

Bu sayının okurlarımızın eline geçtiği sırada TMMOB Makina Mühendisleri Odası'nın dergimiz önderliğinde düzenlediği ve başarılı olacağına yürekten inandığımız IV. Tekstil Sempozyumu gerçekleşmiş ve Sempozyum Özel Sayısı da genel dağıtımına sunulmuş olacaktır. Tekstilin tüm alanlarındaki çeşitli bilimsel araştırma ve gelişmeleri yansıtan, önemli yorum ve değerlendirmeleri içeren bildirimlerin yayınlanmasından sonra bu sayımız da araştırma yazıları ağırlık taşıyan bir kapsamda okurlarımıza sunulmaktadır. Kuşkusuz bu sevindirici bir durumdur.

Araştırmaların ülkelerin kalkınmasına büyük ivmeler kazandıran teknolojik gelişmelerin altyapısını oluşturduğu bir gerçektir. Özellikle temel ve uygulamalı bilim alanlarında sürdürülen araştırma çalışmaları hem teknolojik gelişmelere yol açmaları hem de bu gelişmeleri gerçekleştirecek bilim adamları, mühendisler ve uzmanların yetişmelerindeki büyük ve kaçınılmaz işlevleri bakımından önemlidir. Ülkemiz tekstil çevresinde de böyle bir araştırma potansiyelinin var olduğunu görmek ülkemizin ve toplumumuzun kalkınması açısından geleceğe dönük yeni umutlar yaratmaktadır.

Daha önceki sayılarımızda yer alan sunuş yazılarında da belirttiğimiz gibi Tekstil ve Makina Dergisi'nin içeriği gelen yazıların tür ve konuları ile oluşmaktadır. Araştırma yazılarına olduğu kadar endüstriyel uygulamalara, teknolojik gelişmelere ışık tutan yazılara da bize ulaşan yazı akımı içinde ve yazıların içerik zenginliği ölçüsünde yer vermek ilkesini uyguluyoruz. Bunu yaparken dergimizde endüstriyel uygulamaları, bulguları, pratik bilgileri özlü biçimde aktaran KISA BİLDİRİLER BÖLÜMÜ açtığımızı da belirtmiştik. Değerli yazar ve okurlarımızın bu tür yazılarını da bekliyoruz.

Gerek Sempozyum Özel Sayısı'nda yer alan ve yurt dışından gelen bildirimler, gerekse bu sayımızda da olduğu gibi, yurt içindeki yazarlar tarafından sunulmuş olmakla birlikte orjinal olarak yabancı dilde yazılmış olan araştırma yazıları bir ölçüde Tekstil ve Makina Dergisi'ne uluslararası bir yayın organı olma niteliğini de kazandırmaktadır. Bu çerçevede dergimize yurt dışından da yazı akışı olacağı anlaşılmaktadır. Türk araştırmacılar tarafından orjinali yabancı dilde yazılmış yazıları yayınlamaktaki amacımız bilimin evrenselliğini gözeterek Türk araştırmacılarla yabancı araştırmacılar arasında iletişim kurulmasına katkıda bulunmak ve ülkemizin tekstil alanındaki potansiyelini dış dünyaya daha güçlü biçimde duyurmaktır.

Dergimiz üstlendiği görevin ve oynadığı rolün bilincinde sürekli arayış ve gelişme içinde varlığını sürdürmektedir.

Saygılarımızla  
YAYIN KURULU

## A Mathematical Approach to Calculate the Efficiency of a Set of Machines Attended by One Operative

Güngör BAŞER

Doç. Dr.

Ege Üni. Müh. Fak.Teks. Müh. Bölümü - İZMİR

The prediction of machine efficiency when one operative attends several machines is an important problem of the industry to find the optimum running conditions or to fix the correct piece rates. The machines are attended by the operative in either a random or regular way. Unidirectional attendance is more common when the number of machines is high. This problem is solved in this paper by a mathematical model of operator-machines system assuming constant walking rate and constant repair times. It is also assumed that breakdowns occur at random at an average rate for all machines.

The behaviour of operator-machines system is expressed by a differential equation which is solved for the number of machines stopping at any time. Experimental evidence is brought to verify the theory and the applicability of the formulae derived to the case of bidirectional attendance is discussed.

Included in the paper is an account of the experimental work to verify the theory developed earlier (Başer, 1972-1) for the case when the operative attends several machines in a random way.

## Bir İşçi Tarafından Bakılan Bir Grup Makinanın Verimliliğinin Hesaplanması İçin Matematiksel Bir Yaklaşım

Güngör BAŞER

Doç. Dr.

Ege Üni. Müh. Fak. Teks. Müh. Bölümü - İZMİR

Bir işçinin birçok makinaya baktığı durumdaki makina verimliliğinin tahminlenmesi, endüstrinin, optimum çalışma koşullarını bulma ya da uygun akord ücretlerini saptamada önemli bir problemidir. Makinalar işçi tarafından ya gelişigüzel ya da düzenli bir biçimde bakılırlar. Makina sayısı yüksek olduğunda tek yönlü servis daha yaygındır. Bu yazıda problem, sabit yürüme hızı ve sabit duruş giderme zamanları varsayan matematiksel bir işçi-makina sistemi modeli ile çözülmektedir. Ayrıca duruşların bütün makinalar için ortalama bir frekansla gelişigüzel bir biçimde ortaya çıktığı da varsayılmaktadır.

İşçi-makina sisteminin davranışı, belirli bir anda duruş yapan makina sayısı için çözülen bir diferansiyel denklemlerle gösterilmektedir. Teoriyi ispatlayan deneysel kanıtlar verilmekte ve elde edilen formüllerin iki yönlü servis durumuna uygulanabilirliği tartışılmaktadır.

Yazıya ayrıca, daha önce işçinin birçok makinaya gelişigüzel biçimde baktığı durum için geliştirilen teoriyi (Başer 1972) kanıtlayıcı deneysel çalışmanın raporu da alınmıştır.

## 1. INTRODUCTION

The calculation or the prediction, rather, of machine efficiency when an operative tends a group of machines is an important problem of production management. It is especially so in the textile industry as an operative is usually in charge of several machines or of several production units mounted on a common frame such as in a spinning machine. A unidirectional patrolling is the usual practice when the number of machines attended is very high.

A theoretical approach to the problem becomes imperative in situations such as in fixing piece rates. It is not practical to make an experimental determination of the machine efficiency by assigning a new and higher number of machines to the operative. Objective measurements are difficult to make and in most cases there will be psychological resistance to such an experimentation. As this is a well-known problem, many investigators have tackled the general problem of several machines under the care of one or more operatives, the problem of machine interference in particular.

Ashcroft (1950), by a statistical approach, calculated the average number of machines running, assuming that breakdowns occurred at random in time and equal times were required for the repair of each failure. He also examined the case when the repair times had an exponential distribution function, but he did not taken into account the walking time between successive repairs.

Benson and Cox (1951) examined the problem in greater detail for distributed repair times, assuming that the operative attended the machines in the order in which they stopped. The way the operative patrols the machine and the effects of the walking time between the broken down machines were dealt with first by Brunnschweiler (1954). Mack et al (1957) discussed the problem of unidirectional patrolling when walking time and repair times were assumed to be constant and gave a table of running efficiencies. Bunday and Jackson (1975) dealt with the problems of both unidirectional and bidirectional patrolling for variable repair times by applying simulation techniques. They generated the distribution function of repair times on a computer and calculated the efficiency of up to 28 machines under varying conditions which depended on the number of breakdowns per machine and on the walking time.

Jones (1963) treated the problem of random servicing of several machines by one operative by calculating the machine interference itself from the work load. He used the Binomial model and assumed

that the operative walked an average distance each time to repair a broken down machine.

The method of approach to the problem is statistical in all the abovementioned treatments. O'Connor (1965) looked into the problem of unidirectional or cyclic servicing from a different angle however, and approached the problem mathematically. He considered the effect of the operative's work for a stopped machine on the other machines and wrote down equilibrium conditions. His solution, however, involved an iterative process by assigning an initial value to efficiency. A theoretical attempt was made by Güngör (1967) on the same lines, who took into account the events occurring in an interval  $dt$  of a working cycle and derived a differential equation for the number of machines stopping at any time.

In a previous work [Başer, 1972-1] the author also approached the problem mathematically by considering what exactly happens to machines when the operative works in a certain way and derived an interference formula for the case of random servicing. An attempt was also made [Başer, 1972-2] to apply this formula in the treatment of the problem of cyclic servicing which did not however prove to be very practical.

What has been lacking in all these investigations is experimental work to verify the formulae derived and a general analysis of the exact behaviour of man-machines system under the varying conditions relating the method of working and the way the machines are arranged. It has, therefore, been the aim of this work to tackle the problem, that of unidirectional attendance in particular, analytically by constructing a mathematical model. It has also been the aim to make actual measurements of machine interference and efficiency by the stop-watch time study techniques to verify the theories.

## 2. THEORY FOR UNIDIRECTIONAL ATTENDANCE OF SEVERAL MACHINES BY ONE OPERATIVE

In weaving, a number of looms may be tended either randomly or by patrolling in a certain path whereas in the attendance of spinning machines the method of walking is always regular in either unidirectional or bidirectional way. As the number of machines tended by one operative is high and great walking distances are involved, regular attendance becomes imperative irrespective of the type of machine.

## 1. GİRİŞ

İşçinin bir grup makinaya baktığı zamanki makina verimliliğinin hesaplanması ya da tahminlenmesi üretim yönetiminin önemli bir problemidir. Bu özellikle tekstil endüstrisi için geçerlidir, zira işçi genellikle çok sayıda makinanın ya da ortak bir gövde üzerine yerleştirilmiş çok sayıda üretim ünitesinin çalıştırılmasının üstlenmiştir. Bakılan makina sayısı çok yüksek olduğunda tek yönlü yürüme alışılmış bir uygulamadır.

Akord ücretinin saptanması gibi durumlarda probleme teorik bir yaklaşım yapılması zorunlu olmaktadır. Makina verimliliğinin işçiye değişik ve daha yüksek sayıda makina vererek deneysel yolla saptanması pratik değildir. Objektif ölçümlerin yapılması güç olduğu gibi, çok kez böyle bir deneye karşı psikolojik direnme olacaktır. Bu çok iyi bilinen bir problem olduğundan birçok araştırmacı bir ya da birden çok işçinin gözetimine verilmiş genel çok makina problemini ve özellikle makina girişimi problemini incelemişlerdir.

Ashcroft (1950) istatistiksel bir yaklaşımla, duruşların zaman içinde gelişigüzel biçimde ortaya çıktığını ve her bir duruşu gidermek için eşit zamanlar gerektiğini varsayarak ortalama çalışan makina sayısını hesaplamıştır. Ayrıca duruş giderme zamanlarının exponansiyel bir dağılım gösterdiği durumu da incelemiş, fakat birbirini izleyen duruş gidermeler arası yürüme zamanını dikkate almamıştır.

Benson ve Cox (1951) işçinin makinalara duruş yaptıkları sıraya göre baktığını varsayarak problemi dağılım gösteren duruş giderme zamanları için daha ayrıntılı olarak incelemiştir. İşçinin makinalar boyunca yürüme biçimi ile yürüme zamanının diğer makinalar üzerindeki etkileri ilk kez Brunnschweiler (1954) tarafından ele alınmıştır. Mack ve arkadaşları (1957) yürüme zamanı ve duruş giderme zamanlarının sabit olduğunun varsayıldığı durumda tek yönlü yürüme problemini incelemişler ve bir verimlilik tablosu vermişlerdir. Bunday ve Jackson (1975) simülasyon teknikleri uygulayarak, değişken duruş giderme zamanları için hem tek yönlü hem de iki yönlü yürüme problemini çözmüşlerdir. Duruş giderme zamanlarının dağılım fonksiyonunu bir bilgisayarda üreterek yürüme zamanına bağlı olarak değişen koşullarda 28'e kadar çıkan sayıda makinanın verimliliğini hesaplamışlardır.

Jones (1963) çok sayıda makinanın bir işçi tarafından gelişigüzel biçimde bakılması problemini, makina girişiminin kendisini iş yükünden hesaplamak biçiminde ele almıştır. Binom modelini kullanmış ve işçinin duran bir makinanın duruşunun gid-

erildiği her bir durumda ortalama bir uzaklığı yürüdüğünü varsaymıştır.

Yukarıda sözü edilen tüm incelemelerde probleme yaklaşım metodu istatistikselidir. O'Connor (1965) tek yönlü ya da dairesel servis problemine başka bir açıdan bakmış ve probleme matematiksel olarak yaklaşmıştır. İşçinin duran bir makinada yaptığı çalışmanın diğer makinalar üzerindeki etkisini ele almış, denge koşullarını yazmıştır. Bununla birlikte, çözümü, verimliliğe bir başlangıç değeri vererek uygulanan iteratif bir işlemi içermektedir. Aynı çizgide teorik bir yaklaşım, bir iş çevriminin  $dt$  zaman aralığı içinde ortaya çıkan olayları dikkate alan ve herhangi bir anda duruş durumunda olan makina sayısı için bir diferansiyel denklem çıkaran Güngör (1967) tarafından yapılmıştır.

Daha önceki bir çalışmada [Başer, 1972-1] yazar da, işçi belirli bir biçimde yürürken makinalara tam olarak ne olduğunu ele alarak probleme matematiksel bir yaklaşım yapmış ve gelişigüzel servis için bir girişim formülü elde etmiştir. Ayrıca bu formülü dairesel yürüme probleminin analizinde kullanma yönünde pek pratik olmadığı görülen bir girişim de yapılmıştır [Başer, 1972-2].

Tüm bu araştırmalarda eksik olan, elde edilen formülleri kanıtlayan deneysel çalışma ile çalışma yöntemi ve makina dizilişleriyle ilgili olarak değişen koşullarda insan-makina sisteminin tam davranışının genel bir analizidir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı problemi ve özellikle tek yönlü servis durumunu matematiksel bir model kurarak çözmek olmuştur. Makina girişiminin ve verimliliğinin teorileri kanıtlamak için kronometre yardımıyla gerçek ölçümlerini yapmak da ayrıca amaç olarak alınmıştır.

## 2. BİRÇOK MAKINANIN TEK BİR İŞÇİ TARAFINDAN TEK YÖNLÜ YÜRÜME İLE BAKILMASI PROBLEMİ İÇİN TEORİ

Dokümanda belirli sayıda tezgah gelişigüzel ya da belirli bir yol izleyerek bakılabildiği halde, iplik makinasının bakılmasında yürüme metodu tek yönlü ya da iki yönlü olmak üzere daima düzenli biçimdedir. Bir işçi tarafından bakılan makina sayısı yükseldikçe ve büyük yürüme uzaklıkları söz konusu oldukça düzenli servis makina tipine bakılmaksızın zorunlu hale gelir.

What is happening when an operative attends several machines by walking in a certain path may be described as such: The operative will walk along and service the broken down machines one after the other, completing his or her tour in a certain time. The operative may do other useful work at the running machines but will give priority to the stopped machines. In such servicing the period of one tour will depend on the frequency of stoppages as well as the walking speed of the operative.

At the onset of a working period, the time of one cycle of the operative round the machines under his or her care may vary from cycle to cycle. After a certain time has elapsed, however, a steady state will develop where the operative is in equilibrium with the machines. That is to say, the operative will set his walking and working rate to complete his or her tour round the machines in a theoretically fixed time. The number of the stopping machines at any instance will also reach a constant value, on the other hand, starting with an initial value of zero at the beginning of a working period at which all the machines are running. Thus the number of machines stopping as a function of time may be expected to be a periodic function which is damped out at a certain level when the steady state conditions are obtained.

In developing a theory according to the above described model of man-machines system, we may assume that the walking rate is constant and no work is done other than repairing the broken down machines for simplicity.

Let us assume that breakdowns occur in a machine at an average rate of  $f$  per unit time, the time taken by the operative to walk from one machine to the next is  $w$  and that the repair time of a broken down machine is  $z$ .

If in the steady state conditions the number of machines stopping at a given instance is  $n$  and the number of machines assigned to one operative is  $N$ , then  $(N-n)f dt$  new stoppages will occur in an interval of time  $dt$ . In the same interval of time, the operative will repair some machines.

The time taken by the operative to repair one machine will be obtained by the sum of the repair time and the walking time from one stopping machine to the other. This time will, on the average, be  $dt/(Nw/n + z)$  and thus the increase  $dn$  in the number of machines being at a stop at any time will be given by

$$dn = (N - n) f dt - dt / (Nw/n + z) \dots\dots\dots (1)$$

Equation (1) may be arranged as a differential equation of the form,

$$\frac{dn}{dt} + \frac{Nw+zn}{zfn^2 + [1 - fN(z-w)]n - wfN^2} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

Substituting the values

$$\begin{aligned} A &= wN \\ B &= z \\ a &= -zf \\ b &= -[1 - fN(z-w)] \\ c &= wfN^2 \end{aligned}$$

and on integrating, Equation (2) has a solution

$$A \int \frac{dn}{an^2 + bn + c} + B \int \frac{ndn}{an^2 + bn + c} = t + C \dots\dots\dots (3)$$

where  $C$  is a constant. Solving the integrals in Equation (3) and applying the boundary conditions  $n = 0$  when  $t = 0$  to solve for  $C$ , the equation,

$$\begin{aligned} t = & \left( a - \frac{bB}{2a} \right) \frac{1}{a(p-q)} \log \left| \frac{(n-p)q}{(n-q)p} \right| \\ & + \frac{B}{2a} \log \left| \frac{an^2 + bn + c}{c} \right| \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

is obtained when  $b^2 > 4ac$ , where  $p$  and  $q$  are the roots of the quadratic  $an^2 + bn + c$ . For the case when  $b^2 < 4ac$  the equation takes the form,

$$\begin{aligned} t = & \left( A - \frac{bB}{2a} \right) \frac{2}{\sqrt{4ac-b^2}} \left[ \tan^{-1} \frac{2an+b}{\sqrt{4ac-b^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{4ac-b^2}} \right] \\ & + \frac{B}{2a} \log \left| \frac{an^2 + bn + c}{c} \right| \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

These equations give the time  $t$  in terms of the number of stopping machines  $n$  and therefore not suitable to investigate the variation of  $n$  from the start of a working period until a steady state is reached where the number of the stopping machines remains constant. However, by applying the steady state condition that

$$\frac{dn}{dt} = 0, \quad n = n_0$$

the number of machines stopping at any time may be obtained by the roots  $p$  and  $q$  of the quadratic function  $an^2 + bn + c$  as,

Bir işçi belirli bir yol izleyerek çok sayıda makinaya bakarken ortaya çıkan durum şu şekilde açıklanabilir: İşçi makina boyunca yürüyecek ve duran makinalara birbiri ardınca bakarak turunu belirli bir zaman içinde tamamlayacaktır. İşçi çalışır durumdaki makinalarda başka faydalı iş yapabilir, fakat duran makinalara öncelik verecektir. Bu tür serviste bir turun periyodu işçinin yürüme hızı kadar duruşların frekansına da bağlı olacaktır.

Bir çalışma periyodunun başlangıcında, işçinin bakımına verilen makinalar çevresinde yaptığı devir süresi, devirden devire değişebilir. Bununla birlikte, belirli bir süre geçtikten sonra işçiyle makinanın dengede olduğu kararlı bir durum ortaya çıkacaktır. Bu demektir ki, işçi makinalar çevresindeki turunu teorik olarak belirli bir zaman içinde tamamlamak için yürüme ve çalışma hızını ayarlayacaktır. Diğer yandan, herhangi bir andaki duran makina sayısı da, tüm makinaların çalışır durumda olduğu çalışma dönemi başında sıfır başlangıç değeri ile başlayarak sabit bir değere erişecektir. Böylece, zamanın bir fonksiyonu olarak duran makina sayısının, kararlı durum koşulları elde edildiği zaman belirli bir düzeye sönmüldüğü periyodik bir fonksiyon olması beklenebilir.

Yukarıda belirtilen insan-makina sistemi modeline göre bir teori geliştirirken, yürüyüş hızının sabit olduğunu ve basitleştirme açısından duran makinada duruş giderme dışında başka hiçbir iş yapılmadığını varsayabiliriz.

Bir makinada duruşların birim zaman başına ortalama  $f$  hızıyla ortaya çıktığını, işçinin bir makinadan diğerine yürümesi için geçen zamanın  $w$  olduğunu ve duran bir makinada duruş giderme süresinin  $z$  olduğunu varsayalım.

Eğer kararlı durum koşullarında belirli bir andaki duran makinaların sayısı  $n$  ve bir işçiye verilen makina sayısı  $N$  ise, o zaman bir  $dt$  zaman aralığında  $(N-n)f dt$  yeni duruş ortaya çıkacaktır. Aynı zaman aralığında işçi bazı makinaların duruşunu giderecektir.

İşçinin bir makinanın duruşunu gidermesi için geçen zaman, duruş giderme süresiyle duran bir makinadan diğerine yürümesi için geçen zamanın toplamı olarak elde edilecektir. Bu zaman ortalama olarak  $dt/(Nw/n+z)$  olacak ve dolayısıyla herhangi bir anda duruş durumunda olan makina sayısındaki artış  $dn$ ,

$$dn = (N - n) f dt - dt / (Nw/n + z) \dots\dots\dots (1)$$

olarak verilecektir.

(1) eşitliği, bir diferansiyel denklem olarak,

$$\frac{dn}{dt} + \frac{Nw+zn}{zfn^2 + [1 - fN(z-w)]n - wfN^2} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

biçiminde düzenlenebilir.

$$\begin{aligned} A &= wN \\ B &= z \\ a &= -zf \\ b &= -[1 - fN(z-w)] \\ c &= wfN^2 \end{aligned}$$

değerlerini yerine koyarak ve integrali alınarak (2) denklemi,

$$A \int \frac{dn}{an^2 + bn + c} + B \int \frac{ndn}{an^2 + bn + c} = t + C \dots\dots\dots (3)$$

çözümünü verir. Burada  $C$  bir sabittir. (3) denklemindeki integraller çözüldüğünde ve  $t = 0$  olduğunda  $n = 0$  sınır koşulları  $C$ 'yi bulmak için uygulandığında, eğer  $b^2 > 4ac$  ise,

$$\begin{aligned} t = & \left( a - \frac{bB}{2a} \right) \frac{1}{a(p-q)} \log \left| \frac{(n-p)q}{(n-q)p} \right| \\ & + \frac{B}{2a} \log \left| \frac{an^2 + bn + c}{c} \right| \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

elde edilir. Burada  $p$  ve  $q$   $an^2 + bn + c$  karesinin kökleridir.  $b^2 < 4ac$  durumu için denklem

$$\begin{aligned} t = & \left( A - \frac{bB}{2a} \right) \frac{2}{\sqrt{4ac-b^2}} \left[ \tan^{-1} \frac{2an+b}{\sqrt{4ac-b^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{4ac-b^2}} \right] \\ & + \frac{B}{2a} \log \left| \frac{an^2 + bn + c}{c} \right| \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

biçimini alır.

Bu eşitlikler  $t$  zamanını duran makina sayısı  $n$  cinsinden verir ve dolayısıyla bir çalışma döneminin başlangıcından duran makina sayısının sabit kaldığı kararlı duruma kadar  $n$ 'in değişimini incelemeye uygun değildir. Bununla birlikte,

$$\frac{dn}{dt} = 0, \quad n = n_0$$

kararlı durum koşullarını uygulayarak, herhangi bir andaki duran makina sayısı,  $an^2 + bn + c$  karesinin  $p$  ve  $q$  kökleri olarak,

$$n_0 = -\frac{1}{2zf} \left\{ 1 - fN(z-w) \pm \sqrt{[1 - fN(z-w)]^2 + 4z wf^2 N^2} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

## 2.1. Machine Efficiency

The machine efficiency E may be simply expressed as

$$E = 1 - n_0/N \dots\dots\dots (7)$$

## 2.2. Cycle Period

The period of one cycle,  $\tau$ , at the end of which the operative returns to the starting point may be obtained by the sum of the walking time per cycle and the time spent by the operative to repair the machines stopping. If the machines repaired per cycle is  $n_1$ , then the cycle period  $\tau$  is given by

$$\tau = wN + n_1z \dots\dots\dots (8)$$

## 2.3. Number of Machines Repaired per Cycle

In steady state conditions there will be  $n_0$  machines stopping at any time and thus  $N - n_0$  machines will be in the running state. In each cycle the operative will have to repair  $n_0$  stopping machines plus those machines that are likely to break down during the cycle period  $\tau$ , which lie ahead of the operative. Since it may be assumed equally likely that breakdowns will occur both in front and behind the operative (i.e. between the operative and the starting point of a cycle in two opposite directions), the operative will tend only half of the machines broken down in the course of one cycle, which lie ahead relative to the starting point. Thus the number of machines to be repaired in the course of one cycle,  $n_1$ , will be

$$n_1 = n_0 + \frac{1}{2} (N - n_0) f \tau \dots\dots\dots (9)$$

Substituting Equation (9) in Equation (8) the cycle period  $\tau$  will be obtained as

$$\tau = \frac{wN + zn_0}{1 - \frac{1}{2} (N - n_0) fz} \dots\dots\dots (10)$$

With Equations (6), (7) and (10), all the important parameters that will be useful in an analysis of unidirectional or cyclic service of N machines by one operative are, thus, theoretically definable.

## 3. EXPERIMENTAL WORK

### 3.1. General Method of Experiment

The method adopted in the experimental work was to make a more comprehensive time study than

usual, of a particular process while a given number of machines were being attended by one operative working in a standard way. The special technique applied in this time study included the observation and timing of each breakdown occurring in a succession of machines which were next to each other and whose number was so chosen as to allow easy and accurate observation. Those breakdowns which occurred spontaneously were also noted down when possible. Thus, it was hoped to measure the actual loss of production time due to both the time spent to repair breakdowns and the time lost due to machine interference. The repair times were, however, studied separately by the work measurement technique. Separate measurements were carried out for each type of repair.

The same attitude was taken for the walking time between breaks as well as for other useful work done by the operative when the machine was running. In the cases of regular attendance the cycle periods for each run were timed several times by the stopwatch. The working rates of the operatives were evaluated as the overall rate of each operative taking part in the experiment.

The actual productions achieved during the course of the time studies were also determined as the net weights of single doffs from a given number of machines. The purpose was to compare the actual productivity calculated on the basis of time units with that calculated on the basis of direct measurement of production and production rate.

### 3.2. Experiments of Regular Attendance

Two experiments were carried out applying the method explained above inasmuch as it was possible, one being on a Zinser ring spinning frame working a 26/2 Nm worsted yarn, another on a Gilbos winding machine working a 36/2 Nm worsted yarn. Unidirectional patrolling was applied by the operatives in the spinning machine whereas in the winding machine bidirectional patrolling was the only way since the operatives were given the care of 25 bobbin heads which were on one side of the machine frame.

The particulars of the complete time study measurements are given in Tables I and II for the spinning and winding machines respectively. Four studies on spinning machines, five studies on the winding machine were done. As it is intended to verify the theory by the experimental results of productivity, all elementary times in Tables I and II are shown as the actual times achieved in the actual working rates.

$$n_0 = -\frac{1}{2zf} \left\{ 1 - fN(z-w) \pm \sqrt{[1 - fN(z-w)]^2 + 4z wf^2 N^2} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

biçiminde elde edilir.

### 2.1. Makina Verimliliği

Makina verimliliği E, basit olarak,

$$E = 1 - n_0/N \dots\dots\dots (7)$$

biçiminde gösterilebilir.

### 2.2 Tur Süresi

İşçinin, sonunda başlangıç noktasına geri döndüğü bir turunun süresi  $\tau$ , tur başına yürüme zamanı ile işçi tarafından duran makinalarda duruş giderme için harcanan zamanın toplamı olarak elde edilebilir. Eğer tur başına duruşu giderilen makinaların sayısı  $n_1$  ise, o zaman tur süresi,

$$\tau = wN + n_1z \dots\dots\dots (8)$$

olarak verilir.

### 2.3. Tur Başına Duruşu Giderilen Makina Sayısı

Kararlı durum koşullarında, herhangi bir anda  $n_0$  makina duruş durumunda olacak ve dolayısıyla  $N - n_0$  makina çalışır durumda bulunacaktır. Her turda işçinin duran  $n_0$  makina artı tur süresi  $\tau$  boyunca durması beklenen ve işçinin önünde yer alan makinaların duruşunu gidermesi gerekecektir. Duruşların işçinin önünde ve arkasında, diğer bir deyimle işçi ile turun başlangıç noktasının her iki yönde ortaya çıkma olasılığının eşit olduğu varsayılabilir. İşçi bir tur süresi içinde duruş yapan makinaların yalnızca başlangıç noktasına göre önünde olan yanısına bakacaktır. O halde bir tur süresince bakılması gereken makina sayısı  $n_1$ ,

$$n_1 = n_0 + \frac{1}{2} (N - n_0) f \tau \dots\dots\dots (9)$$

olacaktır.

(9) eşitliği (8) eşitliğinde yerine konarak tur süresi  $\tau$ ,

$$\tau = \frac{wN + zn_0}{1 - \frac{1}{2} (N - n_0) fz} \dots\dots\dots (10)$$

olarak elde edilir.

Böylece (6), (7) ve (10) eşitlikleri ile, bir işçi tarafından N makinanın tek yönlü ya da dairesel yürüme ile bakılması durumunun analizinde yararlı olacak tüm önemli parametreler teorik olarak belirlenebilir olmaktadır.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 3.1. Genel Deney Metodu

Deneyisel çalışmada uygulanan metod, verilen sayıda makinanın standart metodla çalışan bir işçi tarafından bakıldığı belirli bir işlemin alışılmıştan daha kapsamlı bir zaman etüdünün yapılması olmuştur. Bu zaman etüdüde uygulanan özel teknik, yan yana bulunan ve sayısı kolay ve hassas ölçümlere izin verecek biçimde seçilen bir dizi makinada ortaya çıkan her duruşun gözlenmesini ve ölçümünü içermiştir. Aynı anda ortaya çıkan duruşlar da olanak ölçüsünde kaydedilmiştir. Böylece hem duruş giderme için harcanan zamana, hem de makina girişimi nedeniyle yitirilen zamana bağlı gerçek üretim kayıplarını saptamak umulmuştur. Bununla birlikte, duruş giderme zamanları ayrı olarak eleman zaman etüdü tekniğiyle ölçülmüştür. Her duruş giderme türü için ayrı ölçümler yapılmıştır.

Aynı tutum hem duruşlar arası yürüme zamanı, hem de makina çalışırken işçi tarafından yapılan faydalı iş için de sürdürülmüştür. Düzenli servis durumlarında her bir etüd için tur süreleri kronometreyle birçok kez ölçülmüştür. İşçilerin çalışma tempoları deneyde rol alan her bir işçi için genel tempo olarak değerlendirilmiştir. Zaman edüdüleri süresince elde edilen gerçek üretim miktarları da işçiye verilen belirli sayıda makinadan çıkarılan tek bir takımın net ağırlığı olarak saptanmıştır. Bunda amaç zaman birimi bazına göre hesaplanan gerçek verimlilik ile üretimin ve üretim hızının doğrudan ölçümüne dayalı olarak hesaplanan verimliliği karşılaştırmak idi.

### 3.2. Düzenli Servis Deneyleri

Biri 26/2 Nm kamgarn iplik çalışan Zinser bilezikli eğirme makinasında, diğeri 36/2 Nm kamgarn iplik çalışan Gilbos bobin makinasında olmak üzere yukarıda açıklanan metodu olanak ölçüsünde uygulayarak iki deney yapılmıştır. İplik makinasında işçiler tarafından tek yönlü yürüme uygulanmış, buna karşın bobin makinasında iki yönlü yürüme uygulanabilen tek yol olmuştur, çünkü işçilere makinanın bir tarafında bulunan 25 bobin başı verilmiştir.

Tüm zaman etüdü ölçümlerinin ayrıntıları iplik ve bobin makinaları için sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. İplik makinasında dört etüd, bobin makinasında beş etüd yapılmıştır. Teoriye deneysel verimlilik sonuçları ile kanıtlamak amaçlandığından, Tablo 1 ve 2'de tüm zaman elemanları gerçek çalışma temposunda sağlanan gerçek zamanlar olarak gösterilmiştir.

**Table 1:** Results of the Time Studies Carried out on the Zinser Spinning Frame

Material Properties				
Yarn count :	26/2 Nm			
Twist :	430 t.p.m.			
Blend :	50 % Domestic wool, 30 % Viscose staple, 20 % Polyester			
Conditions of the Time Studies				
Number of spindles/operative :	400			
Number of spindles studied :	20			
Number of time studies carried out :	4			
Distance between spindles :	10.25 cm			
Diameter of front rollers :	35 mm			
Time Study Results				
	Study 1	Study 2	Study 3	Study 4
Duration of the time study (min)	120	120	120	120
Number of revolutions of front rollers (rev/min)	146	146	148	150
Working rate (%)	95	90	90	90
Yarn count measured (Nm)	25.5	25.4	25.6	25.9
Production time of a full set of cops (min)	168	160	162	157
Amount of production (net Kg/400 spindles)	39	37	38.5	38.5
Total break frequency of the spindles (breaks/20 spindles)	7	4	8	7
Total stoppage time of the spindles (min/20 spindles)	12.93	7.94	13.29	13.12
Number of interferences	2	0	2	1
Number of stoppages with interference	4	0	4	2
Average cycle period	: 2.40 min			
Walking time between two spindles	: 0.00225 min			
Average walking time between two stoppages	: 28.3 centi-min			
Standard piecing time	: 12.2 centi-min			
Standard time for roving feeding and piecing	: 40 centi-min			
Standard time for change of bobbin and piecing	: 48 centi-min			

The evaluations of the experimental results obtained and given in Tables I and II are shown in Tables III and IV for the spinning and winding experiments respectively. Estimates of the actual total stopping time for the number of spindles or winding heads were made as the weighted averages obtained by taking all the separate studies together. The automatic times were then calculated by the subtraction of this value from the total working time. The break frequencies were also calculated as the weighted averages, as the ratio of the total break frequency to the total automatic time.

The average repair times per stop were calculated from the standard repair times given in Tables I and II, which themselves were evaluated by the work measurement technique, as the weighted

averages corrected for the actual working rates. The process of weighting was based for the spinning experiment on a composition of 96 % normal piecing and 4 % feeding of roving and piecing or change of roving bobbin and piecing as the calculated percentages giving an average time of 44 centi-minutes for the latter type of piecing. For the winding experiment the actual composition of the various types of breaks was used for the weighting of the repair times to find the average repair time at actual working rate.

The actual productivity is obtained by diving the automatic time by the working time (automatic time + total stopping time). The productivity is also calculated on the production basis by dividing the actual production rate by the theoretical value.

**Table 2:** Results of the Time Studies Carried out on the Gilbos Winding Machine

Material Properties					
Yarn count :	36/2 Nm				
Twist :	430 t.p.m.				
Blend :	45 % Merino wool, 55 % Polyester				
Conditions of the Time Studies					
Number of heads/operative :	25				
Number of heads studied :	5				
Number of time studies carried out :	5				
Distance between heads :	33.4 cm				
Diameter of winding drum :	70 mm				
Number of revolutions of the drum :	2750 rev/min				
Winding angle :	17.5°				
Time Study Results					
	Study 1	Study 2	Study 3	Study 4	Study 5
Duration of the time study (min)	39	42	40	41	41
Working rate (%)	95	95	90	100	90
Yarn count measured (Nm)	17.2	17.2	17.6	17.5	17.4
Amount of production (net Kg/25 h.)	29.6	31.3	29.5	31.6	28.3
Total break frequency of the heads (breaks/5 heads)	38	42	42	41	43
- Piecing	3	2	2	1	3
- Change of cop and piecing	30	35	35	35	35
- Bobbin doffing	5	5	5	5	5
Total stoppage time of the heads (centi-min/5 heads)	2186	1965	3566	1725	3339
- Piecing	474	222	212	61	151
- Change of cop and piecing	1417	1464	3072	1281	2364
- Bobbin doffing	295	279	282	283	824
Standard piecing time	: 10 centi-min				
Standard time for change of cop and piecing	: 12 centi-min				
Standard time for bobbin doffing	: 17 centi-min				
Average cycle period	: 136.7 centi-min				
Average walking time between two heads	: 0.00076 min				
Average walking time between two stoppages	: 0.763 centi-min				

**Tablo 1:** Zinser İplik Makinasında Yapılan Zaman Etüdü Sonuçları

Materyal Özellikleri				
İplik No :	26/2 Nm			
Büküm :	430 Tur/m			
Harman :	% 50 Yerli Yapak, % 30 Viskon, % 20 Polyester			
Etüd Koşulları				
İğ sayısı/İşçi :	400			
Etüd edilen iğ sayısı :	20			
Etüd sayısı :	4			
İğler arası uzaklık :	10,25 cm			
Verim silindiri çapı :	35 mm			
Etüd Sonuçları				
	Etüd 1	Etüd 2	Etüd 3	Etüd 4
Etüd süresi (dak.)	120	120	120	120
Verim silindiri devri (d/dak)	146	146	148	150
İşçi temposu (%)	95	90	90	90
Ölçülen iplik No (Nm)	25,5	25,4	25,6	25,9
Takım dolma süresi (dak.)	168	160	162	157
Üretim miktarı (net Kg/400 iğ)	39	37	38,5	38,5
İğlerin toplam duruş frekansı (/20 iğ)	7	4	8	7
İğlerin toplam duruş süresi (dak/20 iğ)	12,93	7,94	13,29	13,12
Girişim sayısı	2	0	2	1
Girişimli duruş sayısı	4	0	4	2
Ortalama tur süresi	: 2,40 dak.			
İki iğ arası yürüme zamanı	: 0,00225 dak.			
İki kopuş arası ortalama yürüme zamanı	: 28,3 sdak.			
Standart kopuk bağlama süresi	: 12,2 sdak.			
Standart fitil besleme ve kopuk bağlama süresi	: 40 sdak.			
Standart bobin değiştirme ve kopuk bağlama süresi	: 48 sdak.			

Not: sdak., santidakikamın kısaltılmış biçimidir.

Elde edilen ve Tablo 1 ve 2'de gösterilen deneysel sonuçların değerlendirmeleri eğirme ve bobin deneyleri için sırasıyla Tablo 3 ve 4'de gösterilmiştir. Gözlenen sayıda iğ ya da bobin başına ait gerçek toplam duruş süresinin tahminlenmesi, tüm bağımsız etüdüleri birlikte ele alarak elde edilen ağırlıklı ortalamalar olarak yapılmıştır. Daha sonra bu değeri toplam çalışma zamanından çıkararak otomatik zamanlar hesaplanmıştır. Duruş frekansları da toplam duruş frekansının toplam otomatik zamana oranı cinsinden ağırlıklı ortalamalar olarak hesaplanmıştır.

Duruş başına ortalama duruş giderme süresi, Tablo I ve II'de verilen ve kendileri de eleman za-

man etüdü tekniği ile değerlendirilmiş olan standart duruş giderme sürelerinden, gerçek çalışma temposuna göre düzeltilmiş ağırlıklı ortalamalar olarak hesaplanmıştır. Eğirme deneyi için ağırlıklı ortalama alma işlemi, % 96 normal kopuk bağlama ve % 4 fitil besleme ve kopuk bağlama ya da fitil bobini değiştirme ve kopuk bağlama kompozisyonuna dayandırılmış, ikinci top kopuk bağlama için ortalama 44 santidakika alınmıştır. Bobin deneyinde, gerçek çalışma temposunda ortalama duruş giderme süresini bulmak için duruş giderme sürelerinin ağırlıklı ortalamasının alınmasında çeşitli tip duruşların gerçek kompozisyonu kullanılmıştır.

Gerçek verimlilik, otomatik zamanı çalışma zamanına (otomatik zaman + toplam duruş zamanı) bölerek elde edilmiştir. Verimlilik aynı zamanda gerçek üretim hızını teorik değere bölerek de üretim bazında hesaplanmıştır.

**Tablo 2:** Gilbos Bobin Makinasında Yapılan Zaman Etüdü Sonuçları

Materyal Özellikleri					
İplik No :	36/2 Nm				
Harman :	% 45 Merinos yapığı, % 55 Polyester				
Etüd Koşulları					
İğ sayısı/İşçi :	25				
Etüd edilen iğ sayısı :	5				
İğler arası uzaklık :	33,4 cm				
Baraban çapı :	70 mm				
İğ devri :	2750 d/dak.				
Sarma açısı :	17,5				
Etüd Sonuçları					
	Etüd 1	Etüd 2	Etüd 3	Etüd 4	Etüd 5
Etüd süresi (dak.)	39	42	40	42	41
İşçi temposu (%)	95	95	90	100	90
Ölçülen iplik No (Nm)	17,2	17,2	17,6	17,5	17,4
Üretim miktarı (net Kg/25 iğ)	29,6	31,3	29,5	31,6	28,3
İğlerin toplam duruş frekansı (/5 iğ)	38	42	42	41	43
- Kopuk bağlama	3	2	2	1	3
- Masura değiştirme ve kopuk bağlama	30	35	35	35	35
- Bobin çıkarma	5	5	5	5	5
İğlerin toplam duruş süresi(sdak/5 iğ)	2186	1965	3566	1725	3339
- Kopuk bağlama	474	222	212	61	151
- Masura değiştirme ve kopuk bağlama	1417	1464	3072	1281	2364
- Bobin çıkarma	295	297	282	283	824
Standart kopuk bağlama süresi	: 10 sdak.				
Standart masura değiştirme ve kopuk bağlama süresi	: 12 sdak.				
Standart bobin çıkarma süresi	: 17 sdak.				
Ortalama tur süresi	: 136,7 sdak.				
İki iğ arası yürüme zamanı	: 0,00076 dak.				
İki duruş arası ortalama yürüme zamanı	: 0,763 sdak.				

**Table 3:** Evaluation of the The Studies Carried out on the Zinser Spinning Frame

Number of Machines assigned = N	: 400 spindles
Total stoppage time	: 0.788 h/20 spindles
Total automatic time	: 159.2 h/20 spindles
Productivity (on time basis)	: 99.51 %
Theoretical production rate	: 16.22 m/min/spindle
Actual production rate	: 15.14 m/min/spindle
Productivity (on production basis)	: 93.33 %
Average break frequency = f	: 0.163 breaks/h/spindle
Average repair time = z	: 14.78 sec = 0.00411 h
(actual working rate)	
Average cycle period = $\tau$	: 2.40 min (0.04 h)
Average walking time between two spindles = w	: 0.00225 min (0.000375 h)
Average walking time between two stoppages = $Nw/n_0$	: 0.283 min (0.0047 h)

**Table 4:** Evaluation of the Time Studies Carried out on the Gilbos Winding Machine

Number of Machines assigned = N	: 25 heads
Total stoppage time	: 2.114 h/5 heads
Total automatic time	: 14.88 h/5 heads
Productivity (on time basis)	: 87.56 %
Theoretical production rate	: 634.4 m/min/head
Actual production rate	: 512.2 m/min/head
Productivity (on production basis)	: 80.73 %
Average break frequency = f	: 13.89 breaks/h/head
Average repair time = z	: 13.32 sec = 0.0037 h
(actual working rate)	
Average cycle period = $\tau$	: 1.368 min (0.0228 h)
Average walking time between two spindles = w	: 0.0076 min (0.000127 h)
Average walking time between two stoppages = $Nw/n_0$	: 0.763 min (0.0127 h)

**Table 6:** Evaluation of the The Studies Carried out on the Schweiter Doubling Machine

Number of machines assigned = N	: 6
Total stoppage time = $\Sigma t_d$	: 3710 centi-min / 3 heads
Total working time = $\Sigma T$	: 59100 centi-min / 3 heads
Total automatic time = $\Sigma t_m$	: 55390 centi-min / 3 heads
Actual productivity (on time basis)	: 93.72 %
Total stoppage time without interference (at actual working rate)	: 2479.5 centi-min / 3 heads
Average break frequency = $\bar{f}$	: 18,35 breaks/spindle/h
Average stoppage time (at actual working rate) = $\bar{t}_d$	: 14 centi-min (0.00233 h)
Average repair time (including walking at actual working rate) = $\bar{t}_d + \bar{t}_y$	: 19.6 centi-min (0.00327 h)
Average probability of a stoppage at a single machine = $\bar{p} = \bar{f} (\bar{t}_d + \bar{t}_y)$	: 0.06
Productivity of single machine	: 99.96 %
Total time of stoppages with interference	: 1230.5 centi-min / 3 heads
Total interference loss	: 485.7 centi-min / 3 heads
Average interference = $\frac{\text{Total interference loss}}{\text{Total working time}} = G$	: 0.0082
Actual production	: 338.1 m/min/head
Theoretical production rate	: 342 m/min/head
Productivity (on production basis)	: 98.85 %

**Table 5:** Results of the Time Studies Carried out on the Schweiter Doubling Machine

Material Properties					
Yarn count	: 32/2 Nm				
Twist	: 430 t.p.m.				
Blend	: 70 % Merino wool, 30 % Polyester				
Conditions of the Time Studies					
Number of heads	: 12				
Number of heads/operative	: 6				
Number of heads studied	: 3				
Number of time studies carried out	: 5				
Distance between heads	: 30 cm				
Diameter of winding drum	: 76 mm				
Number of revolutions of the drum	: 1362 rev/min				
Winding angle	: 18°				
Time Study Results					
	Study 1	Study 2	Study 3	Study 4	Study 5
Duration of the time study (min)	36	35	46	39	41
Number of the revolutions of the drum (rev/min)	1303	1303	1423	1380	1380
Working rate (%)	95	95	100	90	90
Amount of production (net g)		4500	4450	5940	5190
Total break frequency of the heads (breaks/3 heads)	37	30	36	39	35
- Bobbin unwinding and piecing	0	1	1	0	0
- Clearing neps	12	6	11	9	8
- Change of cop and piecing	17	15	19	20	18
- Piecing	8	8	5	10	9
Total stoppage time of the heads (centi-min/3 heads)	771	728	617	872	722
- Bobbin unwinding and piecing	0	43	27	0	0
- Clearing neps	160	140	112	132	109
- Change of cop and piecing	433	338	410	504	380
- Piecing	178	207	68	236	233
Number of interferences	2	1	5	6	4
Number of stoppages with interference	4	2	12	13	7
Total time of stoppages with interference centi-min	99	68	318	339	220
Standard time for bobbin unwinding and piecing	: 64.3 centi-min				
Standard time for neps clearing	: 5.3 centi-min				
Standard time for change of cop and piecing	: 17.7 centi-min				
Standard piecing time	: 14.5 centi-min				

### 3.3. Experimentson Random Attendance

The experiment was carried out on a Schweiter doubling frame working a 32/2 Nm worsted yarn. Five time studies were done and great care was taken to measure the stoppages at each of the winding heads under observation. The spontaneously occurring stoppages were carefully noted down. The particulars of the time study measurements thus carried out are shown in Table V. The evaluations of these measurements were done in a similar way to those for the experiments on regular attendance case. The evaluated results are shown in Table VI. Some of the symbols to be used in the theoretical calculations feature also in this table as put equal to the items they denote.

**Tablo 3:** Zinser Iplik Makinasında Yapılan Zaman Etüdü Değerlendirmesi

İşçiye verilen makina sayısı = N	: 400 iğ
Toplam duruş süresi	: 0,788 saat/20 iğ
Toplam otomatik zaman	: 159,2 saat/20 iğ
Verimlilik (zaman bazında)	: % 99,51
Teorik verim	: 16,22 m/dak./iğ
Gerçek verim	: 15,14 m/dak./iğ
Verimlilik (üretim bazında)	: 93,33
Ortalama duruş frekansı = f	: 0,163 duruş/saat/iğ
Ortalama duruş giderme süresi = z	: 14,78 sn = 0,00411 saat (gerçek tempo)
Ortalama tur süresi = $\tau$	: 2,40 dak. (0,04 saat)
İki iğ arası ortalama yürüme süresi = w	: 0,00225 dak. (0,000375 saat)
İki duruş arası ortalama yürüme süresi = $Nw/n_0$	: 0,283 dak. (0,0047 saat)

**Tablo 4:** Gilbos Bobin Makinasında Yapılan Zaman Etüdü Değerlendirmesi

İşçiye verilen makina sayısı = N	: 25 iğ
Toplam duruş süresi	: 2,114 saat/5 iğ
Toplam otomatik zaman	: 14,88 saat/5 iğ
Verimlilik (zaman bazında)	: % 87,56
Teorik verim	: 634,4 m/dak./iğ
Gerçek verim	: 512,2 m/dak./iğ
Verimlilik (üretim bazında)	: % 80,73
Ortalama duruş frekansı = f	: 13,89 duruş/saat/iğ
Ortalama duruş giderme süresi = z	: 13,32 sn. = 0,0037 saat (gerçek tempo)
Ortalama tur süresi = $\tau$	: 1,368 dak. (0,0228 saat)
İki iğ arası ortalama yürüme süresi = w	: 0,0076 dak. (0,000127 saat)
İki duruş arası ortalama yürüme süresi = $Nw/n_0$	: 0,763 dak. (0,0127 saat)

**Tablo 6:** Schweiter Döblaj Makinasında Yapılan Zaman Etüdü Değerlendirmesi

İşçiye verilen makina sayısı = N	: 6
Toplam duruş süresi = $\Sigma t_d$	: 3710 sdak./3 iğ
Toplam çalışma süresi = $\Sigma T$	: 59100 sdak./3 iğ
Toplam otomatik zaman = $\Sigma t_m$	: 55390 sdak./3 iğ
Gerçek verimlilik (zaman bazında) : % 93,72	
Girişimsiz toplam duruş süresi (gerçek tempo)	: 2479,5 sdak./3 iğ
Ortalama duruş frekansı = $\bar{f}$	: 18,35 duruş/iğ/saat
Ortalama duruş giderme süresi (gerçek tempoda) = $\bar{t}_d$	: 14 sdak. (0,00233 saat)
Ortalama duruş giderme süresi (yürüme dahil) = $\bar{t}_d + \bar{t}_y$	: 19,6 sdak. (0,00327 saat)
Tek makinada ortalama duruş olasılığı = $\bar{p} = \bar{f} (\bar{t}_d + \bar{t}_y)$	: 0,06
Tek makina verimliliği	: 0,0076 dak. (0,000127 saat)
Toplam girişimli duruş süresi	: 0,763 dak. (0,0127 saat)
Toplam girişim kaybı	
Ortalama girişim = $\frac{\text{Toplam girişim kaybı}}{\text{Toplam çalışma süresi}} = G$	: 0,0082
Gerçek üretim	: 338,1 m/dak./iğ
Teorik verim	: 342 m/dak./iğ
Verimlilik üretim bazında	: % 98,85

**Tablo 5:** Schweiter Döblaj Makinasında Yapılan Zaman Etüdü Sonuçları

Materyal Özellikleri					
İplik No	: 32/2 Nm				
Harman	: % 70 Yerli merinos, % 30 Polyester				
Etüd Koşulları					
İğ sayısı	: 12				
İğ sayısı/İşçi	: 6				
Etüd edilen iğ sayısı	: 3				
Etüd sayısı	: 5				
İğneler arası uzaklık	: 30 cm				
Baraban çapı	: 76 mm				
İğ devri ortalama	: 1362 d/dak.				
Sarma açısı	: 18				
Etüd Sonuçları					
	Etüd 1	Etüd 2	Etüd 3	Etüd 4	Etüd 5
Etüd süresi (dak.)	36	35	46	39	41
iğ devri (d/dak.)	1303	1303	1423	1380	1380
İşçi Temposu (%)	95	95	100	90	90
Üretim miktarı (net g)	4500	4450	5940	4900	5190
İğlerin toplam duruş frekansı (duruş/3 iğ)	37	30	36	39	35
- Bobin sağma k					
opuk -bağlama	0	1	1	0	0
- Nope temizleme	12	6	11	9	8
- Masura değiştirme-kopuk bağlama	17	15	19	20	18
- Kopuk bağlama	8	8	5	10	9
İğlerin toplam duruş süresi (sdak/3 iğ)	771	728	617	872	722
-Bobin sağma kopuk -bağlama	0	43	27	0	0
- Nope temizleme	160	140	112	132	
- Masura değiştirme-kopuk bağlama	433	338	410	504	380
- Kopuk bağlama	178	207	68	236	233
Girişim sayısı	2	1	5	6	4
Girişimli duruş sayısı	4	2	12	13	7
Girişimli duruşlar toplam süresi (sdak)	99	68	318	339	220
Standart bobin sağma-kopuk bağlama	: 64,3 sdak.				
Standart nope temizleme	: 5,3 sdak.				
Standart masura değiştirme-kopuk bağlama	: 17,7 sdak.				
Standart kopuk bağlama	: 14,5 sdak.				

### 3.3. Gelişigüzel Servis Deneyi

Deney 32/2 Nm kamgarn iplik çalışan bir Schweiter katlama makinasında yapılmıştır. Beş zaman etüdü yapılmış ve gözlem altındaki her bir bobin başındaki duruşları ölçmek için büyük dikkat gösterilmiştir. Aynı anda ortaya çıkan duruşlar dikkatlice not edilmiştir. Böyle yürütülen zaman etüdü ölçümlerinin ayrıntıları Tablo 5'de gösterilmiştir. Bu ölçümlerin değerlendirmeleri, düzenli servis deneylerinde yapılabenzer biçimde yapılmıştır. Değerlendirme sonuçları Tablo 6'de gösterilmiştir. Teorik hesaplamalarda kullanılan bazı semboller de bu tabloda, gösterdikleri değerler eşitlenmiş olarak görülmektedirler.

#### 4. THEORETICAL CALCULATIONS

##### 4.1. Regular Attendance

The parameters  $N$ ,  $f$ ,  $z$  and  $w$  shown also in Tables III and IV were used for the theoretical calculations of productivity for the spinning and winding machines respectively. If the variation with time of the number of machines stopping is obtained, starting with a value of zero when all machines are running, then the behaviour of man-machine system in a multi-machine assignment can be better investigated in many of its aspects by simple graphs. However, the fact that the time variable  $t$  is given in terms of the number of stopping machines  $n$  presented some difficulties. A computer programme was prepared to invert Equation (5) to get the number of stopping machines  $n$  as the function of time  $t$ . This was done by calculating the time  $t$  in succession for a set of values of  $n$  generated by the computer in ascending order and by comparing each value in turn with a given value of  $t$  also generated by the computer and increased by equal steps after each run.

The variation with time of the number of stopping machines is shown in Figures 1 and 2 for the spinning and winding machines respectively. It can be observed in both graphs that the number of machines stopping shows sudden jumps at single points above a succession of gradually increasing points. This is due to the mathematical structure of the function and does not reflect the true nature of the actual event. Therefore it can be concluded that the number of machines stopping at any time increases gradually until a limiting value is reached after which it remains constant.

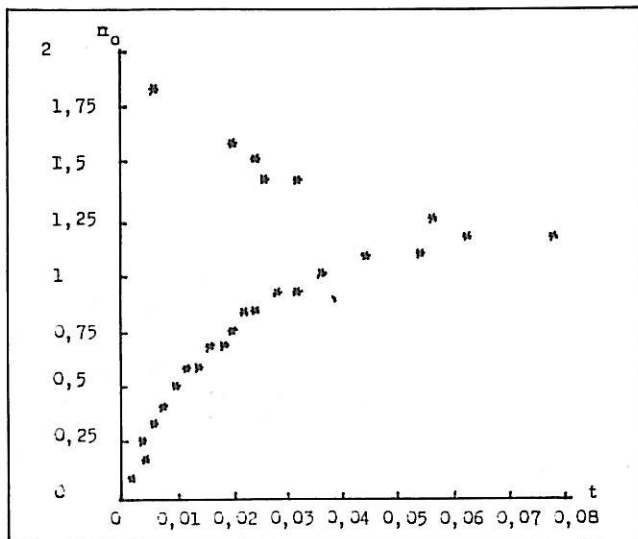


Fig. 1: The variation of the number of stopping machines with time in the Zinser spinning machine.

Şekil 1: Zinser iplik makinasında duran makina sayısının zamana göre değişimi

The programme also calculated the number of machines stopping at the steady state,  $n_o$ , by Equation (6), the cycle period and the efficiency. The results are shown in comparison with the experimental results in Table VII for both the spinning and winding experiments.

Table 7: Comparison of Theoretical and Experimental Results for Regular Attendance

Parameters	Spinning Exp.		Winding Exp.	
	Theory	Experiment	Theory	Experiment
Number of Stopping Machines	1,161	1,960	3,012	3,110
Cycle period (hour)	0,0228	0,0400	0,0330	0,0228
Efficiency (%)	99,71	99,51	87,95	87,56

##### 4.2. Random Attendance

The machine interference or the fraction of the production time lost as a result of spontaneous machine stoppages when one operative tends several machines at random was given by the author previously [Başer, 1972-1] as

$$G = \frac{1}{2N} \left\{ Np[(N-1)p-1] - (1-p)^N + 1 \right\} \dots \dots \dots (11)$$

where  $p$  is the work load of a single machine including walking time when the operative services it from an average distance.  $p$  is given as

$$p = \frac{t_d + t_e + t_y}{t_m + t_d + t_y} \dots \dots \dots (12)$$

where  $t_m$  is the automatic time,  $t_d$  is the total time spent by the operative to repair production breaks,  $t_e$  is the time spent for useful work when the machine is running and  $t_y$  is the time spent by walking. The machine efficiency can then be expressed as

$$R = \frac{t_m}{t_m + t_d + t_y + t_g} \dots \dots \dots (13)$$

where  $t_g$  is the time lost per machine due to interference given by

$$t_g = \frac{G}{1-G} (t_m + t_d + t_y) \dots \dots \dots (14)$$

By calculating the efficiency and machine interference from the parameters given in Table VI, a comparison between the theory and experiment may be made as shown in Table VIII.

Table 8: Comparison of Theoretical and Experimental Results for Random Attendance

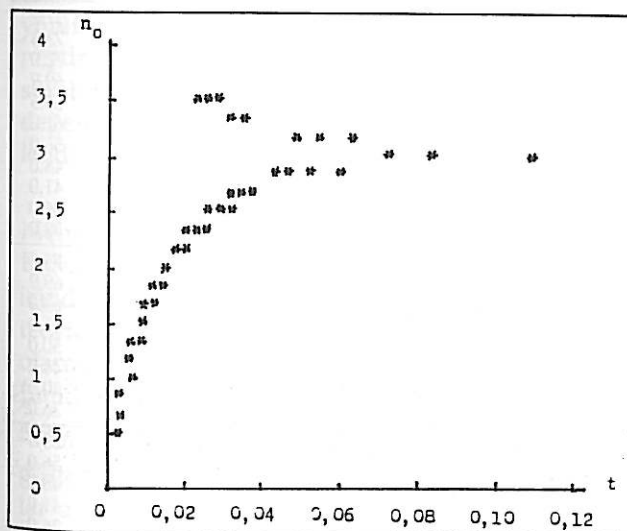
Parameters	Theory	Experiment
Efficiency (%)	93,98	93,72
Machine interference (%)	0,48	0,82

#### 4. TEORİK HESAPLAMALAR

##### 4.1. Düzenli Servis

İplik ve bobin makinalarının verimliliklerinin teorik olarak hesaplanmasında sırasıyla Tablo 3 ve 4'de gösterilen  $N$ ,  $f$ ,  $z$ , ve  $w$  parametreleri kullanılmışlardır. Eğer tüm makinaların çalışır durumda olduğu sıfır değeriyle başlayarak duran makina sayısının zamana bağlı değişimi elde edilirse, o zaman bir çok makina görevindeki insan-makina sisteminin davranışı basit grafikler yardımıyla birçok yönleriyle daha iyi incelenebilir. Bununla birlikte, zaman değişkeni  $t$ 'nin duran makina sayısı  $n$  cinsinden verilmiş olması bazı güçlükler yaratmıştır. (5) eşitliğini, duran makina sayısı  $n$ 'i  $t$  zamanının fonksiyonu olarak elde etmek amacıyla ters çevirmek için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu, bilgisayar tarafından artırılmış olarak üretilen bir dizi  $n$  değeri için  $t$  zamanını ard arda hesaplamak ve her değeri sıra ile yine bilgisayar tarafından üretilen ve her hesap sonunda eşit ölçüde artırılan bir verilmiş  $t$  değeri ile karşılaştırmak biçiminde yapılmıştır.

Duran makina sayısının zaana göre değişimi, sırasıyla iplik ve bobin makinaları için Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. Her iki grafikte de duran makina sayısının, bir dizi aşamalı olarak yükselen noktaların üstünde, tek noktalarda sıçramalar yaptığı gözlenebilir. Bu fonksiyonun matematiksel yapısına bağlı olup, asıl olayın gerçek niteliğini yansıtmamaktadır. Dolayısıyla, herhangi bir andaki duran makina sayısının bir limit değere ulaşmaya kadar aşamalı olarak arttığı ve daha sonra sabit kaldığı sonucuna varılabilir.



Şekil 2: Gilbos bobin makinasında duran makina sayısının zamana göre değişimi

Fig. 2: The variation of the number of stopping machines with time in the Gilbos winding machine.

Program aynı zamanda, kararlı durumda (6) eşitliği ile hesaplanan duran makina sayısı  $n_o$ 'i, tur süresini ve verimliliği hesaplamaktadır. Sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı biçimde hem eğirme, hem de bobin deneyi için Tablo 7'de gösterilmişlerdir.

Tablo 7: Düzenli Servis Durumunda Teorik ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Parametreler	Eğirme Deneyi		Bobin Deneyi	
	Teori	Deney	Teori	Deney
Duran makina sayısı	1,161	1,960	3,012	3,110
Tur süresi (saat)	0,0228	0,0400	0,0330	0,0228
Verimlilik (%)	99,71	99,51	87,95	87,56

##### 4.2. Gelişigüzel Servis

Makina girişimi veya bir işçi birden çok makinaya gelişigüzel biçimde bakarken aynı anda ortaya çıkan makina duruşları sonucu yitirilen üretim zamanı payı, daha önce yazar tarafından [Başer, 1972-1]

$$G = \frac{1}{2N} \left\{ Np[(N-1)p-1] - (1-p)^N + 1 \right\} \dots \dots \dots (11)$$

biçiminde verilmişti. Burada  $p$ , işçi makinaya ortalama bir uzaklıktan baktığında harcanan yürüme zamanını da içeren tek makinanın iş yüküdür. Otomatik zaman  $t_m$ , üretim duruşlarını gidermek için işçi tarafından harcanan toplam zaman  $t_d$ , makina çalışırken yapılan faydalı iş için harcanan zaman  $t_e$  ve yürümeye harcanan zaman  $t_y$  olduğunda,

$$p = \frac{t_d + t_e + t_y}{t_m + t_d + t_y} \dots \dots \dots (12)$$

olarak verilir. O zaman makina verimliliği,

$$R = \frac{t_m}{t_m + t_d + t_y + t_g} \dots \dots \dots (13)$$

olarak gösterilir. Burada  $t_g$ , makina başına girişim nedeniyle yitirilen ve

$$t_g = \frac{G}{1-G} (t_m + t_d + t_y) \dots \dots \dots (14)$$

olarak verilen zaman kaybıdır.

Tablo 6'de verilen parametrelerden verimliliği ve makina girişimini hesaplayarak teori ve deney arasında bir karşılaştırma Tablo 8'de gösterildiği gibi yapılabilir.

Tablo 8: Gelişigüzel Servis Durumunda Teorik ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Parametreler	Teori	Deney
Verimlilik (%)	93,90	93,72
Makina girişimi (%)	0,48	0,82

## 5. DISCUSSION OF THE RESULTS

### 5.1. Discussion of the Results of Regular Attendance Experiments

When the theoretical and experimental results shown in Table VII are compared, the agreement seems to be quite good both for the spinning and winding machines as far as the efficiency values are concerned. The agreement is better in the winding machine since the number of the stopping machines as determined both theoretically and experimentally are quite close. In the spinning machine, however, the difference between the theory and experiment is somewhat large which can be seen as reflected in the efficiency figures when examined more carefully. It is 1-E that should be taken as the basis in comparing the theoretical and experimental efficiency values. They are 0.29 and 0.49 respectively for the spinning machine, 12.05 and 12.44 respectively for the winding machine.

The agreement for the cycle period between theory and experiment is rather poor. The higher experimental value for the spinning machine is expected since the experimental number of the stopping machines is high too. But in the winding machine the experimental value is lower which may lead one to think that a different state of affairs may be the case and that a special theory may be needed for the bidirectional attendance. In the first cycle beginning with the state when all machines are running the events will occur exactly in the same way as in unidirectional patrolling. But in the second cycle when the operative starts walking in the reverse direction, there will be fewer machines needing repair at the beginning than towards the end of the cycle, assuming that the breakdowns in each machine occur at a constant rate. It may be that there will be very few breakdowns in the second cycle as compared with the first cycle depending on the breakdown rate and on the number of machines attended. Thus some of the cycle periods may be of very short duration as indeed was observed during the experiment on the winding machine attended bidirectionally. This may result in the cycle period never reaching a steady value and thus being lower than what the theory predicts.

As there was no prior experimental work reported on the subject, it was thought to be convenient to compare the theoretical values given by Bunday and Jackson (1975) in a table arrangement with those obtained by the present theory in the same way. Table IX shows the efficiency values for up to 28 machines for various values of the parameters  $\lambda r$  and  $N\lambda w$  given by Bunday and Jackson. Here  $\lambda$  is the breakdown rate,  $w$  is the walking time between machines,  $N$  is the number of machines

assigned and  $r$  is the average repair time. A comparison between the values in Table IX with those given by Bunday and Jackson for unidirectional patrolling shows that the present theory gives a similar value for  $N = 2$ ,  $\lambda r = 0.05$  and  $N\lambda w = 0$  (94.8 against 95.2 by Bunday and Jackson) but the values decrease at a greater rate, with the present theory, with increases in both  $\lambda r$  and  $N\lambda w$  than is the case in Bunday and Jackson's table. When a comparison is made with the table values given by Bunday and Jackson [1975] for bidirectional patrolling with constant walking time, a better agreement is obtained though their table start for  $N = 2$  with a lower value which is 92.4

The advantage of the present theory is that it gives a simple formula, given by Equation (6), to calculate the number of stopping machines  $n_o$ , for any number of the assigned machines  $N$ . The efficiency can easily be calculated along with other important parameters such as the cycle period and the number of machines  $n_1$ , repaired in one cycle. This allows analytical examination of the problem to be made much easier.

Table 9: Efficiency Values for Unidirectional Attendance (%)

$\lambda r$	$N\lambda w/N$	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	2	94.8	90.1	85.9	82.1	78.7
	4	94.2	89.2	84.7	80.7	77.2
	6	93.5	88.0	83.3	79.2	75.6
	8	92.6	86.7	81.8	77.5	73.8
	10	91.6	85.2	80.0	75.7	71.9
	12	90.0	83.0	78.0	74.0	70.0
	16	86.0	79.0	73.0	69.0	66.0
	20	80.0	73.0	68.0	64.0	61.0
0.10	2	94.2	89.2	84.7	80.7	77.2
	4	92.6	86.7	81.8	77.5	73.8
	5	92.0	85.0	80.0	76.0	72.0
	6	90.2	83.3	78.0	73.6	69.9
	8	86.1	78.7	73.4	69.1	65.5
	10	80.0	73.0	68.1	64.2	61.0
	12	72.0	67.0	63.0	59.0	56.0
	16	58.0	55.0	52.0	50.0	48.0
0.15	2	93.5	88.0	83.3	79.2	75.6
	4	90.2	83.3	78.0	73.6	69.9
	6	83.3	76.0	70.8	66.7	63.3
	8	72.0	67.0	63.0	59.0	56.0
	10	61.0	58.0	55.0	52.0	50.0
	12	52.0	50.0	48.0	46.0	44.0
	14	46.0	44.0	42.0	41.0	40.0
	16	40.0	39.0	38.0	37.0	36.0
0.20	4	86.1	78.7	73.4	69.1	65.5
	6	72.0	67.0	63.0	59.0	56.0
	8	58.0	55.0	52.0	50.0	48.0
	10	48.0	46.0	44.0	43.0	41.0
	12	40.0	39.0	38.0	37.0	36.0
0.25	2	91.6	85.2	80.0	75.7	71.9
	4	80.0	73.0	68.1	64.2	61.0
	6	61.0	58.0	55.0	52.0	50.0
	8	48.0	46.0	44.0	43.0	41.0
	10	39.0	38.0	37.0	36.0	35.0

## 5. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

### 5.1. Düzenli Servis Deneysel Sonuçlarının Tartışılması

Tablo VII'de gösterilen teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, verimlilik değerleri dikkate alındığı sürece uyumun hem iplik, hem de bobin makineleri için oldukça iyi olduğu görülür. Bobin makinasındaki uyum daha iyidir, zira hem teorik, hem de deneysel olarak saptanan duran makina sayısı oldukça yakındır. Halbuki iplik makinasında teori ile deney arasındaki farkın daha dikkatlice incelendiğinde verimlilik rakamlarına yansıdığı gibi bir bakıma büyük olduğu görülebilmektedir. Gerçekte teorik ve deneysel verimlilik değerlerinin karşılaştırılmasında temel alınacak olan 1-E'dir. Bu değerler iplik makinası için sırasıyla 0, 29 ve 0, 49, bobin makinası için 12, 05 e 12, 44'dür.

Tur süresi açısından teori ve deney arasındaki uyum oldukça zayıftır. İplik makinasındaki daha yüksek deneysel değer beklenen bir durumdur, çünkü duran makina sayısının deneysel değeri de yüksektir. Fakat bobin makinasında deneysel değer farklı bir durumun söz konusu olduğunu ve iki yönlü servis için özel bir teoremin gerektiğini düşündüren ölçüde daha düşüktür. Tüm makinelerin çalışır halde oldukları durumda başlayan ilk turda olaylar aynen tek yönlü yürüme durumunda olduğu gibi ortaya çıkacaktır. Fakat işçinin zıt yönde yürümeye başladığı ikinci turda, her makinede duruşların sabit hızla ortaya çıktığı varsayıldığında, başlangıçta turun sonuna oranla bakılmayı gerektiren daha az makina bulunacaktır. Duruş frekansına ve bakılan makina sayısına bağlı olarak ilk tura oranla ikinci turda çok az sayıda duruş olabilir. O halde, iki yönlü yürümeyle bakılan bobin makinasındaki deneyde gözlemlendiği gibi, bazı tur süreleri çok kısa sürebilir. Bu, tur süresinin hiçbir zaman kararlı bir değere ulaşmaması ve dolayısıyla teoremin tahminlendiğinin altında olması sonucunu verebilir.

Konu ile ilgili olarak daha önce rapor edilen hiçbir deneysel çalışmaya rastlanmadığından, Bunday ve Jackson (1975) tarafından bir tablo düzeni içinde verilen teorik değerlerle, aynı biçimde bu teoriden elde edilenleri karşılaştırmanın uygun olacağı düşünülmüştür. Tablo 9, 28 makinaya kadar Bunday ve Jackson tarafından verilen çeşitli  $\lambda r$  ve  $N\lambda w$  parametreleri için verimlilik değerlerini göstermektedir. Burada  $\lambda$  duruş frekansı,  $w$  makineler arası yürüme zamanı,  $N$  bakılan makina sayısı ve  $r$  ortalama duruş giderme süresidir. Tablo 9'daki değerlerle tek yönlü yürüme için Bunday ve Jackson tarafından verilenler arasındaki bir karşılaştırma, buradaki teoremin  $N = 2$ ,  $\lambda r = 0,05$  ve  $N\lambda w = 0$  için

benzer bir değer verdiğini (Bunday ve Jackson'un 95,2'sine karşı 94,8), fakat buradaki teori ile hem  $\lambda r$  ve hem de  $N\lambda w$ 'daki artışlarla değerlerin Bunday ve Jackson'un tablosundakinden daha büyük bir hızla azaldığını göstermektedir. Bundan ve Jackson (1975) tarafından sabit yürüme zamanı ile iki yönlü servis için verilen tablo değerleriyle bir karşılaştırma yapıldığında ise, her ne kadar bu tablo  $N=2$  için 92,4 olan daha düşük bir değerle başlıyorsa da, daha iyi bir uyum elde edilmektedir.

Buradaki teoremin avantajı, işçiye verilen herhangi  $N$  makina için duran makina sayısı  $n_o$ 'ın hesaplanmasını sağlayan ve (6) eşitliği ile gösterilen basit bir formül vermesidir. Verimlilik, tur süresi ve bir tur süresince duruşu giderilen makina sayısı  $n_1$ , gibi diğer önemli parametrelerle birlikte kolayca hesaplanabilmektedir. Bu, problemin analitik incelenmesini çok daha kolaylaştırmaktadır.

Table 9: Tek Yönlü Yürüme Durumunda Verimlilik Değerleri (%)

$\lambda r$	$N\lambda w/N$	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	2	94.8	90.1	85.9	82.1	78.7
	4	94.2	89.2	84.7	80.7	77.2
	6	93.5	88.0	83.3	79.2	75.6
	8	92.6	86.7	81.8	77.5	73.8
	10	91.6	85.2	80.0	75.7	71.9
	12	90.0	83.0	78.0	74.0	70.0
	16	86.0	79.0	73.0	69.0	66.0
	20	80.0	73.0	68.0	64.0	61.0
0.10	2	94.2	89.2	84.7	80.7	77.2
	4	92.6	86.7	81.8	77.5	73.8
	5	92.0	85.0	80.0	76.0	72.0
	6	90.2	83.3	78.0	73.6	69.9
	8	86.1	78.7	73.4	69.1	65.5
	10	80.0	73.0	68.1	64.2	61.0
	12	72.0	67.0	63.0	59.0	56.0
	16	58.0	55.0	52.0	50.0	48.0
0.15	2	93.5	88.0	83.3	79.2	75.6
	4	90.2	83.3	78.0	73.6	69.9
	6	83.3	76.0	70.8	66.7	63.3
	8	72.0	67.0	63.0	59.0	56.0
	10	61.0	58.0	55.0	52.0	50.0
	12	52.0	50.0	48.0	46.0	44.0
	14	46.0	44.0	42.0	41.0	40.0
	16	40.0	39.0	38.0	37.0	36.0
0.20	4	86.1	78.7	73.4	69.1	65.5
	6	72.0	67.0	63.0	59.0	56.0
	8	58.0	55.0	52.0	50.0	48.0
	10	48.0	46.0	44.0	43.0	41.0
	12	40.0	39.0	38.0	37.0	36.0
0.25	2	91.6	85.2	80.0	75.7	71.9
	4	80.0	73.0	68.1	64.2	61.0
	6	61.0	58.0	55.0	52.0	50.0
	8	48.0	46.0	44.0	43.0	41.0
	10	39.0	38.0	37.0	36.0	35.0



## 5.2. Discussion of the Results of Random Attendance Experiment

From a comparison of the experimental and theoretical values of machine efficiency shown in Table VIII, it can be said that the agreement between theory and practice is very good. Nevertheless, the theory gives 0.48 % machine interference as against 0.82 % determined experimentally. It may be that the operatives did some useful work when the machine was running, which may have contributed to the interference by increasing the value of  $p$  given in Equation (12) although they were given the instruction not to do. However, to be more precise it may be stated that more experimental work is necessary, perhaps by repeating the same experiment for varying numbers of machine assigned to the operative, to fully verify the theory.

The real advantage of the method of calculating machine interference by Equation (11) is that it is a direct calculation not needing any iteration as in Jones' (1965) method. Jones gives the machine interference  $i$  as,

$$i = A - \frac{1 - (1 - A)^n}{n} \quad (15)$$

where  $n$  is the number of machines assigned to the operative and  $A$  is given by

$$A = S(1 - i) + i \quad (16)$$

where  $S$  is the work load. Here  $i$  is a function of  $A$  which is the probability that a machine needs attendance at any time, which is itself the function of  $i$ . This is why iteration is necessary to find the machine interference  $i$ . A single formula given by Equation (11) enables us to put the time loss due to interference in the general form of the formula for machine efficiency for random attendance as in Equation (13) which is suitable for analytical evaluations.

The problem of random attendance is very important because even if the machines are attended regularly, there are ancillary works to be done such as doffing in many machines or setting the warp on the looms. Since these operations are carried out by special teams of operatives, they are of kind of random services carried out when need arises. By the method explained here the effect on machine efficiency of such ancillary work can easily be taken into account in efficiency calculations.

One difficulty remains unsolved, however, and that is the effect on machine efficiency of the surplus work load when the total work load of an operative tending  $N$  machines is greater than unity or 100 %. Then the formula given in Equation (13) will not hold since the operative will be short of time to achieve

the efficiency value given by this formula. If the work load of the operative for  $N$  machine is  $Z$ , then the surplus work load per machine,  $K$ , will be

$$K = \frac{Z - 1}{N} \quad (17)$$

and this will give rise to a loss of production time  $t_k$  given by

$$t_k = \frac{K}{1 - K} (t_m + t_d + t_y + t_g) \quad (18)$$

The efficiency formula in Equation (13) will then include  $t_k$  also in the denominator as an additional time element.

## 6. CONCLUSIONS

A mathematical approach made in this paper to calculate the efficiency of a set of machines attended by one operative provides formulae for both regular and random attendance, which allow direct analytical investigations.

The verification of the two theories by experiments was achieved to some extent in so far as the agreement obtained with the efficiency values. The calculated cycle periods in regular attendance and machine interference in random attendance did not agree well with the experimental results. Therefore, for a full verification of the theories more experimental work is necessary.

## ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express his gratitude to Aytekin Kabu who carried out the time studies as planned.

## REFERENCES

- ASHCROFT, H. 1950. The Productivity of Several Machines Under the Care of One Operator. J.R. Statist. Soc. B., Vol. 12, 145.
- BAŞER, G. 1972. İşçinin Birden Fazla Makinaya Bakması Halinde Makine Veriminin Bulunması İçin Yeni Bir Metod, Mensucat Meslek Dergisi, Cilt XXV, No. 9, 249, İstanbul.
- BAŞER, G. 1972. İşçinin Birden Fazla Makinaya Bakması Halinde Makina Veriminin Bulunması İçin Yeni Bir Metod, Mensucat Meslek Dergisi, Cilt XXV, No. 11, İstanbul.
- BENSON, F. and COX, R.D. 1951. The Productivity of Machines Requiring Attention at Random Intervals, J.R. Statist. Soc. B, Vol. 13, 65.
- BUNDAY, B.D. and JACKSON, A.H. 1975. The Efficiency of A Set of Machines Bidirectionally Traversed by One Operative When Walking Time is Constant. Jour. Text. Inst. Vol. 66, 281.
- BRUNNSCHWEILER, D. 1954. Jour. Text. Inst. Vol. 45, T886.
- GÜNGÖR, A. 1967. Tesadüfi Duruşlu Makinalarda İşçi Servisinin Peryodik Olması Halinde Standart Randımanın Hesabı. Tekstil Endüstrisindeki Tatbikatı ile Teşvikli Ücret Sistemleri ve Standart Zamanların Tesbiti Semineri, 5-23 Haziran, İzmir, Sümerbank Hizmet Yayınları No. 14, B dizisi: 2.
- JONES, D. 1963. H.B. Maynard, Industrial Engineering Handbook, McGraw Hill Company Inc., New York, Toronto, London.
- MACK, C., MURPHY, T. and WEBB, N.L. 1957. The Efficiency of  $N$  Machines Uni-Directionally Patrolled by One Operative When Walking Time and Repair Times are Constant. J.R. Statist. Soc. B, Vol. 19, 166.
- C'CONNOR, T.F. 1965. Profitable Productivity, Emmott and Co. Ltd. Manchester.

## 5.2. Gelişigüzel Servis Deney Sonuçlarının Tartışılması

Tablo 8'de gösterilen deneysel ve teorik makina verimliliği değerlerinin karşılaştırılmasından teori ve pratik arasındaki uyumun çok iyi olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, teori % 0, 82 olarak saptanan deneysel değere karşın % 0.48 makina girişimi değerini vermektedir. Her ne kadar tersi yönünde talimat verilmiş ise de, işçilerin (12) eşitliğindeki  $p$  değerini yükselterek girişime katkıda bulunmuş olabilecek olan bazı makina çalışırken yapılan faydalı iş yapmış olmaları olasılığı vardır. Ancak, daha gerçekçi olma açısından, teoriyi tam olarak kanıtlamak için belki de aynı deneyi işçiye verilen makina sayılarını değiştirerek tekrarlamak biçiminde daha fazla deneysel çalışma gerektiği söylenebilir.

Makina girişimi (11) eşitliğinden hesaplama yönteminin asıl avantajı, Jones (1965)'un metodundaki gibi herhangi bir iteratif işlem gerektirmeden direkt bir hesaplama olmasıdır. Jones makina girişimi  $i$ 'yi,

$$i = A - \frac{1 - (1 - A)^n}{n} \quad (15)$$

olarak verir. Burada  $n$ , işçiye verilen makina sayısıdır ve  $A$ , iş yükü  $S$  olmak üzere,

$$A = S(1 - i) + i \quad (16)$$

olarak verilmektedir. Burada  $i$ , kendisi  $i$ 'nin fonksiyonu olan ve herhangi bir anda bir makinanın bakılmayı gerektirme olasılığı olan  $A$ 'nın fonksiyonudur. Bu nedenledir ki makina girişimi  $i$ 'yi bulmak için iterasyon gerekmektedir. (11) eşitliğiyle verilen tek bir formül, girişim nedeniyle ortaya çıkan zaman kaybının analitik değerlendirmelere uygun olan (13) eşitliğinde olduğu gibi, gelişigüzel servis için makina girişimini veren genel formül formunda gösterilmesine olanak vermektedir.

Gelişigüzel servis problemi çok önemlidir, çünkü makinalara düzenli bakılsa bile, birçok makina da takım çıkarma ya da tezgahlarda çözgü bağlama gibi ek işler vardır. Bu işlemler özel işçi grupları tarafından yapıldığı için gereksinim olduğunda yapılan gelişigüzel servis niteliğindedirler. Burada açık-

lanan metod yardımıyla bu gibi ek işlerin makina girişimi üzerindeki etkisi verimlilik hesaplarında kolayca dikkate alınabilir.

Buna rağmen çözümlenmemiş bir güçlük daha vardır ve bu da  $N$  makinaya bakan bir işçinin toplam iş yükü 1'den ya da % 100'den büyük olduğunda ortaya çıkan artık iş yükünün makina girişimi üzerindeki etkisidir. O zaman (13) eşitliğiyle verilen formül geçerli olmayacaktır, çünkü işçi bu formülle verilen verimlilik değerini sağlayacak yeterli zamana sahip olmayacaktır. Eğer  $N$  makinaya bakan işçinin iş yükü  $Z$  ise, o zaman makina başına artık iş yükü  $K$ ,

$$K = \frac{Z - 1}{N} \quad (17)$$

olacak ve bu,

$$t_k = \frac{K}{1 - K} (t_m + t_d + t_y + t_g) \quad (18)$$

olarak verilen,  $t_k$  üretim zaman kaybına yol açacaktır.

O zaman, 13 eşitliğiyle verilen verimlilik formülü paydada ek bir zaman elemanı olarak  $t_k$ 'yi da içerecektir.

## 6. SONUÇ

Bir işçi tarafından bakılan bir grup makinanın verimliliğini hesaplamak için bu yazıda açıklanan matematiksel yaklaşım, hem düzenli, hem de gelişigüzel servis durumlarında direkt analitik incelemelere olanak veren formüller sağlamıştır.

Her iki teoremin deneylerle kanıtlanması, verimlilik değerlerinde elde edilen uyum çerçevesinde belirli bir ölçüde başarılıdır. Düzenli servis için hesaplanan tur süreleri ve gelişigüzel servis için hesaplanan makina girişimi deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermemiştir. Dolayısıyla teorilerin tam anlamıyla kanıtlanması için daha çok deneysel çalışma gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, zaman etüdlerini planlandığı gibi yürüten Aytekin Kabu'ya teşekkürü borç bilir.