



İŞ YÜKÜ MİNİMİZASYONUNU HEDEFLEYEN ERGONOMİK BİR İŞÇİ ATAMA MODELİ ÖNERİSİ

Yelda AYRIM^{1*}, Gülin Feryal CAN¹

¹ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>İş Yüğü, İşçi atama, Hedef Programlama, Verimlilik.</i>	<p>Çalışanların fiziksel ve zihinsel kapasiteleri üretim verimliliğini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Fiziksel ve zihinsel kapasitenin sınırları insan olarak yapısal özelliklerin yanı sıra iş ortamının koşullarından da etkilenmektedir. Bu koşullar, aydınlatma, gürültü, havalandırma, titreşim gibi iş ortamının fiziksel özellikleridir. Söz konusu özellikler, çalışanın performansını ve üstesinden gelebileceği iş yükü seviyesini olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir. Üretimde verimliliğin sağlanabilmesi için çalışanların kapasitelerine uygun iş yükü seviyelerine sahip olan işlere atanmaları gerekmektedir. İş yükü seviyesi fazla olduğu zaman çalışan, erken dönemde yorulmaktadır. Yorgunluk, solunum, dolaşım, kas-iskelet sistemi, merkezi sinir sistemi gibi vücudun temel fonksiyonlarını yürüten sistemlerde zorlanmaya sebep olmaktadır. Yorgunluk uzun süre devam ettiğinde ise işe devamsızlıklar, kalite düzeyinde düşüşler, iş kazaları gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Yorgunluk aynı zamanda çalışanın motivasyonunu da düşürmektedir. Bu kapsamda çalışmada, üretim miktarı, birlikte çalışılan yükün ağırlığı, iş ortamındaki sıcaklık, aydınlatma, gürültü ve çalışma duruşu faktörlerini dikkate alan ve iş yükü en küçüklemesini hedefleyen bir işçi atama modeli önerilmiştir. Önerilen model, bir reklam firmasının kutu harf üretim alanında gerçekleştirilen işlere çalışanların atanması amacıyla kullanılmış ve böylece zorlanma düzeyini en küçükleyen bir atamanın yapılması sağlanmıştır.</p>

AN ERGONOMIC WORKER ASSIGNMENT MODEL THAT AIMS TO MINIMIZE THE WORKLOAD

Keywords	Abstract
<i>Workload, Worker assignment, Goal programming, Productivity.</i>	<p>The physical and mental capacities of employees are one of the most important factors affecting production efficiency. The boundaries of the physical and mental capacities are influenced by the conditions of the working environment as well as the structural characteristics of the human being. These are the physical characteristics of the work environment, such as lighting, noise, ventilation, vibration. These characteristics affect the performance of the employee and the level of workload that he or she can overcome, either positively or negatively. In order to achieve productivity in production, employees need to be assigned to jobs having appropriate workload levels for their capacities. When the workload level is high, worker fatigue occurs at the early stage of the work. Fatigue causes strain in respiration system, circulation system, musculoskeletal system, central nervous system carrying out the basic functions of the body, as the body's basic functions. When fatigue continues for a long time, negative results such as absenteeism, decline in quality level and work accidents can occur. Fatigue also reduces employee motivation. In this context, a worker assignment model aiming workload minimization has been proposed that takes into consideration the factors such as the amount of production, the weight of the workload to be worked together, the temperature, lighting, noise level of working area and working posture. The proposed model was used to assign employees to jobs performed in the field of box letter manufacturing of an advertising firm to make possible to utilize an assignment that minimizes the level of strain.</p>

* İlgili yazar / Corresponding author: yayrim@baskent.edu.tr, +90-312-246-6666

Alıntı / Cite

Ayrım, Y., Can, G.F., (2018). İş Yükü Minimizasyonunu Hedefleyen Bir Ergonomik İşçi Atama Modeli Önerisi, Ergonomik Yaklaşım, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(ÖS: Ergonomi2017), 148–158

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
Yelda AYRIM, 0000-0002-5546-1563	Başvuru Tarihi / Submission Date 29.11.2017
Gülün Feryal CAN, 0000-0002-7275-2012	Revizyon Tarihi / Revision Date 29.03.2018
	Kabul Tarihi / Accepted Date 21.09.2018
	Yayın Tarihi / Published Date 24.12.2018

1. Giriş

İnsan, varoluşundan itibaren fiziksel ve zihinsel çabanın sarf edildiği tüm çalışma sistemlerinin ana aktörü olmuştur. Buna göre çalışanların fiziksel ve zihinsel kapasiteleri üretim verimliliğini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Fiziksel ve zihinsel kapasitenin sınırları insan olmanın verdiği yapısal özelliklerin yanı sıra çalışma ortamının koşullarından da etkilenmektedir. Ayrıca, çalışanın kendisinden bekleneni gerçekleştirebilmesi için yetenekleri ile bu beklentiler arasında uyum olmalıdır. İş kazaları ve üretim problemlerinin en büyük nedenlerinden birisi insanın yapısal özelliklerine uygun olmayan çalışma ortamlarıdır.

Tasarım aşamasında ergonomik faktörler dikkate alınmadan yetersiz veya eksik tasarlanmış olan çalışma ortamları; hata ve kaza oranlarının artmasına ve bu artışlara paralel olarak üretim verimliliğinin düşmesine neden olmaktadır. Uluslararası Ergonomi Derneği; "Ergonomi" ya da "İnsan Faktörleri"ni insanlar ile sistemin diğer elemanları arasındaki ilişkiyi araştıran bir bilim dalı olarak tanımlamaktadır. Bununla birlikte "Ergonomi" insanın refahı ve tüm sistemin verimliliğinin optimize edilmesi için teori, prensip ve metotları sistem tasarımına uygulayan bir uzmanlık alanı olarak da tanımlanmaktadır (Ansari vd., 2013). Çalışanın performansına dayalı olarak ortaya çıkan verimliliği, çalışma sisteminin verimliliğini direk olarak etkilemektedir (Chaudhary, 2014). Çalışanın verimliliği ise büyük ölçüde iş istasyonlarının ergonomik tasarımına bağlıdır. İş istasyonlarının tasarımında ergonomik ilkelerin kullanılması etkin bir insan-makine uyumunu beraberinde getirir.

Diğer taraftan, uygun işlerin uygun işçilere atanması da yine çalışanın performansı, yaşayacağı yorgunluk ve zorlanma seviyeleri açısından önemlidir. Ergonomik açıdan bakıldığında; çalışan yetenek, beceri, bilgi ve performans düzeyine uygun olan işlerde başarılı olabilecektir. Her bir çalışan için uygun olan işin belirlenmesinde o işin yaratacağı iş yükü düzeyine dikkat edilmelidir. Çalışanın bu iş yükü düzeyini gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğinin belirlenmesi, aslında o işte başarılı olup olamayacağının belirlenmesiyle aynı anlama gelmektedir. Çalışan tarafından belirli bir

kalitede, belirli bir performansla, belirli bir zamanda yapılması gereken iş miktarı ve bu iş miktarının çalışan üzerinde yarattığı baskılar iş yükü olarak tanımlanmaktadır. İş yükünün çalışan açısından az ya da çok olarak hissedilmesinde, çalışma ortamının aydınlatma, gürültü, havalandırma, titreşim gibi ergonomik faktörler açısından özellikleri de büyük rol oynamaktadır. Buna göre, çalışanların uygun işlere atanması yapılırken, çalışma ortamının ergonomik özellikleri de dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltmak ve çalışanları kazalardan korumak için de işçilerin işlere atanması gerçekleştirilirken ergonomik faktörlerin dikkate alınması gerekir. Bu şekilde, çalışanın işini daha kolay yapması sağlanarak üretim hatalarını azaltmak, ürün kalitesini ve üretim miktarını arttırmak ta mümkün olabilecektir. Ayrıca, işe devamsızlıklar azalacak, çalışanların morali yükselecek, çalışanların tazminatları ile hastalık ve geçici işçiler için yapılan ödemeler de azalacaktır. İşçilerin ergonomik koşullar dikkate alınarak işlere atanmasındaki amaç olumsuz koşullar nedeni ile ortaya çıkabilecek iş yükünü azaltmaktır.

Çalışmada, bir reklam firmasının kutu harf üretim hattında gürültü, sıcaklık, aydınlatma, birlikte çalışılan yükün ağırlığı ve duruşsal risk dikkate alınarak belirlenen iş yükünü en küçükmeyi amaçlayan bir atama modeli önerilmiştir. İlk olarak, her işçinin farklı fiziksel özelliklerinin olması ve iş istasyonlarında tasarım farklılıklarının bulunması nedenleri ile her bir işçinin duruşsal riskleri seçilen işler için analiz edilmiştir. Duruş analizinde Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment Analysis-REBA) yöntemi kullanılmıştır. Bununla birlikte, işçilerin taşıyabilecekleri yüklerin ağırlıkları işçiler arasındaki yaş farklılıkları dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, yükün ağırlığı ve duruşsal risk dışında çalışma ortamının ergonomik özellikleri kapsamında sıcaklık, aydınlatma ve gürültü olmak üzere üç farklı faktörün yönetmelikler ve standartlar tarafından belirlenen sınırlarda olması atama modelinde sağlanmaya çalışılmıştır. Buna göre, söz konusu üç faktörün işçilerin sağlığına zarar vermeyecek seviyelere indirilmesi için ne kadarlık bir maliyete katlanması gerektiği işverenle birlikte belirlenmiş ve ilgili maliyetler modele yansıtılmıştır. Bununla birlikte, işletmenin karlılığının da korunması için üretim miktarının da belirli bir miktara ulaşabilmesi modelde amaçlanmıştır. Sonuç olarak çalışma ortamında gürültü, aydınlatma ve sıcaklık

koşulları açısından güvenli maruziyet sınır değerlerinin sağlanması durumunda oluşacak maliyeti, duruşsal riski ve üretim miktarının belli bir seviyede olmasını birlikte amaçlayan bir işçi atama modeli önerilmiştir. Çalışmanın, ergonomik faktörleri ve üretim miktarı koşulunu dikkate alan bir matematiksel model önermesi nedeniyle literatüre önemli bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yazın taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, önerilen işçi atama modeli anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, önerilen işçi atama modelinin kutu harf üretim hattında uygulanmasına değinilmiş ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Son bölümde ise önerilen modele ilişkin yorumlara ve gelecek çalışmalara ilişkin önerilere yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatür incelendiğinde ergonomik koşullar ve üretim miktarını bir arada değerlendiren sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalar genelde iş rotasyonuna yöneliktir. Xie ve Salvendy (2000) tarafından tek ve çok görevli üretim süreçlerinde ortaya çıkan zihinsel iş yükünün tahmini için pratik bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Lin vd. (2001), ürün kalitesi ve ergonomik iş istasyonu arasındaki ilişkiyi ölçmeyi amaçlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Montaj hattından çıkan ürünlerin kalitesi haftalık kusur oranı ile değerlendirilirken; ergonomik faktörler kapsamında görevi tamamlama zamanı ve duruşsal riskler ele alınmıştır. Ergonomik faktörlerin kalite üzerindeki etkisi varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Jung ve Jung (2001), insan-makine sistemlerinde işçilerin maruz kaldığı iş yükünü belirleyebilmek için AHP ve dilsel değişkenler kullanarak bir iş yükü tahmin modeli geliştirmişlerdir. Dağdeviren vd. (2005), çalışma ortamına bağlı olarak çalışanın katlanabileceği toplam iş yükü seviyesinin tahmin edilmesi amacıyla Analitik Ağ Prosesi yöntemini kullanarak bir iş yükü tahmin modeli geliştirilmişlerdir. Majozi ve Zhu (2005), en iyi işçi atamasını yapabilmek için bulanık küme teorisiyle karma tam sayılı programlama modelini birleştirerek kullanılmışlardır. Seçkiner ve Kurt (2008), iş rotasyonu çizelgeleme problemi için karınca kolonisi optimizasyonunun etkinliğini değerlendirmişlerdir. Landau vd. (2008), tekrarlı hareketlerin olduğu montaj hatlarında iş seçimlerinde işçinin yaşının önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaya göre yaş ve iş yükünün birbirinden ayıramayacağı ortaya konmuştur. Özellikle yaşlı ileri işçilerde yapılan işlerde omurga faaliyetlerinin getirdiği zararların yanında baş ve boyun ağrılarıyla sıklıkla karşılaşıldığı görülmektedir. Baş-boyun-omuz bölgesini, omurga ve üst ekstremleri etkileyen semptomlar vücut boyu ve vücut kitle indeksi ile birlikte değişkendir. Bu değerlendirme OWAS metodu ile yapılmış olup

çalışma ortamı için, yaşlı işçilere daha az zorlama getiren işlerin tahsis edilmesi yoluyla fiziksel performansın az ya da çok azalması olasılığının önüne geçmenin uygun olacağı sonucuna varmışlardır. Choi (2009), Genelde toplam işlem süresini ve / veya iş istasyonu sayısını en aza indirme problemi olarak ele alınan montaj hattı dengeleme için kendi yaptığı araştırmalara dayanarak ergonomik koşulların sürece dahil edildiği bir yaklaşım önermiştir. Bu nedenle, işlem süresi ve fiziksel iş yükünün aşırı yüklenmesini çeşitli risk unsurlarıyla birleştiren sıfır-bir tamsayı program modeli önermektedir. Çözüm teknikleri için hedef programlama yaklaşımını kullanılmıştır. Aryanezhad vd. (2009), iş becerilerini dikkate alan iş rotasyonu çizelgelemesine yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Moon vd. (2009), farklı yeteneklere sahip işçilerin montaj hatlarında atanmalarına ilişkin bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, öncelik kısıtı dikkate alınarak farklı maaşlara sahip yetenekli işçiler, yetenekleriyle ilişkili istasyonlara dağıtılarak iş istasyonlarına görev atama problemi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında toplam yıllık iş istasyonu maliyeti ile atanmış işçilerin maaşlarını en küçükleyen bir matematiksel model tasarlanmıştır. Montaj hattı üzerinde denenen kaynak kısıtlı bu model için karma tam sayılı bir model ile genetik algoritma kullanılmıştır. Tharmmaphornphilas (2010) işçilerin işitme kaybı olasılığını azaltmak için idari kontrolleri ve bilgisayar programlama modelini temel alan bir iş rotasyon yöntemi önermişlerdir. Wongwien ve Nanthavanij (2012), günlük izin verilen gürültü maruziyetini korumak için işçilerin rotasyonunu ele alan ergonomik iş yükü çizelgeleme problemini ele almışlardır. Mutlu ve Özgörmüş (2012), işe bağlı yaralanmaların azaltılması için sadece görev önceliği ve işlem sürelerini değil, aynı zamanda fiziksel iş yüklerini de içeren yeni bir montaj hattı dengeleme problemi sunmuşlardır. Burada klasik montaj hattı dengelemeden farklı olarak montaj hatlarının ana parçası işçilerin tekrarlı hareketlerden kaynaklanan yaralanmaları azaltmaya yönelik bir çalışma ele almış olmasıdır. Ağırılığı baz alarak geliştirilen NIOSH eşitliğinden faydalanan bir montaj hattı dengeleme ele alınmıştır. Otto ve Scholl (2013), işçilerin maruz kaldıkları ergonomik riskleri dengelemek için etkin bir iş rotasyon stratejisi sunmuşlardır. Kara vd. (2014), psikolojik ve fiziksel zorlanma, işçi yetenekleri, birden fazla işçi kullanma gerekliliği, kullanılan teçhizatın durumu, duruş analizi ve aydınlatma gibi ergonomik ve kaynak kısıtlarını içeren bir montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Baykasoglu ve Akyol (2014), montaj hatlarında amaç her ne kadar işlem sürelerinin düzgün dağılmasını sağlamaya çalışmaksa da istasyondaki işler birbirinin tıpatıp aynısı olmayacağından, bu istasyonlardaki zorlanma derecelerinin de farklılık gösterebileceğini savunmuşlardır. Tekrarlı işlere dayalı zorlanma giderek artacağından montaj hattını dengelerken her bir istasyon için kabul edilebilecek en yüksek risk

seviyesini belirlemek ve ergonomik risk faktörlerinin bu seviyenin üstüne çıkmasına izin vermemeyi önemsemişlerdir. Bu çalışmada, ergonomik risk seviyesini belirlemek için OCRA indeksi kullanılmış ve uygun atamaların yapılması sağlanmıştır. Polat vd (2018), tekrarlayan işlerde monoton vücut duruşlarıyla birlikte ağır fiziksel iş yüklerinin, montaj hattı çalışanlarının performansını ve işle ilgili kas-iskelet bozukluklarını olumsuz yönde etkileyerek işçilerin yaşam kalitesini azalttığını belirlemişler. Temel amacın sadece çevrim süresinin dengelenmesi değil aynı zamanda istasyonların fiziksel iş yükünün aynı anda dengelenmesi olduğunu değerlendirmişlerdir. Çalışmada, montaj hattındaki iş yükünü belirlemek için Rapid Entire Body Assessment (REBA) yöntemi önerilerek bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Modelde, herhangi bir işe bir işçinin atanamaması durumunda en fazla izin verilen iş yükünden sapmayı en küçükleyen bir yaklaşım ele alınmıştır. Song vd. (2016), iş yükü miktarını en küçükleyerek kas iskelet sistemindeki bozuklukları en aza indiren bir iş rotasyonu modeli önermişlerdir. Akyol ve Baykasoğlu (2016), ergonomik riskleri dikkate alan yeni bir işçisi atama ve dengeleme problemi önermişlerdir. Problem kapsamında, çoklu kural tabanlı yapıcı bir sezgisel önerilmiştir. Ergonomik risk değerlendirmesi için OCRA indeksi kullanılarak bir hedef programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Musavi vd. (2016), bir planlama dönemi için ergonomik riskleri göz önüne alan bir rotasyon programı geliştirmişlerdir. Yoon vd. (2016), aynı vücut bölgelerinin birikimli iş yükünü azaltan bir matematiksel model kullanarak yeni bir iş rotasyonu yaklaşımı önermişlerdir. Otto ve Battaia (2017), montaj hattı dengelemesi ve iş rotasyon planlamasında, fiziksel koşulları dikkate alan mevcut optimizasyon yaklaşımlarını gözden geçirmişlerdir. Comper vd. (2017), kas iskelet sistemi hastalıklarından kaynaklanan hastalık izinleri nedeniyle kaybedilen çalışma saatlerini azaltmak için iş rotasyonunun etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Boenzi vd. (2017), modern üretim süreçlerinde işçilerde meydana gelen yaralanmaları azaltmak için iş rotasyonu modeli geliştirmişlerdir. Burada, ergonomik koşulların kontrolü OCRA metodu ile sağlanmaya çalışılmıştır. Baykasoglu vd. (2017), montaj hattı tasarımı problemini ele almışlardır. Bu problem yapısı, montaj hattı dengeleme ve aynı zamanda tesis yerleşimi ile birlikte ergonomik koşulları göz önüne alan alt montaj hatlarını içermektedir. Çalışmalarında üretkenliği, çalışanların çalışma koşullarını, iş sağlığı ve güvenliğini ve dolaylı olarak maliyet etkinliğini artıracabilecek bir montaj sistemi tasarlamak için yeni bir sistematik yaklaşım önerilmiştir. Dolgui vd. (2018), eşzamanlı olarak kullanılan azami işçi sayısının en aza indirgenmesi, hat çevrim süresinin aşılmaması ve her işlem için olası işçi sayısının belirlenmesi kısıtlamalarını dikkate alarak operasyonlara atama yapılmasını sağlayan bir karma tam sayılı model önermişlerdir. Fini vd.(2018), inşaat sektöründe iş yükü

dengelemesini gerçekleştirmek amacıyla takım halinde iş görev atama yaklaşımına dayanarak ekibi oluşturan farklı işçilerin beceri seviyesini, deneyimlerini, yeteneklerini, öğrenme oranlarını ve yorgunluk oranlarını dikkate alan bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşım ekip içerisindeki iş yükü dağılımını en iyilemeyi sağlamaktadır.

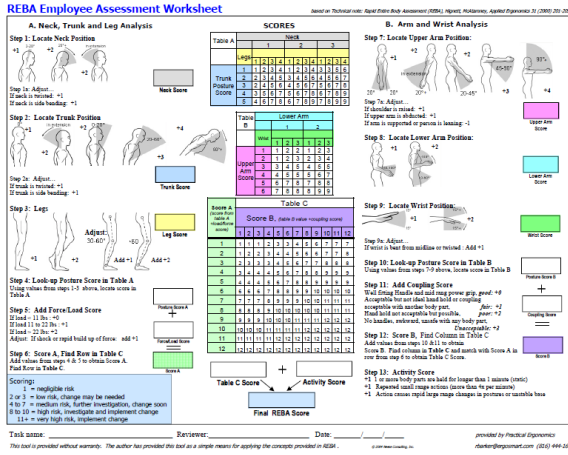
Literatür araştırmasından da görüldüğü gibi, ele aldığımız bu çalışmada ergonomik koşulların göz önünde bulundurulduğu işçi ataması yaklaşımlarında yöntemler tek tek değerlendirme olarak kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada ergonomik koşullar o iş için sağlanmaya çalışılacaksa katlanılacak maliyetin yansımaları değerlendirme sürecine yansıtan bir model önerilmektedir. Polat vd (2018), herhangi bir işe bir işçinin atanaması durumunda en büyük izin verilen iş yüklerinden sapmayı en küçükleyen bir yaklaşım ele alınmıştır. Ancak bizim geliştirdiğimiz model yöntem bazında belirlenen skorların aşılmasına izin vermeyen bir atama yapmaktadır. Özellikle ergonomik iş atmaları çalışmalarına bakıldığında üretim miktarı kısıtı değerlendirmeye alınmamıştır. Benzer şekilde Lin vd. (2001), Majozi ve Zhu (2005), Choi (2009), Kara vd. (2014) ve Song vd. (2016), ergonomik koşullar dikkate alınarak işçi ataması buna dayalı rotasyon ve montaj hattı dengeleme ele almışlardır. Yine bilimsel yazın taramasında detaylı bahsettiğimiz pek çok çalışma vardır. Aynı zamanda, matematiksel modellerin karmaşıklığından kaynaklı Seçkiner ve Kurt (2008), Moon vd. (2009), Akyol ve Baykasoğlu (2016) ve Baykasoglu vd. (2017) sezgisel yöntemlerden faydalanmışlardır. Çözüm yöntemi olarak belirtilen çalışmalar arasında hedef programlama da mevcuttur (Choi, 2009; Polat vd, 2018). Ayrıca, ergonomik faktörleri dikkate alarak iş yükünü en küçükleyen ve üretim miktarını en büyükleyen işçi atama stratejisini oluşturmak için herhangi bir modelin oluşturulmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada gürültü, aydınlatma, duruşsal risk, birlikte çalışılan yükün ağırlığı ve üretim miktarı faktörleri bir arada dikkate alınmıştır. Literatürde, önerilen modelde olduğu kadar geniş bir kapsamda iş yükünü en küçükleyerek üretim miktarını en büyükleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA) Yöntemi

REBA 1999 yılında Hignett ve McAtamney tarafından geliştirilmiştir. Yöntemde insan vücudu, hareket düzlemleri referans alınarak bölümlendirilmiştir. REBA, statik ve dinamik duruşların risk seviyelerinin belirlenmesi için bir puanlama sistemi sağlamaktadır. Ayrıca, insan-yük etkileşimini de dikkate almaktadır (Stanton vd., 2005). REBA'da vücut Grup A ve Grup B olmak üzere iki bölüme ayrılarak çalışma duruşları değerlendirilmektedir. Grup A'da gövde, boyun ve

bacaklar; Grup B'de, üst kol, alt kol ve bilekler için duruş analizi yapılmaktadır. Grup B'de yer alan vücut bölümleri, sağ ve sol olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmektedir (Hignett ve McAtamney, 2000). Şekil 1'de REBA analiz sistemi yer almaktadır.



Şekil 1. REBA Analiz Sistemi (Hignett ve McAtamney, 2000)

Grup A'da yer alan vücut bölümlerine ait duruşların puanlandırılmasında Tablo A, Grup B'de yer alan vücut bölümlerine ait duruşların puanlandırılmasında Tablo B kullanılmaktadır. Grup A'nın değerlendirilmesinden elde edilen skora "Yük/Kuvvet" skoru, Grup B'nin değerlendirilmesinden elde edilen skora "Kavrama" skoru eklenmektedir (Hignett ve McAtamney, 2000). Tablo 1, 2, 3 ve 4'de sırasıyla Tablo A skorları, Yük/Kuvvet skorları, Tablo B skorları ve Kavrama skorları yer almaktadır. Elde edilen nihai Grup A ve Grup B skorları Tablo C'de keşitirilerek "C" skoru belirlenmekte ve "Aktivite" skoru C skoruna eklenerek Final REBA skoru hesaplanmaktadır (Hignett ve McAtamney, 2000). Tablo 5'de Tablo C skorları, Tablo 6'da ise aktivite skorları gösterilmektedir. Elde edilen Final REBA skoru Tablo 7'de verilen eylem seviyelerine göre değerlendirilmektedir.

Tablo 1. REBA Tablo A Skorları

		Tablo A											
		Boyun											
		1				2				3			
Gövde	Bacak	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1		1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2		2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3		2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4		3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5		4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tablo 2. REBA Yük/Kuvvet Skorları

0	1	2	+1
<5kg	5-10kg	>10kg	Ani ya da hızlı kuvvet uygulama

Tablo 3. Tablo B Skorları

		Tablo B					
		Alt kol/Dirsekler					
		1			2		
Üst Kol	Bilek	1	2	3	1	2	3
1		1	2	2	1	2	3
2		1	2	3	2	3	4
3		3	4	5	4	5	5
4		4	5	5	5	6	7
5		6	7	8	7	8	8
6		7	8	8	8	9	9

Tablo 4. REBA Kavrama Şekli Skorları

0	1	2	+1
İyi	Eşit	Kötü	Kabul Edilemez
İyi konumlandırılmış tutamaçlar ve orta bölgeden güçlü sıkıştırma söz konusudur.	Objeyi elle tutmak mümkündür fakat ideal değildir ya da kavrama tertibatı kabul edilebilir seviyededir fakat objenin, diğer vücut kısımları ile desteklenmesi gerekmektedir.	Elle tutmak kabul edilemez ama buna rağmen mümkün olabilir.	Biçimsiz, güvensiz sıkıştırma söz konusudur ve objeyi tutmak için tutamaç bulunmamaktadır. Objeyi diğer vücut kısımlarıyla kavramak kabul edilemez.

3.2. Önerilen Yaklaşım

Çalışmada, üretim miktarı ve ergonomik koşulları dikkate alan 0-1 tam sayılı programlama ile optimal işçi atama stratejisi belirlenmeye çalışılmıştır. Modelde ergonomik koşullar kısıtları oluşturmaktadır. Burada amaç, işçilerin zorlanmadan çalışabilecekleri işlere atanmasını sağlamaktır. Bu kapsamda, üretim miktarının en büyükleme ve mevcut ergonomik koşulların iyileştirilmesi için katlanılan maliyeti en küçükleyen bir işçi atama modeli geliştirilmiştir. Bu çerçevede atama modeli kapsamında oluşabilecek indisler, karar değişkenleri ve parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

İndisler: $m = \{1, \dots, l\}$ işçiler kümesi ve $k = \{1, \dots, n\}$ işler kümesidir.

Karar değişkenleri:

Karar değişkenleri ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

y_{mk} , m işçisinin k işine atanması durumunda elde edilecek olan üretim miktarını,

x_{mk} , m işçisinin k işine atanması durumunda 1, diğer durumlarda 0 olduğu,

α_k , k işi yüksek sıcaklıkta gerçekleştiriliyorsa 1, diğer durumlarda 0 olduğu,

β_k , k işi yüksek aydınlatma gerektiriyorsa 1, diğer durumlarda 0 olduğu,

γ_k , k işi yüksek gürültü düzeyinde gerçekleştiriliyorsa 1, diğer durumlarda 0 olduğu durumu ifade etmektedir.

Tablo 5. REBA Tablo C Skorları

TABLO C												
SKOR B												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
SKOR A	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tablo 6. REBA Aktivite Skoru

+1: Bir ya da daha çok vücut parçası statikse örneğin;1 dakikadan daha fazla bir işi yapmak.

+1: Duruşlardaki veya dengesiz bir zeminde, tekrarlı bir şekilde ve dar alanda yapılan işler söz konusudur.

+1: Duruşlarda veya dengesiz bir zeminde, hızlı büyük değişim gerektiren hareketler söz konusudur.

Tablo 7. REBA Eylem Seviyeleri

Eylem Seviyesi	REBA Skoru	Risk Seviyesi	Eylem (Daha fazla değerlendirme gereksinimi)
0	1	İhmal edilebilir	Gereksiz
1	2-3	Düşük	Gerekli olabilir
2	4-7	Orta	Gerekli
3	8-10	Yüksek	Kısa bir süre içinde gerekli
4	11-15	Çok Yüksek	Şimdi/hemen gerekli

Parametreler:

A, yüksek sıcaklığa sahip iş/işlere uygun sıcaklık koşulları sağladığı takdirde oluşabilecek maliyeti,

B, yüksek aydınlatma gerektiren iş/işlere uygun aydınlatma koşulları sağladığı takdirde oluşabilecek maliyeti,

C, yüksek gürültülü iş/işler için uygun gürültü koşulları sağladığı takdirde oluşabilecek maliyeti,

$REBA_{iis}$, her bir işçi için kabul edilebilecek en yüksek REBA skorunu,

$REBA_{mk}$, her bir k işçisinin m işindeki REBA skoru,

T, m. işçinin k işine atandığı durumda taşıyacağı yükü,

y_k^{min} , k işi için üretim koşulları çerçevesinde kabul edilebilir alt sınır değeri,

y_k^{max} , k işi için üretim koşulları çerçevesinde kabul edilebilir üst sınır değeri,

S_{mk} , k işi için her bir m işçisinin REBA skoru,

L, yaşa bağlı olarak taşınabilecek yükün ağırlığına ait üst sınırı temsil etmektedir.

Önerilen yaklaşım kapsamında hedefler ve dikkate alınan ergonomik kısıtlar Eşitlik (1-12)'de verilmiştir.

$$\max \sum_{m=1}^l y_{mk} * x_{mk}, \forall k \quad (1)$$

$$\min \sum_{k=1}^n A * \alpha_k + B * \beta_k + C * \gamma_k \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{mk} = 1, \forall m \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^l x_{mk} = 1, \forall k \quad (4)$$

$$y_k^{min} \leq y_k \leq y_k^{max}, \forall k \quad (5)$$

$$REBA_m \leq REBA^{is}, \forall m \quad (6)$$

$$\sum_m x_{mk} - \gamma_k \leq 0, k \in YG \quad (7)$$

$$\sum_m x_{mk} - \beta_k \leq 0, \forall k \in YA \quad (8)$$

$$\sum_m x_{mk} - \alpha_k \leq 0, \forall k \in YS \quad (9)$$

$$\sum_{m=1}^l T * x_{mk} \leq L, \forall k \quad (10)$$

$$x_{mk}, \alpha_k, \beta_k, \gamma_k = 0 \text{ veya } 1 \quad (11)$$

$$y_{mk} \geq 0 \quad (12)$$

Geliştirilen modelde, Eşitlik (1) ve (2) amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Eşitlik (1) ile herhangi bir işin işçiye atanması durumunda elde edilen üretim miktarının en büyüklenmesi amaçlanırken; Eşitlik (2) ile ergonomik faktörlerin güvenli maruziyet sınır değerlerine getirilmesi durumunda oluşacak maliyetin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Eşitlik (3) ve (4) her işin bir işçiye; her işçinin de bir işe atanmasını sağlamaktadır. Her bir iş için kabul edilebilir üretim miktarı aralığı ise Eşitlik (5) ile tanımlanarak sınırlanır. Burada y_k , k işinin üretim çıktıları sağlanması gerekliliğinden yola çıkarak bu ifade Eşitlik (13)'teki gibi tanımlanmaktadır. Her bir işçi için kabul edilebilecek en yüksek REBA skorunun aşılması Eşitlik (6) ile sağlanmaktadır. Burada $(REBA)_{mk}$, her bir m işçisinin k işine atanması durumunda elde edilen REBA skorları ilgili kısıtın teknik katsayılarını oluşturmaktadır ve Eşitlik (14)'te gösterilmiştir. Burada, aynı iş için, her bir işçinin farklı fizyolojik özelliklere sahip olması farklı REBA skorları elde edileceği durumu ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple her m işçisi her k işinde farklı REBA skoru elde edilir ve bu durum modele yansıtılmıştır. Eşitlik (7) işe uygun gürültü seviyesi kısıtını; Eşitlik (8), işe uygun aydınlatma seviyesi kısıtını ve Eşitlik (9), işe uygun sıcaklık kısıtını içermektedir. Burada, YG, YA ve YS sırasıyla yüksek

gürültüye, yüksek aydınlatmaya ve yüksek sıcaklığa sahip olan görev/görevler kümesini temsil etmektedir (Kara vd., 2014). İşçinin yaşına uygun kaldırılabileceği yükün ağırlığı kısıtı Eşitlik (10) ile gösterilmektedir. Burada işçilerin yaşına dayalı olarak sınırlamalar belirlenmektedir. Dolayısıyla ağır yük gerektiren işlere ileri yaşa sahip işçi atanması yapılamayacaktır. Son olarak Eşitlik (11) ve Eşitlik (12) ise sırasıyla 0-1 karar değişkenlerini ve negatif olmama durumunu içeren kısıttır.

$$y_k = \sum_{m=1}^l y_{mk}, \forall k \quad (13)$$

$$(REBA)_{mk} = x_{mk} * S_{mk}, \forall m, k \quad (14)$$

4. Uygulama

Önerilen model, bir reklam firmasının kutu harf üretim hattında uygulanmıştır. Kutu harf üretim hattında gerçekleştirilen beş iş ve beş çalışan dikkate alınmıştır. Kutu harf üretim hattında bütün işçiler ayakta ve 8 saatlik tek vardiya sistemiyle çalışmaktadırlar. Her vardiyada yasal zorunluluklar nedeniyle iki kısa ara ve bir öğle arası mevcuttur. Önceden belirlenen 5 iş, bağımsız ve paralel iş istasyonlarında gerçekleştirilmektedir. Kutu harf üretim akışında her istasyonun önünde işlemin devam etmesini sağlayacak kadar yarı mamulün olduğu varsayılmıştır. Bu işler, harfi kalıba yerleştirme (birinci iş), harf akrilik yapıştırma (ikinci iş), led döşeme (üçüncü iş), delik delme (dördüncü iş), kutu harf montajı (beşinci iş) dir. Kalıba yerleştirme (birinci iş) ve delik delme (dördüncü iş) yüksek gürültülü bir ortamda yapılmaktadır. Bu işlerin gerçekleştirildiği istasyonlarda mevcut durumda alınan ölçümlere göre ortalama gürültü düzeyinin sırasıyla 93 dB(A) ve 95 dB(A) olduğu belirlenmiştir. 23 Temmuz 2013 tarihli 28721 sayılı resmi gazetede yayınlanan "Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmasına Dair Yönetmelik" kapsamında en yüksek maruziyet eylem değeri 85 dB(A) olarak belirtilmiştir. Buna göre çalışmada, iş istasyonları arasında ortaya çıkan gürültü düzeyi açısından 85 dB(A)'yı geçen istasyonlar "yüksek gürültülü" olarak değerlendirilmiştir. Buna göre birinci ve dördüncü işlerde gürültü düzeyini azaltıcı tedbirler alınmalıdır. İşveren, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı ve yazarların da içinde bulunduğu grup tarafından her iki iş istasyonunda gürültünün uygun düzeylere indirgenebilmesi amacıyla birinci ve dördüncü için iş sırasıyla 1000 ve 1500 TL dolayında bir maliyete katlanması gerektiği belirlenmiştir.

Harf akrilik yapıştırma (ikinci iş) ve harf montajı (beşinci iş) için daha yüksek bir aydınlatma düzeyi gerekmektedir. Söz konusu işler için mevcut durumda yapılan aydınlatma ölçümleri bu istasyonlardaki ortalama ışık şiddetinin sırasıyla 850 ve 900 lüks olduğunu göstermiştir. Ancak çok hassas

işler, teknik resim çizme, renk kontrolü, hassas alet ayarı, saat montajı vb. işlerde aydınlatma şiddetinin 1000-2000 lüks arasında olması gerekmektedir (Babalık, 2011). Bu nedenle ikinci ve beşinci işlerde uygun aydınlatma düzeylerinin sağlanmasına yönelik iyileştirmeler yapılmalıdır. İşveren, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı ve yazarların da içinde bulunduğu grup tarafından her iki iş istasyonunda aydınlatma şiddetinin uygun düzeylere getirilebilmesi amacıyla ikinci ve beşinci için iş sırasıyla 700 ve 1500 TL dolayında bir maliyete katlanılması gerektiği belirlenmiştir.

Kalıba yerleştirme (birinci iş) ve led döşeme (üçüncü iş) yüksek sıcaklıktaki bir ortamda gerçekleştirilmektedir. Mevcut durumda bu işlerin gerçekleştirildiği iş istasyonlarında yapılan ölçümlerde ortalama ortam sıcaklığı sırasıyla 23° ve 25° olarak belirlenmiştir. Ancak, her iki iş “sıcakta yapılan iş (ışınım var.)” kategorisinde olduğu için bu istasyonlardaki ortam sıcaklığının en yüksek 18°’yi geçmemesi termal konforun sağlanması açısından önemlidir (Babalık, 2011). Buna göre bu istasyonlarda sıcaklığı düşürecek şekilde iyileştirmeler yapılmalıdır. İşveren, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı ve yazarların da içinde bulunduğu grup tarafından her iki iş istasyonunda sıcaklık düzeyinin uygun seviyelere getirilebilmesi amacıyla birinci ve üçüncü için iş sırasıyla 600 ve 400 TL dolayında bir maliyete katlanılması gerektiği belirlenmiştir.

Yukarıda bahsi geçen gürültü, aydınlatma ve sıcaklık ölçümleri 27.07.2010 tarihinden itibaren T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü tarafından Ortak Sağlık ve Güvenlik Birimi Yetki Belgesi almış olan bir İş Sağlığı ve Güvenliği Laboratuvarı tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bu kurum tarafından elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. İşçilerin her iş için kaldırdıkları yükün ağırlığı ise Tablo 8’de verildiği gibidir.

Tablo 8. Her bir iş için işçilerin kaldırdığı yük

	k(kg)				
	1	2	3	4	5
m	5	3,8	0,9	2,7	3,6

Söz konusu beş iş, beş farklı iş istasyonunda gerçekleştirilmektedir. Her istasyonda bir işçi çalışmaktadır. Çalışan işçilerden ikisi 18-19, diğer üç işçi de 19-45 yaş aralığındadır. İşçiler erkek olup aşağıda verilen Tablo 9’daki kategorilere dayalı değerler doğrultusunda tekrarlı işlerde kaldırmabilecekleri en ağır yükler belirlenmiştir.

Atama modelinde, Eşitlik (10) ile verilen yükün ağırlığı kısıtının sağ taraf sabitleri olarak Tablo 9’da verilen limit değerler kullanılmıştır.

Tablo 9. Sırtın Dik Konumunda ve Maksimum Yük Uygulayarak Kaldırma ve Taşıma Sınır Değerleri (Akkale, 2014)

Taşıma Şekli	Cinsiyet	Yaş	Yükün Kütlesi (kg)		
			Ender	Tekrarlayan	Çok sık
Kaldırma	Erkek	16-19	35	25	20
		19-45	55	30	25
		>45	50	25	20
	Kadın	16-19	13	9	8
		19-45	15	10	9
		>45	13	9	8

Her işçinin bu beş işi de yürütme yeteneği bulunmaktadır. Her bir işte üretim miktarının en büyüklmesi ve uygun ergonomik koşulların sağlanması maliyetlerinin en küçüklenmesi için her işe en uygun işçinin atanması amaçlanmaktadır. Burada iki amacı birden içeren bir model yapısı olduğundan hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Bu kapsamda, üretim ve maliyet hedefleri firma tarafından sırasıyla 900 adet ve 5.000 TL olarak belirlenmiştir. Maliyet hedefi ergonomik düzenlemelere ayrılması planlanan bütçeyi belirtmektedir. Buna göre söz konusu ergonomik kısıtların güvenli maruziyet sınırlarına çekilmesi için katlanılacak maliyetler de amaçlara yansıtılmıştır.

Her bir işçi için duruş skorları REBA yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen skorlar birinci işçi için Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Birinci İşçi İçin İşlere Göre REBA skorları

	k				
	1	2	3	4	5
m = 1	8	6	9	4	7

0 – 1 tam sayılı doğrusal olmayan atama modeline ait sonuçlar BARON çözücüsü kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 11’de modelin sonuçları görülmektedir.

Tablo 11. Atama Modelinin Sonuçları

	k				
	1	2	3	4	5
1	-	-	-	-	1475
2	-	-	-	1000	-
3	-	-	1427	-	-
m	4	1372	-	-	-
5	-	1264	-	-	-

Tablo 11 incelendiğinde, hangi işçinin hangi işe atandığı görülmektedir. Buradan, birinci işçi, beşinci işe atandığı taktirde gerçekleştireceği üretim miktarının 1475 adet olacağı, ikinci işçi, dördüncü işe atandığı zaman gerçekleştireceği üretim miktarının 1000 adet olacağı, üçüncü işçi üçüncü işe atandığı

zaman üretim miktarının 1427 adet olacağı, dördüncü işçi, birinci işe atandığı zaman üretim miktarının 1372 adet olacağı, beşinci işçi, ikinci işe atandığı zaman üretim miktarının 1264 adet olacağı görülmektedir.

Ayrıca, ergonomik koşullara bakıldığında işler bazında gürültü, sıcaklık ve aydınlatma koşullarının ortamda olması gereken seviyelere maliyet kısıtı dikkate alınarak getirilmeye çalışıldığı belirlenmiştir. Gürültü açısından dördüncü iş için önlemler alınırken; benzer şekilde aydınlatma açısından ikinci iş ve sıcaklık açısından ise üçüncü iş için önlemler alınarak istenen düzeyde bir ortam oluşturulmaya çalışılmıştır.

Her bir işçinin duruşsal riskini azaltmak amacıyla belirlenen en büyük REBA skorunu aşmayacak şekilde işlere atama yapılmıştır. Bu kapsamda, işçiler beş işten herhangi birisini gerçekleştirirken duruş puanı 7'yi aşıyorsa işçinin işe ataması yapılmamıştır.

Tablo 11'de elde edilen sonuçlara göre hedeflenen üretim miktarlarına (900 adet) her bir iş için ulaşıldığı görülmüştür. Bunun sebebi; ergonomik düzenlemeler için yeterince bütçe sağlanabilmesi ve ergonomik koşulların uygun düzeylere getirilebilmesidir.

5. Sonuç ve Tartışma

Çalışanların yeteneği, becerisi ve performansı üretim verimliliğini doğrudan etkileyen önemli faktörlerdir. İşçilerin özelliklerine ve ergonomik açıdan uygun olmayan işlerde çalıştırılması nedeniyle tehlikeli duruşların, kas yorgunluğunun, sağlık sorunlarının ortaya çıkma olasılığı artar ve üretim verimliliği de azalır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle işçi üzerinde oluşan iş yükü tahmini ve buna ilişkin çözümler üretilmeye çalışıldığı görülmektedir. Ancak birbirinden farklı fiziksel özelliklere ve yaşlara sahip olan işçilerin hangi işlere atanması gerektiği işgücünün verimi açısından önemli bir karardır.

Bu çalışma, üretim miktarını en büyükleyen ve iyileştirilen ergonomik koşulların maliyetini de en küçükleyen bir optimum işçi atama modeli oluşturmayı amaçlamaktadır. Önerilen model, işçilerin ergonomik risk faktörlerine maruziyetini azaltarak uygun işlere atanması sağlayan yeni bir yaklaşımdır.

Gelecek çalışmalar için farklı ergonomik kısıtlar dikkate alınarak model geliştirilebilir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Akkale E.C 2014. Elle Taşıma İşlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliğinin NIOSH Kaldırma Denklemi İle İncelenmesi, Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.
- Akyol, S. D., & Baykasoğlu, A. (2016). ErgoALWABP: a multiple-rule based constructive randomized search algorithm for solving assembly line worker assignment and balancing problem under ergonomic risk factors. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1-12.
- Ansari, N. A., Shende, P. N., Sheikh, M. J., Vaidya, R. D., 2013. Study and Justification of Body Postures of Workers Working In SSI by Using Reba. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2(3), 505-509.
- Aryanezhad, M. B., Kheirkhah, A. S., Deljoo, V. and Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J. 2009. Designing safe job rotation schedules based upon workers' skills. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(1-2), 193-199.
- Babalık, F. C. 2011. Mühendisler için ergonomi: İşbilim. 3. Baskı, Dora Yayınları, Bursa.
- Baykasoğlu, A., & Akyol, Ş. D. (2014). Ergonomik Montaj Hattı Dengeleme. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(4).
- Baykasoğlu, A., Tasan, S. O., Tasan, A. S., & Akyol, S. D. 2017. Modeling and solving assembly line design problems by considering human factors with a real-life application. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*.
- Boenzi F., Digiesi S. , Facchini F. and Mummolo G., 2017. Ergonomic improvement through job rotations in repetitive manual tasks in case of limited specialization and differentiated ergonomic requirements. *IFAC-PapersOnLine* 49-12 (2016) 1667-1672.
- Chaudhary, R., Rangnekar, S., & Barua, M. K. 2014. Organizational climate, climate strength and work engagement. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 133, 291-303.
- Choi C. 2009. A goal programming mixed-model line balancing for processing time and physical workload. *Computers & Industrial Engineering* 57 (2009) 395-400.
- Comper M. L. C., Dennerlein J. T., Evangelista G. dos S.,

- Silva P. R. and Padula R. S. 2017. Effectiveness of job rotation for preventing work-related musculoskeletal diseases: a cluster randomised controlled trial. *Comper MLC, et al. Occup Environ Med* 2017;74:545–552. doi:10.1136/oemed-2016-104077.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik (28 Temmuz 2013). Resmi Gazete, Sayı: 28721.
- Dağdeviren M. vd. 2005. Çalışanların Toplam İş Yüğü Seviyelerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Model Ve Uygulaması. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Vol 20, No 4*, 517-525, 2005.
- Dolgui A., Kovalev S. Kovalyovc , M.Y., Malyutina S. ve Soukhal A. 2018. *European Journal of Operational Research* 264 (2018) 200–211.
- Finia A.A.F., Akbarnezhad A., Rashidi T.H. ve Waller S. T. 2018. Enhancing the safety of construction crew by accounting for brain resource requirements of activities in job assignment. *Automation in Construction* 88 (2018) 31–43.
- Hignett, S., and McAtamney, L., 2000. Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Jung H.S ve Jung H.S 2001. Establishment of overall workload assessment technique for various tasks and workplaces. *International Journal of Industrial Ergonomics* 28 (2001) 341–353.
- Kara Y.vd., Montaj Hatlarında Çalışma Duruşlarının Reba Yöntemi İle Analizi Ve Ergonomik Risk Değerlendirmesi Notları
- Kara Y. vd. 2014. An integrated model to incorporate ergonomics and resource restrictions into assembly line balancing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27:11, 997-1007, DOI:10.1080/0951192X.2013.874575.
- Landau K., Rademacher H., Meschke H., Winter G., Schaub K., Grasmueck M., Moelbert I., Sommer M. and Schulze J. 2008. Musculoskeletal disorders in assembly jobs in the automotive industry with special reference to age management aspects. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38 (2008) 561–576.
- Lin, L., C. G. Drury, and S. W. Kim. 2001. "Ergonomics and Quality in Paced Assembly Lines." *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing* 11 (4): 377–382.
- Majozi T. ve Zhu (Frank) X.X. 2005. A combined fuzzy set theory and MILP approach in integration of planning and scheduling of batch plants— Personnel evaluation and allocation. *Computers and Chemical Engineering* 29 (2005) 2029–2047.
- Moussavi, S. E., Mahdjoub, M. and Grunder, O. 2016. Reducing production cycle time by ergonomic workforce scheduling. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 419-424.
- Moon, I., R. Logendran, and J. Lee. 2009. "Integrated Assembly Line Balancing with Resource Restrictions." *International Journal of Production Research* 47 (19): 5525–5541.
- Mutlu Ö. ve Özgörmüş E. 2012. A fuzzy assembly line balancing problem with physical workload constraints. *International Journal of Production Research* Vol. 50, No. 18, 15, 5281–5291.
- Otto A ve Battaia O. 2017. Reducing physical ergonomic risks at assembly lines by line balancing and job rotation: A survey. *Computers & Industrial Engineering* 111 (2017) 467–480.
- Otto, A., and Scholl, A. 2013. Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling. *OR Spectrum*, 35(3), 711-733.
- Polat, O., Mutlu, Ö., and Özgörmüş, E. 2018. A Mathematical Model For Assembly Line Balancing Problem Type 2 Under Ergonomic Workload Constraint. *The Ergonomics Open Journal*, 11(1), 1-11.
- Seçkiner, S. U. and Kurt, M. 2008. Ant colony optimization for the job rotation scheduling problem. *Applied Mathematics and Computation*, 201(1), 149-160.
- Song, J., Lee, C., Lee, W., Bahn, S., Jung, C. and Yun, M. H. 2016. Development of a job rotation scheduling algorithm for minimizing accumulated work load per body parts. *Work*, 53(3), 511-521.
- Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. and Hendrick 2005. H., 1st. Edition, *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. Florida: CRC Press.
- Wongwien T. ve Nanthavanij S. 2012. Ergonomic Workforce Scheduling for Noisy Workstations with Single or Multiple Workers per Workstation. *International Journal of the Computer, the Internet and Management* Vol.20 No.3 (September-December, 2012) pp 34-39.
- Xie B. ve Salvendy G. 2000. Review and reappraisal of modeling and predicting mental workload in single and multi-task environments. *Work & Stress*, 2000, vol. 14, no. 1, 74–99.

Tharmmaphornphilas, W., Green, B., Carnahan, B. J. and Norman, B. A. 2003. Applying mathematical modeling to create job rotation schedules for minimizing occupational noise exposure. *AIHA Journal*, 64(3), 401-405.

Yoon, S. Y., Ko, J. and Jung, M. C. 2016. A model for developing job rotation schedules that eliminate sequential high workloads and minimize between-worker variability in cumulative daily workloads: Application to automotive assembly lines. *Applied ergonomics*, 55, 8-15.