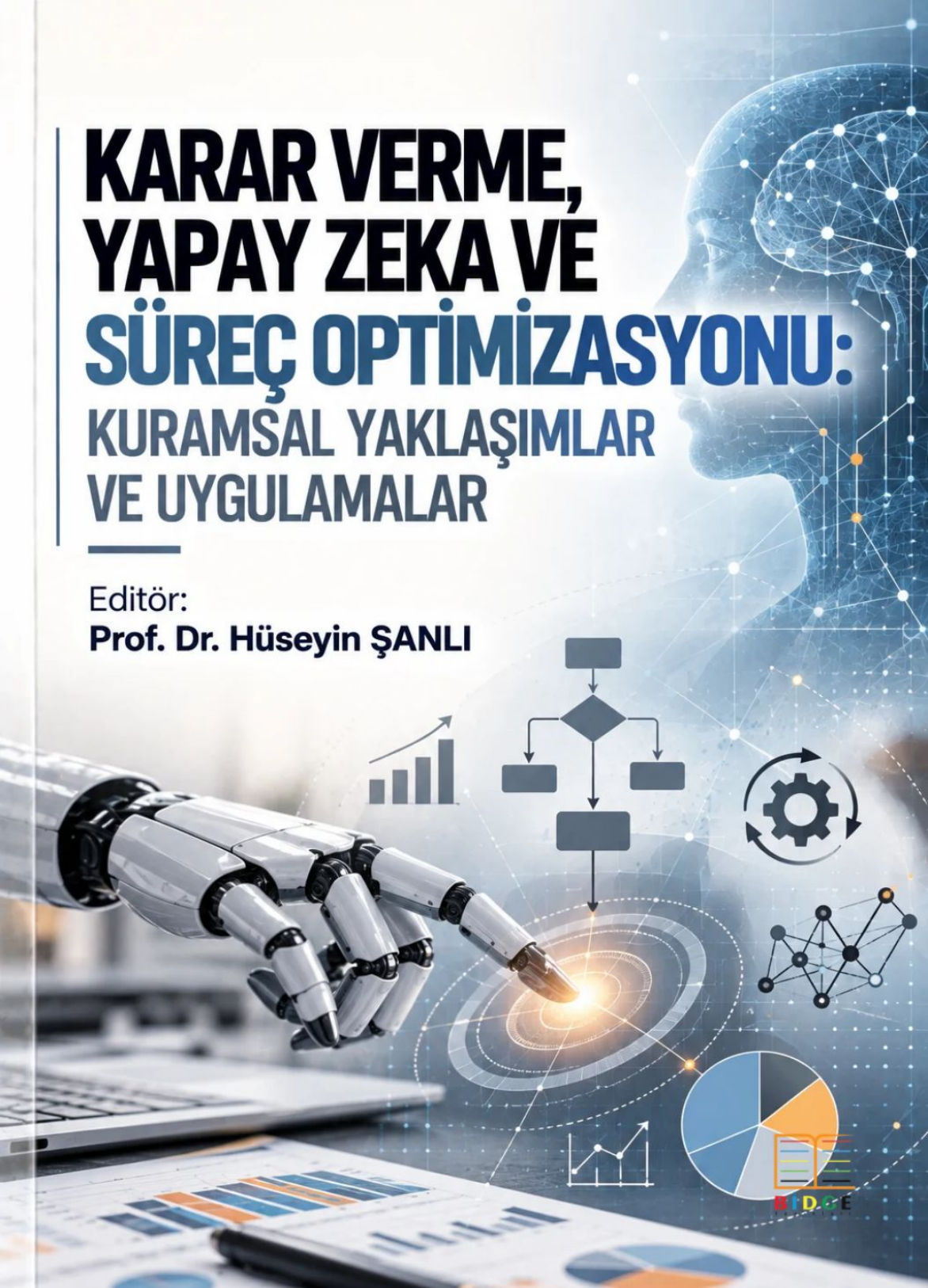
KARAR VERME, YAPAY ZEKA VE SÜREÇ OPTİMİZASYONU: KURAMSAL YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR

Editör:
Prof. Dr. Hüseyin ŞANLI



BİDGE Yayınları

Karar Verme, Yapay Zeka ve Süreç Optimizasyonu: Kuramsal Yaklaşımlar Ve Uygulamalar

Editör: Prof. Dr. Hüseyin ŞANLI

ISBN: 978-625-5474-60-5

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-10-25
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

Günümüzde teknolojik gelişmeler, artan veri hacmi ve karmaşıklaşan karar süreçleri, bilimsel yöntemlere dayalı analiz ve etkin süreç yönetimini her zamankinden daha önemli hâle getirmektedir. Bu doğrultuda yapay zekâ, karar verme yöntemleri ve süreç optimizasyonu, farklı disiplinlerde yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Karar Verme, Yapay Zekâ ve Süreç Optimizasyonu: Kuramsal Yaklaşımlar ve Uygulamalar başlıklı bu eser, bilimsel yaklaşımları uygulama odaklı bir perspektifle ele alarak ilgili literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Eserin hazırlanmasına katkıda bulunan tüm yazarlara teşekkür eder, kitabın akademisyenler, araştırmacılar ve uygulayıcılar için yararlı bir kaynak olmasını dilerim.

Prof. Dr. Hüseyin ŞANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

YÜKSEKÖĞRETİMDE EĞİTİM KALİTESİNE ETKİ EDEN KRİTERLERİN SWARA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ 1

TUBA BAZANCİR, NADİDE ÇAĞLAYAN ÖZAYDIN, VECİHİ YİĞİT

ÜRETİMDE PLANLAMA–YÜRÜTME DÖNGÜSÜ VE KARAR SÜRESİ: BİR KESİKLİ OLAY BENZETİM MODELİ 24

KAMER ÖZGÜN, ALİ TAMER ÜNAL

KİŞİLERİN KALP KRİZİ GEÇİRME RİSKİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ 47

FATMA ERSOY DURAN

IMPROVING SERVICE PROCESSES IN UNIVERSITY LIBRARIES: WEB-BASED DYNAMIC APPOINTMENT SYSTEM AND QUEUE MANAGEMENT DESIGN 58

YUSUF BAYDOĞAN, NAGİHAN KARSLI, SAFİYE AKBAŞ, EMİNE DADAŞOĞLU, BELKIZ TORĞUL

ANALYSIS AND SEGMENTATION OF E-COMMERCE CUSTOMER INTERACTIONS VIA CLUSTER ANALYSIS .. 72

MEHMET CABİR AKKOYUNLU, COŞKUN ÖZKAN

BÖLÜM 1

YÜKSEKÖĞRETİMDE EĞİTİM KALİTESİNE ETKİ EDEN KRİTERLERİN SWARA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

TUBA BAZANCİR[1]
NADİDE ÇAĞLAYAN ÖZAYDIN[2]
VECİHİ YİĞİT[3]

Giriş

Tarih boyunca var olan kalite, üretim aşamasından son tüketiciye ulaşana kadar birçok alanda ele alınmış, sürekli farklı biçimlerde tanımlanarak ve gelişim göstermiştir (Topçu & Özlem, 2022). Günlük yaşantımızın her alanında ihtiyaç duyduğumuz kalite, yükseköğretim kurumlarında da önem kazanan bir kavram haline gelmiştir. Günümüzde yapılan kalite tanımlarından en kapsamlısı kaliteyi mükemmellik yolcuğu olarak ifade etmiş olsa da, kalite kavramı müşterilerin görmeden tanımlayamayacağı bir kavramdır (Goetsch & Davis, 2000). Geçmişte kalite sadece bir sonuç olarak

[1] Öğr. Gör., Trabzon Üniversitesi, Kalite Koordinatörlüğü, Orcid: 0000-0002-7278-0689
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-7847-3439
[3] Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0003-0625-3140

düşünülse de, artık bir yaşam tarzı olarak benimsenmektedir (Serin & Aytekin, 2009).

1960'lı yıllardan itibaren öğrenci sayılarının artması ve uluslararasılaşma politikalarının dikkate alınmasından dolayı yükseköğretim kurumlarından beklentiler artmıştır. Dolayısıyla devletin yükseköğretim kurumları için ayırdığı bütçe giderek artan bir boyut haline gelmiştir. Yükseköğretim kurumlarında kalitenin gelişmesine yönelik çalışmalar 1980'li yıllardan itibaren hız kazanmıştır (Soyer & Güler, 2021).

Günümüzde birçok alanda olduğu gibi yükseköğretim kurumlarında da rekabet koşulları ve performans düzeyi oldukça önemli bir hale gelmiştir. Yükseköğretim kurumlarının amacı öğrencileri iyi bir geleceğe hazırlayıp, nitelikli bireyler yetiştirmektir (Petruta & Roxana, 2014).

Yükseköğretim kurumları, refah seviyesinin, rekabetin ve ekonominin arkasındaki temel güçlerden biridir. Yükseköğretim kurumlarının kendini geliştirebilmesi ve rekabet koşullarına ayak uydurabilmesi için hizmet kalitesi oldukça önemlidir. İyi hizmetler sunması, hem mevcut hem de mezunların memnuniyet düzeyini arttırmakta ve kuruma daha fazla öğrenci çekebilmeyi sağlamaktadır (Weber, 2003; Karadağ, 2022).

Toplumda ve teknolojide meydana gelen hızlı değişmeler, yükseköğretim kurumlarının bölgesel yeniliğe katkıda bulunmayı, özel sektörle ortak faaliyette bulunmayı ve teknoloji transferi gibi çeşitli konulara odaklanmayı gerektirmiştir (Fromhold-Eisebith & Werker, 2013).

Yükseköğretim kurumlarının performansı, memnun etme düzeyiyle ölçülebilir. Bu kurumlarda çoğunlukla öğrenci memnuniyeti dikkate alınmakta olup, iç ve dış paydaşların da memnuniyeti göz ardı edilmemelidir (Yüksel et al., 2018).

Çalışmanın amacı yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesine etki eden kriterlerin araştırılması ve bu kriterlerin ağırlıklarının SWARA yöntemi ile belirlenmesidir.

Yükseköğretimde Kalite

Kalite kavramının yükseköğretimlerde karşılığının ne olduğu konusunda birçok farklı görüş bulunsa da, kurumların bütünsel olarak değerlendirilmesi ve bu süreçlerin izlenmesi kalite güvencesi olarak tanımlanmıştır (Işık & Beykoz, 2018). Üniversiteler için kalite; öğrencilerden öğretim üyelerine, kayıt birimlerinden kütüphaneye kadar pek çok farklı birimi içerdiği için karmaşık bir yapıya sahiptir (Davis, 2017).

Yükseköğretim hizmetleri hızla değişen dünyada artan rekabet koşulları, kurumların başarısını arttırma isteği kalite faktörünün öne çıkmasında etkili olmuştur. Bu nedenle üniversiteler kalite güvence sistemleri oluşturarak paydaşların memnuniyetini sağlamayı ve beklentilerini karşılamayı hedeflemişlerdir (Derdiyok, 2019).

Yükseköğretimde kalite kavramı esas olarak öğrenciler, öğretmenler ve kurulan öğrenme ortamı arasındaki ilişkinin bir sonucudur. Yükseköğretimde kalite güvencesi, program içerikleri, programda yer alan öğrenme fırsatları ve kurumların oluşum amacına uyan bir öğrenme ortamı oluşturmalıdır (ESG, 2015). Yükseköğretim kurumlarında son zamanlarda oldukça önemli bir kavram haline gelen kalite güvence sistemi, kalite standartlarının karşılanıp karşılanmadığının sistematik olarak takip edilmesi olarak ifade edilmektedir (Özer et al., 2010). Yükseköğretim kurumları tüm birimleri için kalite bileşenlerini entegre bir şekilde uygulamalıdır. Bir kurumun tüm birimlerinde kalite sağlanmak isteniyorsa, parçalar bir bütün olarak ele alınmalıdır. Bir bileşenin eksikliği tüm sistemi etkileyebilmektedir (Arain et al., 2013).

Ülkemizde Yükseköğretim kurumlarında kalite güvence sisteminin sağlanmasındaki en önemli adımlardan biri YÖKAK'ın (Yükseköğretim Kalite Kurulu) kurulmuş olmasıdır. YÖKAK, Yükseköğretim kurumlarında kalite güvencesi sisteminin içselleştirilmesi ve kalitenin kurum kültürü haline gelmesine katkı sağlamak ve üniversitelerin kendi kalite güvence sistemlerinin farkında olmalarını sağlamak amacıyla kurulmuştur (YÖKAK, 2021; Uludağ et al., 2021).

Son yıllarda Türkiye'de YÖKAK tarafından kalite elçisi eğitimleriyle öğrenciler eğitilerek, kalite güvencesi sistemine katılımlarının sağlanması amaçlanmıştır (Elmas, 2021). Bir kurumun kalite güvence sistemi, kurumun belirli kalite standartlarını karşılayıp karşılamadığının belirlenmesini ve bu standartların değerlendirilmesini sağlayan süreçlerden oluşmaktadır (Özer et al., 2011).

Yükseköğretimde Eğitim Kalitesi

Teknolojinin de etkisiyle; bilginin önemli bir servet kaynağı haline gelmesi dünya ekonomisinde değişimler meydana getirmiştir. Bilgiye verilen önemin artmasıyla, yükseköğretim kurumlarında eğitim kavramı da bu değişimden nasibini almıştır (Gencel, 2001). Yükseköğretim kurumları; toplumun gelişmesinde bilgi önderliğini üstlenmektedir. Toplumun ilerlemesi ve kaliteli bir toplum olabilmesi için, bireylerin kaliteli eğitim veren kurumlardan mezun olması gerekmektedir (Meraler & Adıgüzel, 2012).

Eğitim, bireylerin yaşam kalitesi ve kariyer olanakları üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle; kişisel gelişim ve yoksulluğun üstesinden gelmede eğitimin rolü fazladır (World Bank Group, 2016). Eğitim aracılığıyla insani değerler korunarak gelecek nesillere aktarılabilir ve hem bireyin hem de toplumun mevcut durumu iyileştirilebilir (EC, 2020; OECD, 2019).

Bir ülkede yaşam standartlarının değişmesinde eğitimin rolü büyüktür. Eğitim işgücü verimliliği ve insan sermayesi ile doğrudan bağlantılı olduğu için bir ülkenin geleceğine katkıda bulunmaktadır (Churchill & Mishra, 2018).

Literatüre Genel Bakış ve Kaynakların Seçimi

Bu çalışmada literatür, SWARA yönteminin kullanıldığı çalışmalar ve yükseköğretimde eğitim kalitesini ele alan çalışmalar olmak üzere iki başlıkta incelenmiştir.

SWARA yönteminin kullanıldığı çalışmalar

Özbek & Erol (2018) çalışmalarında, yem sektöründe iş sağlığı ve güvenliğinde önemli 11 kriter belirlemişlerdir. Kriter ağırlıkları AHP ve SWARA yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, işverenlerin iş sağlığı ve güvenliği konusunda hangi kriterlere önem vermeleri gerektiği belirlenmiştir. Her iki yöntemin sonuçları kıyaslanmış ve benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Gümüş & Öziç (2018) çalışmalarında, inşaat sektöründe olan işletmelerin finansal performans kriterlerinin hesaplanmasında AHP ve SWARA yöntemi kullanılmıştır. İki yöntemin de sonuçları kıyaslandığında ağırlık sıralamaların birbirine benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Görener & Alişarlı (2021) çalışmalarında, tedarik zincirinde önemli bir konuma sahip olan tedarikçilerin performans değerlendirilmesinde kullanılan kriterleri SWARA yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Altı ana kriter ve on dokuz alt kriter belirlenerek SWARA yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

Argun & Kaya (2022) çalışmalarında, bir tedarik zincirinin performansına etki eden kriterlerin belirlenmesi için uzman görüşlerine başvurmuşlardır. Tedarik zinciri performansına etki eden

ana ve alt kriterler AHP VE SWARA yöntemleriyle önem düzeylerine göre sıralanarak yorumlanmıştır.

Arıkan & Öztürk (2022) çalışmalarında, belediyelerde çalışacak sürücülerin seçiminde etkili olan kriterlerin ağırlıklarını AHP ve SWARA yöntemleriyle belirlemişlerdir. Bu iki yöntemin de sonuçları kıyaslanarak tutarlılıkları incelenmiştir. Yöntemlerin sonuçları kıyaslandığında kriter ağırlıklarının örtüştüğü ve sonuçların tutarlı olduğu belirlenmiştir.

Babacan & Tuncay (2022) çalışmalarında, enerji sektöründe finansal boyutunu ortaya koymayı amaçlamışlardır. Çalışmada enerji sektöründe olan 8 şirket için finansal performans ve çalışma düzeyi arasındaki ilişki AHP, SWARA ve TOPSİS yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Üç ayrı yöntemin sonuçları incelendiğinde, seçilen yönteme göre sonuçların değişkenlik gösterdiği analiz edilmiştir.

Arslan (2023) çalışmasında, enerji nakil sektörü ele alınarak en uygun kablo türünün seçilmesi amaçlanmıştır. İşletmelerin en uygun kablo seçimi yapabilmesi için AHP-SWARA hibrit yaklaşımı kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları SWARA yöntemi ile belirlenmiş, alternatif seçimi AHP yöntemi ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan analizlere göre işletmeler için en uygun kablonun solar kablo olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak SWARA yönteminin literatürde, İş sağlığı ve güvenliği, finansal performans, tedarikçi performansı ve enerji sektörü gibi pek çok alanda uzman görüşüne dayanarak kriterlerin ağırlıklarının hesaplanarak önem sırasına konulmasında kullanıldığı görülmektedir.

Yükseköğretimde eğitim kalitesi ile ilgili yapılan çalışmalar

Çavdar (2009) çalışmasında, yükseköğretimde hizmet kalitesi unsurlarının önem düzeylerinin belirlenmesi için öğrencilere

anket uygulamıştır. Anket sonuçları SPSS paket programıyla analiz edilmiştir. Belirlenen kalite unsurlarının yükseköğretimi değerlendirmede yetersiz olduğu ve yeni bir sınıflandırma yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tsinidou et al., (2010) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesine etki eden kriterleri belirleyerek AHP yöntemi ile bu kriterleri değerlendirmişlerdir. Öğrencilere yapılan anketler sonucunda eğitim kalitesine etki eden kriterlerin göreceli önem düzeyleri AHP yönteminde kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Min & Khoon (2014) çalışmalarında, yükseköğretimde hizmet kalitesinin belirlenmesinde etkili olan demografik faktörlerin belirlenmesini amaçlamışlardır. 263 uluslararası öğrenciden alınan verilere Yapısal Eşitlik Modeli uygulanmıştır. Çalışma sonucunda demografik faktörlerin hizmet kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Maksüdünov et al., (2016) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarında hizmet kalitesinin boyutlarının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Hizmet kalitesinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar incelenerek, SERVQUAL ve SERVPERF ölçme araçlarının kullanılması önerilmiştir.

Yacan (2016) çalışmasında, yükseköğretimde eğitim kalitesine etki eden kriter ağırlıklarını araştırmak amacıyla işletme bölümü öğrencilerine anket uygulamıştır. Bu anketlerle belirlenen kriter ağırlıkları Bulanık AHP metodu ile değerlendirilmiştir. Sonrasında akademisyenlere anket uygulanarak belirlenen 9 devlet üniversitesi Bulanık TOPSİS metoduyla değerlendirilmiştir.

Yüksel et al., (2018) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarının memnuniyetini ve buna etki eden faktörleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda edinilen bilgiye göre; yükseköğretim kurumlarının memnuniyet düzeyinin arttırılması için

hem öğrencilerin hem de tüm paydaşların beklentilerinin dikkate alınması ve alınacak kararlarda tüm paydaşların gözetilmesi gerekmektedir.

Ekinci et al., (2022) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarının hükümet ile birlikte strateji seçiminde çok kriterli karar verme tabanlı bir oyun teorisi yaklaşımı kullanmışlardır. Çalışma sonucunda hükümetin yükseköğretim kurumlarının kalitesi yüksek çalışmalar yapmasını desteklediği tespit edilmiştir.

Petrudi et al., (2022) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarının performans göstergelerini kapsamlı bir şekilde inceleyerek, performans ölçümünde bulanık delphi ve en iyi en kötü (BWM) yöntemini kullanmışlardır. Eğitim ve insan sermayesinin en iyi kriterler olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca en kritik performans göstergelerinin patent ve icat sayısı, öğretim üyesi / öğrenci oranı ve öğrencilerin memnuniyeti olduğu tespit edilmiştir.

Mei et al., (2023) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarının dijital teknolojileri kullanmasının önemini ve gelecekteki iş gücü nitelikleri üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Çalışmada belirlenen katılımcı grubuna 50 sorudan oluşan anket uygulanmıştır. Sonuç olarak, gelecekteki iş gücünün yeterliliklerinin üzerinde yükseköğretimlerde dijital teknolojilerin kullanılmasının önemli olduğu belirtilmiştir.

Do et al., (2024) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarında öğretim görevlilerinin performanslarının değerlendirilmesinde bulanık AHP ve bulanık TOPSİS yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Çalışmanın yükseköğretim kurumlarında yer alan yöneticilerin eğitim kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Uludağ & Doğan (2025) çalışmalarında, yükseköğretim kurumlarında eğitim ve öğretim hizmetlerinin kalitesinin geliştirilmesinde kalite yayılım fonksiyonlarının kullanımını

incelemişlerdir. Bir devlet üniversitesinde seçilen fakültede uygulama yapılmıştır.

Özdem et al., (2026) çalışmalarında, bir devlet üniversitesinde 686 öğrenciden anket yoluyla veri toplayarak, üniversite öğrencilerinin eğitim kalitesi algısının belirlenmesi amaçlamışlardır. Çalışmada hipotezlerin test edilmesinde tek yönlü varyans analizi ve t-testi kullanılmıştır.

Genel olarak Yükseköğretimde eğitim kalitesi ile ilgili yapılan çalışmalar, memnuniyet anketleri, kalite güvence sistemleri üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Yöntem

Çalışmanın temel amacı çok kriterli karar verme tekniğini kullanarak yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesine etki eden faktörlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesidir. Sistematik bir karar verme yaklaşımı olan SWARA uzman görüşlerinin etkili bir biçimde entegre edilmesi ve basitleştirilmiş hesaplama sürecine sahip olduğu için tercih edilmiştir (Singer & Özşahin, 2025).

SWARA Yöntemi

SWARA'nın açılımı "Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis" şeklindedir. Türkçe açılımı ise "Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi" olarak çevrilmiştir. Bu yöntem Kersuliene, Zavadskas ve Turskis tarafından geliştirilmiştir (Özbek, 2017). 2010 yılında geliştirilen SWARA Yöntemi'nin işlem adımları aşağıdaki gibidir (Stanujkic et al., 2015).

Adım 1: Uzmanlar kriterleri önem sırasına göre en önemliden başlayarak azalan düzende sıralar.

Adım 2: Her bir kriter için göreli önem düzeyi ikinci kriterden başlanarak belirlenir. Bunun için*, j.* kriter*, j-1.*kriterle kıyaslanarak; *j.* kriterin *j-1.* kritere göre ne kadar önemli olduğu

belirlenir. Bu değer tarafından "ortalama değerin karşılaştırmalı önemi" olarak adlandırılmıştır (Kersuliene et al., 2010). Simgesel olarak "*sj*" ile gösterilmiştir.

Adım 3: Her bir karar verici için *kj* katsayısı Eşitlik 1.'deki gibi hesaplanır.

$$kj = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ Sj + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 4: Her bir karar verici için *qj* değişkeni Eşitlik 2.'deki gibi hesaplanır.

$$qj = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ qj - 1/kj & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5: Kriterlerin göreceli ağırlıkları Eşitlik 3.'teki gibi hesaplanır.

$$wj = qj \,/\, \sum_{k=1}^{n} qk \quad (3)$$

Bu çalışmada, yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesine etki eden kriterler için literatür araştırması yapılmıştır. Bu kriterler belirlenirken Serin & Aytekin (2009)'in çalışmasında ele alınan kriterler, Tsinidou et al., (2010) çalışmasında belirlenen kriterler ve Yacan (2016) çalışmasında kullanılan kriterler dikkate alınmıştır. Literatürde yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesine etki eden kriterlerin belirlenmesine ve değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmaların sayısı az olduğu için, kriterler belirlenirken bu çalışmalar dikkate alınmıştır. Belirlenen ana kriterler; müfredat yapısı (K1), kariyer olanakları (K2), konum ve altyapı (K3), akademik personel (K4), idari hizmetler (K5), kütüphane hizmetleri (K6) ve aktivitelerdir (K7). Ana kriterlerin altında yer alan alt kriterler; eğitim materyalleri (K11), derslerin yapısı ve dağılımı (K12), ders ve sınav programı (K13), yurtdışı imkanları (K21), lisansüstü programları (K22), istihdam fırsatları (K23), kantin ve yemek hizmetleri (K31), konum ve ulaşım imkanları (K32),

konaklama hizmetleri (K33), akademik özellikler (K41), mesleki tecrübe (K42), iletişim becerileri (K43), bilgi işlem desteği (K51), iletişim araçları (K52), hızlı hizmet verme (K53), kaynak kitaplar ve dergiler (K61), ödünç verme sistemi (K62), e-kütüphane (K63), sosyal ve kültürel faaliyetler (K71), bilimsel faaliyetler (K72) ve sportif faaliyetlerdir (K73). Ana ve alt kriterlerin hiyerarşik yapısı Şekil 1'deki gibidir.

Şekil 1. Yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesine etki eden kriterler



Yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesine etki eden kriterler belirlendikten sonra, bu kriterlerin değerlendirilmesi çok kriterli karar verme yöntemlerinden SWARA ile yapılmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin amacı uzman karar vericilerle birlikte çalışmaya uygun olması ve katılımcıların düşüncelerini özgürce ifade edebilmesidir (Kersuliene et al., 2010; Stanujkic, 2015). Uzman karar verici olarak bir devlet üniversitesinde kalite çalışmalarında yer almış beş öğretim üyesi belirlenerek bu öğretim üyeleriyle yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmeler sonucunda kriterler sıralanmış ve önem dereceleri belirlenmiştir.

Bulgular

Yedi ana kriter, kendi bilgi ve deneyimlerinden yola çıkan beş uzman karar verici tarafından önem düzeylerine göre 1-7 arasında sıralanmıştır. Kriterler uzman karar vericiler tarafından sıralandıktan sonra önem dereceleri 0 ile 1 arasında puanlanmıştır. Sonrasında SWARA yönteminin işlem adımları kullanılarak her bir karar verici için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Eşitlik 1., Eşitlik 2. ve Eşitlik 3.'te verilen formüller kullanılmıştır. Birinci karar verici (KV1) için yapılan hesaplamalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ana Kriterlerin birinci karar verici için değerlendirilmesi

1. Karar Verici Değerlendirmesi ve Parametrelerin Hesaplanması					
Ölçüt Adı	Önem Sırası	*sj*	*kj*	*qj*	w*j*
Akademik Personel (K4)	1		1.00	1.00	0.20
Kariyer Olanakları (K2)	2	0.15	1.15	0.87	0.18
Konum ve Altyapı (K3)	3	0.05	1.05	0.83	0.17
Müfredat Yapısı (K1)	4	0.10	1.10	0.75	0.15
Kütüphane Hizmetleri (K6)	5	0.30	1.30	0.58	0.12
Aktiviteler (K7)	6	0.15	1.15	0.50	0.10
İdari Hizmetler (K5)	7	0.20	1.20	0.42	0.08

Aynı işlemler tekrarlanarak her bir karar verici için ayrı ayrı kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan kriter ağırlıklarının geometrik ortalaması (GO) alınarak nihai kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Nihai kriter ağırlıkları Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. Nihai kriter ağırlığının hesaplanması

Nihai Kriter Ağırlığının Hesaplanması							
Ölçüt Adı	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	GO	Sıralama
Müfredat Yapısı (K1)	0.15	0.17	0.13	0.12	0.15	0.14	4
Kariyer Olanakları (K2)	0.18	0.15	0.24	0.17	0.17	0.18	2
Konum ve Altyapı (K3)	0.17	0.14	0.15	0.23	0.14	0.16	3
Akademik Personel (K4)	0.20	0.20	0.18	0.21	0.21	0.20	1
İdari Hizmetler (K5)	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.09	7
Kütüphane Hizmetleri (K6)	0.12	0.11	0.09	0.09	0.11	0.10	6
Aktiviteler (K7)	0.10	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11	5

Tablo 3. Tüm kriterlere ait global ağırlık hesabı

Kriter No.	Ana ve Alt Kriterler	w*j*	Ana Kriter Ağırlığı	Global Ağırlık
K1	Müfredat Yapısı			
K11	Eğitim Materyalleri	0.33	0.14	0.05
K12	Derslerin Yapısı ve Dağılımı	0.36	0.14	0.05
K13	Ders ve Sınav Programı	0.30	0.14	0.04
K2	Kariyer Olanakları			
K21	Yurtdışı İmkanları	0.34	0.18	0.06
K22	Lisansüstü Programları	0.31	0.18	0.06
K23	İstihdam Fırsatları	0.33	0.18	0.06
K3	Konum ve Altyapı			
K31	Kantin ve Yemek Hizmetleri	0.34	0.16	0.06
K32	Konum ve Ulaşım İmkanları	0.32	0.16	0.05
K33	Konaklama Hizmetleri	0.33	0.16	0.05
K4	Akademik Personel			
K41	Akademik Özellikler	0.34	0.20	0.07
K42	Mesleki Tecrübe	0.33	0.20	0.07
K43	İletişim Becerileri	0.31	0.20	0.06
K5	İdari Hizmetler			
K51	Bilgi İşlem Desteği	0.31	0.09	0.03

K52	İletişim Araçları	0.32	0.09	0.03
K53	Hızlı Hizmet Verme	0.36	0.09	0.03
K6	Kütüphane Hizmetleri			
K61	Kaynak Kitaplar ve Dergiler	0.34	0.11	0.04
K62	Ödünç Verme Sistemi	0.36	0.11	0.04
K63	E-Kütüphane	0.29	0.11	0.03
K7	Aktiviteler			
K71	Sosyal ve Kültürel Faaliyetler	0.35	0.11	0.04
K72	Bilimsel Faaliyetler	0.33	0.11	0.04
K73	Sportif Faaliyetler	0.31	0.11	0.03

Yapılan global ağırlık hesaplanmasına göre ağırlığı en fazla olan alt kriterlerin akademik özellikler (K41), mesleki tecrübe (K42), iletişim becerileri (K43), kantin ve yemek hizmetleri (K31), lisansüstü programları (K22), yurtdışı imkanları (K21) ve istihdam fırsatları (K23) olduğu tespit edilmiştir. Ağırlığı en az olan alt kriterler ise; sportif faaliyetler (K73), e-kütüphane (K63), bilgi işlem desteği (K51), iletişim araçları (K52) ve hızlı hizmet vermedir (K53).

Sonuç

Yükseköğretim kurumları varlıklarını devam ettirebilmek için eğitim kalitesini arttırmaya ihtiyaç duymaktadır. Eğitim kalitesi soyut bir kavram olduğu için kriterlerinin belirlenmesi güçtür. Bu çalışmada, yükseköğretim kurumlarında eğitim kalitesini ele alan çalışmalar incelenerek 7 ana 21 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması ve sıralanması için SWARA yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemin seçilmesinin sebebi uzman karar vericilerle çalışmaya elverişli olmasıdır.

Kriterlerin sıralanması ve önem derecelerinin belirlenmesi için beş uzman karar vericinin görüşü alınmıştır. Sonrasında

SWARA yönteminin işlem adımları uygulanarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre en önemli ana kriterin akademik personel olduğu tespit edilmiştir. İkinci sırada yer alan kriter kariyer olanakları, üçüncü sırada yer alan kriter ise konum ve alt yapı olmuştur.

Ana kriter ağırlıklarıyla alt kriter ağırlıkları çarpılarak alt kriterler için global ağırlıklar belirlenmiştir. Hesaplanan global ağırlıklara göre, en önemli alt kriterin akademik özellikler ve mesleki tecrübe olduğu tespit edilmiştir.

Yükseköğretim kurumları sürekli gelişen rekabet koşullarıyla mücadele etmek için, tespit edilen kriterlerin iyileştirilmesine önem vererek eğitim kalitesinin arttırılmasına katkı sağlayabilir.

Kaynakça/References

Arain, A. A., Hussain Jafri, I., Ashraf, I., & Ali, H. (2013). Expansion of quality assurance mechanism in south Asian higher education system: an empirical analysis. *Journal of Education and Practice, 5(4),* 55–70. https://tinyurl.com/yc745u4a

Arıkan, Ö. U., & Öztürk, E. (2022). Belediyelerin Otobüs Sürücülerinin İstihdam Kriterlerinin AHP ve SWARA Yöntemleri ile Belirlenmesi: Mersin Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 13(36),* 1186-1207. https://doi.org/10.21076/vizyoner.1098247

Arıkan, Ö. U., & Öztürk, E. (2022). Belediyelerin Otobüs Sürücülerinin İstihdam Kriterlerinin AHP ve SWARA Yöntemleri ile Belirlenmesi: Mersin Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 13(36), 1186-1207.* https://doi.org/10.21076/vizyoner.1098247

Arslan, H. M. (2023). Enerji Nakil Sektöründe SWARA-AHP Hibrit Yaklaşımı ile En Uygun Kablo Türünün Belirlenmesi. Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8(2), 310-321. https://doi.org/10.29106/fesa.1278679

Babacan, A., & Tuncay, M. (2022). Türk enerji sektöründe çalışma sermayesi ve finansal performans arasındaki etkileşim: SWARA, AHP ve TOPSIS yöntemleriyle karşılaştırmalı bir araştırma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9*(3), 1976–2005. https://doi.org/10.30798/makuiibf.1097378

Churchill, S. A., & Mishra, V. (2018). Returns to education in China: A meta-analysis. *Applied Economics, 50*(54), 5903–5919. https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1488074

Davis, M. B. (2017). *Personnel perceptions of Six Sigma as a preparation tool for facilitating change: A case study*. Doctoral

dissertation, The University of Alabama. https://ir.ua.edu/items/3ded6e84-7d03-4121-9456-7b138162ae74

Derdiyok, T. (2019). Üniversitelerde kalite güvence sistemi kapsamında PUKÖ yönetim döngüsü uygulamasında bir model önerisi. *Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8*(15), 173–198. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ufuksbedergi/article/815068

Do, Q. H., Tran, V. T., & Tran, T. T. (2024). Evaluating lecturer performance in Vietnam: An application of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Heliyon, 10*(11), e30772. 10.1016/j.heliyon.2024.e30772

Düzdar Argun, I. D. & Kaya, D. (2022). Supply Chain Management Performance Factors Evaluation with Analytical Hierarchy Process (AHP) and SWARA. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (36),* 36-40. https://doi.org/10.31590/ejosat.1099008

Elmas, M. (2021). Why student participation in quality assurance matters. University World News. https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20210405090729 49

Ekinci, Y., Orbay, B. Z., & Karadayi, M. A. (2022). A MCDM-based game-theoretic approach for strategy selection in higher education. *Socio-Economic Planning Sciences, 81*, 101186. 10.1016/j.seps.2021.101186

ESG, (2015). Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area. https://www.enqa.eu/wp-content/uploads/2015/11/ESG_2015.pdf

European Council, & European Commission. (2015). Joint report of the Council and the Commission on the implementation of the strategic framework for European cooperation in education and training (ET 2020): New priorities for European cooperation in

education and training. *Official Journal of the European Union, C 417,* 25–35. https://tinyurl.com/yprd62sh

Fromhold-Eisebith, M., & Werker, C. (2013). Universities' functions in knowledge transfer: A geographical perspective. *The Annals of Regional Science, 51*(3), 621–643. https://doi.org/10.1007/s00168-013-0559-z

Gencel, U. (2001). Yükseköğretim hizmetlerinde toplam kalite yönetimi ve akreditasyon. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3*(3), 164–218. https://tinyurl.com/45hpzk4r

Goetsch, D. L., & Davis, S. B. (2000). *Quality management: Introduction to total quality management for production, processing, and services* (3rd ed.). Prentice Hall.

Hargrove, S. K., & Burge, L. (2002). Developing a Six Sigma methodology for improving retention in engineering education. *Frontiers in Education Conference, 3*, S3C-20–S3C-24. https://doi.org/10.1109/FIE.2002.1158694

Görener, A., & Alişarlı, E. (2021). SWARA Metodu ile Kriter Önceliklendirme: Tedarikçi Performansının Değerlendirilmesi. *Working Paper Series, 2*(2), 32–39. https://doi.org/10.5281/zenodo.4958588

Işık, S., & Beykoz, S. Y. (2018). Türk yükseköğretiminde yeni bir arayış: Kalite güvence sistemi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 20*(3), 7–22. https://doi.org/10.21180/iibfdkastamonu.339245

Karadağ, H., Tosun, P., & Ayan, B. (2024). User-generated and brand-generated content as indicators of university brand personality and business strategy. *Journal of Marketing for Higher Education, 34*(2), 646–668. https://doi.org/10.1080/08841241.2022.2056281

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management, 11*(2), 243–258. https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12

Maksüdünov, A., Çavuş, Ş., & Eleren, A. (2016). Yüksek öğretimde öğrencilerin hizmet kalitesine yönelik algılamaları. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5*(4), 65–76. https://dergipark.org.tr/tr/pub/mjss/article/485472

Mei, L., Feng, X., & Cavallaro, F. (2023). Evaluate and identify the competencies of the future workforce for digital technologies implementation in higher education. *Journal of Innovation & Knowledge, 8*(4), 100445. https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100445

Meraler, S., & Adıgüzel, A. (2012). Eğitim fakültesi öğrencilerinin yükseköğretimde kaliteye ilişkin görüşlerinin belirlenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (9), 123–144. https://doi.org/10.14520/adyusbd.203

Min, S., & Khoon, C. C. (2014). Demographic factors in the evaluation of service quality in higher education: A structural equation model (SEM) approach. *International Journal of Marketing Studies, 6*(1), 90–102. https://doi.org/10.5539/ijms.v6n1p90

Organization for Economic Cooperation and Development, (2019). OECD Trends shaping education, https://doi.org/10.1787/trends_edu-2019-en

Özbek, A., & Eren, T. (2013). Multiple criteria decision making methods for selecting third party logistics firms: A literature review. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 31*(2), 178–202. https://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?lng=1&pdf=0014491

Özbek, A. (2017). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ve Excel ile problem çözümü*. Seçkin Yayıncılık. https://www.seckin.com.tr/kitap/805785267

Özbek, A., & Erol, E. (2018). AHS ve SWARA yöntemleri ile yem sektöründe iş sağlığı ve güvenliği kriterlerinin ağırlıklandırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 20*(2), 51–66. https://doi.org/10.33707/akuiibfd.451969

Özer, M., Gür, B. S., & Küçükcan, T. (2010). *Yükseköğretimde kalite güvencesi*. SETA Yayınları. https://tinyurl.com/mw3wy32m

Özer, M., Gür, B. S., & Küçükcan, T. (2011). Kalite güvencesi: Türkiye yükseköğretimi için stratejik tercihler. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi, 1*(2), 59–65. https://doi.org/10.5961/jhes.2011.009

Özdem, B., Yıldıran, C., & Çepni, E. (2026). Üniversite öğrencilerinin eğitim öğretim kalitesi algılarına yönelik bir çalışma. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi, 16*(2), 395–411. https://izlik.org/JA99TJ52KK

Öziç, H. C., & Gümüş U. T. (2018). Finansal performans değerlendirme kriterlerinin ağırlıkların hesaplanmasında AHP ve SWARA yöntemlerinin karşılaştırılması. *Social Mentality and Researcher Thinkers Journal (Smart Journal), 4(14),* 1324-1332. https://doi.org/10.31576/smryj.182

Petrudi, S. H. H., Ghomi, H., & Mazaheriasad, M. (2022). An Integrated Fuzzy Delphi and Best Worst Method (BWM) for performance measurement in higher education. *Decision Analytics Journal*, *4*, 100121. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100121

Petruta, P. A., & Roxana, S. (2014). Integrating Six Sigma with Quality Management Systems for The Development and Continuous Improvement of Higher Education Institutions. *Procedia - Social*

and Behavioral Sciences 143, 643 – 648. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.456

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research, 48(1),* 9-26. https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I

Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RWS Publications. https://books.google.com/books?id=nmtaAAAAYAAJ

Serin, H., & Aytekin, A. (2009). Yüksek öğretimde toplam kalite yönetimi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 11*(15), 83–93. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/300046

Singer, H., & Özşahin, Ş. (2025). A spherical fuzzy SWARA approach to identify and prioritize factors affecting the pyrolysis process. *Biomass and Bioenergy*, *202*, 108213. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108213

Soyer, B., & Güler, M. (2021). Yükseköğretimde yeniden yapılanma: Türk yükseköğretiminde kalite güvencesi sisteminin gelişimi. *Trakya Üniversitesi Kalite ve Strateji Yönetimi Dergisi, 1*(1), 45–89. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ksydergi/article/990878

Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Inzinerine Ekonomika–Engineering Economics, 26*(2), 181–187. https://doi.org/10.5755/j01.ee.26.2.8820

Topçu, E., & Özdem, G. (2022). Üniversite personelinin kalite süreçleri algısının incelenmesi: Giresun Üniversitesi örneği. *Trakya Eğitim Dergisi, 12*(3), 1750–1767. https://doi.org/10.24315/tred.1099526

Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications:

Some challenges. *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, 2*(1), 35–44. https://bit.csc.lsu.edu/trianta/Journal_PAPERS1/AHPapls1.pdf

Tsinidou, M., Gerogiannis, V., & Fitsilis, P. (2010). Evaluation of the factors that determine quality in higher education: An empirical study. *Quality Assurance in Education, 18*(3), 227–244. https://doi.org/10.1108/09684881011058669

Uludağ, A. S., & Doğan, H. (2025). Kalite fonksiyon yayılımı kullanılarak yükseköğretim kurumlarında eğitim öğretim hizmetlerinin kalitesinin geliştirilmesi. *Yükseköğretim Dergisi, 15*(1), 61–78. https://doi.org/10.53478/yuksekogretim.1250777

Uludağ, G., Bora, M., & Çatal, S. (2021). Türk yükseköğretiminde kalite güvencesi sistemi ve öğrenci katılımının önemi. *Kalite ve Strateji Yönetimi Dergisi, 1*(1), 91–111. https://izlik.org/JA98MA75RP

YÖKAK, (2022). 2021 Yükseköğretim Değerlendirme ve Kalite Güvencesi Durum Raporu. https://www.yokak.gov.tr/documents/StatusReports/DurumRaporu2021.pdf

Yacan, İ. (2016). *Eğitim kalitesinin belirlenmesinde etkili olan faktörlerin bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi*. Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi. https://gcris.pau.edu.tr/server/api/core/bitstreams/0bff8c19-6c22-453e-a6f1-27c4af1c3d47/content

Yüksel, C. A., Bilgen, İ., & Yaşbay Kobal, H. (2018). Yükseköğretim kurumlarında memnuniyet kavramı: Kuramsal bir derleme. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 7*(3), 1582–1591. https://doi.org/10.15869/itobiad.405334

Weber, L. E. (2003). *Justifying and methods of university evaluation: A European perspective.* In How to evaluate a university and for what purpose. https://www.rieti.go.jp/en/events/03022201/presentation/weber.pdf

World Bank Group. (2016). *Results in education for all children (REACH): Assessment of the pilot year*. World Bank. https://hdl.handle.net/10986/24022

BÖLÜM 2

ÜRETİMDE PLANLAMA–YÜRÜTME DÖNGÜSÜ VE KARAR SÜRESİ: BİR KESİKLİ OLAY BENZETİM MODELİ

KAMER ÖZGÜN[1]
ALİ TAMER ÜNAL[2]

Giriş

Üretim planlama ve kontrol sistemlerinde atölyeye giden plan çoğunlukla belirli aralıklarla tekrarlanan bir döngüyle hazırlanır. Bu döngü dört adımla tanımlanabilir (Özgün, 2012):

- Açık siparişler, atölyedeki işler ve kapasiteler gibi güncel veriler kurumsal kaynak planlama (ERP) sisteminden yüklenir.
- Bu veriyle bir plan hesaplanır.
- Plan planlamacı tarafından gözden geçirilip onaylanır.
- Onaylanan plan, üretim yürütme sistemi (MES) aracılığıyla atölyeye gönderilir.

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Antalya Bilim Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-7814-3058
[2] Doç. Dr., ICRON Teknolojileri, ORCID: 0000-0002-6417-745X

Kurumsal sistemlerle atölye sistemlerini düzeylere ayıran ISA-95 sınıflamasında ayrıntılı çizelgeleme ve dağıtım, iş planlamasının altında, üretim yönetimi düzeyinde yer alır. Siber-fiziksel üretim sistemlerinin bu iki işlevi atölyede birleştirmesi beklenmektedir (Rossit et al., 2019, s. 3807–3808). Döngünün ne zaman tetikleneceği ve farklı yeniden planlama politikalarının başarıma etkisi uzun süredir incelenmektedir (Aytug et al., 2005; Church & Uzsoy, 1992; Ouelhadj & Petrovic, 2009; Vieira et al., 2003). Daha yeni çalışmalar, yeniden planlama sıklığı gibi tasarım kararlarının sistem başarımını her adımda çözülen problemin kalitesi kadar etkilediğini göstermektedir (Gupta & Maravelias, 2016). Gerçek zamanlı verinin planlama stratejilerinin güncellenme sıklığını artırma olanağı da kesikli olay benzetimiyle incelenmektedir (Woschank et al., 2024). Güncel bir sistematik derleme, kesintilere yanıt olarak planları yeniden üretebilen ve uyarlayabilen çizelgeleme sistemlerini alanın başlıca gereksinimlerinden biri olarak öne çıkarmaktadır (Chorghe et al., 2025).

Yeniden planlama üzerine çalışmaların çoğu, planın hesaplanmasını ve onaylanmasını anlık kabul eder. Oysa veri hacmine, problemin yapısına ve onay sürecine bağlı olarak bir planın hazırlanması dakikalar, hatta saatler sürebilir. Bu sürede yeni siparişler gelir, işlemler tamamlanır; plan yayımlandığında dayandığı durum değişmiş olabilir. Bu çalışmada algoritmanın çalışması ile planın gözden geçirilip onaylanması tek bir süre olarak ele alınmakta ve *karar süresi* (δ) diye adlandırılmaktadır. Veri yükleme ve gönderim ise anlık kabul edilmektedir. Karar süresi, karar katmanında (planlama) üretilen planın yürütme katmanına (atölye) geç ulaşmasına, yani bir *karar gecikmesine* yol açar. Bir benzetim modelinde planlama algoritması yalnızca bir olayın içinde çağrılırsa, algoritma çalışırken benzetim saati durur ve karar süresi

kendiliğinden sıfır olur. Bu gecikmeyi incelemek için onu ayrıca temsil eden bir model gerekir.

Bu bölümde, Özgün (2012)'de geliştirilen kesikli olay benzetim modeli anlatılmaktadır. Model, karar süresinin dinamik bir tek makine sisteminin başarımına etkisini ve planlamanın iki birime bölündüğü dağıtık yapıda bilgi eşzamanlamanın rolünü incelemek için kurulmuştur. Bölüm sonuç içermez; modelin tasarımına ve uygulamasına odaklanır. Model, yazılımdan bağımsız bir tasarım olarak ve planlama–yürütme döngüsü çerçevesinde sunulmaktadır.

Bölümde sırasıyla karar ve yürütme katmanları, modelin yapısı, olay işleme mantığı, karar gecikmesinin temsili, nesne yapısı, deney altyapısı ve doğrulama anlatılmaktadır. Ardından simülatörle incelenebilecek sorular ele alınmakta ve modelleme varsayımları tartışılmaktadır.

Karar ve Yürütme Katmanları

Modellenen sistem, önünde sınırsız kapasiteli bir kuyruk bulunan tek bir makineden oluşur. İşler rassal zamanlarda gelir; ardışık iki varış arasındaki süre üstel dağılımlıdır. Her işe varışta bir termin tarihi d_j ve tahmini bir işlem süresi atanır. Makinede gerçekleşen işlem süresi p_j^R tahminden farklı olabilir; bu fark işlem süresi değişkenliğini temsil eder. Makine aynı anda tek iş işler ve başlamış bir iş kesilemez. Başarım, tamamlanan işlerin ortalama erken ve geç tamamlanma toplamıyla ölçülür. Bu ölçütte işin erken bitmesi de cezalandırılır. Bu yüzden bir işi hemen başlatmak her zaman en iyisi olmayabilir; makineyi bir süre bilerek boş bekletmek daha iyi sonuç verebilir.

Model iki katmandan oluşur. Karar katmanını *çizelgeleyici* temsil eder. Çizelgeleyici yeni bir iş geldiğinde ya da makinedeki iş bittiğinde tetiklenir, sistemin o anki durumunu alır, o anda sistemde bulunan işler için erken ve geç tamamlanma toplamını en küçüklemeyi amaçlayan bir plan hesaplar ve yayımlar. Bu işlem δ

zaman birimi sürer. Yürütme katmanını, atölyedeki MES terminalinin karşılığı olan *dağıtıcı* temsil eder. Dağıtıcı yayımlanmış son plana bakarak makinede bir iş başlatır ya da ilk işin zamanı gelmediyse bir uyandırma çağrısı kurar. Dağıtım anlık kabul edilir. Dağıtıcı yeni bir planın yayımlanmasıyla ya da kendi kurduğu uyandırmayla çalışır.

Karar beklenirken yürütme katmanının nasıl davranacağını bir *yanıt modu* belirler. Modelde üç mod tanımlıdır (Özgün, 2012). Anlık modda karar süresi sıfırdır. Meşgul modda çizelgeleyici karar verirken gelen tetiklemeleri yok sayar ve yeni plan yayımlanana kadar makinede iş başlatılmaz. Müsait modda çizelgeleyici yeni planı hazırlarken son planı yeniden yayımlar; yürütme bu eski planla sürer.

Modelin dağıtık sürümü, aynı kaynağı paylaşan ve birbirlerinin işlerini yalnızca dönemsel veri aktarımıyla öğrenen iki planlama birimini temsil eder. İşler A ve B olmak üzere iki türe ayrılır ve her tür kendi çizelgeleyicisi tarafından planlanır. Her çizelgeleyici kendi türündeki işleri anında görür. Diğer türün işlerini ise Ω zaman biriminde bir yapılan ve ω zaman birimi süren eşzamanlamayla öğrenir. Her plan, son eşzamanlama anında sistemde bulunan tüm işleri ve o andan sonra gelen kendi türündeki işleri kapsar. İki birim rakip değildir; amaçları ortaktır. Bu yapı, dağıtık çizelgeleme sistemlerinin modellenmesi üzerine önceki çalışmalarla aynı araştırma çizgisindedir (Kurşun, 2008; Kurşun et al., 2008).

Dağıtık sürümde yürütme katmanı tektir. Dağıtıcı her plandan bir aday alır: o planda henüz başlamamış ve planlanan başlama zamanı en erken olan işi. Uzlaştırma şu kurallarla yapılır:

- İki plan aynı işi öneriyorsa iş plandaki gibi uygulanır.
- Yalnızca bir planda iş varsa o plan izlenir.

- Adaylar farklıysa hemen başlaması gereken iş, bekleyebilecek işe üstün gelir.
- İki aday da bekleyebiliyorsa makine erken olan başlama zamanına kadar boş tutulur.
- İkisi de hemen başlamak zorundaysa biri eşit olasılıkla seçilir.

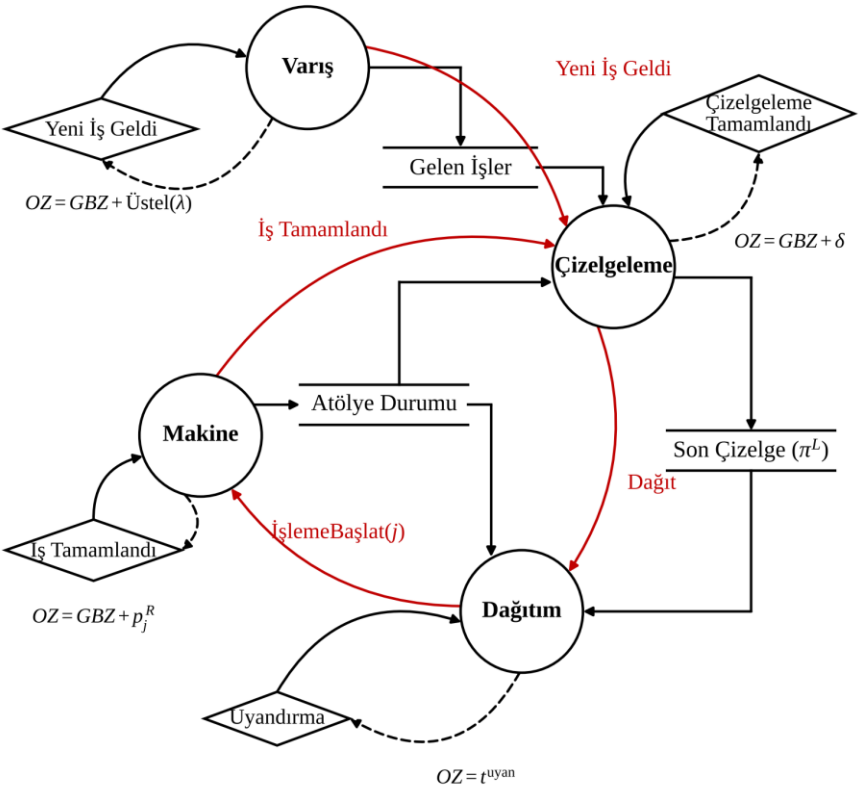
Dağıtıcı müzakere etmez, optimizasyon yapmaz ve iş havuzunu görmez. Tek bir makinenin gerektirdiği en küçük koordinasyon noktasıdır, merkezi bir planlayıcı değildir.

İki birim bilinçli olarak simetrik kurulmuştur: İşler iki türe eşit payla gelir, iki türün parametreleri aynıdır, eşzamanlama iki yönde aynı aralık ve süreyle yapılır ve uzlaştırma tarafsızdır. Bu temel durumda dağıtık sürümü merkezi sürümden ayıran başlıca fark, her birimin diğerinin işleri hakkındaki bilgisinin eskiliğidir.

Benzetim Modelinin Yapısı

Model, kesikli olay benzetimi yaklaşımıyla kurulmuştur. Bu yaklaşımda sistemin durumu yalnızca olayların gerçekleştiği anlarda değişir ve benzetim saati bir olaydan sonrakine atlar (Law, 2015). Modelin genel yapısı Şekil 1'deki veri akış diyagramında gösterilmiştir. Diyagramda süreçler daireyle, veri depoları iki paralel çizgiyle, benzetim olayları ise eşkenar dörtgenle gösterilmektedir. Şekilde OZ olay zamanını, GBZ güncel benzetim zamanını gösterir.

Şekil 1. Benzetim modelinin veri akış diyagramı



Kaynak: Özgün (2012)'den uyarlanmıştır.

Modelde dört süreç vardır. *Varış* süreci yeni işleri sisteme alır: İşin varış zamanını, tahmini ve gerçek işlem sürelerini ve termin tarihini belirler. Ardından işi Gelen İşler deposuna yazar ve bir sonraki varış olayını oluşturur. *Çizelgeleme* süreci karar katmanına karşılık gelir. Gelen İşler ve Atölye Durumu depolarını okuyarak o anda sistemde bulunan işleri belirler, bir plan üretir ve plan yayımlandığında onu Son Çizelge deposuna yazar. *Dağıtım* süreci yürütme katmanına karşılık gelir. Son Çizelge ve Atölye Durumu depolarını okuyarak makinede bir iş başlatır ya da bir uyandırma

çağrısı kurar. *Makine* süreci ise işlerin gerçek başlama ve bitiş zamanlarını Atölye Durumu deposuna kaydeder.

Diyagramda dört tür ok vardır:

- Siyah eğri oklar bir olayın bir süreci tetiklediğini gösterir.
- Kesikli oklar bir sürecin yeni bir olay oluşturduğunu gösterir.
- Kırmızı oklar komutlardır: Bir süreç, zaman geçmeden başka bir süreci doğrudan çalıştırır.
- Düz siyah oklar veri depolarına yazmayı ve depolardan okumayı gösterir.

Örneğin Varış süreci, işi sisteme aldıktan sonra Çizelgeleme sürecini bir komutla hemen tetikler. Makinede bir iş bittiğinde Makine süreci de Çizelgeleme sürecini aynı biçimde çalıştırır. Bu ayrım önemlidir: Olaylar benzetim saatini ilerletir, komutlar ise saati ilerletmeden süreçleri birbirine bağlar.

Modeldeki dört olay türü şunlardır:

- *Yeni İş Geldi*: Varış sürecini tetikler. Bir sonraki varış OZ = GBZ + Üstel(λ) zamanına planlanır.
- *İş Tamamlandı*: Makine sürecini tetikler. İş makinede başladığı anda OZ = GBZ + p_j^R zamanına planlanır.
- *Çizelgeleme Tamamlandı*: Karar gecikmesinin sonunu belirler. Plan üretimi başladığında OZ = GBZ + δ zamanına planlanır.
- *Uyandırma*: Dağıtıcının bir işi ileri bir zamanda başlatmak için kurduğu hatırlatmadır. Dağıtım sürecini tetikler ve OZ = t^{uyan} zamanına planlanır.

Bu olaylar uygulamada NEWJOB, OPERATIONCOMPLETED, SCHEDULINGCOMPLETED ve WAKEUPTODISPATCH kodlarıyla adlandırılmıştır.

Olay Listesi ve Zaman İlerletme

Benzetimin merkezinde bir olay listesi ve bir benzetim saati bulunur. Her olay bir olay zamanı ve bir tür kodu taşır. Ayrıca kendisinden sonra gelecek olayı, GBZ'ye pozitif bir süre ekleyerek kendisi oluşturur. Tek bir tekrar şu adımlarla yürür:

1. Benzetim nesnesini başlat; iş listesini, sayaçları ve istatistikleri sıfırla, rassal sayı üretecine tekrarın tohum değerini ver.
2. İlk Yeni İş Geldi olayını oluştur ve olay listesine ekle.
3. Olay listesinden en küçük olay zamanlı olayı seç.
4. Olay zamanı GBZ'den büyükse GBZ'yi bu zamana ilerlet.
5. Olayın türüne göre ilgili işleme algoritmasını çalıştır ve olayı listeden çıkar.
6. Tamamlanan iş sayısı hedefe ulaşmadıysa 3. adıma dön; ulaştıysa tekrarın istatistiklerini hesapla.

Uyandırma olayı ayrı bir kurala bağlıdır: Olay listesinde aynı anda en fazla bir uyandırma olayı bulunabilir. Dağıtıcı bir uyandırma beklerken başka bir nedenle tetiklenirse eski uyandırma listeden silinir. Dağıtıcı güncel duruma göre yeniden karar verir ve gerekirse yeni bir uyandırma kurar. Örneğin listede t_1 zamanlı bir uyandırmadan önce t_2 zamanlı bir varış olsun. Saat t_2'ye ilerlediğinde varış işlenir, çizelgeleyici tetiklenir ve yanıt moduna bağlı olarak dağıtıcı çalışır. Son plan değiştiyse eski uyandırmanın anlamı kalmaz. Değişmediyse aynı t_1 zamanı için uyandırma yeniden kurulur. Bu kural, dağıtıcının her zaman elindeki en güncel plana göre karar vermesini sağlar.

Komutlar aynı benzetim anında art arda çalışır. Anlık modda tek bir varış olayıyla iş sisteme alınır, yeni plan üretilip yayımlanır ve makine boşsa bir iş başlatılır. Karar süresi sıfırdan büyük olduğunda bu zincir Çizelgeleme Tamamlandı olayıyla ikiye bölünür.

Karar Gecikmesinin Temsili

Karar gecikmesi, çizelgeleme işinin iki ardışık adıma ayrılmasıyla modellenir: plan üretimi ve plan yayımlama.

- **Plan üretimi:** Çizelgeleyici bir tetikleme aldığında başlar. Çizelgeleyici, Gelen İşler deposundan o ana kadar gelmiş işleri, Atölye Durumu deposundan da bu işlerin gerçekleşen başlama ve bitiş zamanlarını okur. Ardından GBZ anında sistemde bulunan işler için planı hesaplar. Hesaplanan zamanlar işlerin geçici alanlarına yazılır; dağıtıcı bu alanları görmez. Son olarak GBZ + δ zamanlı bir Çizelgeleme Tamamlandı olayı oluşturulur.
- **Plan yayımlama:** Bu olay işlendiğinde başlar. Geçici alanlardaki zamanlar, dağıtıcının okuduğu yayımlanmış alanlara kopyalanır ve dağıtıcı tetiklenir.

Çizelgeleme algoritması benzetimin içinde tek bir anda çalışır; karar süresini δ parametresi belirler. Bu seçimin iki yararı vardır. Birincisi, karar süresi deney tasarımında kontrol edilebilen bir parametre olur ve aynı algoritma farklı δ değerleriyle denenebilir. İkincisi, benzetim sonuçları kullanılan bilgisayarın hızından etkilenmez ve tekrarlanabilir kalır. Plan, plan üretiminin başladığı andaki sistem durumuna dayandığından δ süresince gelen işler bu planda yer almaz; yürütme katmanına ancak sonraki bir planla ulaşır.

Yanıt modları, yayımlanmış son planın üretim sırasında nasıl ele alındığıyla temsil edilir:

- *Anlık mod*: Çizelgeleme Tamamlandı olayı oluşturulmaz; plan üretimi ve yayımlama aynı anda yapılır.
- *Meşgul mod*: Plan üretimi başlarken Son Çizelge deposu boşaltılır; dağıtıcının elinde plan kalmaz.
- *Müsait mod*: Son Çizelge deposu korunur. Plan üretimi sürerken gelen tetiklemeler dağıtıcıyı eski planla çalıştırır.

Uygulamada bu ayrım, her iş nesnesinde iki ayrı zaman çifti tutularak sağlanır. Bunlar, plan üretiminde kullanılan geçici başlama ve bitiş zamanları ile dağıtıcının gördüğü yayımlanmış başlama ve bitiş zamanlarıdır. Çizelgeleyicinin plan üretip üretmediği tek bir durum değişkeniyle izlenir.

Dağıtıcı, makineyi boş bıraktığı her durumda boşluğun nedenini de kaydeder. Modelde makine zamanı dört duruma ayrılır: işlemde (P), zorunlu boşluk (FI), kuyruk boşluğu (QI) ve karar boşluğu (DI) (Özgün, 2012).

- Dağıtıcı bir iş başlattığında P durumu başlar.
- Plandaki ilk işin zamanı henüz gelmediği için uyandırma kurduğunda FI durumu başlar.
- Planda başlatılacak iş kalmadığında iki ihtimal vardır: Çizelgeleyici o sırada yeni plan üretiyorsa boşluk DI, üretmiyorsa QI sayılır.

Her durum değişikliğinde önceki durumun süresi biriktirilir. Böylece karar gecikmesinin makinede yarattığı boşluk, diğer boşluk türlerinden ayrı olarak ölçülebilir.

Nesne Yapısı ve Uygulama

Model, ICRON planlama ve eniyileme yazılımında SFSim adlı bir benzetim modeli olarak uygulanmıştır. Yazılımın GSAMS

adlı nesne yönelimli görsel algoritma modelleme aracı, algoritmaların sürükle-bırak düğümlerle akış şeması biçiminde kurulmasına olanak verir. Eniyileme problemleri yazılımın içerdiği CPLEX çözücüsüyle çözülmüştür. Merkezi ve dağıtık benzetim aynı model üzerinde kurulmuştur: Ortak sınıflar bir kez tanımlanmış, farklılık gösteren algoritmalar sürüme göre yeniden yazılmıştır. Modelin sınıfları şunlardır:

- *Olay (Event)*: Tüm olaylar bu temel sınıftan türetilir. Her olay bir zaman, bir tür kodu ve benzetim nesnesine bir bağlantı taşır. Temel sınıfın işleme algoritması, olayın türüne göre ilgili alt sınıfın algoritmasını çağırır.
- *İş (Job)*: Sıra numarası, tahmini ve gerçek işlem süresi, varış zamanı, termin tarihi, gerçek başlama ve bitiş zamanları ile geçici ve yayımlanmış plan zamanlarını taşır.
- *Politika (PolicyType)*: Yanıt modunu, karar süresini ve çizelgeleme algoritmasını tanımlar. Dağıtık sürümde eşzamanlama aralığı Ω ve süresi ω eklenir.
- *Problem türü (ProblemType)*: Ortalama varışlar arası süreyi, makine doluluk oranını, işlem süresi değişkenliğini, acil iş oranını ve termin tarihi sıkılığını tanımlar.
- *Problem ayarları (ProblemSetting)*: Gelecek ve tamamlanacak iş sayısını, tekrar sayısını, istatistik dışı bırakılacak ilk iş sayısını ve erken ile geç tamamlanma ağırlıklarını tutar.
- *Benzetim (Simulator)*: Benzetim saatini, olay ve iş listelerini, makinedeki işi, etkin politika ve problem türünü, sayaçları ve tohum değerini tutar. Olay

oluşturma, çizelgeleme ve dağıtım algoritmaları bu sınıfta tanımlıdır.

Çizelgeleme algoritması değiştirilebilir bir bileşendir. En iyi çözüm, tek makine erken/geç tamamlanma problemi için kurulan bir karma tamsayılı doğrusal programla elde edilir. Sezgisel seçenekte ise işler rassal bir sıraya dizilir ve bu sıra için boşlukları en iyi biçimde yerleştiren bir doğrusal program çözülür. İki algoritma da aynı biçimde çağrılır ve aynı geçici plan alanlarını doldurur.

Dağıtık sürüm, aynı sınıflara birkaç öznitelik eklenerek elde edilmiştir:

- İş nesnesi türünü (A ya da B) ve her çizelgeleyici için ayrı geçici ve yayımlanmış zaman alanlarını taşır. Tür, iş oluşturulurken eşit olasılıkla atanır.
- Benzetim nesnesi, iki çizelgeleyicinin plan üretim durumunu ayrı değişkenlerle izler ve son eşzamanlama zamanını hesaplayan bir ifade içerir.
- Yeni İş Geldi olayı yalnızca ilgili türün çizelgeleyicisini, İş Tamamlandı olayı ise ikisini birden tetikler.
- Dağıtıcı iki planın adaylarını tek bir algoritmada karşılaştırır ve her kararın türünü bir sayaçta biriktirir. Uzlaştırmadaki seçim olasılığı bir ayar olarak tutulur ve çıktılara yazılır.

Dağıtık politika, eşzamanlama parametrelerine ek olarak merkezi politikanın öğelerini de (yanıt modu, karar süresi, algoritma) taşır. Meşgul bir çizelgeleyiciye gelen tetikleme yok sayılır. Bu yapı, yerel planlama birimlerinin de karar süresi almasına izin verir. Ancak bu yeteneğin algoritmaları ayrıntılı olarak belgelenmemiş ve onunla deney yapılmamıştır (Özgün, 2012, s. 80).

Deney Altyapısı

Deneyler üç düzeyli bir algoritma yapısıyla yürütülür:

- **En üst düzey:** Politika ve problem türü listeleri bir veri tabanından okunur. Her politika, her problem türü altında sırayla benzetilir. Deney bu listeler değiştirilerek, model koduna dokunmadan tanımlanır.
- **Orta düzey:** Her politika ve problem türü çifti için istenen sayıda tekrar çalıştırılır.
- **Alt düzey:** Tek bir tekrar, yukarıdaki olay döngüsüyle yürütülür.

Tekrar sayısı, benzetim uzunluğu ve ısınma dönemi (istatistik dışı bırakılacak ilk iş sayısı) problem ayarlarında parametre olarak tanımlıdır. Erken ve geç tamamlanma ağırlıkları da parametre olduğundan ağırlıklı amaç fonksiyonları da denenebilir.

Rassal sayılar her tekrar için ayrı bir tohum değeriyle üretilir. Her işin özniteliklerinde kullanılan sayılar iş sıra numarasına bağlanmıştır (Özgün, 2012, Şekil B.9, B.11, B.13). Bu öznitelikler varışlar arası süre, tahmini ve gerçek işlem süresi, acil olup olmama, termin tarihi ve dağıtık sürümde iş türüdür. Bu sayede aynı tohumla koşulan farklı politikalar aynı işleri aynı sırayla görür; politikaların kararları işlerin özniteliklerini değiştirmez. Bu, ortak rassal sayılar tekniğine karşılık gelir ve politikaların eşleştirilmiş olarak karşılaştırılmasını sağlar (Law, 2015).

Çıktılar tekrar düzeyinde kaydedilir. Bunlar erken ve geç tamamlanma değerleri, akış süresi ve makine durumlarının zaman oranlarıdır. Dağıtık sürümde ayrıca dağıtıcının verdiği karar türlerinin sayıları tutulur. Böylece ortalamaların yanı sıra güven aralıkları da hesaplanabilir.

Doğrulama ve Geçerleme

Doğrulama, modelin tasarlandığı gibi kodlanıp kodlanmadığının sınanmasıdır. Geçerleme ise modelin amaçlanan kullanım için sistemi yeterli doğrulukta temsil edip etmediğinin sınanmasıdır (Sargent, 2013). Model gerçek bir atölyeye değil, tanımlı bir deney ortamına dayanır. Bu yüzden geçerleme kavramsal model düzeyinde, doğrulama ise uygulama düzeyinde ele alınır. Simülatör şu sınamalara olanak verir:

- *Girdi üretiminin kontrolü:* Simülatör acil olarak işaretlenen işleri ve dağıtık sürümde her türden gelen işleri sayar. Bu sayıların oranları, problem türünde tanımlanan değerlerle karşılaştırılabilir. Aynı mantık varış ve işlem süresi dağılımlarına da uygulanabilir.
- *Uç koşul ve tutarlılık sınamaları:* Anlık modda karar boşluğu hiç oluşmamalıdır. Termin tarihleri sıfır bollukla verildiğinde bilinçli bekleme oluşmamalıdır. Makine durumlarının oranları her tekrarda toplamda bire eşit olmalı, uzun dönemde işlem oranı makine doluluk oranına yaklaşmalıdır.
- *Diğer modellerle karşılaştırma:* Dağıtık sürümde eşzamanlama aralığı ve süresi sıfır alındığında iki çizelgeleyici her an aynı bilgiye sahip olur. Bu durumda dağıtık sürüm, karar süresi sıfır olan merkezi sürümle karşılaştırılabilir. İki sürüm ayrı algoritmalarla kurulduğu için bu karşılaştırma, uygulamanın bir sürümdeki hatasını diğerine göre ortaya çıkarabilir.
- *İç geçerlik:* Çıktılar tekrar düzeyinde saklandığından, sonuçların tekrarlar arasındaki değişkenliği ölçülebilir.
- *Görünür geçerlik:* Kısa koşularda olayların sırası, planların yayımlanma anları ve makine durumlarının değişimi bir zaman çizelgesi üzerinde gösterilebilir.

Sistemi bilen kişiler bu davranışın makul olup olmadığını değerlendirebilir.

Girdi kontrolü ile iki sürümün karşılaştırması Özgün (2012)'de kullanılmıştır.

Simülatörle İncelenebilecek Sorular

Bu kısımda simülatörün planlama–yürütme döngüsüyle ilgili hangi soruların incelenmesine olanak verdiği ele alınmaktadır. Simülatörün temel olanakları (karar süresi, yanıt modu ve dağıtık yapı) Özgün (2012)'de kullanılmıştır ve aşağıda kısaca özetlenmektedir. Kısmın ağırlığı, aynı altyapı üzerine kurulabilecek ve henüz incelenmemiş sorulardadır. Her soru için literatürdeki karşılığı ya da gerekçesi, simülatörde nasıl temsil edildiği ve bu olanağın mevcut mu, yoksa bir geliştirme mi gerektirdiği belirtilir.

Temel olanaklar. Simülatörde karar süresi δ parametresi ve Çizelgeleme Tamamlandı olayıyla temsil edilir. Karar beklenirken yürütme katmanının davranışı yanıt moduyla, planlamanın birden fazla birime bölünmesi ise dağıtık sürüm ile Ω ve ω parametreleriyle modellenir. Bu üç olanak, literatürde ayrı ayrı tartışılan konulara karşılık gelir: çevrimiçi çizelgelemede hesaplama süresinin bir tasarım kısıtı olarak ele alınması (Gupta & Maravelias, 2016; Ikonen et al., 2020), planların yürütülmesi sırasında ortaya çıkan aksaklıklar (Aytug et al., 2005) ve merkezi ile merkeziyetsiz kontrol arasındaki seçim (Boccella et al., 2020; Parente et al., 2020).

- **Yerel kararlar da zaman alırsa ne olur?** *Literatür:* Gerçek zamanlı kontrolün yerelde kalması (Derigent et al., 2021) ve çizelgelemenin ekipmana yakın uç sunuculara taşınması (Xia et al., 2023) yerel kararı hızlandırır, ama süresini sıfıra indirmez. *Simülatörde:* Dağıtık politika yanıt modu ve karar süresini de taşıdığından, yerel planlama birimleri için de karar süresi

tanımlanabilir. *Durum:* Yazılımda mevcut; algoritmaların belgelenmesi ve sınanması gerekir.

- **Planlama birimleri eşit değilse ne olur?** *Literatür:* Rekabetçi çok-ajanlı çizelgelemede ajanların ayrı amaçları ve kendilerine özel bilgileri vardır (Agnetis et al., 2014). Buradaki birimler ise ortak bir amaçla çalışır; bu açıdan model, tek makinede dağıtık karar vermeyi inceleyen çalışmalara daha yakındır (Dewan & Joshi, 2000). *Simülatörde:* Uzlaştırmada bir birime öncelik vermek ayar düzeyinde mümkündür. İş türlerinin payı iş oluşturma algoritmasında sabittir, değiştirmek küçük bir kod değişikliği ister. Türlere farklı yük, termin ya da değişkenlik vermek ve eşzamanlamayı iki yönde farklı kurmak için problem türü ve politika sınıfları genişletilmelidir. *Durum:* Kısmen mevcut, kısmen geliştirme.

- **Daha akıllı bir uzlaştırma kuralı mümkün mü?** *Literatür:* Yarı-heterarşik mimarilerde atölyedeki dağıtıcının uyguladığı kuralı üst düzeydeki bir kontrolcü seçer (Grassi et al., 2021, s. 6037–6038). *Simülatörde:* Aday seçimi dağıtım algoritmasının ayrı bir adımıdır. Çatışmada iki adayın amaç fonksiyonuna etkisini karşılaştıran bir kural bu adımın yerine konabilir. *Durum:* Geliştirme.

- **Tek tek kararlar nasıl değerlendirilir?** *Gerekçe:* Tekrar düzeyindeki çıktılar, tek bir dağıtma kararının doğru olup olmadığını göstermez. *Simülatörde:* Bu değerlendirme için iki ek gerekir: her dağıtma kararında zamanın, iki planın önerisinin ve seçilen işin kaydı; ayrıca merkezi bir çizelgeleyicinin yürütmeye karışmadan "gölge" olarak çalıştırılıp önerisinin aynı kayda yazılması. Kayıt dağıtım

algoritmasına, gölge çizelgeleyici ise benzetim sınıfına eklenebilir. *Durum:* Geliştirme.

Tartışma

Modelin varsayımları, karar gecikmesinin etkisini diğer etkenlerden ayırmak için seçilmiştir.

- *Tek makine:* Makineler arası etkileşimleri ve rotalamayı dışarıda bırakır. Buna karşın erken ve geç tamamlanma toplamını en küçükleyen tek makine problemi NP-zordur (Garey et al., 1988); yani bu yapıda da iyi bir plan bulmak zaman alır.
- *Sabit karar süresi:* δ'yı deneyde doğrudan kontrol edilen bir etken yapar. Uygulamada da eniyileme çözücüleri çoğu zaman belirli bir süre sınırıyla çalıştırılır; sabit δ bu süre sınırı olarak yorumlanabilir.
- *Anlık veri yükleme ve dağıtım:* Gecikmeyi tek bir kaynakta toplar. Veri yükleme süresi gerektiğinde δ'ya katılabilir, çünkü iki durumda da plan sürecin başladığı andaki duruma dayanır.
- *İki planlama birimi:* Eksik bilgiyle karar verme ve çatışan planlar gibi sorunların ortaya çıkabildiği en küçük yapıdır.

Bu çalışma, Özgün (2012)'deki anlatımı dört yönden genişletmektedir. Belirli bir yazılıma bağlı olarak anlatılan uygulama, yazılımdan bağımsız bir tasarım olarak yeniden ifade edilmiştir; model bu sayede açık kaynaklı benzetim kütüphaneleriyle de kurulabilir (Palmer et al., 2019). Merkezi ve dağıtık benzetim tek bir mimarinin iki sürümü olarak sunulmuş, model planlama–yürütme döngüsü çerçevesine taşınmış ve simülatörle incelenebilecek sorular ile bunlar için gereken geliştirmeler belirlenmiştir.

Endüstri 4.0 ile birlikte planlama kararlarının gerçek zamanlı veriye dayanması beklenmektedir (Rossit et al., 2019). Dijital ikiz yaklaşımlarında benzetim modeli, fiziksel sistemle sürekli veri alışverişi içinde kararların sınandığı ortamdır (Fang et al., 2019; Kritzinger et al., 2018; Zhang et al., 2021). Dijital ikizin dinamik çizelgelemede kullanımı güncel bir derlemede ele alınmıştır (Ouahabi et al., 2024). Bu yapılarda da verinin toplanması, modelin güncellenmesi ve kararın üretilmesi zaman alır. Yorum düzeyinde, merkezi bir sunucuda ya da bulutta çalışan planlama karar katmanına, ekipmana yakın uç sunucularda çalışan yerel planlama ise dağıtık sürümdeki planlama birimlerine karşılık getirilebilir. Ancak modelde ağ gecikmesi ayrıca temsil edilmez.

Sonuç

Bu bölümde, üretimde planlama–yürütme döngüsünde karar süresini açıkça içeren bir kesikli olay benzetim modeli anlatılmıştır. Modelin temel fikri, plan üretimi ile yayımlanmasının bir benzetim olayıyla zamanda ayrılmasıdır. Böylece karar süresi kontrol edilebilen bir parametre olur. Karar beklenirken yürütme katmanının davranışı yanıt modlarıyla, karar gecikmesinin makinede yarattığı boşluk ise ayrı bir makine durumuyla temsil edilir. Dağıtık sürümde planlama iki birime bölünür. Birimler birbirlerinin işlerini dönemsel eşzamanlamayla öğrenir, yürütme katmanı da iki planı tarafsız bir kuralla uzlaştırır.

Simülatörün karar süresi, yanıt modu ve dağıtık yapı olanakları Özgün (2012)'de kullanılmıştır. Aynı altyapı, henüz ele alınmamış başka soruların incelenmesine de olanak verir: yerel kararların süresi, eşit olmayan planlama birimleri, uzlaştırma kuralları ve tek tek kararların değerlendirilmesi. Bunlar belgeleme ya da sınırlı geliştirmeler gerektirir.

Kaynakça

Agnetis, A., Billaut, J.-C., Gawiejnowicz, S., Pacciarelli, D., & Soukhal, A. (2014). *Multiagent scheduling: Models and algorithms*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41880-8

Aytug, H., Lawley, M. A., McKay, K., Mohan, S., & Uzsoy, R. (2005). Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. *European Journal of Operational Research, 161*(1), 86–110. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.027

Boccella, A. R., Centobelli, P., Cerchione, R., Murino, T., & Riedel, R. (2020). Evaluating centralized and heterarchical control of smart manufacturing systems in the era of Industry 4.0. *Applied Sciences, 10*(3), 755. https://doi.org/10.3390/app10030755

Chorghe, S., Kumar, R., Kulkarni, M. S., Pandhare, V., & Lad, B. K. (2025). Smart scheduling for next generation manufacturing systems: A systematic literature review. *Journal of Intelligent Manufacturing, 36*(7), 4447–4476. https://doi.org/10.1007/s10845-024-02484-2

Church, L. K., & Uzsoy, R. (1992). Analysis of periodic and event-driven rescheduling policies in dynamic shops. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 5*(3), 153–163. https://doi.org/10.1080/09511929208944524

Derigent, W., Cardin, O., & Trentesaux, D. (2021). Industry 4.0: Contributions of holonic manufacturing control architectures and future challenges. *Journal of Intelligent*

Manufacturing, 32(7), 1797–1818. https://doi.org/10.1007/s10845-020-01532-x

Dewan, P., & Joshi, S. (2000). Dynamic single-machine scheduling under distributed decision-making. *International Journal of Production Research, 38*(16), 3759–3777. https://doi.org/10.1080/00207540050175996

Fang, Y., Peng, C., Lou, P., Zhou, Z., Hu, J., & Yan, J. (2019). Digital-twin-based job shop scheduling toward smart manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15*(12), 6425–6435. https://doi.org/10.1109/TII.2019.2938572

Garey, M. R., Tarjan, R. E., & Wilfong, G. T. (1988). One-processor scheduling with symmetric earliness and tardiness penalties. *Mathematics of Operations Research, 13*(2), 330–348. https://doi.org/10.1287/moor.13.2.330

Grassi, A., Guizzi, G., Santillo, L. C., & Vespoli, S. (2021). Assessing the performances of a novel decentralised scheduling approach in Industry 4.0 and cloud manufacturing contexts. *International Journal of Production Research, 59*(20), 6034–6053. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1799105

Gupta, D., & Maravelias, C. T. (2016). On deterministic online scheduling: Major considerations, paradoxes and remedies. *Computers & Chemical Engineering, 94*, 312–330. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.08.006

Ikonen, T. J., Heljanko, K., & Harjunkoski, I. (2020). Reinforcement learning of adaptive online rescheduling timing and computing time allocation. *Computers & Chemical Engineering, 141*, 106994. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106994

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine, 51*(11), 1016–1022. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474

Kurşun, M. (2008). *Modelling and analysis of agent based distributed scheduling systems* (Tez No. 179073) [Doktora tezi, Boğaziçi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Kurşun, M., Ünal, A. T., & Sözer, K. (2008). Issues in distributed scheduling. In *Proceedings of the Eleventh International Workshop on Project Management and Scheduling (PMS 2008)* (pp. 185–188). İstanbul, Türkiye.

Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Ouahabi, N., Chebak, A., Kamach, O., Laayati, O., & Zegrari, M. (2024). Leveraging digital twin into dynamic production scheduling: A review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 89*, 102778. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102778

Ouelhadj, D., & Petrovic, S. (2009). A survey of dynamic scheduling in manufacturing systems. *Journal of Scheduling, 12*(4), 417–431. https://doi.org/10.1007/s10951-008-0090-8

Özgün, K. (2012). *Analysis of the impact of decision time on the system performance in distributed systems* (Tez No. 312079) [Doktora tezi, Boğaziçi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Palmer, G. I., Knight, V. A., Harper, P. R., & Hawa, A. L. (2019). Ciw: An open-source discrete event simulation library.

Journal of Simulation, 13(1), 68–82. https://doi.org/10.1080/17477778.2018.1473909

Parente, M., Figueira, G., Amorim, P., & Marques, A. (2020). Production scheduling in the context of Industry 4.0: Review and trends. *International Journal of Production Research, 58*(17), 5401–5431. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1718794

Rossit, D. A., Tohmé, F., & Frutos, M. (2019). Industry 4.0: Smart scheduling. *International Journal of Production Research, 57*(12), 3802–3813. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1504248

Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation, 7*(1), 12–24. https://doi.org/10.1057/jos.2012.20

Vieira, G. E., Herrmann, J. W., & Lin, E. (2003). Rescheduling manufacturing systems: A framework of strategies, policies, and methods. *Journal of Scheduling, 6*(1), 39–62. https://doi.org/10.1023/A:1022235519958

Woschank, M., Dallasega, P., König, A., & Hoffelner, M. (2024). Potentials of using real-time data to increase the update frequency of production planning and control strategies in MTO: A discrete event simulation study. *Flexible Services and Manufacturing Journal, 36*(3), 760–779. https://doi.org/10.1007/s10696-024-09550-0

Xia, C., Jin, X., Xu, C., & Zeng, P. (2023). Computational-intelligence-based scheduling with edge computing in cyber–physical production systems. *Entropy, 25*(12), 1640. https://doi.org/10.3390/e25121640

Zhang, M., Tao, F., & Nee, A. Y. C. (2021). Digital twin enhanced dynamic job-shop scheduling. *Journal of Manufacturing Systems, 58*, 146–156. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.008

BÖLÜM 3

Kişilerin Kalp Krizi Geçirme Riskinin Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Belirlenmesi

FATMA ERSOY DURAN[1]

Giriş

Kalbe kan ve oksijen sağlayan kılcal damarların (koroner) daralmasıyla kalbe giden kan azalır. Bu durum göğüs ağrısı, nefes darlığı ve kalp krizi gibi belirtilere neden olur. En sık ölüm nedenine sahip olan koroner kalp hastalığı, ileri yaşa sahip kişilerde daha sık görülmektedir. Yüksek koroner kalp hastalığı riski olan kişilerin erken tanı konularak tedavi edilmeleri hastalık kaynaklı ölümlerin azaltılmasında fayda sağlayabilir.

Koroner kalp hastalıklarının en ölümcül sonucu olan kalp krizi riski kişilerin barındırdığı yaş, cinsiyet, kalp atış hızı, göğüs ağrısı, kan basıncı, kan şekeri ve kolesterol gibi etmenlere göre yüksek veya düşük seyredebilir. Makine öğrenmesi yöntemleri ile kişilerin bazı sağlık parametreleri analiz edilerek kalp krizi geçirme riski tahmin edilebilir.

Bu çalışmada Kaggle veri tabanı üzerinden kişilerin kalp krizi oluşumuna neden olan bazı sağlık parametleri ile kişilerin kalp

[1] Araştırma Görevlisi, Tarsus Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0003-2749-5018

krizi geçirme riskine göre az yada çok olarak sınıflandırmasının yapılması amaçlanmıştır. Sınıflandırma, etkin olduğu kabul edilen k-en yakın komşu algoritması, lojistik regresyon, destek vektör makineleri ve gaussian naive bayes gibi dört farklı makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. Veri üzerinde k-fold cross validation uygulanarak k'nın değişken değerleri (k=5 ve k=10) için sınıflayıcılar ve sınıflandırma performansları değerlendirilmiştir.

Literatür Çalışması

Literatüre bakıldığında makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanıldığı pek çok alan ve uygulamadan bahsedilebilir. Literatürde yer verilen ve bu çalışma ile ilgili görülen bazı araştırmalara bu bölümde yer verilecektir.

Veri setinin kullanıldığı çalışmalara bakıldığında Enriko vd. (2016) çalışmalarında kalp hastalığı tahminlemelerini iyileştirmeye yönelik olarak veri seti üzerinde bazı parametreleri revize edip (8 parametre ile) k-en yakın komşu algoritmasını kullanarak analiz yapmışlardır. Veri de yer alan 13 parametre yerine 8 parametre ile kalp krizi tahmininde kullanılabilecek daha iyi sonuçlar elde ettiklerini öne sürmüşlerdir. Aynı zamanda Endonezya'da bir kalp-damar hastanesinde de aynı verileri kaydederek, çalışmanın tutarlılığını vurgulamışlardır. Benzer olarak Khemphila & Boonjing (2010) çalışmalarında aynı veri seti üzerinde kalp hastalığı tahminlemesi yapmak için lojistik regresyon, karar ağaçları ve yapay sinir ağları tekniklerini kullanarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Analizleri sonucu en iyi tahmin performansının lojistik regresyon yöntemi ile elde edildiği çıkarımında bulunmuşlardır.

Bhuvaneswari & Brintha Therese (2015) çalışmalarında akciğer kanseri tomografi görüntülerini etkili bir şekilde sınıflandırmak için K-En Yakın Komşu (K-NN) algoritması ve süreleri kısaltmak için Genetik Algoritma (GA) yöntemini hibrit kullanarak akciğer kanserini erken evrede tespit etmeyi

amaçlamışlardır. Akciğer tomografi görüntüleri üzerinde MATLAB görüntü işleme araç kutusu tabanlı uygulama yaparak görüntüleri sınıflandırmışlardır.

Kalp hastalarında ilaç uyumunun tahminlemesine yönelik olarak Son vd. (2010) çalışmalarında destek vektör makinesi yöntemi ile 76 gözlem ve 11 değişkene sahip bir veri seti üzerinde analiz gerçekleştirmişlerdir. Tahminlerin doğruluğunu değerlendirmek için veri seti üzerinde çapraz doğrulama yapmışlardır. %77.6'lık model doğruluğu ile etkin bir sınıflandırma yaptıklarını öne sürmüşlerdir.

Miranda vd. (2016) ise çalışmalarında kardiyovasküler hastalığı tespit edebilen ve yetişkinler için risk seviyesini belirleyebilen naive bayes sınıflayıcısının kullanıldığı bir makine öğrenmesi modeli geliştirmişlerdir. Analizleri sonucu bu modelin kardiyovasküler hastalığı tespit etmede %80'in üzerinde bir doğruluk düzeyine sahip olduğunu öne sürmüşlerdir.

Problem Tanımı

Çalışmada problem olarak kişilerin yaş, cinsiyet, maksimum kalp atış hızı, göğüs ağrısı tipi, EKG sonuçları, açlık kan şekeri, dinlenme kan basıncı, egzersize bağlı göğüs ağrısı ve kolesterol gibi kalp krizi riskini barındıran etmenler altında ilgili parametrelerin aralarındaki benzerlik özelliklerinden yararlanarak kişilerin kalp krizi geçirme riskine göre az ya da çok olarak sınıflandırılmasının yapılması ele alınmıştır.

Çalışmada Kaggle veri tabanından edinilen 'Kalp Krizi Analizi ve Tahmin Veri Kümesi (Kaggle.com) veri seti kullanılmıştır. İlgili veri setinde kişilerin kalp krizi geçirme olasılığını değerlendirmede kullanılan özellikler Tablo 1'de gösterildiği gibi revize edilmiştir. Veri 303 gözlem (satır) sayısı ve 10 özellik (sütun) sayısından oluşmaktadır.

TABLO 1. KALP KRIZI GEÇIRME RISKINI BARINDIRAN ÖZELLIKLER

ÖZELLİK
Kişinin yaşı
Kişinin cinsiyeti (1 = Erkek, 0 = Kadın)
Göğüs ağrısı (Angina) tipi (0 = Tipik Angina, 1 = Atipik Angina, 2 = Angina Olmayan Ağrı, 3=Asemptomatik)
Dinlenme kan basıncı
Kolesterol
Açlık kan şekeri (> 120 mg/dl ~ 1 = Doğru, 0 = Yanlış)
Dinlenme EKG sonuçları (0 = Normal, 1 = ST-T anormal, 2 = Sol ventrikül hipertrofisi
Maksimum kalp atış hızı
Egzersize bağlı göğüs ağrısı (1 = Evet, 0 = Hayır)
Hedef (0= kalp krizi geçirme olasılığı düşük, 1= kalp krizi geçirme olasılığı yüksek)

Çözüm Yöntemi

Literatürde pek çok makine öğrenmesi, sınıflandırma yöntemleri yer almaktadır. Bu yöntemlerin her birinin üstünlükleri ve zayıflıkları vardır. Çalışmada, kişilerin kalp krizi geçirme riskinin öngörülmesi amacıyla bu yöntemlerden dördü k-en yakın komşu algoritması, lojistik regresyon, destek vektör makineleri ve gaussian naive bayes uygulanmıştır.

K-En Yakın Komşu (k-NN)

En yakın komşu sınıflandırıcılar, belirli bir test demetini ona benzer eğitim demetleriyle karşılaştırarak benzetim yoluyla

öğrenmeye dayanır. Yöntem, veri dağılımı hakkında çok az bilgi olduğunda veya hiç bilgi olmadığında, bir çok çalışmada sıklıkla kullanılan basit ve etkili bir sınıflandırma algoritmasıdır (Bhatia & Vandana, 2010). k-NN analizde kullanılan verilerin dağılımları hakkında varsayımlarda bulunmaz ve bu sayede pratikte rahatlıkla kullanılabilir.

k-NN yönteminin temeli özellik benzerliğine dayanmaktadır. Burada k değeri ile örnek bir veri noktasının sınıfını tanımlamak için kaç en yakın komşunun dikkate alınacağı belirtilir (Cover & Hart, 1967). Eğitim ve test verileri arasındaki benzerliği hesaplamak için genellikle Öklid mesafe metriği kullanılır (Peterson, 2009).

Lojistik Regresyon

Regresyon analizi bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklayabilme düzeyi hakkında bilgi verir. Amaç bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve modellenmesidir.

Bağımlı değişkenin iki düzeyli (kadın-erkek, evet-hayır, 0-1 gibi) olduğu durumlarda lojistik regresyon kullanılabilir. Regresyon analizine benzer olarak bağımlı değişkenin alabileceği değerlerin gerçekleşme olasılığı tahmin edilir.

Destek Vektör Makineleri

Örüntü tanıma ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için Cortes & Vapnik (1995) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem sınıfları birbirinden ayıran optimal destek vektör makinelerini bulmayı amaçlar. Sınıfları ayıran destek vektörleri arasında uzaklığın maksimize olması hedeflenir. Sınıflandırma konusunda oldukça etkili ve basit bir yöntemdir.

Gaussian Naive Bayes

Gaussian naive bayes yöntemi naive bayes sınıflandırmasına aittir ve bayes teoremini temel alarak istatistiksel tahmin yapar. Bu yöntem özelliklerin gauss dağılımına sahip olduğu varsayılarak oluşturulmuştur (Jahromi & Taheri, 2017). Eldeki verilere göre yeni verinin mevcut sınıf niteliğine ait olma olasılığını hesaplayan bir yöntemdir. Veri setinde niteliklerin hepsini eşit derece önem vermesi yöntemin belirgin zayıf yönüdür.

Uygulama

Kaggle veri tabanından edinilen 'Kalp Krizi Analizi ve Tahmin Veri Kümesi' veri seti kullanılarak uygulama Colab [12] üzerinde, Colab not defteri kullanılarak (https://colab.research.google.com/), Python yazılım diliyle gerçekleştirilmiştir. Uygulama adımları aşağıdaki gibi belirlenmiş ve detaylandırılmıştır.

1. Veri setinin içe aktarılması: Gerekli kütüphaneler ve veri seti (.csv) içe aktarılmıştır.
2. İkili kolerasyon ilişkilerinin hesaplanması: Değişkenler arasındaki ilişkiyi görmek için tüm sütunların ikili kolerasyon katsayıları hesaplanmıştır.
3. Bağımlı-bağımsız değişkenlerin belirlenmesi: Bağımlı (Y, hedef değişkeni) ve bağımsız (X, diğer 9 değişken) değişkenlere değer ataması yapılmıştır.
4. Değişkenlerin standardize edilmesi: Veri setindeki değişkenlerin değerlerini ortak bir ölçüt ile ifade etmek için standardizasyon yapılmıştır. Veri, zscore kullanılarak standardize edilmiştir.
5. k-NN için uygun k değerinin belirlenmesi: k-en yakın komşu sınıflayıcısı için Öklid mesafesi kullanılarak uygun k değeri belirlenmiştir. Burada k için 3, 5 ve 7 skorları denenmiş, en iyi parametre değeri k=7 ile sağlanmıştır.

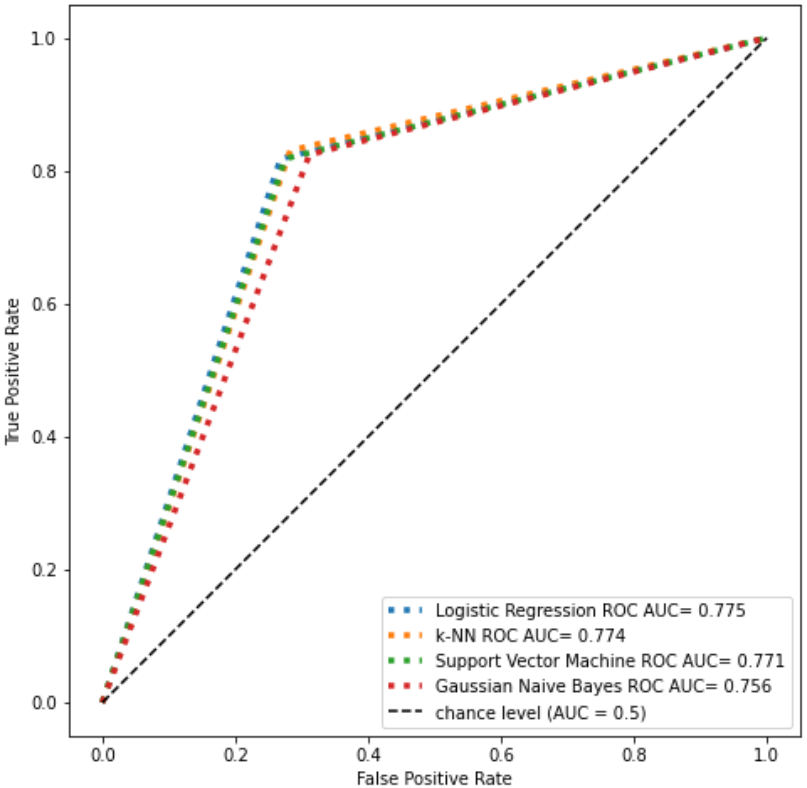
6. k-katlı çapraz doğrulamanın uygulanması: k-katlı çapraz doğrulama ile k=5 ve k=10 için veri seti ayrılmıştır. k=5 için veri her döngüde %80 eğitim ve %20 test olarak ayrılmıştır. Analiz 5 kez yapılmıştır ve tüm veri, bir kez test verisi olarak seçilmiştir. Benzer şekilde k=10 için veri her döngüde %90 eğitim ve %10 test olarak ayrılmıştır. Analiz 10 kez tekrarlandığında tüm verinin bir kez test olarak seçilmesi sağlanmıştır.

Uygulama adımları takip edilip analizler sonuçlandığında sınıflayıcıların performansını değerlendirmek için elde edilen F1 skorları, doğruluk (accuracy) ve auc değerleri çapraz doğrulamada k=5 için Tablo 2'de ve k=10 için Tablo 3'te sunulmuştur. Ek olarak sınıflayıcıların roc eğrileri k=5 için Şekil 1'de ve k=10 için Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. K=5 Çapraz Doğrulama İçin Sınıflayıcı Skorları

Sınıflayıcı	***Accuracy***	***F1***	***Roc auc***
k-NN	0.7789	0.8036	0.7739
Lojistik Regresyon	0.7789	0.8012	0.7751
Destek Vektör Makineleri	0.7756	0.7989	0.7715
Gaussian Naive Bayes	0.7624	0.7907	0.7564

Şekil 1. k=5 çapraz doğrulama için sınıflayıcıların roc eğrisi



Tablo 3'e bakıldığında yine gauzzian naive bayes yöntemi sahip olduğu en düşük accuracy, F1 ve auc değeri ile çalışmanın en kötü tahminini yapan yöntemdir. Lojistik regresyon sahip olduğu en yüksek accuracy, F1 ve auc değeri ile çalışmanın en iyi tahminini yapan yöntemdir. K-katlı çapraz doğrulamada k=10 alınması durumunda k-NN yöntemine karşılık lojistik regresyon yönteminin daha iyi bir sınıflandırma yaptığı söylenebilir.

Sonuç

Bu çalışmada kişilerin kalp krizi oluşumuna neden olan bazı sağlık parametleri ile kişilerin kalp krizi geçirme riskine göre az ya da çok olarak sınıflandırmasının yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada Kaggle veri tabanından edinilen 303 gözlem ve 10

özelliğe sahip veri seti üzerinde analiz gerçekleştirilmiştir. Kişilerin kalp krizi geçirme riskinin öngörülmesi amacıyla k-en yakın komşu algoritması, lojistik regresyon, destek vektör makineleri ve gaussian naive bayes yöntemleri uygulanmıştır. Elde edilen sınıflandırma sonuçları ile sınıflayıcıların performansları değerlendirilmiştir.

Çalışma farklı sınıflandırma yöntemlerinin kullanılması ve farklı özelliklerin dikkate alınması ile geliştirilebilir. Gözlem sayısı artırılabilir, güncel veriler üzerinde analiz tekrarlanabilir. Eğitim-test kümelerinin belirlenmesinde farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Farklı çözüm kombinasyonlarının denendiği versiyonlar ile çalışma kıyaslanabilir.

Kaynakça

Bhatia, N., and Vandana: ‘Survey of Nearest Neighbor Techniques’, CoRR, vol. abs/1007.0085, 2010, pp. 12.

Bhuvaneswari, P., and Therese, A.B.: ‘Detection of cancer in lung with k-nn classification using genetic algorithm’, Procedia Materials Science, 2015, 10, pp. 433-440.

Cortes, C., & Vapnik, V.: ‘Support-vector networks’, Machine learning, 1995, 20(3), 273-297.

Cover, T., and Hart, P.: ‘Nearest neighbor pattern classification’, IEEE transactions on information theory, 1967, 13, (1), pp. 21-27.

Enriko, I. K. A., Suryanegara, M., & Gunawan, D.: ‘Heart disease prediction system using k-Nearest neighbor algorithm with simplified patient's health parameters’, Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), 2016, 8(12), 59-65.

Jahromi, A. H., & Taheri, M.: ‘A non-parametric mixture of Gaussian naive Bayes classifiers based on local independent features’, In 2017 Artificial intelligence and signal processing conference (AISP), 2017, (pp. 209-212), IEEE.

Kaggle.com,URL:https://www.kaggle.com/datasets/rashikrahmanpritom/heart-attack-analysis-prediction-dataset

Khemphila, A., & Boonjing, V.: ‘Comparing performances of logistic regression, decision trees, and neural networks for classifying heart disease patients’, In 2010 international conference on computer information systems and industrial management applications (CISIM), 2010, (pp. 193-198), IEEE.

Miranda, E., Irwansyah, E., Amelga, A. Y., Maribondang, M. M., & Salim, M.: ’Detection of cardiovascular disease risk's level for

adults using naive Bayes classifier', Healthcare informatics research, 2016, 22(3), 196-205.

Peterson, L. E. (2009). K-nearest neighbor. Scholarpedia, 4(2), 1883

Son, Y. J., Kim, H. G., Kim, E. H., Choi, S., & Lee, S. K.: 'Application of support vector machine for prediction of medication adherence in heart failure patients', Healthcare informatics research, 2010, 16(4), 253-259.

BÖLÜM 4

ÜNİVERSİTE KÜTÜPHANELERİNDE HİZMET SÜREÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ: WEB TABANLI DİNAMİK RANDEVU SİSTEMİ VE KUYRUK YÖNETİMİ TASARIMI

YUSUF BAYDOĞAN[1] NAGİHAN KARSLI2 SAFİYE AKBAŞ3 EMİNE DADAŞOĞLU4 BELKIZ TORĞUL5

Giriş

Kütüphane ortamları, öğrencilerin hem akademik gelişimlerine katkı sağladığı hem de sosyalleşme imkânı bulduğu alanlar olarak

[1] Lisans Öğrencisi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, yusuf.baydogan92@erzurum.edu.tr
[2] Lisans Öğrencisi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, nagihan.karsli33@erzurum.edu.tr
[3] Lisans Öğrencisi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, safiye.akbas77@erzurum.edu.tr
[4] Lisans Öğrencisi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, emine.dadasoglu49@erzurum.edu.tr
[5] Dr. Öğr. Üyesi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, belkiz.torgul@erzurum.edu.tr, Orcıd: 0000-0002-7341-9334

günümüzde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Öğrencilerin kütüphanelere, çalışma odalarına ve diğer öğrenme alanlarına olan talebi arttıkça, oturma alanları gibi mevcut eğitim tesisleri ve kaynakları giderek yetersiz hâle gelmektedir (Applegate, 2009: 341; Cha ve Kim, 2015: 274).

2018 yılında faaliyete geçen ETÜ Merkez Kütüphanesi'nde artan öğrenci sayısı, mevcut kapasitenin ve hizmet sunum biçiminin ihtiyacı karşılamada yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Özellikle ortak çalışma odalarının kullanımı ve yönetimi, öğrenciler açısından çeşitli sorunları beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, mevcut sistemin incelenmesi ve yaşanan problemlerin sistematik bir şekilde ortaya konulması gerekliliği doğmuştur. Bu çalışma kapsamında, ETÜ Merkez Kütüphanesi'nde bulunan ortak çalışma odaları için web tabanlı bir rezervasyon sisteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut sistemde, ortak çalışma odaları için rezervasyon işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi adına öğrencilerin fiziksel olarak kütüphaneye gitmeleri ve danışma birimine başvurmaları gerekmektedir. Bu durum, öğrenciler açısından zaman kaybına yol açmakta; danışma biriminde görev yapan personelin iş yükünü artırarak özellikle yoğun saatlerde uzun kuyrukların oluşmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak hizmet sürecinde aksamalar yaşanmakta ve kütüphane kaynaklarının etkin kullanımı olumsuz yönde etkilenmektedir. Geliştirilecek sistem ile öğrencilerin ortak çalışma odalarını çevrim içi ortamda rezerve edebilmesi, aynı zamanda kütüphane bünyesinde bulunan kitapların sorgulanması ve konum bilgilerinin görüntülenebilmesi hedeflenmektedir.

Kütüphaneyi aktif kullanan öğrencilerden alınan gözlem ve geri bildirimler sonucunda mevcut sistemde çeşitli sorunlar tespit edilmiştir. Öğle aralarında danışma biriminde personel bulunmaması nedeniyle oda ve kart temin edilememesi, sonrasında ise yoğunluk oluşması önemli bir darboğaza yol açmaktadır. Ayrıca bazı görevli

öğrencilerin tanıdıklarına öncelik vermesi adaletsizlik algısı yaratmaktadır. Çalışma odalarında "zincirleme blokaj" sorunu görülmekte; aynı öğrenci grubu farklı kişiler üzerinden ardışık rezervasyon yaparak odaları uzun süre erişime kapatabilmektedir. Bunun yanında, oda boşaldığında daha önce talepte bulunan öğrenciler yerine o anda başvuran kişilere oda verilmesi de başka bir adaletsizlik problemidir. Proje odalarında ise minimum kişi şartının, başkalarına ait kartlarla aşılmaya çalışıldığı gözlemlenmiştir. Son olarak, çalışma odalarının sessiz alanlarla iç içe konumlanması nedeniyle giriş-çıkışlarda oluşan gürültü, kütüphanedeki sessiz çalışma ortamını olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışmanın genel amacı, ETÜ Merkez Kütüphanesi'nde bulunan grup ve proje odalarının rezervasyon süreçlerini tamamen dijitalleştirerek, kütüphane kaynaklarının adil, şeffaf ve etkin bir biçimde kullanılmasını sağlamaktır. Bu kapsamda, mevcut manuel işleyişten kaynaklanan yönetimsel sorunların ortadan kaldırılması, rezervasyon süreçlerinin fiziksel erişim kontrolü ile bütünleştirilmesi ve kütüphane yönetiminin veriye dayalı kararlar almasına olanak tanıyacak sürdürülebilir bir altyapının oluşturulması hedeflenmektedir. Geliştirilecek web tabanlı rezervasyon sistemi ile kartlı turnike yapısının entegre edilmesi sayesinde, öğrencilerin kütüphane hizmetlerine erişimi kolaylaştırılırken; çalışma odalarının kapasiteye uygun, denetlenebilir ve adil bir biçimde kullanıldığı çağdaş bir dijital dönüşüm modelinin hayata geçirilmesi amaçlanmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalar, rezervasyon süreçlerinin dijitalleştirilmesiyle fiziksel kuyrukların azaltılması, manuel iş yükünün hafifletilmesi ve kullanıcı memnuniyetinin artırılmasını hedeflemektedir. Bu kapsamda geliştirilen sistemlerin büyük bölümü web tabanlı rezervasyon altyapıları, kullanıcı dostu arayüzler ve takvim tabanlı planlama çözümleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Atkinson ve Lee (2018), yükseköğretim

kurumlarında açık kaynaklı yazılımlar kullanılarak geliştirilen sistemlerin mevcut süreçleri optimize edebildiğini belirtmiştir. Xuan (2021), University of Manitoba Kütüphaneleri'nde güvenli oda rezervasyon sistemlerinin uygulanmasını incelemiş; yaygın olarak kullanılan LibCal sisteminin çevrim içi rezervasyon sağlamakla birlikte, fiziksel erişim güvenliği ve anahtar yönetimi konularında yetersiz kaldığını ortaya koymuştur. Bu eksiklikleri gidermek amacıyla geliştirilen API tabanlı Juno Secure Room Booking sisteminin, kullanıcı deneyimini iyileştirdiği ve kütüphane personelinin operasyonel yükünü azalttığı raporlanmıştır. Benzer şekilde Perera vd. (2024), Oklahoma State University Kütüphaneleri'nde kullanıcı arayüzü iyileştirmelerine odaklanarak, sezgisel tasarımın rezervasyon hatalarını azalttığını ve sistemin benimsenme oranını artırdığını göstermiştir. Web tabanlı rezervasyon sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalarda Lynn vd. (2024), UCSI Üniversitesi için geliştirdikleri U-Reserve sistemi ile çifte rezervasyon ve süreç verimsizliklerini azaltmayı amaçlamıştır. Prototip metodolojisi kullanılarak geliştirilen sistem, kullanıcı geri bildirimlerinin erken aşamada sisteme entegre edilmesi açısından önemli bir örnek sunmaktadır. Triswinadi vd. (2024) ise gelişmekte olan ülkelerdeki üniversitelerde manuel rezervasyon süreçlerinin yarattığı sorunlara odaklanmış; Odoo ERP tabanlı entegre bir sistem ile şeffaflık ve gerçek zamanlı bilgi erişiminin sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, dijitalleşmenin kurumsal karar alma süreçlerine katkı sağladığını göstermektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, yalnızca rezervasyon yapılmasının yeterli olmadığı; rezervasyon ile fiilî kullanım arasındaki uyumsuzluğun önemli bir sorun oluşturduğu görülmektedir. Cole ve Reiter (2017), çevrim içi randevu sistemlerinin fiziksel kuyrukları ortadan kaldırmasına rağmen, no-show (randevuya gelmeme) durumlarının âtıl kapasite yarattığını

ortaya koymuştur. Benzer biçimde Liu (2024), rezervasyon sistemlerine entegre edilen kredi puanı mekanizmalarıyla kullanıcı davranışlarının kontrol altına alınabileceğini öne sürmüştür. Daha ileri teknolojik yaklaşımlarda Yang vd. (2023), derin öğrenme tabanlı doluluk tespit sistemleriyle fiilî kullanımın otomatik olarak izlenebileceğini; Maepa ve Moeti (2021) ise RFID ve sensör tabanlı IoT çözümleriyle fiziksel işgalin doğrulanabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada önerilen turnikeli erişim sistemi; dijital rezervasyon altyapısı ile fiziksel mekân yönetimini bütünleştiren, çalışma odalarının hem çevrim içi hem de fiziksel ortamda kontrollü, adil ve verimli bir biçimde kullanılmasını sağlayan bütüncül bir çözüm sunmaktadır. Bu sistem sayesinde, kullanıcı deneyimi iyileştirilirken kütüphane ortamında sessizlik, düzen ve sürdürülebilirlik açısından uzun vadeli bir kullanım modeli oluşturulması hedeflenmektedir.

Yöntem

Bu bölümde, geliştirilen kütüphane rezervasyon yönetim sisteminin mimarisi, kullanılan teknolojiler ve çalışma prensipleri açıklanmaktadır. Sistem kapsamında çalışma odalarının giriş-çıkışları turnike sistemi ile kontrol altına alınarak sessiz çalışma alanlarından fiziksel olarak ayrılmıştır. Böylece kullanıcı hareketliliği düzenlenmiş ve gürültü kaynaklarının yayılması azaltılmıştır. Turnikeli yapı sayesinde yalnızca geçerli rezervasyona sahip kullanıcıların kimlik doğrulaması yaparak çalışma odalarına erişmesine izin verilmekte; rezervasyonu olmayan, erken giriş yapmak isteyen veya izinsiz kullanım gerçekleştirmeye çalışan kullanıcıların erişimi sistem tarafından engellenmektedir.

Ayrıca sistemde dinamik ve koşula bağlı bir rezervasyon politikası uygulanmaktadır. Aynı gün içinde çalışma odasını kullanmış bir öğrenci, sistemde üçten fazla boş oda bulunması

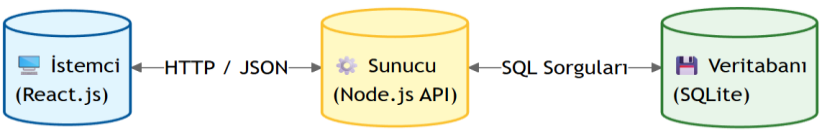
durumunda yeniden rezervasyon yapabilmektedir. Böylece boş kapasitenin daha verimli kullanılması hedeflenmiştir.

Bunun yanında, tüm odaların dolu olduğu durumlarda iptal edilen veya belirlenen süre içinde giriş yapılmayan rezervasyonlar sistem tarafından otomatik olarak serbest bırakılmaktadır. Boşalan odalar hakkında daha önce talepte bulunan kullanıcılara anlık bildirim gönderilmekte, böylece erişim adaletsizliklerinin azaltılması ve rezervasyon sürecinde daha dengeli bir dağılım sağlanması amaçlanmaktadır.

Proje Mimarisi ve Kullanılan Teknolojiler

Sistem, İstemci-Sunucu (Client-Server) mimarisi temel alınarak geliştirilmiştir. Uygulamanın ön yüzü (frontend) ve arka yüzü (backend) birbirinden bağımsız çalışacak şekilde tasarlanmış, bu sayede modülerlik ve bakım kolaylığı sağlanmıştır.

Şekil 1– Sistem Mimarisi Şeması



Kullanıcı arayüzünün geliştirilmesinde, modern bir JavaScript kütüphanesi olan React.js kullanılmıştır. React'in bileşen tabanlı yapısı sayesinde, butonlardan form elemanlarına kadar tüm arayüz parçaları yeniden kullanılabilir modüller halinde tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, kod tekrarını önlemiş ve geliştirme sürecini hızlandırmıştır. Uygulamanın görsel tasarımında Tailwind CSS framework'ü tercih edilmiştir. CSS yazmak yerine önceden tanımlı sınıfların kullanılması, tutarlı bir tasarım dili oluşturulmasını ve uygulamanın mobil cihazlarla tam uyumlu olmasını sağlamıştır. Ayrıca, geliştirme ortamı olarak hızı ve performansı ile bilinen Vite kullanılmıştır.

Şekil 2 –Layout Bileşeni ve Temel UI(Layout.tsx), React Router Yönlendirme Yapısı (App.tsx)



```
export const Layout: React.FC = ({ children }) => {
  const { user, logout } = useAuth();
  const { theme, toggleTheme } = useTheme();
  const [isMobileMenuOpen, setIsMobileMenuOpen] = useState(false);

  // Notification State
  const [notifications, setNotifications] = useState<Notification[]>([]);

  return (
    <div className="min-h-screen flex flex-col bg-gray-50 dark:bg-dark-bg">
      <nav className="bg-etu-900 dark:bg-slate-900 text-white shadow-lg sticky">
        {/* Navbar Components */}
      </nav>
      <main>{children}</main>
    </div>
  );
};
```

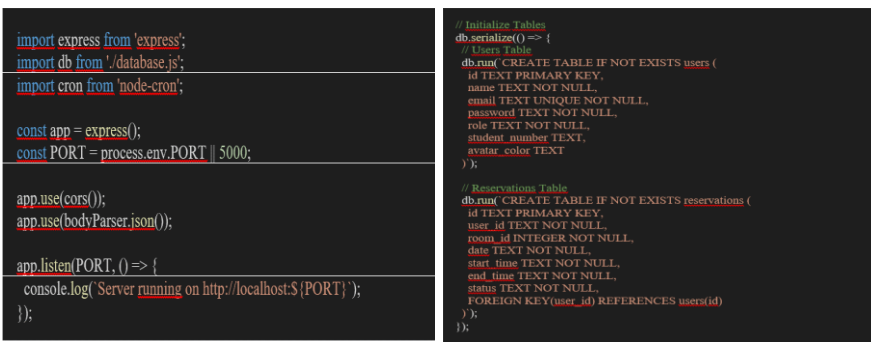
```
<Routes>
  <Route path="/login" element={<Login />} />
  <Route path="/register" element={<Register />} />

  <Route path="/" element={
    <ProtectedRoute>
      <Dashboard />
    </ProtectedRoute>
  } />

  <Route path="/book" element={
    <ProtectedRoute>
      <BookRoom />
    </ProtectedRoute>
  } />
</Routes>
```

Sunucu tarafında, JavaScript tabanlı bir çalışma zamanı ortamı olan Node.js ve web uygulama çatısı olarak Express.js kullanılmıştır. Sunucu, istemciden gelen HTTP isteklerini karşılamakta, gerekli iş mantığını çalıştırmakta ve veritabanı ile iletişimi sağlamaktadır. Veri saklama katmanında ise SQLite ilişkisel veritabanı yönetim sistemi tercih edilmiştir. SQLite'ın sunucusuz ve dosya tabanlı yapısı, projenin taşınabilirliğini artırmış ve kurulum karmaşıklığını minimize etmiştir. Veritabanında kullanıcılar, rezervasyonlar, bildirimler ve kitap arama kayıtları için ilişkisel tablolar oluşturulmuştur.

Şekil 3 – Sunucu Başlangıç Konfigürasyonu (server.js), Veritabanı Tablo Oluşturma Komutları (database.js)



```
import express from 'express';
import db from './database.js';
import cron from 'node-cron';

const app = express();
const PORT = process.env.PORT || 5000;

app.use(cors());
app.use(bodyParser.json());

app.listen(PORT, () => {
  console.log(`Server running on http://localhost:${PORT}`);
});
```

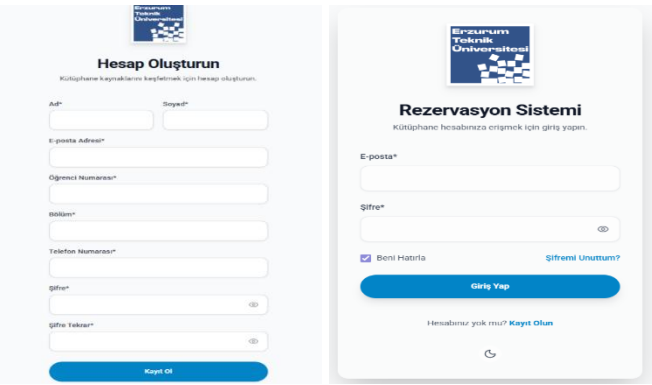
```
// Initialize Tables
db.serialize(() => {
  // Users Table
  db.run(`CREATE TABLE IF NOT EXISTS users (
    id TEXT PRIMARY KEY,
    name TEXT NOT NULL,
    email TEXT UNIQUE NOT NULL,
    password TEXT NOT NULL,
    role TEXT NOT NULL,
    student_number TEXT,
    avatar_color TEXT
  )`);

  // Reservations Table
  db.run(`CREATE TABLE IF NOT EXISTS reservations (
    id TEXT PRIMARY KEY,
    user_id TEXT NOT NULL,
    room_id INTEGER NOT NULL,
    date TEXT NOT NULL,
    start_time TEXT NOT NULL,
    end_time TEXT NOT NULL,
    status TEXT NOT NULL,
    FOREIGN KEY(user_id) REFERENCES users(id)
  )`);
});
```

Sistem Modülleri ve Çalışma Prensipleri

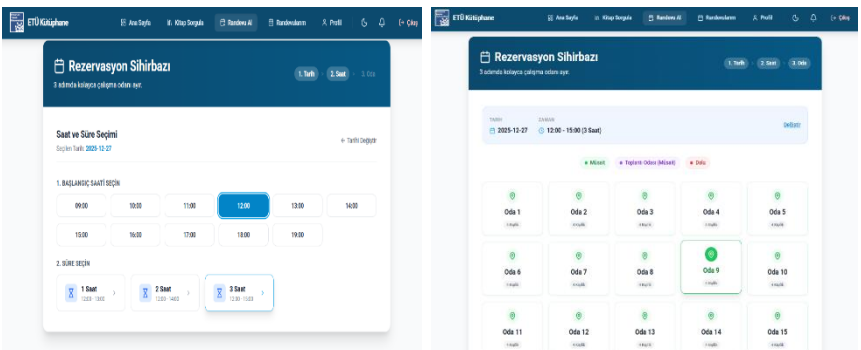
Uygulama, kullanıcıların kütüphane hizmetlerinden verimli bir şekilde yararlanabilmesi için çeşitli modüllerden oluşmaktadır. Sisteme erişim, güvenli bir kimlik doğrulama mekanizması ile sınırlandırılmıştır. Kullanıcılar, kurumsal e-posta adresleri veya öğrenci numaraları ile kaydolup giriş yapabilmektedir.

Şekil 4 –Kayıt Ol ve Giriş Yap Sayfası Ekran Görüntüsü

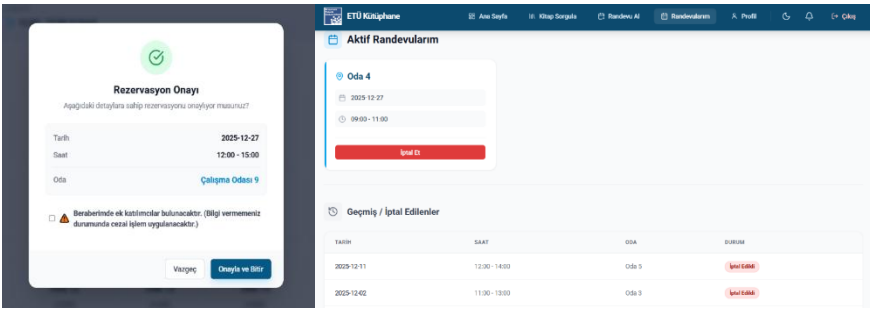


Oda Rezervasyon Modülü, kütüphanedeki çalışma odalarının belirli saat aralıklarında rezerve edilmesini sağlamaktadır. Kullanıcı "Oda Rezerve Et" sayfasına girdiğinde, sistem anlık olarak veritabanını sorgulamakta ve o gün ve saat için uygun olan odaları listelemektedir.

Şekil 5 – Oda Seçim ve Tarih Belirleme Ekranı

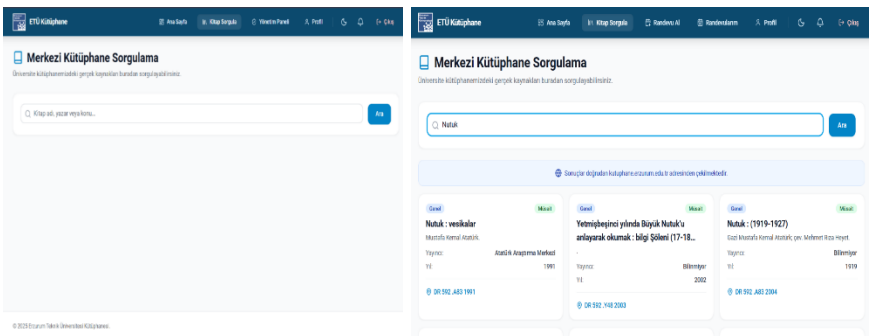


Şekil 6 – Başarılı Rezervasyon Sonrası Onay Ekranı/Modal



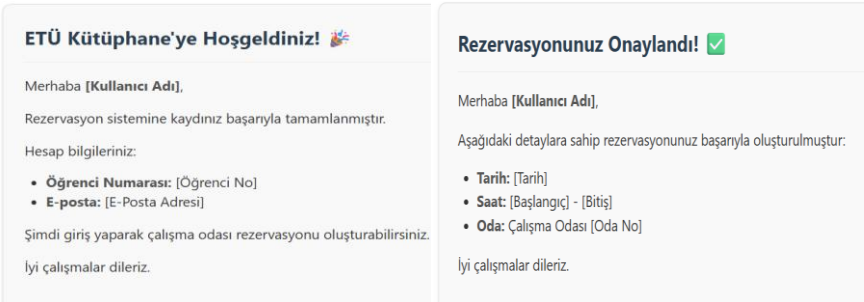
Kullanıcıların harici kütüphane sistemine girmelerine gerek kalmadan kitap araması yapabilmeleri için özel bir Veri Kazıma modülü geliştirilmiştir.

Şekil 6 – Kitap Arama Arayüzü ve Kitap Arama Sonuçları Listeleme Ekranı



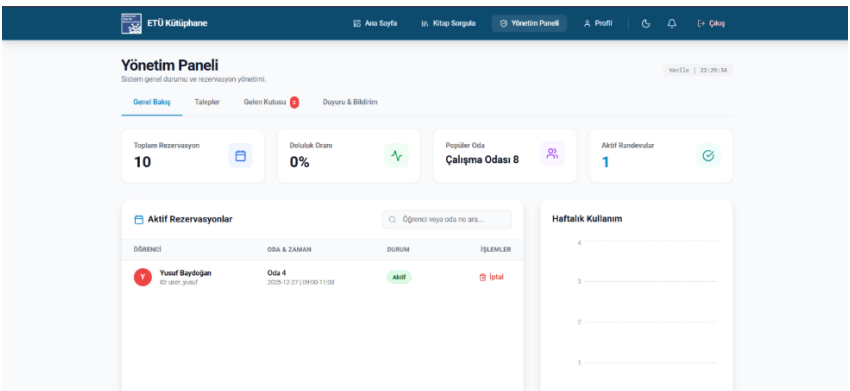
Kullanıcı deneyimini güçlendirmek ve anlık bilgilendirme sağlamak amacıyla sisteme SMTP tabanlı bir e-posta bildirim altyapısı entegre edilmiştir. Nodemailer kütüphanesi kullanılarak oluşturulan bu yapı; kaydolma, başarılı rezervasyon oluşturma ve rezervasyon iptali gibi kritik olaylarda kullanıcılara otomatik olarak HTML formatında e-postalar göndermekte ve Google SMTP servisi üzerinden güvenli bir bağlantı ile iletişim sağlanmaktadır.

Şekil 7 – Yeni üye kayıt bildirim ve Başarılı rezervasyon bildirim örnekleri



Kullanıcılar geçmiş/aktif rezervasyonlarını takip edebilirken yöneticiler tüm sistemi raporlayabilmektedir.

Şekil 8 – Admin Paneli Genel Görünümü ve Grafikler



Sonuçlar

Bu çalışmada, ETÜ Merkez Kütüphanesi'nde bulunan grup ve proje odalarının kullanımına yönelik mevcut rezervasyon süreci incelenmiş; yaşanan operasyonel, yönetsel ve kullanıcı kaynaklı sorunlara çözüm sunan web tabanlı bir rezervasyon sistemi tasarlanmıştır. Geliştirilen sistem ile manuel yürütülen rezervasyon işlemleri dijital ortama taşınmış, çalışma odalarının kullanımında

zaman kaybı, âtıl kapasite ve adaletsizlik gibi temel problemlerin giderilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, önerilen sistemin mevcut yapıya kıyasla önemli iyileştirmeler sağladığını göstermektedir. Çalışma odalarının belirli zaman dilimlerine ayrılması, rezervasyon süresinden sonra otomatik serbest bırakma mekanizmasının uygulanması ve kartlı turnike sistemi ile erişimin kontrol altına alınması sayesinde, oda kullanım verimliliği artırılmıştır. Aynı zamanda, rezervasyon ile fiilî kullanım arasındaki uyumsuzluklar büyük ölçüde ortadan kaldırılarak, kullanıcılar arasında daha adil ve şeffaf bir paylaşım düzeni oluşturulmuştur. Bu çalışmanın en önemli katkılarından biri, kütüphane hizmetlerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasıdır. Çalışma odası rezervasyonu ile kitap sorgulama hizmetlerinin tek bir platform altında toplanması, kullanıcı deneyimini iyileştirirken kütüphane yönetimi açısından da izlenebilir ve veriye dayalı bir karar destek altyapısı sunmuştur. Ayrıca, sistemin ölçeklenebilir bir yapıda tasarlanmış olması, farklı üniversitelerde veya kampüslerde uygulanabilir bir model ortaya koyması açısından önemli bir kazanım sağlamaktadır.

Bununla birlikte, çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu mühendislik tasarımı çalışması, sistemin tasarım ve işleyiş modelinin oluşturulması ile sınırlı olup, gerçek ortamda donanım kurulumu ve uzun dönemli kullanım verilerinin toplanmasını kapsamamaktadır. Dolayısıyla, sistemin performansına ilişkin bulgular, tasarım süreci ve öngörülen kullanım senaryoları çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, önerilen sistemin gerçek ortamda uygulanarak uzun süreli kullanım verilerinin toplanması ve kullanıcı memnuniyetinin nicel yöntemlerle ölçülmesi önerilmektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli talep tahmin modellerinin sisteme entegre edilmesi, yoğunluk saatlerine göre dinamik rezervasyon kurallarının geliştirilmesi ve mobil uygulama desteği ile sistemin

erişilebilirliğinin artırılması, çalışmanın geliştirilebilecek yönleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda yapılacak çalışmaların, üniversite kütüphanelerinde dijital dönüşüm süreçlerine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Erzurum Teknik Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından 2026/005 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

Applegate, R. (2009). The library is for studying: Student preferences for study space. The Journal of Academic Librarianship, 35(4), 341–346. https://doi.org/10.1016/j.acalib.2009.04.004

Atkinson, S., & Lee, K. (2018). Design and implementation of a study room reservation system: Lessons from a pilot program using Google Calendar. College & Research Libraries, 79(7), 916. https://doi.org/10.5860/crl.79.7.916

Cha, S. H., & Kim, T. W. (2015). What matters for students' use of physical library space? The Journal of Academic Librarianship, 41(3), 274–279. https://doi.org/10.1016/j.acalib.2015.03.014

Cole, C., & Reiter, L. (2017). Online appointment-scheduling for optimizing a high volume of research consultations. Pennsylvania Libraries: Research & Practice, 5(2), 138–143. https://doi.org/10.5195/palrap.2017.155

Liu, P. (2024). Design and Implementation of Library Seating Management System . Journal of Computer and Communications, 12(8), 292–306.

Lynn, E. C. J., Jothi, N., Al-Hadi, I. A. A. Q., & Fern, Y. S. (2024). U-Reserve: Development of a Facility Reservation System for UCSI University. In 人工生命とロボットに関する国際会議予稿集 .29, 524-533. 10.5954/ICAROB.2024.OS18-7

Maepa, M. R., & Moeti, M. N. []. IoT-based smart library seat occupancy and reservation system using RFID and FSR technologies for South African universities of technology. International Conference on Artificial Intelligence and its Applications (icARTi '21) içinde (s. 1–8). ACM. https://doi.org/10.1145/3487923.34879

Perera, D., Hilley, W., & Nykolaiszyn, J. M. (2024). Enhancing study room reservations at the Oklahoma State University Libraries: A case study on user interface development. Journal of Access Services, 21(1), 53-66. https://doi.org/10.1080/15367967.2024.2316709

Triswinadi, M. W., Hediyanto, U. Y. K. S., & Firdaus, T. M. (2024). Room reservation integration design to simplifies learning process in university. Journal of Syntax Literate, 9(8). 10.36418/syntax-literate.v9i8.16997

Xuan, W. (2021). Implementation of a secure room booking system at the University of Manitoba Libraries. International Journal of Librarianship, 6(2), 63–72. https://doi.org/10.23974/ijol.2021.vol6.2.194

Yang, G., Chang, X., Wang, Z., & Yang, M. (2023). A serial dual-channel library occupancy detection system based on Faster RCNN. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.16080

BÖLÜM 5

ANALYSIS AND SEGMENTATION OF E-COMMERCE CUSTOMER INTERACTIONS VIA CLUSTER ANALYSIS

MEHMET CABİR AKKOYUNLU[1] COŞKUN ÖZKAN[2]

Introduction

The internet has become an essential business platform for the trade, distribution, and sales of products among organizations, between organizations and consumers, and even among consumers. The use of the internet in e-commerce has created a new online environment that is highly efficient and effective. E-commerce is generally defined as the set of activities involving the purchase or sale of products via online services or the internet. Electronic commerce utilizes technologies such as mobile commerce, electronic fund transfer, supply chain management, internet marketing, online transaction processing, electronic data interchange, inventory management systems, and automatic data collection systems. According to the definition provided by the

[1] PhD, Karamanoglu Mehmetbey University, Department of Data Science and Analytics, Orcid: 0000-0002-9388-6554
[2] Prof. Dr.,Yildiz Technical University, Department of Industrial Engineering, Orcid: 0000-0002-0318-8614

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development): E-commerce refers to commercial transactions involving organizations and individuals, based on the processing and transmission of digitized data such as text, sound, and visual images over open or closed networks (OECD, 2012).

The updating of contemporary internet technologies and the creation of new ones ensure the continuous growth of electronic commerce. Customers have a tendency to transition from traditional shopping environments to the internet as a new shopping modality. Further restrictions are losing their significance; as businesses and customers embrace e-commerce, factors such as operating hours and geographical constraints are mitigated. The internet has transformed into a vital commercial platform where businesses engage in trade, distribution, and sales among themselves (B2B), between businesses and consumers (B2C), and even among consumers themselves (C2C). The integration of the internet into e-commerce has established a highly efficient and effective new online environment in addition to digital commerce. E-commerce enables consumers to shop 24/7 from any location with virtually no physical movement required. It offers consumers a wider range of options and facilitates rapid comparisons. Moreover, it allows consumers to interact, exchange ideas, and compare the experiences of other customers on the website.

Understanding the interaction patterns between online companies and their customers is crucial for comprehending the growth of this online market. Companies generally establish profit-generation goals. To achieve these objectives, they must conduct an analysis regarding how they manage customer relationships and adjust their marketing strategies. A new transaction model based on customer service and satisfaction demonstrates that price is no longer the sole determinant in deciding whether a customer decides to purchase a product (Bhatnagar & Ghose, 2004).

Furthermore, it is important for the company and the customer to reach a consensus regarding the value of the product and the positive customer service experience. From this perspective, companies should not attempt to develop a single product that will satisfy every customer (Wu & Cho 2011).

Instead, they should learn the shopping behaviors of different customers and develop separate products for each segment. In other words, customer classification based on purchasing behavior is essential for developing a successful marketing strategy, which creates and sustains a competitive advantage. Dividing customers into subgroups or clusters through the application of clustering techniques can be used to analyze the relationships between customers and internet shopping channels. The results of such analyses can provide companies with insights into what customers expect when purchasing a product over the internet. Based on the results of these analyses, companies can improve customer relationship management by enhancing customer satisfaction and loyalty. In the literature, there are studies that segment customers by considering how frequently they shop and the amount of money they spend (Chen et al. 2009).

Other information, such as customer satisfaction with services and concerns regarding the use of the internet for shopping, can also help us better understand customer purchasing behavior. Segmentation that evaluates customer purchasing behaviors across multiple categories demonstrates inter-category dependency (Heilman & Bowman, 2002).

Although e-commerce generally offers a significant set of advantages for generating high profits, recent research indicates that trust remains one of the fundamental issues in the e-commerce environment (Lee 2009, Liao et al. 2011, Shandan et al. 2012). In their study, Al-Ghamdi et al. (2011) emphasized that distrust in

sellers is one of the critical factors in the disruption of online transactions.

Alshehri & Drew (2012) stated that a lack of trust is one of the significant barriers to success in internet shopping. Due to deficiencies in certain rules and regulations, trust sensitivity is more critical for e-commerce compared to traditional commerce. Research shows that high levels of consumer assurance encourage online purchasing and help maintain the loyalty of online customers (Gefen 2000, Reicheld & Phill 2000).

Data Mining

The volume of data we hold is growing day by day. The need to understand large and complex data sets through data mining has increased across all technological, business, and scientific fields. The ability to manage this massive amount of data, extract the useful information hidden within it, and access that knowledge is becoming increasingly important in today's competitive world. The application of computer-based information system studies, including new techniques for extracting knowledge from data, is called data mining (Vlahos et al. 2004).

Data mining techniques offer businesses the opportunity to generate useful pieces of information from their data heaps. However, the information technically obtained here can actually be referred to as outcomes. For businesses, connections, relationships, trends, and patterns among these data heaps are more important. Because through this, businesses gain the opportunity to automatically obtain similar results and perform information extraction in subsequent stages.

Businesses focus on data mining activities as decision support system operations. Of course, technological elements and tools are also required for these information extraction processes.

Companies strive to make investments in necessary software or hardware information technology and utilize them effectively.

Clustering and Classification

The clustering method works by grouping available data based on various similarity characteristics. Elements within the same group share similarities in certain features while possessing different characteristics from the elements in other groups. The difference between the classification technique and the clustering technique is whether the process involves unsupervised or supervised learning. As stated previously, the classification technique is a supervised learning technique; that is, the classes into which the elements will be separated are known prior to the process. Thus, it is determined which classes subsequent elements belong to. The clustering technique, on the other hand, is an unsupervised learning technique. Data are clustered based on their similar characteristics without any prior class information. It is stated that the clustering technique can be used as a preliminary step for classification applications (Ramkumar et al. 1998).

Application and Data Analysis

During this study, a customer interaction dataset maintained by a website operating in the retail sector was utilized. The dataset contains actual shopping interactions belonging to 5,000 customers. Data such as the user's number of sessions, average session duration, bounce rate, number of customer transactions, and revenue generated from the customer were included as customer interaction metrics.

All information such as clicks on the shopping websites, browsing durations, purchase amounts, time spent on pages, the frequency of connecting to and leaving the pages, the time spent on the page during each connection instance, the frequency of connecting to pages, the platform from which the pages were

accessed, products viewed, products added to favorites or carts, and products reviewed can be stored in datasets as customer interaction. In accordance with the personal data protection law, personal data are neither shared nor stored.

During the study, the MATLAB program was utilized. Clustering was performed using the Neural Network Clustering infrastructure. The generated network structure is given below. Each customer was selected as a separate element, and 5,000 data rows were chosen.

The process was carried out using the 'Self-Organizing Map' algorithm, which is built into MATLAB's own infrastructure. The algorithm learns to cluster data based on similarity and topology, with a preference (though no guarantee) for assigning an equal number of samples to each class. This method is used both to cluster data and to reduce data dimensionality.

The system is inspired by the sensory and motor mappings that automatically organize topological information in the brain of mammalian living organisms. The Self-Organizing Map algorithm uses the trainbu technique as its training rule (given in Figure 1). Trainbu trains a network with weight and bias learning rules using batch updates. Weight and competitive updates occur at the end of a single pass over the entire input data. The system uses the learnsomb algorithm as its learning rule.

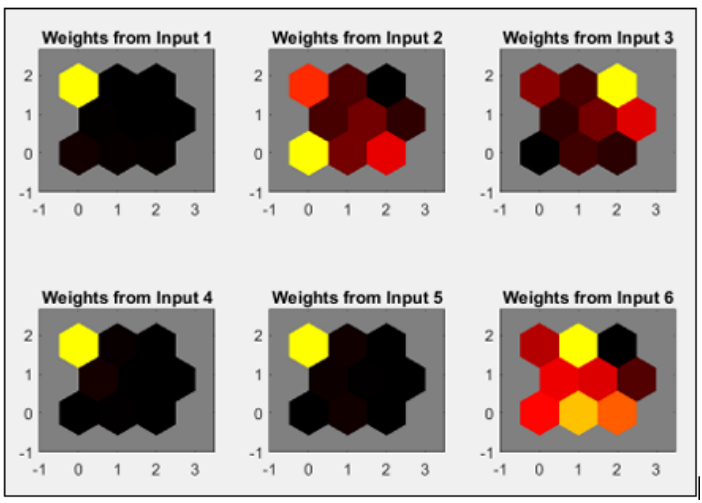
Figure 1 illustrates the neighborhood weight distances graph. Darker colors represent regions where the distance increases, while lighter colors indicate close neighborhoods. Darker regions can be generalized as customers exhibiting more outlier behavior.

Figure 1 Neighbour Weight Distances



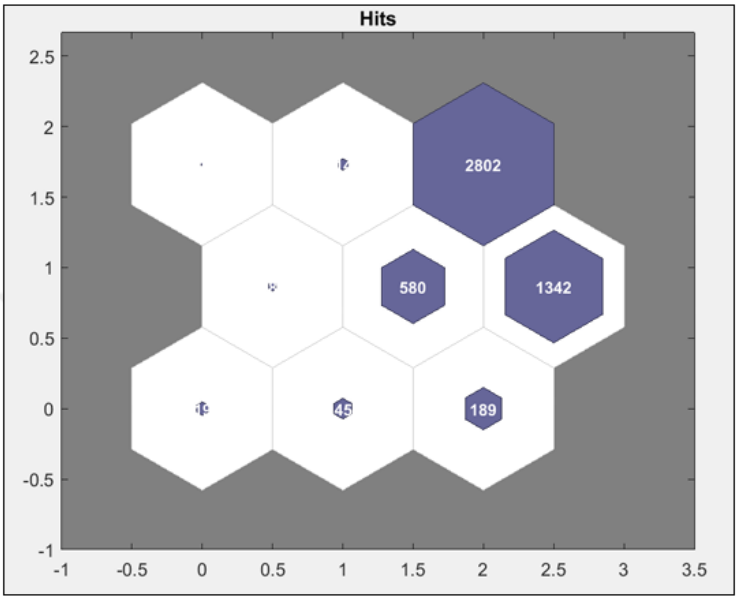
Figure 2 illustrates the weight distances for each input group. Similarly, darker colors indicate that the distance increases.

Figure 2 Weight Distances for Each Input



The following graph presents the distribution of samples into groups as a result of the clustering analysis conducted using real data. The overall density is concentrated on six main groups. Outlier samples are also observed.

Figure 3 Distribution of Samples



The resulting clusters and their characteristics were identified using the data heap. In general, the behaviors and customer counts are as follows:

- 3 samples: Few sessions, little time spent, and high spending
- 8 samples: Many sessions, little time spent, and high spending
- 12 samples: Many sessions, little time spent, and low spending

- 19 samples: Few sessions, little time spent, and low spending
- 45 samples: Few sessions, much time spent, and low spending
- 189 samples: Many sessions, much time spent, and low spending

The groups of users who generally do not make purchases are as follows:

- 2,802 samples: Few sessions, little time spent, and no spending
- 1,342 samples: Few sessions, much time spent, and no spending
- 580 samples: Many sessions, much time spent, and no spending

Conclusion

As a result of the study, based on the findings obtained from real data, the customer group consisting of 580 individuals spends a considerable amount of time on the site and initiates a significant number of sessions, yet their activities do not result in purchases. Through the inferences related to the trust factor presented in the first part of the study, efforts were made to integrate this group into the purchasing segment.

The classification of online shoppers is an advanced research topic because it focuses on better understanding shopper behavior and comprehending the decision-making factors of different shoppers. Consequently, customers will make repetitive purchasing decisions throughout the targeted market.

Acknowledgements

This study was derived from a portion of the doctoral dissertation conducted by Mehmet Cabir Akkoyunlu at the Yıldız Technical University Graduate School of Science and Engineering, Department of Industrial Engineering, supervised by Prof. Dr. Coşkun Özkan. The doctoral dissertation during which this research was carried out was supported by YTU Scientific Research Projects under Project ID: 3324 and Project Code: FDK-2018-3324.

References

Al-Ghamdi, R., Drew, S., & Al-Ghaith, W. (2011). Factors influencing e-commerce adoption by retailers in Saudi Arabia: A qualitative analysis. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, *47*(1), 1–13.

Alshehri, M., & Drew, S. (2012). A comprehensive analysis of e-government services adoption in Saudi Arabia: Obstacles and challenges. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *3*(2), 1–16.

Bhatnagar, A., & Ghose, S. (2004). Online information search termination patterns across product categories and consumer demographics. *Journal of Retailing*, *80*(3), 221–228.

Chen, V. W., Wu, H. X., & Van Ark, B. (2009). More costly or more productive? Measuring changes in competitiveness in manufacturing across regions in China. *Review of Income and Wealth*, *55*(s1), 514–537.

Gefen, D. (2000). E-commerce: The role of familiarity and trust. *Omega*, *28*(6), 725–737.

Heilman, C. M., & Bowman, D. (2002). Segmenting consumers using multiple-category purchase data. *International Journal of Research in Marketing*, *19*(3), 225–252.

Lee, M.-C. (2009). Factors influencing the adoption of internet banking: An integration of TAM and TPB with perceived risk and perceived benefit. *Electronic Commerce Research and Applications*, *8*(3), 130–141.

Liao, C., Liu, C.-C., & Chen, K. (2011). Examining the impact of privacy, trust and risk perceptions beyond monetary transactions: An

integrated model. *Electronic Commerce Research and Applications*, *10*(6), 702–715.

OECD. (2012). *Taxation and electronic commerce: Implementing the Ottawa taxation framework conditions*. OECD Publishing. http://www.oecd.org/dataoecd/46/3/1923256.pdf (Erişim tarihi: 25 Şubat 2012)

Ramkumar, G. D., Swami, A. N., & America, H. (1998). Clustering data without distance functions. *IEEE Data Engineering Bulletin*, *21*(1), 9–14.

Reichheld, F. F., & Schefter, P. (2000). E-loyalty: Your secret weapon on the web. *Harvard Business Review*, *78*(4), 105–113.

Shandan, H., Dan, F., Yunyun, X., & Yonghai, Z. (2012). Influencing factors of credibility in C2C e-commerce web sites. *Procedia Engineering*, *29*, 509–513.

Vlahos, G. E., Ferratt, T. W., & Knoepfle, G. (2004). The use of computer-based information systems by German managers to support decision making. *Information & Management*, *41*(6), 763–779.

Wu, R.-S., & Chou, P.-H. (2011). Customer segmentation of multiple category data in e-commerce using a soft-clustering approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, *10*(3), 331–341.


BİDGE