

CNC İşleme Merkezi Seçimi için Bir Uzman Sistemin Geliştirilmesi

Mustafa Yurdakul

Doç.Dr,

Makina Mühendisliği Bölümü, Gazi
Üniversitesi, Ankara.

Taner Doğramacı

Mak. Yük. Müh., Hema Endüstri
A.Ş., Çerkezköy, Tekirdağ.

Yusuf Tansel İç

Dr.

T.C. Ziraat Bankası A.Ş., Ankara.

Globalleşen iş dünyası, rekabete dayalı ekonomi, bilgisayar, elektronik ve mekanik teknolojilerindeki gelişmeler, mamüllerin teknolojik ömürlerini kısa sürede bitirmeleri, mevcut takım tezgahlarının işleme ve zaman bakımından yetersiz kalmaları, dünyanın hızlı teknoloji gelişimini sürdürdüğü günümüzde firmaları yeni CNC işleme merkezleri kullanmaya zorlamaktadır. Firmaların imalat hattında kullanılacak bir işleme merkezi seçmeleri, tezgahta işlenecek parçalarının ve tezgahın bir çok özelliğinin aynı anda düşünülerek varılması gereken zorlu bir karar alma problemidir. Bu çalışmada, pratik uygulamalar dikkate alınarak işleme merkezi seçimi yapacak olan kullanıcıya yardımcı olacak bir uzman sistem geliştirilmiştir. Sorulan sorulara kullanıcının verdiği cevaplara göre veri tabanında bulunan işleme merkezleri arasından uygun olanlar seçilmektedir. Seçilenlerin özelliklerinin 4 farklı durum için ağırlıklandırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması sonucu oluşan puanlara göre işleme merkezleri en iyiden kötüye doğru sıralanarak en uygun işleme merkezi belirlenmektedir.

Anahtar Kelimeler : İşleme merkezleri, Uzman sistemler, Ağırlıklandırılmış Toplam Karar Modeli.

1. GİRİŞ

1970'li yılların başlarında gelişim gösteren işleme merkezleri; frezeleme, delme, delik işleme, kılavuz çekme, bornişleme ve raybalama gibi birçok işlemleri gerçekleştiren sayısal kontrollü tezgahlardır. İşleme merkezlerinin sahip olduğu bu esneklik verimin artmasını sağladığı gibi, bir tezgahın bir çok tek amaçlı tezgahın yerine geçmesini sağlar. Bir bağlamada kaba talaştan ince talaş almaya kadar birçok işlemi gerçekleştirerek önemli miktarda verim artışı sağlayabilmek, işleme merkezlerine olan ilgiyi artırmaktadır [1-3].

Günümüzde proses ihtiyaçlarına ve karar vericinin tercihlerine göre verimlilik, esneklik ve hassasiyet gibi önemli kriterler arasında bir denge kurarak en iyi işleme merkezini seçmek imalat firmaları için önemli bir karar verme sürecidir.

Dünyada çok sayıda işleme merkezi üreticisinin olması ve hepsinin değişik tiplerde işleme merkezleri üretmeleri uygun bir seçim yapmayı zorlaştırmaktadır. Belli bir uygulama için en iyi işleme merkezinin seçimi birçok imalat sektöründe zaman harcanılması gereken bir süreçtir ve uzmanlık gerektirmektedir. Uzman görüşünü yansıtan, imalat sistemi ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte, seçim problemini tüm unsurlarıyla değerlendirebilen sistemlerin geliştirilmesi bu ihtiyaca cevap verebilecek ve işleme merkezi seçim kararlarının alınmasında önemli katkılar sağlayabilecektir.

Böyle bir katkının gerçekleştirilmesine yönelik olarak çalışmada; teknolojik, ekonomik ve stratejik kriterlerle beraber imalat sistemi özelliklerinden kaynaklanan pratik uygulama esaslarını da değerlendirmeye alan bir uzman sistem geliştirmek hedeflenmiştir. Geliştirilen uzman sistemin detayları ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

2. İŞLEME MERKEZLERİNİN SEÇİMİ

Literatürde takım tezgahlarının seçimine yönelik olarak yapılan çalışmalardan bir tanesi Arslan [4] tarafından hazırlanan yüksek lisans tezidir. Arslan'ın yüksek lisans tezinin temeli, karar verme yöntemi olarak Analitik Hiyerarşi Süreci-AHS metodunu kullanan ve veri tabanından ihtiyaçlar doğrultusunda en uygun işleme merkezlerinin seçimini sağlayan bir veri tabanı algoritmasının yönetimine dayanmaktadır.

Uzman sistemle işleme merkezi seçimine yönelik diğer bir çalışma Gopalakrishnan ve diğerleri tarafından gerçekleştirilmiştir [5]. Çalışma Visual Basic diliyle yazılmış bir veri tabanı sorgulama sistemiyle oluşturulmuştur. Yine uzman sistem yaklaşımını içeren diğer bir çalışma Layek ve Lars tarafından geliştirilmiştir [6]. Çalışmada imalat veya montaj hatlarında kullanılacak "robot" veya "işleme merkezi ve robot birlikte" seçebilen, aynı zamanda optimizasyon işlemi de yapabilen bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Literatürde karşılaşılan diğer işleme merkezi seçim çalışmalarına Lin ve Yang [7], Oeltjenbruns

ve diğerleri [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmalar örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar AHS yöntemini kullanarak belirlenen kriterler doğrultusunda alternatif bir kaç tezgah arasından işe uygun tezgahın belirlenmesini kapsamaktadır. Ayrıca Çimren ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada [9] AHS yöntemi tabanlı, takım tezgahı seçimine yönelik bir Karar Destek Sistemi (KDS) ortaya konmaktadır. Çalışmada esas itibarıyla maliyet, hassasiyet, güvenilirlik ve tamlık-doğruluk özelliklerinin analiz edilmesi ile doğru seçimin gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir.

Bunlara ilave olarak Yurdakul [10], imalat stratejileri ile alternatif işleme merkezlerinin özellikleri arasında ilişki kurarak seçim gerçekleştiren ve AHS yöntemini kullanan bir çalışma ortaya koymuştur. Çalışmada işleme merkezi seçimi stratejik bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Diğer taraftan Sun [11], Veri Zarflama Analizi yöntemini (VZA) kullanarak CNC tezgahların seçiminin gerçekleştirildiği bir çalışma sunmuştur. Çalışmada ayrıca takım tezgahı üretici firmaların derecelendirilmesi ve seçim işlemine dahil edilmesine de yer verilmiştir. Davedzic ve Pap [12] ise takım tezgahı seçimine yönelik olarak tezgah rijitliğini ön plana çıkaran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada alternatifler arasından en rijit CNC torna tezgahı belirlenmektedir ve bulanık mantık uygulaması ile seçim prosedürü oluşturulmuştur.

Ayrıca literatürde Atmani ve Lashkari [13], Tabucanon ve diğerleri [14], Wang ve diğerleri [15] tarafından Esnek İmalat Sistemleri (EİS) için takım tezgahı seçimine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda takım tezgahları ekonomiklik unsuru açısından değerlendirilmektedir.

Yukarıda sıralanan işleme merkezi veya takım tezgahı seçim çalışmaları metodolojik açıdan literature önemli katkılar sağlayan çalışmalardır. Bu çalışmalar tezgahların katalog bilgilerini kullanarak seçim gerçekleştiren, pratik uygulamalardan kaynaklanan faktörleri yeterince değerlendirmeyen çalışmalardır. Pratik uygulamalar ile tezgah karakteristiklerinin bütünleştirildiği bir uzman sistem seçim işleminin doğruluğunu artıracaktır. Böylelikle, imalat sisteminin ihtiyaçlarını da karşılayabilecek bir seçim gerçekleştirilebilir. Ayrıca bir işleme merkezi seçim modeli, tezgahın uzun süreli kullanımlarda hassasiyetini ve kalitesini koruyabilme özelliklerini de irdeleyici bir yapıda olmalıdır. Yukarıda

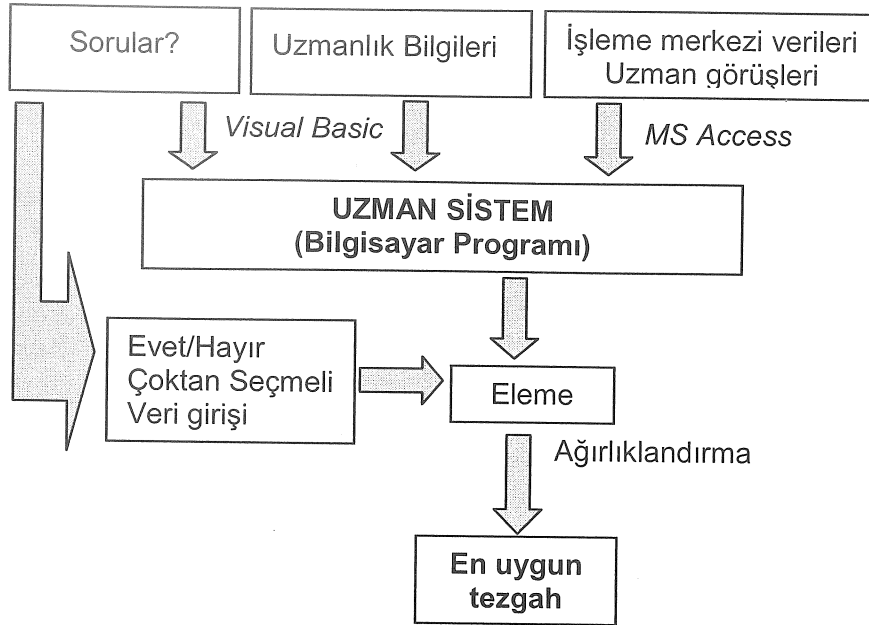
bahsedilen bu konular dikkate alınarak çalışmada bir işleme merkezi seçimi uzman sistemi geliştirilmiştir.

3. İŞLEME MERKEZİ SEÇİMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN UZMAN SİSTEM

Çalışmada geliştirilen uzman sistem programı üniversal işleme merkezlerini içermeyip sadece dikey ve yatay işleme merkezlerini kapsamaktadır. Uzman sistem esnek bir yapıda, her türlü imalatçı firmanın kolayca kullanabileceği şekilde hazırlanmıştır ve Visual Basic 6.0 ile yazılmıştır. Tezgahla ilgili veriler MS Access 97 veritabanı programında hazırlanmıştır. Veritabanı 9 işleme merkezi markasının toplam 153 tane işleme merkezinin verilerinden oluşturulmuştur. Her işleme merkezi ile ilgili 52 veri tipi mevcuttur.

Programda seçim işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk önce kullanıcıya 14 soru sorulmaktadır. Bu sorulardan alınan cevaplara göre veritabanı taranarak işe uygun işleme merkezleri belirlenmektedir. İkinci aşamada 4 kullanım durumuna göre çok özellikli karar verme yöntemlerinden biri olan "ağırlıklandırılmış toplam karar modeli" ile işleme merkezi seçimi gerçekleştirilmektedir. (Şekil 1).

Program açıldığında ilk olarak ekrana sorular kısmı gelir. 1. soru ile işleme merkezi tipi belirlenmektedir (Şekil 2). 1-4. sorulara ilişkin akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir. 2. soruda iş parçası boyutları girildiğinde, X, Y, Z stroklarının parçanın boyutlarından büyük olmasına bakılmaktadır. 3. soruda iş parçasının ve bağlama aparatlar/tertibatın ağırlığı sorgulanmaktadır. Bu değer tablanın taşıyabileceği ağırlıkla karşılaştırılır. İşleme merkezinin tabla ağırlık kapasitesi girilen değerden büyük olmalıdır. 4. soruda iş parçasının malzemesi ve sertliğine göre talaş kaldırma tipi işaretlenir. Sert malzemelerin işlenmesinde genelde daha güçlü işleme merkezlerine gerek duyulmaktadır. Yumuşak malzemelerin işlenmesinde ise güçlü işleme merkezlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. İş mili devir sayısı, düşük hızlardaki tork ve yüksek hızlardaki güç gibi işleme merkezi için temel gereksinimler işlenecek malzeme tarafından belirlenmektedir. Örneğin yumuşak malzemelerin finiş işleminde yüksek iş mili hızı gerekirken, sert malzemelerde yanal kuvvetlerin etkisini azaltmak için rijitliğin olduğu kadar düşük hızlarda yüksek torka ihtiyaç duyulmaktadır.



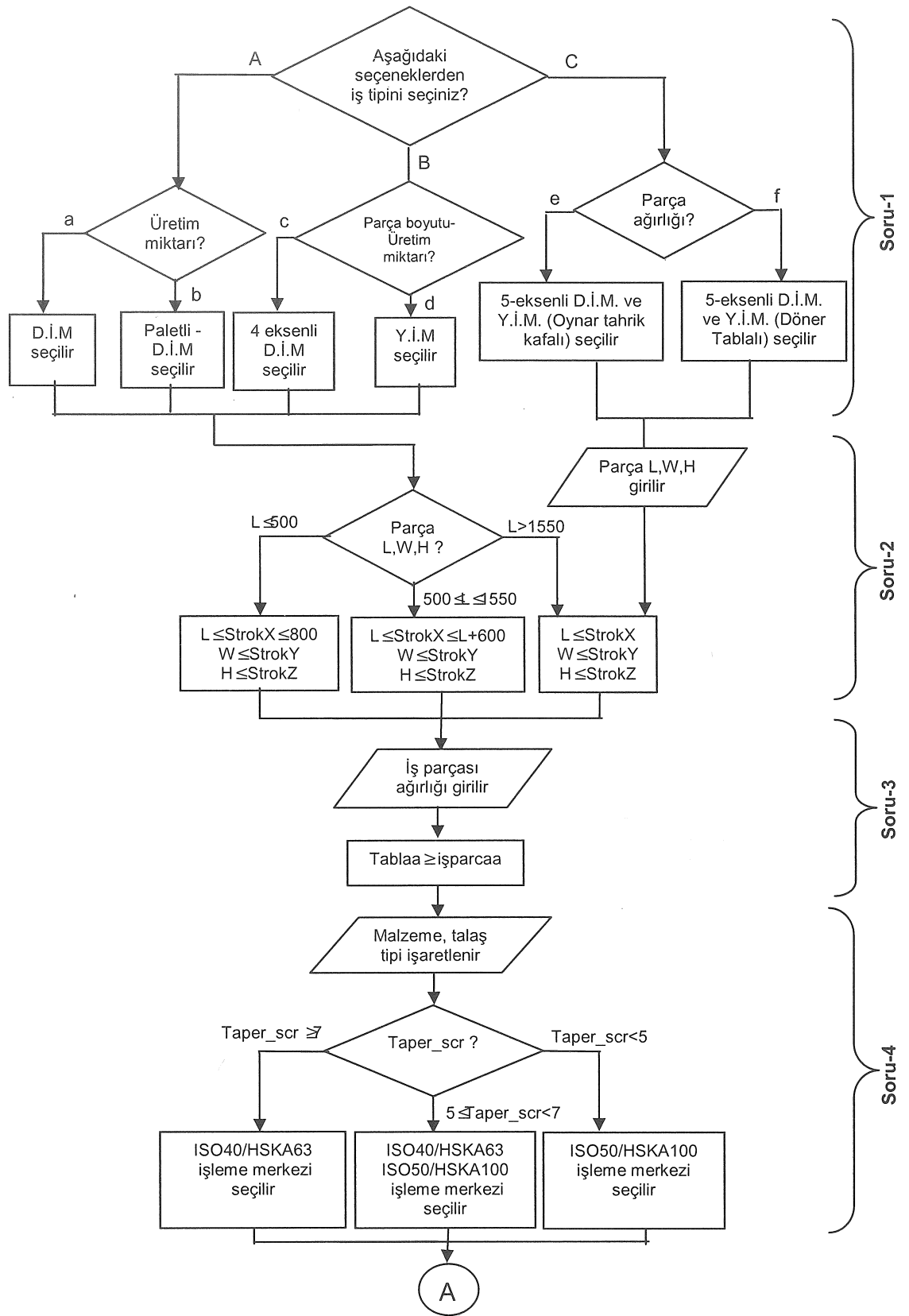
Şekil 1. Uzman sistemin yapısı

Şekil 2. Birinci soru ekranı

Soru ekranındaki tablodan iş parçası malzemesi ve sertliği ile talaş kaldırma tipine karşılık gelen onay kutuları işaretlenir. Çok sayıda işaretleme yapılabilmektedir. Burada her onay kutusunun bir puanı vardır ancak kullanıcı verilen puanlamayı görmemektedir (Ek-1). Toplam puan, işaret sayısına bölünür ve taper_scr(koniklik skoru) elde edilir. Bu puana göre iş mili konikliğinin ISO40 veya HSKA63

mü yoksa ISO50 veya HSKA100 mü olacağı belirlenmektedir (Çizelge 1).

Ayrıca taper_scr'ye göre ikinci aşamada iş mili gücü, iş mili torku ve iş mili hızının ağırlığı belirlenmektedir. (Örneğin; tezgahta alüminyum bir malzemenin kaba/yarı/ince işlemesi yapılacaksa; $(9+10+10)/3=9.7$ elde edilir ve #40 seçilir. Bu malzemeye göre iş mili hızının, torktan daha önemli olduğu anlaşılmaktadır).



Şekil 3. 1- 4. soruların akış şeması

Çizelge 1. İş mili konikliği puanı

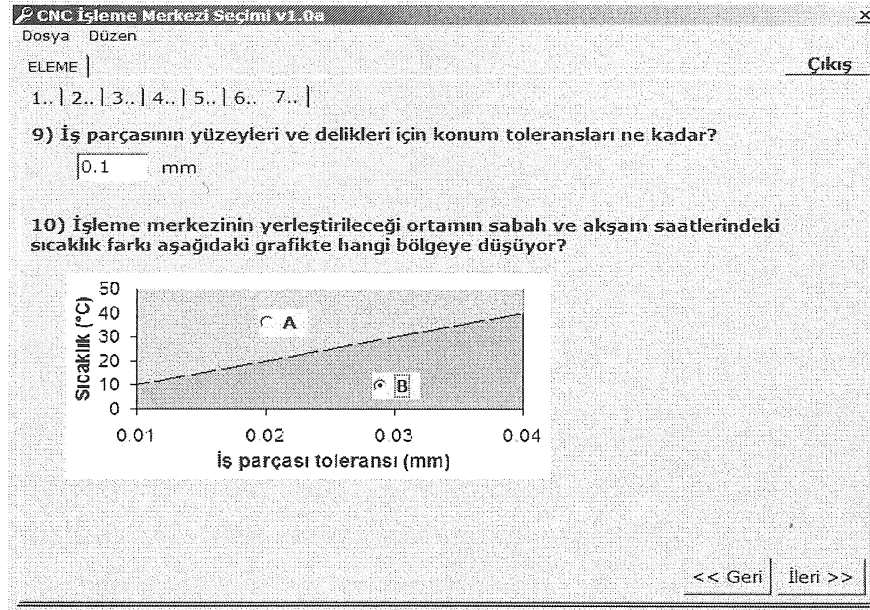
taper_scr	Koniklik
≥	ISO40 veya HSK63
≥ ve <7	ISO40-HSK63 veya ISO50-HSK100
<5	ISO50 veya HSK100

5. soruda işleme merkezinin minimum takım magazini kapasitesi belirlenmektedir. Takım magazini kapasitesi, parçanın kompleksliği ve tezgahta işlenecek parça sayısı arttıkça artmaktadır. Parçadaki farklı çaplarda deliklerin olması, konik/silindirik havşa açma, raybalama, bornişleme, kaba/orta/ince/hassas işlemler vb. parça işlenirken magazinde hazır bulunması gereken takım sayısını arttıran unsurlardır.

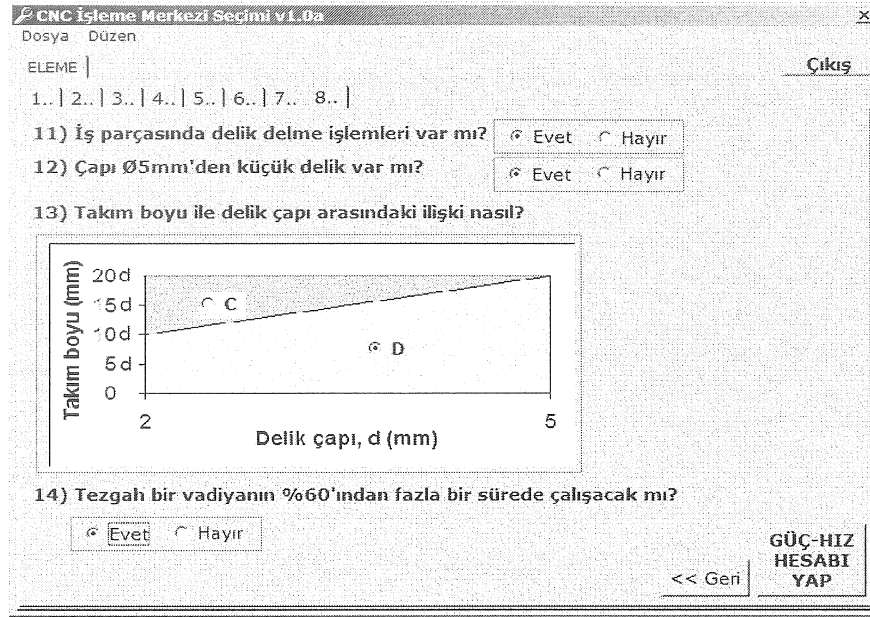
6-8. sorularda iş parçasını işlemede kullanılacak takımların ebatları ile ilgili sorular bulunmaktadır. Tezgahın ilgili parametreleri girilen değerlerden büyük olmalıdır. 9. soruda iş parçasının konum toleransları sorgulanmaktadır. Burada işleme merkezinin pozisyonlama toleransı parçanın konum toleransının onda birinden küçük olan işleme

merkezleri seçilmektedir (Şekil 4). 10. soruda "A" seçilirse tezgahta lineer cetvel olanlar veya opsiyonlu olanlar seçilmektedir. Çünkü sıcaklık değişimi parçanın hassasiyetini önemli derecede etkilemektedir. "B" seçilirse genel tarama yapılmaktadır (Şekil 4).

11. soruda "Evet" seçilirse iş mili içinden soğutma suyu püskürtmeli olan veya opsiyonu olan tezgahlar seçilmektedir (Şekil 5). Delik delme işlemi sırasında soğutma suyunun basıncı ile talaşlar daha kolay atılarak yüzey kalitesi artmakta ve takım ömrü uzamaktadır. 12. soruda "Evet" seçilirse 13. soru aktif hale gelmektedir. Burada "C" seçilirse takım ölçme (probing) sistemine sahip işleme merkezleri seçilmektedir. "D" seçilirse genel tarama yapılmaktadır. Takım boyu çok uzun olduğunda kırılma ihtimali olduğundan delik delme işleminden sonra takım boyunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer kırıldıysa magazinden yedeği çağırılarak delme işlemi yeniden yapılır. 11. soruda hayır seçilirse genel tarama yapılmaktadır. 14. soruda evet seçilirse talaş konveyörüne sahip veya opsiyonlu işleme merkezleri seçilmektedir. Hayır seçilirse genel tarama yapılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 4. 9 ve 10. soru ekranı



Şekil 5. 11-13. soru ekranı

Programda, “Güç/Hız hesabı yap” düğmesi ile (Şekil 5) gerekli iş mili motor gücü ve iş mili hızı hesabı için hesaplama ekranına geçilmektedir. Burada “malzeme tablosu” düğmesine basılarak çeşitli kesici takım kataloglarından derlenen işlenecek malzemeye göre kesme hızı ve diş başına ilerleme miktarı tablosu ekrana getirilmektedir.

İşleme merkezinde birden fazla parçanın işlenmesi düşünülüyorsa ilk önce yumuşak malzeme işlemek için iş mili hız hesabı yapılır ve tezgahın beklenen maksimum iş mili hızı bulunur. Daha sonra kaba talaş işlemi veya sert malzemeler için güç hesabı yaparak gerekli maksimum güç bulunur veya hesap yapmadan direk olarak iş mili hızı ve iş mili motor gücü girilebilmektedir (Şekil 6). Programda yapılan hesap, küçük işleme genişlikli takım ile alın frezeleme yaparken gerekli iş mili hızı ve motor gücü hesabıdır. Bu kısmın akış şeması Şekil 7’de gösterilmiştir

4. EN UYGUN İŞLEME MERKEZİNİN SEÇİMİ

Bu bölümde en uygun işleme merkezinin seçiminde kullanılan dört farklı duruma ait kriterler Çizelge 2’de gösterilmiştir. Şekil 8’de görülen “Uygun işleme merkezleri” düğmesine tıklanarak işleme merkezi seçiminde kullanılacak dört durum seçeneği ekrana getirilir. Seçilen duruma göre “ağırlıklandırılmış toplam karar modeli” ile işleme

merkezlerinin puanı belirlenerek en yüksek puandan en düşüğüne doğru sıralanır.

Ağırlıklandırılmış toplam karar modeli [16], yaygın olarak kullanılan “çok özellikli karar verme metodları”ndan biridir. Programda kullanılan seçim faktörleri; Üretkenlik, Esneklik, Hassasiyet ve Boyutsal Veriler’dir.

Seri ve kesme hızları için sadece X yönündeki değerler seçim faktörü olarak ele alınmıştır. Çünkü X, Y ve Z yönündeki kesme ve seri hızlar genelde birbirine eşittir. İşleme merkezleri konusunda uzmanlaşmış kişiler tarafından markalarına göre işleme merkezlerine “hassaslık uzman puanı” adı altında 1 ile 10 arasında puanlar verilmiştir. Bu puanlama ile farklı marka işleme merkezlerinin bazı özellikleri birbirinin aynı olmasına rağmen iyi ve kötü kalitedeki işleme merkezlerinin birbirleriyle doğru bir karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Tezgahlarının birbiriyle karşılaştırılarak en uygununun belirlenmesinde Çizelge 2’deki seçim faktörlerinin kendi aralarında normalize edilmesi gerekir. “döner tabla”, “iki eksenli döner tabla”, “indeksli tabla”, “lineer cetvel”, “iş mili içinden su verme” gibi tezgah özelliklerinin değerleri veritabanında “Var”, “Yok”, veya “Ops”(opsiyon) şeklinde tanımlandığından “Var” için 10, “Ops” için 5 ve “Yok” için 1 değerleri verilerek sayısallaştırılır. Kriterleri normalize etmek için aşağıdaki formüller kullanılmıştır [16].

CNC İşleme Merkezi Seçimi v1.0a
Dosya Düzen

ELEME GÜÇ-HIZ HESABI

Küçük işleme genişlikli takım ile alın frezeleme yaparken gerekli iş mili hızı ve motor gücü hesabı
 Tezgahın iş mili hızı ve iş mili motor gücünü hesap yapmadan yazmak istiyorum

Malzeme Tablosu *Altı çizili parametreleri tablodan malzemeye göre seçiniz.

Malzeme kodu*	ALÇ1 ALÇ2
Kesme hızı*	m/dak
Takım çapı	mm
Kesici diş sayısı	adet
Diş başına ilerleme*	mm/diş
Kesme genişliği	mm
Kesme derinliği	mm

Hız Hesapla

Güç Hesapla

Sağa aktar

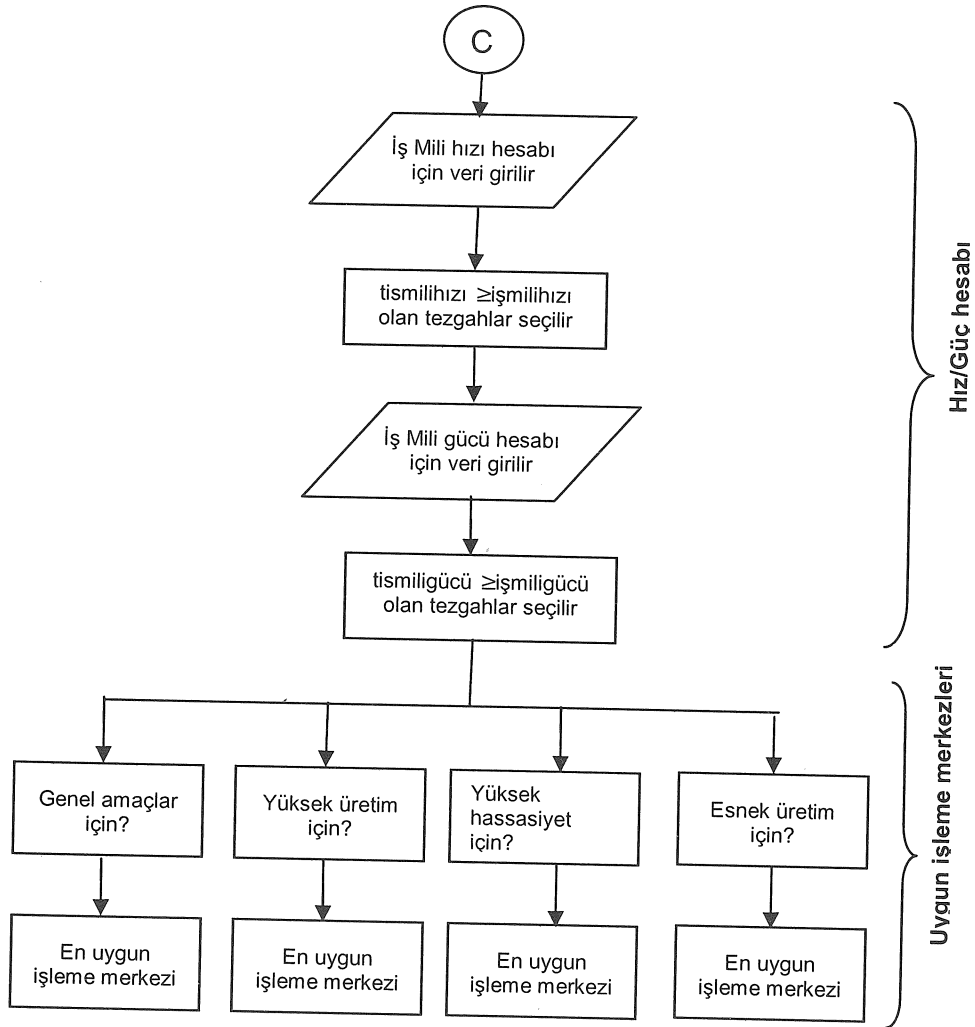
İş Mili Hızı dev/dak

İş Mili Motor Gücü HP
kW

İleri >>

ÖNERİ!
İlk önce yüksek hız gerektiren operasyon için Hız hesabı yapın. (Yumuşak malzeme ve küçük takım çapları için iş mili hızı yüksek olur). Daha sonra yüksek güç gerektiren operasyon için güç hesabı yapın. (sert malzeme ve/veya kaba talaş işlemleri)

Şekil 6. Güç-hız hesabı ekranı



Şekil 7. Hız/Güç hesabı ve uygun işleme merkezleri kısmının akış şeması

Çizelge 2. Seçim faktörleri

Üretkenlik	Esneklik	Hassasiyet
Seri hızlar	Palet sayısı	Hassaslık uzman puanı
Kesme hızları	Döner tabla	Tekrarlanabilirlik hassasiyeti
Eksen ivmesi	İki eksenli döner tabla	Konumlama hassasiyeti
Takımdan takıma süre	İndeksli tabla	Lineer cetvel
Talaştan talaşa süre	Tabla boyu (L)	İş mili içinden su verme
İş mili gücü	Tabla genişliği (W)	Boyutsal veriler
İş mili torku	X stroku	Tezgahın boyu (L)
İş mili hızı	Y stroku	Tezgah genişliği (W)
	Z stroku	Tezgah yüksekliği (H)

Şekil 8. Uygun işleme merkezleri ekranı

Yüksek değerlere sahip olması istenen özellikler için;

$$NK_{mij} = \frac{K_{mij}}{K_{1ij} + K_{2ij} + \dots + K_{Mij}}$$

$m=1..M, i=1..I, j=1..J$

Düşük değerlere sahip olması istenen özellikler için;

$$NK_{mij} = \frac{1/K_{mij}}{1/K_{1ij} + 1/K_{2ij} + \dots + 1/K_{Mij}}$$

$m=1..M, i=1..I, j=1..J$

K_{mij} = m tezgahının i seçim kriteri altındaki j alt kriterinin değeri; NK_{mij} = m tezgahının i seçim kriteri altındaki j alt kriterinin normalize değeri; m= Tezgah indeksi; M= Toplam tezgah sayısı; i= Ana kriter indeksi; I= Toplam ana seçim kriter sayısı; j= Alt kriter indeksi; J= Toplam alt kriter sayısı'nu ifade etmektedir [16].

(1)

Dört senaryo için ana seçim kriterlerinin uzmanlar tarafından puan verilip normalize edilmiş ağırlıkları (A_i) Çizelge 3'de, alt kriterlerin puanlanarak normalize edilmiş puanları (A_{ij}) Çizelge 4'de gösterilmiştir.

(2)

Her tezgahın tüm kriterler göre toplam puanı (3) ve (4) formülleri ile hesaplanır.

$$P_{mi} = \sum_{j=1}^J NK_{mij} \times A_{ij} \quad m=1..M, i=..I$$

$$T_m = \sum_{i=1}^I P_{mi} \times A_i \quad m=1..M, i=..I$$

A_i = i seçim kriterinin normalize ağırlığı; A_{ij} = i seçim kriteri altındaki j alt kriterinin normalize ağırlığı; P_{mi} = i seçim kriterine göre m. tezgahının puanı; T_m = m tezgahının tüm kriterlere göre puanını ifade etmektedir. Seçilen kullanım durumuna göre en yüksek puana sahip işleme merkezi, uygun işleme merkezleri arasında en iyisidir.

6. ÖRNEK UYGULAMA

Hema Endüstri A.Ş firması, 2 yıl önce yıllık üretim miktarı 115 000 adet olan direksiyon gövdesinin yağ giriş-çıkış deliklerinin ve bağlantı deliklerinin açılması ile bağlantı yüzeyinin frezelenmesi için bir CNC işleme merkezine ihtiyaç duymuştur. Üst yönetim ve bu konuda uzman mühendisler tarafından TOPPER TONG TAI'nin TMV-610A modelinin alınmasına karar verilmiştir. Geliştirilen uzman sistem ile hangi işleme merkezinin

seçileceği araştırılacaktır. Parça ile ilgili veriler aşağıda verilmiştir.

İş tipi: Bir yüzeyin frezelenmesi ve çeşitli çaplardaki deliklerin açılması (kaba/yarı/hassas işleme); **Üretim miktarı:** 115 000 adet/yıl (2 vardiya çalışacak); **Parça boyutları:** L=605 mm, W=250 mm, H=150 mm; **Malzemesi:** Alüminyum (sertlik:120 HB); **Gerekli takım sayısı:** 12; **En uzun takım boyu:** 150 mm; **En büyük takım çapı:** Ø63 mm; **En ağır takımın ağırlığı:** Toplam 6 kg (takım=3 kg, tutucu=3 kg); **Parça ve bağlama aparatlarının toplam ağırlığı:** 25 kg; **Konum toleransları:** 0,1 mm; **İş milinin ulaşacağı maksimum hız:** Ø7,3 mm PCD matkap ile kesme hızı 200 m/dak verilerek elde edilecektir; **İş milinin ulaşacağı maksimum güç:** Ø63 mm PCD freze çakısı (4 ağızlı) ile kesme hızı 600 m/dak, ilerleme miktarı 0,2 mm/diş verilerek kesme genişliği 35 mm ve talaş derinliği 2 mm'de elde edilecektir.

“Uygun işleme merkezleri” sekmesindeki dört durum için elde edilen sıralamalar, Çizelge 5’de gösterilmiştir. Tezgah iki vardiya sürekli çalışacağından iş parçasının istenilen toleranslar içinde işlenebilmesi için kaliteli ve uzun süre hassasiyetini kaybetmeyecek bir işleme merkezinin seçilmesi gerekmektedir. Bu yüzden “yüksek hassasiyetler için” durumu bu iş için daha uygundur (Çizelge 5,6).

Çizelge 3. Ana seçim kriterlerinin normalize edilmiş ağırlıkları (A_i)

Kullanım amacı	Üretkenlik	Esneklik	Hassasiyet	Boyutsal
Genel amaçlar için	0.50	0.15	0.30	0.05
Yüksek üretim miktarları için	0.40	0.15	0.40	0.05
Esnek üretim için	0.45	0.30	0.20	0.05
Yüksek hassasiyet için	0.20	0.20	0.55	0.05

Çizelge 4: Alt seçim kriterlerinin normalize edilmiş ağırlıkları (A_{ij})

	Üretkenlik		Esneklik		Hassasiyet	
	HızlıX	0.145	Palets	0.070	Dinamikp	0.408
	KesmeX	0.129	Dönel	0.139	Pozis	0.163
	İvme	0.097	D.Dönel	0.139	Tekrar	0.163
	Tak tak	0.161	İndeks	0.097	Throughc	0.061
	Tal tal	0.161	TablaL	0.111	lineerc	0.205
Taperscr<5	Güç	0.081	TablaW	0.111	Boyutsal	
	Tork	0.145	StrokX	0.111	TezL	0.400
	MilHızı	0.081	StrokY	0.111	TezW	0.400
5<Taperscr<7	Güç	0.113	StrokZ	0.111	TezH	0.200
	Tork	0.065				
	MilHızı	0.081				
Taperscr>7	Güç	0.081				
	Tork	0.081				
	MilHızı	0.145				

Çizelge 5. Dört durum için işleme merkezlerinin sıralaması

Genel Amaçlar için				Yüksek üretim için			
Sıra	Puan	Marka	Model	Sıra	Puan	Marka	Model
1	202,51	DMG	DMC 64 V linear	1	207,46	TOPPER	TMV-610A
2	199,18	TOPPER	TMV-610A	2	200,44	DMG	DMC 64 V linear
3	164,87	FADAL	VMC P-3020	3	161,01	FADAL	VMC P-3020
4	145,97	MITSUBISHI	M-V5CN	4	145,31	MITSUBISHI	M-V5CN
5	144,12	DMG	DMC 63 V	5	144,66	HARDINGE	VMC 800II
6	143,35	HARDINGE	VMC 800II	6	141,12	DMG	DMC 63 V

Esnek üretim için				Yüksek hassasiyetler için			
Sıra	Puan	Marka	Model	Sıra	Puan	Marka	Model
1	198,32	DMG	DMC 64 V linear	1	219,84	TOPPER	TMV-610A
2	190,77	TOPPER	TMV-610A	2	195,24	DMG	DMC 64 V linear
3	176,38	FADAL	VMC P-3020	3	157,79	FADAL	VMC P-3020
4	149,53	HARDINGE	VMC 800II	4	149,12	HARDINGE	VMC 800II
5	143,69	MITSUBISHI	M-V5CN	5	143,34	MITSUBISHI	M-V5CN
6	141,31	DMG	DMC 63 V	6	134,67	DMG	DMC 63 V

Çizelge 6. Yüksek hassasiyetli üretim için işleme merkezleri

Puan	Marka	Model	Strok X (mm)	Strok Y (mm)	Strok Z (mm)	İş Mili Gücü (HP)	Boşta hız (m/dak)	Pozis. Hass. (mm)	Tekrar. Hass. (mm)	Fiyat (Euro)
219,84	TOPPER	TMV-610A	610	610	406	10	28.4	0,0015	0,0010	63 000
195,24	DMG	DMC 64 V linear	640	600	500	25	70	0,0080	0,0040	92 000
157,79	FADAL	VMC P-3020	762	508	610	23	23	0,0041	0,0015	70 000
149,12	HARDINGE	VMC 800II	800	510	510	17.3	30	0,0050	0,0025	43 600
143,34	MITSUBISHI	M-V5CN	800	510	460	15	30	0,0040	0,0015	63 000
134,67	DMG	DMC 63 V	630	500	500	17.4	30	0,0080	0,0040	69 500

25 HP-10 000 dev/dak'lık iş miline sahip DMG 64V linear, 10 HP-10 000 dev/dak'lık iş miline sahip TMV-610A'ya göre daha güçlü olmasına karşın alüminyum işlendiği için güce çok ihtiyaç duyulmamaktadır. Boşta seri hızlar ve eksen ivmelenmesi, DMG 64V linear'in TMV-610A'dan daha hızlı olmasına rağmen delikler arası mesafenin az olmasından dolayı bu hızlara asla çıkılmayacağı için yüksek olmasının fazla bir önemi yoktur. Parçanın tezgahta geçen zamanına önemli etkisi bulunan palet değiştirme süresi ve takım değiştirme süresi, alternatif işleme merkezleri arasında TMV-610A'da en azdır (Çizelge 7). Görüldüğü gibi hedeflenen değere sadece TMV-610A ve M-V5CN ile erişilebilmektedir. İkisinin de fiyatlarının aynı olmasına rağmen TMV-610A'nın puanı "M-V5CN'den fazla olduğundan dolayı TMV-610A'yı seçmek uygundur. Firmanın da bu işleme merkezini seçmiş olması, geliştirilen uzman sistemin

algoritması ve seçim kriterlerinin ağırlıklandırılması ile uzman yerine geçebilecek karar verme yeteneğine sahip olduğunun bir göstergesidir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmeler için bir çok tezgah arasından işe uygun işleme merkezini seçmek önemli bir karar alma problemidir. Geliştirilen uzman sistemde bir uzmanın tezgah seçiminde izlediği yol benzetilerek tatmin edici sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Program yazılırken pratik uygulamalar dikkate alınarak çoğu zaman gözden kaçan işleme merkezlerinin statik/dinamik rijitliği, ömrü gibi kriterler "hassaslık uzman puanı" adı altında tezgahları tanıyan uzmanlar tarafından markasına göre puanlanarak seçimin sadece tezgahın performans verileri ile sınırlı kalmaması sağlanmıştır.

Çizelge 7. Tezgahların karşılaştırılması

Marka	Model	Tal- Tal (sn)	Palet D. (sn)	Boşta zaman (sn)	Toplam işleme süresi (sn)	1 saatteki Üret. M. (adet)	Haftalık Üret. M. (adet)	Yıllık Üret. M. (adet)
TOPPER	TMV-610A	4,2	5	55,4	120,4	29,9	2 691	134 550
DMG	DMC 64 V linear	6,5	10	88	153	23,5	2 118	105 900
FADAL	VMC P-3020	5	20	80	145	24,8	2 235	111 750
HARDINGE	VMC 800II	6	20	92	157	22,9	2 064	103 200
MITSUBISHI	M-V5CN	5	15	75	140	25,7	2 314	115 700
DMG	DMC 63 V	6,5	10	88	153	23,5	2 118	105 900

Programın güncelliğini koruması için son çıkan işleme merkezlerinin verilerinin veritabanına girilmesi gerekmektedir. Geliştirilen bu uzman sistemin katkıları ve sağladığı faydalar; belirtilen işe veya prosese göre en uygun tezgahı seçmek, karar verme süresini kısaltmak, bu alandaki uzmanların yetersizliğini ortadan kaldırmak, işleme merkezleri ve seçimi üzerine iyi bir eğitim aracı olarak kullanılabilir ve uzmanlara destek verici bir program niteliğinde olmak şeklinde sıralanabilir.

Program yazılırken karşılaşılan en önemli zorluk; tezgahla ilgili bilgilerin standart bir formda olmayışı ve yatay ve dikey işleme merkezleri için tek bir veritabanı oluşturmada karşılaşılan güçlüklerdir. Bu çalışmada, sadece yatay ve dikey işleme merkezlerini içerdiği için ileriki dönemlerde yapılacak çalışmalarda torna, taşlama vb. tezgahları da içeren daha kapsamlı bir uzman sistem programı geliştirilebilir. Ayrıca seçim kriterlerinin ağırlıkları kullanıcı tarafından değiştirilebilir şekilde yapılırsa kullanıcı tarafından daha tatmin edici sonuçlar elde edilebilir.

AN EXPERT SYSTEM FOR SELECTING A CNC MACHINING CENTER

With the globalization of business, competitive economy, development of computer, electronical and mechanical technology, decreased product life cycles, existing machine tools that inadequate qualified on machining and time, the firms are forced to use new CNC machining centers. Selecting a machining center that will be used on production line of a firm is a difficult decision making problem which has to takes into account of several properties of the machine tools and the parts that will be machined. In this study, an expert system was developed by considering practical applications to help the decision maker to select machining center. Suitable machining centers are selected from the database according to answers of the user to the questions. The most suitable machining center is determined by sorting the machines from the best to

worst by comparing and weighting the properties of selected machines for four different cases.

Keywords: Machining centers, Expert systems, Weighted Sum Decision Model.

KAYNAKLAR

1. Kalpakjian, S., ve Schmid, S.R., *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice-Hall, Inc., Fourth Edition., Upper Saddle River, NJ, 2001.
2. Thusty, G., *Manufacturing Processes and Equipment*, Chapter 7-10, Printice Hall, USA, 2000.
3. Woodrow, W.C., *Modern Machine Shop's Handbook for the Metalworking Industries*, Hanser Gardner Publications, New York: 749-808, 2002.
4. Arslan, M.Ç., *Decision Support System For Machine Tool Selection*, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 2002.
5. Gopalakrishnan, B., Yoshii, T., ve Dappili, S.M., Decision Support System for Machining Center Selection, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15 (2004) 2, 144-154.
6. Layek, A-M., ve Lars, J.R., Algorithm Based Decision Support System for the Concerted Selection Ofequipment in Machining/Assembly Cells, *International Journal of Production Research*, 38 (2000) 2, 323-339.
7. Lin, Z-C., ve Yang, C-B., Evaluation of Machine Selection by the AHP Method, *Journal of Materials Processing Technology*, 57 (1996), 253-258.
8. Oeltjenbruns, H., Kolarik, W.J., ve Schnadt-Kirschner, R., Strategic Planning in Manufacturing Systems- AHP Application to an Equipment Replacement Decision, *International Journal of Production Economics*, 38 (1995), 189-197.

9. Çimren, E., Budak, E., ve Çatay, B., Development of A Machine Tool Selection System Using Analytic Hierarchy Process, *Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, (2004), 150-156.
10. Yurdakul, M., AHP as A Strategic Decision Making Tool to Justify Machine Tool Selection, *Journal of Materials Processing Technology*, 146 (2004), 365-376.
11. Sun, S., Assessing Computer Numerical Control Machines Using Data Envelopment Analysis, *International Journal of Production Research*, 40 (2002) 9, 2011-2039.
12. Devedzic, G.B., Pap, E., Multicriteria-Multistages Linguistic Evaluation and Ranking of Machine Tools, *Fuzzy Sets and Systems*, 102 (1999), 451-461.
13. Atmani, A., Lashkari, R.S., A model of Machine-Tool Selection and Operation Allocation in Flexible Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, 36 (1998) 5, 1339-1349.
14. Tabucanon, M. T., Batanov, D. N. ve Verma, D. K., Intelligent Decision Support System (DSS) for the Selection Process of Alternative Machines for Flexible Manufacturing Systems (FMS), *Computers in Industry*, 25 (1994), 131-143.
15. Wang, T.-Y., Shaw, C.-F. ve Chen Y.-L., Machine Selection in Flexible Manufacturing Cell: A Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Approach, *International Journal of Production Research*, 38 (2000) 9, 2079-2097.
16. Goh, C.-H., Tung, Y.-C. ve Cheng, C.-H., A Revised Weighted Sum Decision Model for Robot Selection, *Computers and Industrial Engineering*, 30 (1995) 2, 193-199.

EK-1. İŞ MİLİ KONİKLİĞİ HESABI İÇİN TABLO

Malzeme	Sertlik (HB)	Kaba talaş	Yarı bitirme	İnce Talaş
Alaşsız çelikler, Düşük alaşımlı çelikler, Yüksek alaşımlı çelikler, Döküm çelikler, Paslanmaz çelikler	< 180	5	6	7
	181 - 270	4	5	6
	271 - 320	3	4	5
	321 - 380	2	3	4
Temper dökümler, Gri dökme demirler, Sfero SG dökme demirler	< 180	5	6	8
	181 - 260	4	5	7
Alüminyum, alüminyum alaşımları, Magnezyum	< 60	9	10	10
	61 - 100	9	10	10
	101 - 130	8	9	10
	131 - 150	7	8	10
Bakır ve Bakır alaşımları	90 -240	7	8	10
	151 - 150	7	7	9
	241 - 300	6	6	8
Plastik		9	10	10
Isıl dirençli süper alaşımlar; Demir esaslı alaşımlar, Nikel esaslı alaşımlar.	< 200	3	4	5
	201 - 250	2	3	4
	251 - 350	1	2	3
Titanyum alaşımları	400 Mpa	6	7	8
	1050 Mpa	5	6	7
Ekstra sert çelik, Su verilmiş d. demirler.	55 - 60 HRC	1	2	3

