

TESİS TASARIMI SORUNLARI  
VE  
KOMPÜTERİZE TESİS TASARIMI-COFAD

M. Hulüsi DEMİR(\*)

Sevkinaz GÜMÜŞOĞLU(\*\*)

S U M M A R Y

It's necessary to determine set of alternative facility design and to make a choise among them in order to consist of productive and affectiveness plant layout. A computer program have been developed and improved to assist the layout analyst/designer in identifying layouts that appear to meet some specified eriteria. The analyst must escertain how much space each department requires and special shapes that must be provided or avoided.

In the following article such a program that's prepared to make access to a special computer package for layout analysis will be presented, namely COFAD. The program operated by iterating or successive improvements. At each step, it computed the cost improvements that would result by means of department interchange. This procedure is repeated until no improvement is found. The article is supported with a numerical simple example.

(\*) Doç. Dr., D.E.Ü.İ.İ.B.F., İşletme Bölümü

(\*\*) Dr., D.E.Ü.İ.İ.B.F., Ekonometri Bölümü



## 1. GİRİŞ

Fiziksel ve düşünsel çabaların yanısıra yapıların üretimi için gerekli mekanik araç-gereçler, makineler, yardımcı araçlar ve diğer çeşitli fiziksel tesislerin fabrika binaları içinde tasarımı yapılması işyeri düzeni çalışmalarını oluşturur. İşyeri düzeni, üretim sisteminin tasarımı bütünleştirme aşamasıdır ve temel amacı kapasite ve kalite gerekliliklerini ekonomik biçimde yerine getiren üretim sisteminin geliştirilmesidir. Bunun için işgücü, özellikler (spesifikasyonlar), standardizasyonlar ve değiştirilebilir diğer öğelerin dağılım ilkeleri ile birlikte üretimde kullanılan çağdaş makinelerin fiziksel öğeler ve insan öğeleri temelinde örgütlenmesini ve bu konudaki kararların alınmasını içerir. Bu anlamda işyeri düzeni, fiziksel tesislerin tasarımı, materyal hareketleri, ilişkileri, personelin uygulamaları ve ilişkili eylemlerde optimum performansı bulmayı gerektiren bilgi akışları arasında analiz (çözümleme), plânlama ve ilişkilerin en etkin tasarımı kapsayan işlevlerin tanımlanmasında kullanılan bir terimdir.

İşletmenin bir alt sistemi olan işyeri düzeni, tesislerin ve girdilerin etkin kullanımıyla olası en büyük verimin elde edilmesini sağlar ve dolayısıyla diğer sistem ve alt sistemlerin verimliliğini etkiler ve onlar üzerinde sınırlayıcı rol oynar. Böyle bir düzenin oluşturulması için seçenек tesis tasarımları belirlenir ve aralarından en iyi olanın seçilmesi için çaba harcanır.

Geleneksel olarak seçenек tesis düzenlemelerini değerlemede kullanılan ölçüt, materyal akımını enküçüklemektir. Ne varki materyal akımının uygun ölçümünün saptanmasında birtakım güçlüklerle karşılaşmaktadır.

Seçenек yerleşim düzenlemelerinin pratik uygulamasına yol açacak en doyurucu ölçüm, bütün akış yollarına uygulanabilen materyal aktarma sistemi maliyetidir. Halen bu ölçütten yararlanan modeller; tamamen düzenlemeyi ele almadan önce materyal aktarma sistemini belirlemesini ve aktarma maliyetlerinin, aktarılan birim uzaklık başına birim maliyetin modele girdi olarak verilmesini zorunlu kılar ki bu aşağıdaki yanlış varsayımların geçerliliğini ortaya koyar. (Tompson vd. 1977)

i— Hareket maliyetleri aracın kullanılmasından bağımsızdır,

ii— Hareket maliyetleri uzaklıkla doğrusal ilişkilidir. Bu varsayımlar

gözönüne alınmadığında; tasarımcı materyal aktarma sistemi ile tesis düzenini birlikte seçmelidir. İşte bu birlikte seçimin sonucu «Tesis Tasarımı»na ortaya çıkarır.

## 2. TESİS TASARIMI SORUNU

Tesis tasarımı sorunu; bölümleri konumlara atama ve sonra da bu bölümler arasında materyal hareketini sağlayacak materyal aktarma araçlarını atamadır. Sorunun ele alınmasındaki amaç; en küçük materyal aktarma sistemi maliyeti ile sonuçlanan konum ve araçların atanmasıdır.

Materyal aktarma maliyetleri; yatırım maliyeti, işlem maliyeti ve birim yükü değiştirme maliyetinden oluşur. Yatırım maliyetleri, satın alma ve montaj giderlerini; işlem maliyetleri ise, bakım, enerji ve işgücü giderlerini kapsar. Birim yükü değiştirme maliyetinden kasıt, birbirini izleyen iki hareket (gezi) arasında materyal aktarma aracının değişmesi zorluğundan ortaya çıkan işgücü maliyetidir.

O halde tesis tasarımı sorunu; iyi tanımlanmış N bölümü tesis içindeki konumlara atama ve her harekette de alınacak E seçenек materyal aktarma araç tiplerinden birini bölümlere atama olmaktadır.

Simgelerin Açıklanması :

$A_k$  = K tipi araç için, zaman biriminde mevcut etkili üretim saati sayısı,

$B_{ijkL}$  = L düzeninde k araç tipinden yararlanan i ve j bölümleri arasındaki harekete dağıtılacak, gerçek yararlanma dilimi,

$C_k$  = k tipi aracın yıllık yatırım maliyeti,

$D_{ijkL}$  = L düzeninde k tipi materyal aktarma aracı ile i ve j bölümleri arasında uzaklık,

$M_{ijkL}$  = L düzeninde k tipi materyal aktarma aracı ile i ve j bölümleri arasında materyali hareket ettirme (taşımaya) maliyeti,

$O_k$  = k tipi araç için zaman biriminde işlem maliyeti,



$P_{gk}$  = i ve j arasındaki taşımada g tipi, j ve n arasında aynı materyali taşımada k tipi aracın kullanılması durumunda, birim yükü değiştirmenin ortalama yıllık ceza maliyeti,

$T_{ijkl}$  = L düzeninde, k tip araç ile i ve j arasında taşıma için gerekli kümülâtif zaman,

$U_{ijkL}$  = i ve j bölümleri arasında aracı taşıma yoluyla, k aracından L düzeninde yararlanma,

$V_{ijk}$  = k materyal aktarma sisteminin kullanılmasından, zaman biriminde ünite yükü terimleri ile ifade edilen i ve j tesisleri arasında akan malların hacmi,

$W$  = belirli bir araç tipi, verilen taşıma görevini yerine getiremediğinde, atanacak rastgele büyük sayılı işreti değişken,

Böylece,

$$T_{ijkl} = F (V_{ijk} D_{ijkl}) \quad (1)$$

yazılabilir yani iki bölüm arasında tüm birim yükleri taşıma için gerekli süre, taşınacak yüklerin sayısının ve bölümler-aracı uzaklığın işlevidir. Bu işlev araç tipi ile değişiklik gösterir.

$$U_{ijkL} = \frac{T_{ijkL}}{A_k} \quad (2)$$

Belirli bir hareket (taşıma) için belirli bir araç tipinden yararlanma (kullanım), harekette kullanılan aracın harcadığı mevcut toplam zaman dilimidir. O halde her materyal (taşımalarının) hareketinin maliyeti;

$$M_{ijkl} = (U_{ijkL} + B_{ijkl}) C_k + T_{ijkl} O_k \quad (3)$$

biçiminde ifade edilir. Bu ifadede  $\sum_i \sum_j U_{ijkL}$  = tamsayı olması halinde  $B_{ijkl} = 0$  dir. (4)  $\sum_i \sum_j U_{ijkL} \neq$  tamsayı,  $[X]^*$  = X in en yakın tamsayıya yuvarlaklaştırıldığını göstermektedir.

$$B_{ijkl} = \frac{\sum_k T_{ijkL}}{T_{ijkl}} \quad (5)$$

dir ve

$$U_{ijkL} = 0 \text{ olmasında } M_{ijml} = W \text{ olur.} \quad (6)$$

Diğer bir anlatım biçimiyle, belirli bir araç için yararlanma toplamı bir tamsayı olduğunda (4), (taşımayı) hareketi ilgilendiren toplam maliyetin dilimi yalnızca hareketin gerçekleştirildiği sürenin yüzdesi için geçerli olur (3). Ancak yararlanma toplamı tamsayı olmadığından (5), bu araç tipinde aylâk sürenin varlığı söz konusu olacaktır. Aylâk sürenin maliyeti, hareketin süresiyle doğru orantılı olarak çeşitli hareketlere dağıtılacaktır (5), (3). 6'ncı eşitlik; materyal aktarma aracının bir parçası, iki bölüm arasındaki taşımada yararlanılmadığında, atamadan kaçınmak için taşımanın maliyeti çok büyük bir sayı ile ifade edileceğini belirtmektedir.

$$X_{ijk} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ eğer araç tipi k ise,} \\ \text{(kullanılacak)} \text{ i ve j bölümleri arasında materyal kullanılmayacak}$$

hareketinde böylece

$$\sum_i \sum_j X_{ijk} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_k \sum_i \sum_j X_{ijk} = K \quad (8)$$

olduğu görülecektir, ya da tüm hareketler yalnızca ve yalnızca bir araç tipi ile yapılacaktır. Bu durumda enküçükleştirilecek amaç işlevi,

$$\sum_k \sum_i \sum_j M_{ijkl} \cdot X_{ijk} + \sum_k \sum_g \sum_i \sum_j \sum_h X_{ijk} \cdot P_{kg} \quad (6)$$

olacaktır, ki bu da hareketi yapacak araç tipleri için hareket maliyeti toplamı artı birim yükleri değiştirmeden oluşacak ek giderler demektir.

Ne yazık ki böyle bir formülasyon, bilinmeyen sırada (düzen) gözümlememeyecek kuadratik atama sorununa yol açar. Çok küçük sorunlar için bile tam sıralama yapılamaz. Bundan ötürü bu formülasyon, tesis tasarımı sorununu çözmeye yardımcı olmasa bile sorunu tam olarak ifade etmeye yeterlidir ve ilginç gözlemlere yol açmaktadır.

## 2.1— Tesis Tasarımı Sorununun Gereksinimleri

Tesis tasarımı sorunu tam anlamıyla belirlenmeden önce dört gereksinimin yerine getirilmesi zorunludur. Bunlar,

i. Tesis materyal akışı, yani gezi çiziti,



- ii. Her hareket için seçenek materyal aktarma aracı tipini saptayacak yaklaşım,
- iii. Birleştirildiği zaman tesisi oluşturan bölümlerin açıklaması,
- iv. Seçenek materyal aktarma araç tiplerinin maliyetini kestirimleyecek yöntem.

iii.üçüncü Gereksinim, yani iş istasyonlarının bölümler halinde gruplanması, tesis yerleşim düzeninde yer almakta ise de çok az önem verilmektedir. Önem verileceği zaman da, yönetim açısından ele alınmaktadır. Yönetimsel yaklaşım ise, üstün denetleme alanı ile ve bölümün çıktısının ölçülmesi ile ilgilidir. Tesisinin (fabrikasının) etkinliğini değerlendirmek ve kontrol etmek isteyen fabrika yöneticisi açısından bu yaklaşımda hiçbir hata yoktur. Kimi akış ölçütünü enküçükletmeye çaba harcayan tesis tasarımcısı açısından, uygulanabilirliği konusu üzerinde durulmaya değerdir. Bu bölümleşmenin yönetsel yönlerinin ele alınmayacağı anlamına gelmemelidir. Daha çok grup aracı materyal akışını enküçükleyecek daha ayrıntılı iş istasyonları biçiminde gruplama üzerinde durulacağı anlaşılmalıdır.

Materyal hareketinin enküçükleştirilmesi açısından ülküsel durum, her iş istasyonunu bölüm olarak ele almaktadır. Bu açıdan ele alındığında ortaya çıkacak düzenleme, olursuz yönetsel gereksinimlerden ötürü uygulanamaz. Bölümleştirme, böylece, hem yönetsel hem de materyal akışı açılarından ele alınmalıdır.

Tesis tasarımı durumlarındaki büyük farklılıklardan ötürü iş istasyonlarının bölümler halinde nasıl gruplanacağı hakkında iyi tanımlanmış kurallar bulunmamaktadır. Ancak aşağıdaki genel noktalar bir dereceye değin yardımcı olabilir.

- i. Tüm benzer makineler bir bölümde toplanmalıdır.
- ii. Aynı bölüm içerisinde, bir iş istasyonunun % 10'undan fazla çıktısı öteki iş istasyonuna akmamalıdır.
- iii. Toplam 40 bölümden fazla olmamalıdır.

Birinci nokta yönetsel görüşdür ve ele alınan duruma bağlı olarak esneklik. Örneğin; iki değişik marka kesme makinesi bir bölüm için benzer kabul edilirken, bir başka bölüm için farklı kabul edilebilir. İkinci nokta, tüm belirgin iş akışlarının doğru değerlemesini yapabilmek amacıyla güden materyal hareketi görüşüdür. Üçüncü nokta ise, bilgisayar yardımıyla programlama amacıyla konulmuş bir kısıtlamadır.

Modelin uygulanmasından önce bir tesisin bölümlere ayrılmasında kullanılacak yaklaşımda yapılacak ilk iş «benzer» makineleri gruplamaktır. Gruplama sonucu 40'dan fazla grup ortaya çıkardığında, sayıyı indir-

geyecek biçimde gruplama sürdürülür. 40 ya da daha az sayıda grup saptandığında, yordama son verilir ve gruplar «Bölüm» olarak deyimlendirilir. İşte model yanından yerleştirilecek bölümler bunlardır ve bu bölümler arasında seçilecek olan materyal aktarma araçları işlevlerini sürdürecektir.

Yukarıda da söz edildiği üzere, seçenek materyal aktarma araç tipleri için girdi maliyetleri; araç tipleri arasında birim yükleri değiştirme giderlerini ve işlem giderlerini kapsamaktadır. Birim yükü değiştirme giderleri, kolaylıkla temel hareket zamanlarını kullanarak saptanabilir. İşlem ya da yatırım giderlerinin kestirimi ise, kuşkusuz tesislerin yerleştirilmesi ve materyal aktarma sisteminin saptanmasından önce yapılamaz. Her iki tesis tasarımı için bu giderlerin elle hesaplanması yoluyla saptanması, çok küçük problemler dışında hemen hemen olanaksızdır.

Materyal aktarma araç tiplerinin; sabit yollu ya da hareketli olarak ayrılması, elle hesaplama gereksinimini ortadan kaldıracak genel ortak paydanın tesisine yol açar. Sabit yollu araçlar; belirli yol boyunca verilen hareketler setini yapabilecek biçimde sınırlandırılmış tüm materyal aktarma araçlarıdır. Bunlar arasında;

- i. İleteçler (konveyörler),
- ii. Enerji ile çalışan ileteçler,
- iii. Çekmeli ileteçler,
- iv. Tavan ileteçleri,
- v. Tavan (asılı) Vinçleri

yer alır. Hareketli araç tipleri sınıflamasına ise geri kalan öteki araç tipleri girer. Sabit yollu araçlarda ortak payda, «uzaklık»tır. Sabit yollu araç sınıflamasında, materyal aktarma araçlarının yatırım ve işlem giderleri «yarı değişir» giderler olarak deyimlendirilir. Bu giderlerin değişir dilimi uzaklık ile doğrudan orantılıdır ve bu giderin kestirimi sağlanabilir. Değişmez yatırım gideri ise, sabit materyal aktarma araç tipine güç (enerji) verecek «sürme(drive) ünitesi» ile ilgilidir. Sürme ünitesi, sabit araç sisteminin tasarımının bir parçası olarak kapsanılacaktır ve düzende uzaklık ile değişme göstermeyecektir. Değişmez işlem gideri de, aracın sürme ünitesinin bakımı ile ilgilidir ve değişme göstermez. Modelde yatırım ve işlem giderlerinin değişmez dilimi, o sabit aracın yıllık giderini oluşturacaktır. Yatırım ve işlem giderlerinin değişir dilimi ise aşağıdaki



biçimde ifade edilebilir. Bu gider dilimi her seçenek düzende doğrusal uzaklık ile değişme gösterecektir.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Değişir işlem ve} \\ \text{yatırım giderleri} \\ \text{(TL/m)} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{Doğrusal} \\ \text{Uzaklık} \\ \text{(m)} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Sabit Aracın} \\ \text{değişir gideri} \\ \text{(TL)} \end{array} \right) \quad (10)$$

Hareketli araç sınırlaması için ortak payda «zaman»dır. Hareketli araç tipinin yatırım gideri değişmez özelliktedir. Hareketli araç tipini işlem gideri, aracın kullanım süresi ile doğru orantılıdır. Wimmert bu süreyi kestirimleme bakımından önemli çalışmalar yapmıştır. Wimmert, iki nokta arasında hareket süresinin temel durumu ile konuya girer. Temel durumdan kasıt; hız kazanma süresi, sabit hızla gitme süresi, hedefe ulaşırken hız azaltma süresidir.

Formülle aşağıdaki biçimde ifade edilebilir;

$$T_T^O = T_A^O + T_V^O + T_D^O$$

Formülde simgeler;

$$T_T^O = \text{Eniyi toplam gezi süresi'ni,}$$

$$T_A^O = \text{Hızlanmanın eniyi zamanını,}$$

$$T_V^O = \text{Sabit hızla yolalmanın eniyi zamanını,}$$

$$T_D^O = \text{Hız azaltmanın eniyi zamanını göstermektedir.}$$

Wimmert'e göre; hızlanma, hız azaltma süreleri ve ulaşımın (gezi) uzaklığı açılarından araç hiçbir zaman sabit hızla yol alamaz. Ayrıca dar yollar, çalışanlar ve araçlar tarafından kullanılan koridorlar gibi kimi araç hareketini yavaşlatıcı öğeler gözönüne alınır ve bunlara «Normalleştirme Katsayıları» adını verir.

$$T_T^N = C_A T_A^O + C_D T_D^O + C_V T_V^O + PC_O T_D^O \quad (12)$$

$$T_T^N = \text{Normal koşullar altında toplam ulaşım süresi,}$$

$$C_A = \text{Hızlandırma sırasında ortaya çıkacak güçlükler (eniyi olmayan durumlar) için düzeltme ögesi,}$$

$$C = \text{Sabit hızla gitme sırasında ortaya çıkacak güçlükler için düzeltme ögesi,}$$

$$V = \text{düzeltme ögesi,}$$

C = Hız azaltma sırasında ortaya çıkacak güçlükler için düzeltme ögesi.

Wimmert modelinde; normal gezinin pek nadir olarak, aracın hızlandığı, sabit hıza ulaştığı ve sonra hızını azalttığı durumda ortaya çıktığını belirtmektedir. Tipik bir geziye, hızda dalgalanmalar oluşturacak türlü engeller çıkabilir. Duruk (statik) engeller; meyilli zemin, viraj, yol ağzı gibi yola ilişkindir. Öte yandan devimsel (dinamik) engeller ise; yayalar, öteki aktarma araçları, yanlış konulmuş materyaller vb.dır. Devimsel engeller çeşitli gezi yolları boyunca belirli olasılıkta ortaya çıkarlar. Engeller de formülde içerildiğinde, toplam normal zaman aşağıdaki biçimde ifade edilir.

$$T_T^N = C_A T_A^O + C_V T_V^O + C_D T_D^O \quad (13)$$

Formülde

P = Bir engel çıkma olasılığı (duruk bir engel için P = 1'dir),

C = Bir engel yanından aracın yavaşlaması gibi eniyi olmayan durumları için düzeltme ögesi,

$T_D^O$  = Bir engeli geçmek için eniyi süreyi

simgelemektedir. Bu formül, hareketli araçlar için zaman kestiriminde gerekli temeli oluşturmaktadır.

Her hareket için belirlenen bu zamanlar; yıllık hareket sıklığı ile çarpıldığında, her hareketli araç için yıllık hareket süresi elde edilir. Bunlar zaman birim işlem maliyeti ile çarpıldığında, giderle ifade edilmiş olur.

Burada kullanılacak ise Colier'in işlem maliyeti saptama yordamıdır. Colier'e göre toplam işlem maliyeti

$$K_o = K_f + K_m + K_e + K_L$$

ile gösterilebilir. Burada

$K_o$  = Toplam işlem maliyetini (TL/saat),

K = (Geçmiş deneyimlerden ya da satıcıdan edinilen bilgiden) enerji tüketim maliyeti,

$K_m$  = (Geçmiş deneyimlerden kestirimlerle) bakım maliyeti,



$K_L$  = İşgücü işlem maliyeti,

$K_e$  = Aracın aşınma (amortisman) maliyeti.

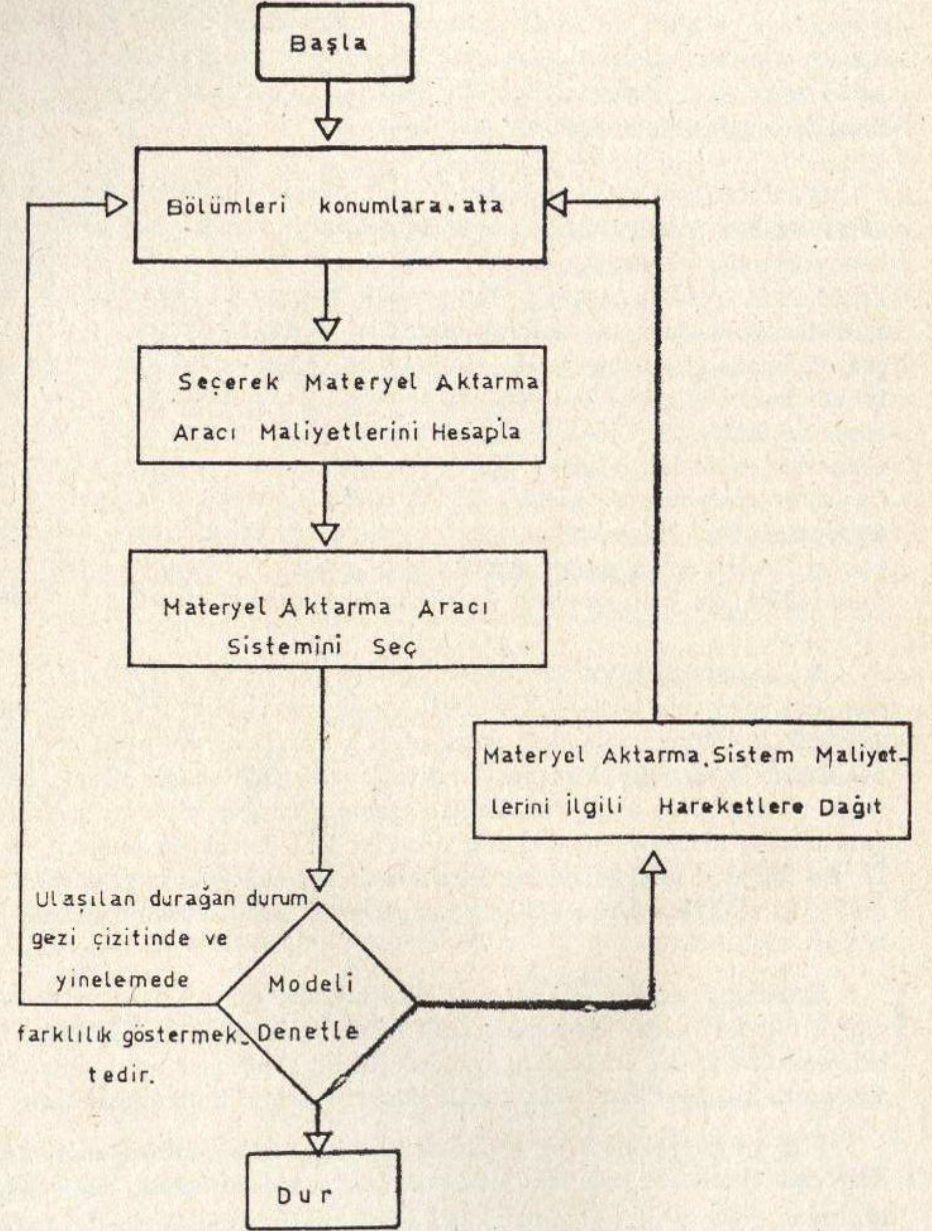
### 3. KOMPÜTERİZE TESİS TASARIMI COFAD

COFAD, tesis tasarımı sorunlarda etkin sonucu elde etme olanağı sağlayan bir yordamdır. Temelde materyal aktarma araç gereçleri için gerçek hareket maliyetlerini içeren COFAD, CRAFT'ın değiştirilmiş bir biçimidir. COFAD'ın asıl önemi, gerçek seçime uygun düzeni ve materyal aktarım sistemini birlikte seçmesi, yani ikisini birlikte gözönüne almasıdır. COFAD, programlarının tesis tasarımının genel terimlerle ifadesi Çizim 1'de gösterilmiştir.

COFAD'ın gerektirdiği bilgiler; özel hareketleri yerine getirecek yetenekte materyal aktarma araç-gereç seçenekleri, bu seçeneklerin maliyetleri, her araç-gereç seçeneği için gezi çiziti ve bir başlangıç düzendir. COFAD en küçük maliyetli materyal aktarma sistemini içeren bir düzen geliştirmek için bu verilerden yararlanır. COFAD'ın yineleme işlevi dört aşama ile tanımlanabilir. (Tompkins vd. 1978 s. 15) :

1. Bir düzen saptanır,
2. Materyal aktarma sistemi seçilir,
3. Hareket maliyetleri aktarma sistemine paylaşılır,
4. Birinci aşamaya dönülür.

Bu dört aşama durağın çözüme ulaşılıncaya değin yinelenir. Bu noktada model tamamlanır ya da gezi çiziti üzerinde duyarlılık analizi yapılarak devam edilir.



Çizim 1. COFAD Makro Akış Çiziti







nin ne zaman durağan duruma ulaştığını saptamak ve sonra modele yön vermektir. Durağan durumun tanımı o kadar kolay bir iş değildir, çünkü izleyen yinelemenin kesinlikle daha iyi bir alt-çözüme ulaştıracağına ilişkin bir kural yoktur.

Durağan duruma ulaşıldığında ya probleme son verilir ya da gezi çizitindeki akış hacimleri değiştirilir ve problem yeniden ele alınır. Akış değerlerinin değiştirilmesinin iki önemli işlevi vardır :

- i— Yukarıda açıklanan durağan durum çözümünün gerçekten durağan durum çözümü olup olmadığını saptamak,
- ii— Akış verilerine duyarlılık sağlamak, böylece düzen tasarımcısını esnek olmayan bir tesis tasarımılamaktan ve atelyenin günlük istemlerini karşılayamamaktan korumak.

Birinci amaç için öngörülen akış hacminin % 98 ile % 102'sine sahip modeli yeniden ele almak ve bu iki problemin çözümlerinin özgün çözüme her yönden benzer olup olmadığını kontrol etmek gerekir. Öngörülen akış hacminin % 50 ile % 150'si arasında değişik değerli modelleri ele almak ve bu arada düzen tasarımcısına tesisin gerçek düzenlemesine yardımcı olacak bilgileri vermek ikinci amaca yönelik olacaktır. Modelin yeniden ele alınması sırasında akış hacimlerindeki farklılıklara ek olarak diğer bir fark son elde edilen düzenin başlangıç düzen olarak ele alınmasıdır.

### 3.1. COFAD'ın Kullanımı

COFAD'ın ana önemi gerçek atamaya izin veren düzen ve materyal aktarma sistemini birlikte seçmesidir. COFAD'ın işyeri düzeni çiziti genelinde CRAFT'a benzer ve seçenekler arasında enküçük maliyetli optimum düzen ve materyal aktarma sistemini verir.

COFAD'da, CRAFT'taki gibi sabit bölümler ve alanlar bulunabilir, belirli hareketler için özel materyal aktarma araç-gereç tiplerinin atanması değerlendirir ve duruma göre atamayı gerçekleştirir ya da gerçekleştirmez. Atamayı gerçekleştirme konusunda, tesis tasarımı çalışmalarında COFAD'ın daha esnek kullanılabilmesi tesis tasarımcısına bırakılır. Ayrıca duyarlılık analizi de tesis tasarımları konusunda daha kapsamlı görüşleri olabileceğinden yine tesis tasarımcısına bırakılır.

Duyarlılık analizinin yalnızca yapın tasarımının yeniden tanımlandığı durumlarda toplam akış hacimlerindeki değişimleri gözönüne aldığı belirtilmelidir. Duyarlılık analizi ile, yapın tasarımındaki değişimler değerlendirilmediğinden, tesis tasarımcısı için, ilişki çizitini elle değiştirerek değişimlerin tesis tasarımına etkisini görmek önemli olabilir. Boş bölümlerin kullanımı, sabit bölüm alanlarının belirlenmesi, yeniden tanımlanan aktarma sistemi atamalarının yapılabilmesi ve duyarlılık analizi kombinasyonunu ile tesis tasarımcısı COFAD'ı gerçekten iyi olan tesis tasarımları yaratmada kullanır.

### 4. Örnek Problem

COFAD yardımı ile bir tesisin tasarımılanması, eniyi biçimde örnek bir problemle gösterilebilir. Herhangi bir tesis Çizelge 1'de gösterilen alanlar ve 8 tasarım bölümünü içermektedir. Her birim kare için 400 metre kareye dayanarak Çizim 2'deki düzen, bölümsel gereksinimleri karşılamakta ve COFAD için başlangıç düzenini ortaya koymaktadır. Bu verilere ek olarak COFAD, materyal aktarma araç-gereç seçenekleri gerektirmektedir. Seçenek materyal aktarma araç-gereçleri elektrikli yük arabası ve elektrikli çatallı yük arabasıdır. COFAD, her hareketli materyal aktar-

Çizelge 1. Örnek Problem İçin Bölüm Tasarımı

Kod	İşlev	Alan m
A	Teslim Alma	12.000
B	Freze	8.000
C	Bakımhane	6.000
D	Sıkıştırma	12.000
E	Montaj	8.000
F	Kaplama	12.000
G	Depolama	12.000
H	Boş Bölüm	2.000

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	G	G	G	G	G	G	G	G
2	A									A	G							G
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	G	G	G					G
4	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	E	E	G	G	G	G	G	G
5	B				B	C				C	C	E	E	E	E	E	E	E
6	B				B	C	C	C	C	C	C	E	E	E	E	E	E	E
7	B	B	B	B	D	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F	F	F	E
8	D	D	D	D	D				D	F							F	F
9	D								D	D	F	F	F	F	F			F
10	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H	H	H	H	H	F	F	F	F

Çizim 2. Problem Çözümü için Başlangıç Çözüm



ma araç-gereç seçeneğinin yıllık yatırım maliyetinin ve yıllık çalışma maliyetinin hesaplanmasını olanaklı kılar. Çalışma özelliklerine ilişkin verilerini gerektirir. Materyal aktarma araç-gerecinin yıllık yatırım maliyeti, araç gerecin kullanım yılına bağlı olarak toplam yatırım maliyetinin dağıtılması ile saptanabilir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	5	5	6	13	16			
B			6	11	14			
C				7	10			
D	6			12				
E					3	4		
F	14			3		7		
G								
H								

(a)

Çizim 3. Başlangıç Düzen için Mantriksler

	A	B	C	D	E	F	G	H	Toplam
A	270	75	150	130	80				705
B		180	275	210					665
C			35	100					135
D	120			420					540
E					195	140			335
F	70			75		455			600
G									
H									

(b)

a— Uzaklık Çiziti b— Ulaştırma Maliyet Çiziti

Başlangıç düzen zigzaglı uzaklıklara bağlı olarak hiçbir materyal aktarma araç-gereci atanmadan değerlendirildiğinde CRAFT yordamına özgü bir yordama COFAD programı ile elde edilmektedir. Örneğin bu düzen ilk seçenek materyal aktarma araç-gereci olan elektrikli yük arabası için değerlendirildiğinde Çizim 4 elde edilmektedir. Daha sonra aynı düzen ikinci seçenek için değerlendirilmektedir.

COFAD, her materyal aktarma araç-gereç tipinin yerine getirdiği hareketlerin maliyetlerinin hesaplamasını yaparak minimal maliyetli materyal aktarma maliyetini veren sistemi arar. İlk yinelemede elde edilen çıktılar Çizelge 2'de verilmektedir. Görüldüğü gibi 1.94 yani rakam tam sayıya verilirse 2 adet çatallı yük arabası gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2. Başlangıç Olarak Seçilen Materyal Aktarma Sistemi Çıktısı

Hareket Sayısı: 17  
Toplam Yıllık Maliyet: 33.175,64 TL.  
İstenilen Araç-Gereç Sayısı: 1.94

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	G	G	G	G	G	G	G	G
2	A									A	G							G
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	G	G	G					G
4	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	F	F	G	G	G	G	G	G
5	C		C	C	B						B	F	F	F	F	F	F	F
6	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	F	F	F	F	F	F	F	F
7	C	C	C	C	B	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	F	F
8	D	D	D	D	D	D				D	E				E	F	F	F
9	D								D	D	E	E	E	E	E	E	F	F
10	D	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H	H	H	H	G	G	F	F

Çizim 4. Başlangıç Düzen Elektrikli Yük Arabası İçin

Değerlendirildiğinde Elde Edilen Düzen

İkinci yineleme çeşitli hareketlerin yerine getirilmesinde gerçek yıllık maliyetlerin hesaplanması ile başlar. Bu aşamada örneğin A ve B bölümleri arasındaki hareket için maliyet elektrikli yük arabası ile 3821 TL, elektrikli çatallı yük arabası ile 2701 TL ile sonuçlanmaktadır. İkinci yineleme için kullanılan ikinci seçeneğin hareketlerine ilişkin akış Çiziti Çizim 5'te, hareket maliyeti matriksi ve yapın akış çiziti-hareket maliyet matriksi Çizim 6'da, ikinci seçeneğin değerlendirilmesi sonucu elde edilen veriler Çizelge 3'te verilmektedir.

Çizelge 3. İkinci Yinelemede Materyal Aktarma Sisteminin Çıktısı

Hareket Sayısı: 17  
Toplam Maliyet: 35.118,07 TL  
İstenilen Araç-Gereç Sayısı: 2.00

İkinci yinelemede düzen ve materyal aktarma sistemi ilk yinelemenin aynıdır. Bu yordam daha önce belirtildiği gibi durağan duruma erişilene değin sürer. Bu örnekte durağan durum çözümü ilk yineleme ile aynı kalmıştır. Duyarlılık analizi yapılmazsa bu noktada model elde edilmiş olur.



	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0.0	44.000	14.000	24.000	8.000	6.000	0.0	0.0
B	0.0	0.0	0.0	32.000	26.000	16.000	0.0	0.0
C	0.0	0.0	0.0	0.0	4.000	10.000	0.0	0.0
D	0.0	20.000	0.0	0.0	36.000	0.0	0.0	0.0
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.000	36.000	0.0
F	0.0	6.000	0.0	0.0	26.000	0.0	64.000	0.0
G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Çizim 5. İkinci Yinelemenin Akış Çiziti

A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H
0.0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0	0.0	0.0	0.066	0.021	0.036	0.012	0.009	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.002	0.002	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.048	0.039	0.024	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.002	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.006	0.015	0.0	0.0	0.0
0.0	0.002	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.030	0.0	0.0	0.054	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.002	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.096	0.054	0.0	0.0
0.0	0.002	0.0	0.0	0.002	0.0	0.002	0.0	0.0	0.0	0.030	0.0	0.0	0.039	0.0	0.096
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(a)

(b)

Çizim 6. İkinci Yineleme İçin COFAD Çıktısı

a— Hareket Maliyeti Matrisi b— Yapın Akış Çiziti-Hareket

Maliyeti Matrisi

Yordam duyarlılık analizi ile sürdürülebilir. Öngörülen akış hacimlerinin % 90'nına sahip model yeniden ele alındığında Çizim 7'deki düzen elde edilir. Yine iki adet elektrikli çatallı yük arabası seçilmektedir, toplam yıllık maliyet ise 35.118,07 olarak elde edilir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	G	G	G	G	G	G	G	G
2	A									A	G							G
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	G	G	G					G
4	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	F	F	G	G	G	G	G	G
5	C		C	B							B	F	F	F	F	F	F	F
6	C		C	B	B	B	B	B	B	B	F	F	F	F	F	F	F	F
7	C	C	C	C	B	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	F	F	F
8	D	D	D	D	D				D	E					E	F	F	F
9	D								D	D	E	E	E	E	E	F	F	F
10	D	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H	H	H	H	E	E	F	F

Çizim 7. Duyarlılık Analizi Sonucu Elde Edilen COFAD Çıktısı

## 5. SONUÇ

COFAD'ın tesis tasarımı sorunlarına uygulanmasından ortaya çıkan çözümler her ne kadar eniyi değilse bile, iyi olarak nitelendirilebilir. Eniyi çözüm olarak kabul edilmemesinin nedeni, ortak sorunun karmaşıklığının «Eniyi» kavramının tanımını güçleştirmesidir. COFAD çözümünün iyi olarak sınıflandırılmasının bir nedeni, sonuç çözümün iyi bir materyal aktarma sistemini içeriyor olmasıdır. Bu nedenle COFAD, tesis tasarımı için önemli yardımcı bir araçtır.

Duyarlılık analizinin yalnızca yapın karışımının yeniden tanımlandığı durumlarda, toplam akış hacimlerindeki değişimi göze aldığı belirtilmelidir. Duyarlılık analizi yapın karışımındaki değişimleri değerlendirmediğinden, tesis tasarımcısı için girdilerin ilişki çizinti elle değiştirerek yapın karışımındaki değişimlerin tesis tasarımına etkisini görmek önemli olabilir. Bos bölümlerin kullanımı, sabit bölüm alanları, yeniden tanımlanan aktarma sisteminin atamaları ve duyarlılık analizi kombinasyon ile tesis tasarımcısı COFAD'ı gerçekten iyi olan tesis tasarımları yaratmada kullanabilir.



## KAYNAKÇA

### Kitaplar :

- Apple, M. James (1973), Plant Layout Fundamentals, Edith: Lewis Bernard v.d.: Facilities and Plant Engineering, Chapter: 4, Mc. Graw Hill Book Company, New York.
- Buffa, Elwood (1981), Temel Üretim Yönetimi, Çevirenler: Atilla Sezgin v.d., Olgaç Matbaası, Ankara.
- Carson, B. Gordon (1958,) Production Handbook, The Ronald Press Company, N.Y.
- Demir, M. Hulüsi (1982), Üretim Yönetimi, İşletme Fakültesi Yayınları, No: 9, İzmir.
- Hoffmann, R. Thomas (1967), Production Management and Manufacturing Systems, wadsworth Puplicing company, Inc., Belmont, California.
- Mecklenburgh, J.C. (1973), Plant Layout Guide to the Layout of Process Pland and Sites, Leonard Hill Book, London.
- Moore, James (1969), Plant Layout and Desing, The Mc. Millan co. New York.
- Tompkins, A. James-Richard H. Shore (1977), Flexible Facilites Design, Nort Caroline State University, Raleigh, N.J.
- Tompkins, A. James-Jamess M. Moore (1978), Computer Aided Layout: A User's Guide, A.I.I.S., Inc., Georgia.

### Tezler :

- Ercan, Şevkinaz (1983), Verimliliğe Etkisi Açısından Fabrika Yerleşim Düzeni ve Karşılaşılan Sorunlar, İzmir, (Yayınlanmamış Doktora Tezi).

### Makaleler :

- Klahortst, Thomas (1981), Flexible Manufacturing system: Combining Elements to Lower Costs, Add Flexibility, **Industrial Engineering**, Nov., Vol: 13, No: 11
- Webster, B. Dennis-Ruddell Reed (1971), A Material Handling System Selection Model, **AIEE**, March, Vol: 111, No: 1, Georgia.

## Ö Z E T

Etkin ve verimli işyeri düzeninin oluşturulması için seçenek tesis tasarımları setinin belirlenmesi ve bir seçim yapılması gereklidir. Bazı kriterler belirleyerek işyeri düzenlerini tanımlamada işyeri düzeni analisti/tasarımcısına yardımcı olacak bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve düzenlenmiştir. Analizci her bölümün ne kadar alan gerektirdiğinden ve belirli biçimlerin istenip istenmediğinden (kaçınıldığından) emin olmalıdır.

Aşağıdaki makalede işyeri düzeni analizine yardımcı olmak üzere hazırlanmış COFAD isimli özel bir işyeri düzeni algoritması açıklanmaya çalışılmıştır. Program yinelemeler ya da ardışık düzenlemelerle çalışır. Her aşamada bölümlerin değişimi vasıtasıyla oluşacak maliyet azaltımlarını hesaplar. Bu yordam maliyette kayda değer bir düşme olmayana değin yinelenir. Makale basit bir sayısal örnekle desteklenmektedir.