

İş Örneklemesi Yoluyla Kapasite Planlama

Salih Aka¹

Özet

Kapasite planlama bir işletmenin mevcut ve potansiyel kaynaklarından faydalanma durumunu göstermesi açısından üretim faktörleri için hayati önem taşımaktadır. Ana üretim programlama, malzeme ihtiyaç programlama gibi üretim planlamanın gerçekleştirildiği çizelgeleme çalışmaları kapasite planlama ile birlikte çalışmaktadır. İş analizi yoluyla işletmenin üretim kaynakları olan çalışanlar ve makinelerin performans takibi yapılamadığı durumlarda iş örneklemesi istatistikî altyapısı ile standart zaman hesabı için kullanılabilir. Çalışmada kapasite planlama için ihtiyaç duyulan standart zamanlar öncelikle iş örneklemesi yoluyla elde edilmiş sonrasında kapasite planlama adımları doğrultusunda işletmenin potansiyel kapasitesi hesaplanmıştır. Mevcut durum ve potansiyel durum karşılaştırması işletmenin verimlilik konfigürasyonunu ortaya koymaktadır. Rutin zaman etüdü yapılamayan işletmelerde kapasite planlama yapılabilmenin alternatif bir yolunu gösterdiğinden, çalışmanın uygulayıcılar açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

1. Giriş

Kapasite, işletmenin üretim zaman ufku içerisinde sahip olduğu kaynaklar vasıtasıyla, istenen nitelikteki mal ve hizmet miktarının üretilmesidir. Üretim sisteminin hedefler doğrultusunda ulaştığı veya ulaşması beklenen üretim düzeyi sistem kapasitesi olarak belirlenir. Diğer bir ifade ile kapasite, üretim çevrimi içerisindeki üretim miktarı olarak tanımlanır. Bir işletme için kapasite, üretim plan ve programlarının önceden hazır hale getirilmesi açısından kritik önemdedir. Mamulün istenilen miktar ve zamanda üretilmesini sağlayacak olan üretim programlarının başarısı kapasitenin hedeflerle uyumlu olması ile gerçekleşebilir. Kapasite konusunda tesisler, makineler ve çalışanlar dikkate alınmalıdır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, salih.aka@erzincan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6386-8582

Kapasite planlamada aşağıdaki hiyerarşinin takip edilmesi gerekmektedir:

- Kapasite planı belirlenecek zaman dilimi içerisinde değerlendirilir. Küçük zaman dilimi dinamik revizyon gerektireceğinden mümkün olduğunca kapasite hesabı yıl üzerinden gerçekleştirilmektedir.
- Belirlenen zaman dilimi içerisinde işletmenin kullanabileceği üretim kaynakları belirlenmelidir. Tesis içerisindeki makine ve çalışan sayısı gibi üretim miktarını doğrudan ilgilendiren unsurlar ile çalışma süresi, boş bekleme gibi zamana dayalı veriler tespit edilmelidir. Hesaplamalar sonucunda üretim miktarı ve kaynakların kullanım oranı ortaya çıkacak verimlilik ile ilgilidir.
- Kısmi kapasiteler belirlenmelidir.
- Kısmi kapasitelerin birlikte ele alınması sonucunda toplam kapasite bir başka deyişle işletme kapasitesine ulaşmaktadır.

Bu doğrultuda işletme kapasitesi iki aşamalı olarak hesaplanmaktadır. İlk aşamada üretim kaynakları ve yapılacak iş ilişkisi incelenerek kısmi kapasiteler belirlenmekte, ikinci aşamada ise kısmi kapasiteler üretilen mal ve hizmetlere dağıtılarak ikincil kapasite ortaya konulmaktadır.

Bu bölüm çerçevesinde anlatılan konuyu desteklemek için ele alınan örnek işletme, belirli ve ölçülebilir bir zaman standardına sahip olmadığı için rastgele zamanlarda alınan gözlemlerle istatistiki değerlendirmeler yapılarak istenilen standart zaman değerlerine ulaşılmıştır.

2. Kapasite Nedir?

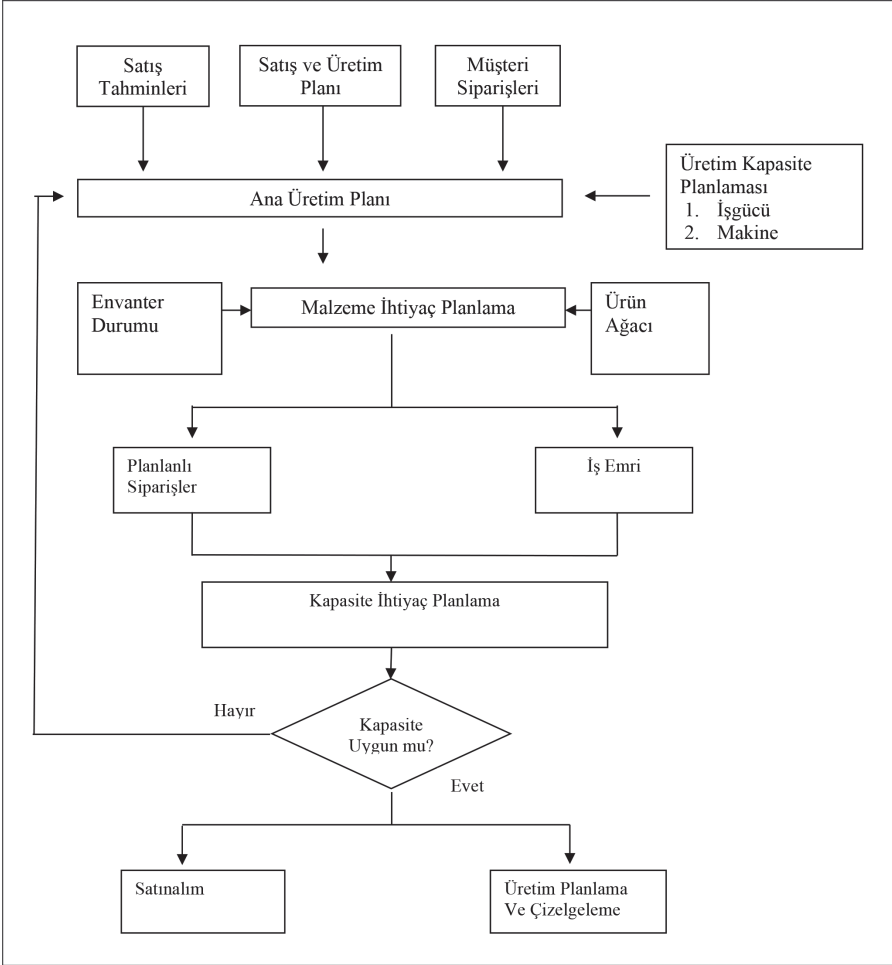
İşletmenin kapasite kapsamına, makine ve çalışanların dışında tesis, arazi ve taşıma araçları gibi farklı unsurlar da girmektedir. Aşağıdaki ifadeler kapasite kavramının farklı şekilde tanımlanmasıdır.

- Toplam iş yükü büyüklüğü
- Ürün karması doğrultusunda, belirli bir zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilebilecek maksimum çıktı seviyesi
- İşletmenin hedeflere ulaşma ölçüsü
- Elde bulunan üretim karması ve sabit kaynaklar ile ulaşılabilen en yüksek üretim miktarı gibi farklı ifadeler aslında aynı kavramı işaret etmektedir.

Kapasite nicel ve nitel olarak iki farklı şekilde ele alınmaktadır. Nitel kapasite, çalışan ve üretim araçlarının kullanım zamanları ve kullanım amaçları ve mevcut sayılarını içermektedir. Nicel kapasite ise çalışan ve

makine gibi çeşitli üretim araçlarının performansına yoğunlaşmaktadır. Ayrıca kapasite dört sınıfta incelenmektedir. Teorik kapasite, makinelerin aralıksız çalışmalarıyla ulaşacağı maksimum çıktı seviyesi olarak düşünülür. Kullanılabilir kapasite ise teorik kapasite miktarından zorunlu izinler ve çeşitli nedenlerle meydana gelen duruşlar çıkarılarak hesaplanmaktadır. Daha önceki dönemlerdeki çıktı miktarı seviyesi kullanılabilir kapasiteyi ifade etmektedir. Planlanan kapasite, üretim planının gerçekte uygulanmasıyla ortaya çıkacak kapasite miktarını belirtmektedir. Gerçekleşen kapasite ise tüm belirsizlikler ve planlana aralar dikkate alındıktan sonra elde edilen çıktı düzeyidir.

Kapasite ihtiyaç planlaması, ana üretim programlama ve malzeme ihtiyaç programlama planları doğrultusunda şekillenmektedir. Ana üretim programlaması işletmenin talebine yönelik üretim programını ortaya koyarken, malzeme ihtiyaç planlaması üretilecek olan ürünün yapısında kullanılacak her bir kalem malzemenin zaman ve miktar planlamasını gerçekleştirmektedir. Fakat kapasite ihtiyaç planlaması her iki programlama için kısıt teşkil etmektedir. Kapasite ihtiyaç planlamasının bu hiyerarşideki yeri ve üretim içerisindeki rolü Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Kapasite ihtiyaç planlama ve üretim rolü

Ürün çeşitliliği kapasite hesabında önde gelen problemlerden biridir. Ürün çeşitliliğinin az olduğu özellikle sürekli üretim sistemi çerçevesinde kurulan tesislerde kapasite planlaması çok daha kolaydır. Çimento üretiminde kapasite dorudan üretilen ton miktarı olarak alınırken bir beyaz eşya tesisinin kapasitesi üretilen ürün sayısı ile ortaya konmaktadır. Ürün çeşitliliğinin yoğun olduğu durumlarda çimento üretiminde olduğunu aksine kapasite birimini belirlemek oldukça karmaşıklaşmaktadır. Ürün veya sistem çıktıları adet, ton, litre gibi benzer birimler üzerinden ifade edilebildiği durumlarda kapasite ortak birim üzerinden değerlendirilebilmektedir. Fakat ürün çeşitliliği ve ürün karmaşıklığı arttıkça tek bir birim üzerinden kapasite hesabı yapılamamaktadır. Çıktı açısından kapasitenin belirli bir birim üzerinden

ifade edilemediği durularda, üretim girdi cinsleri üzerinden tanımlanabilir. Kapasite problemleri genel olarak aşağıdaki sebeplerden kaynaklanmaktadır:

- Ana üretim programının gerçekleşen hedeflerden uzak performans sergilemesi,
- Makine ve çalışan performanslarının analiz yetersizliği
- Verinin sağlıklı olarak sağlanmaması,
- Talepteki belirsizlikler,
- Üretim sırasında meydana gelen arızalar, duraklamalar gibi beklenmedik gelişmeler.

Kapasite planlama araçları üretim planlama ve kontrol sürecinin parçalarıdır ve dört sınıfa ayrılmaktadır:

- Kaynak Planlama
- Kaba Kapasite Planlama
- Kapasite İhtiyaç Planlama
- Girdi/Çıktı Kontrolü

Kapasite İhtiyaç Planlama, kapasite seviyesini belirlemektedir. Buradaki amaç üretim planları doğrultusunda iş gücü ve makine ihtiyacının tespit edilmesidir. Kapasite ihtiyacı çeşitli analizler yoluyla değerlendirilir ve malzeme ihtiyaç planının duyarlılığı test edilir. Bu sayede gerçekleşen kapasite kullanım seviyesinin hedefler karşısındaki durumu analiz edilir.

Kapasite planının sağlıklı yapılabilmesi için standart zamanların tespit edilebilmesi önem arz etmektedir. Standart zaman tespiti iki farklı yolla sağlanabilir:

1. İş ölçümü ve zaman etüdü
2. İş örnekleme ve tahmin değerlerine bağlı zaman tespiti

3. Literatür Araştırması

Kapasite talep ve tedarik durumlarından etkilenen ve üretim içerisinde stratejik olarak değerlendirilebilecek kararlardan biridir. Belirli ve belirsiz şartlar altında kapasite planlaması matematiksel olarak programlanmaya çalışılmaktadır. Geng vd. (2009) silikon devre levhasının kısa ömürlü ve fazla miktarda sermaye istediğinden hareketle fazla yatırım yapılmamasını ve bunu önlemenin çaresinin de kapasite planlamadan geçtiğini vurgulamıştır. Üretim, envanter ve yok satma nedeniyle oluşabilecek maliyetleri önlemek

için stokastik modeller kurup farklı senaryolar üzerinden kar maksimizasyonu hedeflenmektedir.

Kapasite problemlerinde genellikle üretim süreci içerisindeki düşük düzeyli envanterler (WIP) dikkate değer darboğazlar yaratabilmektedir. Nitekim Bitran ve Trupati (1989) çok kapasite sorununa WIP açısından yaklaşmış ve kapasitenin etkin şekilde kullanılmayışı WIP' e bağlamıştır. Çok yönlü üretim sistemlerinin ayrı ayrı kapasite planlama alternatiflerine sahip olabildiğini ve bu alternatiflerin maliyetlerinin minimize edilmesinin yolunun WIP' den geçtiğini ortaya koymuşlardır. A/GI/G/1 kuyruk modeli ele alınan WIP sorunun çözümü için kullanılmıştır. Problem başlangıçta lineer olmayan ikili tam sayılı model olarak formüle edilmiştir. Fakat analizlerde her bir bağlantı noktasının diğerinden bağımsız olarak stokastiksel bir süreç izlediği, yapılan network değişim yöntemi tarafından tespit edilince problem basit ikili tam sayılı modele dönüştürülmüştür. Deneysel yöntemler yarı iletken silikon levhası üretiminden bir örnek üzerinde denenmiştir. Benzer olarak Kim ve Uzsoy (2009) WIP sorununu giderebilmek adına iki değişkenli doğrusal olmayan bir model üretmiştir. Ancak yapılan çalışmaların sonunda deneysel yöntemin kuyruk uzunluğunu ve fonksiyonlar arası devir süresini azaltmasına rağmen optimum çözümü garanti etmediği görülmüştür.

Optimum çözüme ulaşmanın güç olduğu durumlarda çeşitli sezgiseller ve yapay zeka teknikleri kullanışlı araçlar olabilmektedir. Nitekim karınca koloni algoritması kapasite planlama konusunda fazlaca tercih edilen yöntemler arasındadır (Den Besten vd., 2000; Gravel vd., 2002; Ying ve Liao, 2003). Wang ve Chen (2009) kapasite planlamanın tek fabrika için değil de aynı tedarik zinciri içerisindeki birçok fabrikanın maliyetlerini minimize edecek şekilde alternatif yöntem olarak karınca algoritması sunmaktadır. Modelle kaynağın yanında malzeme ve teçhizat temini için düşünülmüş senaryolar da bulunmaktadır.

Farklı amaçlara hizmet eden özgün modeller kapasite problemleri çözüm alternatiflerini zenginleştirmektedir. Wang ve Lin (2002) eşzamanlı iki kaynak için kapasite planlama modeli geliştirmiştir. Zorzini vd. (2008) tarafından stratejiler, ürün teslim zamanı ve buna yönelik kapasite belirleme esasına göre oluşturulmuştur. Modelde üretim süreçlerine yönelik, piyasa talebine yönelik ve kapasite planlamaya yönelik ara yüzler bulunmaktadır. Modelin uygulandığı işletmelerde kısa ve orta vadede esnek bir üretim yapısı sistemi oturtulmuş ve müşteri geri dönüşümleri sonucu kapasite değiştirilebilme yeteneği kazandırılabilmiştir. Li vd. (2008) tarafından sistem bir bütün olarak ele alınmış ve bu bütünün içerisinde fazladan yığılmaların,

taşımaların, işlemlerin ve yerleştirme düzeninin kapasiteyi artırdığı bunun da gereğinden fazla maliyet oluşturduğu üzerine vurgu yapılmıştır.

Kapasite üzerine yapılan araştırmalar konuya bakış açısını genişletmiş, ele alınan alt parçaların bir bütün içerisinde maliyetlere yansımaları gösterilmek istenmiştir. Ana amaç kapasite olgusuna esneklik kazandırabilmek, talebe ve müşteri ihtiyaçlarına yetebilecek planlamayı sağlayabilmektir.

4. Uygulama

4.1. İş Örnekleme Teorisi

İş örnekleme olasılık kuramını temel alan istatistiksel bir yöntemdir. İş örnekleme, gerçekleştirilen işe dair rutin ve sürekli zaman verisinin olmadığı kesikli durumlarda oldukça kullanışlıdır (Robinson, 2010; Blay vd., 2014; Josephson ve Björkman 2013). Veriler sonucu elde edilen bilgiler “n” adet gözlem sonucunda olayın gerçekleşme sıklığının tespit edilmesine imkân sağlamaktadır. İş örnekleme çalışmasını gerçekleştiren bir iş analisti çalışanın ne kadar boş kaldığını yüzdesel olarak belirlemek amacıyla rastgele zamanlarda 10 gözlem almış ve 4 kez çalışanın boşta beklediğini belirlemiş ise, çalışanın boşta beklediği sürenin %40 olduğu şeklinde basit bir hesaba ulaşmış olacaktır. Gözlem sayısı istatistiksel yeterlilikte tutulur ve gözlemler gerçek duruma uygun titizlikle yapılırsa, elde edilen yüzdelere belirli bir hata payı dikkate alınarak standart zaman hesabında kullanılmaktadır.

Normal dağılım kullanılarak yapılan hesaplamalarda hata payı göz önüne alınarak bir aralık belirlenmekte ve buna göre gerekli olan gözlem sayısı hesaplanmaktadır. Söz konusu hata payının hesaplanabilmesi için standart sapmaya ihtiyaç vardır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{p \times q}{n}} \quad (1)$$

Burada:

σ : Standart sapma

p : Hareketin gerçekleşme sıklığı

q : Hareketin gerçekleşmeme sıklığı

n : Toplam rastgele gözlem sayısı

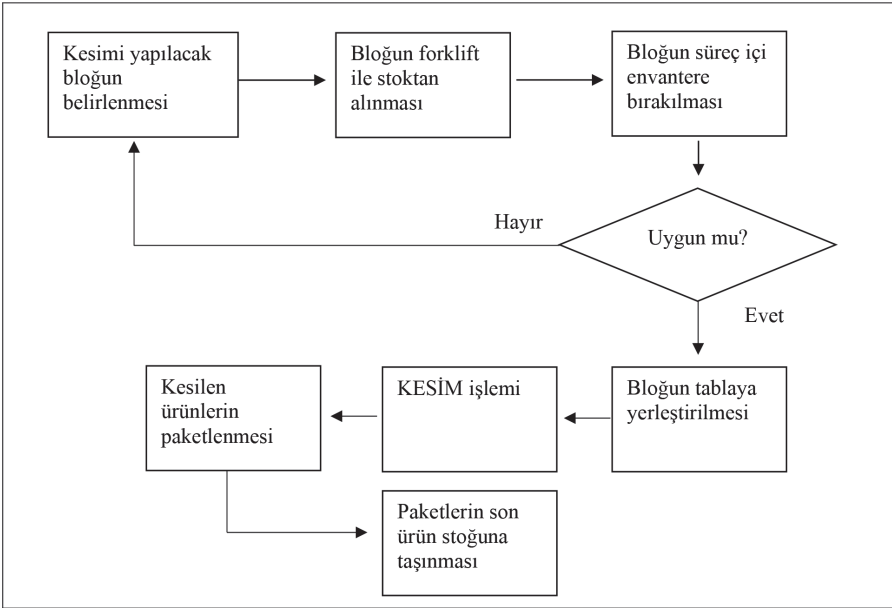
Normal dağılımda güven aralığı kavramı Z (güvenilirlik düzeyi) ve σ terimlerine dayanmaktadır. %95 güven aralığı için Z değeri normal dağılım tablosundan okunarak 1.96 olarak bulunur. Elde edilen güvenilirlik düzeyi

ve varyans değeri hata payının hesaplanmasında kullanılır. Denklem 2 gerekli gözlem sayısının tespitinde faydalanılmaktadır.

$$n = \frac{z^2 \times p \times q}{\sigma^2} \quad (2)$$

4.2. İş Akışı

İşletmelerde yeterli kapasitenin hesaplanabilmesi için gerçekleşen iş akışının iyi takip edilmesi ve makine başına düşen iş yüklerin tespiti önem arz etmektedir. İş akışı tam olarak belli standartlara oturtulamayan işletmelerde verimsizlik ortaya çıktığı gibi kapasitenin tam olarak kullanılması sağlanamaz. Çalışma ev tekstili ve mobilya sektörünün öncü kuruluşlarından birinin sünger imalat biriminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmede de bu standartların yeteri derecede ele alınmadığı saptanmıştır. İşletmede iş akımı o gün yetiştirilmesi gereken siparişe ve makinenin çalışma hızına göre değişkenlik göstermektedir. İş yükü, planlacının insiyatifine göre dağıtılmaktadır. Basit olarak iş akımı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Basit İş Akış Şeması

Sünger blok üretimden çıktıktan sonra işlenebilmesi için soğumaya bırakılması gerekmektedir. Bu amaçla işleneceği zamana kadar stoğa bırakılır. Planlama gereği kesim kararı alınan blok stoktan forklift yardımıyla

çekilir ve süreç içi envantere konulur. Bu aşamadan sonra makine operatörü bloğu süreç içi envanterden alarak makine yanına taşır ve makine tablasına yerleştirir. Küçük bir hazırlık zamanından sonra bloğun uygun ölçüler dahilinde kesimi yapılır.

Kapasite için esas alınan kısım bu kesim zamanıdır. Makine kapasitesinin bulunabilmesi için kesim zamanının doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Kesim işlemi tamamlandıktan sonra ürünler paketlenerek üzerlerine sipariş kartları yapıştırılır. Nihai aşamada ürünler son ürün stoğuna taşınırlar.

4.3. Hareketlerin Belirlenmesi ve Tablonun Hazırlanması

İş örneklemesinde verimlilik hesabı için doğru fikir verebilmesi açısından arasında ilişki bulunan hareketler gruplandırılır. Ana amaç değer katan ve değer katmayan işlemlerin birbirinden rahatça ayrılabilmesini sağlamak olmalıdır. Örneğin; bekleme ve taşıma işlemleri verimliliği artırabilmek için en asgari seviyede olmalıdır. Buna karşın makine başında yapılan işlemin en azami seviyede olması beklenmektedir. Bu sayede çalışan enerjisini yapması gereken ve katma değer yaratan ana faaliyeti ayırabilmektedir.

A: Makinelerin kesim işlemi yapması yani çalışması.

B: Makinelerin boş beklemesi, çalışmaması.

C: Setup zamanları.

D: İşçinin makineyi çalıştırmasının beklenmesi diğer bir ifadeyle makine ve malzeme hazır durumdayken makinenin beklemesi.

E: Makinenin malzemeyi beklemesi.

F: Temizlik işlemlerinden dolayı bekleme.

G: Tamir, bakım, onarım işlemlerinden kaynaklanan bekleme.

H: İşlenmiş yani kesimi bitmiş ürünün alınması için geçen süre.

K: Kesilecek malzemenin kesim işlemi için makine üzerinde yerleştirilmesi için geçen süre.

M: İşçiden kaynaklanan hatalardan dolayı veya malzemedeki defolardan kaynaklanan ek süreler, bekleme, makinenin durdurulup yeniden çalıştırılması, kesim işleminin tekrarlanması... vs.

İş örnekleme tekniğinde verilerin belirlenen zamanlarda seri ve karışıklığa ihtimal vermeyecek formatta düzenlenmesi önemlidir. Tabloya yerleştirilecek unsurlar; makineler, rastgele zamanlar ve hareketlerdir. Tabloda her veri kodlarla ifade edilir. Böylece verilerin birbiriyle ilişkisi belirlendiği

gibi veri tutulması sırasında pratik olarak karşılaşılabilecek sorunların da ötesine geçilmiş olunur. Uygulamada birinci satır rastgele zamanları göstermektedir. Birinci sütun ise makinelerin kodunu içermektedir. Makine için hazırlanan bu tabloda bölümlerin ve makinelerin ayrılması hususu gözletilmiştir. Buna göre iki basamaklı rakamlar kullanılmıştır. Çalışma sahası gözlemlerin kolayca yapılabilmesi için dört bölüme ayrılmış ve her makine saat yönünde numaralandırılmıştır. Örneğin; 11 rakamı, birinci bölgedeki birinci makine anlamındadır. Makine numaraları Tablo 1'de de görsel olarak ifade edilmektedir.

Tablo 1. Örnek İş Örnekleme Tablosu

Rastgele Zamanlar	08:23	08:36	08:50	09:10	09:40	09:55	10:20	10:35	10:50	11:02	11:23	
Makine No	11	H	E	A	A	B	A	H	A	A	A	D
	12	A	H	B	H	B	A	D	A	A	H	E
	21	H	E	A	H	A	B	H	A	A	A	H
	22	K	E	A	E	B	E	K	B	A	A	A
	23	A	D	A	A	A	A	B	D	D	A	H
	31	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	E
	32	H	A	E	H	B	B	K	H	B	A	A
	33	E	A	A	A	E	D	A	A	A	E	E
	41	A	A	A	E	B	K	E	A	K	A	E
	42	A	A	D	A	A	D	B	B	A	B	A
	43	H	A	A	E	A	A	K	A	E	A	H

Makineleri işlevleri bakımından da iki sınıfa ayırabiliriz: döner tablalı kesme makineleri ve dikey kesme makineleri. Döner tablalı makinelerin çalışma hızı ve blok alabilme kapasiteleri dikey makinelere göre daha fazladır bu durum standart zaman hesabında derece olarak ayırma tabi tutulmaktadır.

4.4. Standart Zaman Tespiti

Standart zaman, çalışan ya da makinenin rutin performans standartları altında işi tamamlaması için gerekli toplam zamandır. Standart zaman birim süre için alınabileceği gibi toplu bir zaman kapsamında da alınabilir. Gerçekleştirilen çalışmada da standart zaman bir aylık süre zarfından hesaplanmaktadır. Hem iş örnekleme kullanılması hem de her makine başına düşen üretim miktarının tespitinin yapılamaması üzerine birim süre başına düşen üretim miktarı hesaplanmış daha sonra da çalışma frekansı, toleranslar ve üretim miktarı gibi standart zaman enstrümanlarıyla aylık standart zaman tespiti yapılmıştır.

Hesaplama yapılırken gerekli son unsur da derecelemedir. Doğru bir derecelemenin yapılabilmesi iş analistinin tecrübesine bağlıdır. Ölçümler

iş görenler için olsaydı dereceleme aralığı 50- 150 olması gerekirdi ama yapılan çalışmada iş elemanı makineler olduğu için dereceleme aralığı 50-100 olmaktadır. Formülasyonlar aşağıda sunulmaktadır:

- Standart zaman (STD):

$$STD = GZ (\text{Gerçekleşen zaman}) * Derece * Tolerans değeri \quad (3)$$

Burada dereceler gözlem sırasında belirlenirken gerçekleşen zaman iş örneklemeindeki frekans değeri ile toplam zamanın çarpılması ile elde edilir. Gerçekleşen zaman birim zamandaki üretim miktarının bulunabilmesi için de gereklidir.

- Gerçekleşen zaman (GZ)

$$GZ = \text{Toplam çalışma süresi} * \text{Frekans değeri} \quad (4)$$

Gerçekleşen zamanın bulunmasından sonra da derece ve toleransların ve de birim zamandaki üretim miktarının da çarpılması sonucu makine başına standart zamanlar elde edilir. Buradaki tolerans payları da makine bakım ve zorunlu durmaların toplamı olan payların aşağıdaki formülle hesaplanması sonucu bulunmuştur. Payların hesaplanabilmesi için de iş örnekleme kullanılmıştır.

$$\text{Toleranslar} = 100 / (100 - \text{paylar}) \quad (5)$$

Standart zaman tespitinde anlatılan ifadeler ve formüller hesaplamada kullanılmıştır. Bütün bu değerler kapasite hesabının alt yapısı için gereklidir. İşletmenin ürün bazında üretimine dair veriler Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. İşletmenin mevcut üretim durumu

Kod	Yoğunluk	Tür	Adet	m^3
05-Sünger	14 DN	Plaka	2646	60,98
05-Sünger	18 DN	Plaka	19780	130,2
05-Sünger	22 DN	Plaka	1095	72,59
05-Sünger	24 DN	Kuştüyü Plaka	334	30,96
05-Sünger	24 DN	Plaka	177	2
05-Sünger	26 DN	Plaka	80	4,56
05-Sünger	27 DN	Plaka	314	20,29
05-Sünger	28 DN	Plaka	371	22,32
05-Sünger	32 DN	YY Plaka	317	17,39
05-Sünger	34 DN	HR Plaka	217	14,75
<i>Toplam Plaka</i>			25331	376,1
05-Sünger	16 DN	Rulo	2410	14,7
05-Sünger	18 DN	Rulo	8501	158,4
<i>Toplam Rulo</i>			10911	173,1
05-Sünger	22 DN	Kontur	160	3,59
05-Sünger	24 DN	Kontur	676	10,17
05-Sünger	24 DN	Kuştüyü Kontur	60	3,39
05-Sünger	27 DN	Kontur	321	9,1
05-Sünger	28 DN	Kontur	221	3,96
05-Sünger	34 DN	HR Kontur	319	24,35
05-Sünger	35 DN	HR Kontur	1045	50,99
<i>Toplam Kontur</i>			2802	105,6
05-Sünger	Karışık	Kırpık	1280	0
05-Sünger	Karışık	Sıynk	1000	0
<i>Diğer</i>			2280	0
<i>Genel Toplam</i>			41324	654,7

Sünger plaka kapasitesinin hesaplanmasında birim olarak “ m^3 ” dikkate alınmaktadır. İşletmenin üretim bölümünce sağlanan ve dolayısıyla kesimi yapılan üretim miktarı $654,7 m^3$ dür.

4.5. Kapasite Planlama Hesabı

Üretim programları makinelerin gerçek kapasiteleri üzerinden planlanmaktadır. Gerçek hayatın belirsizliklerinden kaynaklı olarak makinenin maksimum kapasitesine ulaşması çoğu zaman mümkün değildir.

Ürün çeşitliliğinin az olduğu üretim sistemlerinde makinelerin bireysel kapasitelerine ulaşma imkânları bulunmaktadır. Fakat üretim sistemlerinde bir makinenin diğer makinelerle ilişkileri, işçi ve malzeme ile ilgili gecikmelerden dolayı genellikle maksimum kapasiteye ulaşamaz. Amaç her makinenin gerçek kapasite değerlerini hesaplamak olduğuna göre, makine-saat cinsinden bir makinenin kapasitesi aşağıdaki aşamalar doğrultusunda hesaplanır:

- *Adım 1:*

$$H_{act} = N_r * H_{avail} \quad (6)$$

H_{act} : Fiili saat

N_r : Kapasite hesabı yapılacak makine sayısı

H_{avail} : Zaman dilimi içinde bir birim kaynak için elverişli saat

- *Adım 2:*

$$H_{tp} = H_{act} * E_o * P_w * E_m \quad (7)$$

H_{tp} : Ürün için talebi karşılayabilecek toplam süre

E_o : Örgüt etkinliği

P_w : Operatör verimliliği

E_m : Makine bakım etkinliği

- *Adım 3:*

$$O = H_{tp} / (H_{std} + S) \quad (8)$$

H_{std} : Ürün için standart işlem süresi

S : Ürün için hazırlık süresi

O : İşletmenin toplam kapasitesi dahilinde üretebileceği ürün miktarı

Aşamalar sonucunda yapılan hesaplamalar doğrultusunda dikkat edilmesi gereken birkaç husus bulunmaktadır. Özellikle H_{act} hesabı yapılırken N_r nin bir alınması gerekmektedir. Çünkü kapasite hesabı her makine için ayrı ayrı tespit edilmektedir. Bir diğeri örgüt etkinliği % 95 olarak kabul edilmiştir. Her makinenin başındaki operatörün verimliliği işletme tarafından daha önce yaptırılan çalışmalardan temin edilmiştir. Bunun yanında makine etkinliği makine gözlemleri içinde ayrıca belirtilmiştir. Makine etkinliği için gerekli olan ve “paylar” olarak tanımlanan makine bakım ve temizlik oranının yüzde değerinden geriye kalanı makine bakım ve etkinliğini vermektedir. Bu bağlamda derece olarak tabir edilen makine devir oranından ayrılması gerekir.

İş örnekleme sonucunda çalışma zamanı gözetilerek kaydedilen makinelerin çalışma ve hazırlık süreleri Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3. Makine çalışma ve hazırlık süreleri

	Makine No	Aylık Toplam Çalışma Süresi (saat)	Çalışma Yüzdesi	Makine Başına Çalışma Süresi (saat)	
	Çalışma Zamanı	11	160	0.43	68.8
12		160	0.41	65.6	
21		160	0.36	57.6	
22		160	0.34	54.4	
23		160	0.5	80	
31		160	0.51	81.6	
32		160	0.37	59.2	
33		160	0.54	86.4	
41		160	0.5	80	
42		160	0.49	78.4	
43		160	0.5	80	
		Makine No	Aylık Toplam Çalışma Süresi (saat)	Yüzde Değeri	Makine Hazırlık Gerçek Süresi (saat)
		Hazırlık Zamanı	11	160	0,17
12	160		0,31	49,6	
21	160		0,18	28,8	
22	160		0,25	40	
23	160		0,13	20,8	
31	160		0,13	20,8	
32	160		0,29	46,4	
33	160		0,07	11,2	
41	160		0,19	30,4	
42	160		0,1	16	
43	160		0,23	36,8	
Birim Saat Başına Gerçek Üretim					
$(654.69) / 792 = 0.82 m^3$					

Standart zamanın hesaplanabilmesi için gerekli olan temel zaman bu şekilde hesaplanmıştır. Elde edilen birim saat başına üretim miktarı hem standart zaman hemen hazırlık zamanı hesabında kullanılmıştır. Tablo 4.'de makinelerin standart zamanı için ihtiyaç duyulan paylar ve toleranslar hesaba katılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Standart zaman besapları

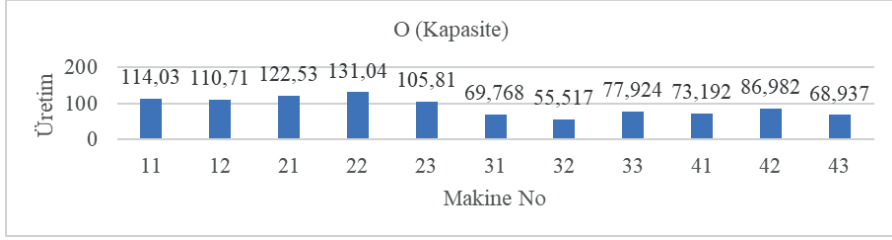
	Makine No	Derece	Gerçek Üretim Zamanı	Birim Saat		Standart Zaman (saat/ m^3)	
				Başına Gerçek Üretim	Tolerans Limitleri		
Çalışma Zamanı	11	0,9	68,8	0,83	1,0101	51,9127	
	12	0,95	65,6	0,83	1,0526	54,448	
	21	0,9	57,6	0,83	1,0101	43,4618	
	22	0,85	54,4	0,83	1,006	38,6109	
	23	0,9	80	0,83	1,006	60,1207	
	31	0,9	81,6	0,83	1,006	61,3231	
	32	0,9	59,2	0,83	1,0204	45,1249	
	33	0,9	86,4	0,83	1,006	64,9304	
	41	0,95	80	0,83	1,0309	65,0309	
	42	0,85	78,4	0,83	1,0101	55,8699	
	43	0,95	80	0,83	1,0204	64,3673	
	Hazırlık Zamanı	11	0,9	9,9	0,83	1,0101	7,47
		12	0,95	11,4	0,83	1,0526	9,462
21		0,9	18,9	0,83	1,0101	14,2609	
22		0,85	18,7	0,83	1,006	13,2725	
23		0,9	20,7	0,83	1,006	15,5562	
31		0,9	27,9	0,83	1,006	20,9671	
32		0,9	28,8	0,83	1,0204	21,9527	
33		0,9	29,7	0,83	1,006	22,3198	
41		0,95	38,95	0,83	1,0309	31,6619	
42		0,85	35,7	0,83	1,0101	25,4408	
43		0,95	40,85	0,83	1,0204	32,8676	

Kapasite planlama için gerekli olan standart zaman ve hazırlık zamanları tespit edildikten sonra geriye bu değerlerin kapasite planlama için gerekli olan modelde yerine konulması işlemi kalmaktadır. Bu işlemler için kapasite hesaplama bölümünde sunulan her bir adımdaki denklem setleri kullanılmaktadır. Tablo 5. Kapasite hesaplama adımlarını içermektedir.

Tablo 5. Kapasite hesaplama

Makine No	N_r	H_{avnil}	H_{net}		
11	1	20*8=160	160		
12	1	20*8=160	160		
21	1	20*8=160	160		
22	1	20*8=160	160		
23	1	20*8=160	160		
31	1	20*8=160	160		
32	1	20*8=160	160		
33	1	20*8=160	160		
41	1	20*8=160	160		
42	1	20*8=160	160		
43	1	20*8=160	160		
Makine No	E_o	P_w	E_m	H_{net}	H_{tp}
11	0,95	0,45	99	160	6771,6
12	0,95	0,49	95	160	7075,6
21	0,95	0,47	99	160	7072,6
22	0,95	0,45	99,4	160	6799
23	0,95	0,53	99,4	160	8007,7
31	0,95	0,38	99,4	160	5741,3
32	0,95	0,25	98	160	3724
33	0,95	0,45	99,4	160	6799
41	0,95	0,48	97	160	7077,1
42	0,95	0,47	99	160	7072,6
43	0,95	0,45	98	160	6703,2
Makine No	H_{std}	S	H_{tp}	O (Kapasite)	
11	51,913	7,47	6772	114,03	
12	54,448	9,462	7076	110,71	
21	43,462	14,261	7073	122,53	
22	38,611	13,273	6799	131,04	
23	60,121	15,557	8008	105,81	
31	61,324	20,968	5741	69,768	
32	45,125	21,953	3724	55,517	
33	64,931	22,32	6799	77,924	
41	65,031	31,662	7077	73,192	
42	55,87	25,441	7073	86,982	
43	64,368	32,868	6703	68,937	
<i>Toplam</i>				<i>1016,4</i>	

Yapılan hesaplamalar neticesinde işletmenin toplam kapasitesi $1016,4 m^3$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. Makine kapasite büyüklüğü

5. Sonuç

Rekabetin şirket karlılığını ve ömrünü belirlediği günümüz ortam şartlarında kaynakların mevcudiyetinin ve kullanım kapasitesinin bilinmesi israfı önlemek, dolayısıyla maliyetleri azaltmak doğrultusunda önem arz etmektedir. Bu bakımdan işletmenin üretim yeteneği de talep ve müşteri ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmelidir. Yöntem ve tekniklerin gelişmesiyle beraber kapasite planlama konusunda da farklı yaklaşımlar sergilenmektedir. Çeşitliliğin fazla, talebin değişken olduğu ürünler üreten işletmelerde kapasite planlama da bir o kadar zor olmaktadır. Ama tek tip ürün üreten işletmelerde bütünleşik olarak kapasite planlama yapılması yeterli olabilmektedir.

Uygulamanın gerçekleştirildiği işletmede ürünler kullanım özelliği açısından farklı olmasına rağmen yapılan iş aynıdır. Örneğin kuş tüyü plaka ve kuş tüyü kontur kullanıldığı ürün olarak farklılık göstermektedir. Ama bu üretim kısmı ile ilgili olan konudur. Kapasite planının yapıldığı bölüm kesim bölümüdür ve burada ürün farklılığını etkileyen tek etmen hacimlerinin farklı olmasıdır. Nitekim kapasite planı için gerekli olan standart zamanların tespiti için kullanılan iş örnekleme yönteminden faydalanılma gereksinimi de bu sebeptendir.

İşletmeden alınan verilerde üretimin $654,7 m^3$ olduğu görülmüştür. Buna karşın yapılan hesaplamalarda kapasitenin $1016,4 m^3$ olduğu ortaya çıkmıştır. Buradan işletmenin var olan kapasitesinin atıl kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Fazla kapasite yararlanılmadığı zaman bir fırsat değil aksine bir maliyet unsurudur. Ayrıca üretimin kapasitenin altında kalması çalışanlar üzerinde de olumsuz etki oluşturmaktadır. İşin yetişeceğini bilen çalışan normal performansının altında çalışmakta, zaman ve kaynakları verimli kullanmamaktadır. Dolayısıyla yapılan analizde de bu sebep gösterilmeye çalışılmaktadır. Kapasite planlamaya dayalı etkin bir üretim strateji izlenilirse $1016,4 m^3$ olan işletme kapasitesinin bu miktardan da fazla olacağı muhakkaktır.

Kaynakça

- Bitran, G. R., & Tirupati, D. (1989). Capacity planning in manufacturing networks with discrete options. *Annals of Operations Research*, 17(1), 119-135.
- Blay, N., Duffield, C. M., Gallagher, R., & Roche, M. (2014). Methodological integrative review of the work sampling technique used in nursing workload research. *Journal of Advanced Nursing*, 70(11), 2434-2449.
- Den Besten, M., Stützle, T., & Dorigo, M. (2000). Ant colony optimization for the total weighted tardiness problem. In *Parallel Problem Solving from Nature PPSN VI: 6th International Conference Paris, France, September 18–20, 2000 Proceedings 6* (pp. 611-620). Springer Berlin Heidelberg.
- Geng, N., Jiang, Z., & Chen, F. (2009). Stochastic programming based capacity planning for semiconductor wafer fab with uncertain demand and capacity. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 899-908.
- Gravel, M., Price, W. L., & Gagné, C. (2002). Scheduling continuous casting of aluminum using a multiple objective ant colony optimization metaheuristic. *European journal of operational Research*, 143(1), 218-229.
- Josephson, P. E., & Björkman, L. (2013). Why do work sampling studies in construction? The case of plumbing work in Scandinavia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 20(6), 589-603.
- Kim, S., & Uzsoy, R. (2009). Heuristics for capacity planning problems with congestion. *Computers & Operations Research*, 36(6), 1924-1934.
- Li, Y. P., Huang, G. H., Nie, X. H., & Nie, S. L. (2008). A two-stage fuzzy robust integer programming approach for capacity planning of environmental management systems. *European journal of operational research*, 189(2), 399-420.
- Robinson, M. A. (2010). Work sampling: Methodological advances and new applications. *Human factors and ergonomics in manufacturing & service industries*, 20(1), 42-60.
- Wang, K. J., & Lin, S. H. (2002). Capacity expansion and allocation for a semiconductor testing facility under constrained budget. *Production Planning & Control*, 13(5), 429-437.
- Wang, K. J., & Chen, M. J. (2009). Cooperative capacity planning and resource allocation by mutual outsourcing using ant algorithm in a decentralized supply chain. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2831-2842.
- Ying, K. C., & Liao, C. J. (2003). An ant colony system approach for scheduling problems. *Production Planning & Control*, 14(1), 68-75.
- Zorzini, M., Corti, D., & Pozzetti, A. (2008). Due date (DD) quotation and capacity planning in make-to-order companies: Results from an empirical analysis. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 919-933.