

ÖZET

Verimlilik kavramı, oldukça geniş bir kapsama sahip olan ve bir işletmede her türlü alanda karşımıza çıkan bir başarı ölçütüdür. Verimlilik artırmak için izlenen bir yol olan iş analizi, işi kolaylaştırmak ve yapılışı için daha ekonomik yöntemler geliştirme amacı taşıyan metot etütlerinden ve işin ne kadar zamanda yapılacağını belirlemek için yapılan iş ölçümlerinden oluşmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle verimlilik faktörleri, verimlilik artırma yöntemleri, verimliliğin ölçümü ve ölçüm yöntemleri incelenmiştir. İşletmede mevcut çalışma durumu ortaya konarak, verimliliği artırıcı önerilerin sunulması amacıyla iş analizi yapılmıştır. İş akışının kolaylaştırılması amacıyla Metot Etüdü, işin standart süresinin ortaya konması için de Zaman Etütleri yapılmıştır. Elde edilen gözlem sonuçları Cevap Yüzeyi (Response Surface) metodu ile süreçler için matematiksel model oluşturulmasında kullanılmıştır. Matematiksel model de optimum noktalar Genetik Algoritma ile ortaya konmuştur. Çalışmadaki amaç, yapılan gözlemlerin doğruluğu ve işlemler için optimum ölçüm sürelerinin belirlenmesidir.

SUMMARY

Productivity has become a concept of vital importance not only in business, but also in all areas of our lives. Researches in the litterateur fous on productivity factors, methods of increasing productivity, meassuring productivity.

In this study, to make Method and Time study in the company for extracting experiment set to produce productivity. Using Genetic Algoritma and Response Surface methods exploiting the experimental data are utilized to create mathematical models to predict or optimization standart extenion

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince yardımını ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN 'a

Her zaman maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan Nuray SAYILGAN' a

Bugünlere gelmemi sağlayan haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim ANNEM VE BABAMA teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	ix
GİRİŞ	1
1. VERİMLİLİK KAVRAMI	4
1.1. Verimlilik Tanımı	4
1.2. Verimlilik Kavramının Ortaya Çıkışı	6
1.3. Verimliliğin Önemi	6
1.4. Verimlilik Ölçümü ve Önemi	7
1.5. Verimlilik Ölçüm Yöntemleri	9
1.5.1. Çıktının Ölçümü	10
1.5.2. Girdinin Ölçümü	11
1.6. Verimlilik ve Kalite	12
1.7. Verimliliği Arttırma Teknikleri	13
2. İŞ ETÜDÜ	14
2.1. Verimlilik Arttırma Teknikleri	14
2.1.1. İş Etüdü Tanımı	14
2.1.1.1. İş Etüdünün Amaçları	16
2.1.1.2. İş Etüdünün Uygulanmasında Dikkate Alınması	
Gereken Hususlar	18
2.1.1.3. İş Etüdü Aşamaları	19
2.1.2. Metot Etüdü Tanımı ve Kapsamı	20
2.1.2.1. Metot Etüdünün Aşamaları	21
2.1.2.2. Metod Etüdünün Yararları	24
2.1.3. İş Ölçümü Tanımı ve Kapsamı	27
2.1.3.1. İş Ölçümünün Aşamaları	28

2.1.3.2. İş Ölçümü Çalışmalarında Dikkat Edilecek Hususlar	28
2.1.3.3. İş Ölçümü Teknikleri	29
3. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE İŞ ETÜDÜNÜN UYGULANMASI	38
3.1. Genel Bakış	38
3.2. Mevcut Durumun Tespit Edilip İncelenmesi	39
3.3. İş Etüdünün Uygulanması	42
3.4. Yenilenen Durumun Korunması ve Devamının Sağlanması	47
4. MATEMATİKSEL MODEL OLUŞTURMA	49
4.1. Cevap Yüzeyi Metodu (Response Surface Method)	49
4.2. Cevap Yüzeyi Metodunun Uygulanması	51
4.3. Genetik Algoritma	52
4.4. Genetik Algoritmanın Uygulanması	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62
EK1: CEVAP YÜZEYİ METODUNUN MATLAB PROGRAMI	
EK2: GENETİK ALGORİTMA METODUNUN MATLAB PROGRAMI	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Verimlilik Kavramı	5
1.2. Düşük Verimlilik Oranlarının İşletmelere Etkileri	7
1.3 Fiziksel ve Mali ölçüm alanları (Baş,1991)	8
2.1 İş etüdünün şematik bir açıklaması	20
2.2 Metot etüdünün Yöntemi	26
2.3 Standart Zaman Hesaplanması	29
3.1. İş Akışı	40
3.2. Malzeme ve Çalışanlara göre kesimhanenin düzenini, tesisat ve donanımını gösteren yer krokisi	41
3.3. Kullanılan zaman etüdü formu	42

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yeni operasyonlar ve standart süreler	48
3.2. Verim hesaplamasında kullanılacak formülasyonlar	48
4.1. Tasarım Seçim Tablosu	50
5.1. Kumaş topunun bulunduğu alandan pastal serim makinesine taşınması	55
5.2. Pastal çizimi Üzerinde olan kumaş parçaların kesim işlemi	56
5.3. Pastal makinesinde kumaş atım işlemi	56

GİRİŞ

Verimlilik, belirli kaynaklarla en çok üretimi sağlamak yada belirli üretim miktarını en az kaynakla gerçekleştirebilmektir. Üretimi arttırmak için iki yol düşünülebilir. Birincisi; üretime katılan üretim kaynaklarını artırırken, ikincisi bu kaynakların verimliliğini artırmaktır. Sanayi devrimi ile birlikte üretim kavramının şekil değiştirmesi, küçük çaplı üretimden kitlesel üretime geçilmesi; işletmelerde yapılacak işlerin belirli standartlara uygun olarak yapılmasını, verimlilik açısından ön plana çıkarmıştır. Yapılacak işler için uygun standartların belirlenmesi ise, çalışanların da bu standartlara uygun olarak seçilmesini ve eğitilmesini gerektirmiştir.

Tarih boyunca bir takım araştırmacılar, iş standartlarının ve çalışanlarda bulunması gereken niteliklerin belirlemesinin ve işletmelerde verimliliği arttırmanın yollarını aramış, bu konuda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar; işletme yönetiminde kimi zaman vasat bir konu olarak görülmüş ve bu yüzden çok fazla dikkate alınmamıştır. Bunun nedeni ise; yönetim yaklaşımlarında ortaya çıkan değişimler ve bu değişimlerin "iş" kavramına bakış açılarının farklı olması ile açıklanabilir. Çağdaş yönetim yaklaşımlarının ortaya çıkması ile, daha önceleri üretim odaklı bir sistemle çalışan işletmelerin, insan odaklı olarak çalışmaya başlamaları sonucunda; müşteri ve çalışanların ihtiyaç ve isteklerinin tatmin edilmesini zorunlu hale getirmiştir. Günümüzde, gelişen teknolojik olanaklar ile birlikte rekabetin artması işletmelerin özellikle müşteri istek ve ihtiyaçlarını belirlemelerini ve bunlara göre üretim anlayışlarını değiştirmeleri, varolabilmeleri ve örgütsel hedeflerini gerçekleştirmeleri için gerekli koşullardan biri haline gelmiştir. Gelişen ve değişen dünyada müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin değişmesi de kaçınılmazdır. Bu nedenle işletmeler de sürekli bir değişim ihtiyacı içindedirler. Değişebilmek ve artan rekabet içinde varlıklarını sürdürebilmek için; işletmelerin öncelikle kendilerini ve sahip oldukları kaynakları tanımlamaları, bu kaynakları geliştirebilmek için yapmaları gereken işleri belirlemeleri gerekmektedir. İş analizi kavramı; işletmedeki değişim ihtiyacını belirlemenin ve bu değişimi sağlamanın bir aracı olarak ortaya çıkmıştır.

Günümüzde kalkınmak isteyen her ülkenin hedefi, öncelikle elindeki kıt kaynaklardan en yüksek verimliliği sağlamak olmalıdır. Bu hedefe, üretime katılan çeşitli öğelerin işbirliği ile ulaşılabilir: İşçinin gayretini artırması, işverenin sermayesini üretken yatırımlara, modern makine ve donanıma yatırması, organizasyonunu geliştirmesi, devletin ekonomik alanda gerekli önlemleri alması, kamu kuruluşlarının çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla yol göstericilik yapmaları, kısacası üretim sürecinin çeşitli basamaklarında görev yapan her bireyin kendi çapında verimlilik artışına katkıda bulunması gerekir.

Bu çalışmada, iş etüdünün verimlilik üzerine etkisinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Ek sermaye, yatırım yapmadan makine – insan uyumunu dikkate alıp, çalışanları daha fazla özendirmek ve uygun düzenlemelerle de verimliliğin artacağı öngörülen bir doğrudur. Ancak bu verimlilik artışının derecesi ve anlamlılığı denenerek görülebilecektir. Emek yoğun iş kollarından biri olan tekstil sektöründe iş etüdü yapılarak, gözlem sonuçlarının matematiksel metottan yararlanılarak doğruluğunun tespit edilmesi ve modelin standardizasyonuna gidilmiştir.

Çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, verimlilik kavramı ve yapısal özellikleri üzerinde durulmakta, üretim sistemlerinde verimliliği etkileyen faktörler ve diğer kavramlarla olan etkileşimleri incelenmektedir.

İkinci bölümde verimlilik artırma modelleri anlatılarak bu çalışmanın temelini oluşturan iş etüdü modeli irdelenmektedir. Bu doğrultuda iş etüdünün tanımı, amaçları, özellikleri anlatılarak, diğer modellerle karşılaştırılmaktadır.

Üçüncü bölüm; iş etüdü çalışmasının verimliliğin büyük oranda işgücüne bağlı olduğu tekstil sektöründe uygulanmasıyla oluşmaktadır. Uygulamada öncelikle, firmanın mevcut durumu ortaya koyulduktan sonra, iş etüdü çalışmasının aşamaları gözlenmektedir.

Dördüncü bölüm; matematiksel yöntemler ile ilgili bilgiler verilmiştir. Program girişlerinin yapılışı anlatılmıştır.

Son bölümde ise; uygulanan iş etüdü çalışmalarından sonra gelinen durum irdelenmektedir. İrdeleme sonucu; firmanın başlangıç durumuyla, ulaşılan durum karşılaştırılmaktadır. Matematiksel model sonucu elde edilen sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

1. VERİMLİLİK KAVRAMI

1.1.Verimlilik Tanımı

Dilimize verimlilik olarak tercüme edilen bu kavram ingilizcedeki “to produce” (üretmek), Fransızcadaki “produire” fiillerinin türevi olarak “productivity” ve “productivité” şeklinde kullanılmaktadır. Üretkenliğe elverişli özellikler taşıma anlamındadır. 1950 yılında yapılan Avrupa Ekonomik İşbirliği Örgütü’nün (O.E.C.E.) M.Jean Fourastie başkanlığındaki komite çalışması sonucu verimlilik (prodüktivite) kavramının tanımı; hasılanın, üretim faktörlerinden hammadde, emek, makine v.s. herhangi birine oranı olarak yapılmıştır.

Verimlilik kavramı üzerine çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır;

-Verimlilik genel olarak üretim süreci sonunda elde edilenlerle bu sonucu elde etmek için üretim sürecine alınanlar bir başka deyişle çıktılarla girdiler arasındaki bir katsayı, bir orandır. Çıktılarla girdiler arasındaki oranın fiziksel yada parasal ifade edilişidir.¹

-Verimlilik doğru olan işleri, doğru bir biçimde ve ekonomik bir çalışmayla gerçekleştirmeyi hedefleyen akılcı bir yaşam biçimidir.(Japon Verimlilik Merkezi’nin benimsemiş olduğu tanımdır.)²

Üretim tipi, politik yada ekonomik sistem ne olursa olsun, verimlilik tanımı değişmez. Bu nedenle, verimlilik farklı kişiler için farklı anlamlara gelse de temel kavram daima, üretilen mal ve hizmetlerin miktar ve kalitesi ile bunları üretmek için kullanılan kaynaklar arasındaki ilişkiler olarak kalır.³

Verimlilik, nitel ve nicel boyutlarının yanı sıra bir yaşam felsefesi olma özelliğine de sahiptir. Bu bağlamda, verimlilik konusunun hayli ciddi bir biçimde ele

¹ Perihan Usta , “Verimlilik, Verimlilik Artırıcı Teknikler , Verimlilik Artırıcı Tekniklerin Daha Yaygın Kullanılması İçin Tedbirler”, Akçimentosa aylık iletişim dergisi, Sayı 9, Eylül 1996, s.28.

² Zuhal Akal, İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi , M.P.M Yay.473, Ankara, 1992, s.24

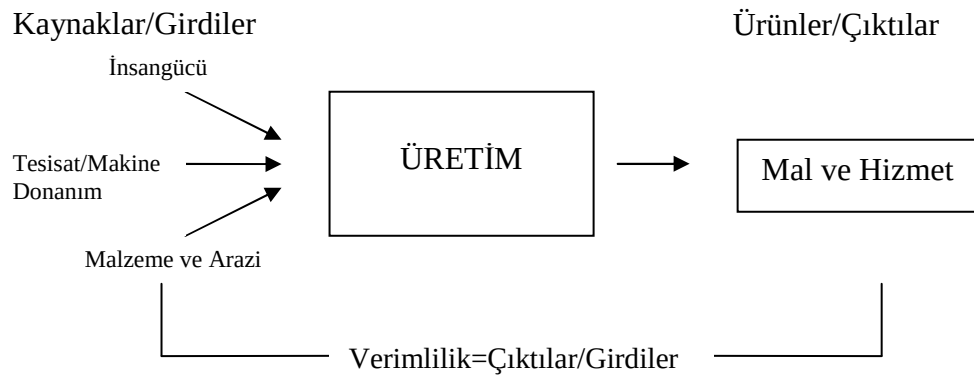
³ Prokopenko, J., **Verimlilik Yönetimi**, (çev., Baykal, O., Atalay, N. ve Fidan, E.), MPM Yayınları, Yayın No: 476, Ankara, 1992, s.3.

alındığı Japonya’da “Toplam Sosyal Verimlilik” kavramından bahsedilmektedir. Burada karlılık ve sosyal sorumluluk kavramlarıyla bütünleşerek toplumsal davranışın ortak karakterini belirlemesi biçiminde bir yaklaşımdan söz edilmektedir.

4

-Verimlilik her şeyden önce zihinsel bir tutumdur. Bu, ilerlemenin ve sürekli kalkınmanın mantalitesidir. Ekonomik ve sosyal hayatın değişen şartlara sürekli olarak uydurulmasıdır, yeni teknik ve yöntemlerin uygulanmasında gösterilen sürekli çabalar, insanoğlunun ilerlemesine olan inançtır.⁵

Geniş anlamda verimlilik, belirli bir dönemde tamamlanan ürün veya hizmetler (çıktılar) ile onları elde etmek için aynı dönemde kullanılan kaynaklar (girdiler) arasındaki ilişkiyi ifade eder.



Şekil 1.1 Verimlilik Kavramı

Kaynak: Tanyaş, M., **Endüstri Mühendisliğine Giriş**, İrfan Yay., İstanbul, 2000, s.31.

⁴ Baş, İ. M. ve Artar, A., **İşletmelerde Verimlilik Denetimi**, MPM Yayınları, No: 435, 1991, s.46.

⁵ Serpil Özdamar, “Endüstriyel İlişkiler ve Verimliliğin Önemi”, Türkiye’de Endüstriyel ilişkiler ve Verimlilik Semineri notları, M.P.M Yay. 376 ,Ankara,1988, s.111

1.2.Verimlilik Kavramının Ortaya Çıkışı

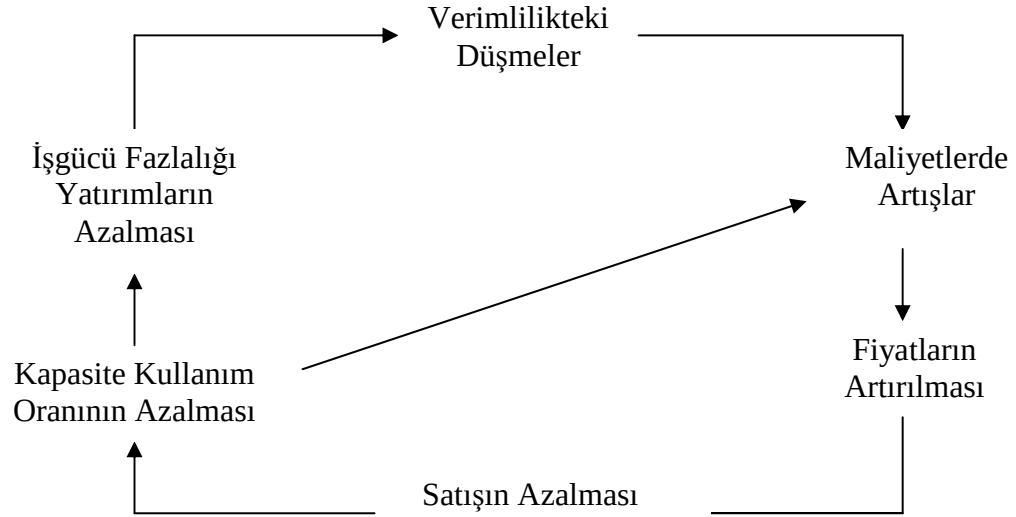
Verimlilik kavramının ilk ortaya çıkışı, 19. yüzyıl başında Frederick W. Taylor ‘un çalışma dönemine rastlamaktadır. İlk önceleri üretim miktarı artırımının işçinin daha uzun çalışma saatine bağlı olduğuna inanılırdı. Taylor sanayide sürekli gözlem ve analiz yaparak, işin yapılış tarzının değişimiyle üretim miktarının artabileceği tezini savunmuştur. Taylorizm verimliliğe, “ İş nasıl daha iyi yapılır ?” açısından bakmıştır. İşin daha kolay,daha etkin ve verimli yapılabilmesi için yeni iş metotları (Metot Etüdü), işlerin işlem sürelerini belirlenmesine yönelik Zaman Etüdü, iş bölümü, işçilerin yapacakları işe göre seçimi ve eğitimi, işçi-işveren ilişkileri (Endüstriyel İlişkiler) Taylorizm anlayışının ürünü olarak ortaya çıkmıştır.

İkinci dünya savaşı süresi ve sonrasında metot etüdü, zaman etüdü, iş basitleştirme, iş değerlendirme , işyeri ve malzemenin daha etkin kullanılması gibi verimlilik kavramını ortaya çıkaran konular üzerine gelişme kaydedilmiştir. 1970 ‘li yılların başında verimlilik kavramında önemli değişiklikler yaşanmaya başlanmıştır. Taylorizm verimlilik anlayışı maliyetlerin aşağı çekilmesi çalışmalarıyla geliştirilmiştir. Ancak dünya genelinde yaşanan değişimler sadece maliyetleri azaltarak verimlilik artışı sağlamanın yeterli olmadığını ortaya çıkardı. Organizasyonel etkinlik ve verimlilik faktörlerinin bir arada ele alınmasıyla, İngilizce ‘de “ productivity ” olan yeni bir kavramın doğmasına yol açtı. Verimlilik kavramı değişirken verimliliğe ulaşmak için kullanılan teknikler, yöntemler de değişmektedir.

1.3. Verimliliğin Önemi

Verimliliğe gereken önemin verilmemesi ve onun bir yaşam felsefesi olarak kabul edilmemesi işletmeler için önemli ve olumsuz sonuçlar doğurur. Şekil 1.2 ‘de verimlilikte yaşanan olumsuzlukların işletmeleri ne şekilde etkilediği şematize edilmiştir. Bu olumsuz çemberi kırmanın yolu öncelikle çalışanların verimlilik

bilincinin artırılması, işçi sendikası ve yönetim arasında verimliliğin önemi ve artırılması konusunda tam bir uzlaşmaya gidilmesidir.⁶



Şekil 1.2. Düşük Verimlilik Oranlarının İşletmelere Etkileri
Kaynak: Tanyaş, M., Endüstri Mühendisliğine Giriş, İrfan Yay., İstanbul, 2000, s.32.

1.4.Verimlilik Ölçümü ve Önemi

Verimliliğin ölçülmesi, iş akışlarının kritik noktalarında girdi ve çıktı miktarlarının belirlenmesidir. Verimlilik ölçmede ana amaç; üretim faktörlerinin ürünün bünyesinde hangi oranlarda yer almış olduğunu tespit etmektir. İşletme iç ve dış pazarlarda rekabet edebilmek için, verimliliğini düzenli olarak ölçmelidir çünkü ölçülmeyen bir büyüklüğün artıp artmadığı da bilinemez.

Bir işletme yapılan bir değişikliğin anlam taşıyıp taşımadığını görebilmek içinde verimlilik değişmelerine bakmak, söz konusu göstergeleri ve onunla ilgili öteki göstergeleri ölçmek durumundadır.

Verimlilik ölçümünde dikkat edilecek unsurlar;

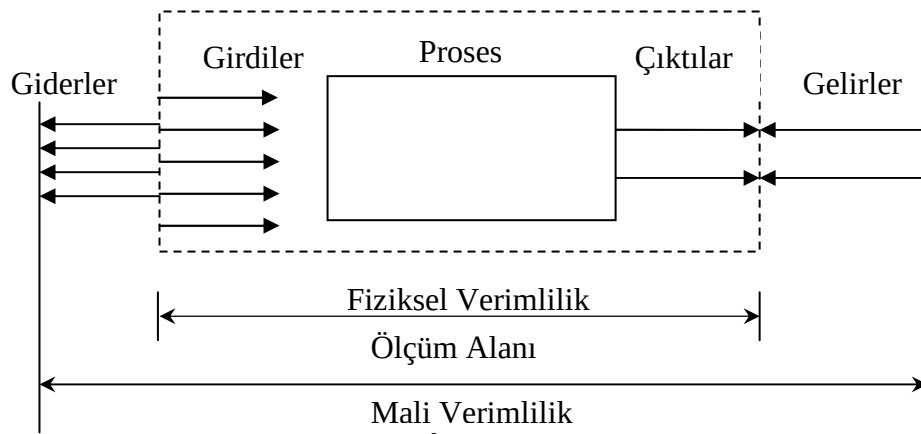
⁶ Tanyaş, M., Endüstri Mühendisliğine Giriş, İrfan Yayınları, İstanbul, 2000, s.32.

- a) Girdi ve çıktı miktarlarının, verilerin, elde edilmesi sisteminin oluşturulması,
- b) Elde edilen verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğinin tespiti,
- c) Verinin, verimliliğin doğru şekilde ölçülmesine yönelik olarak zamanında toplanması,
- d) Verim ölçümünde kullanılacak olan verilerin oluşturma sürecinin maliyetinin amacını aşmamasına önem gösterilmelidir.

Verimliliğin ölçülme nedenleri :

- 1) Üretimdeki gerçek gelişmenin sağlanması; üretimde kullanılan kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlar.
- 2) Artan rekabet ortamında işletme gücünün artırılması; işletmenin genel performansını ortaya koymasın ve benzeri işletmelerle karşılaştırmasını sağlar.
- 3) Ücretlendirme sisteminde performans değerlendirmenin gerçekleştirilmesi; çalışma yapısının adaletli bir ücretlendirme sistemiyle düzenlenmesini sağlar.

Verimlilik ölçümünde kullanılan oranlar; fiziksel ve mali verimlilik oranları olarak iki ana başlık altında toplayabiliriz. Verimlilik, fiziksel (adet, ağırlık, süre vb.) ve mali (finansal) değerler ile ölçülebilir. Fiziksel ve mali verimlilik ölçüm alanları Şekil 1.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Fiziksel ve Mali ölçüm alanları (Baş, 1991)

1.5. Verimlilik Ölçüm Yöntemleri

Verimlilik, daha önce de yapılan tanımlamalardan da anlaşılacağı üzere en genel anlamda üretim faaliyeti sonucu elde edilen çıktının girdiye bölünmesiyle bulunan bir katsayıdır. Başka bir ifade ile, üretimin üretim faktörleriyle ilişkilendirilmesi sonucu ortaya çıkan bir değerdir.

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{Çıktılar}}{\text{Girdiler}} = \frac{\ddot{U}}{\dot{I} + Y + H.M + \dot{C}.H}$$

$\ddot{U}$ = Belirli bir devrede elde edilen üretim miktarı,

$\dot{I}$ = İşgücü,

Y = Yatırımlar,

$H.M$ = Hammaddeler,

$\dot{C}.H$ = Çeşitli hizmetlerdir. (İşletme dışından elde edilen elektrik, su vb. hizmetler).

Verimlilik formülünde paydadaki değerlerin sabit kabul edilerek en yüksek çıktı miktarlarının elde edilmesi *verimliliğin maksimizasyonu* olarak adlandırılır. Paydadaki değerler sabit kabul edilerek bu çıktıların en az girdi miktarları ise gerçekleştirilmesine de *verimliliğin minimizasyonu* adı verilmektedir. Verimliliğin söz konusu olabilmesi için pay ve paydadaki değişkenlerin artış veya azalış göstermesi gerekmektedir. Bu durumda paydaki artışın paydadaki artıştan daha büyük olması verimliliğin arttığı sonucunu vermektedir. Pay ve payda daki azalmalarda verimliliğin hesaplanmasında dikkate alınmaktadır. Ancak, paydaki azalmanın paydadaki azalmadan daha büyük olması halinde verimlilik ölçümü söz konusu olabilmektedir.

Bazı faktörler için ele alınan verimlilik formülleri şöyledir:

Hammadde verimliliği:

$$V_1 = \frac{\text{Üretilen Mamul veya Hizmetlerin Toplamı(adet)}}{\text{İşlenen Hammaddelerin Miktarı(kg)}}$$

İşgücü verimliliği:

$$V_2 = \frac{\text{Belli Bir Bölümde Üretilen Mamul veya Hizmetlerin Toplamı}(a \text{ det})}{\text{İşlenen İşgücü Saatlerinin Miktarı} (adam - saat)}$$

Makine verimliliği:

$$V_3 = \frac{\text{Belli Bir Makinede Üretilen Mamul veya Hizmetlerin Toplamı}(kg)}{\text{Harcanan Makine Saatlerinin Miktarı}(tezgah - saat)}$$

1.5.1. Çıktının Ölçümü

İşletme birden fazla mamul ürettiyorsa, yapacağı verimlilik ölçümü daha kompleks olacaktır. Öncelikle oluşan çıktıların hangi kritere göre ölçüleceğine karar vermek gerekir. Departmanların kısmi verimliliği ölçülmek isteniyorsa her departmana göre girdi (input) ve çıktı (output) ölçümü yapmak kolaydır. Ancak mamul haline gelmiş nihai çıktının ölçümü biraz daha komplekstir. Çıktının ölçülmesi iki şekilde incelenecektir :

1. Fiziksel Ölçüm

İşletmelerde çıktının ölçülmesinde en etkin yol fiziksel ölçümdür. Çıktı fiziksel olarak ölçüldüğünde oluşan fiziksel verimlilik formülü de şu şekilde olacaktır :

$$\text{Verim} = \frac{\text{Üretim Miktarı (kg. , m. , cm. , ton vs.)}}{\text{Girdi Miktarı (fiziksel)}}$$

2. Parasal Olarak Ölçüm

Üretimin parasal olarak ölçülmesi dönemler arası fiyat değişiklikleri etkilerini de içerir.

Belli başlı faktörlere göre ölçümler de şöyledir :

- Üretimin Satış Fiyatına Göre Ölçülmesi

Önce her mamulün üretim miktarı ve satış fiyatı bulunarak, (Her mamul için fiyat) x (Üretim miktarı) = (Satış geliri) hesaplanır. Satış geliri üretim miktarına bölünerek her bir üretim için sağlanan satış geliri bulunur.

- Üretimin Normal Maliyetlere Göre Ölçülmesi

Çıktının parasal olarak ölçülmesinde maliyetler de bir kriter olarak kullanılır. Bunun için seçilen, normal maliyet türüdür ve böylece işletme dışı etkenler ortadan kaldırılmış olur.

1.5.2. Girdinin Ölçümü

Bir mamul üretiminde kullanılan girdiler emek, sermaye, hammadde, enerji, ve bazı yan hizmetlerden oluşur. Burada emek, sermaye, hammadde ve enerji faktörlerinin ölçülmesinden söz edilecektir.

1. Emek Girdisinin Ölçümü

Emek faktörünün ölçülmesinde çalışılan saat sayısı, çalışan işçi sayısı yada çalışma günü sayısı kriter olarak kullanılabilir. Üretimde kullanılan işçilik saatleri dikkate alınırken resmi tatil, haftasonu tatilleri, bayramlar ve izin alınan saatler ölçüme dahil edilmemelidir

2. Sermaye Girdisinin Ölçümü

İşletmenin sabit sermayesini oluşturan girdi faktörlerinin ölçülmesi üzerinde durulacaktır. Bunlar da bina, arazi, makine ve teçhizattan oluşur. Bu faktörlerin fiziksel olarak ölçülmesi mümkün olmadığından maddi olarak ölçülür.

3. Hammadde ve Enerji Girdisinin Ölçümü

Hammadde ve enerjinin ölçülmesinde de bir takım zorluklarla karşılaşılır. Ürünün bünyesine giren hammadde ve enerjinin homojenlik göstermesi istenir.

1.6. Verimlilik ve Kalite

Çağımızın ön plana çıkan sözcüğü “Rekabet Gücü”dür. Rekabet kavramının bu denli önem kazanmasının temel nedeni, uluslar arası ilişkilerin hızla gelişmesi ve ticaretin sınır tanımayan boyutlara ulaşmasıdır. Rekabet gücünü belirleyen parametreleri iki temel faktörde toplayabiliriz: Kalite ve verimlilik. Yakın zamana kadar bu iki kavramın farklı şeyler olduğu, hatta birbirleri ile çeliştiği düşünülürdü. Günümüzde dahi yöneticilerin şu ifadelerine sık sık tanık olabiliriz. “Kaliteyi yükseltiriz ama, müşteri bedelini öder mi?” Başka bir deyişle, bu yönetici, kaliteyi yükseltmenin maliyetleri de arttıracığını söylemektedir. Bundan büyük bir yanılgı olamaz.⁷

Gerçekte ise durum tam tersinedir. Kaliteye öncelik verilmeyen bir işletmede maliyetler düşük değil, yüksektir. Çünkü masrafların bir kısmı belli bir üretimi gerçekleştirmeye, diğer bir kısmı ise israfa gitmektedir. Kaliteye öncelik vermenin maliyetleri gerçekten düşürmesine rağmen, birçok sanayici ve işadamı bunun tersine bir kanıya sahiptirler. Çünkü mevcut yöntem ve koşullanmalarla kaliteyi yükseltmeye çalışmak hakikaten maliyetleri artırır. Eğer kalite-maliyet ilişkisi, tersine çevrilmek isteniyorsa, sistemi mutlaka değiştirmek gerekir.

Sonuç olarak; kalite ve verimlilik aslında iç içe ve birbirini tamamlayan kavramlardır. Doğru biçimde ele alınan ve yürütülen bir toplam kalite yönetimi sistemi sayesinde kaliteyi yükseltirken verimliliği de artırmak ve maliyetleri düşürmek mümkündür. Bu yönetim modelinin mevcut (Taylor) modeline üstünlükleri günümüzde artık yeterince kanıtlanmış bulunmaktadır. Rekabet gücünü artırmak için, toplam kalite yönetimini benimsemek bugün neredeyse bir zorunluluk haline gelmektedir.⁸

1.7. Verimliliği Arttırma Teknikleri

⁷ Kavrakoglu, İ., **Kalite ve Verimlilik**, Verimlilik Dergisi, Özel Sayısı, Ankara, 1990, s.113.

⁸ Kavrakoglu, İ., A.g.e., s.119.

Verimlilik artırma teknikleri çoğunlukla bilgi toplama ve iş etkinliğini artırma amacına yöneliktir. Kullanılan teknikler ikiye ayrılır:⁹

- ❖ Teknik yaklaşım – mühendislik teknikleri ve ekonomik analiz,
- ❖ İnsan açısından yaklaşım – davranışsal yöntemler.

Endüstri Mühendisliği Teknikleri ve Ekonomik Analizler :

- ❖ İş etüdü
- ❖ Metod etüdü
- ❖ İş ölçümü
- ❖ İş basitleştirme
- ❖ Pareto analizi
- ❖ Tam zamanında üretim yönetimi
- ❖ Değer analizi ile yönetim
- ❖ Fayda – maliyet analizi
- ❖ Sıfır tabanlı bütçe
- ❖ Maliyet – verimlilik tahsisi

Davranışsal Teknikler :

- ❖ Örgüt geliştirme
- ❖ Beyin fırtınası
- ❖ Güç – alanı analizi
- ❖ Nominal gruplama tekniği

Bu tez çalışmasının uygulama alanını oluşturan tekstil sektörü büyük oranda emeğe dayalıdır. Verimlilik artırma konusunda da bahsettiğim üzere işgücü verimliliğinin artırılması iş etüdü çalışması ile mümkündür. Bu bağlamda; çalışmanın çatısını, bu yöntemlerden endüstri mühendisliği tekniği olan iş etüdü yöntemi oluşturacaktır. Bir sonraki bölümde; iş etüdünün tanımı, teknikleri, diğer yöntemlere olan üstünlükleri irdelenecektir.

2. İŞ ETÜDÜ

⁹ Baykal, O., Atalay, N., Fidan, F., **Verimlilik Yönetimi El Kitabı**, MPM Yayınları, No: 476, Ankara, 1995, s.149.

2.1. Verimlilik Artırma Teknikleri

Bir işletmenin verimliliğini artırmak için çok çeşitli tekniklerden yararlanılabilir. Yöntemlerden hangilerinin seçileceği birçok faktöre bağlıdır : İşletmenin uğraşları, sanayi kolu, pazar yapısı, işletmenin zayıf ve kuvvetli yönleri, işletmenin istihdam yapısı, verimlilik artırıcı yöntem için öngörülen süre ve maddi kaynaklar, vb. Verimlilik artırmak için kullanılan teknik yaklaşım yolu ile verimlilik artırma yöntemine iş etüdü denir.

2.1.1. İş Etüdü Tanımı

İnsanoğlu varoluşundan itibaren varlığını sürdürebilmesi için gerekli olan işleri nasıl daha kısa sürede yapabileceğinin arayışı içinde olmuştur. Tarihsel süreç içerisinde bilim ve tekniğin gelişmesiyle bu arayışlar sistematik hale dönüşmüştür. Özellikle sanayi devrimiyle birlikte “iş sistemlerinin incelenmesi ve düzenlenmesine ilişkin yöntem ve deneyimlerin, çalışan kişinin iş yapabilme gücünü ve gereksinimlerini de göz önünde tutarak, işin iyileştirilmesi ve işletmenin daha ekonomik çalışmasını sağlamak amacıyla uygulanması olarak tanımlanan ve disiplinler arası bir bilgi alanı olan iş etüdü kavramı doğmuş ve uygulamaya konulmuştur.

İnsan çalışmasını kolaylaştırma ve iyileştirme çabaları olarak ele alınacak olursa, iş etüdünün tarihi insanoğlunun varoluşuna kadar gerilere gitmektedir. Örneğin, insan ilk çağlarda avladığı hayvanları sırtında taşıırken, daha sonraları avlarını bir dal üzerine koyup sürükleyerek taşımının daha kolay olduğunu ve bir defada daha çok avladığı hayvanı taşıyabileceğini fark etmiştir. Bununla da yetinmeyen insan, günümüzden yaklaşık 7000 yıl önce tekerleği keşfetmiştir. Bu gibi çabalar ve keşifler iş etüdünün temel felsefesini oluşturmuştur. İlk iş etüdü çalışmaları milattan önceye kadar uzanmaktadır. Örneğin, Babil Kralı Hammurabi’nin çalışma süresi ve taban ücrete dayanan ücret listeleri hazırlaması ve Çin seddi inşaatı çalışmalarında çalışanların performans verilerini gösteren hesap

çubukları kullanmasının bugünkü anlamda basit ilk iş etüdü uygulamaları olduğu bilinmektedir.

Ancak bilinçli ve sistematik olarak iş etüdü çalışmaları ilk defa 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmıştır. Bu dönemde, özellikle Taylor, Gilbreth, Fayol ve Bedaux iş etüdünün kurucuları olarak kabul edilmektedir.¹⁰

İş etüdü, sürekli olarak ve her teknolojik düzeyde, mevcut işlemlerin, süreçlerin ve yöntemlerin etkenliğini artırmak amacıyla kullanılan en önemli tekniklerden birisidir. İş etüdü, iş sistemlerinin incelenmesi ve düzenlenmesi ilişkin yöntem ve deneyimlerin, çalışan kişinin iş yapabilme gücünü ve gereksinimlerini de göz önünde tutarak, işin iyileştirilmesi ve işletmenin daha ekonomik çalışmasını sağlamak amacıyla uygulandı. Mevcut kaynaklardan sağlanacak üretimi, fazla bir yatırım gerektirmeksizin artırmak amacıyla kullanılır.

İngiliz standartlar Sözlüğü tarafından yapılan tanımlamada : İş Etüdü, gelişme olanağı yaratabilmek amacıyla, belirli bir olayı yada etkinliği ekonomiklik ve etkenlik yönünden etkileyen tüm kaynakları ve etmenleri dizgesel olarak araştırmaya yönelik ve insan çalışmasını geniş kapsamda inceleyen bir teknik olup özellikle metot (yöntem) etüdü ve iş ölçümü teknikleri için kullanılan genel bir terimdir.

Uluslar arası çalışma örgütü (ILO: International Labour Organization) iş etüdünü, tanımlanmış bir faaliyetin gerçekleşmesi için gerekli insan ve malzeme kaynaklarının en uygun kullanımını sağlamaya yönelik, metot etüdü ve iş ölçümü tekniklerinin oluşturduğu bir terimdir şeklinde tanımlamaktadır. (Wild, sh: 127).

İş etüdü tekniğinin özellikleri :

➤ İş etüdü, mevcut kaynaklardan faydalanarak işi yeniden düzenler ve bu yolla verimliliğini artırır.(Yatırım çok az veya hiç gerektirmez.)

¹⁰ Öncer, M., Özkanlı, Ö., **Ülkemiz İşletmelerinde İş Etüdü Tekniklerinin Uygulanma Düzeyi**, MPM Yayınları, No:576, Ankara, 1996, s.1.

- İş etüdü sistematiktir. Etüt edilen işlemi etkileyen faktörlerden hiç birinin göz ardı edilmemesini ve işlemle ilgili tüm olayların göz önünde tutulmasını sağlar.
- Etken bir üretim planlama ve kontrolü için temel sayılan zaman standartlarının saptanmasında bugüne kadar geliştirilmiş en doğru yoldur.
- Başarılı iş etüdü uygulamaları sonucunda artırımlar hemen kendini gösterir.(malzeme, zaman, çaba, insan yeteneklerinden tasarruf sağlanır.)
- Yönetimin elinde etken bir inceleme aracıdır. İş sistemi incelenirken, etkileyen tüm faktörler göz önüne alındığından yanlış ve kusurlu taraflar rahatça görülebilir.

Bir işin belirli ve o anda var olan koşullar altında en iyi şekilde yapılmasını sağlayan bir tek yöntem vardır ve bu yöntem bilimsel bir yaklaşımla saptanabilir.

2.1.1.1. İş Etüdünün Amaçları

Mal veya hizmet üreten tüm üretim sistemlerinde iş etüdünün kullanılmasının nihai amacı, verimliliği artırmaktır. Bu sonuca ulaşılması için birtakım alt amaçların gerçekleştirilmesi gereklidir.¹¹ Bu amaçlar gerçekleştirilmeye çalışılırken uyulması gereken temel varsayımlardan biri de işlerin tanımlı fonksiyonlarından herhangi bir kayba izin verilmemesi gereğidir. Böylece, tanımlanmış bir iş ile ilgili faaliyetler, bu işin yapılmasından beklenen fonksiyonlar dikkate alınarak değerlendirilirler. Söz konusu amaçlar bu görüşler ışığında aşağıdaki gibi ele alınabilirler:

i. Gereksiz faaliyetlerden kurtulmak:

Üretimde iş etüdü çalışmasının kullanılmasıyla elde edilmesi beklenen somut sonuçlardan birini oluşturur. Amacın temel felsefesi, bir işi yapmanın en iyi yolunun onu, en az hareketle gerçekleştirme prensibi olarak ifade edilebilir. Burada elimine edilmeye çalışılan faaliyetler, genel olarak emek ile ilgili olanlardır. Böyle bir eliminasyon ise işgücü maliyetlerinde azalmaya neden olacak ve ürünlerin rekabet gücünü artıracaktır.

¹¹ Kuruüzüm, O., **Verimliliği Artırmada İş Etüdü Teori ve Uygulamaları**, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1992, s.31.

Tanımlanmış bir işin yapılışında, gereksiz faaliyetlerden kurtulmak genel olarak üretim miktarını artırırken dolaylı olarak da mekanizasyona ve otomasyona geçişi kolaylaştıracaktır.

ii. Gerekli faaliyetleri mümkün olan en ekonomik şekilde düzenlemek:

Bu amaç ile ilgili bazı özellikleri incelemeden önce iş etüdünün bir varsayımından daha bahsetmekte fayda vardır; bir işin yapılış biçiminin(yönteminin) hiçbir zaman optimal bir çözümü yoktur. Her zaman daha iyi bir yöntem bulunabilir. Zaten bu varsayımın otürü iş etüdü çalışması dinamik bir yapıya sahiptir. Burada önemli olan, bir işin yapılışı ile ilgili olarak daha iyi bir yöntemin araştırılmasına gerek yada ihtiyaç var mıdır? sorusuna verilecek cevaptır. Mevcut koşullar altında bir işin yapılış biçimini en ekonomik şekilde yeniden düzenlemek, her şeyden önce kalifiye işgücünden daha iyi yararlanmayı hedefler.

iii. Uygun çalışma yöntemlerini standartlaştırmak:

Bu amaçla gerçekleştirilmeye çalışılan, uygun olduğuna karar verilen yöntemin tanımlanması ve standartlaştırılmasıdır. Tanımlamaktan amaç, işin yapılış biçimini formal olarak belgelemektir. Standartlaştırmada ise işin yapılış biçimi, kişiye ve zamana bağlı olmaksızın hep aynı hareketle sağlanmaya çalışılır. Bunun için genellikle iş, ayrıntılı biçimde tanımlanabilecek parçalarına(faaliyetlere ve daha alt düzeyde hareketlere) ayrılır.

iv. İş ile ilgili doğru zaman standartlarını saptamak:

İş etüdünün nihai amacı olan verimliliği artırmanın analitik ifadesi, bu amacın gerçekleştirilmesi ile sağlanır. İşe uygun nitelik taşıyan işçinin belirli bir faaliyeti normal hızda ne kadar standart zamanda yapabileceği tespit edilmekle ilgilidir. Sistemdeki faaliyetlerin zaman standartlarının hesaplanmasıyla planlama, programlama, maliyetlerin tahmini, işçi ücretlerinin kontrolü ve teşvikli ücret sistemlerinin oluşturulmasına yönelik çalışmalar için temel girdi bilgilerden biri elde edilmiş olur.

v. Üretimde kullanılan faktörlerden yararlanma oranını artırmak:

Verimlilik artışının temel göstergelerinden biridir. İş Etüdü çalışmaları sonucunda, başta emek olmak üzere diğer üretim faktörlerini de kapsayacak şekilde yararlanma oranı artar. Bu artış, aynı çıktıyı daha az faktör ile elde etmek yada aynı faktör kullanımı ile daha fazla çıktı elde etmek şeklinde ortaya çıkabilir.

vi. İşgücünü eğitmek:

Uzun ve yorucu bir çabayı gerektiren iş etüdünden beklenen sonuçların elde edilebilmesi için her şeyden önce bu çalışmayla ilgili tüm çalışanların eğitilmesi gereklidir. Bu eğitimin üç ana boyutu; etüdü gerçekleştirecek analistin eğitimi, etüt sonuçlarını uygulayacak işçilerin eğitimi ve yöneticilerin eğitiminden oluşmaktadır.

vii. Mevcut çalışma koşullarından daha iyi çalışma koşullarına geçme:

İş etüdünün dolaylı bir amacı da çalışma koşullarını iyileştirmektir. Fiziksel açıdan bu, özellikle, ergonominin desteğinde gerçekleştirilir. Diğer taraftan iş barışı açısından ise ücretlendirme, iş değerlendirme, iş zenginleştirme ve motivasyon gibi yönetim teknikleriyle birlikte önemli bir yere sahiptir.

2.1.1.2. İş Etüdünün Uygulanmasında Dikkate Alınması Gereken Hususlar

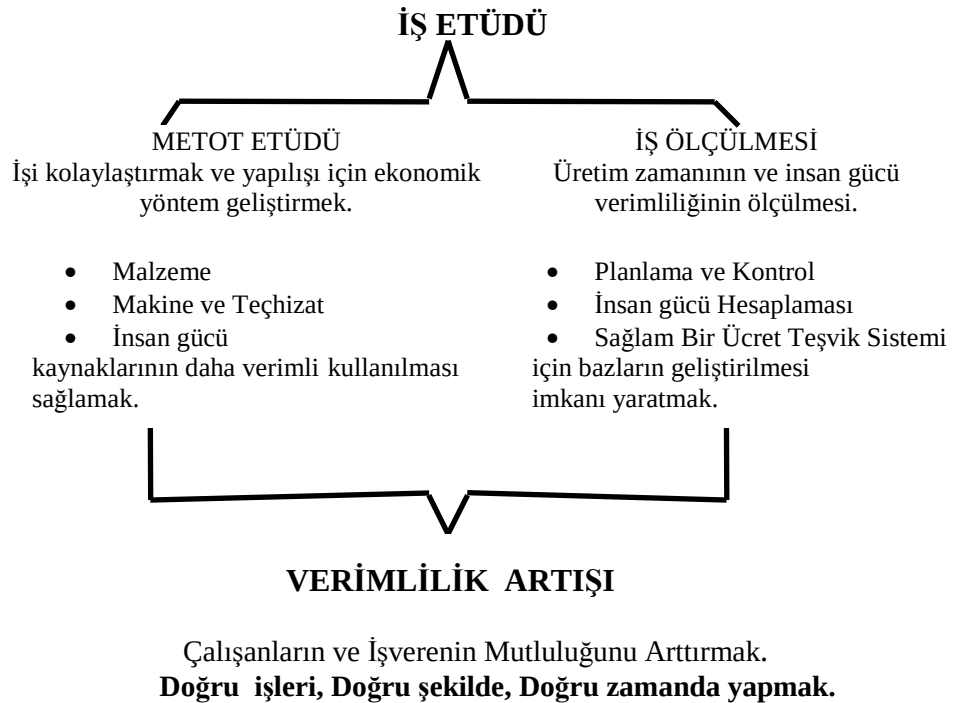
İş etüdünün temel amacı, mevcut kaynakları daha iyi kullanarak daha çok üretmeye veya aynı üretimi daha az kaynak kullanarak elde etmeye olanak sağlamak, yani verimliliği artırmaktır. Bir iş etüdü uygulamasıyla gerçekleştirilmeye çalışılan bu temel amaca ulaşma derecesi, uygulamanın başarısıyla eşdeğerdir. Bu başarıyı etkileyen iki ana unsur söz konusudur. Unsurlardan ilki iş etüdünün kendi yapısıyla ilgiliyken ikincisi iş etüdünün yanı sıra kullanılması gereken diğer tekniklerin özellikleriyle ilgilidir. Bir iş etüdü çalışmasıyla gerçekleştirilmeye çalışılan amaç yada amaçların elde edilebilmesi için öncelikle, her düzeydeki yönetici ve işçilerin konu hakkında bilgilendirilmesi ve desteklerinin alınması gerekir. Yöneticilere, iş etüdünün tek başına bir sihirli değnek olmadığı, ancak çalışma sonucunda elde edilecek bilgilerin ve yeni yöntemlerin hangi işletme kararlarında nasıl kullanılacağı ve bunun işletmeye potansiyel olarak ne kazandırabileceği konularında gerçekçi bilgiler verilmelidir. Ayrıca, çalışmanın tahmini maliyeti ve alacağı süre hakkında

detaylı açıklamalar yapılmalıdır. Diğer taraftan analistin de işletme hakkında yeteri kadar bilgi sahibi olması ve işletmeyi tanınması gereklidir.

İşçi ve nezaretçilerin konu hakkında eğitimi ise daha dikkatli ve detaylı olmalıdır. Özellikle, bu tip çalışmaların amacının işçi çıkarmaya yönelik olmadığı, aynı çaba veya yorgunluğa karşılık daha az ücret ödemek yada daha az sosyal hak tanımak olmadığı, aksine bu türden haksızlıkların önlenmesinde yararlı olabilecek bir teknik olduğu ve böyle bir çalışmanın yapılması halinde bunun sonuçlarını destekleyecek başka tekniklerin de kullanılmasının gündeme geleceği, böylece sağlanacak yararların da artacağı detaylarıyla anlatılmalıdır.

2.1.1.3. İş Etüdü Aşamaları

İş etüdü, üretken birimlerin faaliyetlerini sistematik bir yaklaşımla tanımlamak, geliştirmek, standartlaştırmak ve ölçmek için kullanılan, metot etüdü ve iş ölçümü gibi iki ana bölümden oluşan bilimsel bir problem çözme tekniğidir.



Şekil 2.1 İş etüdünün şematik bir açıklaması

2.1.2. Metot Etüdü Tanımı ve Kapsamı

Metot etüdü, insanın performans ve gereksinimlerini de dikkate alarak, iş sistemlerinin amaca uygun organizasyonu yoluyla, insan, üretim aracı ve üzerinde çalışılan nesne arasında göreve uygun bir ortak etkimenin sağlanmasıdır. Etüt ile sistematik bir yaklaşımla işi yada iş gruplarını tanımlamaya, geliştirmeye ve standardize etmeye çalışır.

Metot etüdü hakkında genel kabul gören bir tanımlama, İngiliz Standartlar sözlüğü tarafından yapılmıştır (Akal, sh:83): Metot etüdü, daha kolay ve daha etken yöntemlerin geliştirilmesi, uygulanması ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla, bir işin yapılışındaki mevcut ve önerilen yolların dizgesel olarak kaydedilmesi ve eleştirilerek incelenmesidir.

Başka bir tanımlama ile, işin yapılış amacı, sınırları ve kapsamı belirlenirken geliştirme ile işin, mevcut durumdaki yapılış tarzından daha kolay, daha rahat, daha kısa sürede, daha az fireyle ve daha güvenli bir biçimde gerçekleştirilmesine yönelik yeni bir yapılış tarzına geçişi sağlanır. Standartlaştırmayla ise, tanımlanmış bir işin, kişiye ve zamana bağlı olmaksızın hep aynı biçimle (metotla) gerçekleştirilmesi sağlanır. Genel olarak metot etüdü, bu üç ana adımlık sürece ait bir çevrimi kapsar.

Bu tanımlamalar ile metot etüdüne ilişkin bazı sonuçlar şu şekilde belirlenebilir:

- Metot etüdü, olayları bilimsel yönetim prensipleri ile değerlendirir.
- Metot etüdü, bir yaratıcı problem çözme tekniğidir.
- Metot etüdü, içerisinde emek faktörü bulunan her düzeydeki faaliyet için uygulanabilir.
- Metot etüdü, bir işin en iyi(optimal) yapılış biçimini bulan bir teknik değildir. Dolayısıyla aynı işin her zaman daha kolay bir yapılış şekli bulunabilir.
- Metot etüdü, doğrudan verimlilik artırma tekniğidir.

2.1.2.1. Metot Etüdünün Aşamaları

Bilimsel yönetim prensipleriyle problem çözmeye çalışan teknikler, sistematik bir sıra takip ederler. Bilindiği gibi metot etüdü çalışması da bu nitelikte bir tekniktir ve aşağıdaki aşamalar sıra ile izlenerek çalışma gerçekleştirilir:

1.Üzerinde metot etüdü çalışması yapılacak işin seçilmesi :

Belli bir iş için metod etüdü incelemesinin yapılıp yapılmaması düşünülürken bazı faktörler göz önüne alınır. Özellikle, büyük işgücü gerektiren ve uzun bir süre devam edecek tekrarlamalı işlemler, metod etüdü için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Diğer üretim işlemlerini geciktiren darboğazlar, malzemenin, atölyeler yada işlemler arsında büyük ölçüde insan gücü ve donatım kullanmayı gerektiren uzak yerlere taşınması yada çok sıkı ve yinelenen malzeme aktarımı, yine öncelikle etüt edilmesi gereken konular arasındadır.

2. Seçilen işin mevcut durumda nasıl yapıldığına ait bilgilerin toplanması ve standart kayıt ortamlarına kaydedilmesi.

Etüt için seçilen işin, doğru bir şekilde kaydedilmesi çok önemlidir. Çünkü, bu kayıtlar, hem olayların eleştirilerek incelenmesine hem de düzeltilen yöntemin geliştirilmesine ilişkin bilgileri vereceklerdir. Bu nedenle, kayıtların anlaşılır ve açık bilgileri vermesi gerekmektedir.

Metod etüdünde kullanılan şema ve diyagramlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;¹²

A - Süreç Sırasını Gösteren Şemalar:

- ❖ Temel süreç şeması
- ❖ İş akımı şeması – işçi tipi
- ❖ İş akımı şeması – malzeme tipi
- ❖ İş akımı şeması – donatım tipi
- ❖ İki el süreç şeması

B – Zaman Ölçekli Şemalar:

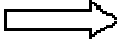
- ❖ Çoklu etkinlik şeması
- ❖ P.M.T.S. şeması

¹² Kanawaty, G., **İş Etüdü**, (çev., Akal, Z.), MPM Yayınları, ILO: 29, Ankara, 1997, s.92.

C – Hareketleri Gösteren Diyagramlar

- ❖ Akım diyagramı
- ❖ İp diyagramı
- ❖ Cyclegraph
- ❖ Chronocyclegraphy
- ❖ Gezi şemaları

Bir metod etüdü çalışması olan iş akışı şemalarında da standart kayıt ortamı kavramı önemli bir noktadır. Burada önem kazanan bir konu da , faaliyet gruplarını standart sembollerle ifade edebilmektir. Böylece ortak bir dil sağlanmış olur. Günümüzde en yaygın kullanılan sembol grubu, Amerikan makine Mühendisleri Odası (ASME) tarafından önerilendir. ASME sembolleri olarak bilinen bu semboller ve tanımları aşağıdaki gibidir :

Sembol	Faaliyet	Tanım
	İŞLEM	Prosesin başlıca adımları, malzemede fiziksel veya kimyasal değişiklik yapma, zihinsel olarak planlama ve hesaplama işlemleri
	TAŞIMA	İşçi, malzeme veya araçların bir yerden bir yere hareketi veya taşınması
	KONTROL	Kalite veya miktar açısından yapılan kontroller
	DEPOLAMA	Malzemenin izinsiz alınamayacak şekilde stoklanması
	BEKLEME	Ardışık işlemler arasında işin veya işçinin beklemesi
	BİRLEŞİK FAALİYETLER	Aynı kişi tarafından aynı zamanda yapılan faaliyetlerde ilgili semboller içiçe gösterir örneğin kare içinde daire muayene ve işlemin aynı anda yapıldığını gösterir.

3. Mevcut metodun eleştirel yaklaşımla incelenmesi ve irdelenmesi :

Metod etüdünün bu üçüncü aşaması, metod geliştirme çalışmalarının başlangıcını oluşturmaktadır. Bu aşamada, soruşturma tekniği kullanılmaktadır. Soruşturma tekniği, sırasıyla her etkinliği sistematik ve ilerleyen bir soru dizisi ile eleştirerek inceleyen bir araçtır.

4. Daha iyi bir metodun geliştirilmesi :

İş metodlarını geliştirmede kullanılan yöntem, eleme, birleştirme, sıralama ve basitleştirme aşamalarının işi yaparken yürütülen her faaliyete uygulanmasını kapsar. İş metodu geliştirme ve iyileştirme çalışmalarında gereksiz faaliyetlerin elenmesi en önemli aşamadır. Eğer eleme yapılamıyorsa faaliyetlerin birleştirilmesi düşünülmelidir.

5. Geliştirilmiş metodun uygulanması :

Bu aşamada ilk olarak yönetici ve işçilere iş metodunun benimsetilmesi gerekmektedir. Yeni iş metodunun uygulanmaya konuluşundan hemen sonra denemelerin ve bazı ufak tefek değişikliklerin yapılması zorunlu olabilir. Ayrıca yeni iş metoduna alışılana kadar üretimde düşüş de kaçınılmazdır.

6. Uygulamanın izlenmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılması :

En son aşamada ise, yeni iş metodunun denetlenmesi zorunludur. Zorunlu ve faydalı bir değişiklik olmadığı takdirde yeni iş metodunun değiştirilmesine izin verilmelidir. Ayrıca yeni metodun yeterli olduğunu, karışıklıklara neden olmadığını ve başka işlerin yeni metodu etkisiz kılmadığını belirli aralıklarla yapılacak kontrollerle denetlemek gerekmektedir.¹³

Metot etüdünün, verimi, insanca çalışma koşulları altında en yüksek seviyede tutma amacına ulaşmak için gereken ara hedefler aşağıdaki şekilde sayılabilir:

¹³ REFA/MPM, **İş Etüdü Yöntem Bilgisi**, İş Etüdünün Temelleri Kitabı, Ankara, 1998, s.24.

- İşçinin boş bekleme süresini azaltmak.
- İşçinin gereksiz hareketlerini ortadan kaldırmak.
- İşçiler üzerinde adil iş yükü dağılımını sağlamak.
- İşçinin çalışma hızını yükseltmek.
- Daha iyi çalışma koşulları geliştirmek.
- Üretim süresi boyunca iş akışını dengelemek.
- Makinaların boş bekleme sürelerini azaltmak.
- Malzeme firelerini azaltmak ve kalite bozukluklarını azaltmak.

2.1.2.2. Metod Etüdünün Yararları

Metod etüdü (yöntem geliştirme) çalışmaları ile üretim kaynaklarının kullanımındaki işletme içi kısıtlayıcı koşullar ortadan kaldırılarak sistemin performans artışı sağlanır. Metod etüdları ile sağlanacak performans artışları o işletmenin potansiyel gücüyle, mevcut kapasiteyle sınırlıdır. Uzun ve orta dönemde yeni yatırımlar ve teknolojik değişimlerle sağlanacak performans artışları metod etüdünün uygulama kapsamı dışındadır. Metod etüdü bu konularda yapılabilecek gelişmelere sadece ışık tutabilecek nitelik taşımaktadır. Ancak metod etüdünde süreklilik vardır. Yeni koşullar ortaya çıktıktan sonra (yeni teknoloji ve yeni yatırımlar uygulanmaya başlandığında) bu kez bu yeni ortamda da görevini sürdürür.

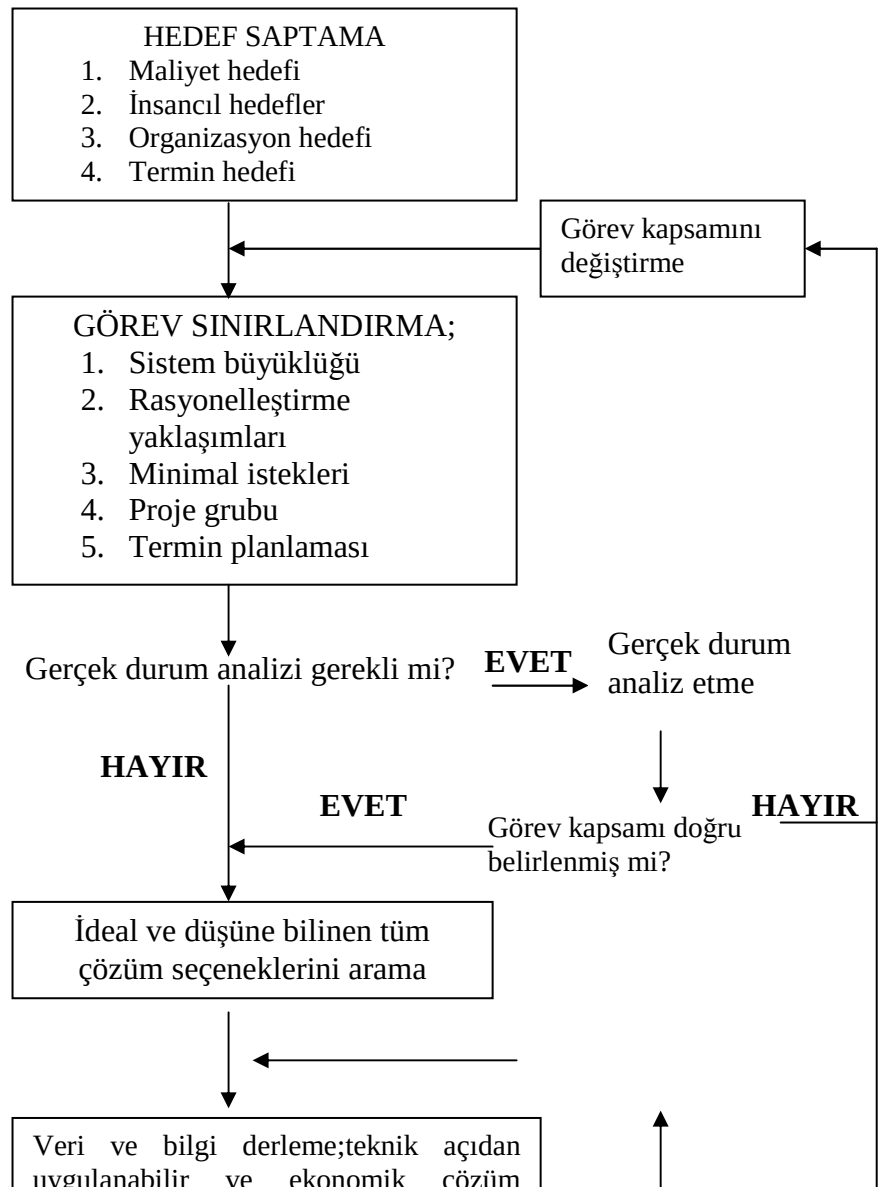
Metod etüdü uygulamaları ile sağlanacak yararlar şunlardır:

- ❖ Süreç ve çalışma yöntemleri geliştirilir.
- ❖ Fabrika ve atölye yerleşim düzenleri geliştirilir.
- ❖ Malzeme taşımaları geliştirilir.
- ❖ Çalışma koşulları, sağlık ve güvenlik koşulları geliştirilir.
- ❖ Son ürünün tasarımı, belirlemeleri ve kalitesi geliştirilir.

1.Basamak:
HEDEF SAPTAMA

2.Basamak:
GÖREV SINIRLARINI
BELİRLEME

3.Basamak:
İDEAL ÇÖZÜMLER
ARAMA



4.Basamak:

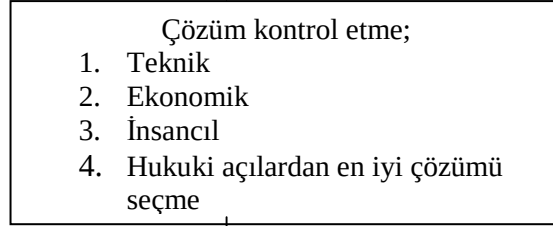
VERİ DEĞERLENDİRME
VE UYGULANABİLİR
ÇÖZÜMLER GELİŞTİRME



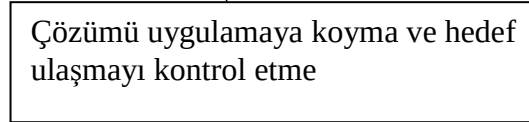
↓ EVET

5.Basamak:

OPTİMAL ÇÖZÜM

**6.Basamak:**

ÇÖZÜMÜ UYGULAMA
VE HEDEF ULAŞMAYI
KONTROL ETME



Şekil 2.2 Metot etüdünün Yöntemi

2.1.3. İş Ölçümü Tanımı ve Kapsamı

İş ölçümü, bir işlemin (veya işlemi oluşturan elemanlardan herhangi birinin) belirli çalışma şartları altında ve belirli yöntemlerle, yeteri kadar eğitim, bilgi ve yeteneğe sahip bir işçi tarafından, bir iş günü boyunca aşırı yorgunluk yaratmayacak bir çalışma hızı ile yapılması için geçen sürenin tespiti amacı ile uygulanan teknikler olmaktadır.¹⁴

Metot etüdü, iş kapsamının azaltılmasında kullanılan temel tekniktir. Özellikle malzeme yada çalışanlara ilişkin gereksiz hareketlerin elimine edilmesi ve mevcut yöntemlerin iyileştirilmesi konularıyla uğraşır. İş ölçümü ise nedeni ne olursa olsun toplam iş kapsamı dışında kalan yani etken olmayan sürenin araştırılması, azaltılması ve elimine edilmesiyle uğraşır.

İngiliz Standardı iş ölçümünü, nitelikli bir işçinin, belli bir işi, belli bir çalışma hızıyla (performansıya) yapması için gereken zamanı saptamak amacıyla geliştirilmiş tekniklerin uygulamasıdır diye tanımlamıştır.

¹⁴ Kobu, B., **Üretim Yönetimi**, İ.Ü. Yayını, İstanbul, 1982, s.371.

İş Ölçümü, bir işlemin yada işlemler dizisinin yapılmasında harcanan zamanı, etkin olmayan süreyi ortaya çıkaracak ve bu zamanı etkin olmayan süreden ayıracak şekilde ölçerek, yönetime bu ölçüleri sağlamaktır. Bu yolla, daha önce toplam süre içinde gizlenmiş olan etkin olmayan sürenin varlığı, nitelik ve derecesi ortaya çıkar. İş Ölçümünün bir diğer rolü, işin yapılması için gerekli standart zamanın saptanmasında kullanılmasıdır.

İş ölçümünün amaçları;

1. Çeşitli yöntemlerin etkinliğini karşılaştırmada; diğer koşullar aynı kalmak şartıyla en az zaman alan yöntem en iyi yöntem olacaktır.
2. İş programının gerçekleştirilmesi ve mevcut kapasitenin kullanılabilmesi için fabrika ve işçilik gereksinimleri de dahil, üretimin planlanması ve programlanmasında kullanılacak bilgiyi sağlamak için kullanılabilir.
3. Teşvikli ücret sisteminin kurulmasına katkı sağlamak Standart maliyetlerin saptanmasına yardımcı olmak Maliyetlerde azalma sağlamak Adil iş yükü dağılımını sağlamak Etkin bir kalite kontrol sisteminin kurulmasını teşvik etmek

2.1.3.1. İş Ölçümünün Aşamaları

İş ölçümü de temelde bilimsel yöntem uygulayarak problem çözmeye çalışan teknikler grubudur. Dolayısıyla iş etüdünün temel aşamalarında toplu olarak gösterilen iş ölçümüne ilişkin adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a. Seçme: Etüdü yapılacak işin seçilmesi.
- b. Kaydetme: İş ile ilgili tüm verilerin kaydedilmesi.
- c. İnceleme En etkin yöntem ve hareketlerin kullanıldığına ve verimli olmayan yabancı öğelerin, verimli öğelerden ayrıldığına emin olmak için, kaydedilen verilerin ve en küçük öğelerin eleştirilerek incelenmesi.
- d. Ölçme: Uygun bir iş ölçümü tekniği yardımıyla her elemana ait zamanın ölçülmesi.
- e. Hesaplama: Gerekli payları dikkate alarak standart zamanları bulma
- f. Tanımlama: Bulunan standart zamanları uygulamada kullanılacak şekilde tanımlama.

İş ölçümü eğer değişik metodlar arasındaki etkinlik karşılaştırması için veya sadece metod etüdüne yardımcı olmak amacıyla yapılacaksa, o zaman ilk beş aşama yeterli olacaktır. Yukarıda ki altı aşama, iş ölçümü teknikleri için genel süreci belirler. Ancak bunların uygulanmaları sırasında, tekniğin özelliğine göre bazı alt detayları söz konusu olabilir.

2.1.3.2. İş Ölçümü Çalışmalarında Dikkat Edilecek Hususlar

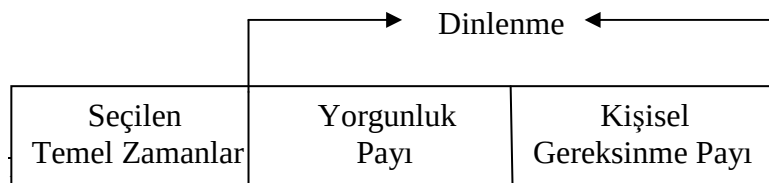
İş ölçümünü gerçekleştirecek olan kişinin, işlemin bileşenlerini göz önüne alarak, işin her safhası için aşağıdaki hususları dikkate alması gerekmektedir.¹⁵

- İmalatın kalitesine veya gereçlerin arızalanmasına ve ömrünün kısılmasına yol açmaksızın makinenin çalışma hızı arttırılabilir mi?
- İş devresi zamanını düşürmek üzere kullanılan gereç ve takımlarda değişiklik yapılabilir mi?
- Hammadde ve malzemeler çalışma yerine yaklaştırılarak taşıma zamanından tasarruf yapılabilir mi?
- Gereçler gerektiği şekilde çalıştırılıp standartlara uygun kalitede mamul üretimi yapılıyor mu?
- İşlem tam bir iş güvenliği içinde yapılıyor mu?
- İşçi ile iş ve makine arasında ki uyumdan yakınmalar var mıdır? v.b.

2.1.3.3. İş Ölçümü Teknikleri

İş ölçümü, aynı amaca yönelik alternatif teknikler grubudur. Değişik koşullarda farklı avantajları ve dezavantajları özellikleri vardır. Burada dikkat edilecek husus işletmenin kısıtlarına ve iş etüdü çalışmasının amacına göre bir yöntemin belirlenmesidir.

Şekil 2.3' de, iş ölçümleri ile standart zamanların hesaplanma yöntemine ait genel bir bilgi vermektedir.



WILLIAMS, R., *Production Management*, Hottel, Kimehart and Winston Ltd., Great Britain, 1971, s.105.

Temel İş Kapsamı (Standart İş Birimi Olarak)	Arızı İş Payı
Temel İş Kapsamı (Standart İş Birimi Olarak)	Arızı Gecikme Payı
Standart Zaman	

Şekil 2.3 Standart Zaman Hesaplanması

Kaynak: Akal, Z., **İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi**, MPM Y., Ankara, 1996, s.261.

Standart zamanın hesaplanmasında; altı ana öge bulunmaktadır:¹⁶

1. Gözlenen Zaman: İşin yapılması sırasında işçinin ya da makinenin harcadığı süredir. Bu süreyi, işçinin ya da makinenin çalışma hızı (derecesi) belirlemektedir.

2. Temel Zaman: İşin standart çalışma hızı (standart performansta) ile yapılması durumunda işçi ya da makine tarafından harcanması gereken süredir. İşçi standart performanstan daha düşük bir hızda çalışıyorsa gözlenen zaman standart zamandan daha uzun, standart performanstan daha yüksek hızda çalışıyorsa gözlenen zaman standart zamandan daha kısa olmaktadır. Makinenin çalıştığı süre, ölçülürken makinenin hızı sabit kabul edilmekte ve dolayısıyla temel zamana eşit olmaktadır.

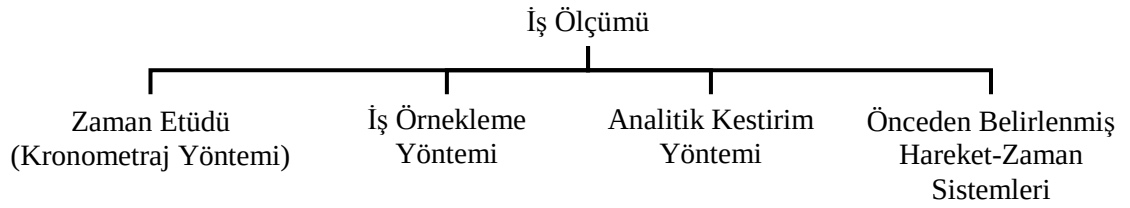
3. Dinlenme Payları: Bu paylar yapılan işin oluşturacağı fizyolojik ve psikolojik etkilerden işçiyi arındırmak ve işçinin kişisel gereksinimlerini karşılayabilmek için temel zamana eklenen süredir. Makinelerde harcanan sürelerle eğer el ile kontrol gerekmiyorsa dinlenme payı eklenmemektedir. Örneğin; yük taşıma, eğilerek çalışma, göz ve dikkat yoğunluğu gerektiren işler, işçinin tualete gitmesi, sigara içme gereksinimi için verilen paylar.

¹⁶ Akal, Z., **İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi**, MPM Yayınları, No:473, Ankara, 1996, s.261.

4. Arızı Paylar: İşlemler sırasında seyrek ya da düzensiz oluşan ve beklenebilen çeşitli küçük işler ya da kısa süreli kesintiler için temel zamana eklenen paydır. Bu paylar işçinin ve yönetimin kontrolü ile belli bir düzeye kadar önlenabilir aksaklıklar için verilmektedir. Örneğin; kısa süreli makine duruşları, takım yenileme, kısa süreli enerji kesintileri, iş ve malzeme bekleme, bilgi alma ve verme v.b. işi aksatan nedenler.

5. Standart Zaman: Nitelikli bir işçinin standart performansta, işin gereği olan fiziki ve ussal yorgunluğunu gidermek ve arızı durumları karşılamak için verilen paylarla birlikte o işi yapmak için harcanması beklenen zaman olmaktadır.

6. Standart Performans: Belli bir yöntemi bilmeleri ve uygulamaları, işlerine kendilerini verebilmeleri için özendirilmiş olmaları koşuluyla, nitelikli işçilerin aşırı bir çaba göstermeksizin bir işgünü süresince doğal olarak sürdürebilecekleri ortalama bir çalışma hızıdır ve 100'e eşit kabul edilmektedir.



İş örnekleme Yöntemi : Uygulaması en kolay ve basit olan iş etüdü yöntemidir. belli bir etkinliğin oluş yüzdesini istatistiksel örnekleme ve rasgele gözlemler yolu ile saptama yöntemidir. Belli bir üretim bölgesinde makinelerin boş ve çalışır durumda oldukları sürelerin tam ve doğru görünümünü sağlamak için bu bölgedeki makinelerin sürekli olarak gözlenmesi ve bunların neden boş durduklarının kaydedilmesi gerekir. Tüm zamanlarını bu işe ayıracak işçiler istihdam etmedikçe böyle bir bilgiye ulaşmak olanaksızdır ve ekonomik değildir. Bu nedenle bu tip bilgileri elde edebilmek için istatistiksel yöntemlerden faydalanarak, istediğimiz bilgiye belirli bir güvenlik düzeyinde elde etmek işletme açısından daha avantaj sağlayacaktır.

İş örnekleme için yapılması gerekenleri özetleyecek olursak, sırayla şu adımlar uygulanmalıdır:

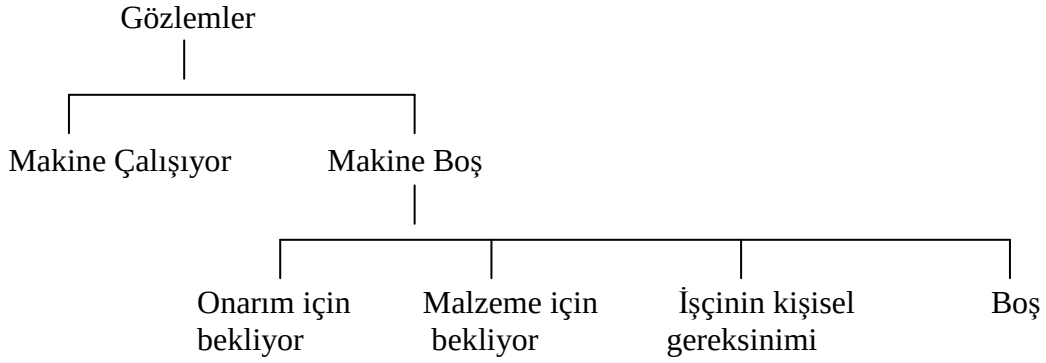
1. Etüt edilecek işin seçilmesi ve amacın saptanması.

2. Gözlem, veri saklama, hesaplama ve raporlama için gerekli teçhizatın hazırlanması ve etütçülerin eğitimi.

3. İşlerin sınıflandırılması.

Örnek basit bir sınıflandırma;

Amaç: Makina kullanım oranı ve duruş nedenlerinin belirlenmesi



4. Örneklem planının oluşturulması: Uygun bir örneklem hata ve güvenilirliği için gözlem sayısının hesaplanması ile gözlemlerin gerçekleştirileceği zaman döneminin belirlenmesi çalışmalarını kapsar.

5. Rasgele sayılar çizelgesi yada bilgisayar kullanılarak gözlem zamanlarının belirlenmesi

6. Etüdün amacına uygun kayıt formunun tasarlanması ve elde edilen sonuçların rapor haline getirilmesi.

Önceden Belirlenmiş Hareket-Zaman Sistemleri Yöntemi : Temel beden hareketleri için hesaplanmış zamanlardan yararlanarak belli bir performans düzeyinde yapılan bir işin zamanının saptanmasında kullanılan bir iş ölçme tekniğidir. Önceden belirlenmiş hareket-zaman sisteminde işlemler iş sırasına uygun olarak uzanma, tutma, taşıma, yerleştirme, bırakma gibi temel hareketlere ayrılmakta, her temel harekete ait normal zaman değeri ilgili tablodan hareketin özelliğine dikkat ederek seçilmekte ve tüm hareketlere ait normal zaman değerleri toplanarak işlemin normal zamanına ulaşılmaktadır. Bu sistemin avantajları; temel hareket zamanları evrensel düzeyde kabul edilmiş tablolardan alınmakta olup, zaman ölçümü ve tempo takdiri yoktur, işin gözlenmesi gerekmez. Bu sistemin dezavantajı ise sadece insan tarafından gerçekleştirilen işlemlere uygulanır, makine sürelerinin belirlenmesinde kullanılmaz.

Analitik Kestirim Yöntemi : Fazla hassasiyet gerektirmeyen ve daha ziyade uzun süreli işlerin standart zamanlarının belirlenmesinde kullanılabilir. Standart veri ve bilgisayar destekli sistemler kullanımı, çeşitli zaman etüdü çalışmaları sonucu elde edilen iş elemanları ve bunlara ait zaman değerleri standartize edilerek sınıflanabilirse, başka zaman etütlerinde bu değerlerden yararlanması mümkün olacaktır. Uzman kişilerin bilgi ve deneyimlerinden yararlanarak geçmiş iş zamanının kayıtlarının mevcut iş koşullarına göre revizyonu gerçekleştirilerek uygulanır.

Zaman Etüdü Yöntemi : Kronometraj yöntemi olarak da bilinen bu yöntem en eski ve halen en yaygın kullanım alanına sahip olan bir iş ölçümü yöntemidir. Zaman etüdü, analistin bir kronometre yardımıyla işi, işçinin yapması sırasında uygun sayıda ölçerek ardından gerekli işlemlerden geçirerek standart zaman bilgisine ulaşmayı sağlayan bir süreçtir. Nitelikli bir işçinin, tanımlanmış bir performans düzeyinde, belirli bir işi başarabilmesi için gerekli olan standart süreyi saptamak için kullanılan bir yöntemdir.

Belirli koşullar altında yapılan belli bir işin öğelerinin zamanını ve derecesini kaydedere ve bu yolla toplanan verileri çözümleyerek, o işin tanımlanan bir çalışma hızında (performansta) yapılabilmesi için gereken zamanı saptamakta kullanılan bir iş ölçme tekniğidir.

Zaman ölçümü çalışmasında izlenen yol;

1. Etüt edilecek işin seçimi ve bilgilendirilmesi :

İşle, işçiyle ve işin yapılmasını etkileyen çevre koşullarıyla ilgili tüm mevcut bilgilerin toplanması ve kaydedilmesi. Bilgilerin derlenmesi ve kaydedilmesinde zaman etüdü analisti bir takım araçlara ihtiyaç duyar. Genel olarak zaman etüdü için kullanılan araçlar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Kronometre: İstenen hassasiyete göre bir kronometre seçilmeli ve fiili süreler bu kronometre yardımıyla ölçülmelidir.

Zaman etüdü kayıt formları: Zaman etüdünde ölçülen sürelerin ve ilgili hesaplamaların yapıldığı kayıt ortamlarıdır. Zaman etüdü izleme formunda etüde

ilişkin genel bilgilerin yanında iş elemanlarına ait her ölçüm, çalışma hızı veya tempo ve normal zaman bu formda yer alır.

2. Yöntemin tam bir tanımının kaydedilmesi ve işin öğelerine ayrılması :

Daha önce seçilmiş olan işler veya süreçler, yapılacak olan etüdün detay düzeyine göre elemanlarına ayrılır. Ancak bu ayırmada dikkat edilmesi gereken husus, iş elemanlarının tanımlanabilir ve ölçülebilir bir süreye sahip olmasıdır. Böylece ölçme sırasında yapılacak hatalar minimuma indirilebilir. İş elemanlarına ayırmakta uyulması gereken konular aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- El ile yapılan işlerle makine ile yapılan işler birbirinden ayrılmalıdır. El ile yapılan işlerde işçinin çalışma temposuna göre, değişken bir hız faktörü söz konusudur. Halbuki makine ile yapılan işlerde daha sabiti bir çalışma hızı geçerlidir.
- Her çevrimde tekrarlanan işlerle, tesadüfi işler birbirinden ayrılmalıdır. Örneğin tornada kaleme talaş sarması, tesadüfi sayılabilir. Bu türden işler etüt dışında bırakılmalıdır.
- Farklı tempolu işler elemanlarına ayrılmalıdır. Zira her işlem aynı kolaylıkta değildir. İşin yapılması sırasında değişik fiziksel özelliklere sahip işlemler arasında tempo farklılaşması doğaldır; ancak bunun dikkate alınması gerekir.

3. En etkin yöntem ve hareketlerin kullanılmasını sağlamak için öğelerin dikkatlice incelenmesi.

Bir işi baştan sona kadar bir eleman kabul ederek zaman belirleme (zamanlama) birçok durumlarda yeterli bir etüd olmaktadır. Böyle bir etüd, zaman etüdünün yerini tutamaz. Bir işi, onu oluşturan bileşenlerine ayırmak ve bunları ölçmek kronometrajlı zaman etüdünün en önemli noktasını oluşturmaktadır. Aşağıdaki konular bu yaranı daha iyi açıklamaktadır:

a. Bir işi tanımlamanın en iyi yolu onu belirli, ölçülmesi mümkün ufak parçalara ayırmaktır. İşin sürekli olarak tekrar eden bileşenleri önce, işin gerekli diğer bileşenleri de daha sonra açıklanır. Bu; bileşenlerin, başlangıç ve bitiş noktalarını açıkça göstermektedir. Bunlar aynı zamanda işe yeni alınan işçilere işin yapılışını öğretmek amacı ile de kullanılabilir.

b. Bileşenler için belirlenen zamanlardan işlemin zamanı hesap edilebilir.

c. Zaman etüdleri, bazı bileşenleri için pek fazla zaman, diğer bazıları içinse çok kısa zaman harcadığını gösterebilir. Özellikle kontrol işleri acele ile geçirilebilir. Aynı zamanda bileşenlerle çalışmak suretiyle yöntemlerdeki bazı değişiklikleri belirleme imkanı doğmaktadır. Toptan bir çalışmada bu mümkün olmamaktadır.

d. Bir işçi bütün iş devri süresince aynı tempoda çalışmayabilir. Zaman etüdü sırasında her bir bileşenin temposu ayrı ayrı yazılarak bu noktanın ortaya çıkması sağlanır.

4. İş, işçi, malzeme ve çalışma koşulları ile ilgili bilgilerin zaman ölçüm formu oluşturarak işleme,

a. *Çoklu Faaliyet Şemaları* : Bir veya birkaç makine ve/veya bir veya birkaç işçiden oluşan iş sistemlerine ait faaliyetlerin zaman skalası üzerinde koordineli olarak gösterildiği şemadır. Metot etüdünde, süreç ve faaliyet türlerinin özelliklerine ilişkin bilgilerin derlenerek kaydedilmesi kadar, zamanlamaya ve faaliyete katılan unsurların etkileşimlerine ilişkin bilgilerin derlenerek kaydedilmesi de analizlerde önemli bir yere sahiptir. Faaliyet şemaları bu ihtiyacı karşılamak üzere, birden fazla unsurun (işçi ve makine) gibi ortak bir zaman ölçeğine göre birbirleriyle olan etkileşimlerini dizgisel olarak kaydetmekte kullanılır. Böylece analizlerde, zaman ve unsur etkileşimleri de dikkate alınmış olur. Çoklu faaliyet şemaları işçilerin grup olarak çalıştığı durumlarda, pahalı makinelerle çalışılması halinde, işçinin çalıştırılması gerekli makine sayısının belirlenmesinde ve işe katılan her bir unsura ait boş zamanların azaltılmasında kullanılır.

b. *SİMO Şeması*: Mikrohareket etüdünün kayıt ortamlarındandır. İşçinin çalışması sırasındaki, ellerinin veya kollarının mikrohareketlerini zamanlandırılmış olarak kaydetmeye yarar. Genel olarak bir süreç yada faaliyet filme alınırsa, bunun tam ve kesin bir kayıt niteliği taşıması dolayısıyla, süreç, işlem akış, faaliyet ve çift el şemalarıyla ilgili kayıtlar yapma olanağı doğar.

5. Her akış diliminin akış süresini ölçerek kaydetme,
En fazla kullanılan üç zaman ölçme yöntemi vardır.

1. *Sürekli zaman ölçme yöntemi* :

Bu yöntemle etütçü ilk bileşenin başlaması ile kronometresini çalıştırır ve çalıştırmayı son bileşenin bitimine dek sürdürür. Her bileşenin sonunda kronometreye bakarak zaman belirler ve bu bileşenin zamanı, çalışma bittikten sonra bir çıkarma işlemi yapmak suretiyle belli olur.

2. Aralıklı zaman ölçme yöntemi :

Aralıklı veya geri dönerek zaman ölçme yönteminde, kronometrenin ibreleri her bileşenin sonunda sıfıra getirilmektedir. Bu suretle her bileşenin başlangıç noktasında düğmeye basılarak kronometre ibreleri sıfıra geçirilir. Bileşenin devamı süresince kronometre çalıştırılır. Bileşenin sonunda etütçü kronometreyi okuyarak yazar. Bu kronometreler sıfır noktasına gelince düğmenin bırakılması ile otomatik olarak çalışmaya başlar. Bu şekilde zaman ölçmenin en büyük üstünlüğü zamanın okunduğu gibi yazılması ve sonradan bir çıkarma işlemini gerektirmemesidir. Bu yöntemle yapılan itiraz; geçici bileşenleri, etütçünün düğmeye basmaya devam etmesi ile dikkate alınmasıdır. Bu düşünce de pek değer kazanmamıştır.

3. Akümülatif zaman ölçme yöntemi :

Bu yöntemle iki kronometre birbirine bir kaldıraç ile bağlanarak bileşenlerin zamanlarının hemen okunması kolaylaşır. Bu mekanizma öyle bir biçimde yapılmıştır ki; ikinci kronometre çalışmaya başladığı zaman, birincisi kendiliğinden durur. Kronometre okunur okunmaz sıfıra getirilebilir ve daha doğru bir okuma sağlanabilir.

Zamanları Yazma : Zaman etütçülerinin gözlem yapıp, kronometreyi okuması ve okuduğunu yazması zor gibi görünürse de biraz tecrübe ile bu kolayca olmaktadır. Bazı sesler, örneğin; bir pantolonun arka ceplerinin takıldığı otomasyon makinesinden çıkan madeni ses, birinci bileşenin bittiğini gösterir. Bir etütçü bunları öğrenerek onlardan yararlanmaktadır. Genellikle bir işlemin bir kısmının ölçülmesi ilke sayılmalıdır. Örneğin her beş veya on parçada bir ölçü almıyorsa bu gözlemlerde gösterilmeli ve işlem zamanına katılmalıdır. Gereçlerin değiştirilmesi, temizlenmesi, bitmiş parçaların kaldırılması, boşalmış measurelerin değiştirilmesi, makine ayaklarının yağlanması ve benzeri işler, işlemin belirli bir parçası sayılıp bu şekilde ölçülmelidir. Bunların standartlara katılıp katılmayacağına daha sonra, kapsamlarına bağlı olarak karar verilir. Fakat, örneğin; makasın yere kaza ile düşürülmesi,

makinenin kayışının sıkışması, iğnesinin kırılması vb. durumlar önceden belirli olmayan elemanlardır.

Bir işin normal zamanı herhangi bir tolerans tanımaz, bu ancak normal bir işçinin normal tempoyla aralıksız çalışması durumunda işi yapabileceği zamandır. Doğal olarak bir insanın herhangi bir duraklamaya uğramadan bütün gün çalışması beklenemez. Bir işçi kişisel gereksinimleri için, dinlenmek için veya elinde olmayan gecikmeler yüzünden zaman kaybedebilir.

6. İş akışlarının toplam zamanlarının bulunması (normal zamanın oluşması):

Normal zamanın hesaplanması, ölçülen süre fiili süre adını alır ve analistin, işçi normal çalışmasını sürdürürken kronometre ile yapmış olduğu ölçüm sonucu elde ettiği zaman değeridir. Tolerans belirleme, işçi çalışması sırasında sürekli normal zamana eşit çıktı yaratamaz. Genellikle bundan sapmalar gösterir. Bunun nedenleri, bedensel ve zihinsel yorgunluk, kişisel gereksinimler ve gecikme olarak bu payların belirlenmesi gerekir. Kısaca tolerans olarak tanımlanan söz konusu paylar, normal zamanı değişik oranlarda etkiler.

Normal zaman, ölçülen sürenin çalışma hızıyla (tempo) ağırlıklandırılmış halidir. Böylece ölçülen süre, tempo ile ilişkilendirilir ve standart zamana ulaşmak için bir adım daha başarılmış olur. Normal zaman, ölçülen süre ile temponun çarpımı sonucu hesaplanır. Bunun genel formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:¹⁷

$$\text{Normal Zaman} = (\text{Ölçülen Zaman}) \times (\% \text{ Tempo} / 100)$$

olarak hesaplanır. Standart zamanın belirlenebilmesi için çeşitli toleransların hesaplanarak normal zamana eklenmesi gerekmektedir.

¹⁷ Curiosum, O., **Verimliliği Artırmada İş Etüdü Teori ve Uygulamaları**, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1992, s.98.

7. Temel zamana, dinlenme ve dağılım paylarını ekleme ve birim zamanı hesaplama ve kontrolü : bir işin standart performansta tamamlanması için gereken toplam zamanın oluşturulması.

Zaman etüdünün tüm aşamaları boyunca ulaşılmaya çalışılan kavram standart zamandır. Standart zaman, işçinin kendisini aşırı yormayacak bir hızla çalışması durumunda tüm koşulların dikkate alınarak, belirli bir işi yapma süresidir ve normal zamanın tolerans ile ağırlıklandırılmış halidir.¹⁸

Bu tanımlama çerçevesinde herhangi bir iş elemanının standart zamanı, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Standart Zaman} = \text{Normal Zaman} + (\text{Normal Zaman}) \times (\text{Toleranslar})(\% \text{ olarak})$$

3. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE İŞ ETÜDÜNÜN UYGULANMASI

3.1 Genel Bakış

Avrupa ile bütünleşme sürecinde olan ülkemiz işletmelerinin, yoğun rekabet ortamında varlıklarını sürdürebilmeleri için verimliliklerini arttırmaları gerekmektedir. Verimlilik artışı; kıt kaynakları doğru yerde, doğru zamanda, doğru biçimde kullanmak ve akılcı yönetmekle mümkün olmaktadır. Verimlilik artışı olarak iş etüdü; verimliliği, çok az yada hiç yatırım gerektirmeksizin arttıran yapısıyla işletmeler için vazgeçilmez bir araç olmaktadır.

Üretim planlama ve kontrolde, prodükdiviteyi arttırmak için düşünülen çarelerin bir kısmı yeni yatırımlar gerektirebilir. Mesela, birim zaman içindeki üretim miktarı çok

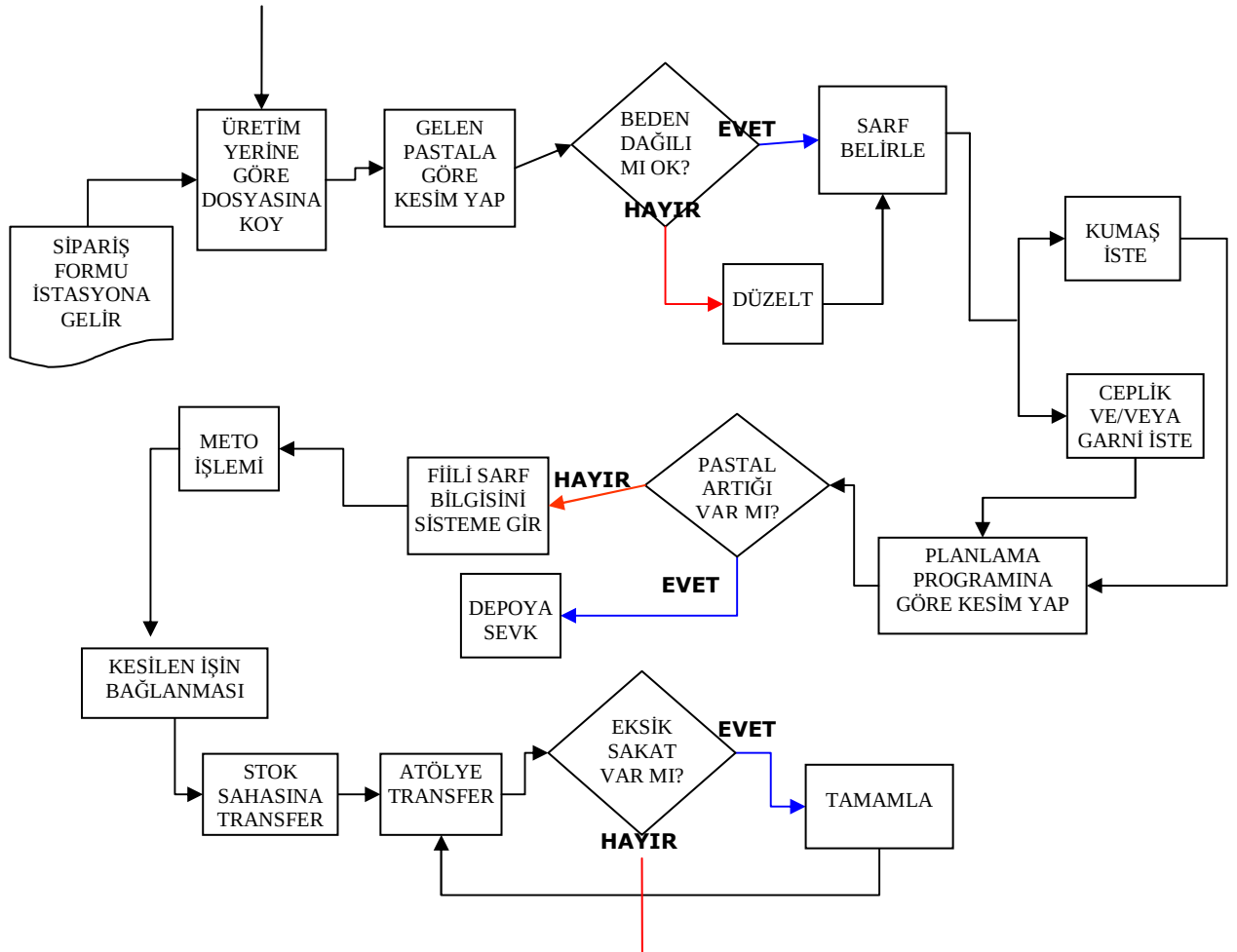
¹⁸ Kanawaty, G., **İş Etüdü**, çev., Akal, Z., MPM Yayınları, No:29, Ankara, 1997, s.290.

daha fazla olan yeni, modern makine parkı ve teçhizat çare olarak düşünülebilir. Buna karşılık, yeni bir yatırıma girmeksizin mevcut kaynakları daha verimli kullanmanın yollarını aramak, bulmak ve bunları uygulayarak prodüktiviteyi arttırmak olanağı da, daha zor olmakla beraber, vardır ki iş etüdü bunu sağlamak için etkin bir bilimdir.

Yani insan gücü verimliliğinin veya başka bir deyimle işçiden yararlanma yüzdesinin yükseltilmesi, üretim planlama ve kontrol fonksiyonlarının geliştirilmesi, yeni çalışma metotları bulunarak işin daha kolay ve çabuk yapılmasının sağlanması suretiyle elimizdeki kaynakların kullanma verimini arttırmak da söz konusudur. Ancak akla gelen her çarenin ekonomik bir süzgeçten geçirilmesi ve uzun vadede olabilecek etkileri de göz önüne alarak, karlı olanın uygulanması gerekir.

3.2. Mevcut Durumun Tespit Edilip İncelenmesi

Etüdü yapıldığı iş istasyonu, üretim programındaki siparişlerin, kesiminin yapılması ve kesilen parçaların dikim atölyelerine sevk edilecek düzene konan departmandır. Planlama departmanından dağılan sipariş modelhane ve kesimhane iniyor. Sipariş formunda, planlanan atölye yazılıyor. Kesimhane gelen sipariş üzerine beden dağılımını yapıyor. Pastalı gelen sipariş için kumaş istek formu yazılıyor, pastalda atölye, sipariş no ve model bilgisi var. Kumaş istek formu kumaş depoya gönderiliyor. Gelen kumaş üzerinde renk bilgileri var kumaş karışıklıkları önlemek için kalan kumaş formuyla geri gönderiliyor. Pastal masasına pastal seriliyor. Fazlalık kısımlar kesiliyor bedensel ayırım yapılıyor. Toplam boy alınıp makineye giriliyor, makine ayarları yapıp tek kat sermeden sonra tekrar pastal kontrolü yapılıyor. Ve ek yerler tebeşirle işaretleniyor kumaş hataları kesimde oralar dikkate alınıyor. Metolardan 20 adet var (değişik renklerden) bunlar pastal seriminde kesiciye, dikimde atölyeye kolaylık olsun diye kullanılıyor. Pastal katı belirlendikten sonra pastal serme makinesinde kumaş atılıyor. Kesim makinesiyle, kumaş kesiliyor ve meto atılıyor. Kumaş parçaları bağlanıp torbalanıp, etiketleniyor ve dikim atölyesinde alınmak üzere bekletiliyor. Her işlemde sipariş formu üzerinde işaretleme yapıp kontrol ediliyor.



Şekil 3.1. İş Akışı

3.3. İş Etüdünün Uygulanması

Kesimhane görev tanımları oluşturuldu ve organizasyon şeması çıkarıldı. İnsan gücü kullanımının belirlenmesi için; kesimhanede çalışan kişilerin tam listesi ve özellikleri çıkarıldı. Malzeme ve çalışanlara göre akış şemalarının oluşturulması amacıyla, kesimhanenin düzenini, tesisat ve donanımını gösteren yer krokisi çizdirildi. Kesimhanenin sorumlularına verimlilik çalışmaları hakkında bilgi verildi. İş akış süreçlerinin öğrenilmesi ve işlem tanımlarının ortaya konması amacıyla gözlemlere başlandı. İş akışı çıkarıldı.

Başlangıç olarak otomatik pastal serme, kesim, meto operasyonlarında iş etüdü yapılarak zaman etüdü için hazırlık yapıldı. Bu aşamalarda zaman kaybını önlemek amacı ile yapılabilecek olan fiziki değişiklikler düşünüldü ve departman şefine bilgi verildi. Operasyonlar işlemlere ayrılarak her bir işlem için zaman ölçümleri yapılmıştır.

İŞ AKIM ŞEMASI		İŞÇİ/MALZEME/DONATI TİPİ							
ŞEMA NO:	SAYFA NO:	ÖZET							
KONU:		ETKİNLİK	MEVCUT	ÖNERİLEN					
		İŞLEM 							
		TAŞIMA 							
		GEÇİKME 							
		YOKLAMA 							
		DEPOLAMA 							
İŞ:									
YÖNTEM:									
YER:									
İŞÇİ(LER)	KART NO:	UZAKLIK (m)							
		ZAMAN (adam-saat)							
ÇİZEN:		MALİYET							
ONAYLAYAN:		İşçilik							
		Malzeme							
		TOPLAM							
TANIM	Miktar	Uzaklık (m)	Zaman (dk)	SİMGE				AÇIKLAMALAR	
TOPLAM									

Şekil 3.3. Kullanılan zaman etüdü formu

Zaman Etüdü Yöntemi ile kronometre yardımıyla yapılan ölçümler ;

Operasyon Adı : Kumaş topunun bulunduğu alandan pastal serim makinesine taşınması.

İş Elemanı

Kumaşların kaydedilmeksizin geçici olarak depolanması.

Tasniflenmiş işlerin getirilmesi

Sembol



Gözlem No	Kumaş Topunun Pastal Makinesine Uzaklığı (mt)	Kumaşın Topunun Taşıma Zorluğuna Göre Derecesi	Taşıma Zamanı (sn.)	Matematiksel Model için Kullanılacak Ort. Değerler
1	40	1	33	
2	40	1	38	
3	40	1	36	
4	40	1	34	
5	40	1	35	35.20
6	40	2	55	
7	40	2	57	56
8	40	3	75	75
9	40	4	93	
10	40	4	94	
11	40	4	96	
12	50	1	64	
13	50	1	59	
14	50	1	63	
15	50	1	49	
16	50	1	47	
17	50	1	55	
18	50	1	52	
19	50	1	54	
20	50	1	57	
21	50	1	61	
22	50	1	62	56.64
23	50	2	77	77
24	50	3	99	
25	50	3	95	97
26	50	4	115	115
27	100	1	62	
28	100	1	67	
29	100	1	63	
30	100	1	63	
31	100	1	64	
32	100	1	65	
33	100	1	65	
34	100	1	65	
35	100	1	68	64.67
36	100	2	84	
37	100	2	86	85
38	100	3	102	102
39	100	4	122	

40	100	4	129	
41	100	4	126	125.67
42	150	1	87	
43	150	1	76	
44	150	1	77	
45	150	1	73	
46	150	1	74	
47	150	1	75	
48	150	1	84	
49	150	1	78	
50	150	1	77	
51	150	1	83	7840
52	150	2	92	
53	150	2	93	
54	150	2	96	
55	150	2	95	
56	150	2	93	93.80
57	150	3	117	117
58	150	4	138	
59	150	4	141	
60	150	4	133	
61	150	4	131	135.75
62	200	1	83	
63	200	1	90	86.50
64	200	2	101	
65	200	2	100	
66	200	2	102	101
67	200	3	129	
68	200	3	125	127
69	200	4	153	
70	200	4	155	
71	200	4	146	151.33
72	250	1	113	
73	250	1	112	
74	250	1	99	108
75	250	2	129	129
76	250	3	123	
77	250	3	127	
78	250	3	129	
79	250	3	135	
80	250	3	137	
81	250	3	139	
82	250	3	142	
83	250	3	145	
84	250	3	150	
85	250	3	150	
86	250	3	160	
87	250	3	165	
88	250	3	136	
89	250	3	184	144.43
90	250	4	90	
91	250	4	187	

92	250	4	191	
93	250	4	195	
94	250	4	167	
95	250	4	155	164.17

Operasyon Adı :Pastal çizimi üzerinde olan kumaş parçaların kesim işlemi.

İş Elemanı

Sembol

Üzerinde pasatlı çizimi bulan kumaşın kesim alanında bekletilmesi

Kesim işlemi



Gözlem No	Pastal Üzerindeki Parça sayısı	Kumaş Katı	Kesme Zamanı (sn.)
1	4	20	44
2	4	52	200
3	4	104	180
4	6	104	357
5	7	22	278
6	8	64	359
7	11	33	440
8	11	34	442
9	11	38	458
10	11	76	495
11	13	72	555
12	13	102	682
13	16	22	446
14	16	34	438
15	16	38	500
16	17	16	709
17	17	34	426
18	17	38	482
19	17	64	763
20	17	72	724
21	17	80	682
22	17	86	660
23	17	92	662
24	17	104	750
25	18	40	518
26	18	44	585
27	18	72	769
28	18	86	679
29	18	92	662
30	20	100	730
31	21	76	840
32	21	80	803
33	22	104	813
34	23	104	823
35	23	110	1027
36	25	44	535
37	25	80	883

38	25	104	849
39	25	110	1052
40	26	33	460
41	26	64	949
42	26	88	808
43	26	90	783
44	26	108	1011
45	27	72	960
46	35	102	1099
47	42	104	1720
48	42	88	518
49	54	94	445
50	100	100	1381
51	124	100	2039
52	130	104	720
53	160	104	2160

Operasyon Adı :Pastal makinesinde kumaş atım işlemi

İş Elemanı

Kumaşın makinaya yerleştirilmesi

Serim işlemi

Sembol



Gözlem No	Pastal (Çizim) Boyu	Kumaşın Serim Zorluk Derecesi	Serim Zamanı (sn.)
1	956	1	335
2	945	1	326
3	415	1	215
4	860	1	309
5	605	1	148
6	800	1	263
7	380	2	149
8	500	2	300
9	700	2	485
10	613	3	376
11	500	1	170
12	1000	1	359
13	300	2	112
14	1084	2	535
15	945	2	278
16	500	3	305
17	750	3	425
18	800	2	425
19	1050	3	678
20	300	1	109
21	750	1	234
22	625	1	154
23	600	2	405

3.4. Yenilenen Durumun Korunması ve Devamının Sağlanması

Yeni yerleşim planından da gerçekleşen iş dakikasının uzamasına sebep olan makine arası mesafeler iş akışlarına göre değiştirilmiş olup taşıma süreleri en aza indirgenmiştir. Makinede çalışan işçilerin ise; ne kadar sürede, ne miktar üretecekleri hesaplanıp verilerek hedefleri belirlenmiştir. Yerleşim planından yapılan değişimler : Departmanındaki havalandırma sistemini yenilenmiştir. Departmanındaki kumaş tozlarından oluşan çevre kirliliğinin giderilmesine gerçekleştirilmiştir. Otomatik pastal serme ve kesim masalarının çevresinde bulunan ve artık parça kumaşları atmak için kullanılan çöp kovalarının sayısının fazlalığı dikkat çekmiş ve bunun ortamdaki hareket kabiliyetini düşürdüğü gözlenmiştir. Bunların değiştirilmesine karar verilmiş ve bu çerçevede yeni dizayn edilen tekerlekli, kolayca hareket edebilen çöp kovalarından numune olarak yaptırılmış. Yapılan gözlemlerde bu değişikliğin yararlı olduğu gözlenmiş ve sayısının artırılmasına karar verilmiştir.

Bu doğrultuda insan etmeninin nasıl bir program çerçevesinde kullanılacağı saptanmış olmaktadır. Firmanın ürettiği ürünlerin, sipariş alımından sevk edilmesine kadar öngörülen bir plan yapılmış olur. Fakat optimum denge sağlandıktan sonra, yenilenmiş mevcut durumun korunması gerekmektedir. Uygulamanın bu aşamasında iş ölçümü çalışması belli bir standarda oturturulmuştur. Bir sonraki aşama ise; günün belirli saatlerinde belirlenen kapasiteye göre işçiler yaptıkları işe göre kontrol edilirler. Bu kontroller, gün bitiminde olması gereken kapasiteye ulaşılmaya çalışılırken oluşabilecek aksaklıkları yerinde ve zamanında müdahale etme olanağı sağlar.

Son olarak işçiler her gün ürettikleri miktarlar doğrultusunda bir performans değerlendirmeye tabi tutulurlar. Bu değerlendirme onları, otokontrole sürükler ve kontrol amaçlı başka elemanlara olan ihtiyacı önlemiş olur. Performans değerlendirmeyi yapmadaki amaç; tekstil sektöründe yapılan iş zaman etüdlerini daha etkili bir hale getirmek için, bu çalışmanın bir parçası olan ödüllendirme ve cezalandırma sistemine istinaden “Özendirici Ücret Sistemleri”ne geçebilmektir. Yapılan bu uygulama sonucu da böyle bir çalışma yapılmış ve üst yönetime sunulmuştur. Bu çalışmanın mantığı primlendirme sistemine dayanmaktadır. Çalışan öncelikle hak ettiği parayı alır. Onun

üzerine fazladan gösterdiği her performans artışı için, gösterdiği gayret ile doğru orantılı olarak prim hak kazanır.

Tablo 3.1. Yeni operasyonlar ve standart süreler

TANIM	SABIT_ZAMAN	STANDART_ZAMAN	HATA_ZAMAN
OTOMAT PASTAL SERİM/TEK YUZ	430 sn	Metraj*4 sn	30 sn
OTOMAT PASTAL SERİM/CİFT KAT	430 sn	Metraj*2 sn	30 sn
0-60 KAT KESİM	her işlem için 120	Parça * 26 sn	
60-120 KAT KESİM	her işlem için 120	Parça * 39 sn	
METO	her işlem için 120	Parça * 0,6 sn	
MANUEL_PASTAL TEKYUZ	300	Metraj * 25 sn K. Fark	
MANUEL_PASTAL CİFTKAT	300	Metraj * 20 sn. Normal	
DEGERLENDIRME	300	Metraj * 25 sn	-
CEPLIK_KESİM	her işlem için 120	Parça * 30 sn	
CEPLIK_ATIM	200	Metraj * 17 sn	

Tablo 3.2. Verim hesaplamasında kullanılacak formülasyonlar

Pastal serim : (Forkliftten kumaş koyma, Pastal hazırlama, Makine hazırlama SBT ZAMAN 430 SN)+(Metraj * std. Serim zamanı) - (Hata sayısı*Std. Hata süresi)

Kesim : 120 sn + Parça sayısı * std. Süre

Meto : 120 sn + Kesimden alınan parça sayısı * 0,6 sn * kumaş serim kat ortalaması

4. MATEMATİKSEL MODEL OLUŞTURMA

4.1. Cevap Yüzeyi Metodu (Response Surface Method)

RSM (cevap yüzeyi metodu), istatistiksel tasarım deneyimlerine dayanan bir model geliştirme tekniğidir. Cevap yüzeyi yöntemi ilk olarak Box ve Draper tarafından fiziksel deney sonuçlarına model uydurmak için tasarlanmıştır. Cevap yüzeyi yöntemini, 1988-1990 yıllarında Taguchi ve Myers & Montgomery deney dizayn etme yöntemi ile birlikte kullanmışlardır. Cevap yüzeyi metodu, 1992-1994 yıllarında kalite kontrol ve kalite geliştirme alanlarında ve 1995 yılında nümerik analiz yöntemlerinin optimize edilmesi için kullanılmıştır.

Matematiksel ve istatistiksel tekniklerin beraber çalışması ile ortaya çıkan ve bağımsız değişkenlerin bir bağımlı değişkeni (çıktıyı) etkilediği problemlerde, çıktıyı optimize etmek üzere kullanılan bir tekniktir.(Akhun,2001,s2) İstatistiksel ve deneysel tasarım metodu olan RSM (cevap yüzeyi yöntemi), sistemin yanıtlarının yanısıra tasarımın hedeflerine varıp varmadığının izlemek için belirlenmiş olan değerlendirme ölçütünün; kontrol edilemeyen ve tasarım parametrelerinde istenmeyen sapmalara yol açan bozuntulardan etkilenme seviyesi hakkında da bilgi sağlamaktadır. Bu bilgilerin kullanımıyla tasarımcı bozuntu “noise” etkilerinin asgariye indirilmesi sağlayacak Emin Tasarım “Robust Design” yapma imkanına kavuşabilmektedir.

RSM kullanımı;

- Faktör seviyelerinin sınırlarını belirlemek; arzu edilen özelliklerin hesaplanarak tatmin edici setin ortaya konmasını sağlayacaktır.
- Faktörlerin optimum kombinasyonun sınırlarının belirlemek; istenen cevap alanın ve optimuma en yakın cevabın ortaya konmasını sağlayacaktır.
- Spesifik bir cevabın sınırlarını belirlemek; faktörlerin seviyelerindeki değişimlerden etkilenir.
- İşlem kararlılığı için şartların bulunması = ölü noktanın ortaya konmasını sağlar.

RSM kullanım limitleri;

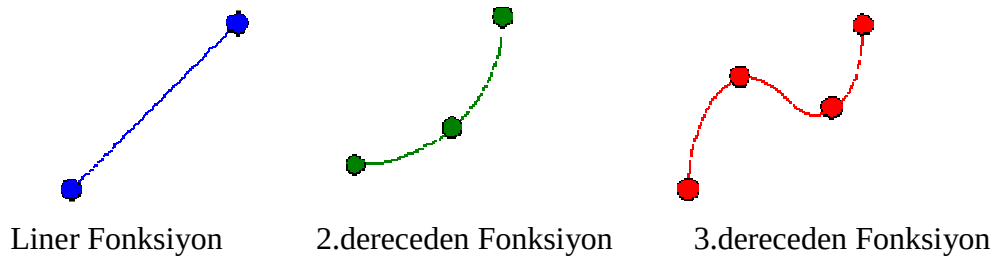
- Faktörlerdeki büyük değişimler yanlışlıklara (sapmalara) neden olabiliyor. (hata, öngerilim, replikasyon olmaması)
- Kritik faktörler doğru olarak tanımlanamaya biliniyor.
- Faktörlerin alan seviyelerinin genişlemesinden veya daralmasından dolayı optimumun ortaya konulmaması söz konusu olabiliyor.

Tablo.4.1. Tasarım Seçim Tablosu

Faktör Sayısı	Karşılaştırmalı Yöntem	Tarama Yöntemi	Yanıt Yüzeyi Yöntemi
1	1-Faktör randomize dizaynı	-	-
2-4	Blok tasarım randomizesi	Tamamı veya küçük bir kısım faktörlerle	Merkezi birleşim veya Box-Behnken
5 veya daha fazla	Blok tasarım randomizesi	Plackett-Burman	Faktör sayının azaltılması için tarama

Birçok Cevap Yüzeyi problemlerinde çıktı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki bağıntı bilinmez. Bu yüzden yapılacak ilk işlem uygun bir model bulmaktır. Kullanılacak deneysel veriler ile ilk olarak liner model uygulanır. Daha sonra en uygun bulunana kadar polinomun derecesi artırılır.

Faktör ayarlarına göre olası fonksiyon davranışları;



4.2. Cevap Yüzeyi Metodunun Uygulanması

RSM uygulamak için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. MATLAB yazılımında C benzeri programlama dili kullanılarak bir program hazırlanmıştır. Program eğer yeterince veri mevcutsa, 10.dereceden polinomal oluşturma yeteneğine sahiptir. Modeldeki bütün geçiş terimleri hesaba katılabilir ve parametrelerin ters terimlerinden (x_i yerine $1/x_i$) de model oluşturula biliniyor.

Programa bazı ön bilgi girişlerinin yapılması gerekmektedir. Programa, değişken sayısı (NumVar), yapılan deney sayısı (NumTrainSet) ve sonuçları test etmek için kullanılacak olan deney sayısı (NumCheckSet) girişleri yapılır. Elimizdeki deney sayısına göre fonksiyon seçimi (ModelOrder) yapılmalıdır. Fonksiyon seçimleri;

ModelOrder=1 : "Linear",	Liner Fonksiyon
ModelOrder=2 : "Parabolic",	Parabolik Fonksiyon
ModelOrder=3 : "Cubic",	Kübik Fonksiyon
ModelOrder=4 : "4th order",	4.dereceden Fonksiyon
ModelOrder=5 : "5th order",	5.dereceden Fonksiyon
ModelOrder=6 : "6th order"	6.dereceden Fonksiyon
ModelOrder=7 : "7th order",	7.dereceden Fonksiyon
ModelOrder=8 : "8th order",	8.dereceden Fonksiyon
ModelOrder=9 : "9th order",	9.dereceden Fonksiyon
ModelOrder=10 : "10th order"	10.dereceden Fonksiyon

Değişkenlerin sonuçla aralarında doğru veya ters orantı olduğu, kullanılacak olan modelin tipi ve backward pres eliminasyonunun kullanılıp kullanılmayacağı bilgilerinin girişi yapılır.

ReciprocalFlag=[0 0];..ReciprocalFlag (0; NoReciprocal (x_i :0), 1;YesReciprocal ($1/x_i$))
 ModelType=1;.....ModelType=1 (Polynomial), ModelType=2 (Logarithmic)
 Backpress=0;.....1=Use Backward Press elimination, 0=Do not use BPRESS

Ön girişlerden sonra, programa deney ve kontrol setlerinin girişi yapılır;

%1.Gözlem	% 1.Check Set
TSET(1, 1)=4;	CSET(1, 1)=17;
TSET(1, 2)= 20;	CSET(1, 2)=104;
TVALUE(1)=44;	CVALUE(1)=750;

Program çalıştırıldıktan sonra ResponseSurfaceResults (cevap yüzeyi sonuçları) dosyasını oluşturur. Oluşan dosyada, gerçek değer ile kullanılan model sonucu elde edilen değerleri, değerler arasındaki yüzde hata oranı ve bu hata oranının en yüksek olduğu deney setinin bilgisi mevcut olacaktır;

TrainApproximate (programın oluşturduğu sonuç)
 TrainTest (girişi yapılan gözlem değeri)
 MaxTrainError (deney setindeki hata oranı)
 MaxCheckError% (kontrol setindeki hata oranı)
 MaxTrainErrorIndex (hata %en yüksek olduğu set)
 MaxCheckErrorIndex (hata %en yüksek olduğu kontrol seti)

4.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Adından da anlaşıldığı üzere, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçası olan genetik algoritma Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Herhangi bir problemin genetik algoritma ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek suretiyle yapılmaktadır. Evrimsel hesaplama ilk olarak 1960'larda I.Rechenberg tarafından "Evrimsel Stratejileri (Evolutionstrategie)" isimli eserinde tanıtılmıştır. Onun fikri daha sonra başka araştırmacıların da ilgisini çekmiş ve geliştirilmiştir. John Holland evrim sürecinin bir bilgisayar yardımıyla kullanılarak, bilgisayara anlayamadığı çözüm yöntemlerinin öğretilebileceğini düşündü. Genetik Algoritma (GA) böylece John Holland tarafından bu düşüncenin bir sonucu olarak bulundu. Onun öğrencileri ve arkadaşları tarafından geliştirildi ve bu sayede Holland'ın kitabı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaption in Natural and Artificial Systems)" 1975 yılında yayınlandı. 1992 yılında

John Koza genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirdi. Bu metoda Genetik Programlama adını verdi.

Genetik algoritma geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok genel anlamda genetik algoritmanın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemleridir. Mühendislik problemlerinde optimizasyon amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle mekanizma tasarımında çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bunlardan başka otomatik programlama, öğrenme kabiliyetli makineler, ekonomi, ekoloji, planlama, üretim hattı yerleşimi gibi alanlarda da uygulanmaktadır.

Genetik Algoritmanın Aşamaları:

1. Başlangıç: n adet kromozom içeren popülasyonun oluşturulması (problemin uygun bir çözümü)
2. Uyumluluk: her x kromozomu için uyumluluğun $f(x)$ değerlendirilmesi,
3. Yeni popülasyon: Yeni popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımların tekrar edilmesi,
 1. Seçim: İki ebeveyn kromozomun uyumluluğuna göre seçimi (daha iyi uyum seçilme şansını artırır.),
 2. Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanması. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni fert anne veya babanın kopyası olacaktır.
 3. Mutasyon: Yeni ferdin mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu (lokus) değiştirilir.
 4. Ekleme: Yeni bireyin yeni popülasyona eklenmesi.
4. Değiştirme: Algoritmanın yeniden çalıştırılmasında oluşan yeni popülasyonun kullanılması,
5. Test: Eğer sonuç tatmin ediyorsa algoritmanın sona erdirilmesi ve son popülasyonun çözüm olarak sunulması.
6. Döngü: 2. adıma geri dönülmesi.

Görüldüğü üzere genetik algoritmanın yapısı oldukça geneldir ve herhangi bir probleme uygulanabilir. Kromozomların tanımlanması genellikle ikili düzendeki sayılarla yapılır. Çaprazlama işlemi için kullanılan bireyler iyi bireylerden seçilir.

GA kullanılarak bir problem çözülecekse algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. GA'nın belli bir sonlanma kriteri yoktur. Sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması algoritmanın durması için kriter olarak kullanılabilir.

4.4. Genetik Algoritmanın Uygulanması

Bu çalışmada, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerden biri olan Genetik Algoritma (GA) tekniği uygulanması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır.

Algoritma ilk olarak popülasyon diye tabir edilen bir çözüm(kromozomlarla ifade edilir) seti ile başlatılır. Bir popülasyondan alınan sonuçlar bir öncekinden daha iyi olacağı beklenen yeni bir popülasyon oluşturmak için kullanılır. Yeni popülasyon oluşturulması için seçilen çözümler uyumluluklarına göre seçilir. Çünkü uyumlu olanların daha iyi sonuçlar üretmesi olasıdır. Bu istenen çözüm sağlanıncaya kadar devam ettirilir.

Programda, gözlem kısıtlarımıza alt ve üst sınırlar vererek işlem için optimum kısıtlarla optimum sonuca ulaşmak hedeflenir.

Herbir kısıt için;

range = [X₁ üst ve alt sınır ; X₂ üst ve alt sınır] değerleri programa girilir.

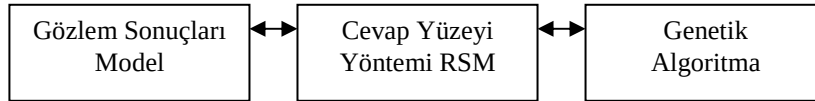
Programda algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir;

generation_n = 500

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir işletmenin kuruluş amaçlarından biri ve en önemlisi verimliliğidir. Bu nedendir ki üst kademe yöneticisinin ana hedeflerinden biride işletmenin verimliliğini bir bütün olarak arttırmaktır. Bu çabaya katkısı olan tekniklerden en önemlisi iş etüdüdür. İş etüdü uygulamaları sonunda sağlanan tasarruflar hemen kendisini gösterir. Bu da yapılan çalışmanın ekonomik olduğunun ifadesidir. Böylelikle pek çok kişi psikolojik yönden kamçılanarak daha dikkatli ve metodik çalışmaya doğru yöneltilir.

Yapılan gözlemler, cevap yüzeyi metodu ile model oluşturarak genetik algoritma yöntemi ile de optimizasyonu sağlanmıştır. Gözlemler sonucu, verimlilik açısından ortaya konan gözlemleri doğrulamak ve optimum sürenin oratay çıkması için kullanılmıştır.



Elde edilen deney sonuçları cevap yüzeyi yönteminde (RSM) her denklem durumu için denenmiştir. gözlem sonuçlarından aynı olan değerler için ortalama süreler bulunmuş ve bu sonuçlar deney setine girilmiştir.

Tablo.5.1. Kumaş topunun bulunduğu alandan postal serim makinesine taşınması

Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]
MaxTrainError %	30.279	22.560	22.966	7.400	2.608
MaxCheckError %	4.179	3.817	3.141	27.206	4.613
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]
MaxTrainError %	36.146	22.678	21.277	7.189	1.894
MaxCheckError %	13.948	3.676	4.431	37.493	3.592
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]
MaxTrainError %	13.772	15.603	10.107	7.754	31.415
MaxCheckError %	20.400	13.074	6.683	2.538	35.233
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]
MaxTrainError %	26.676	15.568	9.761	7.810	2.767
MaxCheckError %	23.942	13.120	7.272	1.816	104.893

Tablo.5.2. Pastal çizimi Üzerinde olan kumaş parçaların kesim işlemi

Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order	6th order	7th order
Reciprocal [2]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]
MaxTrainError %	660.732	266.946	397.483	165.273	6.666	2.338	1.328
MaxCheckError %	46.541	51.201	43.504	21.904	2.948	3.957	5.449
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order	6th order	7th order
Reciprocal [2]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]
MaxTrainError %	522.134	249.330	241.934	76.284	22.409	8.227	8.833
MaxCheckError %	48.971	48.568	42.826	41.405	23.593	12.855	1.398
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order	6th order	7th order
Reciprocal [2]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]
MaxTrainError %	559.062	85.092	158.312	130.452	119.284	74.492	40.893
MaxCheckError %	41.434	34.731	32.900	36.370	50.321	91.530	71.193
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order	6th order	7th order
Reciprocal [2]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]
MaxTrainError %	656.461	325.752	163.426	158.161	116.973	76.120	45.608
MaxCheckError %	45.953	37.256	35.160	38.037	49.717	94.327	88.208

Tablo.5.3. Pastal makinesinde kumaş atım işlemi

Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]	[0 0]
MaxTrainError %	58.556	64.126	49.006	53.187	4.902
MaxCheckError %	36.203	47.536	44.378	51.973	3.885
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]	[0 1]
MaxTrainError %	80.813	66.156	60.878	54.832	42.184
MaxCheckError %	64.313	48.163	36.957	17.860	44.031
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]	[1 0]
MaxTrainError %	70.058	66.129	47.527	52.799	49.021
MaxCheckError %	33.118	45.177	38.035	51.662	38.855
Model Order	Linear	Parabolik	Cubic	4th order	5th order
Reciprocal [2]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]	[1 1]
MaxTrainError %	92.524	67.577	60.181	54.894	42.184
MaxCheckError %	60.779	46.061	35.487	17.206	44.031

Kumaş topunun bulunduğu alandan postal serim makinesine taşınması işlemi için genetik algoritma sonuçları ;

$$40 \leq X_1 \text{ (Kumaş Topunun Postal makinesine Uzaklığı (mt))} \leq 250$$

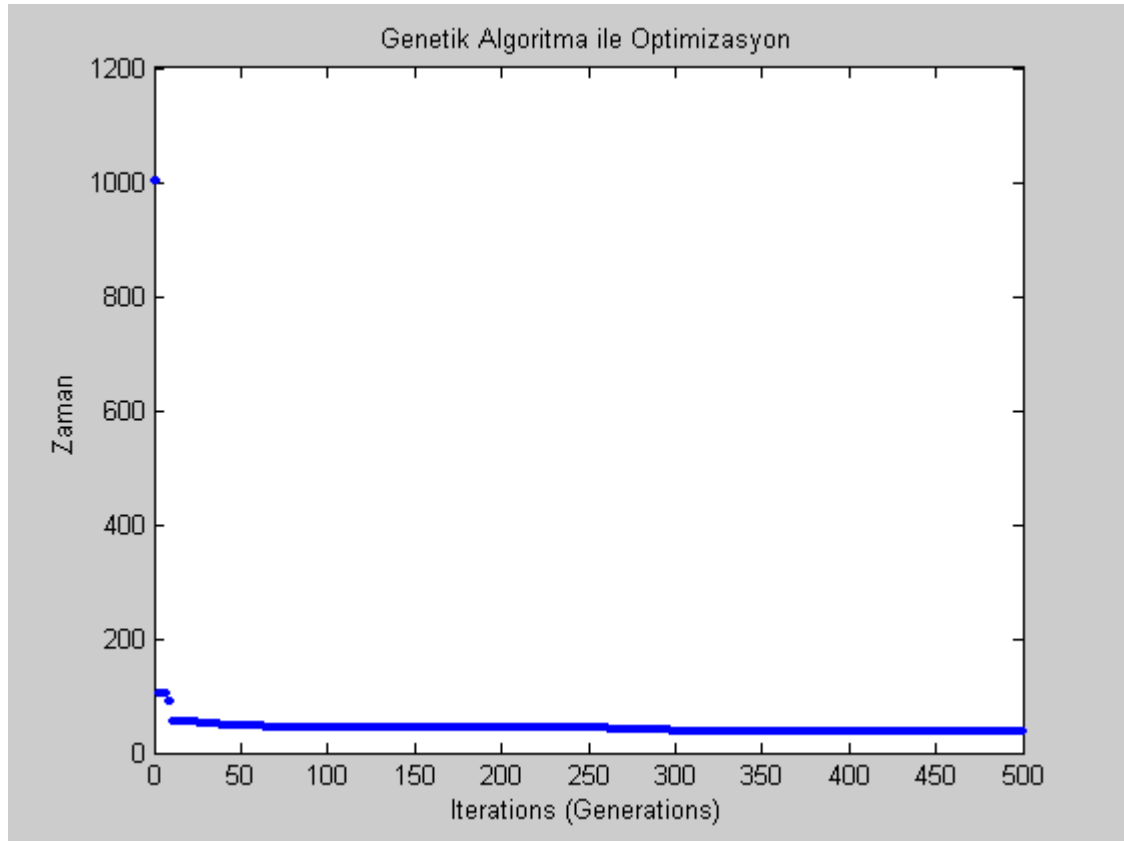
$$1 \leq X_2 \text{ (Kumaşın Topunun Taşıma Zorluğuna Göre Derecesi) } \leq 4$$

generation_n = 500 için;

Amaç: Kumaş topunun bulunduğu alandan postal serim makinesine taşınması işlemi süresinin minimize etmek.

Sonuç : $x = 40.0000 \ 1.0000$ Optimum Gözlem Değeri = 35.4043 saniye

Yapılan gözlem örneği : $x = 40.0000 \ 1.0000$ Zaman = 37 saniye



Kumaş taşıma zamanının optimizasyon ile değişimi

Pastal çizimi Üzerinde olan kumaş parçaların kesim işlemi için genetik algoritma sonuçları ;

$$\leq X_1 \text{ (Pastal Üzerindeki Parça sayısı)} \leq$$

$$\leq X_2 \text{ (Kumaş Katı)} \leq$$

generation_n = 500 için;

Sonuç : $x = 44.4288 \ 110.0000$ Optimum Gözlem Değeri = $-1.3509e+031$

Zamanın eksi olması söz konusu olamaz optimum noktanın ortaya konamaması; kısıtlara sınır getirilememesindendir.

Pastal makinesinde kumaş atım işlemi için genetik algoritma sonuçları ;

$$1 \leq X_1 \text{ (Kumaşın Serim Zorluk Derecesi)} \leq 3$$

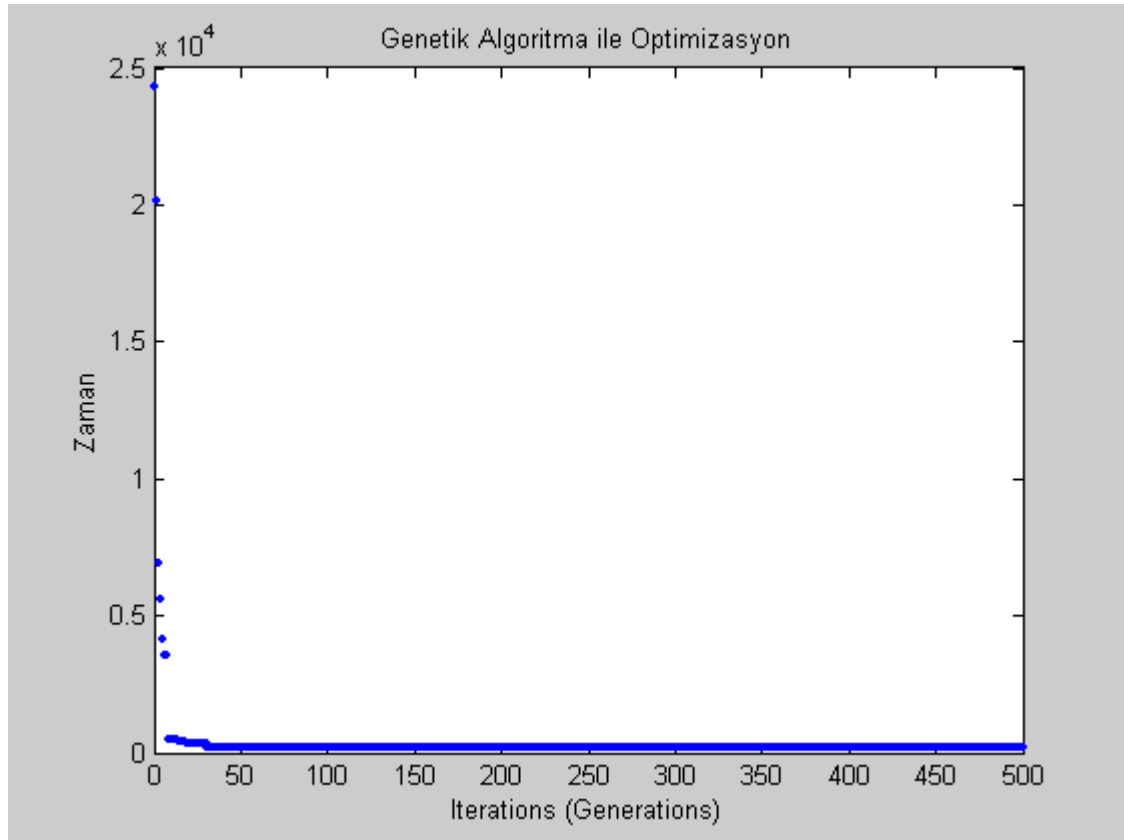
$$300 \leq X_2 \text{ (Pastal (Çizim) Boyu)} \leq 1084$$

Amaç : Kumaş atım işlem süresinin minimize edilmesi

generation_n = 500 için;

Sonuç : $x = 1.0000 \ 584.0392$ Optimum Gözlem Değeri = 153.8885 saniye

Yapılan gözlem örneği : $x = 1.0000 \ 415.0000$ Zaman = 215 saniye



Kumaş atım işlemi zamanının optimizasyon ile değişimi

KAYNAKLAR

- Acar, N., **Üretim Planlaması ve Uygulamaları**, MPM Yayınları, No: 280, Ankara, 1998.
- Akal, Z., **İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi**, MPM Yayınları, No: 473, Ankara, 1996.
- Akgüç, Ö., **Ekonomide Gerçeği Arayış**, Bağlam Yayınları, İstanbul, 1991.
- Ataay, İ. D., **İşletmelerde İnsan Gücü Verimliliğini Etkileyen Faktörler**, MESS Eğitim Kitaplar Serisi, İstanbul, 1989.
- Baş, İ. M. ve Artar, A., **İşletmelerde Verimlilik Denetimi**, MPM Yayınları, No: 345, 1991.
- Barnes, M. R., **Work Sampling**, John Wiley and Sons, ABD, 1961.
- Baykal, O., Atalay, N., Fidan, F., **Verimlilik Yönetimi El Kitabı**, MPM Yayınları, No: 476, Ankara, 1995.
- Develioğlu, F., **İmalat Sanayindeki İşletmelerde Verimlilik Arttırma Teknikleri ve Bir Uygulama**, İÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2001.
- Dinç, Ö., **İş Etüdü Teknikleri ve İş Ölçümü Uygulamaları**, KOÜ Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2000.
- Doğan, A., **Yönetebilmenin En Önemli Aracı; İş Etüdü**, Anahtar Dergisi, Sayı:117, Ankara, 1998.
- Durgun, Y., **İş Etüdü – İş Ölçümü Teknikleri ve Tekstil Sektöründe Bir Uygulama**, KOÜ Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2000.
- Eren, E., **Yönetim ve Organizasyon**, İÜ İşletme Fakültesi Yayınları, No: 236, İstanbul, 1991.
- Erkut, H., **Verimlilik ve Özendirme**, Verimlilik Dergisi, MPM Yayınları, Ankara, 1992.
- Evans, R. J., **Production/Operations Management Quality, Performans and Value**, West Publusing Company, ABD, 1997.
- Gülmez, İ., **Verimlilik ve Karlılık**, Verimlilik Dergisi, MPM Yayınları, Sayı:1, Ankara, 1971.
- Himmetoğlu, B., **İş Etüdü ve Metod Geliştirme**, EÜ İİBF Yayınları, İzmir, 1972.
- Hoffman, R. T., **Production/Operations Management**, ABD, 1993.
- Kanawaty, G., **İş Etüdü**, (Çev). Akal, Z., MPM Yayınları, ILO:29, Ankara, 1997.
- Karayalçın, İ., **Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi**, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1986.

- Kavrakoğlu, İ., **Verimlilik ve Özendirme**, Verimlilik Dergisi, Özel Sayısı, Ankara, 1992.
- Kobu, B., **Üretim Yönetimi**, İÜ Yayınları, İstanbul, 1982.
- Krajewski, L. J. and Rutzman, L. P., **Operations Management Strategy and Analysis**, Addison – Wesley Publishing Company, ABD, 1993.
- Kurumer, G., **Yönetici Gözüyle Hazır Giyim İşletmelerindeki İşçi Verimliliğini Etkileyen Faktörlerin Araştırılması**, Konfeksiyon & Teknik Dergisi, İzmir, 1998.
- Kuruüzüm, O., **Verimliliği Arttırmada İş Etüdü Teori ve Uygulamaları**, İTÜ Yayınları, İstanbul, 1992.
- Mundel, M. E., **Motion and Time Study**, Prentice Hall, Engwood Cliffs, ABD, 1978.
- Öncer, M., Özkanlı, Ö., **Ülkemiz İşletmelerinde İş Etüdü Tekniklerinin Uygulanma Düzeyi**, MPM Yayınları, No: 576, Ankara, 1996.
- Öney, E., **Verimlilik Kavramları ve Ölçülmesi**, AÜ SBF Yayınları, Ankara, 1968.
- Özdiñç, A., **Endüstride Prodükdivite Ölçme Metodları**, MPM Yayınları, No: 38, Ankara, 1969.
- Özdamar Serpil, “Endüstriyel İlişkiler ve Verimliliğin Önemi”, Türkiye’de Endüstriyel ilişkiler ve Verimlilik Semineri notları, M.P.M Yay. 376 ,Ankara, 1988.
- Usta Perihan , “Verimlilik, Verimlilik Artırıcı Teknikler ,Verimlilik Artırıcı Tekniklerin Daha Yaygın Kullanılması İçin Tedbirler”, Akçimentosa aylık iletişim dergisi, Sayı 9, Eylül 1996.
- Peters, T. J., Waterman, R. H., **Yönetme ve Yükseltme Sanatı**, (Çev.). Sorgut, S., Altın Kitaplar Serisi, İstanbul, 1995.
- Prokopenko, J., **Verimlilik Yönetimi**, (Çev.). Baykal, O., Atalay, N., Fidan, E., MPM Yayınları, No: 476, Ankara, 1992.
- REFA/MPM, **İş Etüdü Yöntem Bilgisi**, İş Etüdünün Temelleri Kitapları, Ankara, 1998.
- Saygılı, İ., **Üretim Yönetiminin Fonksiyonları**, İÜ İİBF Yayınları, İstanbul, 1991.
- Stevenson, J. W., **Production/Operations Management**, ABD, 1993.
- Sumanth, D., **Productivity Engineering and Management**, McGraw Hill Book Co., ABD, 1986.
- Tanyaş, M., **Endüstri Mühendisliğine Giriş**, İrfan Yayınları, İstanbul, 2000.
- Tekin, M., **Üretim Yönetimi**, Arı Ofset, Konya, 1996.
- Tezeren, A., **İmalat Sanayinde Verimliliği Etkileyen Faktörler**, MPM Yayınları, No: 319, Ankara, 1985.
- Weiss, H. J., Gerson, M. E., **Production and Operations Management**, ABD, 1993.

Wild, R., **Production Management**, Halt, Rinehart and Winston Ltd., Great Britain, 1971.

<http://www.insankaynaklari.com/bireyler/trends/makale/calisanlarapara.asp.2002>.

<http://www.students.itu.edu.tr/ergonomi/bilbank.2003>.

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri33.htm>

http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2001/ekim/Genetik_Algoritma.htm

ÖZGEÇMİŞ

Sinem ÇELİK, 1979 yılında İstanbul'da doğdu. Orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1997 yılında giriş yaptığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliğini Bölmünü'nden 2001 yılında mezun oldu. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen özel bir tekstil firmasında Bilgi İşlem departmanında çalışmaktadır.

EK1: CEVAP YÜZEYİ METODUNUN MATLAB PROGRAMI

```
% Program: RESPONSE SURFACE METHODOLOGY implementation
% This program creates Polynomial Response Surface
% =====
% ===== USER INPUT: PART-1 =====
% =====

% Enter Number of Variables, Train Data Sets and Check Data Sets
global BETA ModelOrder ModelType NumVar

NumVar=2;
NumTrainSet=22;
NumCheckSet=2;

% Select the ORDER of Polynomial Response Surface by Model Order
% ModelOrder=1 : "Linear", ModelOrder=2 : "Parabolic",
% ModelOrder=3 : "Cubic", ModelOrder=4 : "4th order",
% ModelOrder=5 : "5th order", ModelOrder=6 : "6th order"
% ModelOrder=7 : "7th order", ModelOrder=8 : "8th order",
% ModelOrder=9 : "9th order", ModelOrder=10 : "10th order"

ModelOrder=5;
ReciprocalFlag=[0 0]; % Reciprocal Flag (0= No Reciprocal, 1=Yes Reciprocal)
ModelType=1; % ModelType=1 (Polynomial), ModelType=2 (Logarithmic)
Backpress=0; % 1=Use Backward Press elimination, 0=Do not use BPRESS

% =====
% =====END OF USER INPUT: PART-1 =====
% =====
```

```

NumTerm=1;
for i=1:ModelOrder
    fact=1;
    for j=NumVar:NumVar+i-1
        fact=fact*j;
    end
    fact=fact/factorial(i);
    NumTerm=NumTerm+fact;
end
NumTermNeeded=NumTerm;
fprintf('Number of Data Set Needed is :%i\n\n',NumTermNeeded)

if ModelOrder>10
    error('Maximum order allowed for rsmodel has been exceeded!!!');
end

% Memory allocation
TSET=zeros(NumTrainSet,NumVar);
TCOEFF=zeros(NumTrainSet,NumTerm);
TTPOZE=zeros(NumTerm,NumTrainSet);
X=zeros(NumVar,1);
TVALUE=zeros(NumTrainSet,1);
Fiterror=zeros(NumTrainSet,1);
Tdeviate=zeros(NumTrainSet,1);
Cdeviate=zeros(NumCheckSet,1);
CSET=zeros(NumCheckSet,NumVar);
CVALUE=zeros(NumCheckSet,1);
Capprox=zeros(NumCheckSet,1);
Approxerror=zeros(NumCheckSet,1);
A=zeros(NumTerm,NumTerm);
B=zeros(NumTerm,1);
% BETA=zeros(NumTerm,1);

```

```

% =====
% ===== USER INPUT: PART-2 =====
% =====

%1.Gozlem
TSET(1, 1)=40 ;
TSET(1, 2)= 1;
TVALUE(1)=35,2;

%2.Gozlem
TSET(2, 1)=40;
TSET(2, 2)=2;
TVALUE(2)=56;

% *****
% *****

% Check Set
CSET(1, 1)=100;
CSET(1, 2)=1;
CVALUE(1)=65;

CSET(2, 1)=150;
CSET(2, 2)=2;
CVALUE(2)=94;

% =====
% =====
% ===== END OF USER INPUT: PART-2 =====
% =====

if NumTrainSet<NumTerm
    error('Data is insufficient to create the model!!!');
end

```

```

if ModelType==1
    for i=1:NumTrainSet
        for j=1:NumVar
            if ReciprocalFlag(j)==1
                if TSET(i,j)==0
                    error('Reciprocal of zero Training value can lead to infinity!!!');
                else
                    TSET(i,j)=1/TSET(i,j);
                end
            end
        end
    end
end

for i=1:NumCheckSet
    for j=1:NumVar
        if ReciprocalFlag(j)==1
            if CSET(i,j)==0
                error('Reciprocal of zero Check value can lead to infinity!!!');
            else
                CSET(i,j)=1/CSET(i,j);
            end
        end
    end
end

if ModelType==2
    for i=1:NumTrainSet
        if TVALUE(i)<=0
            error('Negative or zero Training value can not be used with logarithmic scale!!!');
        else
            TVALUE(i)=log(TVALUE(i));
        end
    end
end

```

```

    for j=1:NumVar
        if TSET(i,j)<=0
            error('Negative or zero Training variable can not be used with logarithmic
scale!!!');
        else
            TSET(i,j)=log(TSET(i,j));
        end
    end
end

for i=1:NumCheckSet
    for j=1:NumVar
        if CSET(i,j)<=0
            error('Negative Check variable can not be used with logarithmic scale!!!');
        else
            CSET(i,j)=log(CSET(i,j));
        end
    end
end

for i=1:NumTrainSet
    TCOEFF(i,1)=1;
end

for NS=1:NumTrainSet
    for i=1:NumVar
        X(i)=TSET(NS,i);
    end
end

```

```
% linear response surface model
```

```
if ModelOrder>=1
```

```
    NUM=1;
```

```
    for i=1:NumVar
```

```
        NUM=NUM+1;
```

```
        TCOEFF(NS,NUM)=X(i);
```

```
    end
```

```
end
```

```
% quadratic response surface model
```

```
if ModelOrder>=2
```

```
    for i=1:NumVar
```

```
        for j=i:NumVar
```

```
            NUM=NUM+1;
```

```
            TCOEFF(NS,NUM)=X(i)*X(j);
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
% cubic response surface model
```

```
if ModelOrder>=3
```

```
    for i=1:NumVar
```

```
        for j=i:NumVar
```

```
            for k=j:NumVar
```

```
                NUM=NUM+1;
```

```
                TCOEFF(NS,NUM)=X(i)*X(j)*X(k);
```

```
            end
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

% 4 th order response surface model

if ModelOrder>=4

for i=1:NumVar

for j=i:NumVar

for k=j:NumVar

for l=k:NumVar

NUM=NUM+1;

TCOEFF(NS,NUM)=X(i)*X(j)*X(k)*X(l);

end

end

end

end

end

% 5 th order response surface model

if ModelOrder>=5

for i=1:NumVar

for j=i:NumVar

for k=j:NumVar

for l=k:NumVar

for m=l:NumVar

NUM=NUM+1;

TCOEFF(NS,NUM)=X(i)*X(j)*X(k)*X(l)*X(m);

end

end

end

end

end

end

```
if Backpress==0
```

```
[BETA,RMStrain,maxTdeviate,maxTrainError]=fitting(TVALUE,NumTrainSet,NumTerm,...
```

```
    TCOEFF,ModelType);
```

```
else
```

```
[BETA,RMStrain,maxTdeviate,maxTrainError,NumTermLeft]=backwardpress(TVALUE,...
```

```
    NumTrainSet,NumTerm,TCOEFF,ModelType);
```

```
end
```

```
[Tapprox,TrainRMSfit,Termax,maxTerrorIndex,Tmaxdeviate,maxTdeviateIndex]=...
```

```
AccuracyCalculation(TSET,TVALUE,BETA,NumTrainSet,NumVar,ModelOrder,ModelType);
```

```
[Capprox,CheckRMSfit,Cermax,maxCerrorIndex,Cmaxdeviate,maxCdeviateIndex]=...
```

```
AccuracyCalculation(CSET,CVALUE,BETA,NumCheckSet,NumVar,ModelOrder,ModelType);
```

```
RecFlag=0;
```

```
for i=1:NumVar
```

```
    if ReciprocalFlag(i)==1
```

```
        RecFlag=1;
```

```
        break;
```

```
    end
```

```
end
```

```

% =====
% Print Results to the screen
fprintf('-----\n');
fprintf('-----\n');
fprintf('      RESPONSE SURFACE RESULTS      \n');
fprintf('-----\n');
fprintf('-----\n\n\n');

if ModelType==1
    if RecFlag==0
        fprintf('Model Type is: POLYNOMIAL\n');
    else
        fprintf('Model Type is: RECIPROCAL POLYNOMIAL\n');
    end
else
    fprintf('Model Type is: LOGARITHMIC\n');
end

switch ModelOrder
    case 1,
        fprintf('Model Order is: Linear\n\n');
    case 2,
        fprintf('Model Order is: Parabolic\n\n');
    case 3,
        fprintf('Model Order is: Cubic\n\n');
    case 4,
        fprintf('Model Order is: 4th order\n\n');
    case 5,

        fprintf('Very High order selected. Check or change the model order!!!\n\n');
end

```

```

fprintf('\n');
fprintf('Number of TRAIN Set= %i\n',NumTrainSet);
fprintf('Number of CHECK Set= %i\n',NumCheckSet);

fprintf('\n\n');
fprintf('Set#   TrainApproximate   TrainTest\n');
fprintf('-----   -----   ----- \n');

for i=1:NumTrainSet
    fprintf('%i   %f   %f \n', i, Tapprox(i), TVALUE(i));
end

fprintf('\n\n');
fprintf('Set#   CheckApproximate   CheckTest\n');
fprintf('-----   -----   ----- \n');

for i=1:NumCheckSet
    fprintf('%i   %f   %f \n', i, Capprox(i), CVALUE(i));
end

fprintf('\n\n');
fprintf('TrainRMSfit   CheckRMSfit\n');
fprintf('-----   ----- \n');
fprintf('%f   %f \n', TrainRMSfit, CheckRMSfit);

fprintf('\n\n');
fprintf('MaxTrainDeviation   MaxCheckDeviation\n');
fprintf('-----   ----- \n');
fprintf('%f   %f \n', Tmaxdeviate, Cmaxdeviate);

fprintf('\n\n');
fprintf('MaxTrainDeviateIndex   MaxCheckDeviateIndex\n');
fprintf('-----   ----- \n');

```

```

fprintf('%i          %i \n', maxTdeviateIndex, maxCdeviateIndex);

fprintf('\n\n');
fprintf('MaxTrainError  MaxCheckError%%\n');
fprintf('----- \n');
fprintf('%f          %f \n', 100*Termax, 100*Cermax);

fprintf('\n\n');
fprintf('MaxTrainErrorIndex  MaxCheckErrorIndex\n');
fprintf('----- \n');
fprintf('%i          %i \n', maxTerrorIndex, maxCerrorIndex);

if Backpress==1
    fprintf('\n\n');
    fprintf('BACKWARD PRESS elimination used\n');
    fprintf('Number of Initial model constants is: %i\n', NumTerm);
    fprintf('Number of model constants after BACKWARD PRESS is: %i',...
        NumTermLeft);
end
fprintf('\n\n');

%
*****

****

% Print Results to the File: "ResponseSurfaceResults.m"
file1 = fopen('ResponseSurfaceResults.m','w');
fprintf(file1,'-----\n');
fprintf(file1,'-----\n');
fprintf(file1,'          RESPONSE SURFACE RESULTS          \n');
fprintf(file1,'-----\n');
fprintf(file1,'-----\n\n\n');

```

```

if ModelType==1
    if RecFlag==0
        fprintf(file1,'Model Type is: POLYNOMIAL\n');
    else
        fprintf(file1,'Model Type is: RECIPROCAL POLYNOMIAL\n');
    end
else
    fprintf(file1,'Model Type is: LOGARITHMIC\n');
end

switch ModelOrder
    case 1,
        fprintf(file1,'Model Order is: Linear\n\n');
    case 2,
        fprintf(file1,'Model Order is: Parabolic\n\n');
    case 3,
        fprintf(file1,'Model Order is: Cubic\n\n');
    case 4,
        fprintf(file1,'Model Order is: 4th order\n\n');
    case 5,
        fprintf(file1,'Model Order is: 5th order\n\n');
    otherwise,
        fprintf(file1,'Very High order selected. Check or change the model order!!!\n\n');
end

fprintf(file1,'\n');
fprintf(file1,'Number of TRAIN Set= %i\n',NumTrainSet);
fprintf(file1,'Number of CHECK Set= %i\n',NumCheckSet);

fprintf(file1,'\n\n');
fprintf(file1,'Set#   TrainApproximate   TrainTest\n');
fprintf(file1,'-----   -----   ----- \n');

```

```

for i=1:NumTrainSet
    fprintf(file1,'%i  %f  %f \n', i, Tapprox(i), TVALUE(i));
end

fprintf(file1,'\n\n');

fprintf(file1,'Set#  CheckApproximate  CheckTest\n');
fprintf(file1,'-----  -----  ----- \n');

for i=1:NumCheckSet
    fprintf(file1,'%i  %f  %f \n', i, Capprox(i), CVALUE(i));
end

fprintf(file1,'\n\n');

fprintf(file1,'TrainRMSfit  CheckRMSfit\n');
fprintf(file1,'-----  ----- \n');
fprintf(file1,'%f  %f \n', TrainRMSfit, CheckRMSfit);

fprintf(file1,'\n\n');

fprintf(file1,'MaxTrainDeviation  MaxCheckDeviation\n');
fprintf(file1,'-----  ----- \n');
fprintf(file1,'%f  %f \n', Tmaxdeviate, Cmaxdeviate);

fprintf(file1,'\n\n');

fprintf(file1,'MaxTrainDeviateIndex  MaxCheckDeviateIndex\n');
fprintf(file1,'-----  ----- \n');
fprintf(file1,'%i  %i \n', maxTdeviateIndex, maxCdeviateIndex);

fprintf(file1,'\n\n');

```

```

fprintf(file1,'MaxTrainError  MaxCheckError%%\n');
fprintf(file1,'----- \n');
fprintf(file1,'%f      %f \n', 100*Termax, 100*Cermax);

fprintf(file1,'\n\n');

fprintf(file1,'MaxTrainErrorIndex  MaxCheckErrorIndex\n');
fprintf(file1,'----- \n');
fprintf(file1,'%i      %i \n',maxTerrorIndex, maxCerrorIndex);

if Backpress==1
    fprintf(file1,'\n\n');
    fprintf(file1,'BACKWARD PRESS elimination used\n');
    fprintf(file1,'Number of Initial model constants is: %i\n',NumTerm);
    fprintf(file1,'Number of model constants after BACKWARD PRESS is: %i',...
        NumTermLeft);
end

fprintf(file1,'\n\n');

fclose(file1);

```

EK2: GENETİK ALGORİTMA METODUNUN MATLAB PROGRAMI

```
% MINIMIZATION OF UNCONSTRAINED FUNCTION WITH GENETIC
ALGORITHM

% =====

% USER INPUT

% =====

obj_fcn = 'rs_obj'; % Objective function M-file name
range = [0 2; 0 2]; % Range of the input variables
generation_n = 500; % Number of generations
popuSize = 50; % Population size

% =====

% END OF USER INPUT

% =====

global var_n
xover_rate = 1.0; % Crossover rate
mutate_rate = 0.1; % Mutation rate
bit_n = 16; % Bit number for each input variable

% if convergence criteria is to be used to stop the opt iterations
Epsilon=1e-6;
Use_Conv_Criteria=0; % 1=yes, 0=no

% Memory allocation
var_n=size(range,1);
lower = zeros(generation_n, 1);
x=zeros(1, var_n);
fitness=zeros(1, popuSize);
ObjVal=zeros(generation_n, 1);
```

```

t=cputime;
% Initial random population
popu = rand(popuSize, bit_n*var_n) > 0.5;

% Main loop of GA
for i = 1:generation_n;

    % Evaluate fitnesses
    [fitness,index] = evalfitnessunc(popu, bit_n, range,obj_fcn);
    x=variable(popu(index, :), bit_n, range);
    BestObj=feval(obj_fcn, x);

    % print the optimum values
    fprintf('Generation %i: ', i);
    fprintf('f(%f, %f)=%f\n', ...
        bit2num(popu(index, 1:bit_n), range(1,:)), ...
        bit2num(popu(index, bit_n+1:2*bit_n), range(2,:)), ...
        BestObj);

    x
    BestObj
    fprintf('\n\n');
    ObjVal(i)=BestObj;

    % Plot the best obj value versus iterations (generations)
    % plot(i,BestObj,'.');
    % hold on;
    % xlabel('Iterations (Generations)'); ylabel('Obj Value');
    % legend('Best obj values');

    % generate next population via selection, crossover and mutation
    popu = nextpopuunc(popu, fitness, xover_rate, mutate_rate);

```

```

if Use_Conv_Criteria==1
    if i>1
        if lower(i-1)==0.0
            convergence=abs(lower(i)-lower(i-1));
        else
            convergence=abs((lower(i)-lower(i-1))/lower(i-1));
        end
    end
end

if ((i>1)&(convergence<=Epsilon))
    fprintf('Convergence achieved after %i iteration\n', i);
    break;
end
end
end

% *****

% Print Genetic Optimization Results to the File: "GeneticOptimizationResults.m"
file1 = fopen('GeneticOptimizationResults.m','w');

for i = 1:generation_n;
    fprintf(file1,'%i  %f \n', i, ObjVal(i));
end
fclose(file1);

% Plot the best obj value versus iterations (generations)
SetNum=1:1:generation_n;
plot(SetNum,ObjVal,'.');
hold on;
xlabel('Iterations (Generations)'); ylabel('Obj Value');
legend('Best obj values');

e=cputime-t;
fprintf('the CPU Time for the whole calculation=%10.5f\n',e);

```