

Yusuf Tansel İç* Başkent Üniversitesi Endüstri
Mühendisliği Bölümü, Etimesgut, AnkaraMustafa Yurdakul Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği
Bölümü, Maltepe, Ankara**Makale Bilgisi:**

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 07-07-2020

Kabul: 29-08-2020

*Sorumlu Yazar: Yusuf Tansel İç

Email: yustanic@baskent.edu.tr

İşleme Merkezlerinin Yapısal Bileşenlerini Kullanan Bir Seçim Modelinin Geliştirilmesi

İşleme merkezlerine ait kataloglarda verilen kriterler değerlerinin doğru olup olmadığının belirsizliği, belirlenmelerinin hangi koşullarda gerçekleştiği ve birbirine yakın olması işlem merkezlerinin seçimine yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kalmaktadır. Bu makalede, işleme merkezlerine yönelik detaylı bir literatür ve katalog taramasının ardından işleme merkezlerinde kullanılan parçalar ve tipleri ve talaşlı işleme performansına etkileri belirlenmiştir. Belirlenen etkilerin seviyesini derecelendiren hiyerarşik bir yapıya oturtulması ile işleme merkezleri arasında bir seçim modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model literatürde mevcut direkt performansa dayalı seçim modellerine göre daha yoğun bir çalışma gerektirmesine rağmen sonuçları performansı ortaya çıkan yapıyı ve bileşenlerini esas aldığı için daha doğru seçim kararları verilmesini sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: İşleme merkezi, işleme merkezi iç yapısı, işleme merkezi seçimi, MOORA.

1. GİRİŞ

İşleme merkezleri kataloglarında iş mili hızı, tabla boyutları ve yük kapasitesi, toleranslar, eksen hareketleri gibi kriterler bulunmaktadır. İşleme merkezi üreticisi firmaların rakip ürünleri çok iyi takip etmesi ve rakip ürünlerde olan özellikleri kendi ürünlerine uygulamaları gibi nedenlerden dolayı müşterilerine sundukları kriter değerleri birbirlerine benzer çok sayıda işleme merkezi bulunmaktadır. Dolayısıyla, işleme merkezleri arasında birbirlerine çok yakın katalog değerlerini kullanarak ayırım yapabilmek gittikçe zorlaşmaktadır. Bu durumda literatürdeki katalog değerlerini kullanan seçim yapan modelleri kullanmak yerine işleme merkezi alıcıları seçim işleminde teknik yeterlilikten ziyade fiyat, teslim koşulları, teslim sonrası servis ve eğitim şartları gibi kriterler ile karşılaştırma yapmaya başlamaktadır. Ancak bu yeni kriterleri kullanmak işleme merkezinin performansını önceleyen bir seçim yaklaşımının yerini alması mümkün değildir. Dolayısıyla, işleme merkezlerinin seçiminde hangi koşullar altında elde edildiği ve doğrulukları konularında açıklayıcı bilgilerin kataloglarda yer almadığı performans değerlerini kullanan güvenilirliği düşük performansa dayalı seçim modelleri yerine yeni modeller geliştirmek gerekir.

Literatürde birçok işleme merkezi seçim çalışmasına rastlanabilmektedir. İç ve Yurdakul [2], Lin ve Yang [3], Çimren v.d. [4], Oeltjenbruns vd. [5], Tabuconon vd. [6], Yurdakul [7], Sun [8], Wang vd. [9], Yurdakul ve İç [10,11], Arslan v.d. [12], İç ve Yurdakul [13], Atmani ve Lashkari [14], Gerrard [15], Haddock [16] işleme merkezi veya takım tezgâhi seçimi için çalışmalar sunmuşlardır. Bu çalışmalardan [2-16] nolu kaynaklardaki çalışmalar Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle işleme merkezi seçimi gerçekleştirilen çalışmalardır. Yeni bir model geliştirmede, kataloglarda yer alan performans değerleri yerine performansı belirleyen işleme merkezlerinde kullanılan yapıları ve bileşenleri karşılaştırarak bir seçim yapmak daha doğru olacaktır. Ancak, literatürde incelenen işleme merkezleri seçim çalışmalarında, yapıları ve bileşenleri inceleyen çalışmalar İç vd'nin [1] çalışması ile kısıtlıdır. Bu çalışmada, işleme merkezi seçim probleminde kataloglarda yer alan birbirine çok yakın performans değerleri yerine performansı belirleyen işleme merkezlerinin iç yapısını oluşturan makine elemanlarını karşılaştıran bir seçim yaklaşımı önerilmiştir.

2 KARAR VERMEDE KULLANILABİLECEK DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

İşleme merkezlerinin yapısal elemanları bazında bir seçim işlemi gerçekleştirebilmek için öncelikle yapısal elemanların değerlendirmesinde kullanılacak kriterleri belirlemek gereklidir. Bu amaçla yapışan kapsamlı literatür taramasının ardından işleme merkezlerinin yapı elemanlarına yönelik değerlendirme kriterler ve bu kriterlerin dayanaklarına ilişkin detaylar bu bölümde sunulmuştur [17-20].

2.1. İş mili ile ilgili değerlendirme kriterleri

İşleme merkezlerinin temel yapı elemanlarından olan iş mili için en kritik durum kararlılıktır. İş mili, gerek ısıl açıdan, gerekse dayanım açısından belirli bir kararlılığa sahip olması gerekir.

a) Tezgahın maksimum kararlılığı açısından uygulanabilecek talaş genişliği limiti, malzeme kaldırma hızı (MRR) ve tezgah güç limiti (P_{lim}) değeri

Tezgahın kararlılığı açısından bir değerlendirme yapabilmek için aşağıdaki eşitlikleri kullanarak bir hesaplama yapılması gerekir. Eşitliklerde σ , düz keşiçi kenar açısını, β , kesme kuvveti açısını, K_s , özgül kuvveti (N/mm), ζ , sönüm oranını, k , rijitliği, temsil etmektedir. Tırlama oluşmaksızın işlenecek maksimum talaş genişliği (b_{lim}) aşağıdaki Eş.(1) kullanılarak hesaplanır [19]:

$$b_{lim} = \frac{4k\zeta}{2K_s \sin^2 \sigma \cos \beta} \quad (1)$$

Tırlama oluşmaksızın kaldırılabilir talaş miktarı (MRR_{lim}) ve gerekli güç ise kesici diş sayısı, m ; diş başına ilerleme, c (mm); kesme hızı, V (m/dk); radyal kesme derinliği, $a = d$; dönme hızı, $n = v/\pi d$ (dev/dk); ilerleme oranı, $f = n.m.c$ (mm/dk) gösterilerek

$$MRR_{lim} = f \times b_{lim} \times d \quad (cm^3/dk) \quad (2)$$

$$P_{lim} = K_s \times MRR_{lim} / 60 \quad (3)$$

eşitlikleriyle hesaplanır [19]. İşleme merkezlerinde tırlama en önemli tasarım faktörlerinden bir tanesidir. Tırlama oluşumu ise büyük ölçüde işleme merkezinde yapılabilecek kesme genişliği limiti " b_{lim} " ile bağlantılıdır. Çok değişken kesme şartları " b_{lim} " sınırının aşılması sonucunda tırlama oluşumuna sebep olabilir.

b) İşleme merkezinde yapılacak kesme operasyonunda ağırlıklı olarak oluşacak talaş tipi

Talaş tipi tırlama oluşumunu etkileyen önemli bir kriterdir. Sürekli talaş gerektiren işlemler ağırlıklı olarak gerçekleştirilmekteyse bu durumda tırlama oluşumu

ihtimali çok düşüktür. Fakat işleme merkezinde ağırlıklı olarak kesikli ve yığma talaştan oluşan kesme operasyonları uygulanacaksa tırlama oluşma ihtimali yüksek olacaktır. Bu durumda seçilecek tezgahın daha dayanıklı ve daha yüksek kalitede yapı elemanları ile donatılması beklenmelidir. Tezgah yapısının dengesi rijitlik ve sönümlenme etkenleri ile artırılabilir. Eğer bir tezgahta tırlama oluşumu test edilirse, genellikle yapının kararlı modunun sadece doğal frekansın tırlama frekansını kapsadığı durumda sağlandığı görülür. Bu durum ise tezgah yapısının hem rijitliğinin, hem de sönümlenme kabiliyetinin yüksek olması gerekliliğini açığa çıkaracaktır. Rijitlik, yaylanma etkisi gösterebilen makine parçalarının atalet momentinin artırılması ile artırılabilir. Sönümlenme ise yapının uygun bir noktasına sönümleyici bir eleman (örneğin yay) konularak sağlanabilir [19].

c) İşleme merkezinin R oranı

R oranı bir işleme merkezinin kesme yelpazesinin bir ölçüsüdür. R oranı işleme merkezinde işlenecek iş parçasının çap oranı ($R_d = d_{max}/d_{min}$) ile işleme merkezinde yapılacak kesme işleminin hız aralığı oranının ($R_v = V_{max}/V_{min}$) çarpılması sonucu bulunmaktadır. İşleme merkezlerinde bu oran için 200 seviyesine ulaşmak genellikle güçtür. R oranının işleme merkezleri için mümkün olduğunca yüksek olması beklenir. Bunun diğer bir anlamı, bir işleme merkezi alüminyum alaşımlarından titanyum alaşımlarına kadar çok geniş bir yelpazede talaş kaldırma operasyonu yapabilmeye kabiliyetinde bulunmalıdır [19].

d) İşleme merkezinin iş mili tasarımında kullanılan rulman türü ve rulmanın DN numarası

Çok gelişmiş tezgahlarda ve çok yüksek hız istenen durumlarda hibrit rulmanlar en yüksek değerleri verebilmektedir. Bunun dışında yüksek hız gerektiren diğer uygulamalarda silindirik rulmanlardan ziyade bilyeli rulmanlar daha az temas ve dolayısıyla daha az sürtünmeden dolayı tercih edilmektedir. Bunun tersine, silindirik rulmanların daha fazla temas alanı dolayısıyla rijitlik özellikleri daha yüksektir. Rulman seçimi için bu özellikleri içinde barındıran bir DN numarası belirlenmektedir. Bu numara, rulmanın dayanımının bir ölçüsü olarak "mm" cinsinden rulman çapı D ile "dev/dk" cinsinden dönüş hızını temsil eden N değerlerinin çarpımından oluşur. Rulmandan beklenen maksimum çap ve maksimum hızdır. Bu oranın genelde BN değerinin 1 milyondan büyük olması istenir. Bu değeri 2 milyon civarında bir değerle hibrit rulmanlar maksimum olarak sağlayabilmektedir [19].

e) İş mili tasarımında kullanılan rulmanların diğer özellikleri

Sıkı boyutsal toleranslar ve küçük sayıda daha fazla yuvarlanma elemanına sahip olma özellikleri

işleme merkezlerine avantajlar sağlayabilmektedir. Çok yırtılı olmakla birlikte; tezgah kabiliyeti açısından önemli bir göstergedir. Bu özellikler bakımından daha avantajlı olan rulmanlar, en büyük dayanıklılık, yüksek güvenilirlik, yüksek hızlara çıkabilme kabiliyetine sahiptir.

f) İş milinin çok yüksek aksel yüklemeye rijitliği için rulmanın temas açısı

İş mili rulmanları için bilye temas açısının 15-25 derece arasında olması ve iç ve dış bilezik temas açısı oranının (1,2-1,5:1) mertebesinde olması istenir. Çünkü rulman hızı artınca 15 derecelik iç ve dış temas açısı iç bilezikte 20,3 dereceye artar, dış bilezikte ise 9,7 dereceye düşer. Bu iç-dış bilezik temas açılarının oranı (2:1) seviyesini aşmamalıdır. Bu oran (3:1) mertebesine çıkarsa rulmanda ısınma ve dolayısıyla bozulma meydana gelir ki bu da işleme hassasiyetini olumsuz etkiler [19].

g) Tezgahın frezeleme operasyonundaki tamlık derecesi

Tezgahın tamlık derecesini hesaplamak için parmak frezeleme operasyonu için iki kesici ağızlı düz dişli kesici takım kullanılmakta ve statik sapma mertebesi hesaplanmaktadır.

Örnek Hesaplama-1: Rezonans Halinde

Bir düz dişli, iki kesici ağızlı takım ile Şekil 1'de gösterildiği gibi yapılan bir kanal açma operasyonunda işlenmiş yüzeyler kesici ağızların A ve B noktalarından her geçişinde oluşturulmakta ve S_A ve S_B ile gösterilmektedir. Bu örnekte ilk olarak hesaplanması gereken, kesici takımın y doğrultusundaki yer değiştirmesini etkileyen kesme kuvveti F_y 'dir. Örnek bir kesme işlemi ile ilgili çok özel parametreler ise aşağıda tanımlanmıştır [20]:

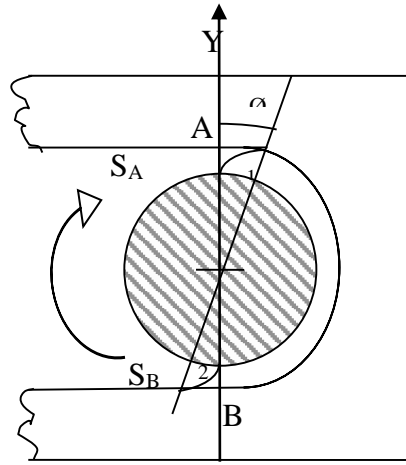
Özgül kuvvet, $K_s=1000 \text{ N/mm}^2$; $F_t=K_s \cdot b \cdot h$; $F_N=0,3 F_t$; eksenel kesme derinliği, $b=10\text{mm}$; dış ilerlemesi başına talaş yükü, $c=0,1 \text{ mm}$; mil dönüş hızı, $n=7200 \text{ dev/dk}$

Veriler doğrultusunda aşağıdaki gibi bir hesaplama gerçekleştirilebilir:

$$F_y = \frac{K_s \cdot b \cdot c}{2} \sum_{i=1}^m 1 - \cos 2\phi_i - 0,3 \sin 2\phi_i \quad (4)$$

$$F_y = 500 \cdot (1 - \cos 2\phi - 0,3 \sin 2\phi) \quad (5)$$

Formüllerde, $F_1=-500 \cdot \cos 2\phi$; $F_2=-150 \cdot \sin 2\phi$; DC=500'dür. $k=1000 \text{ N/mm}$, $\zeta=0,04$ olarak alındığında;



Şekil 1. İki ağızlı kesici takım ile yapılan kanal açma operasyonu [19]

$$y_1 = \frac{F_1}{2k\zeta} = 6,25 \text{ mm}; \quad y_2 = \frac{F_2}{2k\zeta} = 1,875 \text{ mm} \quad (6)$$

Olarak bulunur. $\phi=0$ için;

$$y_1 = -Y_1 \sin(2\phi); \quad y_2 = Y_2 \cos(2\phi) \quad (7)$$

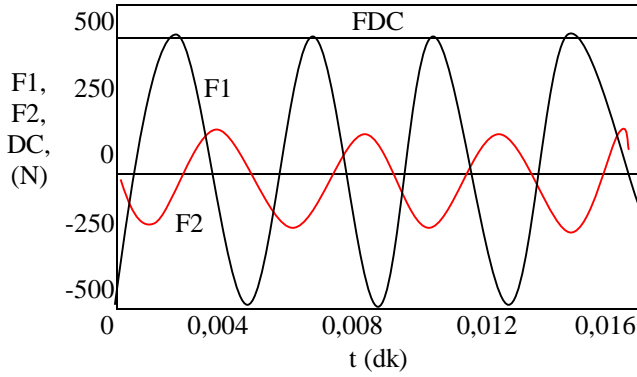
DC bileşenlerinin değeri ise DC=500/1000=0,5 mm ve sonuç olarak, $y_{1,0}=0$; $y_{2,0}=1,875 \text{ mm}$ olarak hesaplanır.

Şekil 2.(b) incelendiğinde sapma miktarının zamana göre değişimi gözlenebilir. Buna göre şekilde başlangıç noktaları değerleri y_1 için sıfır, y_2 için ise; $\delta=0,5+0+1,875=2,375$ değerleri gösterilmiştir. Kesici kenar A noktasından $\phi=0$ ve B noktasından $\phi=180^\circ$ konumunda geçmektedir ve bu geçişlerin zaman karşılığı ise $t=0$ ve $t=0,00425 \text{ dk}$ olup, her yarım turda bu değerler katlanarak devam etmektedir. Üç sapma bileşeninin işlenmiş yüzeyde oluşturduğu hata alanı $t=0$ için Şekil 2. (b)'de gösterilmiştir. Yapılan hesaplama sonucuna göre, S_A yüzeyi kesme yüzeyinden 2,375 mm yukarıda oluşmaktadır [19,20].

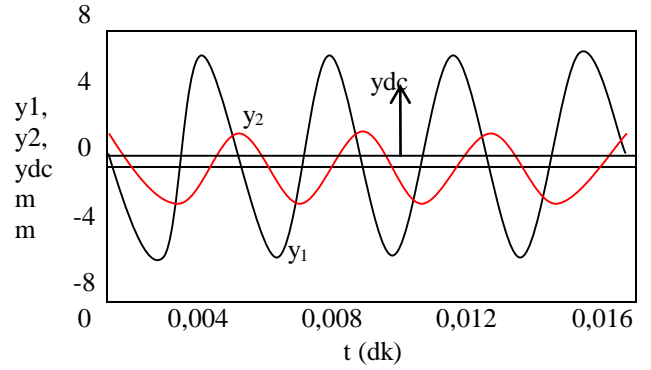
Örnek Hesaplama-2: Rezonansız Durum

Bu örnekte, doğal frekansı $f_n=310 \text{ Hz}$, ve mil dönüş hızı $n=8400 \text{ dev/dk}$, takım frekansı $f_t=280 \text{ Hz}$ olan ve periyodik kuvvetlerin mevcut olduğu, rezonansın altında bir sistem farz edildiğinde, aşağıdaki kesme parametreleri doğrultusunda, kesme kuvveti F_y 'nin bileşenlerinin hesaplanmasına yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Sistemin kesme parametreleri aşağıda verilmiştir:

Kesmenin eksenel derinliği	$b=10 \text{ mm}$,
Özgül kuvvet	$K_s=1000 \text{ N/mm}$,
Talaş yükü	$c=0,1 \text{ mm}$,
Takımın rijitliği	$k=1000 \text{ N/mm}$.



(a)



(b)

Şekil 2. İki ağızlı kesici takımın kullanıldığı frezelemede, kuvvet, titreşim ve yüzey hatası[20]

Bu veriler doğrultusunda gerekli hesaplamalar aşağıdaki şekilde gerçekleştirilebilir:

$$F_{y1} = -500 \cos(2\pi 280) N \quad (8)$$

$$F_{y2} = -150 \sin(2\pi 280) N \quad (9)$$

ve DC= 500 N ise,

$$\phi = a \tan 2 \left(\frac{-2\zeta p}{1-p^2} \right) \Rightarrow p = ft/fn = 280/310 = 0,9032 \Rightarrow \phi = -38,11^\circ \quad (10)$$

Buradan hareketli tek serbestlik dereceli bir titreşim sistemi için, titreşim genliğinin kuvvet genliğine oranından elde edilen Transfer Fonksiyonu ifadesi kullanılarak sistemin genliği hesaplanır. Buna göre;

$$\frac{A}{F} = \frac{1/k}{\sqrt{(1-p^2)^2 + 4\zeta^2 p^2}} = 0,00427 \Rightarrow A_1 = 2,135mm; \quad (11)$$

$$A_2 = 0,64mm$$

olarak hesaplanır. Buradan hareketle sapma miktarı değerleri;

$$y_1 = -2,135 \cos 38,11^\circ = -1,68 ; y_2 = 0,64 \sin 38,11^\circ = 0,395$$

olarak bulunur. Sonuç olarak toplam hata miktarı ise;

$$\delta = 0,5 - 1,68 + 0,395 = -0,785 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır. Bunun anlamı kesme düzleminde -0,785 mm aşağıya sapma olarak nitelendirilir [19,20].

Yukarıdaki hesaplamalarda işleme merkezi tasarımıyla bağlantılı en önemli parametre sönüm katsayısıdır. Eğer işleme merkezlerinin sönümleme kabiliyetleri geliştirilebilirse yukarıda hesaplanan sapma miktarları önemli ölçüde azalacaktır. Örneğin rezonanslı durum örneği için, işleme merkezinin

sönüm oranı genel veya ortalama olarak $\zeta=0,05$ olarak alındığında y_1 ve y_2 sapma miktarları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$y_1 = \frac{F_1}{2k\zeta} = 5mm ; y_2 = \frac{F_2}{2k\zeta} = 1,5mm \quad (12)$$

Görüldüğü gibi işleme merkezinin sönüm oranında 0,01 birim bir iyileşme sapma miktarında önemli düzeyde gelişmeye sebep olabilmektedir. Dolayısıyla işleme merkezlerinin hem iş mili tasarımlarının, hem de bilyeli mil ve kızak sistemlerinin sönümleme kabiliyetinin iyi düzeyde olması işlenen malzeme kalitesi açısından en önemli kriterlerden biri olarak görülmektedir.

2.2 İşleme Merkezinin Kızaklarına Yönelik Değerlendirme Kriterleri

a) Bilyeli mil karakteristikleri

Bu aşamada tezgahın kullanım şartları etkilidir. Bu doğrultuda aşağıdaki tablo 1'de verilen bilyeli mil karakteristiklerinin bilyeli mil çalışma parametrelerine etkileri işletmenin çalışma şartları doğrultusunda değerlendirilebilir [17].

b) Bilyeli mil ön yükleme şartları

Burada aşağıda verilen Tablo 2'de ön yükleme koşullarının birbirlerine göre üstünlükleri değerlendirilerek farklı işleme merkezlerinin bilyeli mil ön yüklemesi açısından birbirlerine üstünlükleri işletmenin kesme şartları ve üretim yöntemi doğrultusunda değerlendirilebilir [17].

c) Bilyeli mil bağlantı şekli

i) *Yalnızca bir ucundan sabitlenmiş rulman:* Bu uygulamada bilyeli mil sabitlenmiş rulmandan itibaren sıcaklık profiline uygun olarak genişleme serbestisine sahiptir. Teorik olarak bu durumda eğer bilye-cıvata sistemi sabitlenmiş rulmanda konuşlandırılırsa herhangi bir termal değişim olmaması beklenir. Bilyeli milin diğer tüm pozisyonları termal genişlemeden etkilenebilecektir.

ii) İki ucundan sabitlenmiş rulman: yalnızca bir ucundan sabitlenmiş bilyeli mile göre toplam mil uzama miktarı %50 daha azdır.

iii) Sabitlenmiş- ön yüklenmiş rulman: En sağlam yapı bu durumda gerçekleşmektedir.

Tablo 1. Bilyeli mil karakteristiklerine parametre değişikliklerinin etkileri [21]

Artış	Parametre	Nasıl etkilediği
Mil Uzunluğu	Kritik Hız Kolon Yükü	- -
Yürütme/Gereksinim	Tork Yük kapasitesi Pozisyonlama tamlığı Açısal hız Bilye çapı	+ + - - +
Açısal hız Yük Bilye sayısı	Kritik hız Ömür Sistem sağlamlığı	- - +
Ön yükleme	Pozisyon tamlığı Sistem sağlamlığı Sürüklenme-tork	+ + +
Vida çapı	Kritik hız Eylemsizlik Rijitlik Yaylanma oranı Yük kapasitesi Kolon yükü	+ + + + + +
Yataklama rijitliği	Kritik hız Sistem sağlamlığı	+ +
Somun Uzunluğu (7.5 dönüş max)	Yük kapasitesi Rijitlik	+ +
Bilye çapı	Ömür Rijitlik Yük kapasitesi	+ + +

d) İşleme merkezinde kullanılan servo motor türü

Aşağıdaki Tablo 3 yardımıyla işletmenin kesme şartları önceliklerine göre bir değerlendirme yapılabilir [17].

e) İşleme merkezinin eksenel tamlık derecesi

İşleme merkezlerinde herhangi bir eksendeki iki nokta arasındaki hareketin sapma miktarı farkının mutlak değerinin sabit değeri "A" yüksek kalitede tezgahlarda maksimum 10µm, tolerans sınırı "K" ise maksimum 10µm/m seviyesindedir.

2.3. İşleme Merkezinin Gövde Yapısına Yönelik Değerlendirme Kriterleri

a) İşleme merkezinde kullanılan bağlantıların türü ve sayısı

İşleme merkezinin elemanlarının ve özellikle kızakların birleştirilmelerinde kullanılan bağlantı şekli, tezgahın sağlamlığı ve sönümlenme kabiliyeti ile yakından ilgilidir. Bağlantı sayısı arttıkça tezgahın dayanımı düşmekle birlikte sönüm kabiliyeti artmaktadır. Ancak burada istenen özellik hem sağlamlığı sağlayacak, hem de en iyi sönümü gerçekleştirecek bağlantı türlerinin gerçekleştirilmesidir. Son yıllarda bu konuda özellikle kızak bağlantılarında reçine ile yapıştırma veya tümleşik bağlantı sistemleri önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Örneğin reçine ile dökme demir bir kızakın yüzeyine çelik yüzey yapıştırılarak kızak dayanımı yükseltilebilmektedir [18].

Tablo 2. Bilyeli miller için üç farklı ön yükleme sisteminin karşılaştırılması [17]

Tip:	Çift somunlu bağlantılı	Adım Kaydırmalı	Bilyelerin çapı vida yivinden biraz daha büyük
Kapasite	+	--	+
Boyutsal	--	+	+
Maliyet	-	+	+
Bakım	-	+	+
Rijitlik	++	--	+

Tablo 3. Üç farklı servo motor tipinin karşılaştırılması

Karakteristikler	DC Tahrik	Eşzamanlı AC Tahrik	Eş zamansız AC Tahrik
Genel boyut/Güç yoğunluğu	+	++	-
İvmelenme	+	++	-
Mil hız limiti	-	+	++
Isıl yükleme	--	+	+
Hizmet ömrü	--	+	++
Aşınma	-	+	+
Rijitlik	-	+	++
Atalet momenti	+	+	-
Kontrol karmaşıklığı	++	+	-

b) İşleme merkezinde iş parçasının desteklenmesine yönelik olarak ilave tertibatlar

İş parçasının bağlanması kullanılan ekstra destekleme elemanları tırlama ihtimalini azaltmaktadır.

c) İşleme merkezinin iskeletinin bağlantı tipi

Portal tipte çift kolonlu olarak oluşturulmuş iskelet yapı, dirsekli bağlantı şeklinde tek kolonlu yapıya göre daha dayanıklı ve sağlamdır.

3. KRİTER DEĞERLENDİRMEDE KULLANILACAK KLAVUZUN OLUŞTURULMASI

Yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanan bilgiler doğrultusunda işleme merkezlerinin yapı elemanlarının değerlendirilmesinde kullanılacak genel kriterler oluşturulmuştur (Şekil 3). Bu yapı rijitlik, sönümlenme, ısıl kararlılık, tamlık-doğruluk, hız kapasitesi, maliyet ve bakım-onarım kolaylığı gibi teknolojik ve ekonomik kriterlerin kızıklar, ilerleme tahrik sistemi, iş mili /rulman ve tezgah gövdesi şeklinde tanımlanan işleme merkezi iç yapı elemanlarının farklı tasarımlarında kesme işlemi sonuçlarına (performansa) etkilerini değerlendirmektedir. Yazarlar tarafından yapılan literatür taraması sonucu toparlanan girdiler (yapı ve bileşenler) ile performans çıktıları arasındaki bağlantıları derecelendirerek Tablo 4 oluşturulmuştur.

4. ÖRNEK UYGULAMA

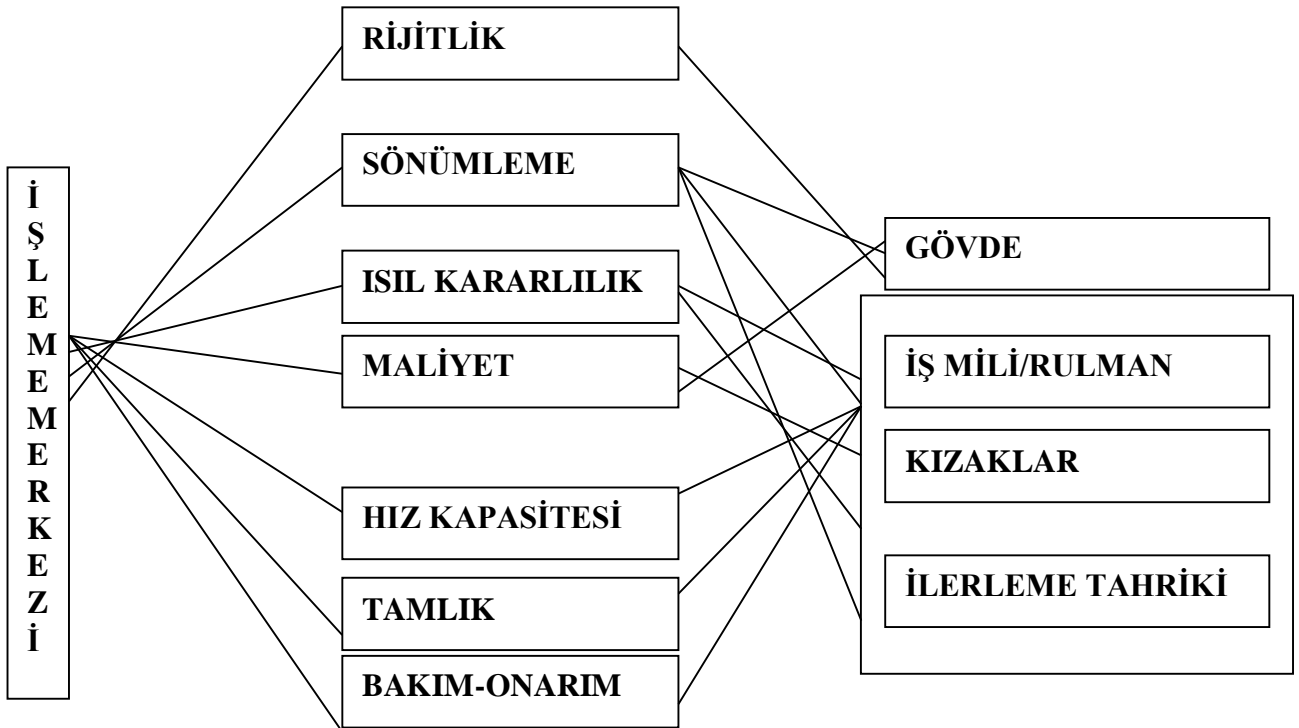
Bu bölümde işleme merkezlerini yapısal özelliklerine göre seçmek üzere öncelikle Tablo 4 kullanılarak işleme merkezleri Tablo 5'teki gibi değerlendirilmiştir. Ardından MOORA yöntemi kullanılarak işleme merkezleri arasında bir seçim yapılmıştır.

Brauers tarafından 2004 yılında geliştirilen MOORA yöntemi ise bir çok amaçlı eniyileme yöntemidir. TOPSIS, VIKOR ve GRA yöntemine göre çok daha yeni bir yöntem olan ve uygulama adımları çok daha basit ve kolay anlaşılır MOORA yönteminin uygulama adımları aşağıda verilmektedir [22,23]:

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Matriste x_{ij} i . İşleme merkezinin j . kriter değerini, m işleme merkezi sayısını, n ise kriter an sayısını ifade eder.



Şekil 3. İşleme merkezi yapı elemanlarının sınıflandırılması.

Tablo 4. İşleme merkezi yapı elemanlarının girdiler ve performans çıktıları arasındaki derecelendirilmiş bağlantılar

ELEMEN	KIZAKLAR				İŞ MİLİ/RULMAN			İLERLEME TAHRİKİ	
	Doğrusal (Y uvarlanmalı) (Bilyeli)	Doğrusal (Y uvarlanmalı) (Masuralı)	Hidrostatik	Bilyeli	Silindirik	Hibrit	Bilyeli mil	Doğrusal Motor	
Rijitlik	İ (>)	İ ++(>)	M	O (+) (~)	İ (+) (~)	M	O (+#)(>+)	K++ (>+)	
Sönümlenme	İ (>)	İ ++(>)	İ+	O (+)	İ (+)	İ+	İ (+) (>)	İ+ (>)	
Isıl Genleşme	İ (*)	O (*)	İ (*)	İ (*)	O (*)	M (x)	O (*)	İ+ (*)	
Tamlık-Doğruluk	İ (>)	İ ++(>)	O (*)	O (*)	İ (*)	M (x)	O (#+ *) (>++)	M	
Hız Kapasitesi	M	İ + (*)	İ (*)	İ + (*)	O (*)	M (x)	O (*)	M	
Maliyet	İ (-^)	K	K	O (-^)	O (-^)	K	O (-^)	K	
Bakım-onarım kolaylığı	M	İ+	K	İ	O+	O	O	M	

*Özel Soğutma sisteminin kullanılması durumu

+Yapılan özel işlem ve tasarımlarla özellikleri iyileştirilmiş. Örneğin çift veya özel tasarımlı rulman kullanımı (açısal temaslı 3 noktadan destekli rulman)

~Konik rulman kullanırsa veya soğutma ünitesi varsa bir üst kademeye ötelenir. Ör: O+=0.5, O+~=0.6

Ön yüklemeli vidalı mil kullanımı. Örneğin çift civatalı tasarımda bir üst kademeye ötelenir. Örneğin O-O+=0.5

> Ağırlık merkezinden tahrikle yapılandırılmış bir üst seviyeye ötelenir (Ör: I-M)

(x) Eğer soğutma ünitesi yoksa İ+’ya indirilir

() Uygulanması durumunda geçerlidir

X^>=En azından bir üst puana ötelenmek kaydıyla, duruma göre en üst seviyeye kadar artırılabilir

X^->=En azından bir alt puana ötelenmek kaydıyla, duruma göre en alt seviyeye kadar puan düşürülebilir

İ: İyi, O: Orta, K: Kötü, M: Mükemmel.

Tablo 4. Devamı

Gövde Malzemesi	Dökme Demir	Öz. Tasarım (FEM, Isıl Denge Tasarımı vb)	Öz. Malzema
Rijitlik	O	O [^]	O [^]
Sönümlenme	İ	İ [^]	İ [^]
Isıl Genleşme	K	K [^]	K [^]
Maliyet	İ	İ ^{-^}	İ ^{-^}

M:Mükemmel=1	İ:İyi=0.7	O:Orta=0.4	K:Kötü=0
	İ=0.7	O=0.4	K=0
	İ+=0.8	O+=0.5	K+=0.2
	İ*=0.8	O*=0.5	K*=0.2
	İ+*=0.9	O+*=0.6	K++=0.3
	İ+++=0.9	O+*~=0.7	K+++>+0.6
	İ+*~=1	O#=0.5	K>=0.4
	İ+>=1	O#*=0.6	
	İ++>=1	O#+=0.6	
	İ>=1	O#+*=0.7	
		O>=0.7	
		O#>+=0.8	
		O#+>+=0.9	
		O#*>+=0.9	
		O#+*>+=1	

Adım 2: Normalize karar matrisi Eş.(14)'deki gibi oluşturulur:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

Burada x_{ij}^* [0,1] arasında ifade edilen i . İşleme merkezinin j . kriter değerinin birimden bağımsız normalize değerini gösterir.

Adım 3: Normalize değerler en büyükleme durumunda toplanır (getiri türü kriter), enküçükleme durumunda (maliyet türü kriter için) çıkarılarak işleme merkezlerinin tüm kriterler bazında sıralama puanını temsil eden MOORA indeksi (Y_i) hesaplanır (Eş. 15).

$$Y_i = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (15)$$

Burada g en büyükleme istenen finansal oran sayısını, $(n-g)$ en küçükleme istenen finansal oran sayısını ifade eder. Burada işleme merkezleri puanları en büyük değer daha iyi olacak şekilde verildiğinden $(n-g)$ ile tanımlanan kısım kullanılmamıştır. Tablo 6'da görüldüğü gibi işleme merkezleri değerlendirilmiş ve MAZAK FJV120 birinci sırayı, MAZAK FH 6000 ise ikinci sırayı alan işleme merkezleri olmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada işleme merkezlerinin seçiminde bir kılavuz oluşturacak şekilde katalog bilgileri dışında işleme merkezlerinin yapısal özellikleri ve makine elemanlarının detaylı değerlendirmesine yönelik kriterler literatürden derlenmiş ve toplu bir şekilde bir araya getirilmiştir. Firmalar katalog bilgilerine göre öne eleme yaptıktan sonra bu makalede sunulan kılavuz kapsamındaki kriterleri kullanarak daha detaylı ve profesyonel değerlendirmeler gerçekleştirerek işleme merkezi seçimi için son kararı verebilirler.

İleriki dönemlerdeki çalışmalarda işleme merkezi üretim teknolojileri ve işleme merkezi üretiminde kullanılan alt bileşenlerin teknolojilerindeki gelişmelere göre bu kılavuz güncellenebilir ve hatta bir bilgisayar uygulamasına dönüştürülerek kullanımı yaygınlaştırılabilir.

DEVELOPMENT OF A SELECTION MODEL FOR MACHINING CENTERS BASED ON THEIR STRUCTURES AND COMPONENTS

The uncertainty regarding the accuracy of the values at the performance criteria, the values' closeness to each other and unavailability of the information related with the conditions under which the criteria values are collected require development of new selection approaches for machining centers. In this paper, after a thorough research of the machining center literature and catalogues, the structures and components used in the machining centers and their impacts on the machining performance are determined. A hierarchical structure that grades the impacts is formed to obtain a selection model for machining centers. The proposed machining centers' structures and components based selection model makes more accurate results compared with the selection models that use only the performance criteria values in spite of requiring a more intensive model preparation time.

Keywords: Machining center, machining center structure, machining center selection, MOORA.

Tablo5. İşleme merkezlerinin değerlendirme puanları

Kriter	RİHİTLİK			SÖNÜMLEME			TAMLIK			HIZ KAPASİTESİ			MALİYET			BAKIM-ONARIM				
	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Gövde	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	
Özellik																				
MAZAK FH 6000	0.80	0.50	0.50	0.80	0.50	0.70	0.80	0.70	0.90	0.60	0.60	0.80	0.70	0.80	0.40	0.40	1.00	0.80	0.30	0.40
MAZAK FJV120	0.80	0.50	0.50	0.80	0.50	0.70	1.00	0.70	0.90	0.60	0.60	0.80	0.70	0.80	0.40	0.40	1.00	0.80	0.30	0.40
MAZAK VTC400	0.70	0.40	0.50	0.70	0.40	0.70	0.80	0.70	0.70	0.40	0.40	0.80	0.70	0.70	0.40	0.40	1.00	0.70	0.30	0.40
OKUMA MA40HA	0.70	0.40	0.40	0.70	0.40	1.00	0.80	0.70	1.00	0.50	0.50	1.00	0.70	0.90	0.40	0.40	1.00	0.90	0.20	0.40
EXCEL H-360	0.70	1.00	0.40	0.70	0.80	0.70	0.60	0.70	0.80	0.40	0.40	0.40	0.70	0.80	0.40	0.40	1.00	0.80	0.40	0.40
MILLITRONICS VM15	0.70	1.00	0.40	0.70	0.80	0.70	0.40	0.40	0.80	0.40	0.40	0.40	0.70	0.80	0.40	0.40	1.00	0.80	0.40	0.40
KAFO HMC 360	0.90	0.50	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40	0.00	0.70	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.60	0.00	0.70	0.50	0.30	0.40
FEELER FV1300	0.70	0.50	0.40	0.70	0.50	0.40	0.40	0.70	0.80	0.40	0.40	0.30	1.00	0.50	0.30	1.00	0.80	0.40	0.40	0.40
EAGLE VMCI300	0.70	0.60	0.50	0.70	0.50	0.80	0.40	0.70	0.70	0.40	0.40	0.30	1.00	0.50	0.40	1.00	0.70	0.20	0.70	0.40

Tablo 6. MOORA yöntemi ile işleme merkezlerinin sıralanması

Normalize Matris	İşleme Merkezi			İşleme Tahriki			İş mili/ Rulman			İlerleme Tahriki			İş mili/ Rulman			İlerleme Tahriki			Saur Toplamı	Sıra					
	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Gövde	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman	İlerleme Tahrirli	Kızaklar	İş mili/ Rulman			İlerleme Tahrirli				
MAZAK FH 6000	0.36	0.26	0.35	0.38	0.30	0.33	0.40	0.37	0.37	0.43	0.42	0.31	0.34	0.38	0.35	0.34	0.32	0.30	0.40	0.28	0.35	0.35	0.33	8.24	2
MAZAK FJV120	0.36	0.26	0.35	0.38	0.30	0.33	0.51	0.37	0.37	0.43	0.42	0.31	0.34	0.38	0.35	0.34	0.32	0.30	0.40	0.28	0.35	0.35	0.33	8.28	1
MAZAK VTC400	0.31	0.21	0.35	0.33	0.24	0.33	0.40	0.37	0.29	0.29	0.42	0.31	0.23	0.30	0.35	0.30	0.32	0.30	0.40	0.38	0.35	0.35	0.33	7.67	6
OKUMA MA40HA	0.31	0.21	0.28	0.33	0.24	0.48	0.40	0.37	0.41	0.36	0.53	0.31	0.28	0.30	0.35	0.38	0.32	0.30	0.40	0.38	0.35	0.35	0.33	8.12	3
EXCEL H-360	0.31	0.52	0.28	0.33	0.47	0.33	0.30	0.37	0.33	0.29	0.21	0.31	0.45	0.30	0.35	0.34	0.32	0.30	0.00	0.38	0.35	0.25	0.33	7.71	4
MILLITRONICS VM15	0.31	0.52	0.28	0.33	0.47	0.33	0.20	0.21	0.33	0.29	0.21	0.31	0.45	0.30	0.35	0.34	0.32	0.30	0.00	0.38	0.35	0.25	0.33	7.64	7
KAFO HMC 360	0.40	0.26	0.42	0.24	0.30	0.19	0.20	0.00	0.29	0.29	0.21	0.22	0.28	0.45	0.00	0.30	0.40	0.53	0.30	0.28	0.45	0.00	0.35	6.71	9
FEELER FV1300	0.31	0.26	0.28	0.33	0.30	0.19	0.20	0.37	0.33	0.29	0.16	0.44	0.28	0.23	0.35	0.34	0.32	0.30	0.30	0.38	0.45	0.35	0.33	7.46	8
EAGLE VMCI300	0.31	0.31	0.35	0.33	0.30	0.38	0.20	0.37	0.29	0.29	0.16	0.44	0.28	0.30	0.35	0.30	0.32	0.30	0.40	0.19	0.45	0.35	0.33	7.68	5

KAYNAKÇA

1. İç, Y.T., Yurdakul, M., Eraslan, E. Development of a Component Based Machining Center Selection Model using AHP. **International Journal of Production Research**. 50(22),(2012), 6489–6498.
2. İç, Y.T., Yurdakul, M. A Decision Support System for Selection of Machining Centers. **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 23(1),(2008), 85-95.
3. Lin, Z-C., Yang C-B. Evaluation of machine selection by the AHP method. **J Mater Proc Technol** 57(1996)253–258.
4. Çimren E, Budak E, Çatay B. Development of a machine tool selection system using analytic hierarchy process. In: Teti R (ed.), Proc of the **4th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering**, Sorrento, Italy, pp 193–198 (2004).
5. Oeltjenbruns H., Kolarik W.J., Schnadt-Kirschner R. Strategic planning in manufacturing systems-AHP application to an equipment replacement decision. **Int J Prod Econ** 38(1995)189–197.
6. Tabucanon M.T., Batanov D.N., Verma D.K. Intelligent Decision Support System (DSS) for the selection process of alternative machines for flexible manufacturing systems (FMS). **Comput Ind** 25(1994)131–143.
7. Yurdakul M. AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. **J Mater Proc Tech** 146 (2004) 365–376
8. Sun S. Assessing computer numerical control machines using data envelopment analysis. **Int J Prod Res** 40(9), (2002) 2011–2039
9. Wang T.Y., Shaw C-F., Chen Y-L. Machine selection in flexible manufacturing cell: a fuzzy multiple attribute decision making approach. **Int J Prod Res** 38(9),(2000)2079–2097.
10. Yurdakul, M., İç, Y.T. Analysis of the benefit generated by using fuzzy numbers in a TOPSIS model developed for machine tool selection problems. **Journal of Materials Processing Technology**, 209(1), (2009) 310–317.
11. Yurdakul, M., İç, Y.T. Application of correlation test to criteria selection for multi criteria decision making (MCDM) models. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 40(3-4), (2009), 403–412.
12. İç, Y.T., Yurdakul, M. Development of a decision support system for machining center selection”, **Expert Systems With Applications**, 36(2), (2009) 3505–3513.
13. Arslan M.C., Catay B., Budak E. Decision support system for machine tool selection. In: Baykasoglu A, Dereli T (eds.) Proc ICRM–2002, **2nd International Conference on Responsive Manufacturing**, University of Gaziantep, Turkey, pp 752–757,(2002).
14. Atmani, A. Lashkari, R.S., A model of machine-tool selection and operation allocation in Flexible Manufacturing System. **International Journal of Production Research**, 36(5), (1998)1339-1349.
15. Gerrard, W. Selection Procedures Adopted by Industry for Introducing New Machine Tools. Advances in Manufacturing Technology III, **Proc. Fourth Natl. Conf. on Production Research**, Kogan Page, London, (1988), 525- 536.
16. Haddock, J. and Hartshorn, T. A., “A Decision Support System for Specific Machine Selection”, **Computers and Industrial Engineering** 16(2), (1989), 277-286.
17. Scott, P., Ball-screw basics:Debunking the myths. **Machine Design**, July 8 (2004), 1-4.
18. Kalpakjian, S., and Schmid, S.R., Manufacturing Engineering and Technology, **Prentice-Hall, Inc.**, Fourth Edition., Upper Saddle River, NJ (2001).
19. Tlusty, G., Manufacturing Processes and Equipment, Chapter 7-10, **Printice Hall**, USA(2000).
20. Altıntaş, Y., Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design, **Cambridge University Press**, Cambridge, UK (2000).
21. Internet: Complete Ball-screw assemblies, Comptrol Inc., USA. <https://www.comptrolinc.com/images/documents/info-center/literature/Complete-BallScrew-Assembly-Catalog.pdf> (25.08.2020)
22. Brauers, W.K.M., “Multi-Objective Seaport Planning by MOORA decision Making”, **Ann Oper Res**, Cilt 206, (2013) 39–58.
23. İç, Y.T., Yıldırım, S., “MOORA-Based Taguchi Optimisation for Improving Product or Process Quality”, **International Journal of Production Research**, Cilt 51, No. 11, (2013) 3321-3341.