üç parametre birbirleri ile ilişkili olduğu için aynı başlık altında incelenmiştir.

Gramaj, kumaşın bir m²'sinin gram cinsinden ağırlığını ifade eder ve alansal yoğunluk olarak da adlandırılabilir. Kumaşın alansal yoğunluğu, yüzeydeki liflerin incelik-kalınlığına, nanoliflerde işlem süresine bağlı olarak yapısal kalınlığın düşük-yüksek olmasına göre değişkenlik gösterir. Yüzeyin bu değerinin incelenmesinde 100 cm² dairesel parçalar alınarak ağırlıkları hassas terazide tartılır ve gram cinsinden değerleri bulunur. Bu değerler g/m² birimine dönüştürülerek alansal yoğunluk elde edilir.

Kalınlık, kumaş sabit bir yüke maruz kaldığında iki yüzey arasındaki mesafedir. Yüzeydeki artan lif sayısı ve birim alandaki küçük gözeneklere bağlı olarak alansal yoğunluğu ve kalınlığındaki artış, lifler ve hava arasında hava akış direncini artırır. Bu durum hava geçirgenliğinin azalmasına sebep olur (Rittenhouse et al., 2019).

Hacimsel yoğunluk, alansal yoğunluğun kalınlık değerine bölünmesiyle elde edilen, yapının tüm boyutlarıyla yoğunluğunu gösteren bir değer olarak tanımlanabilir. Hacimsel yoğunluğu düşük olan lifli malzemelerde liflerin birbirine uzak olmasından dolayı daha fazla boşluğa sahip olduklarından hava geçirgenlikleri yüksek bir yapı meydana getirirler. Diğer yandan hacimsel yoğunluk yüksek olduğunda boşluklar azalır ve hava geçirgenliğinde düşüş meydana gelir (Dunne et al., 2017).

Elektroeğirme Parametreleri

Elektroeğirme, nanometre boyutunda çapa sahip polimer yapılı lifleri oluşturmak için kullanılan tekniklerinden biridir. Elektroeğirme ile birkaç nanometre çaplara sahip liflerin üretilmesi için uygulanması kolay, çok yönlü ve gelişme potansiyeli yüksek bir tekniktir (Abuzade et al., 2012). Elektroeğirme, hızlı ve zahmetsiz şekilde kurulabilmesi, birçok polimerden nanoliflerin üretilmesi

imkânı ve lif çaplarının istenilen aralıkta oluşturulabilmesi avantajı sebebiyle nano boyuttaki yapıların üretiminde sıklıkla kullanılan sistemlerdendir. Özellikle iğneli (şırıngalı) elektroëirme ile üretimde kullanılacak çözelti miktarının az olmasına baēlı olarak düşük kimyasal madde kullanımı ve kolaylıkla akış hızının ayarlanabilmesi numune boyutunda üretimde birçok kolaylık sağlamaktadır.

PET (Polietilen Tereftalat) dünya çapında en fazla üretilen polimer olması sebebiyle araştırmaların birçoğunda tercih edilmektedir. PET polimeri genel olarak TFA (Trifloro asetik asit) ve DCM (Diklorometan) çözücü karışımı içinde çözüldürülerek hazırlanır. Elde edilen çözeltiler, elektroëirme sistemiyle nanolifli yüzeylere dönüştürölür. PET polimeri ile nanolifli yüzeylerin üretilmesinde çözelti ve elektroëirme parametrelerinin yapı morfolojisine etkileri deēerlendirilmiştir (Abbas et al., 2018; Düzyer, 2009; Veleirinho et al., 2008). Hava filtrasyonu alanında; polyester keçe üzerine PET nanolif kaplanmış yüzeyler (Guo et al., 2019, 2020); nanolif tabakalı kompozit (Bortolassi et al., 2019; Mahdavi & Moslehi, 2016) gibi farklı birçok yapı üretilmiştir. PET polimerinin yaygın ve geri dönüştürölmeğe uygun olması, dünya çapında çok fazla atık PET çıkması ve bunların deēerlendirilebileceēi amacıyla bu çalışmada tercih edilmiştir.

Yukarıda belirtilen yüzeyin yapısal parametrelerinin yanında elektroëirme ile üretim sürecine etki eden ve çalışma kapsamında deēişimlerinin nanolifli yüzeylere etkisi incelenen konsantrasyon ve işlem süresiyle ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Konsantrasyon

Konsantrasyon, bir çözücü madde içerisinde çözünen madde miktarının oransal deēeri olarak tanımlanabilir. Belirlenen konsantrasyonda hazırlanan her çözeltilinin belli bir viskozite ve yüzey gerilimi deēeri vardır. Bunun yanında elektrik iletkenliēi ve pH gibi elektroëirme sürecindeki elektriksel alanın düzeyini etkileyen faktörlerin de dikkate alınması gereklidir.

Elektroeğirme işleminde lif oluşumunun gerçekleşebilmesi için minimum çözelti konsantrasyonuna ihtiyaç vardır. Genel olarak düşük çözelti konsantrasyonunda damlacıklar ve liflerden oluşan bir nanolif yapısı ortaya çıkar. Konsantrasyon arttıkça damlacıkların şeklinin küreselden iğ benzerine doğru değiştiği görülebilmektedir. Konsantrasyon çok yükseldiğinde oluşan viskozitenin direnci de artar ve meydana gelen daha yüksek çaplar nedeniyle tekdüze lifler ortaya çıkmaya başlar (Shahabadi et al., 2015; G. Zhu et al., 2017).

Elektroeğirme işlemi için optimum bir çözelti konsantrasyonu olmalıdır, çünkü düşük konsantrasyonlarda pürüzsüz ve düzgün yüzeye sahip lifler yerine damlacıklı lifler oluşur. Konsantrasyonun yükselmesi kesikli ve damlacıklı daha kalın liflerin oluşmasına neden olur. Çok yüksek konsantrasyonlarda iğnenin ucunda çözelti akışının sürdürülememesi nedeniyle sürekli liflerin oluşumu gerçekleşemez (Kuchi et al., 2018; Shao et al., 2015). Araştırmacılar, elektroeğirme işleminde çözelti konsantrasyonunun arttırılmasının lif çapını arttırdığını gösteren sonuçlara ulaşmışlardır. Çözeltinin viskozitesi ve yüzey gerilimi, elektroeğirmede kesintisiz jet oluşumuyla nanoliflerin elde edilebileceği konsantrasyon aralığını belirleyen önemli parametrelerdir (Fatimah et al., 2020; Veleirinho et al., 2008).

İşlem Süresi

Elektroeğirmede işlem süresi polimer çözeltisinin jet haline gelip toplayıcı yüzeye ulaştığında yüzeyinin oluşumuyla başlamaktadır. Toplayıcı yüzey, levha şeklinde düz bir yapıya sahip olduğunda, nanolifler bir doğrultuda ve paralel bir şekilde toplanamadıkları için işlem süresinin artmasına bağlı olarak kalınlık değişkenlik gösterebilir. Elektroeğirmedeki üretim parametrelerinden sıringadan çözeltinin akış hızı ve iğne ucu-toplayıcı yüzey mesafesi gibi birçok parametre nanoliflerin ortalama lif çaplarını etkileyebildiğinden aynı işlem süresinde üretilen yüzeylerde bile kalınlık farklılıkları oluşmaktadır. Ancak işlem süresi arttığında nanoliflerin toplandığı alandaki birikme (yığılma) miktarı artacağından kalınlık artışından söz etmek mümkündür.

Birbirine yakın üretim sürelerinde yapılan elektroëirme işlemlerinde kalınlık farkı açık bir şekilde belirlenemeyebilir. Bundan dolayı elektroëirme sürecinde işlem süreleri arasında zaman aralığına dikkat edilmelidir.

Materyal ve Metod

Bu bölümde çalışma kapsamında üretilen polimer çözeltilerinin hazırlanması, elektroëirme işlemi ile nanolifli yüzeyin üretimi ve yapının karakterizasyonu ile ilgili açıklamalar bulunmaktadır.

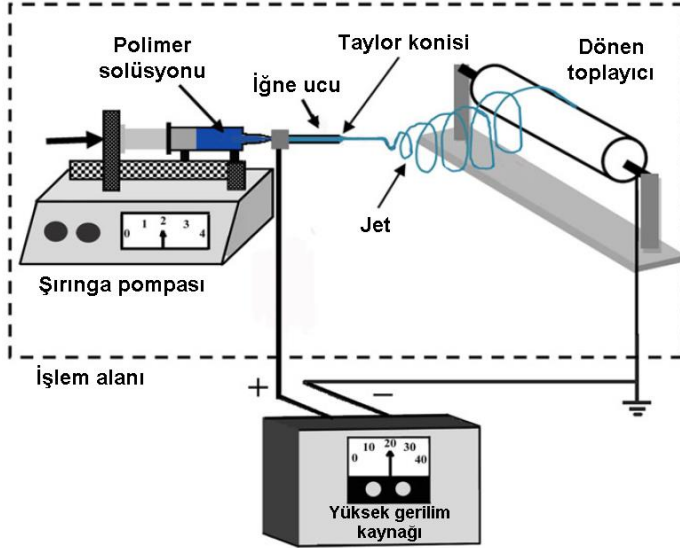
Polimer Çözeltilerinin Hazırlanması

Nanoliflerin üretiminde kullanılacak olan PET granülleri Uslan Ar-Ge (Gaziantep) firmasından temin edilmiştir. Polimerin içinde çözüldürüleceği TFA (Trifloro asetik asit) ve DCM (Diklorometan) kimyasalları Merck (Almanya) şirketinden satın alınmıştır. %75 TFA - %25 DCM oranlarına sahip çözücü karışımı hazırlanmıştır. PET polimeri hazırlanan çözücü karışımı içerisinde %10, %15 ve %20 oranlarında çözüldürülerek çözeltiler oluşturulmuştur.

Elektroëirme

Şekil 1’de şematik görünümü verilen iğneli elektroëirme cihazında, bir elektrot şıringa iğnesinin ucuna ve diğer elektrot toplayıcı yüzeye bağlanmış güç kaynağına bağlıdır. Bu iki uç arasında uygulanan voltaj yardımıyla oluşturulan elektriksel alanda şıringa içindeki polimer çözeltisi sabit bir akış hızıyla iğne ucuna itilmeye başlar. Elektriksel gerilim kuvvetlerinin toplamı, yüzey gerilimini aştığında polimer çözeltisi iğne ucundan püskürmeye başlar. Elektriksel yüklerin daha da artmasıyla iğne ucundaki damlacık şekli deforme olur ve uzayarak şekil değiştirir. Taylor konisinin meydana gelmesiyle jet formu oluşmaya başlar. Ardından iğne ucundan başlayan jet toplayıcı yüzeye doğru harekete geçer. Bu hareket esnasında çözelti içinde çözücü buharlaşır ve polimer ile

nano boyutta liflerin oluşumu gerçekleşir (Mishra et al., 2019; Purushothaman et al., 2020; Utkarsh et al., 2020).



Şekil 1. İğneli Elektroeğirme Cihazının Şematik Görünümü (Rabbi et al., 2014)

%10-15-20 konsantrasyonlarında hazırlanan çözeltiler ile yapılacak elektroeğirme işleminde konsantrasyon ve işlem süresi değiştirilirken yukarıda belirtilen diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. Üretim parametrelerinden şırınga ucundaki iğneden çözeltinin akış hızı 0.3 ml/saat, iğne ucu ile toplayıcı yüzey arasındaki mesafe 8 cm ve uygulanan elektriksel gerilim 18 kV, iğne çapı 0.8 mm ve toplayıcı silindir dönüş hızı 100 rpm olarak sabitlenmiştir. Üç farklı konsantrasyondaki polimer çözeltileriyle 15-30-45 dakika elektroeğirme işlemi yapılarak toplam 9 (dokuz) numune üretilmiştir. 60 dakika ve üzeri işlem sürelerinde artan kalınlık ile birlikte hava geçirgenliği çok azaldığı için belirtilen üç farklı süre ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Toplayıcı üzerinde bulunan folyo yerine kağıt, dokusuz yüzey veya tekstil materyali kullanılabilir. Çalışmada kullanılan silindir şeklinde toplayıcı üzerine PP (polipropilen) spunbond

dokusuz yüzey yerleştirilmiştir. Düz levhalar üzerine nanoliflerin kaplanması bir bölgeye aşırı derecede yığılma olduğundan homojen bir dağılım gerçekleşmeyebilir. Dokusuz yüzey üzerine nanolif kaplama esnasında toplayıcı silindir sağa sola hareket ettirilerek nanoliflerin homojen dağılımına yardımcı olur.

Karakterizasyon

Üretilen nanoliflerde gözeneklilik ve hava geçirgenliği hayati özelliklerdir. Üç farklı konsantrasyonda ve üç farklı işlem süresinde üretilen PET nanolif yüzeylerin hava geçirgenliği ve gözeneklilik özelliklerinin ortalama lif çapı ve kalınlıkla birlikte nasıl bir değişime sahip olduğu, ideal konsantrasyon ve işlem süresinin sonuçlarının değerlendirilmesi ile elde edilmiştir.

Üretilen 9 adet nanolifli yüzeyin SEM görüntüleri incelenmiştir. Bu görüntülerden yararlanılarak her numunenin ortalama lif çapı ve kalınlık değerleri elde edilmiştir. Daha sonra hava geçirgenliği değerleri Certitest TSI 8130 cihazında filtrasyon/basınç kaybı değerlerinin ölçümü esnasında birlikte ölçülmüştür. Çünkü üretilen yüzey yeterli gereklilikleri sağlayabildiğinde filtrasyon amacıyla kullanımı değerlendirilecektir.

Alansal yoğunluk ölçümlerinin hassas terazi de yapılmasından sonra SEM görüntülerinden elde edilen kalınlık ölçümleri kullanılarak aşağıda belirtilen formül ile hacimsel yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. (Arumugam et al., 2018; Erdem & Rajendran, 2016; Vimal, 2017).

$$\text{Hacimsel yoğunluk } \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Alansal yoğunluk } (g/cm^2)}{\text{Kalınlık } (cm)}$$

Malzemede yer alan boşluk hacminin, toplam hacme oranlanmasıyla hesaplanan gözeneklilik değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Seddeq, 2009).

$$H = \frac{V_h}{V_m} \quad (2)$$

Denkleimde gözeneklilik H , hava boşluğunun hacmi V_h , malzemenin toplam hacmi V_m ile gösterilmiştir. PET polimerinin üretimi esnasında ölçülen hacimsel yoğunluk değeri bir diğer ifade ile hacmin tamamının PET polimeri ile dolu olduğu duruma göre belirlenmiştir. Ölçülen alansal yoğunluk (gramaj) ve kalınlık değerleriyle hacimsel yoğunluk hesaplanır. İkisinin arasındaki fark hava boşluğu hacmini verir. İstatistiksel inceleme Design-Expert paket programının 12. versiyonuyla incelenmiş olup, çalışma sonucunda elde edilen verilerin değerlendirmesinin yapıldığı üç boyutlu yüzey grafikleri bu program ile oluşturulmuştur.

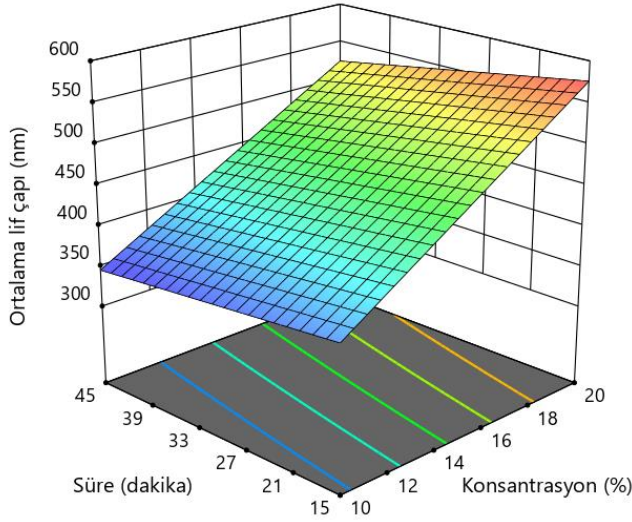
Bulgular

Elektroeğirme parametrelerinden konsantrasyon ve işlem süresi ortalama lif çapı, alansal yoğunluk, kalınlık ve hacimsel yoğunluk yapısal özelliklerine doğrudan etki eder. Hacimsel yoğunluk üzerinden hesaplanan gözeneklilik ve ölçümü yapılan hava geçirgenliği değerleri yapısal parametrelerle ilişkilidir. Bulguların incelenmesinde belirtilen yapısal özelliklere göre sıralı açıklama yapılacaktır. İlk bölümde konsantrasyon ve işlem süresi parametrelerine bağlı olan ortalama lif çapı, alansal yoğunluk, kalınlık ve hacimsel yoğunluk üzerine etkisi incelenecektir. İkinci bölümde ise hava geçirgenliği ve gözeneklilik üzerine doğrudan etkisi olan ortalama lif çapı ve kalınlık özellikleri değerlendirilecektir.

Ortalama Lif Çapı

SEM görüntülerinden yararlanılarak ölçülen 30 adet lif çapının ortalamasının alınmasıyla bu değer bulunmuştur. Elektroeğirme sisteminde liflerin ortalama çapları birinci dereceden konsantrasyon faktörüne bağlıdır. Konsantrasyonun artması ile lif çapları genel olarak kalınlaşır ve çok fazla konsantrasyon artışı mikron boyutunda liflerin oluşmasına sebep olur. %10 konsantrasyonun altında lif oluşumu gerçekleşmezken, %30

konsantrasyon aşıldığında viskozite, elektroğirme sistemi için çok yüksek bir değere ulaşır ve katılaşma başlar. Konsantrasyonun etkisini net olarak görmek amacıyla ortalama lif çapını etkileyen diğer üretim parametreleri sabit tutulmuştur. Grafik 1’ de konsantrasyon ve işlem süresinin ortalama lif çapına etkisini gösteren üç boyutlu yüzey grafiği verilmiştir.



Grafik 1. Lif Çapının Konsantrasyon ve İşlem Süresine Bağlı Değişimi

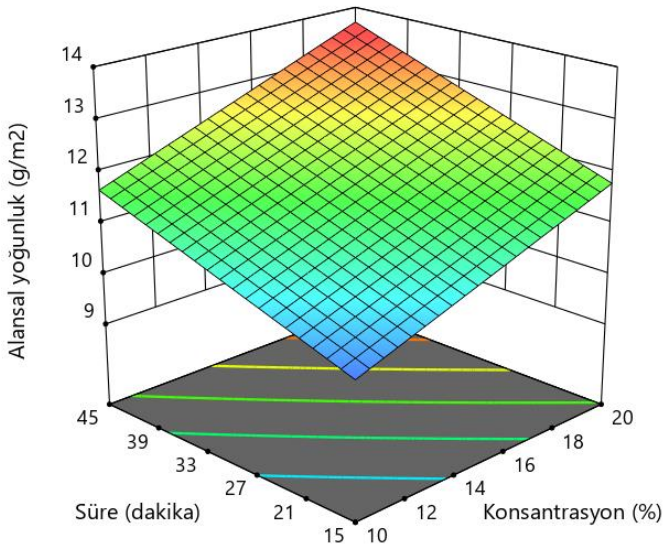
Grafik 1 incelendiğinde konsantrasyon artışına bağlı olarak ortalama lif çapının arttığı görülmektedir. Tüm konsantrasyonlarda sürenin artışına bağlı olarak ortalama lif çapında önemli bir değişim görülememektedir.

Alansal Yoğunluk

Alansal yoğunluk (gramaj) 100 cm^2 ' lik tekstil yüzeyinin gram cinsinden birim ağırlığı olarak nitelendirilebilir. Nanolifli yüzeylerde alansal yoğunluk, işlem süresine bağlı olarak yüzeydeki nanolif miktarının artmasına bağlı artış göstermesi beklenebilir. Ancak ağırlığı çok düşük olan nanoliflerin rasgele bir dağılım ve

birikme göstermesi alansal yoğunluğun süre artışıyla birlikte doğrusal artmayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Alansal ağırlığı etkileyen bir diğer etkende ortalama lif çapıdır. Ortalama lif çapı arttıkça nanoliflerin ağırlıkları da artacağından alansal ağırlığı artırabilir. Grafik 2’ de konsantrasyon ve işlem süresinin alansal ağırlığa etkisini gösteren üç boyutlu yüzey grafiği verilmiştir.

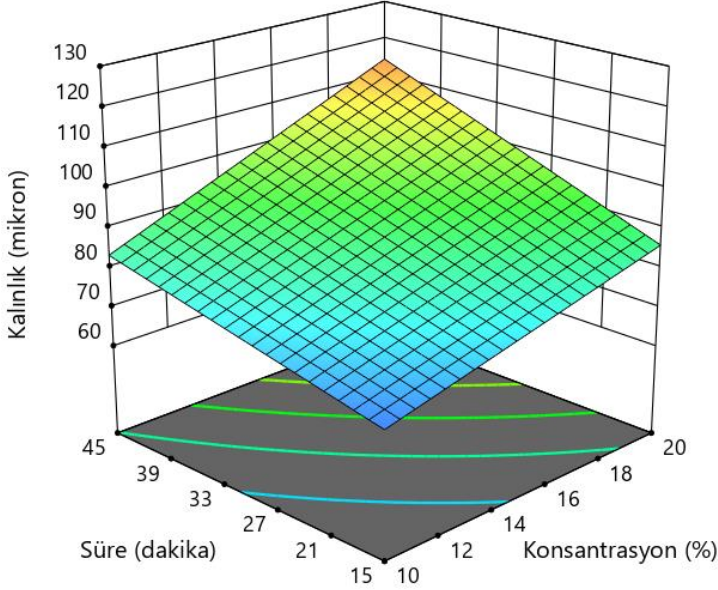
Alansal yoğunluğun işlem süresinin artışına bağlı olarak yüzeyde biriken nanolif miktarının fazlalaşmasına bağlı olarak artması beklenen bir durumdur. Diğer yandan konsantrasyonun artmasına bağlı olarak ortalama lif çapının artmasıyla lif ağırlıklarının artması da alansal yoğunluğun artışına katkı da bulunmuştur. Grafik 2 incelendiğinde düşük konsantrasyondaki çözeltilerle daha ince çaplara ve daha düşük ağırlığa sahip nanoliflerin alansal yoğunluğa etkisi az iken, konsantrasyonla birlikte lif ağırlıklarının artması ve süre ile birlikte birim alana düşen lif sayısının artmasıyla alansal yoğunlukta belirgin bir artış meydana gelmiştir.



Grafik 2. Alansal Yoğunluğun Konsantrasyon ve İşlem Süresine Bağlı Değişimi

Kalınlık

Nanolifli yüzeylerde işlem süresine bağlı olarak toplayıcı yüzey üzerinde biriken lif miktarı artmaktadır. Bu durumun kalınlık artışına etkisi açıktır. Grafik 3’ de konsantrasyon ve işlem süresinin kalınlığa etkisini gösteren üç boyutlu yüzey grafiği verilmiştir.

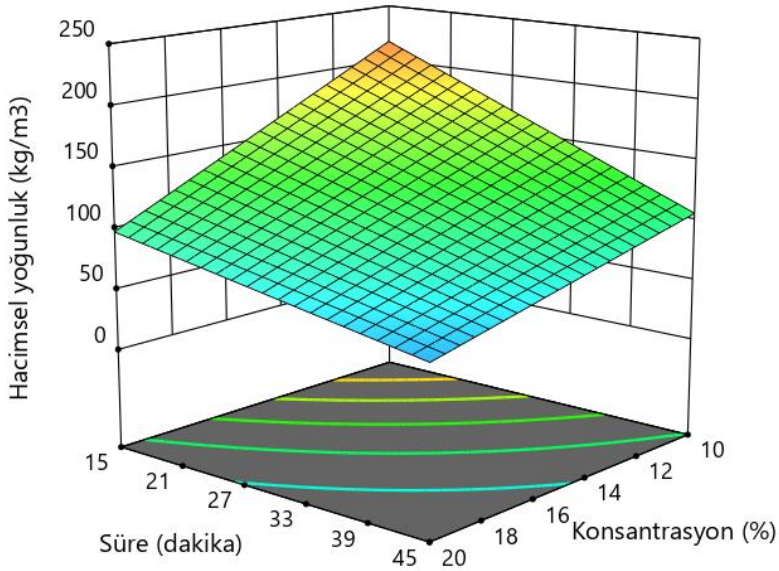


Grafik 3. Kalınlığın Konsantrasyon ve İşlem Süresine Bağlı Değişimi

Yanal SEM görüntülerinden yararlanılarak elde edilen kalınlık verileri ışığında hazırlanan Grafik 3’ de işlem süresinin artışına bağlı olarak kalınlıkta artış görülmektedir. Bu durum olağandır. Nanolifli yüzeylerde süre arttıkça birim alanda toplanan nanolif miktarı da artmakta ve kalınlıkta bir miktar artış görülmektedir. Diğer faktör konsantrasyonun artışıyla ortalama lif çaplarındaki büyüme yüzeyin kalınlaşmasına katkı da bulunmuştur. Yüzey üzerine rasgele ve üst üste biriken liflerin çapları arttıkça yüzey kalınlığı artmıştır. Bu durum her iki faktöründe kalınlık üzerindeki etkisini açık bir şekilde göstermektedir.

Hacimsel Yoğunluk

Alansal yoğunluk ve kalınlık verilerinden yararlanılarak hesaplanan hacimsel yoğunluk, bu iki verinin değişiminden etkilenmektedir. Bu sebeple işlem süresi ile birlikte ortalama lif çapını etkileyen konsantrasyon ile birlikte değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Grafik 4' de konsantrasyon ve işlem süresinin hacimsel yoğunluğa etkisini gösteren üç boyutlu yüzey grafiği verilmiştir.



Grafik 4. Hacimsel Yoğunluğun Konsantrasyon ve İşlem Süresine Bağlı Değişimi

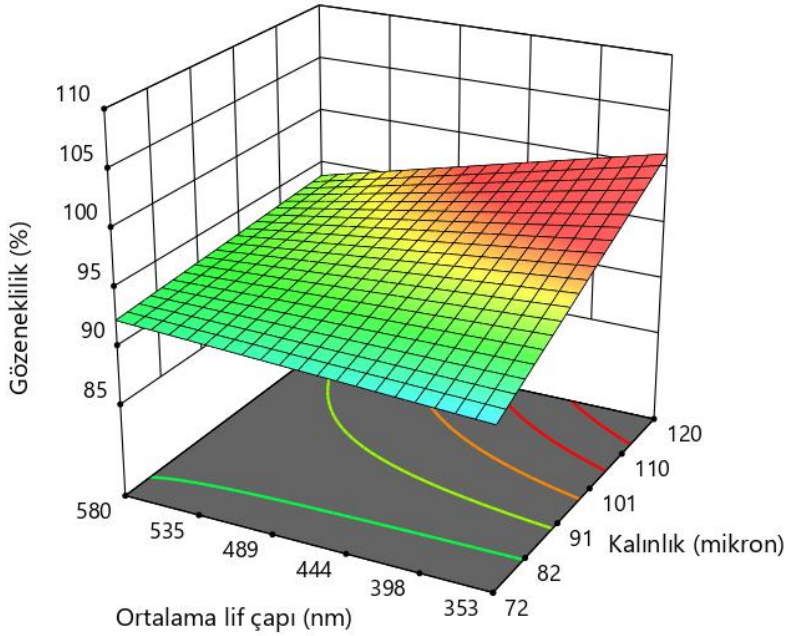
Grafik 4 verilerin açık bir biçimde değerlendirilmesi amacıyla diğer şekillerden farklı olarak azalan değerlere göre düzenlenmiştir. En düşük işlem süresi olan 15 dakika ve %10 polimer konsantrasyonuna sahip numuneler en yüksek hacimsel yoğunluk değerine sahip olmuşlardır. İşlem süresinin az ve en ince liflere sahip olan bu numuneler, en ince kalınlığa ve en yüksek alansal yoğunluğa sahip oldukları için hesaplanan hacimsel

yoğunlukları en yüksektir (Dunne et al., 2017; Sengupta et al., 2021; W. Zhu et al., 2015). Konsantrasyonun artması ile ortalama lif çapını ve işlem süresinin ise kalınlığı arttırmasından dolayı yapı içerisindeki boşlukların artmasıyla hacimsel yoğunluklarında belirgin azalma meydana gelmiştir.

Gözeneklilik

Gözeneklilik değerinin hesaplanmasında, ilk olarak PET polimerinin hacimsel yoğunluğundan, alansal yoğunluk ve kalınlık verileri ile hesaplanan hacimsel yoğunluğunun farkıyla tekstil yüzeyi içerisindeki hava boşluğunun hacmi elde edilir. İkinci aşamada ise hava boşluğu hacminin malzemenin toplam hacmine oranlanmasıyla gözeneklilik verileri elde edilmiştir. Hacimsel yoğunluk ve gözeneklilik birbirine bağlı şekilde hesaplandığından doğrusal bir grafik elde edilmektedir. Çünkü hacimsel yoğunluk arttıkça gözeneklilik azalmaktadır. Bu sebeple gözeneklilik faktörünün değerlendirilmesinde Grafik 5’ de görüldüğü üzere ortalama lif çapı ve kalınlık değerleri üzerinden değerlendirme yapılacaktır.

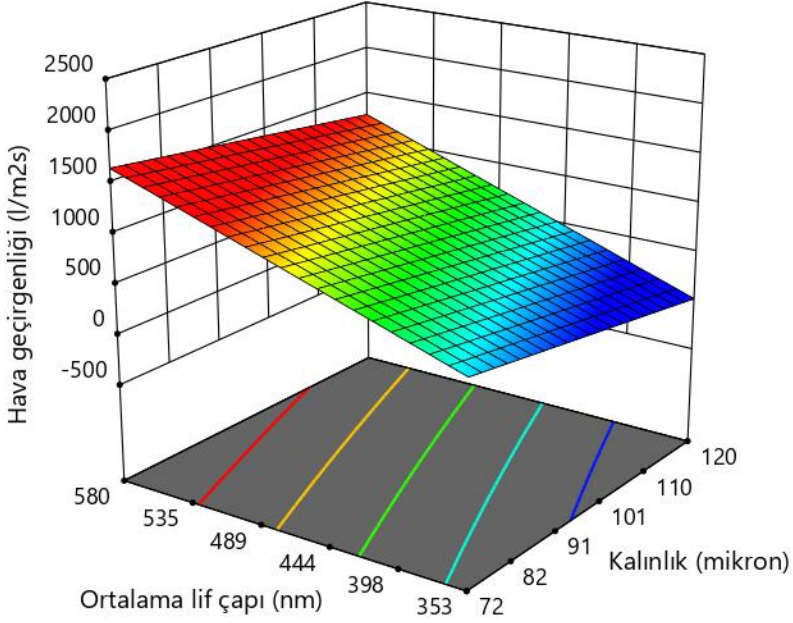
Grafik 5 değerlendirildiğinde, kalınlığın en az ve ortalama lif çapının çok yüksek olduğu durumlarda gözeneklilikteki değişim düşük düzeydedir. Ancak ortalama lif çapı düşük olduğunda kalınlık fazlaştıkça gözeneklilik artışı belirgin bir şekilde görülmektedir. Kalınlığın artması hacimsel yoğunluğu azalttığından gözeneklilik değerinde artış olağan karşılanabilir. Ancak kalınlığın gözenekliliğe etkisi yüksek lif çaplarında az iken düşük lif çaplarına sahip numunelerde belirgindir.



Grafik 5. Gözenekliliğin Ortalama Lif Çapı ve Kalınlığa Bağlı Değişimi

Literatürde, nanolifli yüzeylerde gözenekliliğin, işlem süresine bağlı olan kalınlık değeri yükseldikçe arttığı belirtilmiştir. Bu durum, lifler üzerinde biriken elektriksel yükün, lifler arasında itme kuvvetleri oluşturması ve bunun da kalınlığın arttığı yüzeylerde daha yüksek gözenekliliğe yol açtığı bildirilmiştir (Naragund & Panda, 2021; Xiang et al., 2011).

Hava geçirgenliği tekstil yüzeylerinin en önemli parametrelerinden bir tanesidir. Ortalama lif çapı ve kalınlığın hava geçirgenliğine etkisi gösteren üç boyutlu yüzey grafiği Grafik 6' da gösterilmiştir.



Grafik 6. Hava Geçirgenliğinin Ortalama Lif Çapı ve Kalınlığa Bağlı Değişimi

Ortalama lif çapları büyüdükçe spesifik yüzey alanı küçülen yapıların, ortalama lif çapı küçük olanlara göre daha yüksek hava geçirgenliğine sahip olduğu bildirilmiştir (Čepič & Gorjanc, 2022). 500 nm altında lif çapına sahip yapıların hava geçirgenliğinin düşük olduğu bildirilmiştir (Ruan et al., 2020). Artan kalınlığa sahip nanolifli yüzeylerde hava geçişi esnasında karşılaşılan daha uzun yol nedeniyle düşük kalınlığa sahip yapılarda daha yüksek hava geçirgenliğinin elde edildiği literatürde belirtilmiştir (Kucukali Ozturk et al., 2017; Naragund & Panda, 2021). Elektroegirme süresi arttıkça nanolif tabakası kalınlaşır ve hava geçirgenliğini azaltan bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır (Abuzade et al., 2012; Balogová & Huljaková, 2022).

Grafik 6 incelediğinde, benzer kalınlığa sahip ortalama lif çapı artan numunelerde hava geçirgenliği de artmıştır. Ortalama lif çapları yakın numunelerde ise kalınlık artışı ile birlikte hava

geçirgenliğinde azalma meydana gelmiştir. Düşük kalınlık ve yüksek lif çapına sahip numunelerde maksimum hava geçirgenliğine ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Sonuçlar

Çalışma kapsamında ilk olarak PET polimer granülleri %75 TFA - %25 DCM çözücü karışımı içerisinde %10, %15 ve %20 oranlarında çözündürülmüştür. Bu üç farklı konsantrasyon oranında üretilen polimer çözeltileri ile elektroegirme işlemiyle PP spunbond dokusuz yüzey üzerine nanolif tabakasını oluşturulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda konsantrasyon dışındaki çözelti ve elektroegirme parametreleri sabit tutularak işlem süresinin etkisi araştırılmıştır.

Üretilen nanolifli yüzeylerin ilk olarak alansal yoğunlukları hassas terazi ile ölçülmüştür. Daha sonra SEM görüntülerinden alınan ortalama lif çapları ve kalınlık değerleriyle hacimsel yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Hacimsel yoğunluk değerleri üzerinden gözeneklilik yüzdeleri hesaplanmış ve nanolifli yüzeylerin hava geçirgenliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında konsantrasyon ve işlem süresinin doğrudan etkilediği ortalama lif çapı, alansal yoğunluk, kalınlık ve hacimsel yoğunluk değerleriyle ilişkisi değerlendirilmiştir. Konsantrasyonun artışına paralel olarak ortalama lif çapında artış meydana gelirken, süresinin artışıyla önemli bir değişim meydana gelmemiştir. İşlem süresinin artmasıyla alansal yoğunluğun artması olağandır. Çünkü yüzeyin toplam ağırlığında artış meydana gelmektedir. Burada konsantrasyonun artmasıyla birlikte ortalama lif çaplarında meydana gelen artış alansal yoğunluğu da artırmıştır. Nanolifli yapılarda kalınlık aynı yüzey alanına yığılma miktarı ile doğru orantılı olup, konsantrasyon artışı ile birlikte kalınlıktaki değişim daha belirgin hale gelmiştir. Alansal yoğunluk ve kalınlık verileriyle hesaplanan hacimsel yoğunluk yüzey hakkında daha kapsamlı bilgi verebilmektedir. En düşük işlem süresine (15 dakika) ve konsantrasyon (%10) ile üretilen yapılar, en yüksek hacimsel

yoğunluk değerlerine sahip olmuşlardır. Yapının incelenmesi ve ortalama lif çapının azalması hacimsel yoğunluğu artırırken, ortalama lif çapının ve kalınlığın artmasıyla hacimsel yoğunluk büyük oranda azalmıştır.

Yapısal faktörlerin gözeneklilik ve hava geçirgenliğine etkisi ikinci aşamada incelenmiştir. Gözeneklilik hacimsel yoğunluğa bağlı olarak hesaplanan bir parametre olmasına rağmen kalınlığın az olduğu örneklerde ortalama lif çapı değişiminin etkisi belirgin değildir. Ancak kalınlık artışıyla birlikte ince liflere sahip numunelerde gözeneklilikte büyük bir artış meydana gelmiştir. Hava geçirgenliği, ortalama lif çapları büyüdükçe genel olarak artmakta, kalınlıktaki artış ile birlikte azalmaktadır. Çalışma kapsamında üretilen numunelerde ise kalınlığın en yüksek, ortalama lif çapının en düşük olduğu örneklerde minimum hava geçirgenliği değerlerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

Abbas, J. A., Said, I. A., Mohamed, M. A., Yasin, S. A., Ali, Z. A., & Ahmed, I. H. (2018). Electrospinning of polyethylene terephthalate (PET) nanofibers: Optimization study using taguchi design of experiment. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering (Online)*, 454(1), 1–14. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/454/1/012130>

Abuzade, R. A., Zadhoush, A., & Gharehaghaji, A. A. (2012). Air permeability of electrospun polyacrylonitrile nanoweb. *Journal of Applied Polymer Science*, 126, 232–243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.36774>

Arumugam, V., Mishra, R., Militky, J., Davies, L., & Slater, S. (2018). Thermal and water vapor transmission through porous warp knitted 3D spacer fabrics for car upholstery applications. *Journal of the Textile Institute*, 109(3), 345–357. <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1347023>

Balogová, L., & Huljaková, K. (2022). The influence of construction of non-woven textiles on air permeability for their application in the community face masks. *Fibres and Textiles*, 29(4), 9–17. <https://doi.org/10.15240/tul/008/2022-4-002>

Bortolassi, A. C. C., Guerra, V. G., Aguiar, M. L., Soussan, L., Cornu, D., Miele, P., & Bechelany, M. (2019). Composites based on nanoparticle and PAN electrospun nanofiber membranes for air filtration and bacterial removal. *Nanomaterials*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/nano9121740>

Čepič, G., & Gorjanc, D. Š. (2022). Influence of the web formation of a basic layer of medical textiles on their functionality. *Polymers*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/polym14112258>

Dunne, R., Desai, D., & Sadiku, R. (2017). A Review of the factors that influence sound absorption and the available empirical models for fibrous materials. In *Acoustics Australia* (Vol. 45, Issue 2, pp. 453–469). <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0097-4>

Düzyer, Ş. (2009). *Nanoliflerin Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi [Postgraduate dissertation]*. Uludağ University, Bursa, Turkey.

Erdem, R., & Rajendran, S. (2016). Influence of silver loaded antibacterial agent on knitted and nonwoven fabrics and some fabric properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 11(1), 38–46. <https://doi.org/10.1177/155892501601100107>

Fatimah, I., Sari, T. I., & Anggoro, D. (2020). Effect of concentration and nozzle-collector distance on the morphology of nanofibers. *Key Engineering Materials*, 860, 315–319. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.860.315>

Guo, Y., He, W., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of polyethylene terephthalate nanofiber membrane/polyester needle felt composite filters. *Fuhe Cailiao Xuebao/Acta Materiae Compositae Sinica*, 36(3), 572–577. <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20180704.002>

Guo, Y., He, W., & Liu, J. (2020). Electrospinning polyethylene terephthalate/SiO₂ nanofiber composite needle felt for enhanced filtration performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(2), 1–11. <https://doi.org/10.1002/app.48282>

Kuchi, C., Harish, G. S., & Reddy, P. S. (2018). Effect of polymer concentration, needle diameter and annealing temperature on TiO₂-PVP composite nanofibers synthesized by electrospinning technique. *Ceramics International*, 44(5), 5266–5272. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.12.138>

Kucukali Ozturk, M., Ozden Yenigun, E., Nergis, B., & Candan, C. (2017). Nanofiber-enhanced lightweight composite textiles for acoustic applications. *Journal of Industrial Textiles*, 46(7), 1498–1510. <https://doi.org/10.1177/1528083715622427>

Mahdavi, H., & Moslehi, M. (2016). A new thin film composite nanofiltration membrane based on PET nanofiber support and polyamide top layer: preparation and characterization. *Journal*

of *Polymer Research*, 23(257), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10965-016-1157-4>

Mishra, R. K., Mishra, P., Verma, K., Mondal, A., Chaudhary, R. G., Abolhasani, M. M., & Loganathan, S. (2019). Electrospinning production of nanofibrous membranes. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 767–800. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00838-w>

Naragund, V. S., & Panda, P. K. (2021). Electrospun polyacrylonitrile nanofiber membranes for air filtration application. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Mizuno 2000. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03705-4>

Ogulata, R. T., & Mezarcioz, S. (2012). Total porosity, theoretical analysis, and prediction of the air permeability of woven fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 103(6), 654–661. <https://doi.org/10.1080/00405000.2011.597567>

Paşayev, N., Kocatepe, S., Maraş, N., Soylak, M., & Erol, M. (2017). Investigation some characteristics of chicken feather's rachis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 254(19), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/19/192013>

Purushothaman, A. E., Thakur, K., & Kandasubramanian, B. (2020). Development of highly porous, Electrostatic force assisted nanofiber fabrication for biological applications. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 69(8), 477–504. <https://doi.org/10.1080/00914037.2019.1581197>

Rabbi, A., Bahrambeygi, H., Nasouri, K., Shoushtari, A. M., & Babaei, M. R. (2014). Manufacturing of PAN or PU nanofiber layers/PET nonwoven composite as highly effective sound absorbers. *Advances in Polymer Technology*, 33(4), 1–8. <https://doi.org/10.1002/adv.21425>

Rittenhouse, J., Wijeratne, R., Orler, E. B., Dillard, D. A., Moore, R. B., & De Vita, R. (2019). Effect of areal density and fiber orientation on the deformation of thermomechanical bonds in a

nonwoven fabric. *Polymer Engineering and Science*, 59(2), 311–322. <https://doi.org/10.1002/pen.24907>

Ruan, D., Qin, L., Chen, R., Xu, G., Su, Z., Cheng, J., Xie, S., Cheng, F., & Ko, F. (2020). Transparent PAN:TiO₂ and PAN-co-PMA:TiO₂ nanofiber composite membranes with high efficiency in particulate matter pollutants filtration. *Nanoscale Research Letters*, 15(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s11671-019-3225-2>

Seddeq, H. S. (2009). Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 4610–4617.

Sengupta, S., Basu, G., Datta, M., Debnath, S., & Nath, D. (2021). Noise control material using jute (*Corchorus olitorius*): effect of bulk density and thickness. *Journal of the Textile Institute*, 112(1), 56–63. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1744222>

Shahabadi, S. M. S., Kheradmand, A., Montazeri, V., & Ziaee, H. (2015). Effects of process and ambient parameters on diameter and morphology of electrospun polyacrylonitrile nanofibers. *Polymer Science - Series A*, 57(2), 155–167. <https://doi.org/10.1134/S0965545X15020157>

Shao, H., Fang, J., Wang, H., & Lin, T. (2015). Effect of electrospinning parameters and polymer concentrations on mechanical-to-electrical energy conversion of randomly-oriented electrospun poly(vinylidene fluoride) nanofiber mats. *RSC Advances*, 5(19), 14345–14350. <https://doi.org/10.1039/c4ra16360e>

Tapanyığıt, E. B., Pektaş, K., Özdemir, M., & Balcı, O. (2022). Farklı dokusuz yüzeyler üzerinde çözelti üfleme eğirme tekniği ile Poliamid 6.6 esaslı nano lif eldesi ve araç kabin filtreleri için uygunluğunun araştırılması. *Tekstil ve Mühendis*, 29(127), 116–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.7216/1300759920222912701>

Utkarsh, Hegab, H., Tariq, M., Syed, N. A., Rizvi, G., & Pop-Iliev, R. (2020). Towards analysis and optimization of electrospun

PVP (polyvinylpyrrolidone) nanofibers. *Advances in Polymer Technology*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2020/4090747>

Veleirinho, B., Rei, M. F., & Lopes-Da-Silva, J. A. (2008). Solvent and concentration effects on the properties of electrospun poly(ethylene terephthalate) nanofiber mats. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 46(5), 460–471. <https://doi.org/10.1002/polb>

Vimal, J. T. (2017). Effect of weave parameters on air resistance of woven fabrics produced from compact doubled yarn. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 42(2), 196–201.

Xiang, H. F., Tan, S. X., Yu, X. L., Long, Y. H., Zhang, X. L., Zhao, N., & Xu, J. (2011). Sound absorption behavior of electrospun polyacrylonitrile nanofibrous membranes. *Chinese Journal of Polymer Science (English Ed.)*, 29(6), 650–657. <https://doi.org/10.1007/s10118-011-1079-x>

Yong, L., Jian, L., Xian, L., & Bei, W. (2021). Test and analysis of the porosity of cotton fiber assembly. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 16, 1–7. <https://doi.org/10.1177/15589250211024225>

Zhu, G., Zhao, L. Y., Zhu, L. T., Deng, X. Y., & Chen, W. L. (2017). Effect of experimental parameters on nanofiber diameter from electrospinning with wire electrodes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 230(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/230/1/012043>

Zhu, W., Nandikolla, V., & George, B. (2015). Effect of bulk density on the acoustic performance of thermally bonded nonwovens. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(3), 39–45. <https://doi.org/10.1177/155892501501000316>

BÖLÜM IV

Yalın Üretim Teknikleri ve Süreç İyileştirme: Enerji Sektöründe Bir Uygulama

Bahar Özyörük¹

Giriş

Günümüzde hızlı gelişen ve değişen teknolojiye uyum sağlamak, işletmeleri zorlamaktadır. Yoğun rekabet ortamında ayakta kalabilmek ve verimliliklerini artırabilmek için şirketler yoğun çaba göstermektedir. Bu arayışın sonucu olarak alternatif ve daha etkili üretim yöntemleri benimsenmektedir. Firmaların büyük bir kısmı bu değişken ve rekabetçi ortam da yönetim veya üretim süreçlerinde fark yaratarak daha etkin çalışmaya devam ederken bir kısmı ise bu değişimlere ve yeni sisteme uyum sağlayamadığı için küçülmeye yönelmektedir. Sektörde rekabetin yoğunluğu u, maliyet düşürücü çalışmaların yapılmasını, müşteri isteklerini karşılamayı ve memnuniyet seviyesini artıran çalışmalara yönelmişlerdir. Bu

¹ Doç.Dr. Bahar Özyörük, Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

aba özellikle 1980'lerin sonlarında ortaya çıkan ve hızla uygulama alanları genişleyen, pek çok endüstriyel sektörlerde oldukça yayılmış ve 2000'li yıllar ile de hizmet sektöründe özellikle sağlık hizmetleri alanlarından sıklıkla uygulanmış yalın felsefe/üretim bakış açısının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yalın düşünce, iş akışı boyunca gerçekleşen işlemlerde gereksiz olarak tanımlanan her işlemin, israfın faaliyetler içerisinden ayrılıp, yok edilmesinin ve daha esnek üretim akışını benimseyerek müşteri istek ve ihtiyaçlarına göre plan yapılmasını hedefleyen bir anlayıştır. Bu hedefi gerçekleştiren üretim sistemi ise yalın üretim sistemi olarak anılmaktadır. Yalın retim sistemi içinde müşteri istek talep ve beklentilerine cevap verme yeteneği artırılır ve mümkün olan en düşük maliyetle bu süreç yönetilebilmektedir. (Allen, vd. 2001).

Yalın retim, ürüne direk değer katmayan, israf olarak ifade edilen tüm unsurların ortadan kaldırılmasını hedefleyen uygulamalar bütünüdür. Bu uygulama sayesinde işletmelerin verimliliği, üretim kalitesi, iş sağlığı ve güvenliğini artmaktadır. Günümüzde Yalın retim artık işletmelerde bir uygulamadan çok bir kültür haline gelmiştir. Yalın düşünce sistemi mümkün olan en az maliyet ile en verimli şekilde hizmet veya ürün ortaya koymayı hedeflerken pek çok farklı yöntemi kullanmaktadır. Bu çalışmada enerji sektöründe faaliyet gösteren işletmenin üretim alanında yalın üretim tekniklerinden 5S ve Kaizen, uygulamaları ile süreç iyileştirme yapılmıştır. Uygulama öncesi mevcut durum analizi yapılmıştır, proses zamanları, meydana gelen arızalara ait kayıtları gibi veriler elde edilmiştir. Son üç yıl esas alınarak durum tespiti yapılmıştır. 5S ve Kaizen iyileştirmeleri sonrasında elde edilen bulgularla bir karşılaştırma yapılmıştır.

Problem Tespiti

Enerji sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın mevcut geleneksel üretim yöntemleri ile üretime devam ederken, ortaya çıkan israf ve gereksiz hareketlerin üretim içerisinde yer alması hem zaman, hem kalite verimsizliğine sebep olduğu tespit edilmiştir. Firmada retim yapan tezgahlara uygulanabilecek bir bakım planı

bulunmamaktadır. Herhangi bir arıza durumunda anlık müdahale edilmektedir. Seri üretim yapan bir firma için bu durum büyük arızalar oluştuğunda uzun duruşlara sebep olmaktadır. Bu gibi sorunları ortadan kaldırmak için israf kaynaklarının belirlenmesi için alt yapı oluşturulması hedeflenmiştir. Yalın üretim uygulamaları kapsamında yeni bir tezgâh bakım politikası oluşturularak periyodik olarak tezgah bakımlarının, otonom bakım mantığı ile yapılabilmesi için bakım prosedürü geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kapsamında yapılan literatür araştırması iki başlık altında gerçekleştirilmiştir. İlk kısımda 5S Yalın üretim tekniği ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. İkinci kısımda ise Toplam verimli bakım konusunda yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Literatür Araştırması

Scopus veri tabı üzerinden "5S" ve "Lean Manufacturing" anahtar kelimeleri ile yapılan arama sonuçları 2023 yılına kadar yılları arası filtrelenerek elde edilen çalışmalar VOSviewer_1.6.1.9 paket programı ile analiz edilmiştir. Verilen anahtar kelime analizi incelendiğinde, 5S ve yalın üretim çalışmaları ile en çok yapılan çalışmaların kaizen ve verimlilik çalışmaları olduğunu görülmüştür. Bu iki anahtar kelime ile yapılan çalışmaların ülke bazında değerlendirmesin de çok çalışma yapan ülkenin Hindistan olduğunu görmekteyiz. Ayrıca yıl bazında değerlendirildiğinde çalışma yoğunluğunun 2019-2021 yılları arasında yoğunlaştığı görülmektedir.

Atıf Yoğunluğu İncelemesine göre bazı çalışmalar öne çıkmış ve detaylı olarak bu çalışmada sunulmuştur.

Sahoo, S. and Yadav, S. (2018) en çok atıf alan çalışmaların birisi olup, Hindistandaki küçük ve orta ölçekli üretim organizasyonlarının ne oranda "yalın yönetim" uygulamalarını benimsediğini ve bu uygulamaların işletmenin operasyonel performansına olan etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Hintli KOBİ'ler de yalın üretimin kabul edilebilirliği ve uygulanabilirliği, süreç iyileştirmesi, akış yönetimi ve atık minimizasyonu olmak

üzere üç yapı kullanılarak analiz edilmiştir. Yanıt veren firmalar, yalın uygulamanın aşamalarına göre "Lean-Beginners" (başlangıç aşaması), "In-transition lean" (geçiş aşaması) ve "lean" (uygulanmış) gruplarına ayrılmıştır. Anket kullanılarak Hindistan'daki 121 üretim KOBİ'sinden veriler toplanmıştır. Uygulama ve performans ölçümlerinin güvenilirliği ve geçerliliği değerlendirilmiştir. 5S- iş yeri düzeni" en çok uygulanan yalın üretim tekniği olarak bulunmuştur. Yalın üretimin başarılı bir şekilde uygulanmasının önündeki başlıca engel olarak "işçilerin tutumu" vurgulanmıştır. Bulgular, Hindistan'daki KOBİ'lerde yalın araçları ve felsefesinin uygulanmasının sonucunda genel olarak olumlu etkiler göstermektedir. Bu makale, yalın üretim uygulamanın pratik sonuçlarını göstererek, küçük ve orta ölçekli üretim firmalarında üretkenliği gerçek anlamda artırabileceğini göstermektedir.

Sarı (2018) yaptığı çalışmada, yalın üretim uygulamalarını ve getirilerini içermektedir. Yaptığı çalışmada bağlantı elemanları (cıvata, somun vb.) üreten bir işletme ele alınmıştır. Bu işletme beyaz eşya sektörü, otomotiv sektörü ve elektronik üzerine çalışan firmalarında yardımcı sanayisi konumundadır. Mevcut durum analizi ile Kaizen çalışmaları yapılmıştır. 5S ile ilgili odaklandığı nokta çoğu fabrikanın sadece denetimlerde, ziyaretlerde vb. durumlarda 5S kontrolü ve düzeni sağlamaktadır açıklamasında bulunmuştur.

Flores ve Alvites (2022), Üretim kapasitesinin düşük olması nedeniyle siparişlerin teslim edilememesi, plastik sektöründeki firmaların karşılaştığı temel sorunlardan biridir. Bu sorunun ana nedenleri arasında, yüksek ayar sürelerinden ve üretim sürecindeki makine arızalarından kaynaklanan üretim kesintileri yer almaktadır. Bu sorunları çözmek için 5S, SMED (SingleMinute Exchange of Die), TPM (Total Productive Maintenance) ve Jidoka araçlarını içeren bir yalın üretim modeli önermişlerdir. Bu çalışmada kurulan model enjeksiyonlu kalıplama yoluyla plastik üretimine uygulanmıştır ve bu, OEE'de (Genel Ekipman Etkinliği) yüzde 13'lük bir artış ve kurulum sürelerinde yüzde 48'lik bir azalmayla sonuçlanmıştır.

Peralta ve arkadaşları (2023), bir iklimlendirme firmasının kanal üretim hattında yaptıkları çalışmada 5S metodolojisi kullanarak iyileştirme yapmışlardır. Çalışmayı iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. İlk aşamada şirket ve mevcut işleyiş, yapı, ürünler ve iş planı sunulurken ana eksiklikleri gösterilmiş. İkinci aşamada ise, 1. aşamanın eksikliklerine yalın üretim araçları uygulanarak bir iyileştirme planı oluşturulmuştur. Bu araçların uygulanmasının sonucunda ölçüm, kesim, bükme ve kaynak istasyonlarında sırasıyla %64, %80, %71 ve %50 oranında alan tasarrufu elde edilmiştir ve üretim sürelerinde iyileşme sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, yalın üretim uygulamasının şirketin üretim sürecinin ve çalışma ortamının ciddi şekilde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Scopus veri tabı üzerinden " Autonomous maintenance" ve " Total productive maintenance" anahtar kelimeleri ile yapılan arama sonuçları VOSviewer_1.6.1.9 paket programı ile analiz edilmiştir. Otonom bakım çalışmalarında yalın üretim, proses optimizasyonu toplam verimli bakım çalışmalarını da sıklıkla içerdiğini gözlemlenmiştir. Aşağıda bu çalışmalardan bazıları hakkında daha detaylı bilgi verilmiştir

Yurdakul, M., Türkbaş, S., Altınova, S.,(2008) Mercedes Benz Türk A.Ş.'de yaptıkları toplam verimli bakım uygulamalarında ana hatları belirlemiştir. Öncelikle verimli bakım için bakım modeli kurulmuştur. Bu uygulama için firma içerisinde ekipler oluşturulmuş, günlük bakım formları hayata geçirilmiştir. Kullanılmaya başlanan bu formlar ile tezgâhın aylık arıza frekansı, toplam arıza giderilme süresi, üretim akışına etkisini gösteren grafikler çizilmiştir. Alınan bütün veriler başlangıç noktası olarak belirlenip toplam verimli bakımın atölye uygulamasının yapılacağı alanlar belirlenmiştir. Buradaki ekipmanların problemlerinin çözümüne yönelik iş paketleri oluşturulmuş ve faaliyete geçirilmiştir. Uygulamaların sonunda ekipmanların aylık kullanım oranları ve üretim miktarları hesaplanmış ve ulaşılan sonuçlar incelenmiştir. Kullanım oranı, Bakım uygulamaları öncesi üç yılın değerlerinin ortalaması 4 %85,2, uygulamalar sonrasında 7 aylık

ortalama %98,4 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda kullanım oranında %13,2 iyileşme sağlandığı söylenmiştir.

Görener, A., Yenen, V.Z.(2007) Toplam verimli bakım çalışmalarını döküm sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada özellikle, toplam verimli bakım uygulanan hatlardan, otomatik kalıplama hattı ve döküm ile üretilen ürünlerin ön yüzeyini taşıma tezgahlarında TVB (Toplam Verimli Bakım) faaliyetleri sonrası, kalıplama hattında ve ekipmanındaki iyileştirmeler ile çalışmaların mali ve teknik yönden faydaları irdelenmiştir. Otomatik kalıplama hattı ve alın taşıma alanında çalışan operatörlerin otonom bakım hakkında bilgi ve becerilerini arttırmak amaçlı eğitim programları düzenlenmiştir. Toplam verimli bakım uygulamalarının hayata geçirildiği ilk üç yıl değerlendirildiğinde, birçok alanda kritik iyileşmelerin yaşandığı gözlemlenmiştir. Uygulamaya, genel verimlilik tarafından bakıldığında ise, kalıplama hattı ve ön yüzey taşıma tezgahlarında , zaman ilerledikçe genel ekipman verimliliğinin yükselmekte olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Pinto ve arkadaşları (2020), yaptıkları çalışmada, debriyaj ve hidrolik Kontroller alanında faaliyet gösteren bir şirkette endüstriyel bir bağlamda uygulanan stratejik bir bakım planının uygulanmasına odaklanmışlardır. Toplam Üretken Bakım (TPM) metodolojisi, verimsizlik nedeniyle kaynaklanan kayıpların ortadan kaldırılmasına odaklanmak üzere CNC(İşleme Merkezi) Tornalar ve CNC İşleme Merkezleri gibi iki bölümde uygulanmış ve hayata geçirilmiştir. Çalışma başlangıcında mevcut durum analizi yapılmış üç aylık veriler tutulmuştur. Bu şekilde, hücrelerle ilgili tespit edilen temel sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Yeni otonom bakım prosedürleri ve iyi tanımlanmış bir takvimle önleyici bakım planları da geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar oldukça olumlu olmuştur: CNC torna sektöründe arızaların %23 oranında azaldığı ve CNC işleme merkezlerinde %38 oranında bir azalma yaşandığı gözlemlenmiştir. Genel olarak, makinelerin kullanılabilirliğinde ve Genel Ekipman Etkililiğinde (OEE) yaklaşık %5 oranında bir artış görülmüştür.

Ben ve arkadaşlarının (2021) çalışmasında bir şişeleme tesisi içinde önleyici bakımın cihazların güvenilirliği üzerindeki etkisini araştırılmaktadır. Altı aylık gerçek zamanlı bakım verileri nicel olarak analiz edilmiştir. Her makine için elde edilen arıza olaylarına dayanarak, ortalama arıza arası süre (MTBF), ortalama tamir süresi (MTTR) ve arıza hızı değerleri hesaplanmıştır. Şişe paketleyici, boş şişe kontrol cihazı ve paletleyici, tesisin kritik makineleri olarak belirlenmiştir. Ardından şişe paketleyicisi üzerinde bir arıza analizi yapılmış ve bu makineyi etkileyen tüm tekrarlayan sorunların arıza modu incelenmiştir. Etkili bir bakım programı oluşturmanın bir parçası olarak otonom bakım ekibi kurulmuş ve sürekli olarak düşen kritik makinelerin güvenilirliğini artırmak için bir program başlatılmıştır. Otonom bakım programının uygulanmasından iki ay sonra, makine arızalarında önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, şişe paketleyicisinin güvenilirliği %55,30'dan %70,80'e, ve paletleyicinin güvenilirliği sırasıyla %89,20 ve %87,20'den sırasıyla %92 ve %90,50'ye yükselmiştir.

Mendes ve arkadaşları (2023) bu çalışmada toplam verimli bakım uygulamalarını Endüstri 4.0 a entegre etmeyi hedeflemişlerdir. Çalışma özellikle bakım yönetiminin kritik rolüne odaklanmakta ve üretim süreçlerini geliştirmek için Endüstri 4.0 (I4.0) ve Toplam Üretken Bakım (TPM) prensiplerini entegre eden, maliyet etkin ve kolayca uygulanabilir bir model sunmaktadır. Önerilen model, sensörler, bir ağ geçidi ve Nesnelerin İnterneti hizmetleri ile donatılmış gerçek zamanlı bir izleme sistemi içermektedir. Bu bileşenler, veri toplama, iletimi, depolama ve hem mobil hem de sabit cihazlar aracılığıyla görselleştirmeyi mümkün kılar. Modelin etkinliği, bir yem fabrikasındaki bir konveyör bandında uygulanarak doğrulanmışlardır. Konveyör bandının kullanılabilirliği, TPM uygulamasından önce yaklaşık %89,5 idi. TPM'nin uygulanmasından sonra, konveyör bandının kullanılabilirliği haftalık 105 saatlik bir çalışma süresinde %92,7'ye yükseldiği gözlemlenebilmiştir. Ayrıca, her müdahale ortalama süresinde yaklaşık %53'lük bir azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, model aynı zamanda konveyör bandının bakım planını iyileştirmeyi

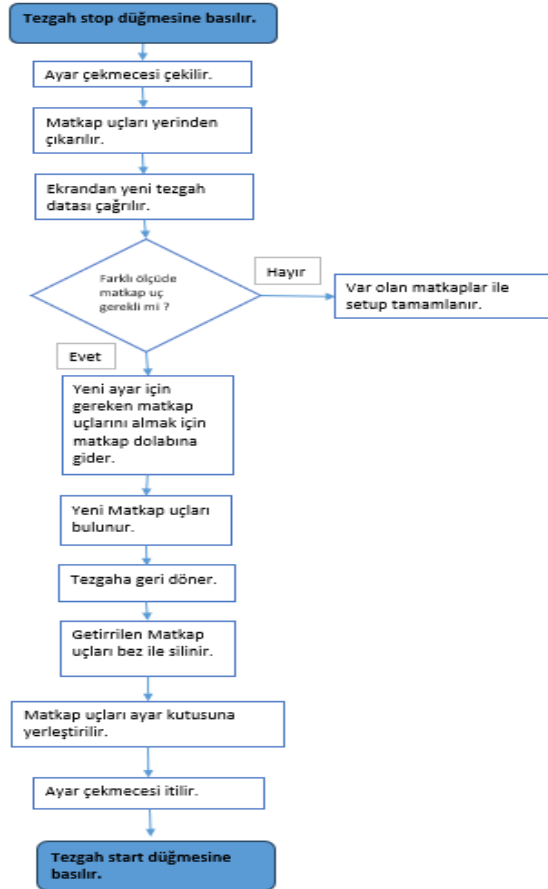
kolaylaştırmıştır. Operatörler, yeni otonom bakım planına kolayca uyum sağlamak için eğitildi ve operasyonel verimliliği artırdığını gözlemlemişlerdir. Geliştirilen modelin esnekliği, diğer durum parametrelerini izlemek için kolay adapte edilme olanağı sağlamaktadır, böylece hem bakım hem de üretim departmanları için gerçek zamanlı karar verme imkanı sunar. Bu entegre yaklaşım, süreç optimizasyonunu destekleme potansiyeline sahiptir ve sonuç olarak üretkenliği, maliyet etkinliğini ve rekabetçiliği artırmaya katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın Yapıldığı İşletmede Mevcut Durum Analizi

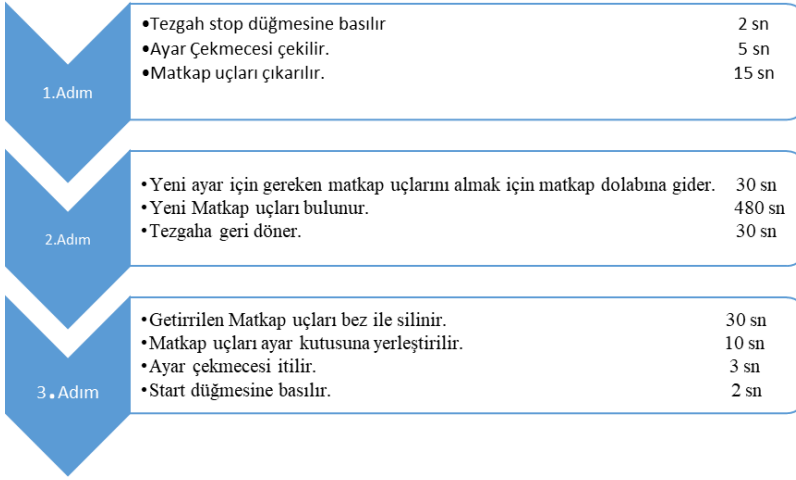
Mevcut Durum analiz edilirken her istasyon için çevrim süreleri kronometre yardımıyla tutulmuştur. Bu doğrultuda günlük tezgâh kapasiteleri ve ayar süreleri belirlenmiştir.

Fabrika da üretim süreci planlamadan gelen iş emirleri ile başlamaktadır. Planlama ekibi gerekli MRP (Malzeme ihtiyaç planlaması) çalışmalarını yaptıktan sonra hammadde tedarikinden sorumludur. Hammaddenin firmaya girmesinden sonra girdi kalite süreci işletilmektedir. Tek vardiya çalışan kalite birimi kontrol süreci ile üretim hattını beslemektedir. Üretim atölye şefinden tezgahlara dağılan işler SAP yardımı ile tezgâha veri aktarımı ile yüklenir. İlk operasyon olan kesim operasyonu için her vardiyada öncelikle setup ayar işlemi yapılır. Bu işlem 600 sn olarak ölçülmüştür. Bu süreçte operatör matkap dolabına gider, gereken matkap ucunu bularak tezgâha getirir ve tezgâha bağlar. Bu işlem 540 sn almaktadır. Üretimin ilk aşaması kesim işlemi ile başlar. Bir köşebent üretim süresi 240sn dir. 2.operasyon olan büküm işlemini kesim tezgâhı beslemektedir. Büküm işlemi sabit bir işlem olduğu için bir kez ayar yapılması yeterlidir. 2 dk büküm açısı belirlenip start düğmesine basılır. Bu işlemde çevrim süresi 180 sn.dir Bu durumda ilk işlem olan kesim tezgâhı büküm tezgahını tam anlamı ile besleyememektedir. 2.Tezgahda boşluklar olmaktadır. Bu durumda tezgâh yüzde olarak hesaplandığında %73 verim ile çalışmaktadır. Günlük üretim kapasitesi 479 adet iken ilk tezgâhtan gelen 353 adede göre üretim yapmaktadır. 3.operasyon taşlama

operasyonu ise ayar gerektirmeyen taşıma aparatı ile parçaların çapaklarının alındığı bir temizlik aşamasıdır. Diğer operasyonlar 3 vardiya devam ederken bu işlem akışın dengelenmesi adına tek vardiya çalıştırılmaktadır. Buna rağmen istasyon verimi %73 dür. Akış şemasında akışı yavaşlatan, bir sonraki istasyonu beklemesine sebep olan setup işlemi için akış şeması çizilmiştir. Şekil 1. de verilmiştir. Setup time lar ise Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 1. Mevcut durum iş akış şeması



Şekil 2. SETUP işlem Süreleri

Yalın Üretim Uygulamaları

Yalın Üretim uygulamaları kapsamında 5S, kaizen, çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Firma içerisinde bu yönde bir bilincin oluşması açısından çalışma başlangıcında aktif rol alacak birimler öncelikli olmak üzere bu konular üzerine sunumlar yapılarak eğitimler verilmiştir.

Çalışma yapılan sahada bulunan kafes direk fabrikası üretim hattıdır. İlgili sahada çelik hammaddeler kesim delim büküm taşıma gibi işlemlerden geçerek galvaniz hattına sevk edilmektedir. Yalın üretim çalışmaları galvaniz öncesindeki adımlar için uygulanmış çelik üretim alanı hattında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma başlangıcında verilen eğitimler ile çalışmaya her kademede katılımın yüksek olması hedeflenmiştir. 5s ve kaizen için ileriye yönelik planlar oluşturulmuş ve katılımı teşvik edici stratejiler belirlenmiştir. Bu stratejiler de çalışmanın firmaya kazanımlarındandır.

5S Uygulamaları

5S Çalışmalarının en önemli başlangıç noktasını en kritik şekilde etkileyen unsurlularından biri bütünsel katılımdır. Bu çalışmaların başarılı ve etkin uygulanabilmesi için herkesin motive bir şekilde katılması gereklidir.

Seiri Uygulamaları

Sahada ihtiyaç duyulan malzemeleri kolayca bulabilmek ve kullanabilmek için yaptığımız düzenlemeler bu adımda gerçekleşmiştir. Düzenleme adımında yapılan uygulama örnekleri aşağıdaki gibidir.

Kafes direk imalat hanesinde bulunan matkaplı CNC tezgâha ait dolapların içindeki matkaplar dağınık ve düzensiz bir şekilde bulunması, tezgâhta çalışan işçinin matkapları değiştirmek için aradığı matkabı bulmasını oldukça zor ve zaman alıcı hale getiriyordu. Resim 1 de dolabın içerisindeki düzensizlik ve kirlilik açıkça görülmektedir. Bu alanda yeni bir düzenleme yapılmış, gereksiz olan malzemeler alandan uzaklaştırılmıştır. Kalan malzemeler için metal sac plakadan yeni bir dolap tasarlanmıştır. Kaynak fabrikadan destek alınarak tasarımı tarafımda yapılan yeni dolap üretilmiştir. Resim 2. de tasarlanıp üretilen yeni dolap görüntüsü verilmiştir.



*Resim 1 imalat dolabı 5S
öncesi görüntüsü*



*Resim 2 imalat dolabı 5S
sonrası görüntüsü*

Benzer şekilde matkap uçlarının dolapları da benzer şekilde yeniden tasarlanıp düzenlenmiştir. Bu alanda iyileştirme öncesi operatörlerin tezgâhtan dolaba gidiş geliş süresi kronometre yardımı ile ölçülmüştür. Alınan kayıtlar ortalaması operatörlerin depoya gidiş ve geliş süresi 540 saniye olarak belirlenmiştir. Yeni dolap düzenine geçilmesinden sonra alınan ölçümlerde bu süre 90 saniyeye indirilmiştir.

Tezgah için gereken aletlerin yer aldığı panoda düzenlenmiştir. Burada harf düzeni getirilerek, ihtiyaç duyulan aletlere ulaşım süresi kısaltılmıştır.

Seiso Uygulamaları

Bu adımda tüm üretim sahasında temizlik işlemleri yapılmıştır. Tezgahlar ve takımların bulunduğu alanlar yağ kir tozdan arındırılmıştır.

Seiketsu Uygulamaları

Seiketsu Uygulamaları adımıyla yapılan yeni düzen ve temizliklerin devamlılığı ve standartlaştırılabilmesi için ilgili alanlara talimatlar hazırlanmıştır. Hazırlanan düzen ve temizlik

talimatları numaralandırılmış ve ilgili alanda tezgâhın üstüne asılmıştır.

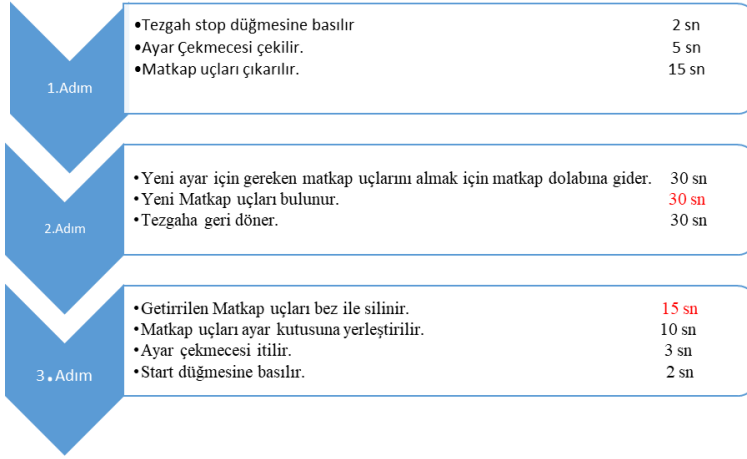
Shitsuke Uygulamaları

Yapılan tüm çalışmalar hazırlanan talimat ve görseller fabrika müdürü ve kafes direk operasyonlar direktörünün katıldığı bir toplantıda anlatılmıştır. Üst yönetimin de desteği alınarak yapılan çalışmalar disiplin sağlanarak devam edebilmesi için aylık tarihi değişken denetimler yapılması kararına varılmıştır. Her ay bu çalışma için 4 kişinin katıldığı denetim ekibi oluşturularak devamlılığı sağlama adımı atılmıştır.

Hazırlanan talimatlar işe yeni başlayan her operatörün kolaylıkla uygulayabileceği şekilde olmasına dikkat edilmiş görseller ile desteklenmiştir.

5S Uygulamaları Sonrası Akış Şeması;

Yapılan 5S çalışmaları ile İlk operasyon olan kesim tezgahının setup süresindeki kayıp zamana odaklanıldı. Operatörün matkap takımlarını matkap dolabından alıp geldiği aşama için yapılan iyileştirmeler sonucunda 540 saniye olan bu adım 90 saniye ye düşürülmüştür. Setup süresi toplamı 142 sn olmuştur. Günlük üretilen parça adedi 360 adede çıkmıştır.2.Tezgâhın verimi %75 e çıkarılmıştır.3.iş istasyonu taşıma tezgâhı verimi de %75 e çıkarılmıştır. İyileştireler sonrası setup akış şeması Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 3 Uygulama sonrası SETUP zamanları

Sonuç ve Değerlendirme

Ankara da faaliyet gösteren bir firmada, Enerji nakil hattı için demir çelik köşebent üretimi gerçekleştiren üretim sahasında yapılan çalışmalar sonucunda yukarıda detaylı bir şekilde açıklanan 5S ve Kaizen uygulamaları devreye alınmıştır. Ayrıca tüm süreç boyunca 5S yönteminin eğitimi çalışan personele verilerek, personelde yalın üretim bilincinin oluşması sağlanmıştır. Üretim verimliliği açısından büyük önem taşıyan bu uygulamalar gelecek yalın üretim çalışmaları için başlangıç adımı olup daha üretken verimli bir üretim sağlamak adına alt yapı oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında yapılan 5S uygulamaları ile yeni matkap düzenine geçilmiş ve iyileştirme ile birlikte ilgili tezgahdaki setup süresi 600 sn den 180 sn ye indirilmiştir. Bu durum 1.operasyon verimliliği ile birlikte 2.ve 3.istasyonun verimliliğini arttırmıştır. Bekleme sürelerinde düşüş yaşanmıştır.

5S her sektörde uygulanabilirliği olan bir yöntemdir. Firma içerisinde ilk defa yalın üretim tekniklerini kullanacak firmalar için pilot bölge seçimi daha doğru olacaktır. Bu sayede hızlı uygulama yapıp hızlı sonuç alınabilmektedir.

Ayrıca yalın üretim uygulamak isteyen firmalar için bir sonraki adımda değer akış haritalama yöntemi kullanılarak verimli bir şekilde ilerlenebilir. Firmadaki değer tanımı ve akışın son adımdan ilk adıma katma değer yaratan, katma değer yaratmayan her işlem için tanımlanarak ilerlemek genel durumu görmek için çok etkin bir uygulama olacaktır. Yalın üretime geçebilen firmalar toplam bakım ve otonom bakım alt yapısını oluşturmuş olacaktır. Bu sayede makine verimlilikleri artacaktır.

Kaynaklar

Allen, J., Stewart, D. and Robinson, C. (2001). Lean manufacturing: a plant floor guide. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 28-37

Ben, Aezeden O. Kamalakanta Muduli Effect (2021). Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant, *International Journal of System Dynamics Applications*,

David Mendes, Pedro D. Gaspar , Fernando Charrua-Santos and Helena Navas (2023). Integrating TPM and Industry 4.0 to Increase the Availability of Industrial Assets: A Case Study on a Conveyor Belt, *Processes*, 11, 1956

Görener, A., Yenen, V.Z.,(2007). İşletmelerde toplam verimli bakım çalışmaları kapsamında yapılan faaliyetler ve verimliliğe katkıları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(11): 47-63

J.C.Quiroz-Flores*& M.L.Vega-Alvites (2022), Reviewlean Manufacturing Model Of Production Management Under The Preventive Maintenance Approach To Improve Efficiency In Plastics Industry Smes: A Case Study, *South African Journal of Industrial Engineering* Jul 2022, pp 143-156

Pinto a F. J. G. Silva , N. O. Fernandes , R. Casais a A. Baptista , C. Carvalho (2020), Implementing a maintenance strategic plan using TPM methodology, *International Journal of Industrial Engineering and Management*,192 - 204

Sahoo, S. and Yadav, S.(2018). Lean implementation in small- and medium-sized enterprises: An empirical study of Indian manufacturing firms,*Benchmarking: An International Journal*, Vol. 25 No. 4, pp. 1121-1147

Sarı E (2018). Yalın Üretim Uygulamaları ve Kazanımları. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 17.UİK Özel Sayısı, 585-600.

Yurdakul,M., Türkbaş, S., Altınova, S.(2008). ‘Bir imalat tesisinde toplam verimli bakım (TVB) uygulaması, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 49(583): 11-16

BÖLÜM V

Bir Üretim Firmasında Süreç İyileştirme Çalışmaları

Ediz ATMACA

1. Giriş

Süreç, önceden belirlenen amaçlar doğrultusunda girdileri çıktılara dönüştüren faaliyetler serisine denmektedir. Süreç yönetiminin amacı ise müşteri memnuniyetini sağlamak ve kaynakların daha doğru yerlerde kullanılarak katma değerli ürünlerin ortaya çıkmasını sağlamaktır.

Süreç içerisinde katma değer yaratmayan faaliyetlerin tespit edilmesi ve sistemden uzaklaştırılması, kaynakların doğru yerde kullanılabilmesi için oldukça önemlidir. İşletmeler süreçlerini sürekli iyileştirme felsefesi ile devamlı izlemeli, gözlemlemeli ve kontrol etmelidirler. İşletmeler süreçlerini iyileştirmek için bir takım araçlara başvurabilmektedirler. Kuruluşlar sürekli iyileştirme anlayışını çalışanlarına da benimsetmelidirler. Süreç iyileştirme tekniklerinin nasıl uygulanacağına ve ne gibi yararlar sağlayacağına

dair çalışanlara bilgilendirmeler yapılması, eğitimler verilmesi gerekir.

Süreç İyileştirme üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Antony vd. (2008), yalın altı sigmanın KOBİ’lerde nasıl uygulanabilirliği yönünde çalışma yapmışlardır. Pilot uygulama alanı olarak seçilen bir bölgedeki sonuçlar değerlendirilerek, başarı için neler yapılması gerektiği konusunda bilgiler verilmiştir (Antony vd., 2008).

Bonilla (2008) “Kalite Fonksiyon Yayılımı; müşterinin ürün için teknik servisini, garantisini ve beklentilerini anlatan ‘müşterinin sesi’ anlayışını içeren kullanışlılığı kanıtlanmış bir metottur.” Çalışmasında; hasta muayene çizelgelerine karşı personelin dağılımını ağırlıklandıran ve öncelikli olanın seçileceği Kalite Fonksiyon Yayılımını anlatmıştır. Hastanenin radyasyon onkoloji bölümünde yalın altı sigma projelerinin seçimi ve önceliği için kalite fonksiyon yayılım aracının nasıl kullanıldığını sunmuştur (Bonilla,2008).

Carleymith vd (2009), yalın düşünce ve altı sigma ile ilgili tecrübelerini ilaç Ar-Ge çalışmaları üzerinde uygulamıştır. İlaç üretiminde Yalın Altı Sigma’nın kullanımının oldukça yaygın olduğunu, Yalın Altı Sigma’nın yeni ilaçların üretim sürecinin geliştirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmakta olduğunu belirtmiştir (Carleymith vd., 2009).

Tezsürücü ve Tunail (2010), otomotiv sektöründe yan sanayi olarak faaliyet gösteren bir firmada Altı Sigma metodolojisinin uygulaması incelemiştir. TÖAİK süreci çerçevesinde ele alınarak projede hedeflenen iyileştirme gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. TÖAİK döngüsünün tamamlanmasıyla birlikte projenin başlangıcında hedeflenen iyileştirme gerçekleştirilmiş ve hata oranları oldukça azaltılmıştır. konulmuştur (Tezsürücü ve Tunail, 2010).

Öztürk vd. (2011), çalışmalarında süreç iyileştirmede kullanılan TKY, Altı Sigma, İstatistiksel Mühendislik, Yalın Altı

Sigma ve Yöneylem Araştırması arasındaki benzerlikler ve farklılıklar ile bunların kökeni, teorisi, sürece bakışı ve yaklaşımı, yöntemi, araçları ve sağladığı etkileri ortaya konulmuştur (Öztürk vd, 2011).

Sönmez (2013), süreç yönetimi ve süreç iyileştirmesi konusunda detaylı bilgilendirmeler yapmış ve süreç iyileştirme metodolojilerini analiz etmiştir. İyileştirme projesi olarak kalkınma ajansı ve yatırım teşvik işlemleri hakkında bir dizi bilgilendirmeler yaparak hataların azaltılması amaçlanmıştır (Sönmez, 2013).

Atmaca vd. (2022), bir katılım bankasının bireysel krediler operasyon sürecine ilişkin bir süreç iyileştirme çalışması yapmışlardır. Mevcut süreç detaylı analiz edilerek incelenmiş, süreçte temin süresinde gecikmeye etki eden faktörler belirlenmiştir. Mevcut ve önerilen süreçler karşılaştırılarak, öneriler sunulmuştur (Atmaca vd.,2022)..

3. UYGULAMA ÇALIŞMASI

3.1. Firmada Üretim Alanında Karşılaşılan Problemlerin Analizi

Problemlerin Ortaya Koyulması

Problemlerin tespiti için firmadan alınan son üç yıla ait uygunsuzluk raporları aşağıda açıklanan adımlara göre analiz edilmiştir. Bu adımlar sayesinde her bir hata türünde gerçekleştirilen yeniden imalatın, revizyonun, onarımın veya şartlı kabulün kaç tonajlık malzemeyi etkilediği ve hatanın ortaya çıkma sıklığı tespit edilmiştir. Sonrasında, hatanın sebep olduğu toplam maliyetler hesaplanmıştır. Buradan hareketle hatanın etki ettiği ortalama malzeme ağırlığı ve maliyeti hesaplanmıştır. Böylece, problemin ortaya konması hedeflenmiştir.

Uygulanan adımlar aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

Adım 1: Toplam Tonajın Hesaplanması

Firmadan alınan uygunsuzluk raporları analiz edilmiştir. Excel’de pivot analiziyle hata sınıflarının toplam tonajları hesaplanmıştır ve tonaj tablosu Tablo 1’de verilmiştir.

Adım 2: Hata Türlerinin Sıklıklarının Bulunması

Excel’de pivot analiziyle hata sınıflarının sıklığı hesaplanmıştır ve Tablo 2’de verilmiştir.

Adım3: Toplam Maliyetin Hesaplanması

Toplam Maliyet hesaplanırken her bir giderilme yöntemi için farklı maliyet fonksiyonları oluşturulmuştur. İlgili fonksiyonlar ve hesaplar aşağıda belirtildiği gibidir. Hesaplamalar yapılırken, ton başına malzeme maliyeti 500\$, işçilik 400\$ ve genel giderler 200\$ olarak kabul edilmiştir.

- Yeniden İmalat Maliyet Fonksiyonu: Yeniden imalat için maliyet, malzeme, işçilik ve tüm genel giderlerin toplamıdır.
- Onarım Maliyet Fonksiyonu: Onarım için maliyet, işçilik ve tüm genel giderlerin toplamıdır.
- Şartlı Kabul Maliyet Fonksiyonu: Şartlı kabulde ürüne herhangi bir yeniden işlem veya onarım gibi işlemler yapılmamaktadır. Ürünün kalite ve onay süreleri için geçen zaman tecrübelerine göre belirlenmiştir ve maliyete yansımaları genel giderlerin %8idir.
- Kart Revizyonu Maliyet Fonksiyonu: Tasarım ve kart revizyonu için geçen zaman tecrübelerine göre belirlenmiştir ve maliyete yansımaları genel giderlerin %10udur.

Toplam maliyet tablosu Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1. Tonaj Tablosu

Hata Sınıfı	Hatanın Nasıl Giderildiği			
	Kart Revizyonu	Onarım	Şartlı Kabul	Yeniden İmalat
	Toplam Tonaj	Toplam Tonaj	Toplam Tonaj	Toplam Tonaj
Düşük Kaplama Kalınlığı		25.546		
Tolerans Dışı Dönüklük		14.226		6.521
Hatalı Kaynak Montajı		322.359	6.824	4.339
Delikte Deformasyon		19.636		941
Tolerans Dışı Çekme		5.991		1.185
Şekil Bozukluğu		3.278	7.631	26.493
Tolerans Dışı Ebat		5.966		6.330
Poz nosu Hatası		3.769		
Kaynak Çekmesi		6.691		216
Revizyon	25.965	13.749	300	
Hatalı Kalınlıkta Kesim		3.471	480	17.145
Hatalı Oyma		3.469		1.549
Hatalı Delik Delme	11.205	16.329	517	6.283
Deformasyon		26.277	10.956	23.915
Burkulma - Bükülme		3.386	376	891
Hatalı Kart	22.146	10.700	19.913	17.365

Hatalı Kaynak		17.179		818
Hatalı Bükme		4.270		16.032
Kısa Boy Kesme	1.730	1.063	401	10.043
Hadde Hatası		951		184
Kırılma, Çatlama		2.362		
Eksik İmalat		3.768		
Çapak Kesme/Delme		437		
Bode Ezigi		373		4.996
Uzun Boy Kesme	18	351		
Yanakta Tolerans dışı düzleşme		344	19.359	2.400
Hatalı Kaynak Taşlaması		907		
Hatalı Kesim		3.533	69	67.977
Eksik Kaynak İşlemi		2.964		
Tolerans Dışı Eğrilik		617		2.356
Hatalı Kaynak Dikişi		192		
Hatalı Malzeme Kalitesi			12.524	2.586
Fazla İmalat				3.580
Eğri Malzeme				266
Üretime Yanlış İndirme				1.006
Operasyonlar Arası Hatalı Sevk				735
Hatalı Taban Plakası				1.646
Hatalı Yanak Açma				97
Grand Total	61.065	524.151	79.350	227.893

Tablo 2. Sıklık Tablosu

Hata Sınıfı	Hatanın Nasıl Giderildiği							
	Kart Revizyonu		Onarım		Şartlı Kabul		Yeniden İmalat	
	Toplam Tonaj	Sıklık	Toplam Tonaj	Sıklık	Toplam Tonaj	Sıklık	Toplam Tonaj	Sıklık
Düşük Kaplama Kalınlığı			25.546	3				
Tolerans Dışı Dönüklük			14.226	2			6.521	7
Hatalı Kaynak Montajı			322.359	48	6.824	3	4.339	16
Delikte Deformasyon			19.636	3			941	12
Tolerans Dışı Çekme			5.991	1			1.185	5
Şekil Bozukluğu			3.278	1	7.631	2	26.493	3
Tolerans Dışı Ebat			5.966	2			6.330	6
Poz nosu Hatası			3.769	2				
Kaynak Çekmesi			6.691	4			216	1
Revizyon	25.965	4	13.749	11	300	1		
Hatalı Kalınlıkta Kesim			3.471	4	480	1	17.145	20
Hatalı Oyma			3.469	4			1.549	9
Hatalı Delik Delme	11.205	1	16.329	19	517	2	6.283	32
Deformasyon			26.277	31	10.956	2	23.915	96
Burkulma - Bükülme			3.386	4	376	1	891	8
Hatalı Kart	22.146	12	10.700	14	19.913	1	17.365	39
Hatalı Kaynak			17.179	28			818	3

Hatalı Bükme			4.270	7			16.032	94
Kısa Boy Kesme	1.730	2	1.063	2	401	1	10.043	9
Hadde Hatası			951	2			184	1
Kırılma, Çatlama			2.362	5				
Eksik İmalat			3.768	8				
Çapak Kesme/Delme			437	1				
Bode Eziği			373	1			4.996	39
Uzun Boy Kesme	18	2	351	1				
Yanakta Tolerans dışı düzleşme			344	1	19.359	1	2.400	7
Hatalı Kaynak Taşlaması			907	3				
Hatalı Kesim			3.533	12	69	2	67.977	82
Eksik Kaynak İşlemi			2.964	11				
Tolerans Dışı Eğrilik			617	3			2.356	3
Hatalı Kaynak Dikişi			192	2				
Hatalı Malzeme Kalitesi					12.524	2	2.586	4
Fazla İmalat							3.580	2
Eğri Malzeme							266	1
Üretime Yanlış İndirme							1.006	3
Operasyonlar Arası Hatalı Sevk							735	1
Hatalı Taban Plakası							1.646	1
Hatalı Yanak Açma							97	1
Grand Total	61.065	21	524.151	240	79.350	19	227.893	505

Tablo 3. Toplam Maliyet Tablosu

Hata Sınıfı	Hatanın Nasıl Giderildiği							
	Kart Revizyonu		Onarım		Şartlı Kabul		Yeniden İmalat	
	Toplam Tonaj	Toplam Maliyet	Toplam Tonaj	Toplam Maliyet	Toplam Tonaj	Toplam Maliyet	Toplam Tonaj	Toplam Maliyet
Düşük Kaplama Kalınlığı			25.546	15.328				
Tolerans Dışı Dönüklük			14.226	8.536			6.521	7.173
Hatalı Kaynak Montajı			322.359	193.416	6.824	109	4.339	4.773
Delikte Deformasyon			19.636	11.782			941	1.035
Tolerans Dışı Çekme			5.991	3.594			1.185	1.304
Şekil Bozukluğu			3.278	1.967	7.631	122	26.493	29.142
Tolerans Dışı Ebat			5.966	3.580			6.330	6.963
Poz nosu Hatası			3.769	2.261				
Kaynak Çekmesi			6.691	4.015			216	238
Revizyon	25.965	519	13.749	8.249	300	5		
Hatalı Kalınlıkta Kesim			3.471	2.082	480	8	17.145	18.859
Hatalı Oyma			3.469	2.081			1.549	1.704
Hatalı Delik Delme	11.205	224	16.329	9.798	517	8	6.283	6.911
Deformasyon			26.277	15.766	10.956	175	23.915	26.306
Burkulma - Bükülme			3.386	2.031	376	6	891	981
Hatalı Kart	22.146	443	10.700	6.420	19.913	319	17.365	19.101
Hatalı Kaynak			17.179	10.307			818	900
Hatalı Bükme			4.270	2.562			16.032	17.635
Kısa Boy Kesme	1.730	35	1.063	638	401	6	10.043	11.047

Hadde Hatası			951	570			184	202
Kırılma, Çatlama			2.362	1.417				
Eksik İmalat			3.768	2.261				
Çapak Kesme/Delme			437	262				
Bode Eziği			373	224			4.996	5.495
Uzun Boy Kesme	18	0	351	211				
Yanakta Tolerans dışı düzleşme			344	206	19.359	310	2.400	2.640
Hatalı Kaynak Taşlaması			907	544				
Hatalı Kesim			3.533	2.120	69	1	67.977	74.775
Eksik Kaynak İşlemi			2.964	1.778				
Tolerans Dışı Eğrilik			617	370			2.356	2.592
Hatalı Kaynak Dikişi			192	115				
Hatalı Malzeme Kalitesi					12.524	200	2.586	2.844
Fazla İmalat							3.580	3.938
Eğri Malzeme							266	293
Üretime Yanlış İndirme							1.006	1.106
Operasyonlar Arası Hatalı Sevk							735	808
Hatalı Taban Plakası							1.646	1.810
Hatalı Yanak Açma							97	107
Grand Total	61.065	1.221	524.151	314.491	79.350	1.270	227.893	250.683

Adım 4: Ortalama Tonaj ve Ortalama Maliyetin Hesaplanması

Toplam Tonaj ve Toplam Maliyet 'in hataların ortaya çıkma sıklıklarına bölünmesi ile ortalama tonaj ve ortalama maliyet hesaplanmıştır.

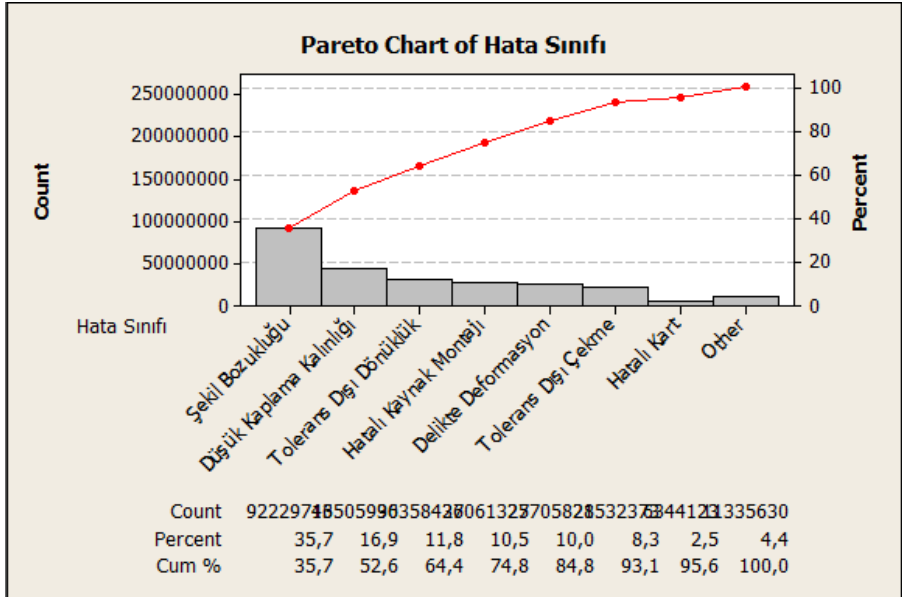
Adım 5: Ortalama Tonaj x Ortalama Maliyet (Momentum) Hesaplanması

Malzeme ağırlığı ve maliyeti birlikte dikkate alarak problemler önceliklendirilmiştir. Tablo 4'de bu hesaplama sonucunda en yüksek 10 değere sahip hata türleri listelenmiştir.

Tablo 4. Hata Sınıfı – Momentum Tablosu

Hata Sınıfı	Momentum			
	Kart Revizyonu	Onarım	Şartlı Kabul	Yeniden İmalat
Düşük Kaplama Kalınlığı		43.505.996		
Tolerans Dışı Dönüklük		30.358.436		
Hatalı Kaynak Montajı		27.061.327		
Delikte Deformasyon		25.705.828		
Tolerans Dışı Çekme		21.532.373		
Şekil Bozukluğu		6.446.856		85.782.860
Tolerans Dışı Ebat		5.339.578		
Hatalı Kart			6.344.123	
Yanakta Tolerans Dışı Düzleşme			5.996.052	

Şekil 1’de pareto şeması verilmiştir.



Şekil 1. Pareto Şeması

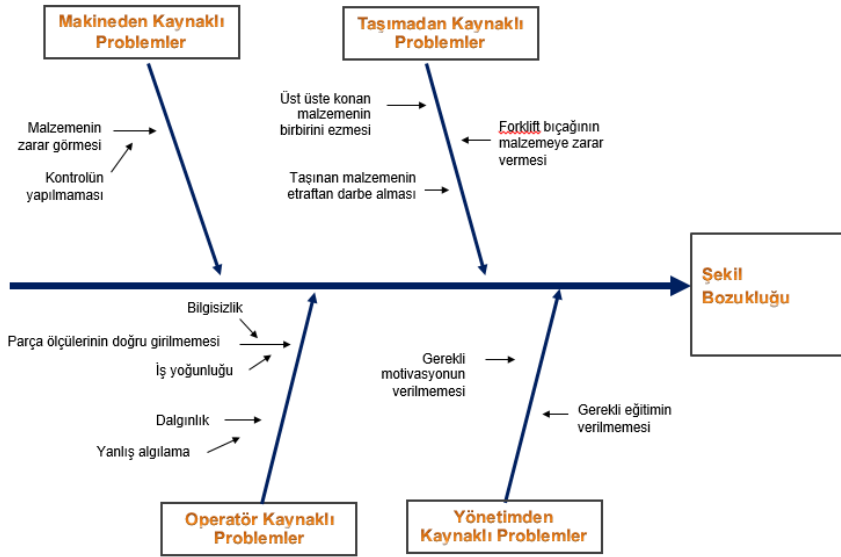
Problemler hesaplanan momentuma göre yukarıdaki tabloda sıralanmıştır. Buna göre öncelikli olarak “Şekil Bozukluğu” ardından sırasıyla, Düşük Kaplama Kalınlığı, Tolerans Dışı Dönüklük, Hatalı Kaynak Montajı, Delikte Deformasyon, Tolerans Dışı Çekme, Tolerans Dışı Ebat, Hatalı Kart ve Yanakta Tolerans Dışı Düzleşme hatalarıyla karşılaşılmıştır.

Problemlerin Kök Nedenlerinin Analizi

Balık kılçığı diyagramı, bir problemin olası tüm sebeplerini ve sebepler arası ilişkiyi net bir şekilde belirlemek için kullanıldığından raporumuzda kök nedenlerin belirlenmesi için bu yöntem kullanılmıştır. Problem belirlendikten sonra oluşturulan ve problem için genel bir bakış açısı geliştirmesi sebebiyle hata türlerine yol açan tüm alt nedenler diyagram üzerinde açıkça görülebilmektedir.

Çeşitli kriterler seçilerek çizilen pareto diyagramlarında açıkça hatanın büyük kısmını oluşturan hata türlerinin Neden-Sonuç Diyagramlarının çizilmesi uygun görülmüştür. Neden-Sonuç diyagramı hazırlanmadan önce disiplinler arası uzman görüşlerine ve tecrübelerine başvurularak beyin fırtınası yapılmıştır. Neden-Sonuç diyagramında kapsamlı uzman ve tecrübeli çalışan görüşü gerektiğinden detaylı incelemeler yapılmıştır. Beyin fırtınasından çıkan görüşlerle neden sonuç diyagramı son halini almıştır.

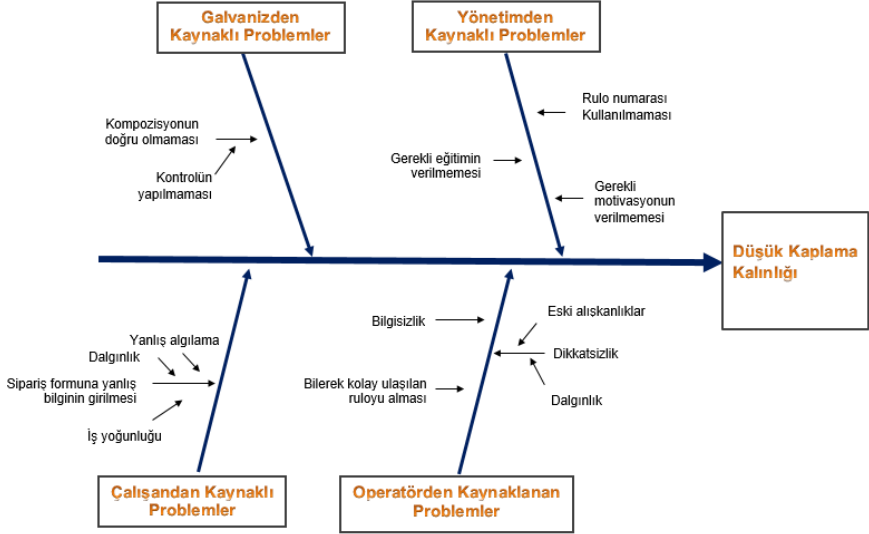
Şekil 2’de her bir problemin neden sonuç diyagramlarına sırasıyla yer verilmiştir.



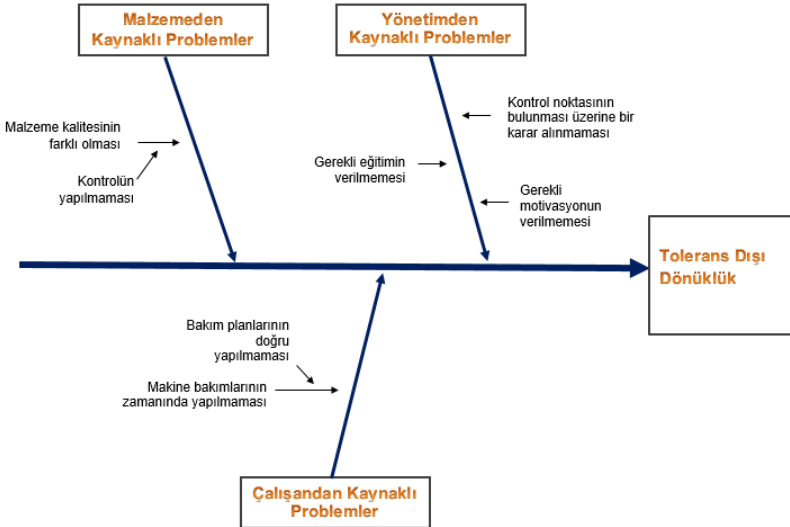
Şekil 2. Şekil Bozukluğu Neden Sonuç Diyagramı

Şekil 3’de düşük kaplama kalınlığı neden sonuç diyagramı verilmiştir.

Şekil 4’de tolerans dışı dönüklük neden sonuç diyagramı verilmiştir.



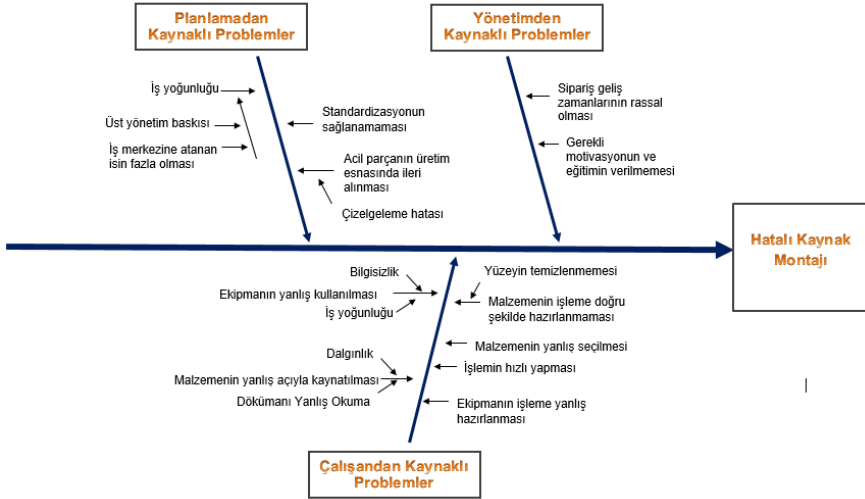
Şekil 3. Düşük Kaplama Kalınlığı Neden Sonuç Diyagramı



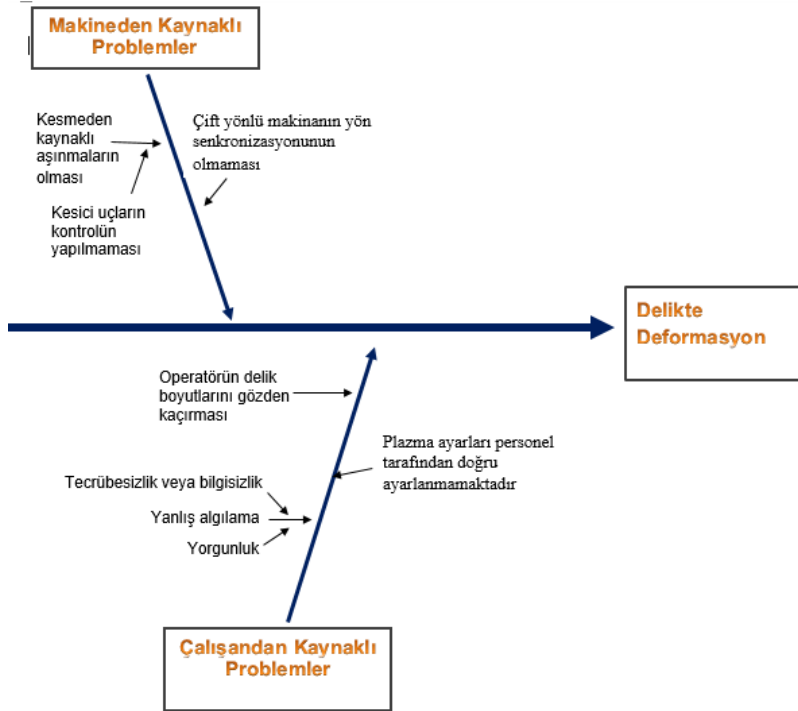
Şekil 4: Tolerans Dışı Dönüklük Neden Sonuç Diyagramı

Şekil 5’de Hatalı Kaynak Montajı Neden Sonuç Diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 6’da Delikte Deformasyon Neden Sonuç Diyagramı gösterilmiştir.



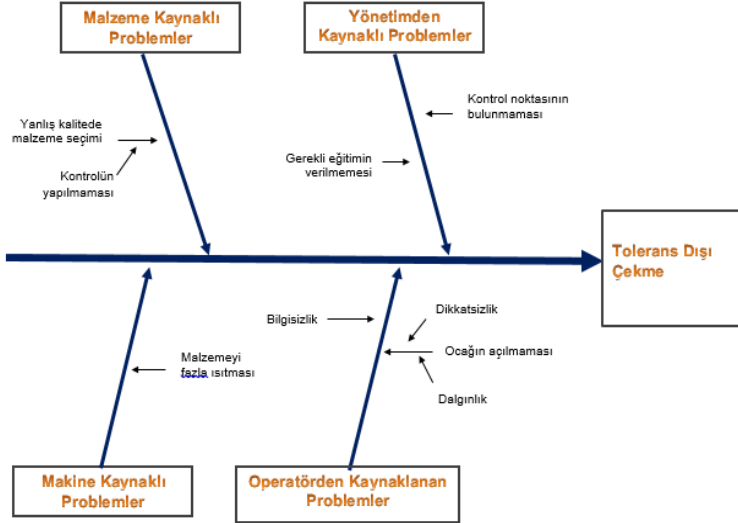
Şekil 5. Hatalı Kaynak Montajı Neden Sonuç Diyagramı



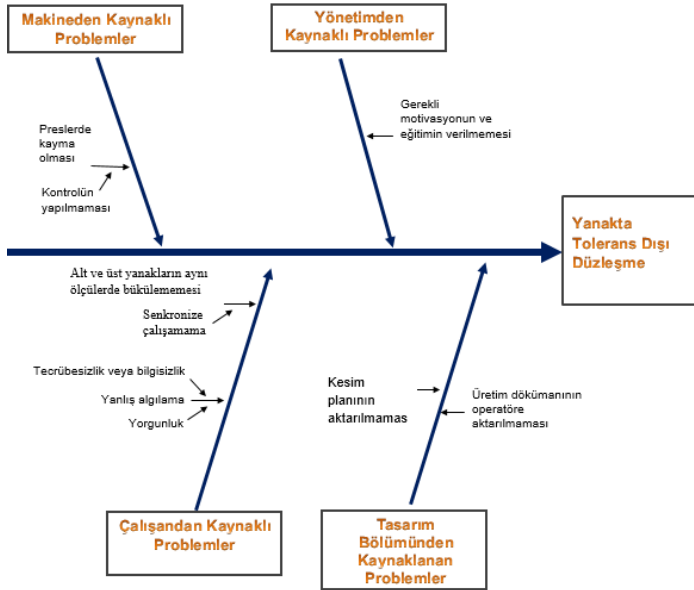
Şekil 6. Delikte Deformasyon Neden Sonuç Diyagramı

Şekil 7’de tolerans dışı çekme neden sonuç diyagramı verilmiştir.

Şekil 8’de yanakta tolerans dışı düzleşme neden sonuç diyagramı verilmiştir.



Şekil 7. Tolerans Dışı Çekme Neden Sonuç Diyagramı



Şekil 8. Yanakta Tolerans Dışı Düzleşme Neden Sonuç Diyagramı

4. ÖNERİLEN İYİLEŞTİRMELER

Analizler sonucu ortaya çıkan etkisi en yüksek “momentumlar” (Ortalama Tonaj x Ortalama Maliyet) sıralanmıştır ve her birisi için çözüm önerileri aşağıda açıklandığı gibidir.

Şekil Bozukluğu

Müşteri gerekleri ile imalat yeteneklerinin uyuşmamasından kaynaklanır.

Hammaddeden kaynaklı boru büküm ve profil bükümünden oluşan imalat yetenek kısıtları sebebiyle şekil bozuklukları görülür.

Taşımadan kaynaklı bozukluklar oluşabilir. Forklift bıçağının malzemeye girmesi, üst üste konan malzemelerin birbirini ezmesi gibi oluşabilir.

Çözüm Önerisi: Makine yatırımı ile büküm makinelerinin mevcut kapasitesi artırılabilir. Operatörlere teknik eğitim verilerek doğru büküm açısı, doğru kapak boyutları belirlenebilir. Doğru taşıma ve taşımada görevli olan personele verilen eğitimle iyileştirilebilir. Malzeme stok seviyeleri takip edilerek stoklamalar için aralara kompozit takozların artırılması gerekir.

Düşük Kaplama Kalınlığı

Bu hata class 1, class 3 malzeme kaynaklı ortaya çıkmaktadır. Müşterinin verdiği sipariş kaplama kalınlığı bilgisi, sipariş formuna doğru aktarılmayabilmektedir. Örneğin, class 3 malzemenin mikronu belirtilmediğinde yerine class 1 malzeme kullanılabilir. Bu nedenle siparişin üretime aktarılmasında hatalar gözlenebilir. Üretim rulo numaraları yerine ebatlarına göre gerçekleşmektedir. Aynı boyutlarda farklı classlarda olan malzemeler bulunduğu için birbirleri yerine yanlışlıkla kullanılabilir. İlâveten eski sistemde rulolar üst üste yığın halinde bulunuyordu ve en üstte kolay ulaşılabilen rulolar üretime dahil ediliyordu. Şu anki sistemde iş güvenliği uygulamaları ile en

fazla 2 rulo üst üste konabiliyorken ebata göre rulo alma alışkanlığı devam etmektedir. Şekil 9’da rulo deposu gösterilmiştir.



Şekil 9. Rulo Deposu

Galvaniz ocağının kompozisyonu doğru olamayabilir ya da sipariş bilgi formunda gerekli mikron belirtilmediğinden standart olan mikron ölçüsü kullanılabilir. Malzeme doğru kompozisyondaki galvaniz ocağına girmediğinde (reçetenin farklı olması) kaplama kalınlığı düşük çıkmaktadır.

Maliyetinin yüksek olmasının sebebi, yanlış galvanizden sonra sıyırılma işlemi yapılmakta ve doğru galvanizleme işlemi yapılmasıdır. Bu durum zaman, işçilik, taşıma, malzeme sarfı gibi nedenlerden kaynaklı yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır.

Çözüm Önerisi: Üretim rulo numaraları üzerinden yürütülmelidir. Böylelikle ilgili rulo numaraları SAP 'ye girilip hangi rulodan ne kadar gerektiği sistemden takip edilebilecektir.

Toleras Dışı Dönüklük

Şekil 10’da Otomatik Boy Kaynağı Makinesi gösterilmiştir.



Şekil 10. Otomatik Boy Kaynağı Makinesi

Bu operasyon genelde boy kaynağı işleminden sonra gövdelerin taban plakasına gelen kısmı ile tepeye gelen kısmının dönük olmasıdır. Tolerans, üç metrede 1,5 derece olmalıdır. Malzeme ip gibi gidebilir veya burularak gidilebilir.

Hammadde veya plazma kesim kaynaklı, boy kaynağının yapıldığı noktalara yüksek ısı girdisi bulunmaktadır. Malzemenin ters tarafında bir ısı girdiği bulunmadığından bazen muz şeklinin oluşması veya malzeme yapısından dolayı dönüklük (çekme) olarak ortaya çıkmaktadır. Böylece gövde tolerans dışı dönüklüğe sahip olmaktadır.

Çözüm Önerisi: Boy kaynağı operatörü ilk kontrolden sonra kontrol formuna taban ve taban açılarını, dönüş açısını ve toleransın içinde olup olmadığını belirtmelidir. Eğer tolerans sınırları içinde değilse amirine haber vermelidir ya da boy kaynağına giren gövdeleri F demiri ile tutarak düzeltmesi gerekmektedir. En doğru çözüm ise, malzemenin iç stresi alınmış (temperlenmiş) malzeme kullanılmasıdır. Yani kısacası, üretimde kullanılan tezgah değerlendirme formlarına kalite kolonları eklenmelidir. Çeşitli aralıklarda proseste ölçümler yapılarak kontrol sağlanmalıdır.

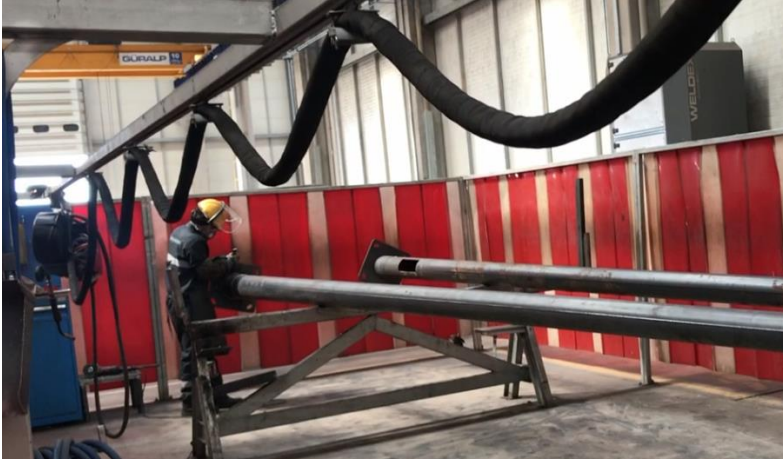
Hatalı Kaynak Montajı

Bu hata türü personelden kaynaklanmaktadır ve çok sık görülmektedir. Örneğin, montaj operatörleri karşılıklı olarak senkronize çalışamamış (Pier review).

Özel direklerde ise şablonlar ile kesim yapılmaktadır ve bu şablonların yanlış veya eksik tasarlanması hatalı kaynak montajına sebep olmaktadır.

Çözüm Önerisi: Şablonun doğru yapılması ve kontrolünün yapılması önemlidir. Personele belirli dönemlerde teknik eğitim verilmesi gerekmektedir.

Şekil 11’de manüel kaynak gösterilmiştir.



Şekil 11. Manüel Kaynak

Delikte Deformasyon

Tasarım kartlarıyla üretim yapıldığından gerekli delik boyutları gözden kaçabilmektedir. Tasarım kartlarının yanlış okunmasıyla delik boyutları delikte deformasyon meydana gelmiş gibi görülebilmektedir. Plazma kesimlerinde ise (sulu kesim yapılmakta) plazma ayarları personel tarafından doğru ayarlanmamaktadır. Plazma kesim yapılırken alevi ana maddeye

dokunabilmektedir. Bu durumda, “noch” denilen yarıklara sebebiyet vermektedir. Kesmeden kaynaklı deformasyonlar görülebilmekte ya da çift yönlü makinanın yön senkronizasyonunun olmaması görülebilmektedir. Böylece dairesel bir kesim yerine istenmeyen eliptik bir kesime yol açabiliyor. Şekil 12’de plazma kesim gösterilmiştir.



Şekil 12. Plazma Kesim

Çözüm Önerisi: Plazma operatörlerine eğitim vermek gerekmektedir. Operatörlere form verilip çeşitli aralıklarla ölçüm yapılması istenmelidir ve kontrol noktaları oluşturulmalıdır. Delikte deformasyon genellikle onarım ile düzeltilebilmektedir.

Tolerans Dışı Çekme

Çekme, malzemenin boy kaynağına sokulduğunda tolerans dışı muz şeklini almasıdır. Bunun sebepleri, verilen ısıнын yüksek olması ve malzemenin iç stresi ile ilgilidir veya operasyon sırasında muzluğu engellemek için açılması gereken ocağın operatör tarafından açılmaması il ilgilidir. Maliyetinin yüksek olmasının sebebi, hatalı kısma taşlama, zımparalama, kaynak gibi işlemler yapıp galvaniz sıyrılması ardından yeniden galvanizleme yapılması, taşımalar, işçilik, zaman ve malzeme sarfının yüksek olmasıdır.

Çözüm Önerisi: Bu hataya karşı yapılabilecekler sınırlıdır. Hatanın kaynağı hammadde kaynaklıdır. Hammaddeler belirli

sayıdaki firmalardan alınmaktadır. Firmalardan alınan malzemelerin kalitesi artırıldığında maliyet oldukça fazla artmadır veya makine değişikliği yapılmalıdır (plazma yerine soğuk dilme makinesi testere gibi malzemeyi kesip veriyor, ısı girdisi yok soğuk kesim yapılıyor). Fakat söz konusu makine sipariş tipi üretim şekline uygun olmadığından her seferinde makineye yeni ayarlama yapmak hatanın maliyetinden daha yüksek olacaktır.

Tolerans Dışı Ebat

Hammaddelerde k faktöre bağlı bükme açısına dikkat edilmediğinde tolerans dışı bükme açısı gibi ebat uygunsuzlukları görülebilmektedir.

Çözüm Önerisi: Hammadde geldiğinde k faktörü dikkate alınarak ölçümler yapılmalıdır.

Hatalı Kart

Solidworks'te çizilen üç boyutlu resim çalışan tarafından iki boyuta değiştirilirken çizim hataları veya eksiklikleri gözlemlenebilmektedir.

Çözüm Önerisi: Product Life Cycle Management (PLM) yatırımı yapılmalıdır. Üç boyutlu üretim çizimleri solid Works ile iki boyuta dönüştürülüp SAP'ye atılması sağlanır.

Yanakta Tolerans Dışı Düzleşme

Şekil 13'de gövde büküm gösterilmiştir.



Şekil 13. Gövde Büküm

Poligon gövde bükülürken alt ve üst yanakların kendi içlerinde aynı ölçülerde bükülemesinden kaynaklanır. İkili veya üçlü preslerde kaymalar olduğunda yanaklarda düzleşme görülür. Ayrıca çalışanların senkronize çalışmamasından dolayı ve presi yanlış basmalar nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Kalın ve büyük direklerde yanakta tolerans dışı düzleşme görüldüğünde şartlı kabul olmaktadır. Çünkü düzeltmek çok maliyetlidir ve söz konusu direkler gsm direkleri olduğundan üzerlerinde anten bulunan platformlar bulunduğu için tolerans dışı düzleşmelerin fonksiyona etkisi yoktur, göz ardı edilebilir.

Çözüm Önerisi: Pres operatörlerinin çeşitli aşamalarda kontrol yapmaları sağlanmalıdır ve ölçüm noktaları sıklaştırılmalıdır. Otomatik beslemeli ve dayamalı bükümler yapılabilir ama bu sistemlerin maliyeti yarım milyon dolara kadar çıktığından hatanın maliyetine katlanılmaktadır.

5. SONUÇ

Süreç yönetimi yaklaşımı ile tüm süreçler yakından takip edilerek maliyet, israf ve zaman kaybına sebep olan katma değer sağlamayan faaliyetler sistemden uzaklaştırılarak kaliteli çıktılar

elde edilebilmektedir. Bu yönetim yaklaşımı şirketlerin kendilerini daha iyi tanımalarına, disiplinler arası etkileşim ve iletişimin artmasına olanak sağlamaktadır.

İyileştirmelerin planlanabilmesi için, süreçlerin doğru tanımlanması ve iyi analiz edilmesi gereklidir. Yapılacak girişimlerden sonra ise sürekli iyileştirme felsefesi ile daha iyi yönetilmeye odaklanılmalıdır. Bu iyileştirmeler çok büyük yatırımlar gerektirmeden atılan küçük adımlar da olabilir. Önemli olan işleyişi periyodik olarak takip etmek ve olası hataları öngörüp bunlar için önlemler almaktır. Bu noktada üst ve orta kademe yöneticilere büyük görevler düşmektedir. Tüm çalışanlarına sürekli iyileştirme anlayışını benimsetmeleri gerekir. Bunun için çalışanlara teorik ve uygulamalı eğitimler verilmeli, ayrıca üst yönetim desteği hissettirilmelidir.

Bu çalışmada direk imal eden bir firmada süreçlerin detaylı analizi yapılmıştır. Karşılaşılan hatalar incelendiğinde iyileştirmelerin yapılacağı süreçlerin tespiti gerçekleştirilmiştir. Problem çözümünde, iyileştirme adımları takip edilerek iyileştirilmeler gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Antony, J., Kumar, M., Labib, A. (2008). Gearing Six Sigma into UK Manufacturing SME's: Results From A Pilot Study. Journal of The Operational Research Society, 4, 482-493.
2. Atmaca E., Bulut, İ., Kalender, Y.(2022). Süreç İyileştirme:Hizmet Sektöründe Bir Uygulama. Çukurova Ü. İİBF Dergisi, 26(1), 1-15.
3. Bonilla, C, Todd, P., Leonard, P., Brigitte, W. (2008). Radiation Oncology Lean Six Sigma Project Selection Based On Patient And Staff Input Into A Modified Quality Function Deployment. Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage, 4(3), 196-208.
4. Carleysmith, S., Dufton, W., Altria, A., M.(2009). Implementing Lean Sigma In Pharmaceutical Research And Development: A Review By Practitioners. R&D Management, 39(1), 95-106.
5. Öztürk, A., Ö., Arıkan, V.S., Öztürk, M.U. (2011). Süreç İyileştirme Yöntemleri Ve Yöneylem Araştırması. Atatürk Ü. İİBF Dergisi, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 391-405.
6. Sönmez, Y. (2013). Altı Sigma Metodolojisi İle Süreç İyileştirme Ve Hizmet Sektöründe Bir Uygulama. İstanbul Kültür Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
7. Tezsürücü, D. ve Tunail, İ. (2010). Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Sektöründe Bir Olay İncelemesi. Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8(1), 129-146.

BÖLÜM VI

TOPSIS ve AHP Yöntemleri ile Hemşire Seçimi ve Sıralanması

Esra Pamuk ÜNAL¹
Bahar ÖZYÖRÜK²

Giriş

Bir işletmenin başka kuruluşlarla rekabeti esnasında verimli operasyonel süreçler işletmeyi tercih edilir kılacaktır. Verimlilik esasıyla, belirli bir zaman içerisinde ortaya çıkarılan iş, kuruluşun maddi anlamda karlılığında doğrudan pay sahibi olacaktır.

Çağımızda sanayi, eğitim, hizmet sektörleri başta olmak üzere güçlü bir rekabet ortamı vardır. Kuruluşların çağa ayak uydurup rekabet edebilmeleri ancak hizmet verilen taraftan gelen

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, esraunal96@gmail.com

² Doçent Doktor, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, bahar@gazi.edu.tr

isteklere olabildiğince hızlı karşılık gösterebilmeleri ve karşı tarafın memnuniyetini en üst düzeyde karşılayabilmeleri ile mümkündür.

Hayatın her döneminde yapılan seçimler bireylerin hayatlarına yön verirken işletmeler içerisinde de verilen kararlar kurumsal süreçlere yön vermektedir. Yapılacak olan eylem doğrultusunda stratejiye doğru karar verilmesi, sürecin sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Karar vericilerin karmaşık sorunların çözümünde etkili rol oynaması süreç içerisindeki en önemli etkenlerden biridir. Problemin karmaşıklığı, şartların belirsizliği, hızlı cevap verme zorunluluğu gibi etkenler; yöneticilerin bu süreçte bilimsel yaklaşımlarla teknik bir çözüme yönelmesini kaçınılmaz hale getirmiştir.

Sağlık sektöründe sunulacak hizmetin hızlı ve doğru bir şekilde verilmesi her açıdan önemlidir. Hastanelerin sahip olduğu fiziksel imkanları etkin kullanılabilmek, hizmet verecek yetkin sağlık personelin çalışma alanlarına yönlendirilmesi önemlidir. Hastanelerin en kritik birimi olan ameliyathanelerde, sürecin belirli kriterler altında sistematik ve devamlı ilerlemesi beklenmektedir.

Doğru yetkinliklerde ekipler oluşturulması da sürecin verimliliği ve işin kaliteli olarak ortaya çıkarılması için gerekli temel adımlardan biridir. Çalışma ekiplerin oluşturulması aşamasında, Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) teknikleri karar vermekle yükümlü kişiler için bilimsel çalışmalara dayanan bir alternatif yöntem olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, Türkiye’de bir üniversite hastanesinde bu süreç analiz edilmiştir. Teknik donanımın yeterli olduğu ameliyathanelere yönlendirilecek hemşirelerin sahip olunan yeterliliklere göre sıralanması ile ilgili çalışılmıştır. Çalışmada ameliyathane yönetimini gerçekleştiren uzman grubun görüşü alınarak, ekip oluşturma sürecinde dikkat edilmesi gereken kriterler ve kriter önem ağırlıkları belirlenmiştir. Hizmet sektörlerinden biri olan sağlık hizmetinde ekip oluşturma işleminde birçok kriter ele alınabilir. Fazla sayıda kriter ve alternatifin var olduğu süreçlerde daha analitik bir sonuç elde etmek için ÇÖKV teknikleri

kullanılabilmektedir. Bu çalışmada genel ameliyathane biriminde sorumlu personelin, hemşire seçim tercihleri ÇÖKV tekniği olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) tekniği kullanılarak detaylandırılmaktadır.

Çalışma sonucunda, “Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri (ÇÖKV)” den AHP VE TOPSİS yöntemleri ile ameliyat ekibi oluşturulmak üzere hemşireler sıralanmıştır. Daha sonra bu sıradan yararlanarak ameliyathanelere hemşire ataması için sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Literatür Taraması

Sağlık alanında pek çok dikkat çekici çalışma yapılmıştır. Liberatore ve Nydick (2008) sağlık alanında yaptığı çalışmalarda; hizmet değerlendirmesi, politika analizi, proje seçimi, tıbbi karar verme süreci gibi konulara değindikleri görülmüştür. Ameryoun, Zaboli, Haghdoost, Mirzaei ve Tofighi (2014) hastane yer seçim probleminin de çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanmışlardır.

ÇÖKV tekniklerinin hastane kapsamında; vardiya planlaması, kalite yönetimi, performans değerlendirme, tıbbi atık yönetimi, hastane yeri seçimi, hastane bilgi sistemleri, yalın yönetim, vardiya planlama gibi çeşitli konularda da uygulamalar bulunmaktadır.

Tavana, Kennedy ve Joglekar (1996) hemşire tercihini yönlendiren kriterleri değerlendirmişlerdir. Bacaksız ve Sönmez (2015) hemşire seçiminde önemli kriterleri; meslek, eğitim durumu, yaş, tecrübe ve cinsiyet olarak belirlemişlerdir. Dağdeviren (2007) terfi edecek personel belirleme de bulanık AHP yöntemini, Koyuncu ve Özcan (2014) firmaya personel seçiminde AHP ve TOPSIS yöntemlerini, H. Turan ve G. Turan (2016) hemşire seçim probleminde AHP yöntemini, Demirci ve Kılıç (2019) firmaya mühendis seçiminde Electre, Dematel ve Analitik Ağ Süreci (ANP), Esen, Yiğit ve Güldan (2020) hemşire seçiminde AHP ve TOPSIS, Tabansız, Meriç ve Çavdur (2023), personel çizelgeleme

çalışmasında 0-1 tamsayılı çizelgelemeye ek olarak AHP-WASPAS yöntemlerini kullanmışlardır.

Problem Tanımlanması

Hemşire seçim problemi, ameliyat süreci öncesinde ekiplerin verimliliğiyle doğru orantılıdır. Doğru ekip ve yetkinliklerle sürecin ilerlemesi problemleri en aza indirgeyerek birbirini tolere edebilecek kişilerle işlemin en iyi şekilde tamamlanmasına olanak sağlayacaktır. Seçim kriterleri, her kuruluş yapısında farklılık göstereceği gibi yöneticiler tarafından iyi analiz edilmiş verilerle çalışmak her anlamda fayda sağlayacaktır.

Ekip seçimi sürecin verimli işleyebilmesi için her kuruluş için kritik önem arz etmektedir. Bir Üniversitenin Tıp Fakültesi Hastanesi genel ameliyathane biriminde çalışmakta olan 65 hemşire için çalışma yapılmıştır. Hemşire seçiminde kullanılmak üzere AHP ve TOPSIS uygulama süreci ameliyathanede bulunan cerrahi ekiplerden gelen talep üzerine uygulanmıştır. Ameliyat süreci, hastanelerde birçok farklı alandan insanın bir araya gelerek ekip çalışması şeklinde ortaya koyduğu bir süreçtir. Anestezi ekibi, cerrah, hemşire, teknisyenler de dahil olmak üzere kapsamlı yetkin bir ekip süreci yönetmektedir. Ekipler oluşturulurken, birbirinden farklı etkenler seçimleri etkilemektedir. Alanında uzman doktorlar ile birlikte hemşire seçim süreci analiz edilmiş ve AHP ile bu süreç içerisindeki seçim kriterleri analiz edilip ağırlıklandırılmıştır. Sonrasında, TOPSIS yöntemi ile ameliyathanede görevli hemşireler belirlenen kriterlere göre sıralanmıştır.

AHP Süreci

Genel ameliyathane sorumlusu 1 anestezi ve reanimasyon doktoru, 1 baş hemşire, 1 kalp ve damar cerrahisi uzmanı ve 1 çocuk doktoru ile genel ameliyathanede hizmet vermekte olan 65 hemşire için; personel seçiminde önemli olan kriterler irdelenmiştir. İlk adım olarak; uzman doktorlarla görüşmeler sonucunda 4 ana kriter

belirlenmiştir. Bu kriterler; kıdem düzeyi, iletişim ve uyumluluk, sorumluluk düzeyi ve beceridir.

İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Belirlenen 4 kriterin standart tercih tablosuna göre birbirleri arasındaki önem düzeyleri belirlenmiş ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Tıp Fakültesi Hastanesinde genel ameliyat ameliyathane sorumlusu ekiple yapılan görüşmeler sonucu belirlenen hemşire seçiminde etkili kriterlerin birbiri üzerinde oluşturduğu önem değerleri de belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 1'de sunulmuştur. Köşegen üzerindeki elemanlar 1 değerini almaktadır. Örneğin, kıdem düzeyi iletişim ve uyuma göre oldukça önemli yani fazla üstünlük veren bir kriterdir bu sebeple 5 değerini almıştır. İletişim ve uyum kriterinin de kıdem düzeyi üzerinde karşılaştırması da belirlenen 5 değerinin 10'a bölünmesiyle elde edilir ve 0,2 değerini alır. Toplam satırındaki değerler sütundaki değerlerin toplanmasıyla elde edilmiştir.

Tablo 1. İkili Karşılaştırma Matrisi

KRİTERLER	Kıdem Düzeyi	İletişim ve Uyum	Sorumluluk Düzeyi	Beceri
Kıdem Düzeyi	1	5	3	0,3333
İletişim ve Uyum	0,2	1	0,3333	0,14286
Sorumluluk Düzeyi	0,3333	3	1	0,2
Beceri	3	7	5	1
TOPLAM	4,5333	16	9,3333	1,67619

İkili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi ve öncelik vektörünün hesaplanması

İkili karşılaştırma matrisinde yer alan elemanların, sütun toplamalarına bölünmesiyle karşılaştırma matrisi normalize edilir, normalize matristeki yer alan her bir sütun değerinin toplamı 1 olmaktadır, Normalize matrisin her bir satır değerleri toplamı matris boyutuna bölünmektedir. Bu sayede, o satırda yer alan kriterin ağırlık değerine ulaşılmaktadır. Tablo 2'de normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisleri ve öncelik vektörü yani kriter ağırlıkları gösterilmektedir.

Tutarlılık oranının hesaplanması

Bütün ikili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranı hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranı verisine, A matrisinin en büyük özvektörü ($\lambda_{\max}$) değeri hesaplanarak ulaşılmaktadır. $\lambda_{\max}$ değerinin hesaplanması için ikili karşılaştırma matrisi değerleri kriter ağırlığı değerleriyle çarpılmalı ve yeni bir matris elde edilmelidir.

Tablo 2. Normalize Edilmiş İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Kriter Ağırlıkları

KRİTERLER	Kıdem Düzeyi	İletişim ve Uyum	Sorumluluk Düzeyi	Beceri	Kriter Ağırlıkları (w_i)
Kıdem Düzeyi	0.22059	0.3125	0.3214	0.1988	0.2633
İletişim ve Uyum	0.04412	0.0625	0.0357	0.0852	0.0569
Sorumluluk Düzeyi	0.07353	0.1875	0.1071	0.1193	0.1219
Beceri	0.66176	0.4375	0.5357	0.5966	0.5579

Hesaplanan tutarlılık oranları Tablo 3'te sunulmuştur. Bu tablo kriter ağırlıklarıyla çarpılmış ikili matris değerlerini ve satır toplamalarını vermektedir.

Tablo 3. Kriter Ağırlıklarıyla Çarpılmış İkili Matris ve Satır Toplamı Değerleri

KRİTERLER	Kıdem Düzeyi	İletişim ve Uyum	Sorumluluk Düzeyi	Beceri	Toplam ($\sum_{i=1}^n di$)
Kıdem Düzeyi	0.2633	0.2845	0.3656	0.1859	1.0993
İletişim ve Uyum	0.0527	0.0569	0.0406	0.0797	0.2298
Sorumluluk Düzeyi	0.0878	0.1707	0.1219	0.1116	0.4919
Beceri	0.7900	0.3982	0.6094	0.5579	2.3555

Tablo 4'te $\lambda_{\max}$ değerleri verilmiştir. Bu değerler karşılaştırmalı üstünlük matrisindeki değerlerin normalleştirilmiş ağ matrisi sonucunda elde edilmiş kriter ağırlıkları değerlerine bölünmesiyle

elde edilmektedir. Satır olarak toplanmasıyla toplam sütunundaki verilere ulaşılmaktadır.

Tablo 4. $\lambda_{\max}$ İçin Değerler

Toplam ($\sum_{i=1}^n di$)	Kriter Ağırlıkları (w_i)	$\frac{\sum_{i=1}^n di}{wi}$
1.0993	0.2633	4.1746
0.2298	0.0569	4.0408
0.4919	0.1219	4.0362
2.3555	0.5579	4.2222

Tabloda toplam değerler kriter ağırlıklarına bölünmektedir. Ortalamaya göre, $\lambda_{\max} = 4,1185$ değerini almaktadır.

Bu değerlere göre tutarlılık indeksi yani Consistency Index (CI) hesaplanmaktadır. n değeri 4 kriter olduğu için 4 olarak alınmıştır. Formüle göre tutarlılık indeksi hesaplanmaktadır. Tutarlılık İndeksi = Consistency Index (CI) = 0,039 değerini almaktadır.

Rastgele Tutarlılık İndeksi (Random Index (RI)) ise n değerine yani kriter sayısına göre hesaplanmaktadır. 4 kriter olduğu için RI 0,9 değerini almaktadır. Tutarlılık oranı = $CR = 0,0438$ olarak elde edilir. Bu değer 0,1 değerinden küçük değer alması hesaplamaların ve kurgunun tutarlılığını ifade etmektedir.

TOPSIS Süreci

AHP' ye göre belirlenen kriter ağırlıklarına göre 65 hemşire sıralama işlemi yapılmıştır. Sıralama işlemi yapılırken TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Tablo 5'te 65 genel ameliyathane hemşiresi kıdem düzeyi, iletişim ve uyum, sorumluluk düzeyi ve beceri kriterlerine göre uzman ekip tarafından değerlendirilmiştir. Kıdem düzeyi değerlendirmesi çalışılan yıl bazında değerlendirilirken; iletişim ve uyum, sorumluluk düzeyi ve beceri kriterleri 1-10 skalası kapsamında değerlendirilmiştir. 4 kriterinde fayda kriteri olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Karar Matrisi

Sıra	K1	K2	K3	K4	Sıra	K1	K2	K3	K4	Sıra	K1	K2	K3	K4	Sıra	K1	K2	K3	K4
H1	26	10	10	9	H18	24	5	8	7	H35	16	7	8	5	H52	24	8	9	6
H2	24	10	10	9	H19	23	6	4	8	H36	18	5	4	5	H53	21	6	8	4
H3	25	2	9	10	H20	9	2	5	4	H37	23	10	9	7	H54	17	5	8	5
H4	14	5	5	4	H21	18	4	6	6	H38	20	9	9	7	H55	26	5	7	7
H5	25	3	4	6	H22	18	4	7	6	H39	13	4	7	3	H56	20	8	9	7
H6	18	7	2	6	H23	11	5	2	3	H40	16	4	6	9	H57	30	8	10	9
H7	26	7	5	8	H24	25	9	9	9	H41	18	2	9	8	H58	22	6	6	8
H8	15	1	5	5	H25	11	4	3	3	H42	19	9	9	9	H59	23	5	5	8
H9	25	6	7	8	H26	18	7	4	6	H43	28	10	8	8	H60	15	10	9	9
H10	10	3	3	3	H27	11	10	9	9	H44	14	2	1	4	H61	16	10	8	9
H11	11	9	7	7	H28	12	1	3	6	H45	22	10	2	8	H62	15	8	8	9
H12	12	4	5	5	H29	18	3	6	7	H46	10	4	7	2	H63	18	10	8	9
H13	13	2	5	6	H30	12	3	1	7	H47	11	1	7	3	H64	10	9	8	8
H14	20	3	8	7	H31	26	10	9	9	H48	25	6	10	8	H65	12	8	8	8
H15	13	6	6	6	H32	17	3	7	8	H49	24	8	10	10	-	-	-	-	-
H16	9	8	8	5	H33	17	8	6	8	H50	28	10	10	10	-	-	-	-	-
H17	25	8	9	8	H34	11	6	4	4	H51	18	6	9	6	-	-	-	-	-

AHP ile hesaplanan kriter ağırlıklarının karekök değeri hesaplanmalıdır. $\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}$ Formülasyonuna göre kriterlere göre karekök değeri hesaplanır. Tablo 6’da kriterlere göre karekök değerleri gösterilmiştir. Her bir kritere ait olan 65 hemşire için belirlenen değerlerin kareleri alınır ve bu değerlerin toplamının karekökü alınmaktadır.

Tablo 6. Kriterlerin Karekök Değerleri

Kriterler	K 1	K 2	K 3	K 4
Karekök Değeri	153,8571	54,12024	57,66281	56,99123

Normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur ve normalize edilmiş matristeki her bir sütundaki elemanlar kriter ağırlıklarının yer aldığı w_j matrisiyle çarpılarak ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmaktadır. w_j matrisi AHP tekniğiyle elde edilmiştir. Tablo 7’deki AHP ile belirlenmiş kriter ağırlıklarını dikkate alınarak, ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 7. AHP ile Belirlenmiş Kriter Ağırlıkları

	Kıdem	İletişim ve Uyum	Sorumluluk Düzeyi	Beceri
Kriter Ağırlıkları(w_j)	0,26	0,06	0,12	0,58

Sonraki adımda pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmektedir. Pozitif ideal(A+) ve negatif ideal(A-) değerleri hesaplanırken; her bir kritere ayrı olarak bakılmaktadır. Ağırlıklı normalleştirilmiş matriste her kriterde karşılaştırılması yapılan kişilerin aldığı değerler incelenmektedir. Belirlenen kriterlerin hepsi pozitif yönde etki edeceğinden fayda kriteridir dolayısıyla; Pozitif ideal(A+) maksimum değere, negatif ideal(A-) ise minimum değere eşittir. Tablo 8 Kriterlere göre pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerlerini göstermektedir.

Tablo 8. Kriterlere Göre Pozitif İdeal Çözüm ve Negatif İdeal Çözüm

	Kıdem	İletişim ve Uyum	Sorumluluk Düzeyi	Beceri
Pozitif İdeal Çözüm (A+)	0,051349	0,010512	0,021135	0,097891
Negatif İdeal Çözüm (A-)	0,015405	0,001051	0,002114	0,019578

Bir sonraki aşamada Öklid uzaklık değerleri ve alternatiflerin pozitif ideale öklid uzaklık değerleri, negatif ideale öklid uzaklık değerleri ve ideal değere göreceli yakınlık değerleri bulunmuştur. 65 hemşire için Öklid uzaklık değerleri ve ideal çözüme yakınlık derecesi hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; AHP yöntemiyle belirlenmiş olan kriter ağırlıkları değerlendirmeye alınarak, TOPSIS yöntemiyle de tercih edilebilirlik değerlerine göre 65 hemşire sıralanmıştır. Elde edilen sıra değerleri Tablo 9’da sunulmuştur.

Bu veriler, ameliyat öncesinde hemşire seçiminde veya ekip oluşturmada kullanılabilirliği baş hemşireye ve sorumlu doktorlara sunulmuştur. İstenilen düzeyde hemşire seçimi veya hemşire gruplaması yapılmasında sürece yardımcı olacağı öngörülmüştür.

Tablo 9. TOPSIS Yöntemine Göre Alternatiflerin Sıralanması

Hemşire	Sıra	Hemşire	Sıra	Hemşire	Sıra	Hemşire	Sıra	Hemşire	Sıra
H50	1	H9	14	H32	27	H30	40	H16	53
H49	2	H7	15	H55	28	H51	41	H53	54
H57	3	H61	16	H37	29	H22	42	H12	55
H3	4	H60	17	H18	30	H21	43	H4	56
H1	5	H62	18	H65	31	H26	44	H44	57
H31	6	H40	19	H38	32	H6	45	H34	58
H24	7	H58	20	H56	33	H15	46	H20	59
H2	8	H59	21	H14	34	H13	47	H39	60

H42	9	H19	22	H64	35	H28	48	H47	61
H43	10	H45	23	H29	36	H54	49	H46	62
H63	11	H41	24	H52	37	H35	50	H25	63
H17	12	H27	25	H11	38	H36	51	H23	64
H48	13	H33	26	H5	39	H8	52	H10	65

Sonuç ve Değerlendirmeler

Ankara da bulunan bir Üniversitenin Tıp Fakültesi Hastanesi genel ameliyathane birimi için hemşire seçimi problemine yol gösterici olması için AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak hemşire alternatiflerinin değerlendirme işlemi yapılmıştır ve elde edilen sonuç ekip oluşturma da görevli personele sunulmuştur. Bu kapsamda ileri süreçlerde elde edilmiş bu verinin matematiksel modele entegrasyonu planlanmaktadır. Aynı süreç, asistan hekimlerin seçimi ve sıralaması düşüncesiyle görevli personele önerilmiştir. Bu yöntem ile bilimsel yöntemlere de dayanarak daha adaletli ve etkin ekipler kurulması açısından önemli sonuçlar ortaya konulmuştur.

KAYNAKÇA

Liberatore, M. and Nydick, R. (2008). The Analytic Hierarchy Process in Medical And Health Care Decision Making: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 194-20.

Ameryoun, A., Zaboli, R., Haghdoost, A. A., Mirzaei, T. and Tofighi, S. (2014). Applying Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). Healthcare System. *International Journal of Medical Research and Review*, 2(6), 610-617.

Tavana, M., Kennedy, D. and Joglekar, P. (1996). A Group Decision Support Framework for Consensus Ranking of Technical Manager. *International Journal of Management*, 24(5), 523-538.

Bacaksız, F. E. ve Sönmez, B. (2015). İnsan Kaynakları Web Sitelerinde Yer Alan Hemşire İş İlanlarının İncelenmesi. *Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi*, 3(1), 112-122.

Dağdeviren, M. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Personel Seçimi ve Bir Uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 791–799.

Koyuncu, O. ve Özcan, M. (2014). Personel Seçim Sürecinde Analitik Hiyerarşi Süreci ve TOPSIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(2), 195–218.

Turan, H., Turan, G. (2016). Hemşire Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Uygulanması. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 3(1), 26-30.

Demirci, A. E. ve Kılıç, H. S. (2019). Entegre Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerine Dayalı Personel Seçimi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(2), 163–178.

Esen, H., Yiğit, V. ve Güldan, S. (2020). Hastanelerde AHP ve TOPSIS Yöntemi ile Personel Seçimi: Acil Bakım Hemşireliği Sertifikalı Eğitim Programı Örneği. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(12), 112–128.

Tabansız, G., Meriç, A. ve Çavdur, F. (2023). Güvenlik Personeli Vardiya Çizelgelemesinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı. *Journal of Industrial Engineering*, 34(1), 1- 25.

BÖLÜM VII

Evde Aşı Hizmeti İçin Bir Karar Destek Sistemi Tasarımı

Zeki Umut CİNDİLOĞLU¹
Bahar ÖZYÖRÜK²

Giriş

Günümüz rekabet ortamında üretim-dağıtım sektöründe olduğu kadar hizmet ve kamu sektöründe de lojistik giderleri büyük bir maliyet kalemine sahiptir. Küresel boyutta artan yakıt fiyatları ve iklim krizi baskıları işletmelerin katma değeri olmayan lojistik faaliyetlerini daha verimli kullanmaya zorlamaktadır. Lojistik faaliyetlerini daha verimli şekilde kullanabilmek için çeşitli araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Araç rotalama problemlerine çözüm getirerek işletmeler hem yakıt maliyetlerini minimize eder ve büyük bir israftan kurtulur, hem de

¹ Araştırma Görevlisi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

² Doçent Doktor, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

araçlardan çevreye yayılan egzoz gazlarını en aza indirebilir ve çevreye fayda sağlarlar.

Bu çalışmada, bir sağlık kuruluşundan farklı konumlarda bulunan evlere aşı hizmeti vermek amacıyla yola çıkan araçlar için, katedilen toplam yolu en küçüklemek amacıyla uygun rota hesaplayan bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Bu problem için en uygun rotayı bulabilmek amacıyla bir matematiksel model ve modelin büyük boyutlarını daha hızlı çözebilmek, optimum sonuç olmasa bile tatmin edici sonuçlar alabilmek için bir tavlama benzetimi algoritması geliştirilip, tasarlanan karar destek sistemine entegre edilmiştir. Bu karar destek sistemi, gerekli veriler girildiğinde sağlık kurumlarında evde sağlık hizmeti için görev yapan personellerin, evlere gitmeden önce araç rotası belirlemeye yardımcı olur ve ulaşım maliyetleri en aza indirmeyi amaçlar. Bu sistemde araç rotasını belirlerken kullanılan en önemli parametrelerden birisi, evlerde bekleme süresidir. Covid-19 aşısında, kişinin yaşına ve kronik hastalığı olup olmama durumuna göre aşı sonrası belirli bir süre her ihtimale karşı sağlık çalışanının gözetiminde olmaları önerilir. Bunun sebebi ender olarak görülen ancak kısa sürede ortaya çıkabilen aşı sonrası reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar örneğin, düşmeye yol açabilecek tansiyon düzensizlikleri, panik atak ya da kısa süreli alerjik reaksiyon şeklinde olabilir. Bu tür ender olarak görülen reaksiyonların oluşma ihtimaline karşılık kısa sürede gereken tıbbi desteğin de sağlanabilmesi gerekir. Bu sebepten dolayı rutin olarak herkesin gözlem ve takip amacıyla aşı sonrası belirli bir süre doktor veya sağlık personelinin gözetimi altında kalması uzmanlarca önerilir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, evde sağlık hizmetinden ve konu ile alakalı literatür taramasından, problem tanımından, matematiksel modelden, tavlama benzetimi algoritmasından ve son olarak sonuç ve önerilerden bahsedilmiştir.

Literatür Taraması

Dünya çapında yayılan Covid-19 virüsü ile mücadelede aşı olmak hem bireyler için hem de toplum için büyük önem arz etmektedir. Bazı ülkeler aşı olmayı zorunlu kılmakta ve ülkeye ziyaretlerde zorunlu aşı kartları istemektedir (T.C. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2022). Durum böyle olduğundan aşı olmak toplumun büyük bir kısmı için gerekli hale gelmektedir. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığınca hastalık, yaş vb. özel durumlardan dolayı hastaneye aşı olmaya gidemeyen kişiler evde aşı hizmeti için randevu alabilmektedirler. Evde aşı hizmetinin bir diğer tercih edilme sebebi de hastanelerde Covid-19 virüsü bulaşma riskinin daha fazla olmasıdır. Evde aşı olmak için randevu alan kişilerin evlerine sağlık merkezi tarafından görevlendirilen ekipler gelir, kişiye aşısını yapar, kişi belirli bir süre gözetim altında tutulur ve sağlık personelleri evden ayrılır. Hem daha fazla kişiye hizmet verebilmek hem de toplam mesafeyi veya ulaşım maliyetleri minimize etmek amacıyla evde sağlık hizmetinde araç rotalama çalışmaları oldukça popülerdir.

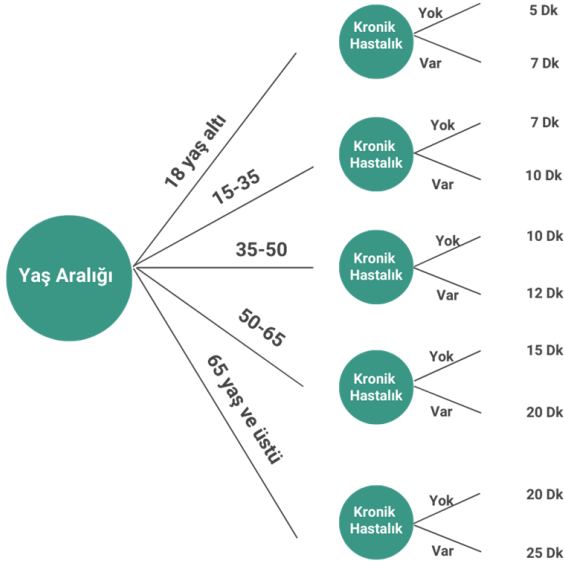
Fathollahi-Fard ve arkadaşları 2018 yılında evde sağlık hizmeti araç rotalama problemi için yeni bir matematiksel formülasyon geliştirmişlerdir. Yazarlar bu modeli çözmek için literatürde ilk kez Lagrange Gevşetmesi metoduna dayalı bir çözüm yaklaşımı kullanmışlardır (Fathollahi ve arkadaşları, 2018). Bahadori-Chibibelagh ve arkadaşları 2019 yılında çok depolu evde sağlık hizmeti rotalama problemi önermişlerdir. Önerilen bu problemin matematiksel modelini kurup, geliştirdikleri iki adet sezgisel algoritma ile çözmüşlerdir (Bahadori-Chibibelagh ve arkadaşları, 2019). Nasir ve Kuo, 2020 yılında sağlık personelleri için bir karar destek tasarısı yapmışlardır. Bu çalışmada araştırmacılar sağlık personellerinin çizelgelenmesi ve araç rotalarının oluşturulması için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir ve önerilen modelin büyük boyutlarını kısa sürelerde çözebilmek amacıyla hibrit genetik algoritma geliştirmişlerdir (Nasir ve Kuo, 2020). Tanoumand ve Ünlüyurt tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada, sağlık

personellerinin yeterliliklerini ve evde sağlık hizmeti almak isteyen hastaların ihtiyaçlarını göz önünde bulunduran bir rotalama problemi üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında toplam yolu minimize etmeyi amaçlayan bir matematiksel model önermişlerdir ve kesin çözüm yöntemi olan dal-fiyat algoritması kullanarak modeli çözmüşlerdir (Tanoumand ve nlyurt, 2021). Secundo ve arkadaşları 2022 yılında toplam maliyeti en aza indirmek ve evde aşılamayı daha verimli bir şekilde planlamak için bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Araştırmacılar alışmalarını İtalya’da bir vaka analizi ile test etmişlerdir (Secundo ve arkadaşları, 2022). Belhor ve arkadaşları tarafından 2022 yılında gerçekleştirilen çalışmada araştırmacılar, evde sağlık hizmeti rotalama problemi ile çizelgeleme problemini birleştirerek bir matematiksel model önermişlerdir. Önerilen matematiksel modelin büyük boyutlarını daha hızlı çözmek amaciyla evrimsel algoritmalara dayalı bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Yazarlar algoritmanın etkinliğini kanıtlamak için literatürde bulunan test problemlerini çözüp, sonuçlarını sunmuşlardır (Belhor ve arkadaşları, 2022). Yu ve arkadaşları 2022 yılında aşı dağıtım problemi için maliyeti minimize etmek amaciyla bir zaman pencereleli araç rotalama modeli önermişlerdir ve modelin büyük boyutlarını çözmek için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Aşılar hassas ve sıcaklığa duyarlı olduğundan dolayı, araştırmacılar seyahat sürelerini, soğutma maliyetlerini ve yükleme maliyetlerini de dikkate almışlardır (Yu ve arkadaşları, 2022). Saveşer ve Kara 2022 yılında yaptıkları çalışmada, sağlık merkezlerine erişimi zor olan kırsal alanlarda yaşayan insanların sağlık hizmetlerine erişimini arttırmak amaciyla bir çizelgeleme ve rotalama problemi üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca araştırmacılar modelin büyük boyutlarını daha etkili şekilde çözebilmek için “cluster first-route second” yaklaşımına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir (Saveşer ve Kara, 2022). Ay ve arkadaşları 2022 yılında yayınladıkları çalışmalarında, Covid-19 mRNA aşılarının dağıtımında aşıların raf ömrünü de dikkate alarak iki aşamalı bir yerleştirme-rotalama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada öncelikle iki farklı yöntem kullanılarak ara depolar ve bu

ara depolara bağlı merkezler belirlenmiş, daha sonra belirlenen konumlar arasındaki araç güzergahları için bir zaman pencereli araç rotalama probleminin probleme özel matematiksel modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak aşıların raf ömründen önce t k tilmesi için uygun bir dağıtım modeli belirlenmiştir (Ay ve arkadaşları, 2022). Han ve arkadaşları 2018 yılında yayınladıkları çalışmalarında ilaç dağıtımı sırasında kat edilen toplam mesafeyi en küçükleme için drone kullanarak bir araç rotalama matematiksel modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar çalışmanın pilot bölgesi olarak İstanbul'da Bakırköy ilçesini seçmişlerdir ve elde edilen sonuçları çalışmalarında sunmuşlardır (Han ve arkadaşları, 2018).

Problemin Tanımlanması

Problemin genel yapısı, bir sağlık kuruluşundan evlere aşı yapmak için görevlendirilmiş araçların rotalaması problemidir. Evde aşı olmak isteyen kişiler sağlık kuruluşundan evde aşı hizmetini talep eder ve bu şekilde tüm talepler toplanır. Sağlık kuruluşundan mesai kısıtını aşmayacak ve tüm talepleri karşılayacak şekilde araçlar evlere yönlendirilir. Sağlık kurumunda bu hizmete tahsis edilebilecek yeterli sayıda araç olduğu varsayılmıştır. Araçların evlere g revlendirmesinde minimum sayıda araç kullanmak ve her bir aracın aldığı toplam mesafeyi minimize etmek problemin temel amacıdır. Evde aşı olmayı talep eden kişiye/kişilere aşı yapıldıktan sonra, her evde sağlık personelleri aşı sonrası belirli bir süre beklemek zorundadır ve bu süre evde aşı olacak kişilerin bilgilerine göre bir karar ağacı yardımı ile hesaplanır. Bu durumu gösteren aşı sonrası bekleme süresi karar ağacı şekil 1'de gösterilmiştir. Aşılama hizmeti verilirken izlenecek rota hesaplanırken sağlık çalışanlarının günlük mesai süresinin (480 dk.) açılmaması gereklidir. Aşılama için sağlık merkezinde bulunan araç sayısının yeterli olduğu varsayılmıştır ve evler arası mesafeler adreslerin koordinatlarına göre  klid uzaklık formülü ile hesaplanmıştır.



Şekil 1. Aşı sonrası bekleme süresi karar ağacı

Matematiksel Model

Belirlenen problem Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KK_ARP) olduğundan dolayı matematiksel modeli buna göre kurulmuştur. Matematiksel modelin varsayımları, parametreleri, karar değişkenleri ve kısıtları aşağıda belirtilmiştir.

Matematiksel Model Varsayımları:

- ✓ Aşı sonrası bekleme süresi, evde bulunan kişilerin yaşına ve kronik hastalığı olup olmama durumuna göre 5-25 dk. arasında değişmektedir.
- ✓ Dğümler (evler) arası mesafe Öklid uzaklık formülü ile hesaplanmıştır ve simetriktr.
- ✓ Aşının yapılması esnasında geçen süre ve evlere gidiş süresi bu çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır.

- ✓ Her sağlık ekibinin bir mesai gününde 480 dk. çalıştığı ve mola vermediği varsayılmıştır.
- ✓ Sağlık merkezinde bulunan araç sayısının yeterli sayıda olduğu varsayılmıştır.
- ✓ Evde kişiye aşı hizmeti verildikten sonra beklenilmesi gereken süre, evlerin talebi olarak değerlendirilmiştir.
- ✓ Her araç için 480 dk. mesai süresi, araçların kapasitesi olarak değerlendirilmiştir.

Matematiksel Model Parametreleri:

- ✓ n : Ziyaret edilecek ev sayısı,
- ✓ N : Ziyaret edilecek evler kümesi, $N = \{1, 2, \dots, n\}$
- ✓ V : Tüm düğümlerin kümesi, $V = \{0\} \cup N$
- ✓ C_{ij} : i . Evden j . Eve olan uzaklık, (km)
- ✓ Q : Araç kapasitesi, (Toplam mesai süresi) $Q = 480$ dk.
- ✓ q_i : i . evde bekleme süresi,
- ✓ u_i : Depo ile bağlantısı olmayan alt turları veya kapasite kısıtına uygun olmayan turları engellemek için kullanılan yardımcı değişken,
- ✓ A : Tüm olası yollar kümesi, $A = \{i, j\} \in V^2 \text{ } i \neq j$

Karar Değişkenleri:

- ✓ X_{ij} : i . düğümden j . düğüme gidiş varsa 1, aksi halde, 0.
- ✓ u_i : herhangi bir araç için, sağlık kuruluşundan başlayarak i . eve kadar olan toplam bekleme süresi. (i . ev dahil)

$$\min \sum_{i,j \in A} C_{ij} * X_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j \in V, j \neq i} X_{ij} = 1 \quad i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} X_{ij} = 1 \quad j \in N \quad (3)$$

$$\text{If } X_{ij} = 1 \gg ui + qj = uj \quad i, j \in A: i, j \neq 0 \quad (4)$$

$$qi \leq ui \leq 480 \quad i \in N \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \text{ ve } ui \geq 0 \quad i, j \in A \quad (6)$$

Denklem (1) ile gösterilen amaç fonksiyonu, katedilecek toplam mesafeyi minimize etmektedir. Denklem (2) ve denklem (3) sırasıyla her düğüme gelen ve her düğümden çıkan araç sayısının bir adet olmasını garanti eder. Depo ile bağlantısı olmayan alt turları engellemek için (4) numaralı denklem ve kapasite kısıtını sağlamak için (5) numaralı denklem modele eklenmiştir. (6) numaralı denklem X değişkeninin 0, 1 binary ve u değişkeninin sıfırdan büyük sürekli değişken olduğunu ifade eder.

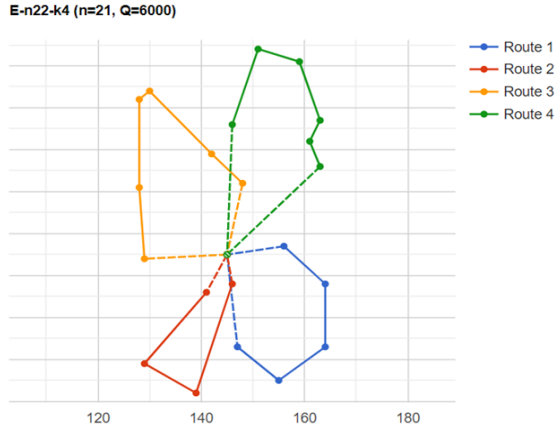
Matematiksel model Python programlama dilinde Intel Core i5 @2.30 GHz CPU hızına ve işlem gücüne sahip kişisel bilgisayarda Gurobi Solver ile kodlanmış ve çözülmüştür. Test çözümlerinde literatürde Eilon ve Christofides tarafından oluşturulan E-n22-k4, E-n23-k3 ve E-n30-k3 test problemleri kullanılmıştır (Eilon ve Christofides, 2023). Kullanılan test problemlerinin özellikleri tablo 1’de gösterilmiştir. Matematiksel model tüm test problemleri için çalıştırıldığında Tablo 1’de görüldüğü gibi kullanılan tüm test problemlerinin optimum çözümü ile aynı sonucu vermiştir. Bu sayede matematiksel modelin doğru kurulduğu ve doğru kodlandığı kanıtlanmıştır.

Sağlık kurumun da yeterli araç sayısı olduğu varsayıldığından dolayı matematiksel modele araç sayısı kısıtı dahil edilmemiştir. E-n30-k3 test problemi için Gurobi Solver ile çözülen matematiksel model 505 amaç fonksiyonu ile 3 araç yerine 1 araç daha ekleyerek yani 4 araçla daha iyi sonuç bulmuştur. Matematiksel modele 3 araç kısıtı eklendiğinde tekrardan E-n30-k3 veri setinin optimum çözümü olan 534 sonucuna ulaşılmıştır.

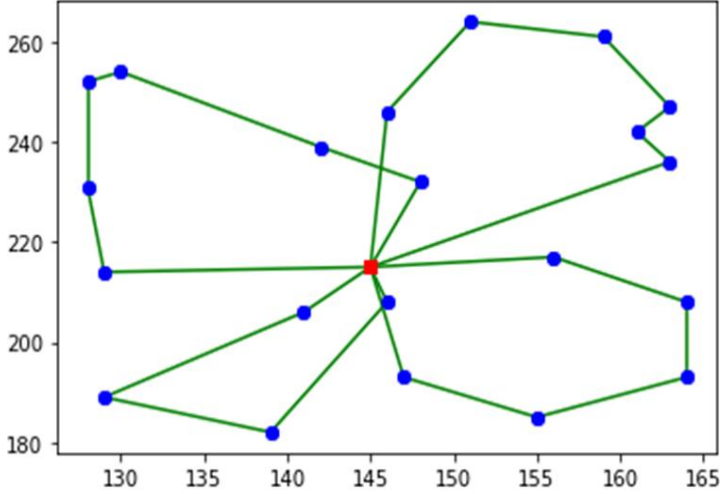
Tablo 1. Veri setleri özellikleri ve çözüm değerleri

Veri Seti	Amaç Fonksiyonu	Düğüm Sayısı (n)	Araç Sayısı (k)	Bulunan Amaç Fonksiyonu
E-n22-k4	375	22	4	375
E-n23-k3	569	23	3	569
E-n30-k3	534	30	3	534

Örnek olarak şekil 2’de E-n22-k4 veri seti için literatürde verilen optimum rota ile Şekil 3’te matematiksel modeli kodladığımız ve çözdüğümüz Gurobi Solver’da bulunan rotanın karşılaştırmasını görülmektedir. Şekilsel olarak her iki sonuçta aynı rotaları belirtmektedir.



Şekil 2. Literatürde bulunan optimum rota



Şekil 3. Gurobi Solver ile bulunan rota

Tavlama Benzetimi Algoritması

Araç Rotalama Problemi gibi kombinatoriyal problemlerde sık kullanılan Tavlama Benzetimi Algoritması 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından, metallerin tavlama sürecinden esinlenerek optimizasyon problemleri için tasarlanmış olasılıksal yaklaşımlı bir meta-sezgisel algoritmadır. Diğer meta-sezgisel algoritmalar gibi en iyi çözümün en kısa zamanda bulunmasını hedefler (Vincent ve arkadaşları, 2022).

Bu çalışmada matematiksel modeli verilen Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi NP-hard problem olduğundan dolayı düğüm sayısı, yani evde aşı hizmeti vermeye gidilecek ev sayısı arttıkça, problem çözümü zorlaşmakta ve çözümün bulunması çok uzun zamanlar almaktadır. Kullanım bakımından karar destek sisteminde hızlı çözümler elde etmek önemli olduğundan, karar destek sistemine bir tavlama benzetimi algoritması geliştirilip entegre edilmiştir. Şekil 4’de geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasının genel adımları gösterilmiştir.

```

Rassal Başlangıç Çözümü Oluştur (S0)
F(S0) Hesapla, S=S0, fbest=f(S)
T0=1000 ve α=0.95
T=T0
Repeat i=1
    T = T * α (i=1 hariç)
    Repeat j=1
        Rassal olarak S'nin komşu S' oluştur. (Swap)
        F(S') Hesapla
        Δ Hesapla Δ=f(S')-f(S)
        İf (Δ<0):
            S=S'
            İf ( f(S') > f(S) )
                Fbest=f(S')
        Else:
            u(0,1) aralığında rassal sayı üret
            m hesapla m=eΔ(-Δ/T)
            if (m > u):
                S=S'
    Until K=500
Until T < 0.1
Yazdır (Fbest, Araç Rotaları)

```

Şekil 4. Tavlama benzetimi algoritması sözde kodu

Parametrelerin Belirlenmesi

Tavlama Benzetimi algoritmasında kullanılan parametreler farklı değerler aldığında çözüm değerleri ve kalitesi etkilenmektedir. Bu sebeple tüm algoritmalarda olduğu gibi, tavlama benzetimi algoritmasında da doğru parametre seçimi çok önemlidir. Geliştirilen bu çalışmada tavlama benzetimi algoritmasında kullanılan parametreler E-n23-k4 veri seti üzerinde yapılan ön çalışmalar ile belirlenmiştir.

Bahsedilen parametreler:

- ✓ Alpha (α): Soğutma Katsayısı 0-1 arasında sayı
- ✓ T₀: Başlangıç Sıcaklığı
- ✓ K: Her Sıcaklıkta gerçekleşen iterasyon sayısı

Algoritma parametrelerinden durdurma koşulu, mevcut sıcaklığın 0.1 değerinin altına düşmesidir. Bu parametre için herhangi bir ön çalışma yapılmamıştır.

T₀ Başlangıç Sıcaklığının Belirlenmesi

E-n23-k4 veri seti üzerinde başlangıç sıcaklığı 100'den 4000'e kadar belirli aralıklarda arttırılarak algoritma her sıcaklık değerinde 10 kez çalıştırılmıştır ve elde edilen sonuçların çözüm süresi, ortalaması, maksimum değeri, minimum değeri ve standart sapması hesaplanmıştır. Algoritmanın başlangıç sıcaklığını yüksek değerlere çıkarttığımızda çözüm süresinde ciddi artışlar olmuştur ancak çözüm kalitesi açısından değerler iyileşmiştir. Sıcaklık değerini arttırdığımızda standart sapma düşmüştür ve çözümler daha kararlı değerler almaya başlamıştır. Burada karar verici tarafında çözüm kalitesinin mi yoksa sürenin mi daha önemli olduğu karar vericiye bağlıdır. Bu çalışmada elde edilen bu hesaplamalar ile süre kısıtı göz önünde bulundurularak ideal değerin 1000 olmasına karar verilmiştir. Başlangıç sıcaklığını belirlerken diğer parametreler şu şekildedir: Alpha= 0.95 ve K= 500

Sıcaklık Düşürme Katsayısı Belirlenmesi

E-n23-k4 veri seti üzerinde sıcaklık düşürme katsayısı belirlenirken 0.5000 değerinden 0.9999 değerine kadar katsayı kademeli olarak arttırılmıştır ve her değerde algoritma 10 kez çalıştırılmıştır. Elde edilen çözümlerin süresi, ortalama değeri, maksimum değeri, minimum değeri ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Sıcaklık düşürme katsayısı düşük değerlerde olduğunda algoritma çok hızlı çözüm vermektedir ancak çözüm kalitesi bakımından standart sapma değeri çok yüksektir ve ortalama amaç fonksiyonu değeri yüksektir. Katsayı 0.999 değeri ile algoritma çalıştırıldığında çözüm süresi çok fazladır ancak standart sapma değerleri düşüktür ve çözüm kalitesi yüksektir. Bu değerler ışığında sıcaklık düşürme katsayısının 0.95 olarak belirlenmesine

karar verilmiştir. Sıcaklık düşürme katsayısı belirlenirken diğer parametreler şu şekildedir: $T_0 = 1000$ ve $K = 500$

İç Döngü Sayısının Belirlenmesi

İç Döngü sayısı belirlenirken E-n22-k4 veri setinde parametre değeri 100'den 3000'e kadar kademeli olarak çıkan sonuçlara göre arttırılmıştır ve çözüm süresi, ortalama amaç fonksiyonu değeri, minimum değer, maksimum değer ve standart sapma hesaplanmıştır. Her sıcaklıkta gerçekleşen iterasyon sayısı arttığında standart sapma değeri düşmekte ve çözüm kalitesi artmaktadır ancak çözüm süreleri arasında ciddi farklar vardır. Bu değerlere göre iç döngü sayısı 500 olmasına karar verilmiştir. İç döngü sayısı belirlenirken diğer parametreler şu şekildedir: $\text{Alpha} = 0.95$ ve $T_0 = 1000$

Kısıtların Sağlanması

Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasında araç sayısı belirlenirken, düğümlerde bulunan toplam kapasite her bir aracın kapasitesi olan 480'e bölünür ve araç sayısı bu şekilde bulunur. Eğer bu işlemde küsuratlı sonuç çıkarsa, sayı bir üst değere yuvarlanır. Matematiksel modelde verilen (5) numaralı denklemde belirtilen araç kapasitesi kısıtının aşılmasını engellemek için ceza fonksiyonu kullanılır. Eğer araçlara atanan düğümlerin toplam talebi yani evde beklenen süre toplamı 480 dk. mesai süresini aşarsa, amaç fonksiyonuna çok büyük M sayısı eklenir. Bu işlem sayesinde, amaç fonksiyonuna çok büyük M sayısı eklenen rotalar kabul edilmez. Tablo 2'de tüm veri setleri için algoritmanın 20'şer kez çalıştırılmasıyla elde edilen verilen gösterilmiştir.

Tablo 2. Tavlama benzetimi algoritması çözüm değerleri

Veri Seti	Algoritma Çalıştırma Sayısı	Optimum Değer Bulunan Sayı	Optimum Değer Bulma (%)	Optimum Değerden Ortalama Sapma (%)	Ortalama Çözüm Süresi (sn.)
E-n22-k4 T=0.94	20	14	%70	%0.51	4.491
E-n23-k3 T=0.75	20	18	%90	%0.35	4.239
E-n30-k3 T=0.94	20	2	%10	%0.69	6.472

Tablo 2’de görüldüğü üzere oluşturulan algoritmada E-n22-k4 veri setinde 20 çalıştırmanın 14’ünde bilinen optimum değeri bulmuştur ve optimumu bulma yüzdesi %70’dir. E-n23-k3 veri setinde 20 deneme için 18’inde optimum değeri elde edilmiştir ve optimumu bulma yüzdesi %90’dır. Algoritmada E-n30-k3 veri seti için optimumu bulma yüzdesi diğer veri setlerine göre daha düşük %10’dur, bunun sebebi düğüm sayısının artması ve toplam talebin toplam kapasiteye oranlanmasıyla hesaplanan T değerinin yüksek olmasıdır. Veri setlerinde T değerinin yüksek olması veri setinin zorluğunu artırır ve çözüm süresini uzatır. Optimumu bulma yüzdesi düşük olmasına rağmen algoritmanın verdiği sonuçlarda optimumdan sapma yüzdesi ortalama %0.69’dur, bunun anlamı çözüm kalitesi bakımından algoritma kullanıcıya tatmin edici sonuçlar vermektedir.

Sonuç ve Değerlendirme

2022 yılında açıklanan Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye’de 65 yaş üzeri yaşlı nüfusu 2016 yılında 6 milyon 651 bin 503 kişi iken son beş yılda %24 artarak 2021 yılında 8 milyon 245 bin 124 kişi oldu. Yaşlı nüfusun toplam nüfus içindeki oranı ise 2016 yılında %8.3 iken, 2021 yılında %9.7’ye yükseldi. Bu veriler şunu göstermektedir ki Türkiye’de yaşlı nüfusu her geçen gün

artmaktadır ve buna bağlı olarak evde sağlık hizmeti talebi yıl geçtikçe daha da artacaktır. Bu çalışmada giderek artan talebi zamanında ve daha verimli şekilde karşılayabilmek için evlere aşı hizmeti için giderken, bekleme suresini dikkate alarak araç rotasını belirleyen bir karar destek sistemi tasarlanmıştır ve test edilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda parametre olarak araçların evlere giderken harcadığı süreyi dikkate almak ve matematiksel modele eklemek, daha gerçeğe yakın çözümler bulmak açısından faydalı olacaktır. Aynı şekilde uzaklık matrislerini hesaplarken klid uzaklık formülü ile hesaplamak yerine, eř zamanlı olarak trafik yoğunluğuna göre bir hesaplama yapılırsa, gerçek duruma daha yakın çözümler elde edilebilir. Karar destek sistemini ve algoritmasını sağlık personellerinin kullanabileceği şekilde bir arayüz oluşturarak tasarlamak ve hayata geçirmek, hem verilecek hizmet kalitesini arttırır, hem de artan yakıt fiyatlarına karşı maliyetleri düşürmede yardımcı olabilir.

KAYNAKÇA

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2022). Covid-19 mRNA Aşısı Uygulama Rehberi. Erişim adresi: https://covid19asi.saglik.gov.tr/Eklenti/40481/0/covid19mrnaasisibnt162b2uygulamakurallarikitap_cikpdf.pdf?_tag1=B347DC836E3A35A539CBAB6C69257C628F05B52A

T.C. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2022). Ülkelere Göre Uçuş Öncesi Koşulları. Erişim adresi: https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/Covid-19/SHGM_UGT_060522.html

Fathollahi-Fard, A.M., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). *A Lagrangian relaxation-based algorithm to solve a Home Health Care routing problem*. International Journal of Engineering, 31(10), 1734-1740.

Bahadori-Chinibelagh, S., Fathollahi-Fard, A.M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2022). *Two constructive algorithms to address a multi-depot home healthcare routing problem*. IETE Journal of Research, 68(2), 1108-1114.

Nasir, J.A., & Kuo, Y.H. (2020). *A decision support framework for home health care transportation with simultaneous multi-vehicle routing and staff scheduling synchronization*. Decision Support Systems, 138, 113361.

Tanoumand, N., & Ünlüyurt, T. (2021). *An exact algorithm for the resource constrained home health care vehicle routing problem*. Journals of Operations Research, 304, 397-425.

Secundo, G., Nucci, F., Shams, R., & Albergo, F. (2022). *Optimising workforce efficiency in healthcare during the COVID-19: a computational study of vehicle routing method for homebound vaccination*. Production Planning & Control, 1-15.

Belhor, M., El-Amraou, A., Jemai, A., & Delmotte, F. (2022). *Multiobjective Evolutionary Algorithm for Home Health Care Routing and Scheduling Problem*. 8th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Istanbul, Türkiye, 17-20 Mayıs.

Yu, R., Yun, L., Fan, H., Liu, Y., & Jin, M. (2022). *Optimization of Vehicle Routing Problem for Vaccine Distribution*. Transportation Research Board 101st Annual Meeting, Washington DC, USA, 9-13 Ocak.

Savaşer, S.K., & Kara, B.Y. (2022). *Mobile healthcare services in rural areas: an application with periodic location routing problem*. OR Spectrum, 1-36.

Ay, M., Akdoğan, B., Fidan, E.M., & Özbakır, L. (2022). *Yerleştirme-rotalama problemi için iki aşamalı bir model: Covid-19 aşılarının dağıtımı*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(4), 559-568.

Han, S., Özer, B., Alioğlu, B., & Polat, Ö. (2018). *A mathematical model for the delivery routing problem via drones*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(1), 89-97.

Vehicle Routing Problems Data Sets. (2023). Erişim adresi: <http://vrp.galagos.inf.puc-rio.br/index.php/en/>

Vincent, F.Y., Susanto, H., Jodiawan, P., Ho, T.W., Lin, S.W., & Huang, Y.T. (2022). *A simulated annealing algorithm for the vehicle routing problem with parcel lockers*. IEEE Access, 10, 20764- 20

BÖLÜM VIII

A novel multi-objective mathematical model for the placement problem of electric vehicle charging stations

Gülçin DİNÇ YALÇIN¹

INTRODUCTION

The optimal placement of electric vehicle (EV) charging stations is a complex problem that requires the application of different optimization algorithms. The placement of charging stations is crucial to minimize range anxiety and ensure the efficient distribution of charging infrastructure (Parah and Jamil, 2023). Electric vehicles play a significant role in improving air quality, energy security, and economic opportunity, leading to the need for their widespread adoption (Parah and Jamil, 2023; Sriabisha and Yuvaraj, 2023).

¹ Asst. Prof. Dr. , Eskisehir Technical University, Department of Industrial Engineering, gdinc@eskisehir.edu.tr, Orcid: 0000-0001-7696-7507

Frade et al. (2011) expound upon the matter of Mixed Integer Linear Programming (MILP) concerning a specific district located in Lisbon, Portugal. The primary objective is to maximize the coverage of demand, all the while making a distinction between the demand during the nighttime and the daytime. Chen, Kockelman, and Khan (2013) introduce an MILP model designed to minimize the penalty associated with increased parking access distances, relative to the demand for parking. The application of this model is then exemplified in the context of Seattle, Washington. Sathaye and Kelley (2013) employ continuous facility location models to strategically plan for the inclusion of electric vehicles within highway corridors. To exemplify this, a case study is conducted within the Texas Triangle megaregion.

Lam, Leung, and Chu (2014) present a mathematical optimization model based on mixed integer linear programming (MILP) with the objective of minimizing the cost associated with the establishment of stations, while simultaneously ensuring that the demand is met and a connected subgraph is constructed. The authors prove that the model falls under the category of NP-hard problems and subsequently propose two solution approaches: an iterative MILP model and a greedy algorithm. In a similar vein, Sadeghi-Barzani, Rajabi-Ghahnavieh, and Kazemi-Karegar (2014) propose a model that combines mixed integer programming and nonlinear optimization techniques to determine the optimal location and size of fast-charging stations. The primary goal is to reduce the overall expenditure, which includes the costs associated with station development, electrification, energy loss in EV chargers, and the electric grid. To solve this model, the authors employ a genetic algorithm. Finally, Chen et al. (2015) address the problem of minimizing investment costs and transportation expenses while simultaneously meeting economic, coverage, and convenience constraints.

Wang, Wang, and Lin (2016) address the same issue by identifying the most advantageous locations for charging stations and optimizing the recharging schedule for a fleet of electric

vehicles, taking into account the time constraint of the EVs. Bouguerra and Layeb (2019) propose models based on integer linear programming to determine the location and size of charging stations. They present a case study conducted in Tunis, Tunisia. Bräunl et al. (2020) present a practical approach for determining the placement, quantity, and dimensions of charging stations in Western Australia, which is based on the current proportion of electric vehicles in the passenger car fleet. Meanwhile, Guo et al. (2020) present mathematical models and an algorithm to address the challenge of electric taxis, which involves solving two sub-problems: determining the location of the charging stations and the location of the battery exchange stations for electric taxis.

Dinc Yalcin et al. (2022) have introduced an novel model with multiple objectives for the problem of placing EV charging stations within a network that has been newly constrained. The objective of this network is to ensure convenient accessibility for drivers from any location within a city, within a reasonable distance. Raval et al. (2023) have proposed a range of techniques to tackle this problem, which include metaheuristic optimization algorithms like the levy-enhanced opposition-based gradient-based optimizer (LE-OB-GBO). Particle Swarm Optimization (PSO) algorithms have been developed to determine the most optimal locations for the placement of EV charging stations in distributed networks. This determination takes into account factors such as the voltage profile and convergence properties (Sriabisha and Yuvaraj, 2023). These algorithms utilize the characteristics of EV batteries and load profiles to identify the most appropriate sites for charging stations.

Motivated by the multi-objective programming (MOP) model proposed by Dinc Yalcin et al. (2022) for the placement of electric vehicle charging stations, we present a novel approach by introducing new decision variables, constraints, and an objective function to enhance the existing model. In our approach, we consider the capacity of each charging station location as a decision variable instead of a parameter. As a result, we are able to assign optimal capacities to each location, while ensuring that they satisfy the newly

introduced constraints: the capacity of each location must exceed the demand and remain below the allowable capacity limit. Additionally, we propose a new cost function, which is dependent on the capacity of the charging stations, to serve as the objective function. Consequently, our model encompasses two objectives. The first objective, inherited from the previous MOP, aims to minimize the distance between two charging stations as well as the distance between a charging station and a region. The second objective focuses on minimizing the cost function based on the capacities of the charging stations. Subsequently, the model is executed in Eskisehir, Turkey, and solved through scalarization method: weighted sum method. The feasibility of our model is showcased, and the outcomes are thoroughly examined.

METHOD

In this section, the mathematical model is explained.

Sets:

I	$i, j \in$	Set of locations of charging stations
K	$k \in$	Set of region of demand of electric vehicle

Parameters:

d_{ik}	The distance between ith charging station and kth region
s_{ij}	The distance between two charging stations
c_i	Cost of constructing a charging station at the site i.
Q_k	Demand of kth region

Decision variables:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{if } i\text{th charging station is open} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

L The maximum distance allowed between charging stations and a charging station and a region

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if the distance of } i\text{th and } j\text{th charging station} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$u_i = \begin{cases} 1, & \text{if the distance between } i\text{th charging station and } l \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

q_i Capacity of i th charging station

$$\min \sum_{i \in I} c_i * q_i \quad (1a)$$

$$\min D \quad (1b)$$

Subject to

$$w_{ik} d_{ik} \leq D * x_i \quad \forall i, k \in I, K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} w_{ik} \geq x_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} q_i x_i w_{ik} \geq Q_k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$y_{ij} s_{ij} \leq D x_i x_j \quad \forall i, j \in I, i \neq j \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq j}} y_{ij} \geq x_j \quad \forall j \in I \quad (6)$$

$$y_{ij} \leq \sum_{\substack{m \in I \\ m \neq i,j}} y_{jm} \quad \forall i, j \in I \quad i \neq j \quad (7)$$

$$q_i \leq Cap_i \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$q_i \geq \sum_{k \in K} w_{ik} x_i Q_k \quad (9)$$

$$w_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k \in I, K \quad (10)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in I \quad (11)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$D \geq 0 \quad (13)$$

$$q_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (14)$$

The first objective (1a) seeks to minimize the cost associated with charging stations based on their capacity, while the second objective (1b) aims to establish a well-balanced distance system between stations as well as between stations and regions. Equation (2) defines that if the distance between a charging station and a region is lower than D , it signifies that the charging station covers the region. In such cases, the decision variable takes on a value of 1. Equation (3) states that if a charging station is operational, it must cover at least one region. The fulfillment of demand is ensured by constraint (4). If two stations are opened and the distance between them is less than the value D , it implies that there exists a link between them, and equations (5), (6), and (7) establish the network constraints: the distance between linked charging stations should be less than the value D , a charging station must be linked to at least one other charging station, and if the i th charging station is linked to the j th charging station, then the j th charging station must also be linked to another charging station. Equations (8) and (9) control the

capacity of each charging station: the capacity of each station is subject to an upper limit and should exceed the demand of the regions it covers. Equations (10)-(14) specify the domains of the variables. Equations (1b), (4), (6), and (7) are derived, and (2) and (5) have been modified from Dinc Yalcin et al. (2022). Furthermore, (1a), (3), (8), and (9) are newly introduced.

Multi-objective Optimization

In the realm of multi-objective optimization (MOP), a scenario arises wherein there exist multiple objective functions. In this scenario, let us denote the set of problem constraints as $\mathbb{X}$ and the objective functions of the problem as $[f_1, f_2, \dots, f_m]$. Consequently, it becomes evident that for most cases, it is unfeasible to obtain a single optimal solution that optimizes all objective functions simultaneously. Instead, a MOP possesses a collection of Pareto optimal points, which constitutes the solution set of the MOP itself (Marler and Arora, 2004). A point $x^* \in \mathbb{X}$ is defined as a Pareto optimal point if and only if the conditions

- (i) $f_l(x^*) \leq f_l(x) \forall l = 1, \dots, m$ and
- (ii) $f_l(x^*) < f_l(x)$ for at least one function i

are satisfied for all $x \in \mathbb{X}$. Various approaches to scalarization have been proposed in the literature, with the objective of formulating a multi-objective model as a single function (Kasimbeyli, Kamisli Ozturk, Kasimbeyli, Dinc Yalcin, & İcmen Erdem, 2019). One of the commonly used scalarization techniques in the literature is the weighted sum scalarization (WSS) method, introduced by Gass and Saaty (1955). The WSS method combines the objective functions by multiplying them with a weighted vector and then summing them up. In cases where the objective functions have different units, a normalization transformation is required. One possible approach is to divide the objective function by the absolute value of an upper limit, denoted as $f_l^{new} = \frac{f_l}{f_l^{upper}}$, $l = 1, \dots, m$ (Marler & Arora, 2004). It is important to note that

$f^{upper} \neq 0$. As a result, the objective function of the WSS method is transformed accordingly as $f_w = \sum_{l=1}^m w_l \frac{f_l}{|f_l^{upper}|}$.

The objective function (1a) and (1b) are reformulated through the use of the weighted sum method in the following manner:

$$f_w = w_1 \frac{\sum_{i \in I} c_i * q_i}{\sum_{i \in I} c_i * Cap_i} + w_2 \frac{D}{\max \left\{ \max_{i,j \in I} \{d_{ij}\}, \max_{i,k \in I,K} \{s_{ik}\} \right\}} \quad (15)$$

where f_1^{upper} represents the summation of the maximum capacity of each charging station and f_2^{upper} signifies the maximum distance between two charging stations, and the distance between a charging station and a region.

RESULTS

The case in Eskisehir, Turkey is subject to the application of a mathematical model. Our study focuses on two specific counties, namely Odunpazari and Tepebasi, which collectively accommodate approximately 89% of the population of Eskisehir. In order to identify potential station sites, we have selected 30 candidates from various locations such as multi-story parking areas, shopping malls, markets, university campuses, parking areas of private and state hospitals, as well as parking areas of public gardens. To optimize the distribution of stations, we have merged certain districts based on factors such as population, size, and congestion levels during the day. As a result, we have identified 10 distinct regions, each with a population ranging from 33,000 to 153,000. The distances between station sites and between station sites and regions have been accurately calculated using Google Maps. The estimation of region demands takes into consideration factors such as population, proximity to the city center, and the anticipated traffic congestion in

the industrial zone. Table 1, as presented in Dinc Yalcin et al. (2022), provides detailed information on the population, radius, and demand of each region.

Table 1. The population, radius and demand od regions

Region	Population	Radius in km	Demand
T1	82000	9.2	2
T2	52000	4.6	1
T3	51000	5.1	1
T4	42000	4	1
T5	33000	5	2
T6	40000	7.8	2
O1	54000	12.4	1
O2	153000	6.8	3
O3	55000	8.5	1
O4	97000	7.4	2

We employ the GAMS software SCIP solver to resolve the mathematical model by adjusting the weights of the objective functions. The outcomes are presented in Table 2.

Table 2. Results of the mathematical model for the case of Eskisehir

Weights of objective functions (w_1, w_2)	Site of Charging Stations (i)	Capacity of each charging station (q_i)	Distance in km (D)
(1,9), (2,8), (3,7), (4,6), (5,5), (6,4), (7,3)	1-3-7-12-21-22-27-28	1-3-3-2-1-3-2-1	15.9
(8,2)	6-7-12-23-27-29	4-5-2-2-2-1	15.9
(9,1)	3-4-7-15-25-27-29	1-4-5-2-1-2-1	15.9
(10,0)	1-13-16	4-2-10	42.1

As can be seen from Table 2, when the distance D where w_2 is zero is not taken into consideration, only 3 sites for charging stations is enough to meet the demand. However, this time, the distance becomes 42.1 km which is too surplus to satisfy the drivers of electric vehicles. When both objective are taken into consideration with different weights, the distance is taken the same

value, 15.9 km. The sites for charging stations and their capacities are particular.

CONCLUSION

In this study, we have proposed a multi-objective mathematical model to determine the optimal location of charging stations. The model aims to minimize the cost based on the capacities of the charging stations, as well as minimize the distance between the charging stations and the regions they serve. The novel decision variable in the model is the capacity of each charging station, which is subject to an upper limit. Additionally, the capacity of each charging station must exceed the demand of the regions it covers. We have solved the mathematical model using different weights for the case of Eskisehir, Turkey, and obtained the results. The results indicate that if the distance is not taken into account, only three charging stations are sufficient to meet the demand. However, in this case, the distance between the charging stations is 42.1km. On the other hand, when the distance is considered, the number of charging stations increases as the distance decreases. This would lead to increased satisfaction among drivers of electric vehicles, as they would be able to find a charging station within a distance of 15.9km.

As future research, it would be valuable to explore the preferences of drivers and incorporate them as a new objective function to maximize driver satisfaction. Additionally, the demands could be updated by surveying the residents of Eskisehir to determine if they plan to purchase an electric vehicle within the next five years.

REFERENCES

Bouguerra, S., and Layeb, S. B. (2019). Determining Optimal Deployment of Electric Vehicles Charging Stations: Case of Tunis City, Tunisia. *Case Studies on Transport Policy*, 7 (3), 628–642.

Bräunl, T., Harries, D., McHenry, M. and Wager G. (2020). Determining the Optimal Electric Vehicle Dc-Charging Infrastructure for Western Australia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84 (7), 102250.

Chen, T. D., Kockelman, ., K. M. and Khan, M. (2013). Locating Electric Vehicle Charging Stations: Parking-based Assignment Method for Seattle, Washington. *Transportation Research Record*, 2385 (1), 28–36.

Chen, S., Shi, Y., Chen, X. and Qi, F. (2015). “Optimal Location of Electric Vehicle Charging Stations Using Genetic Algorithm.” In 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 372–375. Busan, Korea: IEEE.

Dinc Yalcin, G., Ozsoy, C. Y., and Taskin, Y. (2022). A multi-objective mathematical model for the electric vehicle charging station placement problem in urban areas. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(8), 945-961.

Frade, I., Ribeiro, A., Gonçalves, G. and Antunes, A.P. (2011). Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in A Neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Record*, 2252 (1), 91–98.

Gass, S., and Saaty, T. (1955). The Computational Algorithm for the Parametric Objective Function. *Naval Research Logistics Quarterly*, 2(1-2), 39–45.

Guo, Z., Yu, B., Li, K., Yang, Y., Yao, B. and Lin, Q. (2020). Locating Battery Supplying Infrastructures for Electric Taxies. *Transportation Letters*, 12 (2), 77–86.

Kasimbeyli, R., Ozturk, Z. K., Kasimbeyli, N., Dinc Yalcin, G. and Erdem, B. I. (2019). Comparison of Some Scalarization Methods in Multiobjective Optimization. *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*, 42 (5), 1875–1905.

Lam, A. Y., Leung, Y. W. and Chu, X. (2014). Electric Vehicle Charging Station Placement: Formulation, Complexity, and Solutions. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5 (6), 2846–2856.

Marler, R. T., and Arora, J. S. (2004). Survey of Multi-Objective Optimization Methods for Engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26 (6), 369–395.

Parah, S. A., and Jamil, M. (2023, February). Techniques for optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations: A review. In *2023 International Conference on Power, Instrumentation, Energy and Control (PIECON)* (pp. 1-5). IEEE.

Raval, S., Natarajan, T., and Deb, S. (2023). A Novel Levy-Enhanced Opposition-Based Gradient-Based Optimizer (LE-OB-GBO) for Charging Station Placement. *Electronics*, 12(7), 1522.

Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A. and Kazemi-Karegar, H. (2014). Optimal Fast Charging Station Placing and Sizing. *Applied Energy*, 125, 289–299.

Sathaye, N., and Kelley, S. (2013). An Approach for the Optimal Planning of Electric Vehicle Infrastructure for Highway Corridors. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 59 (1), 15–33.

Sriabisha, R., and Yuvaraj, T. (2023, March). Optimum placement of Electric Vehicle Charging Station using Particle Swarm Optimization Algorithm. In *2023 9th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)* (pp. 283-288). IEEE.

Wang, I. L., Wang, Y. and Lin, P. C. (2016). Optimal Recharging Strategies for Electric Vehicle Fleets with Duration Constraints. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 69 (1), 242–254.

BÖLÜM IX

Production and Characterization of Microcapsules Containing Three-component Thermochromic System with Chitosan/sodium alginate Walls Capable of Temperature-sensitive Reversible Color Change

Sena DEMİRBAĞ GENÇ¹
Müyesser Selda TÖZÜM²
Sennur ALAY AKSOY³

Introduction

Thermochromic materials are known as materials capable of reversible color change upon heating/cooling cycles. They are found in organic and inorganic compounds, polymers, liquid crystals and leuco dyes. Leuco dyes are widely used in industry due to their low-

¹ Dr, Uşak University, Department of Textile Engineering, Orcid: 0000-0003-1634-6391

² Dr, Uşak University, Department of Textile Engineering, Orcid: 0000-0003-2887-5637

³ Prof. Dr., Süleyman Demirel University, Department of Textile Engineering, Orcid: 0000-0002-5878-6726

cost of production process. In addition, these dyes are widely used in various categories such as military, construction, anti-counterfeiting, warning sensors, etc due to their high color contrast and wide range of colors (He et al. 2020; Spirache et al. 2023; Babazadeh-Mamaqani et al. 2023).

Coloring leuco dye-based thermochromic materials requires leuco dye, solvent and developer. The color former is a pH sensitive dye that absorbs a proton to change its color from colorless to colored. The color developer, an electron acceptor component, is used to create the coloured form of the dye. The solvent provides an interaction medium for the dye and color developer and its melting point controls the temperature at which coloration occurs. The solvent is also a phase change material and has the ability to store and release thermal energy. When the temperature is below the solidification point of the solvent, the solvent is solid and an environment is created that leads to strong interaction between the color former and color developer. This ensures that the system is colored. In the opposite case, if the system is heated to a temperature above the melting point of the solvent, the organic solvent will melt and the interaction between the color former and the color developer will cease. This causes the system to lose its color (Chowdhury et al. 2014; Tözüm et al. 2021; Li et al. 2023).

Prior to application, TCTS must be encapsulated in a protective and transparent shell. This is because, TCTS is very sensitive to external conditions. The solvent component of TCTS have flow problems that caused by phase change. Encapsulation maintains the TCTS as a solid particle when it is liquid. Also, it prevents the change of composition ratio of TCTS (Tözüm et al. 2021; Li et al. 2023). In this study, microcapsules capable of temperature-sensitive reversible color change and energy storage with a chitosan/sodium alginate wall were prepared by complex coacervation method. The morphology and particle size distribution of the microcapsules were determined by SEM and particle size analyzer. The temperature-dependent reversible color of the microcapsules was investigated by digital camera photographs. Heat

storage/release and thermal stability of the microcapsules were determined by DSC and TG analysis, respectively. The presence of TCTS in the microcapsules was demonstrated by FT-IR spectroscopy.

Materials and Methods

Crystal violet lactone (CVL) was used as colorant, phenolphthalein (PP) (Carlo Erba) as color developer and 1-tetradecanol (TD) (Alfa Aesar, >97%) as solvent for the preparation of TCTS. A polymer pair of sodium alginate (Sigma Aldrich) and chitosan (Sigma Aldrich) was used as the wall material for microcapsule production. Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB, Sigma Aldrich) was used as a cationic surfactant and glutaraldehyde (25%, Sigma Aldrich) as a cross-linking agent. All pH adjustments during microcapsule preparation were made with acetic acid (10%) and sodium hydroxide (5%) solutions.

TCTS was prepared according to our previously reported procedure (Tözüm et al. 2021). The dye/developer/solvent ratio was 1/4/70. The specified amounts of dye and developer were dissolved in the solvent heated to approximately 90 °C. The prepared TCTS was encapsulated in a chitosan/sodium alginate wall structure by a complex coacervation method. A 2.5 g of TS was emulsified into 50 ml of a 1.25 % (w/v) chitosan solution together with 0.10 g of CTAB surfactant. Then, 50 ml of a 1.25 % (w/v) sodium alginate solution was prepared and dropped into the emulsion. To form a complex between chitosan and sodium alginate, the pH was adjusted to pH 4 where the two polymers were oppositely charged. After one and a half hour, the pH was adjusted to 9 by adding sodium hydroxide to stop coacervation. The emulsion system was then cooled to 4 °C and 0.8 g of glutaraldehyde was added to stabilize the microcapsules. The preparation procedure of the microcapsules with chitosan/sodium alginate wall by the complex coacervation method is shown in Figure 1.

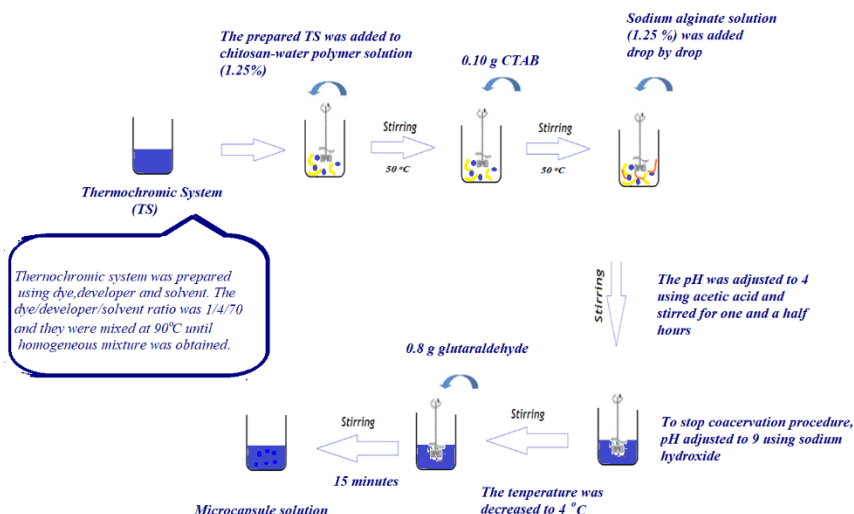


Figure 1. Production procedure of the thermochromic microcapsules with a chitosan/sodium alginate wall

Scanning electron microscope (SEM) was used to examine the morphology of the microcapsules. The particle size and particle size distribution (PSD) of the microcapsule were determined using a Horiba LA-350 particle size analyzer. ATR-FTIR (Perkin Elmer) analysis was carried out to characterize the chemical structure of the wall materials, core materials and microcapsule. Measurements were made in the range of wave numbers from 4000 to 400 cm^{-1} . The heat storage/release temperatures and enthalpies of the microcapsules were investigated using a Perkin Elmer DSC instrument. The thermal stability of the microcapsules was examined by thermogravimetric (TG) analysis (Perkin Elmer Diamond instrument) under a nitrogen atmosphere at a scanning rate of 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ in the temperature range 0 $^{\circ}\text{C}$ to 500 $^{\circ}\text{C}$. The temperature-sensitive reversible color changes of the microcapsules and of the TCTS used as the core material were studied by photographic images taken with a digital camera at temperatures of 25 $^{\circ}\text{C}$ and 50 $^{\circ}\text{C}$.

Results and Discussions

SEM images of microcapsules are shown in Figure 2. According to the SEM images, it was found that the formation of capsule with spherical shape and smooth surfaces was carried out. When the size scales given in the images of the microcapsules were examined, it was found that their sizes were about 200 nm. In addition, the microcapsules were agglomerated into clusters due to the nano-sized particle size.

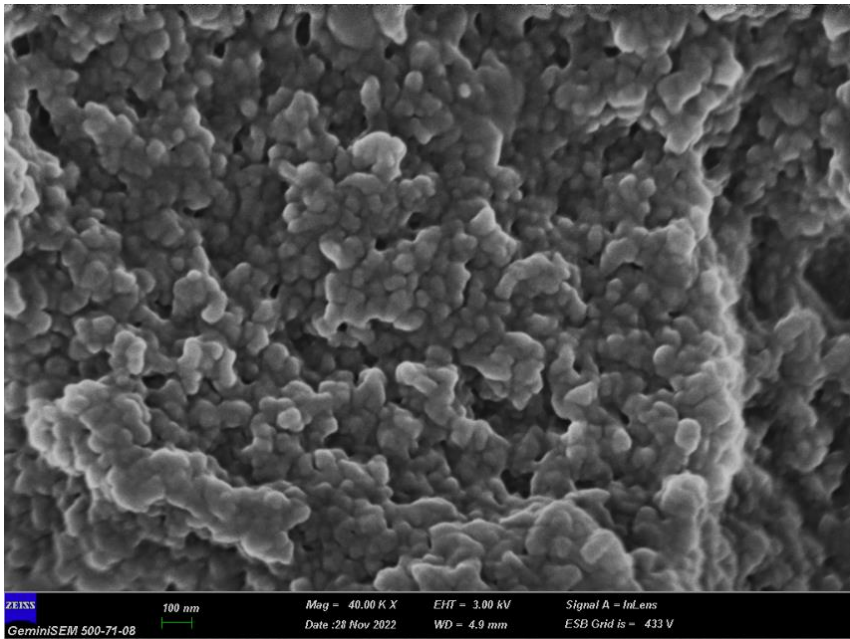


Figure 2. SEM images of the microcapsules

Figure 3 shows the histogram of the particle size distribution of the microcapsules. According to Figure 3, the particle size distribution of the microcapsules was narrow and unimodal. The mean particle size of the microcapsules was 8.8 μm . Their mean particle size varied between 3.60 and 16.37 μm . There is a difference between the SEM images of the microcapsules and the dimensions measured by the particle size analyzer. This difference is due to the

measuring principle of the particle size analyzer and the tendency of the particles to cluster. The clustering tendency of the manufactured capsules made it difficult to examine their morphology by SEM analysis. This clustering tendency is due to both the small particle size of the capsules and the molecular interaction between the polymers that make up the capsule wall structure. In the particle sizer, the cluster formed by the aggregation of particles is measured as a single particle.

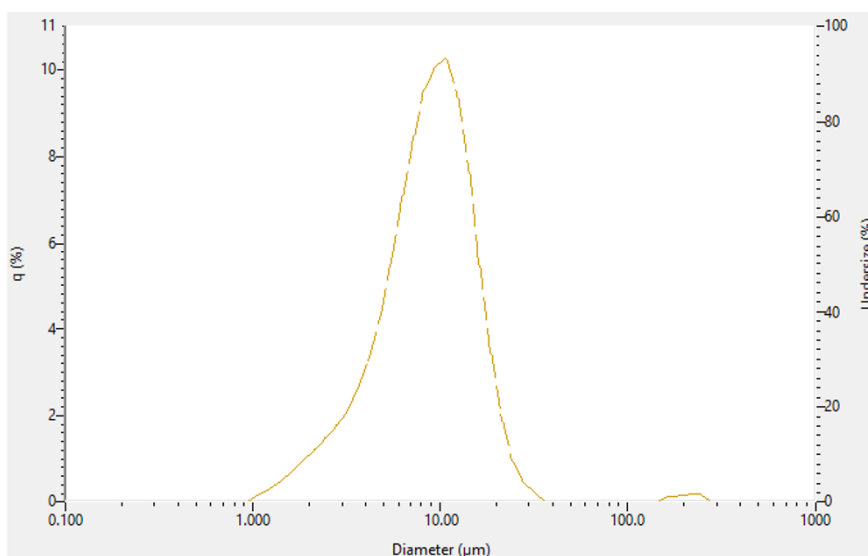


Figure 3. The particle size distribution histogram of the microcapsules

The temperature-dependent color changes of microcapsules and TCTS were studied using photographic images taken at two different temperatures. In the photographs shown in Figure 4, it was observed that TCTS, which is colored (dark blue) at 25 °C, loses its color above its activation temperature and becomes completely colorless at 50 °C. Similarly, microcapsules containing TCTS changed from blue to colorless as the temperature increased. The results showed that the microcapsules exhibited thermochromic behavior as a function of temperature.

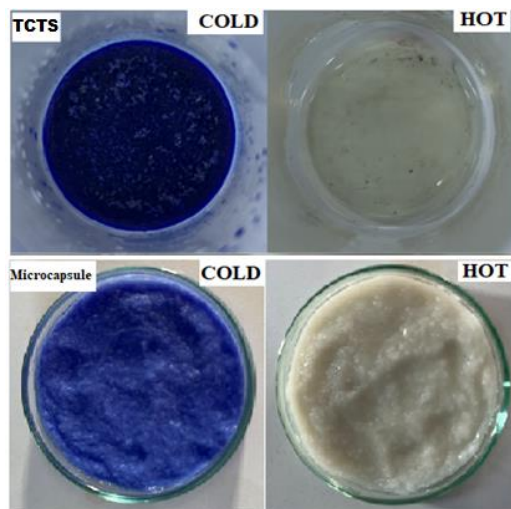


Figure 4. Color change behavior of the microcapsule and TCTS

The chemical structure of the microcapsules was analyzed by FTIR analysis and the FTIR spectra of the microcapsules, core and wall materials are shown in Figure 5. The broad band at 3324 cm^{-1} belonged to the combination of the hydrogen-bonded -OH and -NH stretching peaks of the chitosan polymer, the -OH stretching peaks of sodium alginate and the -OH stretching peaks of 1-tetradecanol and phenolphthalein forming the TCTS. The peaks at 1650 cm^{-1} and 1592 cm^{-1} in the FT-IR spectrum of chitosan were amide I and amide II peaks, respectively (Ahn vd, 2001). These peaks were also seen in the FT-IR spectrum of the microcapsule but with reduced intensity. This revealed the interaction between chitosan and sodium alginate (Genç ve Alay Aksoy, 2016). The peaks at 2849 cm^{-1} , 2917 cm^{-1} and 2956 cm^{-1} in the microcapsule spectrum were characteristic C-H stretching peaks of tetradecanol and proved the presence of tetradecanol in the structure. Furthermore, the strong and sharp peak at 1472 cm^{-1} and 1463 cm^{-1} was related to the C-H bending peak of 1-tetradecanol in the TCTS. The peaks at 1426 cm^{-1} and 1373 cm^{-1} in the spectrum of the TCTS were symmetrical stretching peaks of carboxylate groups, showing that the ring structure of the dye was opened. These peaks were also observed at the same wavelengths in

the spectrum of the microcapsules. In addition, the double peak at 730 cm^{-1} and 720 cm^{-1} is the characteristic rocking peak of tetradecanol. These peaks proved the presence of a TCTS in the structure of the microcapsules.

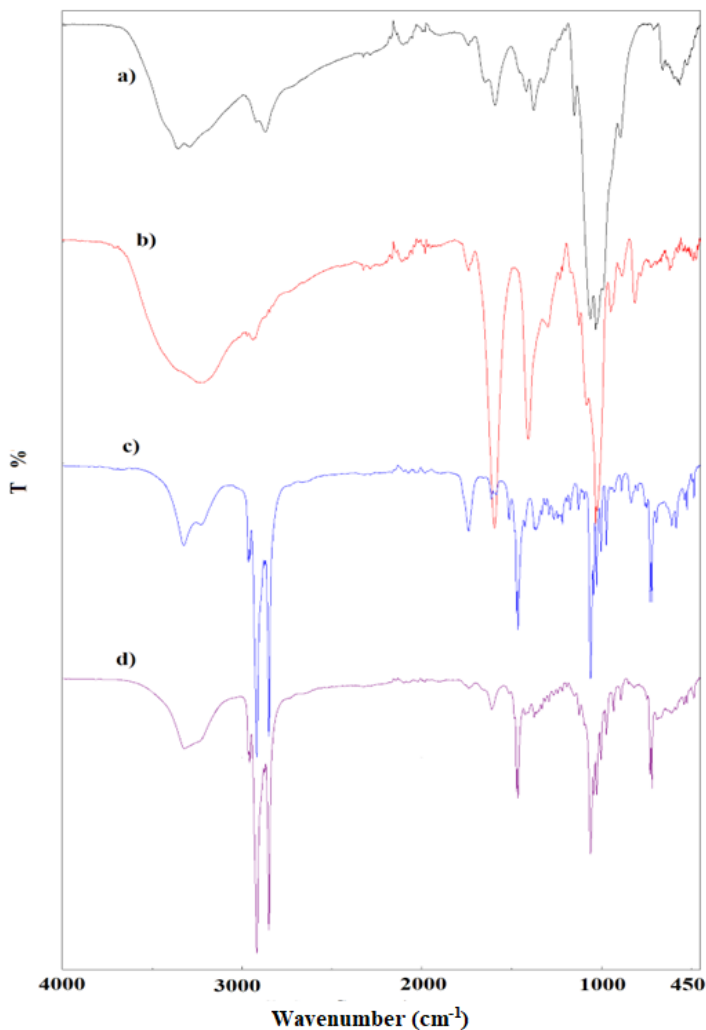


Figure 5. FT-IR spectrum of chitosan (a), sodium alginate (b), TCTS (c) and microcapsule (d)

Figure 6 shows the DSC curve of microcapsules. The microcapsules stored 120.9 J/g heat at a melting temperature of 35.9 °C. Microcapsules released -64.9 J/g latent heat at 34.5 °C during liquid-solid crystallization and -57.7 J/g latent heat at 29.7 °C during solid-solid crystallization. Consequently, the microcapsules had a very high energy storage capacity and their energy storage temperatures were close to body temperature.

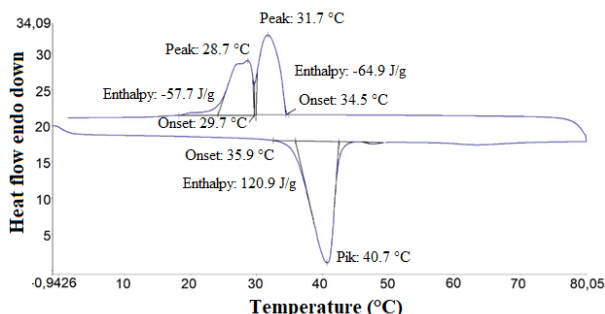


Figure 6. DSC graph of the microcapsules

The results of the TG analysis of the microcapsules are shown in Figure 5. From the TG analysis results, it was found that TCTS were subjected to a single thermal degradation, while microcapsules were subjected to a two-step thermal degradation. The first stage degradation was due to evaporation of the TCTS which was the core material of the capsule. The second stage degradation was caused by the degradation of the capsule wall structure. The microcapsules produced had sufficient thermal stability for thermal energy storage applications.

Table 1. Thermal stability properties of the TCTS and microcapsules

Samples	Degradation temperature interval (°C)		Weight loss %
TCTS	150-250	(Step 1)	91,52
Microcapsules	150-230	(Step1)	57,21
	230-400	(Step 2)	16,39

Conclusion

In this study, CVL dye-containing TCTS was successfully encapsulated into the natural and biocompatible wall structure using a complex coacervation method. The TCTS and the resulting microcapsules exhibited a temperature-sensitive, distinct and reversible color change. They were dark blue or blue below the activation temperature of TCTS, while they became colorless above the activation temperature of TCTS. SEM analysis showed that the microcapsules had a spherical morphology. The results of thermal analysis by TG and DSC showed that the microcapsules had good thermal stability and high energy storage capacity. They stored 120.9 J/g of heat at a melting temperature of 35.9 °C. Their energy storage temperature was suitable for human body temperature. It was concluded that the microcapsules obtained have the potential to be used as textile additives.

References

Ahn, J.S., Choi, H., K., Chong-Su C. (2001). A novel mucoadhesive polymer prepared by template polymerization of acrylic acid in the presence of chitosan. *Biomaterials*, 22 (9), 923-928

Babazadeh-Mamaqani, M., Mohammadi-Jorjafki, M., Alipour-Fakhri, S., Mardani, H., Roghani-Mamaqani, H. (2023). Thermal-Induced Chromism and fluorescence emission of rhodamine b-containing polymers with different polarities: tracking temperature and development of thermochromic labels. *Macromolecules*, 56(15), 5843-5853. <https://doi.org/10.1021/acs.macromol.3c00956>.

Chowdhury, M.A., Joshi M., Butola B.S. (2014). Photochromic and thermochromic colorants in textile applications. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 9(1), 107-123. <https://doi.org/10.1177/1558925014009001>.

Genç, E., Alay-Aksoy, S. (2016). Fabrication of microencapsulated PCMs with nanoclay doped chitosan shell and thair application to cotton fabric. *Tekstil & Konfeksiyon*, 26(2), 180-188.

He, Y., Sun, S., Han, N., Zhang, X., Li, W. (2020). Thermal energy regulated and thermochromic composite film with temperature-sensitive “breathable” stomata. *Journal of Materials Science*, 55, 12921-12939. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04936-5>.

Li, Y., Jiang, Z., He, F., Chen, Z., Li, X., Wang, P., He, G., Zhu, X., Yang, W. (2023). Reversible thermochromic microcapsules with SiO₂ shell for indicating temperature and thermoregulation. *Journal of Energy Storage*, 72, 108674. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108674>.

Spirache, M. A., Marrec, P., Parola, A. J. D., Laia, C. A. T. (2023). Reversible thermochromic systems based on a new library

of flavylum spirolactone leuco dyes. Dyes and Pigments, 214, 111208. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2023.111208>.

Tözüm, M. S., Alay Aksoy, S., Alkan, C. (2021). Manufacturing surface active shell and bisphenol A free thermochromic acrylic microcapsules for textile applications. International Journal of Energy Research, 45(5), 7018-7037. <https://doi.org/10.1002/er.6287>.

Acknowledgements

This work was financially supported by The Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK). (Project No. 221M773).