2209/B

ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ SANAYİYE YÖNELİK ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI

SONUÇ RAPORU

PROJE BAŞLIĞI: **Ergonomik Risk ve Yetkinlik Tabanlı Görev Atama Optimizasyonu**

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI: **Kevser Şebnem TAŞKIRAN**

DANIŞMANININ ADI: **Dr. Öğr. Üyesi Besim Türker ÖZALP, Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ, Zafer ŞAHİN**

GENEL BİLGİLER

PROJENİN KONUSU	Ergonomik Risk ve Yetkinlik Tabanlı Görev Atama Optimizasyonu
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI	Kevser Şebnem TAŞKIRAN
DANIŞMANIN ADI	Dr. Öğr. Üyesi Besim Türker ÖZALP, Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ, Zafer ŞAHİN
PROJE BAŞLANGIÇ VE BİTİŞ TARİHLERİ	02.12.2024 – 22.09.2025

Sonuç Raporu Formatı:

1. Giriş, Proje konusu hakkında kısa bilgi
2. Rapor dönemlerinde yapılan çalışmalar
3. Sonuç:
4. Çıktılar (Yayınlar, sunumlar v.b.)
5. Proje ile ilgili harcama kalemleri hakkında ayrıntılı bilgi

1. GİRİŞ

Bu projenin temel amacı, otomotiv sektöründeki montaj hattı çalışanlarının fiziksel özellikleri, ergonomik risk seviyeleri ve iş istasyonu yetkinlikleri dikkate alınarak en uygun şekilde görevlendirilmelerini sağlayan, matematiksel ve ergonomik temelli bir görev atama modeli geliştirmektir.

Oyak Renault montaj hattı, birbirinden farklı fiziksel taleplere sahip çok sayıda iş istasyonundan oluşmakta olup; hat üzerindeki bu çeşitlilik çalışan–iş uyumsuzluğuna, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına, iş kazası riskine, iş gücü verimsizliğine ve üretim sürecinde çeşitli aksaklıklara yol açabilmektedir.

Bu bağlamda geliştirilen model; EAM-v3 ergonomik değerlendirme yöntemiyle elde edilen ergonomik risk skorları, çalışanların istasyon bazlı yetkinlik durumlarını gösteren uygunluk matrisi ve her istasyon için gereken çalışan sayılarını içeren talep matrisini kullanarak tam sayılı doğrusal programlama (ILP) yapısı ile oluşturulmuştur. Böylece çalışan–istasyon atamaları bilimsel, ölçülebilir ve optimize edilebilir bir biçimde gerçekleştirilmiştir.

Ortaya çıkan sistem, yalnızca ergonomik riskleri minimize etmeyi değil; aynı zamanda üretim hattının sürekliliğini sağlamak, iş gücü verimliliğini artırmak ve çalışan sağlığını korumak amacıyla bütüncül bir karar destek mekanizması sunmaktadır.

2. RAPOR DÖNEMLERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Dönem 1 – Veri Toplama ve Ergonomik Analiz (1–3. Aylar)

Projenin ilk aşamasında, montaj hattında kapsamlı bir saha çalışması gerçekleştirilmiş; gerçek zamanlı gözlemler ve alan uzmanlarıyla yapılan görüşmeler doğrultusunda detaylı bir sistem analizi yapılmıştır. Bu analiz kapsamında, mevcut iş atama süreçlerinin nasıl yürütüldüğü, montaj istasyonlarında gerçekleştirilen operasyonların fiziksel talepleri ve çalışanların bu operasyonlarla olan uyumu değerlendirilmiştir.

Ardından veri toplama sürecine geçilmiştir. Tüm istasyonlar için EAM-v3 ergonomik değerlendirme yöntemi kullanılarak üç temel boyutta analiz yapılmıştır: Postür, Fiziksel efor, Zihinsel yük.

Elde edilen veriler doğrultusunda öncelikle modeli çalıştırmak için 6 kişilik küçük bir montaj hattı seçilmiştir. Bu hatta çalışanların hangi istasyonlarda görev yapabildiğini gösteren 0–1 formatında çalışan–istasyon yetkinlik matrisi oluşturulmuştur.

Seçilen montaj hattındaki tüm istasyonların ergonomik gereksinimleri detaylı biçimde incelenmiş; EAM-v3 analiz sonuçları kullanılarak istasyonlar düşük, orta ve yüksek risk seviyelerine göre sınıflandırılmıştır. Toplanan verilerin tutarlılığı kontrol edilmiş, hatalı veya eksik veriler ayıklanmış ve modelde kullanılmaya uygun şekilde temizlenerek analize hazır hale getirilmiştir.

Dönem 2 – Matematiksel Model Geliştirme ve Metodoloji (3–7. Aylar)

Bu dönemde, sahadan elde edilen ergonomik değerlendirme verileri ve operasyonel gereksinimler kullanılarak işgücü atama problemini çözmeye yönelik optimizasyon tabanlı bir metodoloji geliştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, üretim operasyonlarının gerektirdiği iş gücü talebini karşılarken çalışanların maruz kaldığı ergonomik riskleri en aza indirmektir. Bu kapsamda geliştirilen model, saha gözlemleriyle elde edilen EAM-v3 ergonomik değerlendirme skorlarını, çok periyotlu bir işgücü çizelgeleme yapısına entegre ederek her bir çalışanın fiziksel kapasitesi ve istasyonların biyomekanik gereksinimleri doğrultusunda uygun görevlere atanmasını sağlamaktadır.

Matematiksel Model Yapısı

Parametreler ve Açıklamaları

w	Çalışanlar kümesi
s	İstasyonlar kümesi
p	Periyot kümesi
$r_{w,s}$	w çalışanının s istasyonundaki ergonomik risk seviyesi.
$a_{w,s}$	w çalışanının s istasyonunda çalışabilme durumu (1: uygun, 0: uygun değil)
d_s	s istasyonunda gereken çalışan sayısı.

Değişkenler

$x_{w,s,p}$ Çalışanın p periyodunda s istasyonuna atanıp atanmadığını gösteren karar değişkeni.

$x_{w,s,p}$ 1 ise w çalışanı s istasyonuna atanmıştır, $x_{w,s,p}$ 0 ise atanmamıştır.

Amaç Fonksiyonu

Amaç, çalışan atamalarının toplam ergonomik risk seviyesini minimize etmektir. Model, her çalışanın görev aldığı istasyonlardaki ergonomik risk puanlarını dikkate alarak tüm periyotlar boyunca toplam ergonomik riski azaltmayı hedeflemektedir. Bu amaçla kullanılan fonksiyonun denklemi aşağıdaki gibidir.

$$Min \quad \sum_{w \in W} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} r_{w,s} \cdot x_{w,s,p}$$

Kısıtlar

1. Her çalışan en fazla periyot sayısı kadar istasyona atanabilir.

Her bir çalışan, en fazla periyot sayısı kadar istasyona atanabilir. Bu kısıt aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

$$\sum_{s \in S} \sum_{p \in P} x_{w,s,p} \leq \#P, \qquad \forall w \in W \tag{1}$$

2. Her istasyona tüm periyotlar boyunca toplamda gerekli sayıda çalışan atanmalıdır.

Bu kısıt her istasyonun, tüm periyotlar için toplam çalışan ihtiyacını karşılamasını sağlar. Bu kısıt bu denklem ile ifade edilir:

$$\sum_{w \in W} \sum_{p \in P} x_{w,s,p} = d_s * \#P, \qquad \forall s \in S \tag{2}$$

3. Her istasyona her periyotta sabit sayıda çalışan atanmalıdır.

Her istasyon gereken sayıda çalışana sahip olmalıdır. Bu kısıt denklem aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\sum_{w \in W} x_{w,s,p} = d_s, \qquad \forall s \in S, \forall p \in P \tag{3}$$

4. Çalışan yalnızca yetkin olduğu istasyonlara atanabilir.

$$X_{w,s,p} \leq a_{w,s}, \quad \forall w \in W, \forall s \in S, \forall p \in P \tag{4}$$

5. Çalışanın ortalama ergonomik riski belirli bir sınırı aşmamalı (≤ 2)

$$\sum_{s \in S} \sum_{p \in P} x_{w,s,p} * r_{w,s} / \#P \leq 2, \qquad w \in W \tag{5}$$

Matematiksel model IBM ILOG CPLEX 12.8.0.0 kullanılarak OPL ortamında kodlanmıştır ve Excel tabanlı veri dosyaları ile entegre edilmiştir. Çıktılar isteğe bağlı olarak Excel formatına geri aktarılabilmekte olup sistem yüksek düzeyde modüler ve ölçeklenebilir bir yapıya sahiptir. Çalışan, istasyon veya periyot sayısı değiştiğinde modelin yapısal olarak yeniden tasarlanmasına gerek yoktur.

Dönem 3 – Model Testi ve Pilot Çalışmalar (6–9. Aylar)

Bu dönemde geliştirilen modelin doğrulanması amacıyla üç farklı üretim hattı üzerinde kapsamlı testler gerçekleştirilmiştir. İlk uygulama, 6 işçi ve 6 istasyondan oluşan küçük ölçekli bir hat üzerinde yapılmıştır. İkinci çalışma, daha karmaşık bir hatta 8 çalışan ve 6 istasyon ile gerçekleştirilmiştir. Bu yapıda bazı istasyonların aynı anda iki çalışan gerektirmesi nedeniyle modelin çoklu çalışan ihtiyacını karşılama kapasitesi değerlendirilmiştir. Son aşamada ise modelin ölçeklenebilirliğini ve farklı üretim koşullarına adaptasyon kabiliyetini ölçmek amacıyla 400 çalışan ve 300 istasyondan oluşan büyük ölçekli bir veri dosyası oluşturulmuştur. Rastgele oluşturulan bu geniş veri seti üzerinde yapılan simülasyonlarda farklı vardiya süreleri, görev rotasyonu gereksinimleri ve istasyon kapasitesindeki değişiklikler gibi pek çok planlama senaryosu test edilmiştir.

Dönem 4 – Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Raporlama (9-10 Ay)
Farklı montaj hatlarındaki görev atamaları, geliştirilen modelin yüksek düzeyde ölçeklenebilirlik, güvenilirlik ve ergonomik uyumluluk sağladığını göstermektedir. İlk iki montaj hattı, şirket içinde seçilen iki ayrı üretim hattı kullanılarak değerlendirilmiş ve model gerçek saha verileriyle test edilmiştir. Bu hatlarda görev atamaları, çalışanların istasyonlarla olan uyumluluğu ve ergonomik risklerin dengelenmesi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Böylece modelin küçük ölçekli, gerçek hayattaki üretim ortamlarındaki uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Üçüncü montaj hattında ise 400 çalışan ve 300 istasyondan oluşan kapsamlı bir veri seti rastgele oluşturularak, modelin büyük ölçekli sistemlerdeki performansı ve esnekliği değerlendirilmiş ve bu veri seti üzerinde analizler yapılmıştır. Bu yaklaşım, modelin yalnızca sınırlı sistemlerde değil, aynı zamanda büyük ölçekli ve karmaşık üretim ağlarında da etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir.

İlk montaj hattında, 6 çalışan ve 6 istasyonun yer aldığı senaryoda, her istasyon için gereken işçi sayısı tamamen karşılanmış ve her çalışanın yalnızca bir istasyona atanmasıyla basit ve düzenli bir görev atama yapısı elde edilmiştir. Uygunluk matrisi doğrultusunda çalışanlar yalnızca aşina oldukları istasyonlara atanmış ve ergonomik risk seviyeleri kritik eşik değerlerin altında tutulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Montaj Hattı 1'de Her İstasyon İçin Gerekli Çalışan Sayısı

d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	1	1	1	1

Çalışanların yüksek ergonomik riske maruz kalmamasını sağlamak için, her çalışanın her istasyon için ergonomik risk puanı değerlendirilmiştir. Bu puanlar; duruş, fiziksel kuvvet ve tekrarlayan hareketler gibi temel ergonomik faktörlere göre belirlenmiştir. Tablo 2'de gösterildiği üzere, puanlar 1 (düşük risk) ile 3 (yüksek risk) arasında değişmekte olup, en uygun çalışan-istasyon atamalarını yönlendirmek amacıyla modelde girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Tablo 2. Montaj Hattı 1 için Her Çalışan ve İstasyonun Ergonomik Risk Puanları

Çalışan	s1	s2	s3	s4	s5	s6
w1	3	1	3	1	3	1
w2	2	2	2	2	2	2
w3	1	1	3	2	1	3
w4	1	1	1	1	1	1
w5	2	1	2	1	1	3
w6	1	2	1	2	2	1

Görev atamalarının uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini sağlamak için model, çalışanların her bir istasyonla ilgili önceki eğitimlerini ve aşinalık düzeylerini dikkate almıştır. Tablo 3'te gösterildiği üzere, 1 değeri çalışanın ilgili istasyonda eğitimli ve deneyimli olduğunu, 0 değeri ise aşina olmadığını ifade etmektedir. Atamaların yalnızca çalışanların bildiği istasyonlarla sınırlandırılması, olası üretim hatalarının önüne geçmekte ve öğrenme eğrisinden kaynaklanan zaman kayıplarını azaltmaktadır.

Tablo 3. Çalışanların İstasyonlarla Uyumluluğu (1=Uyumlu, 0=Uyumlu Değil)

Çalışan	s1	s2	s3	s4	s5	s6
w1	1	1	1	1	1	1
w2	1	1	0	1	1	1
w3	0	1	1	1	1	1
w4	0	1	1	1	1	1
w5	0	1	0	1	1	1
w6	1	1	1	1	0	0

Modelin nihai çıktısı, çalışanlar, istasyonlar ve zaman periyotları arasında optimize edilmiş görev atamalarından oluşmaktadır. Tablo 4'te gösterildiği üzere sonuçlar, her çalışanın belirli periyotlarda uygun istasyonlara çakışma olmadan atandığı uygulanabilir ve verimli bir dağılım ortaya koymaktadır. Atama değişkeninde 1 değeri geçerli bir atamayı ifade etmektedir. Bu ikili yapı, hangi çalışanın hangi istasyona ve hangi zamanda atandığının net bir şekilde takip edilmesini sağlamaktadır. Bu çözümün amaç fonksiyonu değeri 14 olup, toplamda 14 geçerli görev ataması yapıldığını göstermektedir.

Tablo 4. Görev Atama Sonuçları (Montaj Hattı 1)

Çalışan	İstasyon	Periyod	Atama
6	1	2	1
6	1	1	1
5	5	2	1
5	5	1	1
4	3	2	1
4	3	1	1
3	2	2	1
3	2	1	1
2	6	1	1
2	4	2	1
1	6	2	1
1	4	1	1

İkinci testte, bazı istasyonlar birden fazla çalışana ihtiyaç duymaktaydı. Tablo 5'te gösterildiği üzere, d2 ve d4 istasyonları her biri için iki çalışana ihtiyaç duymuştur. Bu durum, modelin yalnızca sabit iş gücü gereksinimlerini değil, aynı zamanda farklı istasyonlardaki değişken kapasite taleplerini de dikkate alacak şekilde esnek bir yapıda olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Montaj Hattı 2'de Her İstasyon İçin Gerekli Çalışan Sayısı

İş İstasyonları	d1	d2	d3	d4	d5	d6
Ger. Eleman Say.	1	2	1	2	1	1

İkinci testte, görev atamalarını yönlendirmek amacıyla her istasyondaki çalışanların ergonomik risk seviyeleri değerlendirilmiştir. Tablo 6'da gösterildiği üzere, risk seviyeleri 1 (düşük risk) ile 3 (yüksek risk) arasında değişmektedir. Bu değerler, çalışanların duruşu, uyguladıkları kuvvet ve tekrarlayan hareketler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Tablo 6. Montaj Hattı 2'de Her İstasyon için Çalışanların Ergonomik Risk Seviyeleri

Çalışan	s1	s2	s3	s4	s5	s6
w1	3	1	3	2	3	2
w2	2	2	3	2	3	2
w3	1	1	3	2	1	3
w4	1	1	3	3	1	2
w5	2	1	2	1	1	3
w6	3	3	3	1	3	3
w7	1	1	3	2	1	3
w8	3	1	3	2	3	2

İkinci testte, görev atamalarının geçerliliğini sağlamak amacıyla çalışanların aşina olduğu istasyonlar dikkate alınmıştır. Tablo 7'de gösterildiği üzere, 1 değeri çalışanın ilgili istasyonu bildiğini, 0 değeri ise bilgi sahibi olmadığını göstermektedir. Bu uyumluluk matrisi, atamaların yalnızca çalışanın daha önce deneyimi olduğu istasyonlara yapılmasını sağlamaktadır.

Tablo 7. Çalışanların İstasyonlarla Uyumluluğu (1=Uyumlu, 0=Uyumlu Değil) (Montaj Hattı 2)

Çalışan	s1	s2	s3	s4	s5	s6
w1	1	1	1	1	1	1
w2	1	1	0	1	1	1
w3	0	1	1	1	1	1
w4	0	1	1	1	1	1
w5	0	1	0	1	1	1
w6	1	1	1	1	0	0
w7	0	1	1	1	1	1
w8	0	1	0	1	1	1

Tablo 8. Görev Atama Sonuçları (Montaj Hattı 2)

Çalışan	İstasyon	Periyod	Atama
8	6	1	1
8	2	1	1
7	5	1	1
7	3	1	1
6	4	2	1
6	4	1	1
5	4	2	1
5	4	1	1
4	6	2	1
4	2	2	1
3	5	2	1
3	3	2	1
2	1	2	1
2	1	2	1
1	2	2	1
1	2	1	1

3. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ergonomik risk ve yetkinlik tabanlı görev atama modeli hem küçük hem orta hem de büyük ölçekli üretim hatlarında yürütülen kapsamlı testler sonucunda doğrulanmış, ergonomik açıdan güvenli ve operasyonel olarak uygulanabilir bir çözüm ortaya koymuştur. Test ve uygulamalarda modelin, çalışan–istasyon eşleşmelerini bilimsel temellere dayalı olarak optimize ettiği; yüksek ergonomik risk seviyesine sahip iş istasyonlarına yapılan atamaları sistematik biçimde sınırladığı ve çalışanların fiziksel kapasiteleriyle görev taleplerini uyumlu hale getirdiği görülmüştür. Çoklu çalışan gerektiren istasyonlarda dahi dengeli atamalar yaparak iş gücü rotasyonunu ergonomik açıdan daha sürdürülebilir hale getiren model, ayrıca çalışan başına düşen ortalama risk seviyesini düşürerek iş kazası ve mesleki rahatsızlık olasılığını azaltmıştır. Büyük ölçekli simülasyonlarda ise yüzlerce çalışan ve yüzlerce istasyon içeren senaryolarda dahi kararlı, hızlı ve tutarlı çözümler üretmiş; böylece önerilen metodolojinin yalnızca lokal bir uygulamaya değil, geniş çaplı endüstriyel üretim sistemlerine de başarıyla uyarlanabileceği kanıtlanmıştır. Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde, geliştirilen modelin üretim hattında sürekliliği güçlendirdiği, iş gücü planlamasını daha adil ve dengeli hâle getirdiği ve sonuç olarak toplam üretim verimliliğini anlamlı biçimde artırdığı açıkça ortaya çıkmıştır.

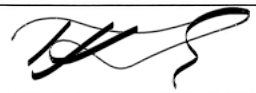
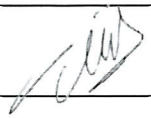
4. ÇIKTILAR

Yapılan bu araştırmanın sonucunda;

- İstanbul Teknik Üniversitesini düzenlediği Global Joint Conference on Industrial Engineering and Its Application Areas, GJCIE (Endüstri Mühendisliği ve Uygulama Alanları Uluslararası Ortak Konferansı) sunulmak üzere makale hazırlanmıştır ve sunumu yapılmıştır.
- Bütünleşik sistem tasarımı kapsamında 3 araştırmacı da bireysel bitirme projesi hazırlamıştır ve sunumunu yapmıştır. Ayrıca TÜBİTAK projemiz kapsamında çalışan öğrenci arkadaşlar ile ortak, bölümümüzde bir Bütünleşik Sitem Tasarımı projesi gerçekleştirilmiştir.

5. HARCAMA KALEMLERİ

Bütçe Türü	Kullanılan Bütçe Miktarı (TL)	Talep Gerekçesi
Sarf Malzeme	**-**	GJCIE kongresine poster sunumu yapılmamış, tam metin makale ile katılım sağlanmıştır. Bu sebeple bir sarf malzemesi masrafı olmamıştır.
Hizmet Alımı	**6000 TL**	GJCIE kongresine katılım için ödenen ücret bedeli.
Ulaşım	**5019 TL**	Kongreye katılım amacıyla yapılan ulaşım gideri.
TOPLAM	**11.019 TL**	

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI – SOYADI - İMZA	AKADEMİK DANIŞMANIN ADI – SOYADI - İMZA	SANAYİ DANIŞMANININ ADI – SOYADI - İMZA
Kevser Şebnem Taşkıran	Besim Türker Özalp	Zafer Şahin
		

Tarih: 24.11.2025