

İMALAT HATLARINI ANALİZ EDEN BİR YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ VE DENENMESİ - II

Fatih ÖCAL, Can ÇOĞUN***

** Makina Yüksek Mühendisi Erkunt A.Ş.*

*** Prof. Dr. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü*

Bu çalışmada, kısmi ve tam otomasyonlu iş akış hatlarının genel karakteristiklerini analiz edebilen bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım, talaşlı imalatta yaygın kullanılan torna, freze, matkap, taşlama tezgahları ve montaj istasyonlarından oluşturulan imalat hatlarının analizini yapmaktadır.

Yazılıma, akış hattında imal edilecek parçanın işlem göreceği tezgah bilgileri girilmekte, tanımlanacak her operasyon için tezgah hazırlık ve parça işleme süreleri program tarafından hesaplanabilmektedir. Hesaplanan bu veriler kullanılarak imalat hattı için kritik çevrim süresi ve diğer istatistikî bilgilere erişilebilmekte ve bu bilgiler yardımıyla ortalama üretim süresi, imalat hızı, imalat hattı verimi ve parça maliyeti hesaplanabilmektedir.

Geliştirilen yazılımın denenmesi için endüstride imalatı yapılan ve imalat safhaları bilinen çeşitli parçalar kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

Anahtar sözcükler: *Akış hatları, otomasyon, otomasyonlu iş akış hatları, bilgisayarla tümleşik imalat.*

In this study, a software is developed to analyze general characteristics of production lines with partial and full automation. The developed software is capable to analyse the production line composed of turning, milling, drilling, and grinding machines and assembly stations.

The information about the machine tools, which are necessary for the workpart operations, is entered to the software, and for each individual operation described, the preparatory times and machining (cutting) time are calculated by the software. The average production time, production rate, line efficiency and cost per part can be calculated by means of the calculated ideal cycle time and some other statistical information.

Various types of machine parts, which are selected from the real production in which their production stages are known, are used to test the developed software and successful results are obtained.

Keywords: *Production lines, automation, automated production lines, computer integrated manufacturing.*

Çalışmada Kullanılan İşleme Süresi Hesaplama Formülleri [12]

Yapılan bu çalışmada 8 adet torna, 4 adet freze, 3 adet matkap ve 8 adet taşlama operasyonu olmak üzere toplam 23 operasyona yönelik işleme süresi hesabı yapılabilmektedir. Bu operasyonlar için kullanılan formülasyonlar aşağıda verilmiştir.

$$N = (1000 * V) / (\pi * D) \quad L = L + 4 \quad t_h = (L * i) / (S * N) \quad L = (D - D1) / 2 + 4 \quad t_h = (L * i) / (S * N)$$
$$t_h = (Lk * i) / (S * N) \quad t_h = (L * i) / (S * N)$$

Tornalama operasyonlarında işleme süresi hesapları

Tornada iş mili hızı(N) [dev/dak] aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

(22)

Burada, V kesme hızı [m/dak], D iş parçasının çapı [mm] dir. Aşağıda verilen t_h işleme süresi[dak] ile ilgili formüllerde L işlenecek boy [mm], S ilerleme hızı [mm/dev], i ise paso sayısıdır.

Boyuna tornalama

(23)

(24)

Alın tornalama

(25)

(26)

D1, alındaki deliğin (varsa) çapıdır [mm].

Konik tornalama

(27)

Burada Lk konik boyudur [mm].

Tornada vida açma

(28)

Burada L vida boyudur [mm].

$$t_h = (L \cdot i) / (S \cdot N) \quad t_h = (L \cdot i) / (S \cdot N) \quad t_h = (L \cdot i) / (S \cdot N) \quad t_h = (L \cdot i) / (S \cdot N) \quad N = (1000 \cdot V) / (\pi \cdot D)$$
$$t_h = 2 \cdot ((T / T_2) \cdot (L + D) / (S \cdot N)) \cdot i$$

Fatura açma (Kanal tornalama)

(29)

Tornada delik delme

(30)

Tornada kılavuz salma

(31)

Burada L diş boyu [mm], D delik çapı [mm] dir.

İç silindirik tornalama

(32)

Frezeleme Operasyonlarında İşleme Süresi

Hesapları

Frezede çarkı dönüş hızı (N) [dev/dak] aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

(33)

Burada D çarkı çapı [mm], V ise çarkının teğetsel hızıdır [m/dak]. Aşağıdaki formüllerde L işlenecek boy [mm], T parça eni [mm], T_a takım adımı [mm], S parça ilerleme hızı [mm/dev] ve i paso sayısıdır.

Alın frezeleme

Eğer D < T ise

(34)

Eğer D > T değilse

$$t_h = 2 * ((T / T_a) * (L + W) / (S * N)) * i \quad t_h = 2 * ((L + W) / (S * N)) * i * N_{dis} \quad t_h = (2 * L * i) / (S * N)$$
$$N = (1000 * V) / (\pi * D)$$

$$t_h = ((L + D/2) * i) / (S * N) \quad (35)$$

Çevresel frezeleme

$$W = 2 * \sqrt{C * (D - C)} \quad (36)$$

(37)

Burada W çakının parçaya yaklaşma (approach) mesafesi [mm], C talaş derinliği [mm] dir.

Yatay frezede dişli çark açılması

(38)

Burada L diş boyu [mm], Ndis diş sayısıdır.

Parmak Frezeleme

(39)

Matkap Operasyonlarında İşleme Süresi

Hesapları

Matkap mili hızı (N) [dev/dak] aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

(40)

Burada V kesme hızı [m/dak], D matkap çapı [mm] dir. Aşağıdaki formülasyonda L delik boyu [mm], Dtp delik tipi (1-kör delik, 2- boyuna delik), S ilerleme hızı [mm/dev], i paso sayısı, t_h işleme süresi [dak] dir.

Matkapta delik delme işlemi

Eğer Dtp=1 ise

$$L = l + 6 \quad (41)$$

$$t_k = (L * i) / (S * N) \quad (42)$$

Eğer Dtp=2 ise

$$L = L + 4 \quad (43)$$

$$t_k = (L * i) / (S * N) \quad (44)$$

Matkapta havşa açma

$$t_k = (L * i) / (S * N) \quad (45)$$

Burada L havşa açılacak derinlik [mm] dir.

Matkapta kılavuz salma

$$t_k = (L * i) / (S * N) \quad (46)$$

Taşılama Operasyonlarında İşleme Süresi

Hesapları

Hesaplamalarda devir hızı (N) [dev/dak] aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$N = (60.000 * V_p) / (\pi * D) \quad (47)$$

Burada Vp iş parçası hızı [m/s], D iş parçasının çapı [mm] dir. Aşağıdaki ifadelerde Btaş taş genişliği [mm], L taşlanacak boy [mm], S ilerleme hızı [mm/dev], i paso sayısı, Dr ayar çarkı çapı [mm], Nr ayar çarkı dönme hızı [dev/dak], T taşlanacak parça eni [mm], Ta tabla yanal ilerlemesi t_n işleme süresi [dak] dir.

Puntalı dış silindirik taşılama

$$L_k = L - (B_{taş} / 3) \quad (48)$$

$$t_h = (Lk * i) / (S * N) \quad (49)$$

Puntasız dış silindirik taşlama

$$L = L + (Btaş) \quad (50)$$

$$Va = \pi * Dr * Nr * (0.05) \quad (51)$$

$$t_h = (Lk * i) / Va \quad (52)$$

Puntalı iç silindirik taşlama

$$L = L + (Btaş) \quad (53)$$

$$t_h = (Lk * i) / (S * N) \quad (54)$$

Puntasız iç silindirik taşlama

$$L = L + (Btaş) \quad (55)$$

$$Va = \pi * Dr * Nr * (0.05) \quad (56)$$

$$t_h = (Lk * i) / Va \quad (57)$$

Yatay eksen standart tablalı taşlama

$$t_h = 2 * i * ((T / Ta) * L) / S_{tr} \quad (58)$$

Burada S_{tr} tabla hızı [mm/dak] dır.

$$t_h = (T + Btaş) * i / (S * N) \quad (59)$$

Yatay eksen döner tablalı taşlama

$$t_h = 2 * i * ((T / Ta) * (L + D)) / S_{tr} \quad (60)$$

Dikey eksen standart tablalı taşlama

Burada D taş çapı [mm], S_{tr} tabla hızı [mm/dak] dır.

$$t_h = (T + D / 2) * i / (S * N) \quad (61)$$

Dikey eksen döner tablalı taşlama

İMALAT AKIŞ HATLARININ ANALİZİ İÇİN GELİŞTİRİLEN YAZILIMIN YAPISI ve ÖZELLİKLERİ

Programlama Dili, Programın

Girdi ve Çıktıları

Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar yazılımı Clipper 5.2 ile yazılmıştır. Yazılımının girdileri i) imalat hattındaki tezgahlar ve özellikleri (tipi, otomatik/manuel vb.), ii) imal edilecek parçaya ait işleme operasyonları ve bu operasyonların hangi tezgahlarda yapılacağı (operasyon planı), iii) hat durma frekansının hesaplanmasında kabul edilen analiz yaklaşımı (alt veya üst sınır yaklaşımı) ve iv) maliyet analizi ile ilgili (C_m , C_o , C_{as} , C_{at} , T_d , C_t) bilgileridir. Yazılımının çıktıları ise toplam esas hazırlık süresi, çevrim süresi (T_c), çevrim başına hattın ortalama durma sıklığı (frekansı) (F), ortalama üretim süresi (T_p), üretim hızı (R_p), imalat hattının verimi (E) ve üretilen parça başına maliyettir (C_{pc}).

Şekil 2. Geliştirilen Yazılımın Genel Akış Şeması

Programın Yapısı

Geliştirilen yazılımın genel akış şeması Şekil 2'de verilmiştir. Program ilk açılışta kullanıcıya ana menüde 4 seçenek sunmaktadır. Bunlar;

a) *İmalat İşlemleri*: Bu seçenekte kullanıcı imalat hattını ve iş parçasının işleme operasyonlarını tanımlar.

b) *Veri Tabanı Güncelleme*: Burada yazılım tarafından kullanılan veri tabanı dosyalarının (tezgah operasyonları, tezgah hazırlık süreleri, tanımlanmış parça operasyonları) güncelleştirilmesi ve yeni ilavelerin yapılması işlemleri gerçekleştirilmektedir.

c) *Hesaplama İşlemi*: Programa sabit değerlerin (durma sıklığı yaklaşım modeli, oluşabilecek bir arızayı giderme süresi (ortalama), parti büyüklüğü, hurda oranı ve maliyet hesabı için gerekli diğer girdiler) girilmesi ve sonuçların hesaplatılması bölümüdür.

d) *Yazıcı Raporu Hazırlama*: Program çıktılarının yazıcıya gönderilmesi bölümüdür.

Programda Kullanılan Veri Tabanı Dosyaları

Program verilerinin saklanabilmesi için 6 adet veri tabanı dosyası oluşturulmuştur. *Hat.dbf* üretim hattında tanımlanan her bir istasyona ait tezgah numarası, tezgah adı, tezgah tipi (manuel, otomatik), tezgahta çevrim başına durma olasılığı ve hesaplanan tezgah süresi bilgilerinin depolandığı veri tabanıdır. *İslem.dbf* işlenen parçanın üretim hattındaki her bir operasyonu ile ilgili bilgilerin tutulduğu veri tabanıdır. Bu veri tabanı, her operasyonun işlem sıra numarasını, hangi numaralı istasyonda gerçekleştirileceğini, kodunu, adını, esas hazırlık süresini, yardımcı hazırlık süresini, tezgah süresini (işleme süresi) ve toplam işleme süresini saklar. *Opradi.dbf* tezgah operasyonlarının kod ve adlarının

tutulduğu veri tabanıdır. *Sure.dbf* bu veri tabanında değişik tezgah operasyonları ile ilgili hazırlık operasyonları ve standart süreleri tutulmaktadır. Her kayıt tezgah operasyonu kodu, hazırlık işlemi sıra numarası, hazırlık operasyonunun tanımı, bu operasyonun esas hazırlık süresine mi yoksa parça süresine mi ilave edileceği ve bu hazırlık operasyonu için standart süre bilgilerini içermektedir. *Sabital.dbf* dosyasında kullanıcı tarafından girilen şu sabit girdi değerleri saklanmaktadır; i) analiz yaklaşımı (1-üst sınır, 2-alt sınır), ii) çevrimde oluşabilecek arızayı gidermek için ortalama durma süresi (T_d), iii) parti büyüklüğü, iv) imalat sonunda beklenen hurda (scrap) oranı, v) ham malzeme maliyeti (C_m), vi) tam otomasyon ise hat işletim maliyeti (C_L), vii) parça başına kesici takım maliyeti (C_+). Üretim hattı kısmi otomasyonlu ise; viii) manuel istasyon başına operatör maliyeti (C_o), ix) otomatik istasyon başına operatör maliyeti (C_{as}), x) transfer mekanizmasının işletim maliyeti (C_{at}) bilgilerini içermektedir. *Sabithes.dbf* program tarafından hesaplanan değerlerin (çevrim süresi, toplam esas hazırlık süresi, hattın çevrim başına durma sıklığı, ortalama üretim süresi, üretim hızı, hat verimi ve parça maliyeti gibi) saklandığı veri tabanıdır.

Bilgisayar Program Dosyaları

Bilgisayar programı toplam 16 adet alt program parçasından oluşmuştur. Şekil 2'deki genel akış şemasında program menülerinden çalıştırılan alt programların adları verilmiştir. Her bir program parçası kendi içerisinde değişik sayılarda alt yordamlardan meydana gelmiştir. *Imalat.prg* alt programı, akış hattındaki tezgahların ve parçanın üzerinde yapılacak operasyonların girilmesi ile ilgili seçeneklerin sunulduğu menüdür. *Hatal.prg* her tezgahın no, ad(tip), otomatik/manuel ve arıza olasılığının girildiği alt programdır. *İşlem.prg* parça operasyonlarının tanımlandığı, esas hazırlık, yardımcı hazırlık ve tezgah işleme sürelerinin hesaplandığı alt programdır. *Guncel.prg* alt programı tezgah operasyonlarının, hazırlık sürelerinin ve parça operasyonlarının güncellenmesi ile ilgili seçenek menüsüdür. *Guncel 1.prg* Opradi.dbf veri tabanı dosyasının güncelleştirilmesini sağlayan alt programdır. *Guncel 2.prg*, *Sure.dbf* veri tabanı dosyasının güncelleştirilmesini sağlayan alt programdır. *Guncel 3.prg* İşlem.dbf veri tabanı dosyasının güncelleştirilmesini sağlayan alt programdır. *Sabital.prg* programa akış hattı ile ilgili sabit verilerin girilmesini ve bu verilerin *sabital.dbf*'de saklanmasını sağlayan alt programdır. *Hes 4.prg* toplam esas hazırlık süresini hesaplayıp sonucu *sabit.dbf*'ye yazan alt programdır. *Hes 1.prg*: üretim hattındaki her bir istasyon için toplam işleme süresini hesaplayıp ve sonuçları *hat.dbf*'ye yazan alt programdır. *Hes 2.prg* üretim hattındaki tezgahların manuel ya da otomatik oluşlarına göre otomasyon türünü belirleyen ve sonucu *sabithes.dbf*'ye yazan alt programdır. *Hes 3.prg* üretim hattının kiritik çevrim

süresi T_c 'yi hesaplayıp sonucu sabithes.dbf'ye yazan alt programdır. *Hes 5.prg* üretim hattının durma sıklığını (F) hesaplayan ve sonucu sabithes.dbf'ye yazan alt programdır. *Hes 6.prg* gerçek üretim süresi (T_p), üretim hızı (R_p) ve hat verimini (E) hesaplayıp sonuçları Sabithes.dbf'ye yazar. *Maliyet.prg* parça başına maliyeti hesaplayıp sonucu Sabithes.dbf'ye yazan alt programdır. *Rapor.prg* sonuçları rapor eden ve yazıcı çıktısını hazırlayan alt programdır.

ÖRNEK UYGULAMA

Geliştirilen yazılımın denenmesi için endüstride üretilen çok sayıda farklı parçalar kullanılmıştır. Bu parçaların işlem planları tekrar incelenerek düzenlenmiş ve tezgahlar için iş paylaşımı yapılmıştır. Hattın çevrim süresi, üretilen parçalar için her tezgahtaki toplam hazırlık süreleri ve işleme süreleri yardımıyla bulunmuştur. Makalenin bu bölümünde yapılan uygulamalardan sadece birine yer verilmiştir.

Örnek Uygulama: Yatak Muylusu

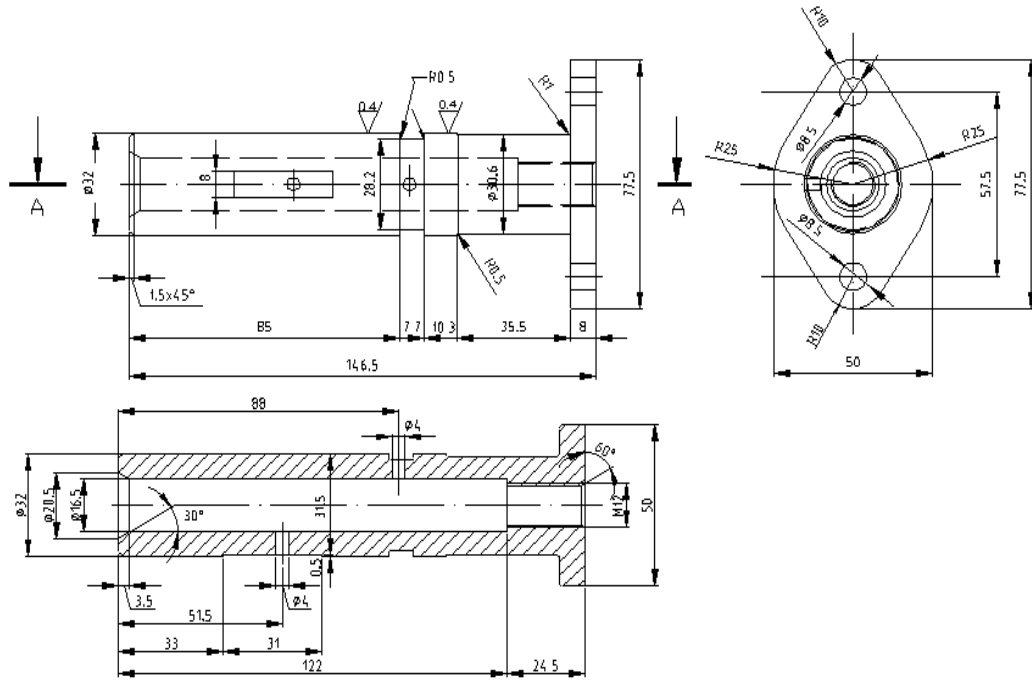
(Merc. MB 820 Motor İçin)

Parçanın imalatı torna, freze, matkap ve taşlama tezgahlarında yapılmaktadır. Ç8620 dövme çelikten yapılan yatak muylusunun Şekil 3'de işlenmiş hali görülmektedir. Bu parçaya ait imalat aşamaları Tablo 6'da verilmiştir. Uygulama parçasının imalatında 15 operasyon vardır. Burada, sadece 4 ve 11 nolu operasyonlara ait tezgah hazırlık ve işleme süresi hesaplama detayı Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

Örnek parça için operasyonların hazırlık, işleme ve toplam süreleri, kullanılan analiz yaklaşımı, tezgah bozulma sıklık ve süreleri, maliyet bilgileri ve hat performans çıktıları (E, C_{pc} , R_p) Tablo 9'da verilmiştir.

Bu parçanın imalatında gerekli 15 operasyonun 10 tanesi tornada, bir tanesi frezede, 3 tanesi matkapta ve bir tanesi de taşlama tezgahında gerçekleşmektedir. Bu parçanın imalatı için kurulan akış hattı, torna, freze, matkap ve taşlama tezgahlarından oluşan 4 istasyonlu bir hattır. Parça geometrisinden dolayı (Şekil 3) freze ve matkap operasyonları (Tablo 6'da 11, 12, 13, 14 nolu imalat aşamaları) oldukça basit ve az sayıda olan operasyonlardır. Bu nedenle freze ve matkap operasyonları manuel tezgahlarca yapılmaktadır. Akış hattındaki istasyonlardan torna ve taşlama tezgahı otomatik diğer iki istasyon ise maneldir. Bu sebepten imalat hattı kısmi otomasyonlu bir akış hattıdır. Otomatik istasyonların çevrim başına durma sıklıkları 0.1 dir.

Malzeme : Ç 8620(Dövme)



Şekil 3. Merc. MB-820 motor için yatak muylusunun işlenmiş son hali

Örnek uygulamada her operasyon için işleme sürelerinin hesaplanmasında çalışmada sunulan işleme sürelerinin hesap formülleri aynen kullanılmıştır. Ancak Tablo 1-Tablo 5'te sunulan hazırlık işlemleri ve süreleri manuel tezgahlar içindir. Otomatik tezgahlarda konvansiyonel operatörlü tezgahlara göre hazırlık işlemlerinin 0.2-0.5 arasında bir oranda yapılabildiği bilinmektedir [14, 15]. Bu nedenle ortalama bir değer olarak tablolarda sunulan hazırlık sürelerinin üçte biri otomatik tezgahlar için kabul edilmiş ve uygulamalarda kullanılmıştır. Bu nedenle sunulan örnek çıktının torna ve taşlama tezgahları (ikisi de otomatik) için yardımcı hazırlık sürelerinde görülen değerler de tablo değerlerinin üçte biridir (Tablo 9). Tablolardaki zorunlu olmayan hazırlık işlemleri otomatik ve manuel işlemlerde bir defaya mahsus olmak üzere toplanmış ve imal edilecek parça sayısına bölünmüştür. Elde edilen bu değer çevrim süresine ilave edilmiştir. Çevrim başına otomatik istasyonların durma sıklığı, hurda oranı olarak kullanılan %5 ve tezgah işletim maliyetleri Türk Traktör Fabrikası ve Alkan Makina A.Ş. tarafından sağlanan tecrübi bilgilere dayanılarak varsayılmıştır.

Tablo 6. Örnek Uygulama Parçasının İmalat Aşamaları

İşlem Sıra No	Operasyon Adı	Açıklama
1	Alın Tortalama	Sağ yan yüzeyde, 1mm
2	Tornada Delik Delme	Sağ yüzeyde 25mm boyunda (M12) ve 1x45 pah
3	Alın Tortalama	Sağ dış yüzeyin karşı yüzeyi, 1mm
4	Tornada Klavuz Salma	M12x1.5, 24.5mm boyunda
5	Alın Tortalama	Sol dış yüzeyde, 2mm.ve 1.5x45 pah kırma
6	Boyuna Tortalama	36mm lik çap 32.1mm ye 2 pasoda düşürülür
7	Boyuna Tortalama	Ø30.6 nın işlenmesi, 35.5mm boyunda
8	Kanal Tortalama	Ø28.2 nin işlenmesi, 1.95mm derinlik ve 7.7mm boy
9	Tornada Delik Delme	Ø16.5mm lik deliğin delinmesi, 122 mm boy
10	Konik Tortalama	Sol yan yüzeyde 3.5x30° lik
11	Matkapla Delme	Sağ yan yüzeye 2 adet Ø8.5mm, derinlik 8 mm.
12	Matkapta Delme	Ø28.2 mm'lik fatura üzerindeki Ø4mm deliğin delinmesi, 5.85mm derinlik
13	Parmak Frezeleme	31x8x0.5 lik kanalın açılması
14	Matkapta Delme	31 mm boyundaki kanal içindeki Ø4mm lik deliğin delinmesi, 7.55mm derinlikte
15	Puntalı Dış Silindirik Taşlama	Ø32.1 3 pasoda (sırasıyla 0.025mm, 0ç025mm ve 0.008mm paso) taşlanır 103mm boyunda

Tablo 7. Örnek Uygulamanın 4'üncü İmalat Aşamasında Zamanlama

Operasyon adı: Tornada klavuz salma, Operasyon no: 4, İstasyon türü: Otomatik

İşlem No	Hazırlık İşlemi	Varsayılan Süre (dak)	Girilen Süre (dak)
1	Takımhaneden gerekli aletlerin alınması	5.0	5.0
2	Tezgaha klavuzun bağlanması	6.0	6.0
3	Klavuzu alıp takımhaneye götürmek, yenisini almak yerine takmak ve denemek	10.0	10.0
4	İş parçasının ayna merkezine göre ayarlanması	2.0(Z)	0.67
5	Tezgah hızının değiştirilmesi	0.1(Z)	0.03

6	Klavuzun elle başlatılması punta başlığının yanıştırılması	2.0(Z)	0.67
7	Tezgahın çalıştırılması	0.2(Z)	0.07
8	Klavuzun geri çekilmesi parçanın temizlenmesi	1.0(Z)	0.33
9	Tezgahın durdurulması	0.02(Z)	0.0
10	Klavuz salınan deliğin kontrolü	0.3(Z)	0.1
11	Parçanın sökülüp yerine konması	0.4(Z)	0.14
Toplam tezgah hazırlık süresi : 2.01 dakika			
Kesme hızı (V) [m/dak]		10	
İlerleme miktarı (S) [mm/dev]		0.5	
Delik çapı (D) [mm]		10.5	
Klavuz salınacak boy (L) [mm]		24.0	
Paso sayısı (i)		1	
İşleme süresi: 0.16 dakika			

Tablo 8. Örnek Uygulamanın 11'inci İmalat Aşamasında Zamanlama

Operasyon adı: Matkapta delme, Operasyon no: 11, İstasyon türü: Manuel

İşlem No	Hazırlık İşlemi	Varsayılan Süre (dak)	Girilen Süre (dak)
1	Tezgaha İşe uygun mengenenin takılması.	0.2	0.2
2	Mengenenin, bağlama civataları ile sıkılması.	1.0	1.0
3	Tezgah fener miline uygun mandrenin takılması.	0.2(Z)	0.2
4	Delinecek iş parçasının ölçülerine göre markalanması.	0.35(Z)	0.35
5	İş parçasının mengeneye bağlanması.	1.0(Z)	1.0
6	Tezgahın uygun devir sayısına ayarlanması.	0.25(Z)	0.25
7	Yapılacak işleme uygun çaptaki matkabin mandrene takılması.	0.15(Z)	0.15
8	Bağlanan matkabin mandren anahtarı ile sıkılması.	0.1(Z)	0.1
9	Delinecek delik boyuna göre tezgah kursunun ayarlanması.	0.2(Z)	0.2

10	Delik derinliğinin milimetrik ölçülü dayamadan ayarlanması.	0.08(Z)	0.08
11	Soğutma sıvısının ayarlanması.	0.05(Z)	0.05
12	Tezgahın çalıştırılması.	0.02(Z)	0.02
13	Delme işlemi bitince matkabin geri çekilmesi.	0.08(Z)	0.08
14	Tezgahın durdurulması.	0.02(Z)	0.02
15	İş parçasının mangeden sökülmesi.	0.35(Z)	0.35
Toplam tezgah hazırlık süresi : 2.85 dakika			
Kesme hızı (V) [m/dak]		30	
Delik boyu (L) [mm]		8.0	
Matkap çapı (D) [mm]		8.5	
Delik tipi (Dtp) (1-kör, 2-boyuna delik)		2	
İlerleme hızı (S) [mm/dev]		0.1	
Paso sayısı (i)		2	
İşleme süresi: 0.21 dakika			

Tablo 9. Örnek Uygulama İçin Yazılım Çıktısı

İmalat Hattının Tanımlanması					
İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon Türü	Arıza Oranı (Durma Sıklığı)	Çevrim Süresi[dak]	
1	Torna Tezgahı	Otomatik	0.1	30.72	
2	Freze Tezgahı	Manuel	0.0	3.57	
3	Matkap Tezgahı	Manuel	0.0	10.41	
4	Taşlama Tezgahı	Otomatik	0.1	23.28	
Parçanın İmalat Hattında Gördüğü Operasyonlar					
Operasyon No	İstasyon No	Operasyon Adı	Yardımcı. Hazırlık[dak]	İşleme Süresi[dak]	Toplam Süre[dak]
1	1	Alın tornalama	1.78	0.52	2.65
2	1	Tornada delik delme	2.68	1.13	4.38
3	1	Alın tornalama	1.78	0.12	2.19

4	1	Tornada klavuz salma	2.01	0.16	2.50
5	1	Alın tornalama	1.78	0.25	2.33
6	1	Boyuna tornalama	1.13	1.61	3.15
7	1	Boyuna tornalama	1.13	0.20	1.53
8	1	Tornada fatura(kanal) açma	0.50	0.16	0.76
9	1	Tornada delik delme	2.68	4.92	8.74
10	1	Konik tornalama	2.01	0.04	2.36
11	3	Matkapta delme	2.85	0.21	3.52
12	3	Matkapta delme	2.85	0.08	3.37
13	2	Parmak frezeleme	2.55	0.44	3.44
14	3	Matkapta delme	2.85	0.10	3.39
15	4	Dış silindirik taşlama(puntalı)	1.53	18.60	23.15

Program Girdi Değerleri	
Analiz yaklaşımı	Üst sınır
Çevrimde oluşabilecek arızayı ortalama giderme zamanı [Dak.]	10
Parti büyüklüğü (toplam üretim sayısı) [Adet]	1,000
Hurda oranı [%]	5.0
İşlenmemiş (ham/yarı mamul) parça maliyeti (C_m) [\$/parça]	0.2
Çevrim başına kesici takım maliyeti (C_t) [\$/çevrim]	0.05
Manuel istasyon başına işletim maliyeti (C_o) [\$/dak.]	0.1
Otomatik istasyon başına işletim maliyeti (C_{as}) [\$/dak.]	0.15
Otomatik transfer mekanizması işletim maliyeti (C_{at}) [\$/dak.]	0.02
Program Tarafından Hesaplanan Değerler	
Otomasyon türü	Kısmi otomasyon
Toplam esas hazırlık süresi [Dak]	127.25
Kritik çevrim süresi (T_c) [Dak]	30.72

Çevrim başına hattın ortalama durma sıklığı (F)	0.20
Ortalama üretim süresi (T_p) [Dak]	32.72
Ortaklama üretim hızı (R_p) [parça/saat]	1.83
Ortalama üretim hızı (Hurdalar düşüldüğünde) [parça/saat]	1.74
İmalat hattı verimi (E) [%]	93.9
Parça maliyeti [\$]	17.26

SONUÇLAR

Bu çalışmada, imalat hatlarını analiz eden bir yazılım geliştirilmiş, gerçek imalat koşullarında üretilen çok sayıda makina parçasının üretimi ile ilgili operasyon bilgileri girilerek yazılım denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen yazılım, veri tabanı kullanımına yönelik bir programlama dili olan Clipper 5.2 ile yazılmış olan bir adet ana programın yanı sıra, 16 adet alt program ve 6 adet veri tabanı dosyasından oluşmaktadır. Yazılım hem tam otomasyonlu hem de kısmi otomasyonlu akış hatları için imalat akış hattının kritik çevrim süresini, ortalama üretim süresini, ortalama üretim hızını, hat verimini ve üretilen parçanın maliyetini hesaplamaktadır. İstasyonlarda durma sıklığının hesaplanmasında alt sınır ve üst sınır yaklaşımları kullanılabilir. Programa dört ana talaşlı imalat tezgahında (torna, freze, matkap, taşlama) gerçekleştirilebilecek toplam 23 adet işleme operasyonu yüklenmiştir. Bu operasyonlar için hazırlık sürelerini derleyen tablolar oluşturulmuş, işleme süreleri için formüller düzenlenmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak her farklı parça üretimi için tezgahlara ait hazırlık süresini ve işleme sürelerini bulmak mümkündür. Bu da gerçek imalat koşullarına uygun olarak tezgah işlem sürelerini ve sonuçta imalat hattının çevrim süresini bulmada büyük kolaylık sağlamaktadır. Programa yeni program parçacıkları (alt yordamlar) ilave etmeden yeni tezgah operasyonları ilave etmek mümkündür.

İmal edilecek makina parçasının imalat operasyonları ve akış hattındaki tezgahlara ait bilgiler veri tabanlarında saklandığından programa verilen herhangi bir girdi parametresi değiştirilip çıktı parametrelerinin değişimini görmek mümkündür. Bu özelliği ile yazılım imalat hattı ile ilgili parametrelerin değiştirilerek hat performansının değişiminin izlenmesi ve hat optimizasyonu olanaklarını sağlayabilecek niteliktedir.

Teşekkür: Kıymetli tecrübelerinden ve çalışmalarından faydalandığımız Prof.Dr. Fevzi ERCAN'a, Dr. Macit Karabay'a ve araştırmamızın değişik safhalarında bize teknik destek veren Türk Traktör ve Ziraat Makinaları A.Ş., Alkan Makina A.Ş. yöneticilerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

12. Akkurt, M., 1998, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
14. Akkurt M., 1991, Bilgisayar Kontrollü Takım Tezgahları (CNC) ve Sistemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
15. Chan, C. and Melkanoff A.M., 1989, NC Machine Programming and Software Design, Prentice-Hall International Inc., London, UK