

FİZİKSEL ZORLANMA VE ALGILANAN İŞ YÜKÜ DÜZEYLERİNİ DİKKATE ALAN BİR İŞ ROTASYONU ÖNERİSİ

Yelda YENER¹, Gülin Feryal CAN^{2*}, Pelin TOKTAŞ³

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bağlıca Kampüsü, Ankara
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5546-1563>

²Başkent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bağlıca Kampüsü, Ankara
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7275-2012>

³Başkent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bağlıca Kampüsü, Ankara
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-6622-4646>

DOI : <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.498317>

Anahtar Kelimeler	Öz
İş rotasyonu, ergonomik koşullar, REBA, NASA TLX, Doğrusal olmayan programlama	<p>Üretim verimliliğini etkileyen en önemli faktörler arasında işçilerin fiziksel ve zihinsel kapasiteleri gelmektedir. Bu kapasiteleri en etkin şekilde kullanmak için uygulanan farklı iş organizasyonu stratejileri bulunmaktadır. Bu stratejiler arasında iş rotasyonu stratejisi farklı endüstriler tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İş rotasyonu ile işçinin sorumlulukları, yaptığı işlerin nitelikleri ve işçinin yetenekleri artmaktadır. Bununla birlikte, fizyolojik stres, zorlanma ve kas gruplarının yorgunluk düzeyi iş rotasyonu sayesinde azalmaktadır. Aynı zamanda, mesleki kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının sıklık ve şiddet düzeyleri de azalmaktadır. Bu çalışmada, işçilerin izinli oldukları günleri ve performans düzeylerini dikkate alarak optimal haftalık iş rotasyonu stratejisi doğrusal olmayan 0-1 tam sayılı programlama ile üretim miktarının en büyüklenmesi ve zihinsel yorgunluk ile fiziksel yorgunluk düzeylerinin en küçüklenmesi amaçlanarak önerilmiştir. Önerilen modelde, işçinin önceden belirlenen bir performans düzeyi ile her biri işi gerçekleştirebildiği kabul edilmiştir. Birim başına görev süresi, elle yapılan tekrarlı işlerde işçinin performansının belirlenmesi amacıyla ölçülmüştür. Buna göre, her bir işçi kendi performans düzeyine göre tanımlanmıştır. Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA) ve NASA İş Yükü İndeksi (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index-NASA-TLX) yöntemleri sırasıyla fiziksel ve zihinsel maruziyeti değerlendirmek için kullanılmıştır. Önerilen modelin sonuçları BARON çözücüsü kullanılarak elde edilmiştir.</p>

A JOB ROTATION PROPOSAL CONSIDERING PHYSICAL STRAIN AND PERCEIVED WORKLOAD LEVEL

Keywords	Abstract
Job rotation, Ergonomic conditions, REBA, NASA TLX, Nonlinear programming.	<p>The physical and mental capacities of employees are the most important factors that affect the production productivity. To use these capacities in the most effective manner, there are different kinds of job organization strategies for increasing production productivity. Among these, job rotation is commonly used by different industries. Variety of tasks, duties and workers' skills are increased by the help of the job rotation. Physiological stress, strain, and fatigue levels of muscle group are decreased by the help of the job rotation. At the same time, incidents and severity of occupational musculoskeletal disorders (OMSs) decrease. In this study, optimal weekly job rotation strategy is attempted to determine by using a nonlinear zero-one integer programming model that aims the maximization of the production quantity and to reduce mental and physical fatigue considering the workers' day offs and performance rates. In the proposed approach, the worker performs each specific task with a predetermined performance rate. Task completion time per unit is used to measure the performance of the worker in the manual repetitive task. Therefore, each worker can be characterized by his performance rate. REBA (Rapid Entire Body Assessment) and NASA TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index) approaches are used to evaluate</p>

* Sorumlu yazar; e-posta : gfcan@baskent.edu.tr

physical and mental exposures respectively. Results of the proposed model were obtained using the BARON solver.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 17.12.2018	Submission Date : 17.12.2018
Kabul Tarihi : 18.01.2019	Accepted Date : 18.01.2019

1. Giriş

Üretim verimliliği, ihtiyaç duyulan ürün ve hizmetleri elde etmek amacıyla gerçekleştirilen faaliyetler bütünü ya da yeni bir ürün ya da hizmetin yaratılmasını sağlayan etkinlikler toplamı olarak tanımlanan üretim kavramının performansını göstermektedir. Bu sebeple, üretim verimliliği konusu işletmeler tarafından çok fazla önemsenmekte ve verimliliğin artırılması için yoğun çabalar gösterilmektedir. Üretim miktarı (çıkış miktarı) ile üretim faktörleri miktarı (girdi miktarı) arasındaki fiziksel ilişkiyi tanımlayan üretim verimliliği, doğal olarak üretimde var olan veya oluşabilecek her türlü olumlu ya da olumsuz koşullardan etkilenmektedir. Bu koşullar arasında insan merkezli problemler en çok dikkat edilmesi ve üretim sürecinde gözlem altında tutulması gereken durumlardır. Üretim süreçleri incelendiğinde, verimliliği etkileyen en önemli etmenlerden birinin işçilerin performans düzeyleri olduğu görülmektedir. İşçilerin performans düzeyleri, bireysel düzeyde çalışma hızlarını ya da tempolarını göstermektedir. Söz konusu performans düzeyleri ise, işçilerin fiziksel ve zihinsel kapasitelerine bağlı olarak değişmektedir. İşçinin performans düzeyine dayalı olarak ortaya çıkan iş gücü verimliliği, üretim verimliliğini de doğrudan etkilemektedir (Chaudhary, Rangnekar ve Barua, 2014). İş gücü verimliliği, büyük ölçüde iş istasyonlarının ergonomik tasarımına bağlıdır. İş istasyonlarının tasarımında ergonomik ilkelerin kullanılması etkin bir insan-makine uyumunu beraberinde getirir. Böylece, çalışanlar daha konforlu ve rahat bir üretim ortamına sahip olurlar. Bununla birlikte, ergonomik açıdan iş organizasyonu stratejilerinin uygulanması da işçinin daha etkin bir şekilde üretim sürecine katılımını sağlamaktadır. Aynı zamanda, bu stratejiler ile işçinin yetenekleri geliştirmek ve yapabildiği işler niteliksel ve niceliksel olarak artmaktadır. Söz konusu iş organizasyonu stratejileri kapsamında iş genişletme, iş rotasyonu, grup çalışması, iş basitleştirme gibi stratejiler sayılabilir. Bunlar arasında en yaygın şekilde kullanılanı, iş rotasyonu stratejisidir. İş rotasyonu, ergonomik açıdan da işçinin monotonluktan kurtulmasını sağlayan ve iş istasyonunun ergonomik ilkelere uygun olmayan tasarımlarında işçide oluşabilecek zorlanmayı azaltan bir etkiye sahiptir. Bu kapsamda, iş rotasyonu konusunda ergonomi prensiplerinin de dikkate alınmasıyla gerçekleştirilen çözümlere "ergonomik iş rotasyonu" tanımını yapmak ta mümkündür. Ergonomik iş rotasyonunda, sadece hangi işleri, hangi periyotlarda hangi işçinin yapacağı sorusunun cevaplanmasından öte, işçinin periyodik olarak farklı

işlere atandığı durumda yaşayabileceği zorlanma seviyesinin de dikkate alınması amaçlanmaktadır.

İş rotasyonu, çalışanın belirli bir iş veya görevden bir diğerine olan hareketini veya periyodik olarak yerine getirdiği işleri değiştirmesini ifade eder. İş rotasyonunda değişiklik, işin yapısal özelliklerinde değil, çalışanın yerine getirdiği faaliyetlerde söz konusu olmaktadır. İşçilere verilen işlerin değişimi tanımından yola çıkıldığında ergonomik iş rotasyonunda, işçiye uygun işin verilmesi odaklanılan kısım olmaktadır. Bu sebeple çalışmada, ergonomik iş rotasyonu olarak tanımlanan süreçte, fiziksel ve zihinsel zorlanma düzeylerini en küçükleyecek şekilde işçilere iş atamasının yapılması hedeflenmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilecek bir atamanın, üretim verimliliğini ve ürün kalitesini olumlu yönde etkileyeceği değerlendirilmektedir. Ergonomik açıdan bakıldığında; işçi yetenek, beceri, bilgi ve performans düzeyine uygun olan işlerde başarılı olabilmektedir. Her bir işçi için uygun olan işin belirlenmesinde, o işin yaratacağı iş yükü düzeyine dikkat edilmelidir. İşçinin, bu iş yükü düzeyini gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğinin belirlenmesi, aslında o işte başarılı olup olamayacağının belirlenmesiyle aynı anlama gelmektedir. Buna göre, işçilerin uygun işlere ataması yapılırken, işlere ilişkin ergonomik koşullar da dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltmak ve işçileri kazalardan korumak için de işçilerin işlere atanması gerçekleştirilirken ergonomik faktörlerin dikkate alınması gerekir. Bu şekilde, işçinin işini daha kolay yapması sağlanarak üretim hatalarını azaltmak ve üretim miktarını arttırmak ta mümkün olabilecektir. Ayrıca, işe devamsızlıklar azalacak, işçilerin morali yükselecek, işçi tazminatları ile hastalık ve geçici işçiler için yapılan ödemeler de azalacaktır.

Çalışmada, beyaz eşya üreten bir firmada, çamaşır makinesi üretim hattı için fiziksel ve zihinsel zorlanma düzeylerini dikkate alan bir haftalık iş rotasyonu stratejisi önerilmiştir. Zihinsel ve fiziksel yorgunluğu azaltmayı amaçlayan, önerilen ergonomik iş rotasyonu stratejisi aynı zamanda üretim miktarını en büyüklemeyi de amaçlamaktadır. İşçilerin fiziksel ve zihinsel maruziyet seviyelerini belirlemek için sırasıyla Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA) ve Ulusal Havacılık ve Uzay Yönetimi İş Yükü İndeksi (NASA Task Load Index-NASA TLX) yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, önerilen modelde, işçiler arasında performans değişiklikleri ve haftalık plan içerisinde işçi ya da işçilerin izinli olması hali de göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma, üretim miktarını en büyükleyecek şekilde işçilerin gün bazında

hangi işlere atanabileceğinin belirlenmesinin yanı sıra işçilerin fiziksel ve zihinsel zorlanma düzeylerini de en küçüklemeyi amaçladığı için literatüre katkı sağlayabilecek bir çalışmadır. İş rotasyonunda hem ergonomik koşulların dikkate alınması, hem işçi performanslarının ve izin günlerinin gözetilmesi açısından bakıldığında da orijinallik içermektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde iş rotasyonu, REBA yöntemi ve NASA TLX ölçeğine ilişkin literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, REBA ve NASA TLX yöntemleri tanıtılarak, önerilen ergonomik iş rotasyonu modelinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, önerilen modelin beyaz eşya üreten bir fabrikanın çamaşır makinesi üretim hattında uygulamasına değinilmiştir. Beşinci bölümde ise, önerilen modele ilişkin yorumlar ve gelecek dönemlere ait çalışma fikirleri tartışılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Bu bölümde, REBA ve NASA TLX yöntemlerinin uygulandığı çalışmalar ile iş rotasyonu konusunda gerçekleştirilen araştırmalardan özetle bahsedilmiştir.

Literatüre bakıldığında, NASA TLX yönteminin uygulandığı birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Bu durum, yöntemin ne kadar pratik ve güçlü bir yöntem olduğunu da göstermektedir. NASA TLX'in kullanıldığı bütün çalışmalara yer vermek mümkün olmadığı için sadece 2016-2018 yılları arasında gerçekleştirilen son dönem çalışmalara özetle değinilmiştir.

Delice (2016) The National Aeronautics and Space Administration-Raw Task Load Index (NASA-RTLX) yöntemini, üç devlet hastanesinin acil servislerinde çalışan hekimlerde algılanan iş yükü seviyelerini ölçmek için kullanmıştır. Çalışma sonucunda, performans boyutuna ilişkin iş yükü puanlarının doktorların kendilerini başarılı görmeleri sebebiyle düşük çıktığı belirlenmiştir. Zihinsel gereklilik, zaman baskısı, çaba ve genel iş yükü puanı açısından ise kadın doktorların erkek doktorlara göre algılanan iş yükü düzeylerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Galy, Paxion ve Berthelon (2016), sürücü deneyimi, sürüş koşullarının zorluğu ve sürücünün gerilim düzeyinin algılanan iş yükü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, karmaşık sürüş koşullarında fiziksel, zihinsel ve zaman baskısı boyutlarında sürücülerin iş yükü puanlarının arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, algılanan iş yükünün zihinsel ve fiziksel gereklilik boyutlarına ilişkin sürücüler tarafından verilen puanlar arttıkça çaba boyutuna ilişkin puanların da artış gösterdiği belirlenmiştir. Puspawardhani, Suryoputro, Sari, Kurnia ve Purnomo (2016), otomobil parçaları üreten bir işletmede, sahip olunan statü ve vardiyalı çalışma sisteminin yarattığı iş yükünü analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, gece vardiyasında çalışan işçilerde, zihinsel gereklilik

boyutundaki iş yükü puanlarının sabah vardiyasında çalışan işçilere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, sabah vardiyasında çalışan işçilerde zaman baskısı boyutuna ait puanların daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kahya ve Özkan (2017), beyin bilgisayar ara yüzü sistemlerinin kullanımı nedeniyle oluşan bilişsel yük düzeyini değerlendirmişlerdir. Değerlendirme kapsamında, önceden belirlenen altı farklı görev, yetmiş sağlıklı katılımcı, tarafından ilgili beyin bilgisayar ara yüzünü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar görevleri gerçekleştirirken göz bebeği değişim oranları, göz kırpmaya oranları ve galvanik deri dirençlerine ilişkin veriler toplanmıştır. Bununla birlikte, her bir görev tamamlandıktan sonra, katılımcılara doldurmaları için NASA TLX anketi verilmiştir. Sonuç olarak, göz kırpmaya oranının altı farklı görevde farklı değerlere ulaştığı ve farklı görevlere ilişkin bilişsel yüklenme düzeyini belirlemede ayırt edici bir faktör olduğu görülmüştür. Galvanik deri direnci düzeylerinin ise, zorluk derecesi yüksek olan görevlerde daha fazla çıktığı belirlenmiştir. Lowndes ve diğ. (2018) tarafından, otuz dört cerraha NASA TLX uygulanarak NASA TLX sonuçları ile zorlaşan ameliyat prosedürleri ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, ameliyat prosedürleri zorlaştıkça fiziksel ve zihinsel gereklilik boyutlarına ilişkin puanların arttığı, cerrahın kendi performans düzeyini düşük olarak algıladığı belirlenmiştir. Mansikka, Virtanen ve Harris (2018), NASA TLX ve Modifiye Edilmiş Cooper Harper (MCH) ölçeklerini uygulayarak sonuçları karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma yapabilmek için nabız atımları arasında geçen süre ölçülmüştür. Bu kapsamda, on sekiz pilot simülatör eşliğinde uçak kullanarak MCH ve NASA TLX anketlerini doldurmuşlardır. İki yöntemden elde edilen sonuçlar arasında yüksek korelasyon bulunmuştur.

Tubbs-Cooley, Mara, Carle ve Gurses (2018) tarafından yeni doğan, çocuk ve yetişkin yoğun bakım ünitelerinde çalışan hemşirelere NASA TLX yöntemi uygulanmıştır.

Aynı şekilde literatürde REBA uygulamasını gerçekleştiren çalışmalara bakıldığında yöntemin farklı iş alanları için sıkça kullanıldığı görülmektedir. Bu açıdan çalışmada, 2016-2018 yılları arasında gerçekleştirilen REBA'nın kullanıldığı araştırmalardan özetle bahsedilmiştir.

Al Madani ve Dababneh (2016) REBA'ya ilişkin yeni gelişmeler, yöntemin dezavantajları, farklı iş alanları için yapılan uygulamaları ve yöntemle ilişkin farklı iş alanlarında yapılan geçerlilik analizlerine değinmişlerdir. Yazarlar, birçok çalışmada, REBA sonuçlarıyla diğer duruş analizi yöntemlerine ilişkin sonuçların karşılaştırıldığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte, yöntemin bilgisayar destekli bir hale getirilmesinin kullanımını daha fazla kolaylaştıracağı belirtilmiştir. Gönen, Oral, Ocaktan, Karaoğlan ve Cicibaş (2017), trafo üretimi yapan bir firmada, Cornell Kas-iskelet Rahatsızlık Anketi (Cornell Musculoskeletal

Discomfort Questionnaire-CMDQ,) REBA ve Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemi (Ovako Working Posture Analysis System-OWAS) yöntemlerini kullanarak çalışanların ergonomik analizlerini yapmışlardır. Çalışma sonucunda, işçilerin sırt, bel, ayak, boyun, sağ üst kol ve omuz duruşlarının yüksek risk içerdiği ortaya çıkmıştır. Yazarlar, ilgili vücut bölgelerindeki duruşsal risk seviyesini düşürmek için yeni bir ayarlanabilir montaj masası tasarımı önermişlerdir. Ojha ve Vinay (2018), yüz on bir işçinin bisiklet imalat sürecinde sergiledikleri duruşları REBA ile analiz etmişlerdir. Bütün işçilerin %33.33'ünü oluşturan iyi kondisyon düzeyine sahip işçilerde REBA skorlarının düşük olduğu belirlenmiştir. Diğer işçilerde ise, REBA skorları yüksek çıkmıştır. Özay ve Doğanbatır (2018) perakende satış yapan bir firma şubesinin kasap, şarküteri, depo, manav reyonlarında ve temizlik işlerinde çalışanların yaptıkları elle kaldırma işlerini ve çalışma pozisyonlarını incelemişlerdir. Çalışmada, Ulusal Mesleki Sağlık ve Güvenlik Enstitüsü (National Institute of Occupational Safety and Health-NIOSH) kaldırma denklemi, REBA ve Snook'un Tabloları yöntemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, kasap ve şarküteri bölümlerinde çalışanların sergilediği duruşların yüksek risk içerdiği görülmüştür. İyileştirme olarak; manav bölümünde çalışanların kaldırdıkları yüklerin ağırlığının azaltılması ve asimetrik kaldırmanın engellenmesi önerilmiştir. Depoda çalışanların ise, çok ağır yükleri itip çekmek için forklift veya mekanik bir sistem kullanmaları gerektiği belirtilmiştir. Temizlik işçilerinin ise yer temizleme aracıyla temizliği gerçekleştirmelerinin faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

İş rotasyonu açısından literatür incelendiğinde ise, iş yükünü dengelemek amacıyla farklı amaçları ve kısıtları dikkate alan sınırlı sayıda ergonomik iş rotasyonu çalışmasının olduğu görülmüştür. Söz konusu çalışmalara aşağıda özetle değinilmiştir.

Xie ve Salvendy (2000) tarafından tek ve çok görevli üretim süreçlerinde ortaya çıkan algılanan iş yükünün tahmini için pratik bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Jung ve Jung (2001), insan-makine sistemlerinde işçilerin maruz kaldığı iş yükünü belirleyebilmek için Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytical Hierarchy Process-AHP) ve dilsel değişkenler kullanarak bir iş yükü tahmin modeli geliştirmişlerdir. Dağdeviren, Eraslan ve Kurt (2005), çalışma ortamı koşullarına bağlı olarak çalışanın katlanabileceği toplam iş yükü seviyesinin tahmin edilmesi amacıyla Analitik Ağ Prosesi (Analytical Network Process-ANP) yöntemini kullanarak bir iş yükü tahmin modeli geliştirilmişlerdir. Seçkiner ve Kurt (2008), iş rotasyonu çözümlenmesi için karınca kolonisi optimizasyonunun etkinliğini değerlendirmişlerdir. Aryanezhad, Kheirkhah, Deljoo ve Mirzapour Al-e-hashem (2009), iş becerilerini dikkate alan iş rotasyonu çözümlenmesine yönelik bir

yaklaşım geliştirmişlerdir. Thongsanit, Boondisakulchok ve 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 çözümlenmesi problemi ele almışlardır. Otto ve Scholl (2013), işçilerin maruz kaldıkları ergonomik riskleri dengelemek için etkin bir iş rotasyon stratejisi sunmuşlardır. Kara, Atasagun, Gökçen, Hezer ve Demirel (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 problemi ele almışlardır. Song ve diğ. (2016), iş yükü miktarını en küçükleterek kas iskelet sistemindeki bozuklukları en aza indiren bir iş rotasyonu modeli önermişlerdir. Moussavi, Mahdjoub ve Grunder (2016), bir planlama dönemi için ergonomik riskleri göz önüne alan bir rotasyon programı geliştirmişlerdir. Yoon, Ko ve Jung (2016), aynı vücut bölgelerinin kümülatif iş yükünü azaltan bir matematiksel model kullanarak yeni bir iş rotasyonu yaklaşımı önermişlerdir. Otto ve Battaia (2017), montaj hattı dengelemesi ve iş rotasyonu planlamasında, fiziksel koşulları dikkate alan mevcut optimizasyon yaklaşımlarına genel bir bakış sunmuşlardır. Comper, Dennerlein, Evangelista, Silva ve Padula (2017), kas iskelet sistemi hastalıklarından kaynaklanan hastalık izni nedeniyle kaybedilen çalışma saatlerini azaltmak için iş rotasyonunun etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Boenzi vd. (2016) tarafından, modern üretim süreçlerinde işçilerde meydana gelen yaralanmaları azaltmak için yeni bir iş rotasyonu stratejisi geliştirilmiştir. Burada, ergonomik koşulların kontrolü Mesleki Tekrarlamalı Hareketler İndeksi (Occupational Repetitive Actions Assessment-OCRA) metodu ile sağlanmaya çalışılmıştır.

Literatür araştırmasından da görüldüğü gibi, iş rotasyonu stratejisi oluşturmak için algılanan iş yükü hariç ergonomik faktörlerin birçoğu dikkate alınmıştır. Algılanan iş yükü, işçi etkisindeki üretim verimliliği açısından önemli bir noktadır. Ayrıca, iş rotasyonu yapılırken işçilerin performans düzeylerini, duruşsal risk düzeylerini ve günlük izin durumlarını aynı anda dikkate alan bir çalışma da literatürde bulunmamaktadır. Söz konusu açılardan yapılan bu çalışma literatürdeki boşluğu doldurabilecek orijinal bir çalışmadır.

3. Yöntem

Çalışma ortamında işçilerin çalışma duruşlarının incelenerek risk düzeylerinin kabul edilebilir sınırlara düşürülmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Uygun olmayan çalışma duruşu,

vücut bölümlerinin nötral duruşundan sapma olarak tanımlanmakta olup kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının temel nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Çalışma duruşlarının analizi ile elde edilen sonuçlar, genellikle yüksek risk taşıyan işlerin belirlenmesinde ve risklerin azaltılması amacıyla gerekli düzeltici faaliyetlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Literatüre bakıldığı zaman, çalışma duruşlarının analizinde birçok yöntemin kullanıldığı görülmektedir (Kara, Atasagun ve Peker, 2014). Bu yöntemler, duruşlarını inceledikleri vücut bölümlerine göre ve uygulama prosedürlerine göre farklılık göstermektedir. Çalışmada, Hignett ve McAttamney (2000) tarafından geliştirilen REBA yöntemi kullanılmıştır. REBA yönteminin tercih edilmesinin nedeni çamaşır makinesi üretim hattında çalışan işçilerin tüm vücutlarını kullanarak işlerini yapmalarıdır. Buna göre duruşsal risk düzeyi, bütün vücut bölümleri tarafından sergilenen hareketler dikkate alınarak belirlenmelidir. Bununla birlikte yöntem, vücut bölümlerinin duruşlarına ilişkin şemalarla, işçinin ilgili hareketini sergilerken vücut bölümlerinin duruşlarını eşleştiren, uygulanması pratik bir yöntemdir.

Üretim girdileri arasından en önemli kaynak iş gücü olduğu için üretim verimliliğinin artırılmasında dikkate alınması gereken diğer bir faktör ise algılanan iş yükü düzeyidir. Ancak, algılanan iş yükü düzeyinin belirlenmesi fiziksel zorlanma düzeyinin belirlenmesi kadar kolay değildir. Algılanan iş yükü düzeyi, işçinin hissettiği zorlanma düzeyini oluşturmaktadır. Algılanan iş yükünü belirlemek için literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasından, Hart ve Staveland (1988) tarafından, üç yıl süre ile laboratuvar ortamında kırktan fazla simülasyon denemesi sonucunda geliştirilen NASA-TLX ölçeği; en sık kullanılan yöntemlerden birisidir (Yağmuroğlu, Günaydın ve Kale, 2011). Yöntemin geçerlilik ve güvenilirliği birçok çalışma tarafından kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, yöntem, algılanan iş yükü düzeyini altı alt boyuta ayırarak detaylı bir şekilde incelemektedir. Ayrıca, farklı iş alanlarında başarıyla uygulandığı bir çok çalışma tarafından belirtilmiştir (Hoonakker ve diğ., 2011). Söz konusu nedenlerle çalışmada, çamaşır makinesi üretim hattında çalışan işçilerin algılanan iş yükü düzeylerinin belirlenmesinde NASA TLX ölçeği kullanılmıştır. Çalışmada, optimal iş rotasyonu çizelgesinin oluşturulması amacıyla doğrusal olmayan 0-1 tam sayılı programlama uygulanmıştır. Aşağıda söz konusu yöntemler ve önerilen model anlatılmıştır.

3.1. Katılımcılar

Çalışmada önerilen iş rotasyonu modeli, beyaz eşya üretimi yapan bir firmanın çamaşır makinesi üretim hattında uygulanmıştır. Çamaşır makinesi üretim hattında yapılan bütün işler ayakta

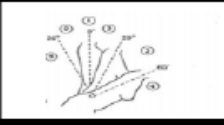
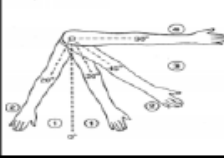
gerçekleştirilmektedir ve bu nedenle tüm vücut hareketlerini dikkate alarak değerlendirilen REBA yöntemi ile duruşsal risk analiz edilmiştir.

Çamaşır makinesi üretim hattında gerçekleştirilen beş iş uygulama kapsamında dikkate alınmıştır. Önceden belirlen söz konusu beş iş, birbirinden bağımsız ve paralel olarak yürütülmekte ve elle montaj işi yapılmaktadır. Söz konusu beş iş, çamaşır makinesi gövdesinin alınması, sepetin gövde içerisine takılması, sızdırmazlık süngerinin takılması, deterjan kutusunun montajı ve tamburun takılmasıdır. Beş farklı işin her biri bir iş istasyonunda gerçekleştirilmektedir. Her bir iş istasyonunda bir işçi çalışmaktadır. Her bir işçi, söz konusu beş farklı işi yapabilecek beceriye sahiptir. Ancak, bu işleri farklı performans düzeylerinde gerçekleştirmektedirler. Bu kapsamda, işçileri temsil eden dört farklı performans seviyesi belirlenmiştir. Bu performans seviyeleri birinci işçi için %110, ikinci işçi için %95, üçüncü işçi için %90, dördüncü işçi için %100 ve beşinci işçi için %95 olarak tanımlanmıştır. Her bir istasyonda en fazla üretim miktarını elde edebilmek için performans düzeyi en yüksek olan işçilerin atanmasının uygun olacağı belirlenmiştir. Her bir işçi, her bir istasyondaki farklı işleri yaptıktan sonra NASA TLX anketini doldurmuştur. Buna göre, işçilerin algılanan iş yükü düzeyleri beş farklı iş için belirlenmiştir. Ayrıca, her bir işçinin her bir işi yaparken en çok zorlandığını belirttiği çalışma duruşu REBA ile analiz edilmiştir. Böylece, işçilerin fiziksel zorlanma düzeyleri de belirlenmiştir.

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

REBA 2000 yılında Hignett ve McAttamney (2000) tarafından geliştirilen gözleme dayalı bir duruş analiz yöntemidir. Yöntemde insan vücudu, hareket düzlemleri referans alınarak bölümlendirilmiştir. REBA, statik ve dinamik duruşların risk seviyelerinin belirlenmesi için bir puanlama sistemi sağlayarak aynı zamanda insan-yük etkileşimini de dikkate almaktadır (Stanton vd., 2005). REBA'da insan vücudu Grup A ve Grup B olmak üzere iki bölüme ayrılarak değerlendirme yapılmaktadır. Grup A'da gövde, boyun ve bacaklar; Grup B'de, üst kol, alt kol ve bileklere ilişkin açısız hareketler ve opsiyonel duruşlar değerlendirilmektedir. Grup B'de yer alan vücut bölümleri, sağ ve sol olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmektedir (Hignett ve McAttamney, 2000). Şekil 1'de, REBA kapsamında analiz edilen vücut bölümlerine ilişkin açısız ve opsiyonel hareket değerlendirmeleri yer almaktadır. 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 değerlendirilmesi sonucu elde edilen skora "Yük/Kuvvet" skoru, Grup B'nin

değerlendirilmesi sonucu elde edilen skora "Kavrama" skoru eklenmektedir (Hignett ve McAtamney, 2000).

GRUP A		Puan	Puan Değişimi		
Duruş/Hareket	Puan				
Gövde					
Dik duruş	1				
Flexiyon: 0-20° Ekstansiyon: 0-20°	2	Eğer yarı doğru eğilme ya da dönme hareketi varsa: +1			
Flexiyon: 20-60° Ekstansiyon: >20°	3				
Flexiyon: >60°	4				
Flexiyon: >60°	4				
Boyun					
Flexiyon: 0-20°	1				
Flexiyon: >20° Ekstansiyon: >20°	2				
Bacaklar					
Ağırlık iki bacak üstünde, yarıme ya da oturmuş durumda	1				
Ağırlık tek bacak üstünde, dengersiz durumda	2				
GRUP B					
Duruş/Hareket		Puan	Puan Değişimi		
			Sağ	Sol	
Üst Kol/Omuzlar					
Flexiyon: 0-20° Ekstansiyon: 0-20°	1				
Flexiyon: 20°-45° Ekstansiyon: >20°	2				
Flexiyon: 45-90°	3				
Flexiyon: >90°	4				
Alt Kol/Dirsekler					
Flexiyon: 60°-100°	1				
Flexiyon: < 60° Ekstansiyon: >100°	2				
Bilek					
Flexiyon: 0-15° Ekstansiyon: 0-15°	1				
Flexiyon: >15° Ekstansiyon: >15°	2				

Şekil 1. REBA Analiz Sistemi

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 kesleştirilerek "C" skoru belirlenmekte ve "Aktivite" skoru C skoruna eklenerek Final REBA skoru hesaplanmaktadır (Hignett ve McAtamney, 2000).

Tablo 4

Kavrama 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.

Tablo 1

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 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 5

Tablo C Skorları

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

Tablo 6

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
0	1	İhmal edilebilir	Gereksiz

3.3.NASA İş Yükü İndeksi (NASA TLX)

NASA TLX, algılanan iş yükü düzeyini yapılan işin zihinsel gereklilikleri, fiziksel gereklilikleri, işte beklenen performans düzeyi, çaba düzeyi, zaman baskısı ve başarısızlık hissi düzeyi olmak üzere altı farklı boyutu dikkate alarak belirleyen bir ölçektir. Ürettiği sonuçlar açısından geçerliliği ve güvenilirliği farklı birçok çalışmada kanıtlanmış olan NASA TLX, farklı sektörlerde uygulanabilir olması açısından da esnek ve güçlü bir yöntemdir (Hart ve Staveland, 1988; Reilly vd., 2003). Ölçekte dikkate alınan fiziksel gereklilik boyutu ile işçinin görevini tamamlayabilmesi için gereken fiziksel aktivitelerin işçiyi ne derecede zorladığı belirlenmektedir. Zihinsel gereklilik boyutunda yine görevi tamamlayabilmek için ihtiyaç duyulan mental aktivitenin yoğunluğu tartışılmaktadır. Zaman baskısı, görevi tamamlayabilmek için gerek duyulan çalışma hızını ve süre kısıtı nedeniyle oluşan zamana bağlı stresi değerlendirmektedir. Performans düzeyi, işçinin görevini zamanında tamamlayabilmesi açısından hissettiği başarı düzeyini değerlendirmektedir. Çaba boyutunda, işçinin üretim hızı açısından beklentileri karşılayabilmesi için yaşadığı fiziksel ve zihinsel zorlanma düzeyi değerlendirilmektedir. Başarısızlık hissi boyutunda ise görevini tamamlama sürecinde

işçinin yaşadığı mutsuzluk, öfke ve güvensizlik düzeyleri tartışılmaktadır (Hart vd.,1984).

NASA TLX ölçeği iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, algılanan iş yükünü oluşturan altı boyutun her biri 0 (düşük) ile 100 (çok yüksek) arasında, işçi tarafından gerçekleştirildiği görev dikkate alınarak puanlandırılmaktadır. Bu kısımda, 0-100 arası beşer puanlık aralıklara bölünmüştür. İkinci kısımda ise, altı farklı boyut kendi arasında ikili olarak karşılaştırılmaktadır. Burada işçi, yine yaptığı görevi dikkate alarak, bu görevinde karşılaştığı iki boyuttan hangisinin daha baskın olduğunu ya da kendisini daha çok zorladığını belirlemektedir (Gawron, 2008). İkili karşılaştırmalar kısmında toplamda on beş adet karşılaştırma yapılmaktadır. Her bir boyutun ağırlığını bulabilmek için her bir boyut kaç defa baskın olarak belirlendiyse söz konusu sıklık değeri toplam ikili karşılaştırma sayısına bölünmektedir. Birinci kısımdan elde edilen her bir boyuta ait puanlarla, ikinci kısımdan elde edilen ağırlıklar çarpılmaktadır. Böylece her bir boyuta ilişkin ağırlıklı puan elde edilmektedir. Son olarak, her bir boyutun ağırlıklı puanı Eşitlik (1)'deki gibi toplanarak algılanan iş yükü puanı elde edilmektedir.

$$Mental\ Workload = MD \times W_{MD} + PD \times W_{PD} + TD \times W_{TD} + FL \times W_{FL} + EL \times W_{EL} + PL \times W_{PL} \quad (1)$$

Burada;

MD: 0-100 arasında değişen zihinsel gereklilik puanını,

PD: 0-100 arasında değişen fiziksel gereklilik puanını,

TD: 0-100 arasında değişen zaman baskısı puanını,

FL: 0-100 arasında değişen başarısızlık hissi puanını,

EL: 0-100 arasında değişen çaba düzeyi puanını,

PL: 0-100 arasında değişen performans düzeyi puanını,

W_{MD}: Zihinsel gereklilik boyutunun ağırlığını,

W_{PD}: Fiziksel gereklilik boyutunun ağırlığını,

W_{TD}: Zaman baskısı boyutunun ağırlığını,

W_{FL}: Başarısızlık hissi boyutunun ağırlığını,

W_{EL}: Çaba boyutunun ağırlığını,

W_{PL}: Performans boyutunun ağırlığını göstermektedir.

3.3. Önerilen İş Rotasyonu Modeli

Çalışmada, işçilerin fiziksel ve algılanan iş yükü açılarından zorlanma düzeylerini dikkate alan optimum bir iş rotasyonu stratejisinin oluşturulması hedeflenmiştir. Fiziksel zorlanma düzeyinin belirlenmesi için işçilerin sergiledikleri duruşlar REBA ile analiz edilmiştir. Duruşlardaki risk seviyesi arttıkça fiziksel zorlanma düzeyinin arttığı kabul edilmiştir. İşçilerin algılanan iş yükü düzeyleri ise, NASA TLX

yöntemi ile belirlenmiştir. Algılanan iş yükü puanları arttıkça işçilerdeki zorlanma düzeyi de artmaktadır. Buna göre çalışmada, üretim miktarını en büyükleen ancak aynı zamanda işçilerin yaşadığı fiziksel zorlanma ve algıladıkları iş yükü düzeylerini en küçükleen bir iş rotasyonu stratejisi doğrusal olmayan 0-1 tam sayılı programlama modeli kullanılarak geliştirilmiştir. Böylece, haftanın hangi gününde hangi işçiye hangi işin atanacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, 0-1 tam sayılı programlama için kurulan modele ilişkin tanımlamalar aşağıda verilmektedir.

Uygulamanın gerçekleştirildiği firma tek vardiya çalışmaktadır. Planlanan dinlenme aralıkları çıkarıldığında çalışılan toplam süre D_t olarak tanımlanmaktadır. İşçiler, $m = 1, 2, \dots, l$ farklı kategoriye ayrılmışlardır. İşçiler, önceden belirlenen performans düzeyleri temelinde her işi $k (k = 1, \dots, n)$ yapabilmektedirler. m işçinin performans oranını belirleyebilmek için birim başına işin tamamlanma zamanı t_{mk} kullanılmaktadır ve bu süre işçinin performansına dayalı olarak değişmektedir. Bu nedenle, her m işçisi performans oranı ile değerlendirilmektedir. Tamamlanma zamanı t_{mk} , işçilerin performans oranının bir fonksiyonu olarak Eşitlik (2)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$t_{mk} = t_k / c_{mk} \quad (2)$$

Burada, t_k , işin tamamlanma zamanı ve c_{mk} ise k işi için m işçinin performans oranını temsil etmektedir ($c_{mk} > 0$).

Fiziksel zorlanma ve algılanan iş yükü düzeyleri açısından modelde, her bir işçi m için üretim miktarı en büyüklemesi de göz önüne alınarak REBA ve NASA TLX sonuçlarının kabul edilebilir değerleri sağ taraf sabitleri olarak belirlenmiştir. Yukarıda yer alan tanımlamalara göre kurulan doğrusal olmayan 0-1 tam sayılı programlama modeli Eşitlik (3) ve (10) arasında gösterilmektedir.

$$O.F. = \max \sum_{m=1}^l \sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^h y_{mkt} x_{mkt} \quad (3)$$

s. t.

$$\sum_{k=1}^n y_{mkt} = 1, \forall m, t \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^l y_{mkt} = 1, \forall k, t \quad (5)$$

$$1 \leq x_{mkt} \leq D_t / t_{mk}, \forall m, k, t \quad (6)$$

$$x_k^{min} \leq x_k \leq x_k^{max}, \forall k \quad (7)$$

$$(REBA)_m \leq (REBA^{max})_m, \forall m \quad (8)$$

$$NTLX_m \leq NTLX_m^{max}, \forall m \quad (9)$$

$$y_{mkt} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

Önerilen doğrusal olmayan 0-1 tam sayılı modelde, y_{mkt} , karar değişkeni, binary değişken olarak tanımlanmaktadır. Eğer m işçisi k işine t gününde atanırsa y_{mkt} "1" değerini; diğer durumda ise "0" değerini almaktadır. Geliştirilen modelde Eşitlik (3), amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonunda yer alan x_{mkt} ile üretim miktarının en büyüklmesi amaçlanmıştır. Burada x_{mkt} , m işçinin k işe t gününde atanması durumunda elde edilen üretim miktarıdır. Eşitlik (4) ve (5) her bir m işçisinin tek bir k işine atanmasını sağlayan kısıtlardır. Her bir k işine atanmış m işçisinin performans oranına dayalı olarak üretim miktarı kısıtlamaları Eşitlik (6) ile sağlanmaktadır. Firma politikalarınca belirlenen, kabul edilebilir üretim miktarı seviyeleri Eşitlik (7) ile sağlanmaktadır. Eşitlik (8)'de yer alan REBA^{max} değeri, REBA yöntemine göre vücut bölümleri için kabul edilebilir üst sınır değeridir. Her bir m işçisinin k işine atanması durumunda elde edilen REBA skorları ilgili kısıtın teknik katsayılarını oluşturmaktadır ve Eşitlik (11)'de gösterilmiştir. İşçilerin kabul edilebilir algılanan iş yükü düzeyleri ise Eşitlik (9) ile sağlanmaktadır. Burada NTLX^{max}, NASA TLX yöntemine göre algılanan iş yükü düzeyine ilişkin üst sınır değeridir. Benzer şekilde, m işçisinin k işine atanması durumunda oluşacak algılanan iş yükü düzeyi, modelde teknik katsayıları oluşturmaktadır ve Eşitlik (12) ile hesaplanmaktadır. Eşitlik (10) ise y_{mkt} karar değişkeninin binary olarak tanımlandığı eşitliktir.

$$(REBA)_m = y_{mkt} \times A_{mkt}, \forall m, k, t, A_{mkt}: \text{ Her bir işçi için REBA skoru} \quad (14)$$

$$NTLX_m = y_{mkt} * B_{mkt}, \forall m, k, t, B_{mkt}: \text{ Her bir işçi için NASA TLX puanı} \quad (15)$$

3.4. Önerilen iş rotasyonu modelinin uygulaması

Çamaşır makinesi üretim hattında işçiler, 08.00-17.00 arası çalışmaktadırlar. Bir çalışma gününde, toplam üç ara verilmektedir. Üretim zamanı ve planlanan aralar Tablo 7'de verildiği gibidir. Bir iş günü içerisinde fiili olarak 450 dakika çalışılmaktadır. Ayrıca, dördüncü işçi dördüncü iş gününde izinlidir.

Tablo 7
Çalışma ve Mola Süreleri

08:00-17:00						
08:00-10:00	10:00-10:15	10:15-12:00	12:00-13:00	13:00-15:00	15:00-15:15	15:15-17:00
çalışma	mola	çalışma	mola	çalışma	mola	çalışma
120 dk	15 dk	105 dk	60 dk	120 dk	15 dk	105 dk

Fiziksel zorlanma düzeyini belirleyebilmek için REBA yöntemi, bütün işçiler için uygulanmıştır. Aşağıda, Tablo 9'da birinci işçiye ait olan REBA skorları yer almaktadır.

Tabloda yer alan REBA skorları, birinci işçinin beş farklı istasyonda çalışırken sergilediği duruşlar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 9

Birinci İşçi için İşlere Göre REBA skorları

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

NASA TLX yöntemi kullanılarak elde edilen ve birinci işçiye ait olan algılanan iş yükü düzeyleri ise Tablo 10'da yer almaktadır. Bu tabloda yer alan değerler, birinci işçinin beş farklı istasyonda çalıştığı düşünüldüğünde, her bir istasyonda gerçekleştirdiği işler sonrasında algıladığı iş yükü düzeyini vermektedir.

Tablo 10

Birinci İşçinin Beş Farklı Göreve Göre Algılanan İş Yükü Düzeyleri

k	t	NASA TLX Puanları				
		1.istasyon	2.istasyon	3.istasyon	4.istasyon	5.istasyon
1	1	44.67	44.67	39.67	48.33	43.33
1	2	49.63	42.33	58.67	50.00	45.00
1	3	50.00	47.33	39.67	49.67	51.67
1	4	40.33	44.67	39.67	51.33	48.00

4. Sonuçlar

0 – 1 tam sayılı doğrusal olmayan atama modeline ait sonuçlar BARON çözücüsü kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 12'de söz konusu modelin sonuçları görülmektedir.

Tablo 11'den de görüldüğü gibi, işçilerin performans oranları farklı olduğu için bu durum, üretim miktarlarını da etkilemektedir. Tablo 11'de verilen iş rotasyonu probleminin optimal çözümü incelendiğinde, beş farklı iş için hangi işçilerin atandıkları ve atandıkları taktirde ortaya çıkabilecek üretim miktarları görülmektedir. Örnek olarak, birinci işçi, üçüncü ve dördüncü günlerde beşinci işe, birinci, ikinci ve beşinci günlerde sırasıyla ikinci ve dördüncü işlere atanmıştır. Bununla birlikte, birinci gün ikinci işe atandığı zaman 249 adet, ikinci gün dördüncü işe atandığı zaman 175 adet, üçüncü gün beşinci işe atandığında 293 adet, dördüncü gün yine beşinci işe atandığında 286 adet ve beşinci gün ikinci işe atandığında 256 adet üretim gerçekleştirmiştir. Bu atamalar, birinci işçi için duruşsal riski ve algılanan iş yükünü kabul edilebilir seviyelerde tutarak gerçekleştirilmiştir. Diğer işçiler için de aynı yorum

yapılabilir. Böylece, her göreve herhangi bir gün için bir işçi atanması yapılmıştır. Benzer şekilde, her işçiye bir iş atanmıştır. Ayrıca, atama sonuçlarına bakıldığında dördüncü işçinin dördüncü gün izinli olmasından dolayı altıncı bir işçi üretim hattına gelerek dördüncü işçinin işini yapmıştır ve 273 adet üretim elde edilmiştir.

Tablo 11
İş Rotasyonu Çizelgesi

m	k	x_{mkt}					x_k
		t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	
1	1						1259
	2	249				256	
	3						
	4		175				
	5			293	286		
2	1						784
	2		151				
	3						
	4			151	71		
	5	260				151	
3	1	151					641
	2		71	151			
	3					117	
	4						
	5		151				
4	1		209	204			942
	2						
	3	151			273 (x_{634})		
	4						
	5					105	
5	1				227	311	911
	2						
	3		151	71			
	4	151					
	5						

5. Tartışma

Üretim sürecini etkin bir şekilde yönetebilmek bu süreçte kararlı/istikrarlı ve üretken iş gücünün çalıştırılabilmesini de beraberinde getirmektedir. İş gücünün kapasitesinden en yüksek düzeyde yararlanılmasını sağlayan en önemli yönetim araçlarından birisi olan iş rotasyonu, bir organizasyon içinde çalışanların işten işe ya da projeden projeye sistematik olarak hareket etmesidir. İş rotasyonu, üretim hedeflerinden bir çoğunun başarılması için etkili bir yoldur. Bu organizasyon stratejisi, işletmelerde hem üst ve orta kademelerde hem de alt kademelerde yaygın olarak kullanılan bir eğitim yöntemidir. Kişinin görevlerini daha başarılı bir şekilde yürütebilmesi için gereksinimi olan bilgi ve deneyimin kazandırılması amacıyla gerçekleştirilir. Bu sebeple, üretim ortamında verimlilik ve üretkenliğin sağlanabilmesi amacıyla sıklıkla kullanılır. Bu kapsamda, çalışmada üretim ortamındaki iş rotasyonunun üretim miktarı üzerindeki etkileri ergonomik koşullar dikkate alınarak gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada, üretim miktarını en büyükleyen, algılanan iş yükü ve fiziksel zorlanma düzeylerini en küçükleyen haftalık bir iş rotasyonu stratejisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, işçilerin performans düzeyleri ve

hafta içinde izinli oldukları günler de dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, doğrusal olmayan 0-1 tam sayılı programlama modeli kullanılmıştır. Önerilen iş rotasyonu modeli, üretim miktarını en büyüklemekle birlikte işçilerde oluşan fiziksel zorlanmayı ve algılanan iş yükü seviyelerini en küçüklemektedir. Bu açılarından, iş rotasyonu literatürü için yeni bir yaklaşım geliştirildiği söylenebilir.

Gelecek çalışmalarda farklı ergonomik risk faktörleri dikkate alınarak yeni iş rotasyonu stratejileri oluşturulabilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Al Madani, D. & Dababneh, A. (2016). Rapid Entire Body Assessment: A Literature Review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 107-118. doi: <https://dx.doi.org/10.3844/ajeassp.2016.107.118>
- Aryanezhad, M. B., Kheirkhah, A. S., Deljoo, V. & 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. Doi: [10.1007/s00170-008-1446-0](https://doi.org/10.1007/s00170-008-1446-0)
- Boenzi F., Digiesi S., Facchini F. & Mummolo G. (2016). Ergonomic improvement through job rotations in repetitive manual tasks in case of limited specialization and differentiated ergonomic requirements, *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1667-1672. doi: [10.1016/j.ifacol.2016.07.820](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.820)
- Chaudhary R., Rangnekar, S. & Barua, M. K. (2014). Organizational climate, climate strength and work engagement. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 133, 291-303. doi: [10.1016/j.sbspro.2014.04.195](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.195)
- Comper M. L. C., Dennerlein J. T., Evangelista G. dos S., Silva P. R. & Padula R. S. (2017). Effectiveness of job rotation for preventing work-related musculoskeletal diseases: A cluster randomised controlled trial, *Occupational Environmental Medicine*, 74, 545-552. doi: [10.1136/oemed-2016-104077](https://doi.org/10.1136/oemed-2016-104077)
- Dağdeviren, M., Eraslan, E. ve Kurt M. (2005). Çalışanların toplam iş yükü seviyelerinin belirlenmesine yönelik bir model ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 517-525.
- Delice, E. K. (2016). Acil servis hekimlerinin NASA-RTLX yöntemi ile zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi:

- bir uygulama çalışması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(3), 645-662.
- Galy, E., Paxion, J. & Berthelon, C. (2018). Measuring mental workload with the nasa-tlx needs to examine each dimension rather than relying on the global score: An example with driving. *Ergonomics*, 61(4), 517-527. DOI: [10.1080/00140139.2017.1369583](https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1369583)
- Gawron, V.J., 2008. Human Performance, Workload, and Situational Awareness Measures Handbook. Boca Raton: CRC Press.
- Gönen, D., Oral, A., Ocaktan, M. B., Karaoğlan, A. D. ve Cicibaş, A. (2017). Bir transformatör işletmesinde montaj ünitesinin ergonomik analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 21(5), 1067-1080. doi [10.16984/sofenbilder.311585](https://doi.org/10.16984/sofenbilder.311585)
- Hart, S. G., Sellers J.J. & Guthart G.(1984). The impact of response selection and response execution difficulty on the subjective experience of workload. Proceedings of the 28th Annual Meeting of the Human Factors Society. Santa Monica, CA: Human Factors Society, 732-736.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988), Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research, human mental workload, Amsterdam : North Holland Press. Human Mental Workload, Publisher: Elsevier, Editors: P. A. Hancock, N. Meshkati, pp.139—183. doi: [10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Hignett, S. & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205.
- Hoonakker P., Carayon, P., Gurses, R.B. , McGuire,K. Khunlertkit, A. & Walker, J.M. (2011). Measuring workload of ICU nurses with a questionnaire survey: The Nasa Task Load Index (TLX), *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 1(2), 131–143. doi: [10.1080/19488300.2011.609524](https://doi.org/10.1080/19488300.2011.609524)
- Jung, H. S. & Jung, H. S. (2001). Establishment of overall workload assessment technique for various tasks and workplaces. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(6), 341-353. doi: [10.1016/S0169-8141\(01\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00040-3)
- Kahya, E., Özkan, N. F. ve Ulutaş, B.H. Beyin bilgisayar ara yüzü kullanımının bilişsel yüklenme açısından değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* (baskıda). doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416522>
- Kara, Y., Atasagun, Y., Gökçen, H., Hezer, S. & Demirel, N. (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](https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.874575)
- Kara, Y., Atasagun, Y. ve Peker, A. (2014). Montaj hatlarında çalışma duruşlarının REBA yöntemi ile analizi ve ergonomik risk değerlendirmesi, 7. *Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı*, 5-7.
- Lowndes, B. R., Forsyth, K. L., Blocker, R. C., Dean, P. G., Truty, M. J., Heller, S. F. & Nelson, H. (2018). NASATLX Assessment of Surgeon Workload Variation Across Specialties. *Annals of Surgery*. doi: [10.1097/SLA.0000000000003058](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003058)
- Mansikka, H., Virtanen, K. & Harris, D. (basım aşamasında). Comparison of NASA-TLX scale, Modified CooperHarper Scale and Mean Inter-Beat Interval as Measures of Pilot Mental Workload During Simulated Flight Tasks. *Ergonomics*, (baskıda). doi: [10.1080/00140139.2018.1471159](https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1471159)
- Moussavi, S. E., Mahdjoub, M. & Grunder, O. (2016). Reducing Production Cycle Time by Ergonomic Workforce Scheduling. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 419-424. doi: [10.1016/j.ifacol.2016.07.642](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.642)
- Ojha, P., & Vinay, D. (2018). Assessment of physical fitness and postural discomfort among assembly workers. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 1812-1814
- Otto A & Battaia O. (2018), Reducing Physical Ergonomic Risks at Assembly Lines by Line Balancing and Job Rotation: A Survey, *Computers & Industrial Engineering*, 111, 467–480. doi: [10.1016/j.cie.2017.04.011](https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.011)
- Otto, A. & Scholl, A. (2013). Reducing Ergonomic Risks by Job Rotation Scheduling. *OR spectrum*, 35(3), 711-733. doi: [10.1007/s00291-012-0291-6](https://doi.org/10.1007/s00291-012-0291-6)
- Özay, M. E. ve Doğanbatır, Ç. Ş. (2018). Perakende Sektöründe Bir süpermarkette REBA, NIOSH ve Snook Tabloları yöntemlerini kullanarak ergonomik risk analizi vaka çalışması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 448-459. doi: [10.21923/jesd.321303](https://doi.org/10.21923/jesd.321303)
- Puspawardhani, E. H., Suryoputro, M. R., Sari, A. D., Kurnia, R. D. & Purnomo, H. (2016). Mental workload analysis using NASA-TLX method between various level of work in plastic injection division of manufacturing company, In *Advances in Safety Management and Human Factors* (311-319). Springer, Cham. doi: [10.1007/978-3-319-41929-9_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41929-9_29)
- Reilly, S., Grasha, A. F., Matthews, G., & Schafer, J. (2003). Automatic-controlled information processing and error detection in a simulated pharmacy-verification task. *Perceptual & Motor Skills*, 97, 151-174. doi: [10.2466/pms.2003.97.1.151](https://doi.org/10.2466/pms.2003.97.1.151)
- Seçkiner, S. U. & Kurt, M. (2008). Ant colony optimization for the job rotation scheduling

- problem. *Applied Mathematics and Computation*, 201(1-2), 149-160. doi: [10.1016/j.amc.2007.12.006](https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.12.006)
- Song, J., Lee, C., Lee, W., Bahn, S., Jung, C. & Yun, M. H. (2016). Development of a job rotation scheduling algorithm for minimizing accumulated work load per body parts. *Work*, 53(3), 511-521. doi: [10.3233/WOR-152232](https://doi.org/10.3233/WOR-152232)
- Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. and Hendrick (2005). H., 1st. Edition, Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods. Florida: CRC Press.
- Thongsanit, K., Boondisakulchok, R. & Tharmmaphornphilas, W. (2010). Heuristic for task-worker assignment with varying learning slopes. *Engineering Journal*, 14(2), 1-14. doi: [10.4186/ej.2010.14.2.1](https://doi.org/10.4186/ej.2010.14.2.1)
- Tubbs-Cooley, H. L., Mara, C. A., Carle, A. C. ve Gurses, A. P. (2018). The NASA task load index as a measure of overall workload among neonatal, paediatric and adult intensive care nurses. *Intensive and Critical Care Nursing*, 46, 64-69. doi: [10.1016/j.iccn.2018.01.004](https://doi.org/10.1016/j.iccn.2018.01.004)
- Wongwien, T. & 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*, 20(3), 34-39.
- Xie, B. ve Salvendy, G. (2000). Review and reappraisal of modelling and predicting mental workload in single- and multi-task environments. *Work & stress*, 14(1), 74-99. doi: [10.1080/026783700417249](https://doi.org/10.1080/026783700417249)
- Yağmuroğlu, Z. Günaydın, H. M. ve Kale, S. (2011) İş gereksinim analizi yönteminin iş güvenliği bağlamında incelenmesi, 3. *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 195-200.
- Yoon, S. Y., Ko, J. & 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. doi: [10.1016/j.apergo.2016.01.011](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.01.011)