

HOFFMAN Sezgisel Yöntemi ile Montaj Hattı Dengeleme Problemi

İsmail Akargöl^{1*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü / Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

*(iakargol@cumhuriyet.edu.tr)

(Geliş Tarihi: 24 Eylül 2023, Kabul Tarihi: 05 Ekim 2023)

(3rd International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2023, September 26-28, 2023)

ATIF/REFERENCE: Akargöl, İ. (2023). HOFFMAN Sezgisel Yöntemi ile Montaj Hattı Dengeleme Problemi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(9), 118-128.

Özet – Bu çalışmada montaj hattı ile ilgili genel bilgiler ve montaj hattı dengeleme ile ilgili araştırmalar teorik olarak incelenmiştir. Daha sonra mobilya sektöründe yer alan bir işletmenin klapa montaj hattındaki üretimi ile ilgili olarak montaj hattı dengelemesinde incelenecek olan zaman etütleri yapılmış ve montaj hattı dengelemesi için gerekli olan bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen veriler paralelinde ilk olarak mevcut durum için sezgisel yöntemlerden biri olan Hoffman yöntemi ile montaj hattı dengelenmiştir. Daha sonra önerilen montaj hattı için yine Hoffman yöntemi ile montaj hattı tekrar dengelenmiş ve iki farklı montaj hattı dengeleme çözümüne ait sonuçlar verilmiştir. Elde edilen çalışmanın sonunda, hattın gerçek iş istasyonu sayısı azalırken, yine hattın akış zamanında azalma görülmüştür. Dengeleme sonucunda yeni oluşan durum ile hattın etkinliğinde yaklaşık olarak %12,26 artış görülmüştür. İstasyondaki atıl (boş) sürede ciddi azalmalar ortaya çıkmıştır. Bu azalma yaklaşık olarak 57,96 saniye olmuştur. Hattın denge kaybı miktarında da azalma olmuş bu oran yaklaşık olarak %12,26 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca hatta çalışan operatör sayısı 10' dan 9' a düşmüş ve bu da maliyet hesaplamaları neticesinde işletmeye gelir sağlamıştır. Çalışmanın amacı, montaj hattı üzerinde proses sayısını azaltmak, optimum sayıda operatör kullanarak en yüksek hat verimliliğine sahip bir montaj hattı oluşturmak ve Hoffman yönteminin mobilya sektöründeki montaj hatlarına uygulanabilirliğini vurgulamaktır.

Anahtar Kelimeler – Montaj Hattı Dengeleme, Mobilya Endüstrisi, Hoffman Yöntemi, Sezgisel Hat Dengeleme, Hat Etkinliği

1. GİRİŞ

Montaj hatları, endüstriyel üretimde büyük önem taşıyan özel akışlı üretim sistemleridir. Montaj hattı ilk olarak 1900'lerin başında Henry Ford tarafından tanıtıldı. Montaj hatları, belirli bir ürünü üretmenin oldukça verimli ve üretken bir yolu olacak şekilde tasarlanmıştır. Hat Dengeleme sistemi, üretilecek ürünün her bir istasyondan geçerek operatör veya makinenin kendisine verilen görevleri yaptığı, ardından ürünün bir konveyör elemanı ile bir sonraki istasyona taşındığı bir üretim şeklidir [1].

Montaj hatlarının dengelenmesi, dikkatle denetlenmesi gereken bir endüstriyel üretim sistemi için en önemli parçalardan biri haline gelir. Üretim hedefine ulaşmanın başarısı, montaj hatlarının dengelenmesinden önemli ölçüde etkilenir. Uzun zamandır, birçok endüstri ve elbette araştırmacılar, montaj hattını dengede tutmak ve ardından daha verimli hale getirmek için en iyi yöntem veya teknikleri bulmaya çalışmaktadır. Ayrıca bu problem montaj hattı dengeleme problemi olarak bilinir. Bir montaj hattı, tamamlanana kadar bu hattın düz, u-tipi veya paralel olabileceği hat boyunca bir iş

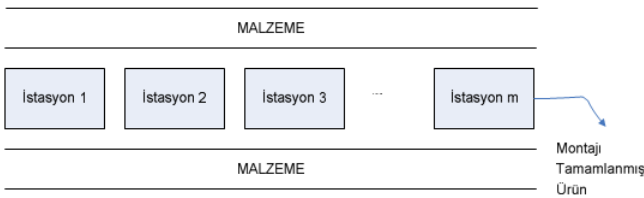
istasyonundan diğerine art arda hareket ederken bir ürün üreten iş istasyonlarından oluşur. Bir montaj hattını dengelemek için, üretkenliği ve etkinliği artırmak üzere başlangıçta bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu amaçlara, bitmiş bir ürünü üretmek için gereken üretim süresinin azaltılması, iş istasyonlarının sayısının veya her ikisinin birden azaltılması yoluyla ulaşılır [2].

Bu çalışma, tek model geleneksel montaj hattı kullanan bir işletmede, sezgisel bir yöntem olan Hoffman metodu kullanılarak, hat dengeleme çalışması yapmaktır. Hoffman yöntemi, sezgisel hat dengeleme yöntemleri arasında anlaşılması ve uygulanması en kolay olanlardan biri olmasına rağmen, daha önceki araştırmalara bakıldığında, montaj hattı dengelemede diğer sezgisel yöntemlere göre daha az kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışma ile etkiler görülecektir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Montaj Hattı Dengeleme

Montaj hatları, ürünlerin parçalarının ve bileşenlerinin bir araya getirildiği ve farklı şekillerde işlendiği yerlerdir. Bir montaj hattının temel özelliği, iş parçalarını bir istasyondan diğerine aktarmaktır [3]. Örnek bir montaj hattı Şekil 1 de gösterilmiştir [10].



Şekil 1. Örnek bir montaj hattı

Montaj hattı dengeleme veya hat dengeleme olarak adlandırılan, montaj istasyonlarında ürün oluşumu sırasında ihtiyaç duyulan operasyonları, kayıp zamanın süresinin azaltılabileceği şekilde elde etmek için kullanılır. Diğer bir deyişle iş parçalarının montaj sistemlerine atanması olarak tanımlanır [4]. Montaj hatları, işlenen model ve ürün sayısına göre sınıflandırılır ve üretim şekline göre gruplara ayrılır. Montaj hattı dengeleme yöntemleri çözüm yaklaşımına göre üç gruba ayrılır: tek modellenmiş, çok modellenmiş ve karma modellenmiş montaj hatlarıdır. Montaj hattı dengeleme yöntemine dayalı çözüm yaklaşımları üçe ayrılır:

Sezgisel yöntemler, analitik yöntemler ve simülasyon teknikleridir [5], [6], [7]. Çalışma kapsamında olduğu için sadece sezgisel algoritmalar hakkında genel bilgiler verilecektir.

A.1. Sezgisel Yöntemler

Problemin yapısına göre oluşturulan yöntemlerdir. Kullanılan yöntemde, tam bir kesinlik bulunmayan bu algoritmalar, problemlerde her zaman aynı performansla çalışmaz, sonuç vermeyi veya hesaplanan sonucun her zaman en uygun sonuç olduğunu garanti etmez. Fakat bu grup algoritmalar oluşturulan kısıtlar altında daha uygulanabilir ve en optimum sonuca hesaplama açısından daha kolay ve hızlı bir şekilde ulaşmayı sağlar [8], [9].

Sezgisel algoritmalar kendi içerisinde kullanılan çözüm yöntemine göre iki ana gruba ayrılır. Birinci grup çözüm yöntemlerinde oluşturulan kurallar problemin çözümüne başlamadan önce belirlenir. Daha sonra problemin çözümü oluşturulan bu kurallara göre belirlenir. Son aşama olarak da iş istasyonlarına atamalar gerçekleştirilir. İlk grup algoritmalara şu örnekler verilebilir: Hoffman Sezgisel Yöntemi, Bölgeleme Yöntemi (Kilbridge-Wester), Pozisyon Ağırlığı Yönetimi (Helgeson-Birnie), Moodie-Young Yöntemi, Sıralanmış Pozisyon Ağırlıkları Yöntemi, Kritik Yol Yöntemi [8], [9]. İkinci grup çözüm yöntemlerinde ise öncelikle başlangıç çözüm yöntemi oluşturulur. Oluşturulan yöntem ile birlikte kurallar belirlenir ve istasyonlara atamalar gerçekleştirilir. İkinci grup algoritmalara şu örnekler verilebilir: Genetik Algoritmalar, Benzetim Tavlama, Tabu Arama ve Yapay Arı Kolonisi [8], [9]. Çalışma kapsamında ilk grup sezgisel algoritmalarından olan Hoffmann Sezgisel Yöntemi kullanılacaktır.

A.2. Yerleşim Şekline Göre Montaj Hatları

Montaj hatları yerleşim şekline göre genel olarak 4 kısma ayrılır. Bunlar; geleneksel montaj hatları, u tipi montaj hatları, paralel montaj hatları ve değişik açılı montaj hatlarıdır. Çalışma kapsamında geleneksel montaj hattı hakkında bilgi verilecektir. Geleneksel montaj hatları, birbirini takip edecek şekilde art arda seri olarak dizilmiş iş istasyonlarından oluşan hatlardır. Bu hatlar Düz hat ya da I tipi hatlar olarak da bilinir. Burada montaj işlemi uygulanacak ürün istasyonun ilk kısmından girer ve son kısmından nihai ürün olarak çıkar. Bu

hatların en önemli özelliği, iş akışı kolay bir şekilde yapılması ve montaj işleminin hızlı olmasıdır. Ancak burada hatların kapladığı yer fazla olmakta ve montaj üzerindeki işçiler arasında iletişim zor olmaktadır. Tipik bir geleneksel montaj hattı Şekil 2 de verilmiştir [8], [9].



Şekil 2. Geleneksel montaj hattı

B. Literatür Araştırması

Orbak vd. (2011), otomotiv yan sanayisinde üretim yapan bir işletmede, tek ve karışık modelli olmak üzere iki farklı montaj hattı üzerinde dengeleme problemi ile ilgilenmişlerdir. Tek modelli montaj hattında ilk olarak öncelik diyagramı yapılmış ve Hoffman yöntemine göre hatta dengeleme işlemi yapılmıştır. C# programlama dili kullanılmış ve malzeme miktarlarının optimum sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca montaj hattında etkinlikte iyileşmeler sağlamıştır [13].

Kayar ve Akalin (2016), çalışmalarında montaj hattı ve simülasyon ile ilgili genel bilgiler ve montaj hattı dengeleme ile ilgili araştırmaları teorik olarak incelemiştir. Daha sonra bluz üretimi yapan bir firmada montaj hattı dengelemesinde kullanılacak olan zaman etütleri yapılı ve montaj hattı dengelemesi için gerekli olan bilgiler elde edilir. Elde edilen veriler paralelinde ilk olarak sezgisel yöntemlerden biri olan Hoffman yöntemi ile montaj hattı dengelenmektedir. Daha sonra Arena Simulation programı kullanılarak montaj hattı tekrar dengelenir ve iki farklı montaj hattı dengeleme çözümüne ait sonuçlar verilir. Çalışmanın amacı, optimum sayıda makine ve operatör kullanarak en yüksek hat verimliliğine sahip bir montaj hattı oluşturmak ve Hoffman yönteminin hazır giyim montaj hatlarına uygulanabilirliğini vurgulamaktır [3].

Kayar ve Akyalçin (2014) montaj hattı dengelemesi üzerine yaptıkları çalışmalar teorik olarak incelemiş, ardından T-shirt üretiminin montaj hattı dengelemesine göre zaman etüdü yapmış ve montaj hattı dengelemesi için gerekli veriler elde etmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda ilk olarak 5 farklı sezgisel yöntem (Hofman, ranked positional weight method,

COMSOAL method, moodie & young method, kilbridge & wester method) kullanılarak montaj hattı dengelemesi yapılmış, ardından klasik yöntem kullanılarak montaj hattı dengelemesi yapmıştır. Dengeleme sonunda, hat verimi en yüksek olan montaj hatlarını kurmayı ve incelenen yöntemlerin hazır giyim hatlarında uygulanabilirliğini araştırmışlardır [14].

Biber (2018) yaptığı yüksek lisans çalışmasında otomotiv sektöründe üretim yapan bir firmanın üretim hattında montaj dengeleme çalışması yapmıştır. Sezgisel yöntemlerden Hoffman, Helgeson Birnie ve Moodie Young algoritmalarını uygulamıştır. Faaliyet gösteren işletme için üretim hattı tasarlamış bunu yaparken en iyi sonucu verecek şekilde çıktılarını değerlendirmiştir [12].

Mumcu (2022), aydınlatma sektöründe yaptığı çalışmasında ilk önce zaman etüdü yaparak montaj hattı dengelemesi için gerekli verileri elde etmiştir. Elde edilen bu veriler ile Hoffman ve Comsoal yöntemleri kullanılarak montaj hattı dengelemesi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile, sezgisel montaj hattı dengeleme yöntemlerinden biri olan Hoffman ve Comsoal yöntemlerinin aydınlatma sektöründe üretim yapan firmaların montaj hatlarında uygulanabilirliğini araştırmıştır.[15].

Fleszar ve Hindi (2003) yaptıkları çalışmada, Tip 1 montaj hattı dengeleme problemi için yeni bir sezgisel algoritma ve yeni indirgeme teknikleri sunmuştur. Yeni sezgisel yöntem Hofman yöntemine dayalıdır ve en iyisini seçmek için öncelik ağınnın her iki tarafından da çözümler oluşturur [16].

C. Hoffman Yöntemi

Hoffman yöntemi, sezgisel montaj dengeleme yöntemlerinden biridir ve onu ortaya atan bilim adamının ismini almıştır. Hoffman Metodu ile montaj hattı dengeleme fikri ilk olarak Thomas R. Hoffman tarafından 1963 yılında "Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix" adlı makalesinde önerilmiştir [11]. Bu yöntem ana çözüm aracı olarak öncelik diyagramının kullanıldığı ve genellikle en uygun çözümü veren bir hat dengeleme yöntemidir [12]. Hoffman yönteminin temel adımları şu şekildedir.

Adım 1. Öncelik matrisini oluştur. Kod numaraları dizisi içinde soldan sağa doğru sıfır olan ilk ögeyi ara

Adım 2. İlk sıfırın bulunduğu noktaya karşı gelen iş ögesi numarasını seç.

Adım 3. Bu iş ögesinin işlem süresini, kalan istasyon süresinden çıkar.

Adım 4. Sonuç \geq 0 ise adım 5'e, sonuç $<$ 0 ise adım 6'ya git.

Adım 5. İş ögesine öncelik matrisinden karşı gelen satırı ve sütunu bu matristen çıkar ve elde edilen satır matrisini, yeni kod numarası dizisi için kullan.

Adım 6. 4.adımda bulunan sonuç $<$ 0 ise atama yapma, aksi durumda bu işi o istasyona ata, adım-5'i icra et, adım-1' e geri dön ve yeni iş ögesi seç. Adım 1-6 arasını yinele ve adım-7'ye git.

Adım 7. Kalan istasyon süresi sıfıra eşit ise adım-8'e, aksi takdirde adım-9'a git.

Adım 8. İlgili istasyona atanma tamamlanmıştır. Bir sonraki istasyon işlemleri için adım-1'e git.

Adım 9. Kod numarası dizisi içinde sıfır değerine sahip olan öge veya ögelerde, kalan istasyon süresinden küçük veya eşit işlem süresine sahip olan yoksa, yeni istasyon atamaları için adım-1'e git. Varsa, önceki istasyona atama yapmayı sürdürmek amacıyla, adım-1'e dön. Tüm iş ögeleri istasyonlara atanana kadar devam et.

III. BULGULAR

A. Problemin Kaynağı: Klapa montaj Hattı

Klapa montaj hattı işletme içerisinde üretilen hammadde, yarı mamul ve son ürünlerin standartlara uygun olarak montajının yapıldığı hatlardan bir tanesidir. Burada genel olarak bir parçanın diğerine yapıştırılması ve monte edilme işlemleri yapılmaktadır. Bir parça üzerine etiket, profil ve sticker yapıştırma işlemleri gerçekleşir. Bu hat 9 (7+2) veya 12 (10+2) kişi ile çalışmaktadır.

B. Problemin Tanımı

Klapa montaj hattında yapılan zaman etüdü çalışmaları sonucunda lavinianın ürünü olan gümüşlük sağ ve sol profil parçalarının işlem süreleri çok yüksek çıkmakta bu da hattı verimsizleştirmekte, kuyruklar oluşturmakta ve istenen saatlik çıktı miktarını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra alt ve üst profil parçaları hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmakta ve bu durum kalite problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu kalite problemini azaltmak için hızlı yapıştırıcı yerine alternatif başka bir malzeme kullanmanın yolları araştırılmaktadır. Ayrıca hızlı yapıştırıcı, çalışanlar üzerinde deri ve solunum yollarında tahribata yol açmakta, bu da İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) sorunlarına neden olmaktadır.

C. Mevcut Durum ile ilgili Veriler

Gümüşlük sağ ve sol profilin, klapa montaj hattında yapılan işlemleri şu şekildedir.

İş Ögesi;

- 1:** 4 kişi alt üst profil yüzeyindeki streç naylonları çıkardı.4 kişi 2 takımlık soydu.
- 2:** 1 kişi 3 ayrı paletten alt üst profil ve ara çita aldı ve bant üstüne koydu.1 takımlık
- 3:** 1 kişi alt üst profil kanal içine beyaz tutkal sürdü.1 takım
- 4:** 1 kişi alt üst profil kanal içine 4 farklı bölgeye hızlı yapıştırıcı sürdü.
- 5:** 2 kişi profil birleşimi yaptı, önce alt profile hızlı sprey sıkıp ara çitayı yapıştırdı, sonra çita üstüne hızlı sprey sıkıp üst profili alt profil çitasına yapıştırdı ve birleştirdi.
- 6:** 1 kişi işlemi biten profili aldı ve palet üzerine istif yaptı.

Burada görüldüğü gibi gümüşlük sağ ve sol profilin montajı 6 prosten oluşmaktadır. Her bir işlem için 5' er adet zaman etüdü çalışması yapılmış, dağılımlar ile birlikte ortaya çıkan veriler standart iş etüdü gözlem formuna işlenmiştir. Veriler standart iş etüdü formunda aşağıdaki Şekil 3 de verilmiştir.

İş ögelerinin süreleri hesaplanırken hassas kronometre kullanılmış, bu nedenle standart iş etüdü gözlem formunda her bir proses için yapılan 5 gözlemden en küçüğün bir üst değeri alınmış aynı

zamanda baz miktarları dikkate alınarak, çıkan değerler de 60 ile çarpılarak süreler saniye cinsinden bulunmuştur.

Örneğin;

Alt üst profil yüzeyindeki streç naylon çıkarma prosesi için (1 no'lu proses) alınan etütler şu şekildedir.

STANDART İŞ ETÜD GÖZLEM FORMU																				
CEVRE	NORMAL																	AKS.TOP.SÜRE		
PROSE	OPR. NO	AKIŞ DİLİMİ	ÇALŞ SAYS	BAZ Mik.(TK)	Faaliyet türü	CL-BK.SÜR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	T= Port X tort
1.prs.	1	4 KİŞİ ALT ÜST PROFİL YÜZEYİNDEKİ STREÇ NAYLONLARI ÇIKARDI.4 KİŞİ 2 TAKIMLIK SOYDU.	4	2	E	çal.süre	1,006	0,998	1,33	1,105	1,25									0,5030
2.prs.	2	1 KİŞİ 3 AYRI PALETTEN ALT ÜST PROFİL VE ARA ÇITA ALDI VE BANT ÜSTÜNE KOYDU.1 TAKIMLIK	1	1	E	çal.süre	0,413	0,448	0,436	0,399	0,405									0,4050
3.prs.	3	1 KİŞİ ALT ÜST PROFİL KANAL İÇİNE BEYAZ TUTKAL SÜRDÜ.1 TAKIM	1	1	E	çal.süre	0,345	0,368	0,362	0,393	0,401									0,3620
4.prs.	4	1 KİŞİ ALT ÜST PROFİL KANAL İÇİNE 4 FARKLI BÖLGEYE HIZLI YAPIŞTIRICI SÜRDÜ.	1	1	E	çal.süre	0,483	0,453	0,459	0,439	0,399									0,4390
5.prs.	5	2 KİŞİ PROFİL BİRLEŞİMİ YAPTI.ÖNCE ALT PROFILE HIZLI SPREY SIKIP ARA ÇITAYI YAPIŞTIRDI.SONRA ÇITA ÜSTÜNE HIZLI SPREY SIKIP ÜST PROFİLİ ALT PROFİL ÇITASINA YAPIŞTIRDI VE BİRLEŞTİRDİ.	2	1	E	çal.süre	0,69	0,701	0,688	0,699	0,712									0,6900
6.prs.	6	1 KİŞİ İŞLEMİ BİTEN PROFİLİ ALDI VE PALET ÜZERİNE İSTİF YAPTI.	1	1	E	çal.süre	0,153	0,138	0,144	0,136	0,139									0,1380
ADAM SAYISI			10																	
Performans							100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
												PARÇA BOY	1600	MM	NET ÜRT.ZAM.			0,6900		
												ARA MESAFE	250	MM						
												HIZ	2,68	M/DK	DAĞILIM ORANI %			1,0800		
															TOP. ZAMAN				0,7452	
															SAAT ADET				80,515	

Şekil 3. Mevcut Durum Standart İş Etüd Gözlem Formu

1,006-0,998-1,33-1,105-1,25

Bu değerlerden en küçüğü 0,998'dir. Bunun bir üst değeri 1,006 değeri alınır. Baz miktarımızda 2 adet olduğu için süremiz $1,006 / 2 = 0,503$ dür. Bu değeri de 60 ile çarparsak saniye cinsinden süreyi bulmuş oluruz. Yani $0,503 * 60 = 30,18$ sn'dir.

İş öğelerinin işlem süreleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Mevcut Duruma İlişkin Veriler

İş Öğesi	İşlem Süresi (sn)	Öncül Öğeler
1	30,18	-
2	24,3	1
3	21,72	2
4	26,34	3
5	41,4	4
6	8,28	5

Mevcut duruma ilişkin teknolojik öncelik diyagramı Şekil 4' deki gibidir.



Şekil 4. Mevcut Durum Teknolojik Öncelik Diyagramı

Bu mevcut durumdaki montaj hattını HOFFMAN yöntemi ile dengelemeye çalışılır. Yöntemin adımları yukarıda anlatıldığı şekilde uygulanır.

Montaj hattının öncelik matrisi Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Mevcut Duruma İlişkin Başlangıç Öncelik Matrisi

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0
Kod No	0	1	1	1	1	1

Hattı dengeleme işlemini yaparken, hattın çevrim süresini en uzun süre gerçek çevrim süresi kuralını kullanarak işlemler yapılır. Buna göre hattın çevrim süresi 41,4 sn ile 5 no' lu prosesdir.

Oluşan öncelik diyagramına göre ilk atanacak iş ögesi, kod satırında soldan sağa doğru elde ettiğimiz ilk 0, 1 no'lu prosestir. İşlem süresi 30,18 sn' dir.

Tablo 3. Mevcut Duruma İlişkin 1. Öncelik Matrisi

	2	3	4	5	6
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0
Kod No	0	1	1	1	1

Oluşan yeni kod numarası dizisine göre 2. atayacağımız iş ögesi, 2 no'lu prosestir. İşlem süresi 24,3 sn' dir.

Tablo 4. Mevcut Duruma İlişkin 2. Öncelik Matrisi

	3	4	5	6
3	0	1	0	0
4	0	0	1	0
5	0	0	0	1
6	0	0	0	0
Kod No	0	1	1	1

Oluşan yeni kod numarası dizisine göre 3. atayacağımız iş ögesi, 3 no'lu prosestir. İşlem süresi 21,72 sn' dir.

Tablo 5. Mevcut Duruma İlişkin 3. Öncelik Matrisi

	4	5	6
4	0	1	0
5	0	0	1
6	0	0	0
Kod No	0	1	1

Oluşan yeni kod numarası dizisine göre 4. atayacağımız iş ögesi, 4 no'lu prosestir. İşlem süresi 26,34 sn' dir.

Tablo 6. Mevcut Duruma İlişkin 4. Öncelik Matrisi

	5	6
5	0	1
6	0	0
Kod No	0	1

Oluşan yeni kod numarası dizisine göre 5. atayacağımız iş ögesi, 5 no'lu prosestir. İşlem süresi 41,4 sn' dir ve son olarak atayacağımız 6 no'lu iş ögesinin de işlem süresi 8,28 sn' dir.

Hat ile ilgili bilgiler şu şekildedir;

$$\text{Akış Süresi} = 30,18 + 24,3 + 21,72 + 26,34 + 41,4 + 8,28 = 152,22 \text{ saniye}$$

$$\text{Minimum İş İstasyonu Sayısı} = \frac{\text{Toplam Görev Süresi}}{\text{Çevrim Süresi}} = \frac{152,22}{41,4} = 3,67 = 4 \text{ İş istasyonu}$$

Mevcut duruma ilişkin Hoffman yöntemi ile elde edilen dengeleme sonuçları tablo 7 de verilmiştir.

Tablo 7. Mevcut Duruma İlişkin Dengeleme Sonuçları

İstasyon	İş ögesi	Süre (sn)	Birikimli Süre(sn)	Boş Süre(sn)
1	1	30,18	30,18	11,22
2	2	24,3	24,3	17,1
3	3	21,72	21,72	19,68
4	4	26,34	26,34	15,06
5	5	41,4	41,4	0
6	6	8,28	8,28	33,12

Etkinlik = Toplam Görev Süresi / (Gerçek İş İstasyonu Sayısı * Çevrim Süresi)

$$= [152,22 / (6 * 41,4)] * 100 = \%61,28$$

Denge Kaybı = [((Gerçek İş İstasyonu Sayısı * Çevrim Süresi) - (Toplam Görev Süresi)] / ((Gerçek İş İstasyonu Sayısı * Çevrim Süresi)]

$$D(\%) = (n * c - Top t) / n * c$$

$$\text{Denge Kaybı} = [(6 * 41,4) - 152,22 / 6 * 41,4] = \% 38,72$$

D. Önerilen Durum ile ilgili Veriler

Problem tanımında belirtildiği gibi mevcut durumdaki proseslerin işlem süreleri uzun olması nedeniyle hat verimimiz düşmekteydi, bu durumun önüne geçmek için prosesler arasında işçi dengelemesi yaparak bu düşüş engellenmeye çalışılacaktır. Ayrıca hızlı yapıştırıcı yerine U tipi çivi kullanarak montaj hattı sürelerimizdeki düşüşleri, kalite problemlerini ve İSG açısından sağladığı yararlar ortaya çıkarılacaktır.

Mevcut durumda 4 no'lu proses ortadan kaldırılıp yerine alternatif başka bir yol aranmaktadır. Bu sayede yeni oluşan durumda hat verimliliği, saatlik çıktı miktarın ve kuyrukların nasıl azaldığını somut bir şekilde deđiştđi görülecektir.

Mevcut durumdaki 4 no'lu proses yani "1 kişi alt üst profil kanal içine 4 farklı bölgeye hızlı yapıştırıcı sürdü." İşlemi ortadan kaldırıldı. Yeni durum ile birlikte montaj hattında gerçekleşen işlemler iş ögesi halinde şu şekilde olmuştur.

İş Ögesi;

- 1: 4 kişi alt üst profil yüzeyindeki streç naylonları çıkardı.4 kişi 2 takımlık soydu.
- 2: 1 kişi 3 ayrı paletten alt üst profil ve ara çita aldı ve bant üstüne koydu.1 takımlık
- 3: 1 kişi alt üst profil kanal içine beyaz tutkal sürdü.1 takım
- 4: 2 kişi profil birleşimi yaptı. (tutkallı alt profil içine ara çitayı koydu diğer üst profili de üstüne koyarak tokmak ile açık kalan yerlere vurdu ve her iki baş taraftan birer adet zimba çivi çaktı)
- 5: 1 kişi işlemi biten profili aldı ve palet üzerine istif yaptı.

Burada da görüldüğü gibi önerilen hat 6 prosesten 5 prosese düşmüş, zaman etüdü çalışmaları yapılmış ve Şekil 5 de ki standart iş etüt ve gözlem formuna işlenmiştir.

İş öğelerinin süreleri hesaplanırken aynı mevcut durumda olduğu gibi hassas kronometre kullanılmış, bu nedenle standart iş etüd gözlem formunda her bir proses için yapılan 5 gözlemden en küçüğün bir üst değeri alınmış aynı zamanda baz miktarları dikkate alınarak, çıkan değerler de 60 ile çarpılarak süreler saniye cinsinden bulunmuştur.

Önerilen duruma ait iş öğelerinin işlem süreleri Tablo 8' de verilmiştir.

Tablo 8. Önerilen Duruma İlişkin Veriler

İş Ögesi	İşlem Süresi(sn)	Öncül Öğeler
1	28,89	-
2	24,3	1
3	21,72	2
4	23,04	3
5	8,28	4

Önerilen hatta ilişkin teknolojik öncelik diyagramı Şekil 6 da ki gibidir.



Şekil 6. Önerilen Durum Teknolojik Öncelik Diyagramı

Önerilen durumdaki montaj hattını HOFFMAN yöntemi ile dengelemeye çalışılır. Yöntemin adımları yukarıda anlatıldığı şekilde uygulanır.

Montaj hattının öncelik matrisi Tablo 8’ de verilmiştir.

Tablo 8. Önerilen Duruma İlişkin Başlangıç Öncelik Matrisi

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0
Kod No	0	1	1	1	1

STANDART İŞ ETÜD GÖZLEM FORMU																				
CEVRE NORMAL																		AKS.TOP.SÜRE		
PROSE	OPR. NO	AKIŞ DİLİMİ	ÇALŞ SAYS	BAZ MİK.(TK)	Faaliyet türü	ÇL-BK.SÜR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	T = Port X tort
1.prs.	1	4 KİŞİ ALT ÜST PROFİL YÜZEYİNDEKİ STREÇ NAYLONLARI ÇIKARDI.4 KİŞİ 2 TAKIMLIK SOYDU.	4	2	E	çal.süre	0,977	0,998	0,963	0,958	0,991									0,4815
2.prs.	2	1 KİŞİ 3 AYRI PALETTEN ALT ÜST PROFİL VE ARA ÇITA ALDI VE BANT ÜSTÜNE KOYDU.1 TAKIMLIK	1	1	E	çal.süre	0,413	0,448	0,436	0,399	0,405									0,4050
3.prs.	3	1 KİŞİ ALT ÜST PROFİL KANAL İÇİNE BEYAZ TUTKAL SÜRDÜ.1 TAKIM	1	1	E	çal.süre	0,345	0,368	0,362	0,393	0,401									0,3620
4.prs.	4	2 KİŞİ PROFİL BİRLEŞİMİ YAPTI.(TUTKALLI ALT PROFİL İÇİNE ARA ÇITAYI KOYDU DİĞER ÜST PROFİLİDE ÜSTÜNE KOYARAK TOKMAK İLE AÇIK KALAN YERLERE VURDULAR VE HER İKİ BAŞ TARAFTAN BİRER ADET ZIMBA ÇİVİ ÇAKTI	2	1	E	çal.süre	0,384	0,403	0,396	0,378	0,401									0,3840
5.prs.	5	1 KİŞİ İŞLEMİ BİTEN PROFİLİ ALDI VE PALET ÜZERİNE İSTİF YAPTI.	1	1	E	çal.süre	0,153	0,138	0,144	0,136	0,139									0,1380
ADAM SAYISI			9																	
Performans																				100%
												PARÇA BOY		1600	MM	NET ÜRT.ZAM.		0,4815		
												ARA MESAFE		250	MM	DAĞILIM ORANI %		1,0800		
												HIZ		3,84	M/DK	TOP. ZAMAN		0,5200		
																SAAT ADET		115,380		

Şekil 5. Önerilen Durum Standart İş Etüd Gözlem Formu

Hattı dengeleme işlemini yaparken, hattın çevrim süresini en uzun süre gerçek çevrim süresi kuralını kullanarak işlemler yapılır. Buna göre hattın çevrim süresi 28,89 sn ile 1 no’lu prosesdir.

Oluşan öncelik diyagramına göre ilk atanacak iş ögesi, kod satırında soldan sağa doğru elde ettiğimiz ilk 0, 1 no’lu prosestir. İşlem süresi 28,89 sn’ dir.

Tablo 9. Önerilen Duruma İlişkin 1. Öncelik Matrisi

	2	3	4	5
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	0	0	0	0
Kod No	0	1	1	1

Oluşan yeni kod numarası dizisine göre 2. atayacağımız iş ögesi, 2 no'lu prosestir. İşlem süresi 24,3 sn' dir.

Tablo 10. Önerilen Duruma İlişkin 2. Öncelik Matrisi

	3	4	5
3	0	1	0
4	0	0	1
5	0	0	0
Kod No	0	1	1

Oluşan yeni kod numarası dizisine göre 3. atayacağımız iş ögesi, 3 no'lu prosestir. İşlem süresi 21,72 sn' dir.

Tablo 11. Önerilen Duruma İlişkin 3. Öncelik Matrisi

	4	5
4	0	1
5	0	0
Kod No	0	1

Oluşan yeni kod numarası dizisine göre 4. atayacağımız iş ögesi, 4 no'lu prosestir. İşlem süresi 23,04 sn' dir ve son olarak atayacağımız 5 no' lu iş ögesinin de işlem süresi 8,28 sn' dir.

Hat ile ilgili bilgiler şu şekildedir;

$$\text{Akış Süresi} = 28,89 + 24,3 + 21,72 + 23,04 + 8,28 = 106,23 \text{ saniye}$$

$$\text{Minimum İş İstasyonu Sayısı} = \frac{\text{Toplam Görev Süresi}}{\text{Çevrim Süresi}} = \frac{106,23}{28,89} = 3,67 = 4 \text{ İş istasyonu}$$

Önerilen duruma ilişkin Hoffman yöntemi ile elde edilen dengeleme sonuçları Tablo 12 de verilmiştir.

Tablo 12. Önerilen Duruma İlişkin Dengeleme Sonuçları

İstasyon	İş ögesi	Süre(sn)	Birikimli Süre(sn)	Boş Süre(sn)
1	1	28,89	28,89	0
2	2	24,3	24,3	4,59
3	3	21,72	21,72	7,17
4	4	23,04	23,04	5,85
5	5	8,28	8,28	20,61

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Toplam Görev Süresi}}{(\text{Gerçek İş İstasyonu Sayısı} * \text{Çevrim Süresi})}$$

$$= [106,23 / (5 * 28,89)] * 100 = \%73,54$$

$$\text{Denge Kaybı} = \frac{[(\text{Gerçek İş İstasyonu Sayısı} * \text{Çevrim Süresi}) - (\text{Toplam Görev Süresi})]}{[(\text{Gerçek İş İstasyonu Sayısı} * \text{Çevrim Süresi})]}$$

$$D(\%) = (n * c - \text{Top t}) / n * c$$

$$\text{Denge Kaybı} = \frac{(5 * 28,89) - 106,23}{5 * 28,89} = \% 26,46$$

Problemin çözümünden elde edilen veriler Tablo 13 de ki mevcut ve önerilen durum karşılaştırması tablosunda verilmiştir.

Tablo 13. Mevcut ve Önerilen Duruma İlişkin Karşılaştırma Sonuçları

Karşılaştırma Kriteri	Mevcut Durum	Önerilen Durum
Proses Sayısı	6	5
Akış Süresi	152,22 sn	106,23 sn
Minimum İş istasyonu Sayısı	4	4
Gerçek İş İstasyonu Sayısı	6	5
Hat Etkinliği	%61,28	%73,54
Denge Kaybı	%38,72	%26,46
Atıl (Boş) Süre	96,18 sn	38,22 sn
Bantta Çalışan İşçi Sayısı	10	9

E. Maliyet Hesapları

Mevcut ve önerilen durum için Standart İş Etüd formundan elde edilen verilere göre hesaplar şu şekilde olacaktır.

E.1. Zaman Kazancı

Mevcut Durum için;

$$\text{Toplam Zaman} = \text{Net Üretim Zamanı} * \text{Dağılım Oranı}$$

$$= 0,690 * 1,080 = 0,7452$$

Önerilen Durum için;

$$\text{Toplam Zaman} = \text{Net Üretim Zamanı} * \text{Dağılım Oranı}$$

$$= 0,4815 * 1,080 = 0,520$$

- 1) Mevcut süre ile yeni süre birbirinden çıkarılır

$$0,7452 - 0,520 = 0,2252$$

$$2) \text{ Bantta çalışan adam sayısı} * 0,2252 \\ = 9 * 0,2252 = 2,0268$$

$$3) 2,0268 * \text{Yıllık Profil Üretim Miktarı} = \\ 2,0268 * 13000 = 26348,4 \text{ dk}$$

$$4) \text{ Adam / Saat'e çevir} \\ = 26348,4 / 60 = 439,14 \text{ adam - saat}$$

$$5) 1 işçinin saatlik ücreti 35 tl$$

$$439,14 * 35 \text{ tl} = \mathbf{15369,9 \text{ tl}} \text{ kazanç var}$$

E.2. Hızlı Yapıştırıcı Görevindeki İşçinin İptal Edilmesinden Dolayı Elde Edilen Kazanç

Mevcut durumda iptal edilen 4 no'lu işin standard İş Etüd Gözlem Formunda süresi 0,439 dk olmaktadır.

$$0,439 * 13000 \text{ profil} = 5707 \text{ dk} \\ 5707 / 60 = 95,11 \text{ adam - saat} \\ 95,11 * 35 \text{ tl} = \mathbf{3329 \text{ tl}} \text{ kazanç var}$$

E.3. Hızlı Yapıştırıcının İptal Edilmesinden Dolayı Elde Edilen Kazanç

13000 adet profilde 6 takım hızlı yapıştırıcı kullanılmaktadır, bu durum iptal edildi. 1 hızlı takım yapıştırıcının fiyatı 8,5 tl' dir.

$$6 * 8,5 \text{ tl} = \mathbf{51 \text{ tl}} \text{ kazanç var}$$

E.4. Gider

Hızlı yapıştırıcının iptal edilmesinden dolayı onun yerine U çivi kullanıldı. 13000 adet profil de 2 kutu U çivi kullanıldı. 1 kutu U çivi fiyatı 2 tl dir.

$$2 * 2 = \mathbf{4 \text{ tl}} \text{ gider var}$$

E.5. Saatlik Üretim Adedi Sayısı

Mevcut Durum için;

$$60 / 0,7452 = 80,51 \text{ adet}$$

Yeni Durum için;

$$60 / 0,520 = 115,38 \text{ adet}$$

Toplam Kazanç = Gelir – Gider

$$(15369,9 \text{ tl} + 3329 \text{ tl} + 51 \text{ tl}) - 4 \text{ tl} = \mathbf{18745,9 \text{ tl}} \\ \text{toplam kazanç var.}$$

IV. TARTIŞMA

Bulgular incelendiğinde montaj hattındaki dengesizlikler hattın verimliliği üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Montaj hattı üzerinde operatör ve prosesler arasında dengeleme işlemleri yapılarak hattın performansı artmakta bu da hem maliyet hem de zaman bakımından büyük kazançlar sağlamaktadır. Bu çalışma ile birlikte günümüzde rekabet ortamının çok fazla hissedildiği bir ortamda işletmelerin üretim hatlarına daha çok önem vermesine ve maliyet etkin bir anlayışa sahip olmalarını sağlayacaktır. Her ne kadar maliyet ve etkinlik ön plana çıksa da montaj hattı dengelenmesi sonucunda ürün kalitesinde ve İSG bakımından da dolaylı olarak katkılar vermektedir. Önceki çalışmalarda her ne kadar Hoffman sezgisel yöntemi kullanılsa da burada önemli olan maliyet ve hat etkinliği kavramları üzerinde aynı anda durması, ürün kalitesinde ve işçi sağlığı üzerinde etkide bulunması bakımından bu çalışma literatüre katkı sağlayacaktır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada mobilya sektöründe yer alan bir firmada geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için sezgisel bir yöntem uygulanmıştır. Uygulanan yöntem Hoffman yöntemidir. Buradaki amaç hat üzerinde proses ve operatör üzerinde çalışmalar yaparak hattın etkinliğini arttırmak ve neticede maliyet ve ürün çıktı miktarlarında oluşan değişimleri görmektir. Dengeleme sonucunda hattın gerçek iş istasyonu sayısı 6' dan 5' e, yine hattın akış zamanı 152,22

saniyeden 106,23 saniyeye düşmüştür. Dengeleme sonucunda yeni hattın etkinliği %73,54 olmuştur. İstasyondaki atıl (boş) sürede 96,18 saniyeden 38,22 saniyeye, hattın denge kaybı miktarı da %38,72 den %26,46 ya düşmüştür. Hatta çalışan operatör sayısında azalma gerçekleşmiş ve maliyet hesaplamalarına katkı sağlamıştır. Saatlik üretim miktarı da 80,51 adetten 115,38 adete çıkmıştır. Önerilen bu durumun sonuçları çalışanlar ve yetkili kişiler ile görüşülmüş ve hemen uygulamaya geçilmiştir. Bulduğumuz bu çözüm işletme içerisinde rahatlıkla uygulanabilecek nitelikte bir yaklaşımdır. Hat üzerinde hızlı yapıştırıcı yerine U çivi kullanılması profillerdeki kaliteyi de olumlu bir şekilde etkilemiştir. Ayrıca hızlı yapıştırıcının iptal edilmesinden dolayı İSG tehdidi de ortadan kalkmıştır. Bu durum elde edilen kazançtan çok daha önemlidir. İleriki çalışmalarda diğer sezgisel yöntemlerden olan Helgeson Birnie ve Moodie Young ile Genetik, Benzetim Tavlama, Tabu Arama gibi algoritmalar kullanılabilir hatta hibrit çalışmalar yapılarak montaj hatları üzerinde uygulamaya alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] A.F Perez, "Adaptation of some Assembly Line Balancing Heuristics to a Mixed-Model Case," Master thesis, Department of Industrial Management, Belgium, June. 2012.
- [2] V.V. Pachghare and R.S. Dalu, "Assembly Line Balancing Methods—A Case Study," International Journal of Science and Research (IJSR), vol. 2, pp. 1901–1905, May. 2014.
- [3] M. Kayar and M.Akalin, "Comparing Heuristic and Simulation Methods Applied to the Apparel Assembly Line Balancing Problem," FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, vol. 24,2(116), pp. 131–137,2016
- [4] E. Erel, I. Sabuncuoğlu, and B. A. Aksu., "Balancing of U-Type, Assembly Systems Using Simulated Annealing," International Journal of Production Research., vol. 39, pp. 3003–3015, 2001.
- [5] N. Acar and S. Estas, *Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları*, 3. Baskı, Ankara, Türkiye: Milli Produktivite Yayınları, 1998.
- [6] A. Scholl, and C. Becker, "State-of-the-Art Exact and Heuristic Solution Procedures for Simple Assembly Line Balancing," *European Journal of Operational Research.*, vol. 168, pp. 666–693, 2006
- [7] G. Suresh, V.V. Vinod, and S. A. Sahu, "Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing," *Production Planning and Control.*, vol. 7, pp. 38–46, 1996.
- [8] M. Tanyaş and M. Baskak, *Üretim Planlama ve Kontrol*, 5. Baskı, İstanbul, Türkiye: İrfan Yayıncılık, 2013.
- [9] M.B. Hıdımoğlu, "Montaj Hattında Kapasite Dengeleme Ve Verimlilik Analizi," Master thesis, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [10] Y. Kuvvetli, "Karma Modelli Montaj Hattı Dengeleme Ve İşgücü Atama Problemi İçin Yeni Bir Yaklaşım," Master thesis, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 2010.
- [11] T. R. Hoffmann, "Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix," *Management Science.*, vol. 9, pp. 551–562, 1963.
- [12] A.E. Biber, "Sezgisel Yöntemler İle Bir Montaj Hattı Probleminin Çözülmesi," Master thesis, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [13] A.Y. Orbak, T.G. Cengiz, İ. Ulusoy, H.K. Akgöz, M. Kiris G. İrice, "Bir Otomotiv Yan Sanayi Firmasında Tek Modelli Ve Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemi," *Endüstri Mühendisliği Dergisi.*, vol. 22, pp. 21–30, March. 2011.
- [14] M. Kayar, and Ö. C. Akyalçın, "Applying Different Heuristic Assembly Line Balancing Methods in the Apparel Industry and their Comparison," FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, vol. 22,6(108), pp. 8–19,2014.
- [15] Y. K. Mumcu, "Application of Heuristic Assembly Line Balancing Methods to Lighting Automation Industry," *European Journal of Technique.*, vol. 12, pp. 204–208, Dec. 2022.
- [16] K. Fleszar, and K. S. Hindi, "An Enumerative Heuristic And Reduction Methods For The Assembly Line Balancing Problem," *European Journal of Operational Research.*, vol. 145, pp. 606–620, Oct. 2003.