

## BİR ELEKTRONİK FİRMASININ MONTAJ HATLARININ ERGONOMİK ANALİZİ

**Elifnur ALKAN (ORCID: 0000-0002-3943-8435)**  
**Mehmet Ali ILGIN (ORCID: 0000-0003-1765-2470)\***

*Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye*

*Geliş / Received: 07.05.2017  
Kabul / Accepted: 18.11.2017*

### ÖZ

Günümüzün yüksek düzeyde rekabet içeren iş ortamında karlılığı ve pazar payını belirleyen en önemli unsurlardan biri verimliliktir. Verimlilik hedeflerine ulaşabilmek için de üretim tesislerinin ergonomik değerlendirmesinin yapılması zorunludur. Bu çalışmada bir elektronik firmasına ait ana montaj hatlarının ergonomik değerlendirmesi için üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmiştir. İlk aşamada firmada bulunan ana montaj hatları üç farklı ergonomik değerlendirme yöntemiyle analiz edilmiştir. İkinci aşamada ergonomik koşulları en kötü olan hat belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, hatların katma değersiz süreleri zaman etüdü ile hesaplanmıştır. Korelasyon analizi yapılarak ergonomik koşullar ile katma değersiz süreler arasında ilişki belirlenmiştir. Yetersiz ergonomik koşulların, katma değersiz süreleri arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Montaj hattı, ergonomi, çok kriterli karar verme

## ERGONOMIC ANALYSIS OF ASSEMBLY LINES IN AN ELECTRONICS COMPANY

### ABSTRACT

Productivity is one of the most important factors affecting the profitability and market share in today's highly competitive business environment. Ergonomic evaluation of production facilities is a must for the achievement of productivity targets. In this study, a three-phase approach is proposed for the ergonomic evaluation of main assembly lines of an electronics company. Main assembly lines were analyzed in the first phase by using three different ergonomic evaluation methods. In the second phase, multi-criteria decision making techniques were used in order to determine the line with the worst ergonomic conditions. Time study was used in the third phase for the determination of non-value added times of the lines. The relationship between ergonomic conditions and non-value added times was determined by carrying out a correlation analysis. It has been concluded that insufficient ergonomic conditions increase non-value added times.

**Keywords:** Assembly line, ergonomics, multi-criteria decision making

### 1. GİRİŞ

Günümüz piyasasında rekabet avantajı getiren temel nokta, müşteri beklentilerini en uygun maliyetle en doğru şekilde karşılayabilmektir [1]. Kurum verimliliğini etkileyen faktörler iyi analiz edilirse maliyetler daha doğru hesaplanır. Buna bağlı olarak da müşteriye sunulan fiyat düşer. Bu sayede, aynı sektörde yer alan rakiplere göre fiyat avantajı elde edilir.

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 236 201 22 10; e-mail / e-posta: mehmetali.ilgin@cbu.edu.tr

E. ALKAN, M A. ILGIN

Mal üreten bir firmada, verimliliği etkileyen faktörler kapsamında sadece üretim ve üretimi destekleyen fonksiyonlar ele alınmamalıdır. Fire oranını düşürmek, bir işin doğru yapılma oranını arttırmak için operatörlere uygun ergonomik koşulların sağlanması gerekir [2]. Üretim bandı ve ekipman dizaynında, gürültü, titreşim, sıcaklık, duruş pozisyonu vb. çalışma ortamı koşullarında ergonomik parametrelerin ihmalî çalışanları fizyolojik ve psikolojik olarak olumsuz yönde etkilediği için çalışan performansını düşürmekte, kalite hatalarının artmasını, üretim taleplerinin teslim tarihine yetiştirilememesini, işletmenin maddî kayıp yaşamasını beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, üretim sürecinde tanımlı işlerin ergonomik risk analizi yapılmalı, insan üzerinde fiziksel zorlamaya neden olan faktörler belirlenmeli, bu faktörleri ortadan kaldırmak için gerekli düzeltici önlemler tanımlanmalıdır [3-8].

Üretim tesislerinin ve özellikle de montaj hatlarının ergonomik değerlendirmesi üzerine son yıllarda çok sayıda akademik çalışma gerçekleştirilmiştir. Zülch ve Zülch [9] U tipi montaj hatlarının gerek üretim lojistiği ve gerekse de ergonomik açıdan değerlendirilmesi için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Tiacci ve Mimmi [10] ve Baykasoglu ve ark. [11] montaj hatlarının ergonomik değerlendirmesinde OCRA (Occupational Repetitive Action) endeksini kullanmışlardır. Gönen ve ark. [12] bir transformatör imalatçısının montaj hattı çalışanlarının kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını Cornell Üniversitesi Kas İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketinden (CMDQ) esinlenilerek oluşturulan bir anket çalışması, Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) Yöntemi ve Ovako Çalışma Duruşu Analiz Sistemi (OWAS) ile analiz etmişlerdir. Montaj hatlarının planlanmasında ergonomik risk faktörlerinin dikkate alındığı çalışmalar hakkında daha fazla bilgi edinmek isteyen okuyucular Zare ve ark. [13] ve Manivel ve ark. [14] tarafından sunulan literatür taramalarını inceleyebilirler.

Bu çalışmada bir elektronik firmasının ana montaj hatlarının ergonomik olarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirildiği firmada hedeflenen üretim değerlerine ulaşılammakta ve iyileştirmelerin hangi noktalarda yapılması gerektiği araştırılmaktadır. Montaj hatlarında gerçekleştirilen gözlemlerde duruş bozukluklarına ve ergonomik tehdit oluşturabilecek diğer unsurlara rastlanmıştır. Verimlilikteki azalmanın ergonomi kaynaklı olabileceği düşünülmüştür. Somut olarak görülebilen tehditler fotoğraflanmıştır. Fotoğraflar ve firmaya ait üretim süreci bilgi gizliliği nedeniyle paylaşılmamıştır. Ancak istasyonlar hatta tanımlı iş akışına uygun sırayla incelenmiştir. Akış hakkında buradan bilgi edinilebilir.

Çalışma kapsamında 4 ana montaj hattı ergonomik olarak incelenmiş ve hangi noktalarda üretim sürelerindeki artışın kötü ergonomik koşullarla ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde ergonomik değerlendirme çalışması ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Üçüncü bölümde genel bir değerlendirme yapılarak elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

## 2. ELEKTRİK PANOLARI ÜRETEBİR FİRMADA MONTAJ HATLARININ ERGONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada bir elektronik firmasına ait ana montaj hatlarının ergonomik değerlendirmesi için üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmiştir. İlk aşamada firmada bulunan ana montaj hatları üç farklı ergonomik değerlendirme yöntemiyle analiz edilmiştir. İkinci aşamada ergonomik koşulları en kötü olan hat belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, hatların katma değersiz süreleri zaman etüdü ile hesaplanmıştır. Korelasyon analizi yapılarak ergonomik koşullar ile katma değersiz süreler arasında ilişki kurulmuştur. Katma değerli süreler iş metodunda herhangi bir iyileştirme yapılmadığı takdirde azaltılamayan süreler olduğu için katma değersiz süreler üzerinden ergonomik koşulların etkisi incelenmiştir. İzleyen alt bölümlerde bu aşamalara ilişkin bilgiler sunulmaktadır.

### 2.1. Montaj Hatlarının Farklı Üç Yöntemle Değerlendirilmesi

Firmadaki montaj hatları üç farklı yöntemle ergonomik olarak analiz edilmiştir. Bu yöntemler, risk değerlendirme anketi, NIOSH yük kaldırma metodu ve firma tarafından kullanılan ergonomi denetim kılavuzudur. Risk değerlendirme anketindeki sorular [5]'te verilen içeriğe göre hazırlanmıştır. Anket kullanılmasının sebebi mühendislerin yaptığı değerlendirmelerin yanında operatörlerin de çalışma koşullarının değerlendirilmesinde söz sahibi olmasına imkân tanımaktır. Ergonomik değerlendirme için farklı metodlar mevcuttur. NIOSH yük kaldırma metodunun seçilme nedeni kısıtlı zaman içerisinde kolay ve doğru veri toplanmasına izin vermesidir. İzleyen alt bölümlerde bu yöntemlere ilişkin açıklamalar sunulmuştur.

#### 2.1.1. Çalışanlara Ergonomik Risk Değerlendirme Anketinin Uygulanması

Operatörler için, atanmış olduğu iş istasyonu tasarımını, kullandığı ekipmanları, ortam koşullarını, iş yükünün vücuduna uyguladığı fizyolojik ve psikolojik baskıyı, baskının şiddetini değerlendireceği bir anket hazırlanmıştır. Anket iki bölümden oluşmaktadır.

**BİR ELEKTRONİK FİRMASININ MONTAJ HATLARININ ERGONOMİK ANALİZİ**

Anketin ilk bölümü duruş değerlendirme bölümü olup ergonomik çalışmalarda sıklıkla kullanılan Cornell Musculoskeletal Discomfort Survey [15] metodundan yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu bölümde operatörler, vücutlarının farklı bölgelerinde çalışma saatlerindeki iş yükleri nedeniyle ne sıklıkla rahatsızlık hissettiklerini değerlendirmişlerdir.

Anketin ikinci bölümünde ise firmanın kendi üretim sistemi için geliştirmiş olduğu fiziksel ergonomi direktiflerini ele alan sorular mevcuttur. Çalışanların yük kaldırma ve taşıma işlemlerini nasıl yaptıkları, vardiya boyunca hangi pozisyonda (ayakta, yarı oturur veya oturur) ve ne sıklıkla çalıştıkları, aydınlatma ve gürültü düzeyinin uygunluğu, istasyonda tanımlı cihazların fiziki zorlamaya neden olup olmaması konularında sorular sorulmuştur. Anket, dört ana montaj hattına uygulanmış ve toplamda 100 çalışan tarafından cevaplandırılmıştır. Sorular 1 ile 5 arasında puanlanmıştır. En iyi koşulu yansıtan puan 1 iken en kötü koşulu yansıtan puan 5'tir.

Her hattın ortalama anket puanı hesaplanmıştır. Ancak anket puanları hem soruların birbiri ile tutarlılığı hem de kişilerin soruları doğru/yanlış cevaplandırılması göz önüne alınmadan elde edilmiştir. Anketin iç tutarlılığını belirlemek için SPSS programı ile her hat için 0 ile 1 arasında değer alan Cronbach's alpha [16] değeri hesaplanmıştır. Bu değer 0,90'dan fazla olması anket güvenilirliğinin mükemmel, 0,80-0,90 arasında olması iyi, 0,70-0,80 arasında olması kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Her bir hat için ortalama anket puanı Cronbach's alpha güvenilirlik katsayısı ile ağırlıklandırılarak ağırlıklandırılmış ortalama anket puanı elde edilmiştir. Ortalama anket puanları, Cronbach's alpha güvenilirlik katsayıları ve ağırlıklandırılmış ortalama anket puanları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre ağırlıklandırılmış ortalama anket puanı en düşük olan dördüncü hat, çalışanların ergonomik koşullarının en uygun olduğu hattır.

**Tablo 1.** Montaj hatları anket sonuçları

Montaj Hatları	Ortalama Anket Puanı	Cronbach's Alpha Güvenilirlik Katsayısı	Ağırlıklandırılmış Ortalama Anket Puanı
<b>HAT 1</b>	82,95	0,866	71,84
<b>HAT 2</b>	52,66	0,874	46,03
<b>HAT 3</b>	59,42	0,767	45,58
<b>HAT 4</b>	52,59	0,863	45,39

### 2.1.2. İş İstasyonlarının NIOSH Yük Kaldırma Metodu ile Analizi

NIOSH yük kaldırma metodunda [17], bir takım parametreler dikkate alınarak kişinin yük taşıma esnasındaki duruşu değerlendirilir. Parametre değerleri matematiksel bir fonksiyonda yerine konur. Bu fonksiyon, bir kişinin günlük olarak ne kadar ağırlıkta bir yükü taşıyabileceğini hesaplar ve gerçekleşen taşıma ağırlığının tavsiye edilen yük sınırının kaç katı olduğunu *LI* olarak adlandırılan bir çıktı olarak verir. Bu çıktının değeri, 1 veya 1'den küçük ise kişinin taşıdığı yük ergonomik sınırlar içerisinde ve kas-iskelet sistemine zarar vermez. Çıktı değerinin 1'den daha büyük olması durumunda ise, kaldırılan yükün ağırlığı ergonomik sınırlar içerisinde değildir ve kişinin kas-iskelet sistemine zarar verebilir.

Yöntemin kullandığı parametreler sırasıyla şunlardır:

- H*: Ayağın orta noktası ile yükün ağırlık merkezi arasındaki mesafe (cm)
- V*: Yükün ağırlık merkezi ile zemin arasındaki mesafe (cm)
- D*: Yükün istiflendiği nokta ile işlem göreceği tezgâh arasındaki mesafe (cm)
- A*: Yükü kavradıktan sonra taşıma işlemine başlarken vücudun yaptığı dönüş açısı
- F*: Bir vardiyadaki yük kaldırma sıklığı (Değer, metodun tablosundan seçilir)
- C*: Yük kavrama derecesi (Değer, metodun tablosundan seçilir)
- L*: Kaldırılan yükün ağırlığı (kg)

Yöntemde öncelikle "tavsiye edilen yük sınırı" olarak adlandırılan *RWL* (Recommended Weight Limit) değeri kilogram cinsinden aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur:

$$RWL = 23 \cdot (25 / H) \cdot [1 - (0.003 * |V - 75|)] \cdot [0.82 + (4.5 / D)] \cdot [1 - (0.0032 \cdot A)] \cdot F \cdot C \quad (1)$$

*RWL* ve *L* değerleri kullanılarak *LI* değeri aşağıdaki denklemle bulunur:

$$LI = \frac{L}{RWL} \quad (2)$$

E. ALKAN, M A. ILGIN

Bu yöntemle, dört ana montaj hattının tüm iş istasyonları için yük kaldırma değerleri elde edilmiş ve Tablo 2’de sunulmuştur. Bu tabloya göre, birinci hattın ilk istasyonu için *LI* değeri 2,44’tür. Bu değer, bu istasyonda çalışan operatörün tavsiye edilen yük sınırının 2,44 katı kadar ağırlık taşıdığını göstermektedir. Burada çalışan operatörün kas ve iskelet sisteminde mesleki deformasyon gerçekleşme olasılığı yüksektir. Tabloda, vücuda binen yük bakımından en ideal koşullara sahip olan istasyonlar yeşil renk kullanılarak ve en riskli olan istasyonlar ise kırmızı renk kullanılarak gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Montaj hatları NIOSH yük kaldırma analiz sonuçları

İSTASYON NO	LI DEĞERLERİ			
	HAT 1	HAT 2	HAT 3	HAT 4
1	2,44	1,679	2,523	1,653
2	0,749	1,228	2,064	1,352
3	1,923	1,492	1,487	2,599
4	0,896	0,617	1,83	5,4
5	1,359	1,164	0,708	0,188
6	1,626	2,55	0,052	1,769
7	1,673	2,716	0,041	4,433
8	4,741	1,237	1,165	0,946
9	1,232	0,148	2,171	1,542
10	0,063	0,837	0,078	0,563
11	2,48	0,454	1,906	1,248
12	..	..	2,41	0,049
13	..	..	..	0,576
14	..	..	..	1,856
15	..	..	..	0,042
16	..	..	..	0,061
17	..	..	..	1,279

### 2.1.3. İş İstasyonlarına Firma Tarafından Hazırlanan Ergonomi Denetim Kılavuzunun Uygulanması

Firma içerisindeki ergonomi denetimlerinde, global düzeyde standartlaştırılmış olan bir kılavuz kullanılmaktadır. Kılavuzda ele alınan faktörler sırasıyla şunlardır: vücut pozisyonu, fiziksel güç, operasyon devir süresi, yük taşıma, çevresel faktörler (gürültü, titreşim, aydınlatma vb.), iş istasyonu tasarımı ve hat organizasyonu. Her faktör, birden fazla alt faktörden oluşmaktadır. Tüm alt faktörler, denetlemekle görevli ekip tarafından ilgili iş istasyonu için 1 ile 5 arasında puanlanır. En iyi koşulu yansıtan puan 5 iken en kötü koşulu yansıtan puan 1’dir.

Ergonomi denetim kılavuzu, iş sağlığı ve güvenliği ekibi ile birlikte dört ana montaj hattının her istasyonu için değerlendirilmiştir. Her hattın en düşük puana sahip istasyonu ile en yüksek puana sahip istasyonu saptanmıştır. Sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir. Bu tabloda ergonomi denetim kılavuzu kapsamında en düşük puanı alan iş istasyonları kırmızı renk ile ve en yüksek puanı alan iş istasyonları da yeşil renk ile gösterilmiştir. Örneğin, birinci montaj hattında ergonomik koşulları en az sağlayan istasyon 7. istasyon iken en çok sağlayan istasyon 11. istasyondur.

### 2.2. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Öncelik Verilmesi Gereken Hat ve İstasyonların Belirlenmesi

Ergonomik koşulları değerlendiren üç farklı yöntemden elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek en kritik hat ve istasyon saptanmıştır. Bu amaçla, analitik hiyerarşi süreci (AHS) [18] ile Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS) [19] çok kriterli karar verme yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Anlaşılmasının kolay olması ve sonuçlarının yorumlanmasında zorlanılmaması nedeniyle TOPSIS yöntemi seçilmiştir [20]. Bu yöntem tarafından ihtiyaç duyulan kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ise etkin bir ağırlık belirleme yöntemi olan AHS kullanılmıştır [21].

*BİR ELEKTRONİK FİRMASININ MONTAJ HATLARININ ERGONOMİK ANALİZİ*

**Tablo 3.** Montaj hatları ergonomi denetim kılavuzu sonuçları

İSTASYON NO	DENETİM SONUÇLARI			
	HAT 1	HAT 2	HAT 3	HAT 4
1	81,5	78	81,5	87,5
2	81,5	106	88	100,5
3	92	99,5	90	101
4	78	82,5	98,5	84
5	80	69,5	101	101
6	75	102	100,5	88
7	68,5	100,5	102	82,5
8	83,5	96,5	81,5	101
9	90,5	102,5	81	101
10	70	83	81	82
11	99	103,5	81	101
12	..	..	101	101
13	..	..	..	100,5
14	..	..	..	101
15	..	..	..	101
16	..	..	..	101
17	..	..	..	101

İlk olarak AHS yöntemi ile her bir ergonomik değerlendirme yönteminin ağırlığı bulunmuştur. AHS yönteminde Tablo 4'te verilen ikili karşılaştırma matrisi hazırlanırken grup karar verme süreci uygulanmıştır. Grup üyeleri çalışmanın yazarları, metot mühendisliği bölümünde görevli bir mühendis ve bir süpervizördür. İkili karşılaştırma matrisindeki değerler grup üyelerinin sağladığı uzlaşma ile belirlenmiştir. Bu nedenle geometrik ortalama alınmamıştır. İkili karşılaştırmalar için hesaplanan tutarlılık oranı (0,01), 0,1'den küçük olduğu için karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmış ve Tablo 5'te verilen yöntem ağırlıkları hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Ergonomik değerlendirme yöntemleri için ikili karşılaştırma matrisi

	Ergonomi Denetim Kılavuzu	NIOSH Yük Kaldırma Metodu	Ağırlıklandırılmış Anket Sonuçları
Ergonomi Denetim Kılavuzu	1	2	3
NIOSH Yük Kaldırma Metodu	1/2	1	2
Ağırlıklandırılmış Anket Sonuçları	1/3	1/2	1

**Tablo 5.** Ergonomik değerlendirme yöntemlerinin ağırlıkları

Yöntem	Ergonomi Denetim Kılavuzu	NIOSH Yük Kaldırma Metodu	Ağırlıklandırılmış Anket Sonuçları
Ağırlık	0,540	0,297	0,163

Ergonomik değerlendirme yöntemlerinin ağırlıkları saptandıktan sonra TOPSIS yöntemi ile en kritik hat belirlenmiştir. Bu yöntemde, her bir ergonomik değerlendirme yöntemi bir kriter olarak ve her bir hat bir alternatif olarak dikkate alınmıştır. Tablo 6'da verilen TOPSIS karar matrisinde hatlar satırlarda ve ergonomik değerlendirme yöntemleri sütunlarda yer almaktadır. Ergonomik Denetim kılavuzu değerinin düşük olması hattın kritiklik düzeyini arttıracığından karar matrisinde bu yöntemi temsil eden sütun minimum olarak seçilmiştir. NIOSH ve Ağırlıklandırılmış Anket Sonuçları yöntemlerinde ise yüksek değerlere sahip olan hatlar daha kritiktir. Bu nedenle bu yöntemleri temsil eden karar matrisi sütunları maksimum olarak seçilmiştir. Karar matrisi kullanılarak ve TOPSIS adımları izlenerek her bir hat için bir C değeri hesaplanmıştır. TOPSIS yönteminde C değeri en büyük olan alternatif, ideal çözüme en yakın olan alternatiftir. Bu çalışmada ise C değeri en yüksek olan hat en kritik hattır. Tablo 7'da verilen TOPSIS sonuçlarına göre C değeri en yüksek olan birinci hat en kritik hattır. Bu sonuca göre ergonomik iyileştirmeler öncelikli olarak birinci hatta yürütülmelidir.

E. ALKAN, M A. ILGIN

**Tablo 6.** Kritik hat seçiminde kullanılan karar matrisi

	MİNİMUM	MAKSİMUM	MAKSİMUM
	Ergonomi Denetim Kılavuzu	NIOSH Yük Kaldırma Metodu	Ağırlıklandırılmış Anket Sonuçları
	0,540	0,297	0,163
HAT 1	80,87	1,76	71,84
HAT 2	93,05	1,29	46,03
HAT 3	96,18	1,51	45,58
HAT 4	89,64	1,37	45,39

**Tablo 7.** Hatların TOPSIS sonuçları

Üretim Hattı	C değeri
HAT 1	1
HAT 2	0,11697
HAT 3	0,24961
HAT 4	0,25487

Ergonomik açıdan en riskli montaj hattı olan birinci hatta bulunan istasyonlar arasında en kritik olanın belirlenmesi için de TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Fakat burada anket sonuçları bir kriter olarak ele alınmamıştır. Bunun nedeni, istasyon bazında istatistiksel olarak anlamlı bir anket puanı elde edilememesidir. Her istasyonda çalışan operatör sayısı ortalama iki kişi olduğundan yeteri kadar veri toplanamamıştır. Kriter sayısı üçten ikiye düştüğü için kriter katsayıları da değiştirilmiştir. Ergonomi denetim kılavuzuna ait ağırlık 0,6 olarak ve NIOSH yük kaldırma metoduna ait ağırlık 0,4 olarak revize edilmiştir. Tablo 8’de birinci hatta bulunan istasyonlar için hazırlanmış karar matrisi verilmiştir. Şekil 1’de de bu istasyonların C değerlerine göre büyükten küçüğe sıralandığı grafik mevcuttur.

**Tablo 8.** Kritik hat istasyonlarına ait karar matrisi

	MİNİMUM	MAKSİMUM
	Ergonomi Denetim Kılavuzu	NIOSH Yük Kaldırma Metodu
İstasyon No	0,6	0,4
1	81,5	2,44
2	81,5	0,749
3	92	1,923
4	78	0,896
5	80	1,4425
6	75	1,626
7	68,5	1,673
8	83,5	4,741
9	90,5	1,232
10	70	0,063
11	99	2,48

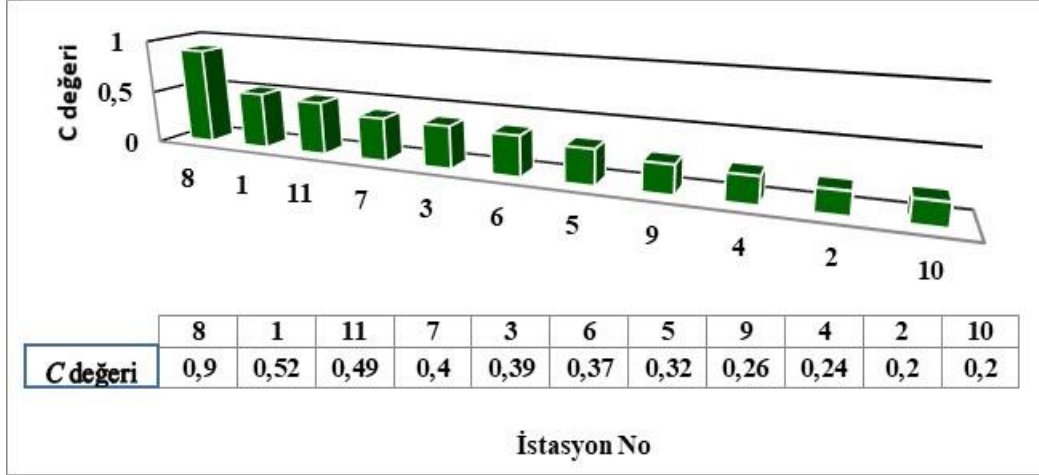
Şekil 1’e göre, ergonomik iyileştirme faaliyetlerinde öncelik verilmesi gereken istasyon en yüksek C değerine sahip olan sekizinci istasyondur. Ergonomik iyileştirmeler ve yatırım planları kapsamında en son ele alınması gereken istasyonlar ise en küçük C değerine sahip olan ikinci ve onuncu istasyonlardır. Diğer montaj hatları için de aynı işlemler gerçekleştirilerek kritik olan istasyonlar saptanmıştır. Ancak çalışmanın devamında kritik hat kapsamındaki hesaplamalar sunulacaktır.

### 2.3. Ergonomik Koşullar ile Katma Değersiz Süreler Arasındaki İlişkinin Analiz Edilmesi

Bir istasyonun sahip olduğu çevrim süresi, katma değerli ve katma değersiz sürelerin toplanmasıyla elde edilir. Katma değerli süre, ilgili istasyonda ürün üzerinde fiziksel değişimin meydana getirildiği işlem sürelerini

*BİR ELEKTRONİK FİRMASININ MONTAJ HATLARININ ERGONOMİK ANALİZİ*

kapsamaktadır. Bir ürünün tamamlanmasına ilişkin temel ve daha küçük parçalara bölünemez iş adımlarının toplam süresidir. Katma değersiz süre ise ürün üzerinde fiziksel değişikliğin yapılmadığı, müşterinin ödemeyi kabul etmediği ve müşterinin değil firma bütçesinin üstlendiği süreleri kapsamaktadır. Bu süre kapsamına giren durumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:



**Şekil 1.** İstasyonlar için hesaplanan C değerleri

- İş istasyonunun yanlış tasarlanmasından kaynaklanan yüksek taşıma mesafeleri.
- İş istasyonunda montajı tamamlanan parçanın kontrol formlarının doldurulması.
- İş istasyonunda kullanılacak malzemelerin montaja uygun halde gelmemesi durumunda yapılan ek işçilik (malzemenin ambalajı çıkartılmadan iş istasyonuna gönderilmesi vb.).
- İş istasyonuna tanımlı olan iş yükünün ergonomik sınır değerleri aşmasından dolayı operatörlerde oluşan fiziksel yorgunluk.
- Yanlış iş istasyonu veya ürün tasarımı sonucunda operatörlerin ergonomiye uygun olmayan duruşlarla işlemleri yapmalarından dolayı operatörlerde oluşan fiziksel yorgunluk.
- Operatörlerin kendilerine yakın istasyonlarda çalışmakta olan diğer operatörlerle sohbet etmesi.

Katma değersiz süreye yol açan ve yukarıda sayılan durumların önemli bir bölümü ergonomik yetersizliklerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu bölümde katma değersiz sürelerle ergonomik koşullar arasındaki ilişki korelasyon analizi ile incelenmiştir. Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi veya bir değişkenin iki ya da daha çok değişken ile olan ilişkisini test etmek, varsa bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Analizi yapabilmek için, her iki değişkenin de sürekli olmaları ve normal dağılım göstermeleri gereklidir. Pozitif bir ilişkinin olması, birinci değişkenin değerlerinin artması durumunda ikinci değişkenin değerlerinin de artması, ya da birinci değişkenin değerlerinin düşmesi durumunda ikinci değişkene ait değerlerin de düşme eğiliminde olduğunu gösterir. Negatif korelasyon (negatif ilişki) olması değişkenlerin birine ait değerlerin artması durumunda diğer değişkene ait değerlerin düşmesi demektir. Korelasyon katsayısının "0" olması değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin söz konusu olmadığını gösterir [22].

Korelasyon analizinde, kritik hat olarak saptanan birinci hatta ait istasyonlar için hesaplanan C değerleri ile istasyonların katma değersiz süreleri arasındaki korelasyon SPSS yazılımı aracılığıyla incelenmiştir. C değeri, üç farklı ergonomik değerlendirme metodunun bütünlük sonucunu yansıttığı için çalışmanın devamında bütünlük ergonomi skoru olarak adlandırılacaktır.

İlk olarak istasyonlarda zaman etüdü yapılmış ve katma değerli süreler ile katma değersiz süreler belirlenmiştir. Her istasyonun bütünlük ergonomi skoru ile katma değersiz süresinin yer aldığı veri matrisi oluşturulmuştur. Bu matris Tablo 9'da yer almaktadır.

Korelasyon analizinde verilerin normal dağılıp dağılmamasına göre kullanılan yöntem değişmektedir. Değişkenlerin her ikisi de normal dağılım gösterdiğinde Pearson yöntemi kullanılmakta iken değişkenlerden en az biri normal dağılım göstermediğinde Spearman yöntemi kullanılmaktadır [23]. Bu nedenle SPSS yazılımında normallik testi gerçekleştirilmiş ve bu testin sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. Tabloya göre bütünlük ergonomi skoruna ait veriler hem çarpıklık hem de basıklık açısından +1,5 ve -1,5 arasında değer almadığından normal dağılım göstermemektedir. Katma değersiz süreye ait verilerin çarpıklık değeri normallik limitleri arasında kalsa da basıklığa ait değeri limiti aştığı için bu değişken de normal dağılım göstermemektedir. Her iki değişken de normal dağılım göstermediği için korelasyon analizinde Spearman yöntemi uygulanmıştır.

E. ALKAN, M A. ILGIN

**Tablo 9.** Korelasyon analizi veri tablosu

İstasyon No	Bütünleşik Ergonomi Skoru	Katma Değersiz Süre
1	0,52	43,08
2	0,2	9,3
3	0,39	5,4
4	0,24	16,9
5	0,32	9,3
6	0,37	25,4
7	0,4	65
8	0,9	27,11
9	0,26	14,2
10	0,2	17,6
11	0,49	35,12

**Tablo 10.** Normallik testi sonuçları

		İstatistik	Standart Hata
Bütünleşik ergonomi skoru nedir?	Ortalama	0,3900	0,06060
	Ortalama için %95 Güven Aralığı	Alt Sınır	0,2550
		Üst Sınır	0,5250
	Çarpıklık	1,749	0,661
	Basıklık	3,860	1,279
İstasyondaki katma değersiz süre nedir?	Ortalama	24,4009	5,34629
	Ortalama için %95 Güven Aralığı	Alt Sınır	12,4886
		Üst Sınır	36,3132
	Çarpıklık	1,297	0,661
	Basıklık	1,587	1,279

Spearman yönteminde iki değişken arasındaki ilişki  $\rho$  ile ifade edilir. Bu katsayı, -1 ile +1 arasında değer alır. Eğer  $\rho=0$  ise, iki değişken arasında hiçbir bağlantının bulunmadığı sonucu çıkartılır. Eğer  $\rho >0$  ise, iki değişken arasında birlikte artma veya azalma görülür. Eğer  $\rho <0$  ise, iki değişken arasında ters orantılı bir değişme vardır; biri artarken diğeri azalır. Spearman yöntemi ile analiz edilen veri matrisine ait sonuçlar Tablo 11’de verilmiştir. Tablo 11 incelendiğinde  $\rho$  değerinin 0,605 olarak hesaplandığı görülebilir.  $\rho >0$  olduğu için bu iki değişken arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır. Bir başka deyişle, ergonomik koşullarda yapılan iyileştirmeler, istasyondaki katma değersiz süreleri 0,605 katsayısı ile doğru orantılı olacak şekilde azaltacaktır. Bu demektir ki katma değersiz sürenin artmasının temel nedenlerinden biri kötü ergonomik koşullardır. Operatörlerin vücut sağlığına uygun bir şekilde tasarlanmış iş istasyonlarında çalışması, iş yükü miktarının doğru belirlenmesi, uygun gürültü, nem, aydınlatma düzeyinin sağlanması vb. bir ürünün birim üretim zamanını katma değersiz süreler üzerinden direkt olarak etkilemektedir. Eğer firma birim üretim süresini düşürüp daha fazla üretim yapmak isterse, üretim veya montaj hatlarının ergonomik koşullarına odaklanmalıdır.

**Tablo 51.** Korelasyon analizine ilişkin sonuçlar

		Bütünleşik ergonomi skoru nedir?	İstasyondaki katma değersiz süre nedir?
Spearman Korelasyon Analizi	Bütünleşik ergonomi skoru nedir?	Korelasyon Katsayısı	1,000
		Anlamlılık (2-Yönlü)	0,605
		N	11
	İstasyondaki katma değersiz süre nedir?	Korelasyon Katsayısı	0,605*
		Anlamlılık (2-Yönlü)	0,049
		N	11



*BİR ELEKTRONİK FİRMASININ MONTAJ HATLARININ ERGONOMİK ANALİZİ***3. SONUÇLAR**

Çalışma kapsamında üç farklı yöntem kullanılarak montaj hatları ergonomik açıdan değerlendirilmiştir. Değerlendirmeden elde edilen veriler çok kriterli karar verme yöntemleri ile incelenmiştir. Hatların ergonomik koşulları ne derece karşıladığına dair bütünlük bir sonuç üretilmiştir. Çok kriterli karar verme kapsamında yöntemler birer kriter olarak ele alınmıştır. Firma içerisindeki kullanım sıklığı ve yarattığı sonuçların anlamlılığına göre yöntemlere farklı ağırlıklar atanmıştır. Veriler, elde edildiği yöntemin ağırlığı kadar nihai sonuç üzerinde etkili olmuştur. Böylece hatların ergonomik koşullarının değerlendirilmesinde bütünlük bir yapı oluşturulmuştur. Çıktı olarak, hem ergonomik koşullara uygunluk bakımından en kritik hat saptanmış hem de kritik hat içerisindeki istasyonlara ait bir öncelik sıralaması elde edilmiştir. Bu sıralama, ergonomik iyileştirmelerin ilgili hattın hangi istasyonunda ilk olarak gerçekleştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Firmanın ergonomik iyileştirmeler için yapacağı yatırımları planlarken bu sıralamaları dikkate alması faydalı olacaktır.

Çalışma sadece en kritik hattın ve en kritik istasyonun bulunmasını kapsamamaktadır. İdeal ergonomik koşulları sağlamayan istasyonlarda, bu koşulların operatör üzerinde yarattığı fiziksel sorunların işin yapılma süresini ne kadar etkilediği de araştırılmıştır. Bu amaçla istasyonlara tanımlanan işlem süreleri analiz edilmiş, bu sürenin katma değersiz bölümü ele alınmıştır. Katma değersiz süreleri oluşturabilecek alt nedenler belirlenmiştir. Bu alt nedenlerden biri de uygun olmayan ergonomik koşullardır. Bir sonraki adımda bu süreler ile istasyonlar için çok kriterli karar verme sonucunda elde edilen bütünlük ergonomik skorlar eşleştirilmiş ve kritik hat olarak saptanan birinci hatta korelasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda, ergonomi kaynaklı yetersizliklerle katma değersiz sürelerin doğru orantılı olduğu ortaya konmuştur. Böylece montaj hatlarının ergonomik koşullara uygun şekilde tasarlanmasının hatların çevrim süreleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu gösterilmiştir.

**KAYNAKLAR**

- [1] ÇATI, K., KOÇOĞLU, C., GELİBOLU, L., "Müşteri Beklentileri ve Müşteri Sadakati Arasındaki İlişki: Beş Yıldızlı Bir Otel Örneği", Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19, 429-446, 2010.
- [2] YUMUŞAK, S., "İşgören Verimliliğini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesine Yönelik Bir Alan Araştırması", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 13, 241-251, 2008.
- [3] BRIDGER, R.S., Introduction to Ergonomics, McGraw Hill, New York, USA, 2009.
- [4] DAVID, G.C., "Ergonomic Methods for Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders", Occupational Medicine, 55, 190-199, 2005.
- [5] ERKAN, N., Ergonomi, MPM Yayınları, Ankara, Türkiye, 2003.
- [6] GÜLER, Ç., Sağlık Boyutuyla Ergonomi, Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2004.
- [7] KROEMER, K., KROEMER, H., KROEMER-ELBERT, K., Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency (2nd Edition), Prentice Hall, New Jersey, USA, 2000.
- [8] SU, B., Ergonomi, Atılım Üniversitesi Yayınları, Ankara, Türkiye, 2001.
- [9] ZÜLCH, M., ZÜLCH, G., "Production Logistics and Ergonomic Evaluation of U-shaped Assembly Systems", International Journal of Production Economics, 190, 37-44, 2017.
- [10] TIACCI, L., MIMMI, M., "Integrating Ergonomic Risks Evaluation Through OCRA Index and Balancing/Sequencing Decisions for Mixed Model Stochastic Asynchronous Assembly Lines", Omega, baskıda, 2017.
- [11] BAYKASOĞLU, A., OZMEHMET TASAN, O., TASAN, A.S., DEMIRKOL AKYOL, Ş., "Modeling and Solving Assembly Line Design Problems by Considering Human Factors with a Real-life Application", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 27, 96-115, 2017.
- [12] GÖNEN, D., ORAL, A., OCAKTAN, M.A.B, KARAOĞLAN, A.D., CİCİBAŞ, A., "Bir Transformatör İşletmesinde Montaj Ünitesinin Ergonomik Analizi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21, 1067-1080, 2017.
- [13] ZARE, M., CROQ, M., HOSSEİN-ARABİ, F., BRUNET, R., ROQUELAURE, Y., "Does Ergonomics Improve Product Quality and Reduce Costs? A Review Article", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 26, 205-223, 2016.
- [14] MANIVEL, M.V., ARUN, V., SEDHU, S.R., ARJUN, K.S., "Ergonomic Considerations for Design of Industrial Workstation: A Review", International Research Journal of Engineering and Technology, 4, 2017.
- [15] HEDGE, A., MORIMOTO, S., MCCROBIE, D., "Effects of Keyboard Tray Geometry on Upper Body Posture and Comfort", Ergonomics, 42, 1333-1349, 1999.

*E. ALKAN, M A. ILGIN*

- [16] CRONBACH, L.J., "Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests". Psychometrika, 16, 297–334, 1951.
- [17] NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health, Work Practices Guide for Manual Lifting, No. 81-122. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio, USA, 1981.
- [18] SAATY, T.L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, USA, 1980.
- [19] HWANG, C.L., YOON, K., Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York, USA, 1981.
- [20] ÖZDEMİR, M., Topsis. B.F. YILDIRIM, E. ÖNDER (Editör). İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler için Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (s.133-153), Dora Basım-Yayın Dağıtım, Bursa, Türkiye, 2014.
- [21] ÇALIŞ, A., KESKİN, İ., GENCER, C., "AHP ve SMAA-2 Yöntemleri ile Mühendislik Alanında Bilimsel Araştırma Konularının Seçimi", Savunma Bilimleri Dergisi, 15, 257-280, 2016.
- [22] MONTGOMERY, D.C., RUNGER, G.C., Applied Probability and Statistics, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA, 2011.
- [23] BLUMAN, A.G., Elementary Statistics, McGraw Hill, New York, USA, 2009.