

Mermer Makineleri için Enerji Verimliği Artırıcı Kontrolör Geliştirilmesi

On the Development of the Controller to Increase Energy Efficiency for Marble Machines

Emre Akarslan¹, Said Mahmut Çınar¹

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü

Afyon Kocatepe Üniversitesi

akarslan@gmail.com, smcinar@gmail.com

Özet

Mermer endüstrisinde çeşitli makineler kullanılmakla birlikte dairesel testereli mermer kesme makinelerinin kullanımı oldukça yaygındır. Mermer makinelerde işletme maliyetlerinin büyük bölümünü tüketilen elektrik enerjisi oluşturmaktadır ve kesim sırasında tüketilen enerjiye etki eden pek çok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden en etkili parametreler ilerleme hızı ve testere dönüş hızıdır. Bu iki parametre doğru seçilebilirse kesme verimi artırılabilir. Bu çalışmada, ilerleme hızını kesme süreci boyunca mermerin kesilen bölgesine uygun şekilde düzenleyen yüzer, PID ve bulanık mantık (BM) kontrol yöntemleri kullanılarak kontrolörler tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrolörler Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleri üzerinde gerçekleştirilen kesme deneyleri ile test edilmiştir. Yüzer, PID ve BM kontrol yöntemleriyle elde edilen sonuçlar sabit parametrelili kesim durumunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Abstract

Although many different cutting machines are used in marble industry, the cutting machines with circular saw-blade have been commonly used. In these machines, the majority of operating costs is electrical energy consumption depending on many different parameters. Travel speed and saw rotation rate are the most significant among the others. If the two parameters are correctly selected, the cutting efficiency can be increased. In this study, controllers are designed using the floating, PID and fuzzy logic control methods. The controllers arrange the appropriate parameters for location being cut throughout the process. The designed controllers are tested in some cutting experiments carried out on Burdur beige and Uşak green marbles. The results obtained floating, PID and fuzzy logic control methods are compared with the results for fixed parameters.

1. Giriş

Endüstride blok mermerleri plakalara ayırmak için çeşitli makineler kullanılmakla birlikte dairesel testereli blok kesme makinelerinin kullanımı oldukça yaygındır. Mermer işleme sektöründe maliyetlerin büyük bölümünü makinelerde kullanılan enerji oluşturmaktadır. Dairesel testereli kesme prosesinde enerji tüketimini etkileyen; makineye, kesici testereye ve kayaca ait çok sayıda parametre bulunmaktadır [1, 2, 3–8]. Makine parametrelerinden testere dönüş hızı ve ilerleme hızının etkilerinin incelendiği çalışmalarda bu

parametrelerin spesifik enerji (SE)'yi doğrudan etkiledikleri ve ilerleme hızının etkisinin testere dönüş hızından daha fazla olduğu görülmüştür [4, 7]. Birim hacim başına harcanan enerji olarak tanımlanan SE literatürde prosesin verimliliğini gözlemlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [1–8].

Kesme prosesinde, SE sürekli gözlenerek, ilerleme hızı bir kontrol döngüsünde düzenlendiği takdirde enerji tüketiminde tasarruf sağlanması mümkündür. İlerleme hızının yüzer kontrolörle düzenlendiği bir çalışmada, enerji tüketiminde yaklaşık %10 tasarruf sağlanabilmiştir [8]. Yine ilerleme hızının PID kontrolörle düzenlendiği diğer bir çalışmada enerji tüketiminde %15 civarında bir tasarruf elde edilebilmiştir [12].

Bu çalışmada ilerleme hızını düzenlemek üzere kurulan kontrol döngüsünde BM kontrolör test edilmiş ve elde edilen sonuçlar yüzer ve PID kontrolörlerle elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kesme deneyleri Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada S/T mermer kesme makinesinin laboratuvar ölçekli, tamamen bilgisayar kontrollü küçük bir modeli kullanılmıştır [4, 6].

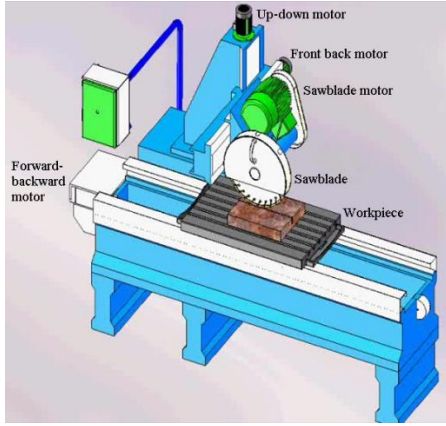
Aşağıda ilk olarak deney seti, kontrol döngüsü ve tasarlanan bulanık mantık kontrolörle ilgili bilgiler verilmiştir. Sonraki bölümde kesme deneylerinde elde edilen sonuçlar verilmiş ve son olarak sonuçlar üzerinde tartışılmıştır.

2. Deney Seti ve Tasarlanan Kontrolörler

Çalışmada tamamen bilgisayar kontrollü bir deney seti kullanılmıştır (Şekil 1). Deney setinde testere motoru 5,5kW güce ve 1500d/dk dönüş hızına sahiptir. Kesme prosesi sabit konumlanan testereye mermer numunesini taşıyan vagonun ilerlemesi ile gerçekleşmektedir. Vagon ilerlemesi iki metrelik bir kura sahiptir ve ilerleme hızı 0–4m/dk aralığında kesintisiz olarak ayarlanabilmektedir.

Endüstride kullanılan mermer kesme makinelerinde ilerleme hızı, genellikle makineyi kullanan operatör tarafından elle ayarlanmakta ve kesim boyunca sabit tutulmaktadır. Ancak mermer heterojen bir malzeme olduğundan kesim boyunca farklı özelliklerde bölgelerle karşılaşmakta ve ilerleme hızının sabit tutulması kesme verimini azaltmaktadır. Kesilen mermer için optimum SE değeri tespit edilir ve ilerleme hızı bir kontrolör ile optimum SE noktasını koruyacak şekilde düzenlenebilirse, mermer kesmede kullanılan enerji de azaltılmış olur. Bunun için kapalı çevrim bir kontrol

döngüsünde ilerleme hızının, kontrolörle hedef SE (SE_{ref}) değerini yakalayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ilerleme hızı, geri beslemeli bir kontrol döngüsünde düzenlenerek enerji tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır.

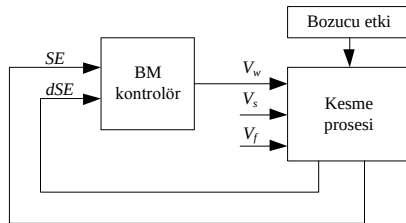


Şekil 1: Deney setinin şematik görünümü

Kurulan kontrol döngüsünde tek giriş-tek çıkış (Single Input Single Output 'SISO') ve çok giriş-tek çıkış (Multi Input Single Output 'MISO') kontrolörler kullanılmıştır. Bu çalışmada MISO yüzer, SISO PID ve MISO BM kontrolörlerin enerji tüketimi üzerindeki etkileri sabit ilerleme hızında gerçekleştirilen kesme deneyleri ile karşılaştırılmıştır. Aşağıda tasarlanan kontrolörlerden sadece BM kontrolörlerin yapısı verilmiştir. Ancak yüzer ve PID kontrolörlerin yapıları [12]'de ayrıntılı olarak verildiğinden tekrardan kaçınmak için burada verilmemiştir.

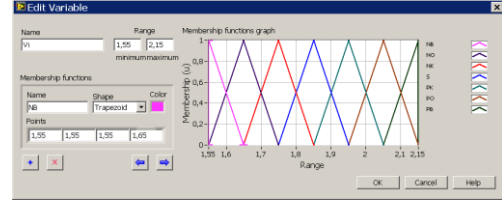
2.1. Bulanık mantık kontrolör

BM kontrolör, uzman sistemler kapsamına girmektedir ve kontrolör tasarımında uzman bilgileri doğrudan kullanılabilir. BM kontrolörde uzman bilgilerinin sayısal aralıklarla eşleştirilmiş çok büyük, orta büyük, az büyük gibi sözel ifadelerin kullanımı mümkündür. Kontrolör giriş ve çıkış değişkenleri sözel etiketler verilmiş üçgen, yamuk veya sigmoid tipi üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmaktadır.



Şekil 2: BM kontrolörün blok şeması

Tasarlanan BM kontrolörde SE ve türevi dSE kontrolör giriş değişkenleri iken ilerleme hızı (V_w) çıkış değişkenidir (Şekil 2). SE , dSE ve V_w değişkenleri; negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NK), sıfır (S), pozitif küçük (PK), pozitif orta (PO) ve pozitif büyük (PB) olmak üzere 7 üyelik fonksiyonuyla tanımlanmıştır. Giriş ve çıkış değişkenlerinin tamamında üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3'de kontrolörün çıkış değişkeni olan V_w için üyelik fonksiyonları görülmektedir.



Şekil 3: V_w için üyelik fonksiyonları

Tasarlanan BM kontrolör için Çizelge 1'de verilen kural tabanı kullanılmıştır. Çizelge ana köşegene göre simetrik toplam 49 kuraldan oluşmaktadır. Görüldüğü gibi SE normalin altında ve azalma eğilimindeyse (dSE normalin altındaysa) V_w azaltılmakta, tersine SE normalin üstünde ve artma eğilimindeyse (dSE normalin üstündeyse) V_w arttırılmaktadır. BM kontrolörde kural tabanı kesme prosesinin karakteristiğine uygun olarak ayarlandığından bu çalışmada iki mermerde de kullanılmıştır. Kesilen kayacın sertliğine göre SE ve V_w değerleri farklılık gösterdiğinden kontrolörde giriş-çıkış değişkenlerinin değişim aralıkları kayaca göre ayarlanması gerekmektedir.

Çizelge 1: BM kontrolör için kural tabanı

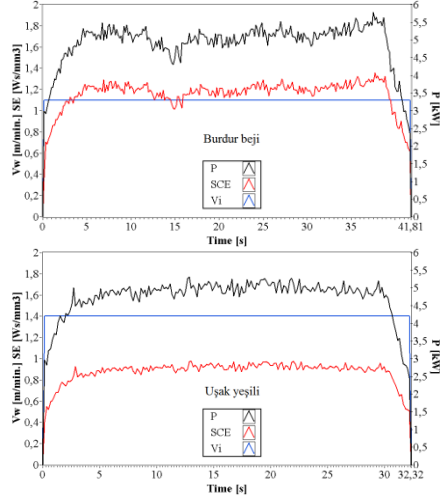
V_w	dSE						
	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
SE	NB	NO	NO	NO	NO	NK	S
	NO	NO	NO	NO	NK	S	PK
	NK	NO	NO	NK	S	PK	PO
	S	NO	NK	S	PK	PO	PB
	PK	NK	S	S	PK	PO	PB
	PO	S	S	PK	PO	PB	PB
	PB	S	PK	PO	PB	PB	PB

3. Deney Sonuçları

Kesme prosesinde enerji tüketimini doğrudan etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır ve her biri ayrı bir araştırma konusudur. Bu nedenle ilerleme hızı dışındaki diğer parametreler sabit tutulmak suretiyle bu çalışmanın konusu dışında bırakılmıştır. Sabit tutulan parametreler sırasıyla; testere dönüş hızı $V_s=1500$ dk, kesme derinliği $d=50$ mm, kesici soğutma suyu akış hızı $V_f=10$ l/dk ve UNIMAS marka 24 soketli kesici testere. Bu çalışmada Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleri için kesme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, 900mm uzunluğa, 200mm genişliğe ve 70mm yüksekliğe sahip mermer numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada yüzer ve PID kontrolörlerin tasarım parametrelerini belirlemek için, her kayacın sabit ilerleme hızında kesme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde, kesme motoru yaklaşık %10 emniyet payıyla nominal yüküne yakın bir değerde çalıştırılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre, Burdur bej mermerinde 1,1m/dk ilerleme hızında 1,308Ws/mm³ toplam SE elde edilmiştir. Benzer şekilde Uşak yeşil mermerinde de 1,4m/dk ilerleme hızında 1,039Ws/mm³ SE değeri elde edilmiştir.

İlerleme hızı sabit tutulduğundan, SE ve aktif güç grafikleri farklı genlikte olmakla birlikte benzer karakteristik göstermektedir (Şekil 4). Burdur bej mermerinde elde edilen 1,308Ws/mm³ SE değeri Uşak yeşiline göre daha sert bir kayacın olduğunu göstermektedir. Ayrıca SE ve aktif güç grafikleri incelendiğinde, Burdur bej mermerinde belli oranda dalgalanmalar görülürken, Uşak yeşilinde grafiklerin neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Bu durum, Burdur bej

mermerinin yapısının homojen olmadığını, içerisinde farklı sertlik ve yapıda bölgeler bulunduğunu, Uşak yeşil mermerinin ise Burdur beji göre daha homojen yapıda olduğunu göstermektedir. Kayaçların bu özellikleri dikkate alındığında, Burdur bej mermerinde ilerleme hızının düzenlenmesiyle önemli oranda enerji tasarrufu sağlanacağı düşünülebilir.



Şekil 4: Sabit ilerleme hızı için deney sonuçları

Aşağıda yüzer, PID ve BM kontrol yöntemleri kullanılarak iki mermer üzerinde gerçekleştirilmiş kesme deneylerinin sonuçları verilmektedir. Deney sonuçlarının ardından kontrol yöntemlerinin SE üzerindeki etkisi ve kontrol yöntemleriyle elde edilen tasarruf miktarları verilmektedir.

3.1. Yüzer kontrolör için deney sonuçları

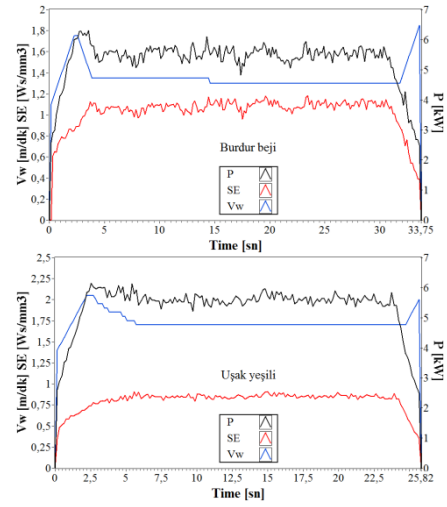
Yüzer kontrolörün parametreleri sabit ilerleme hızında yapılan deney sonucuna göre belirlenmiştir. Buna göre Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleri için ilerleme hızı başlangıç değeri (V_{win}) ve hedef SE (SE_{ref}) değerleri Çizelge 2'de verilmektedir. Ayrıca kontrolörün performansını ayarlamakta kullanılan ilerleme hızı değişim miktarı (V_{wc}) için dört farklı değer (0,02-0,03-0,04- 0,05m/dk.) belirlenmiştir. Çizelgede V_{wc} 'nin dört farklı değeri için yapılmış deneylerde elde edilmiş toplam SE değerleri de verilmektedir.

Çizelge 2: Yüzer kontrolör parametreleri ve SE değerleri

	V_{wc} [m/dk]	Toplam SE [Ws/mm ³]
Burdur beji $SE_{ref} = 0,95 \text{ Ws/mm}^3$ $V_{win} = 1,1 \text{ m/dk}$	0,02	1,26
	0,03	1,217
	0,04	1,199
	0,05	1,148
Uşak yeşili $SE_{ref} = 0,8 \text{ Ws/mm}^3$ $V_{win} = 1,4 \text{ m/dk}$	0,02	0,987
	0,03	0,967
	0,04	0,966
	0,05	0,942

Şekil 5'de Burdur bej mermeri ve Uşak yeşil mermerinde yüzer kontrolörle gerçekleştirilmiş sekiz deneyden en iyi SE değerlerinin elde edildiği iki deneyin sonuçları görülmektedir. Yüzer kontrolörle yapılan kesme deneylerinde, Burdur bej ve Uşak yeşil mermerlerinde $V_{wc}=0,05 \text{ m/dk}$ için minimum SE

değeri elde edilmiştir (Çizelge 2). Minimum SE değerleri, Burdur beji ve Uşak yeşilinde sırasıyla $1,148 \text{ Ws/mm}^3$ ve $0,942 \text{ Ws/mm}^3$ 'dür. Yapılan deneylerde her iki kayaç için V_{wc} 'nin düşük değerlerinde kontrolörün tepki süresinin arttığı ve yüksek değerlerinde bu sürenin azaldığı görülmüştür.



Şekil 5: Yüzer kontrolör için deney sonuçları

3.2. PID kontrolör için deney sonuçları

PID kontrolör parametrelerinden P_{ref} , testere motorunun nominal güç değerine (5500W) ayarlanmıştır. Diğer PID parametreleri; K_c kontrolör kazancı, T_i integral ve T_d türev zaman sabitleri, kayacın karakteristiğine uygun olacak şekilde deneme yanılma metoduyla belirlenmiştir. Literatürde Zigler&Nichols gibi farklı PID parametre ayarlama yöntemleri bulunmakla birlikte bu çalışmada bu yöntemlerin kullanımı tercih edilmemiştir. Zigler&Nichols yönteminde, kontrol edilen değişkenin salınım yaptırılması ve bu salınımın frekans ve genlik değerlerine göre PID parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Kontrol edilen değişkende salınımın sağlanabilmesi için sistemin belirli bir süre çalışması gerekmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen kesme deneyleri ortalama 30-40 sn süre içinde tamamlandığından sistemde kontrol edilen değişkene salınım yaptırma imkanı bulunmamaktadır. Bu nedenle parametre ayarında deneme yanılma yöntemi tercih edilmiştir.

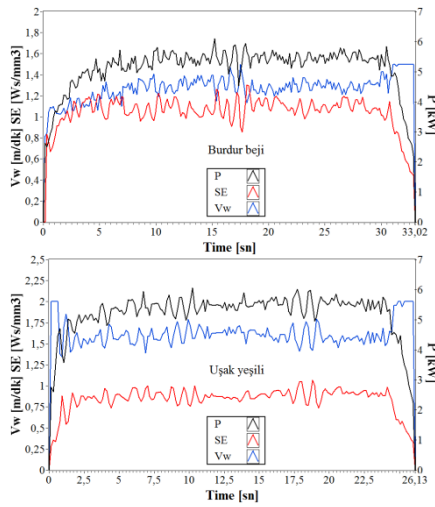
Burdur bej mermeri, yapısında farklı sertlikte bölgeler içeren bir kayaç olduğundan, motorun güç eğrisinde dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu dalgalanmaları ortadan kaldırmak için türev zaman sabitinin ayarlanması gerekmektedir. Burdur bej mermerinde ise PID kontrolörün karşılaşılabileceği en önemli sorun, kalıcı durum hatasıdır. PID kontrolörün kalıcı durum hatasını düzeltebilmesi için integral zaman sabitinin ayarlanması gerekmektedir. Kontrolör kazancı; türev ve integral zaman sabitleriyle çarpan durumunda olduğundan T_i ve T_d ayarlanırken K_c kazancının da ayarlanması gerekmektedir.

PID kontrolör parametreleri T_i , T_d ve K_c 'nin kayaçlara göre ayarlanan değerleri Çizelge 3'de verilmektedir. En uygun PID parametreleri deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiştir. Çizelgede minimum SE değerinin yakalandığı PID parametreleri vurgulu olarak verilmiştir.

Çizelge 3: PID kontrolör parametreleri ve SE değerleri

	K_c	T_i [min.]	T_d [min.]	Toplam SE [Ws/mm ³]
Burdur bej	1	0,06	$20 \cdot 10^{-6}$	1,282
	1	0,05	$20 \cdot 10^{-6}$	1,179
	1	0,06	$15 \cdot 10^{-6}$	1,165
	1	0,04	$20 \cdot 10^{-6}$	1,077
Uşak yeşil	0,9	0,03	$20 \cdot 10^{-6}$	0,978
	1	0,04	$10 \cdot 10^{-6}$	0,956
	1	0,04	$15 \cdot 10^{-6}$	0,954
	1	0,04	$5 \cdot 10^{-6}$	0,922

Burdur bej mermeri ve Uşak yeşil mermerinde PID kontrolörle gerçekleştirilen kesme deneylerin içinde minimum toplam SE değerlerinin elde edildiği iki deneyin sonuçları Şekil 6'da görülmektedir. Elde edilen minimum SE değerleri, Burdur bej mermeri ve Uşak yeşil mermerinde sırasıyla $1,077 \text{ Ws/mm}^3$ ve $0,922 \text{ Ws/mm}^3$ 'dür.



Şekil 6: PID kontrolör için deney sonuçları

3.3. BM kontrolör için deney sonuçları

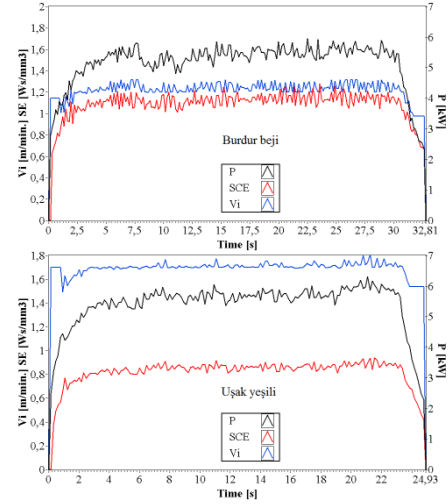
BM kontrolörde kesilen kayaca göre ayarlanması gereken parametre, kontrolörün giriş ve çıkış değişkenlerinin değişim aralıklarıdır. Giriş-çıkış değişkenlerinin değişim aralıkları belirlenirken, sabit ilerleme hızında gerçekleştirilmiş deney sonuçlarından faydalanılmıştır.

Çizelge 4: BM kontrolör ve SE değerleri

	Değişken değişim aralıkları		Toplam SE [Ws/mm ³]
	SE [Ws/mm ³]	V_w [m/dk.]	
Burdur bej	[0,85–1,35]	[0,75–1,45]	1,282
		[0,90–1,60]	1,131
		[0,87–1,57]	1,091
		[0,85–1,55]	1,07
Uşak yeşili	[0,62–1,12]	[1,2–2,0]	0,952
		[1,25–2,05]	0,938
		[1,3–2,1]	0,933
		[1,32–2,12]	0,911

Buna göre, BM kontrolörün giriş-çıkış değişkenleri SE ve V_w için seçilmiş değişim aralıkları Çizelge 4'de verilmektedir. Tüm kayalar ve deneylerde sabit olduğundan tabloda yer verilmeyen dSE için $[-10-10] \text{ W/mm}^3$ aralığı kullanılmıştır. Çizelgede V_w değişim aralığı için dört deney yapılmış ve SE

değerinin minimum olduğu deneyler vurgulu olarak verilmiştir. Elde edilen SE değerleri, Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleri için sırasıyla $1,077 \text{ Ws/mm}^3$ ve $0,922 \text{ Ws/mm}^3$ 'dür. Şekil 7'de Burdur bej ve Uşak yeşil mermerlerinde kontrolörle gerçekleştirilmiş dört deneyden en iyi SE değerlerinin elde edildiği deneyin sonuçları görülmektedir. Elde edilen deney sonuçlarından BM kontrolörün yüzer ve PID kontrolöre oranla daha hızlı ve kararlı çalıştığı söylenebilir. Oldukça çabuk istenen hedef değere yerleşmesi ve salınım yapmaması hem verimi artırmakta hem de makinenin daha güvenli çalışmasını sağlamaktadır.

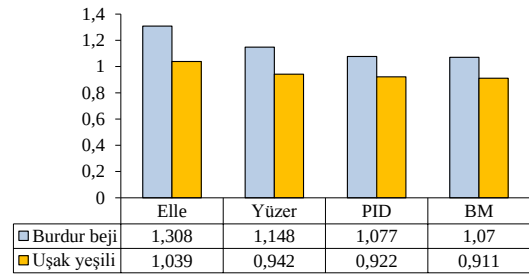


Şekil 7: BM kontrolör için deney sonuçları

Yukarıda Şekil 5, 6 ve 7'de sırasıyla yüzer, PID ve BM kontrolörler için verilen sonuçlar birlikte incelendiğinde BM kontrolörün ilerleme hızını düzenlemede daha hızlı ve kararlı olduğu söylenebilir. Burdur bej mermeri için yüzer, PID ve BM kontrolörle gerçekleştirilmiş kesme deneylerinde kesme süreleri sırasıyla 33,75, 33,02 ve 32,81sn. dir. Görüldüğü gibi minimum kesme süresi de BM kontrolörde elde edilmiştir.

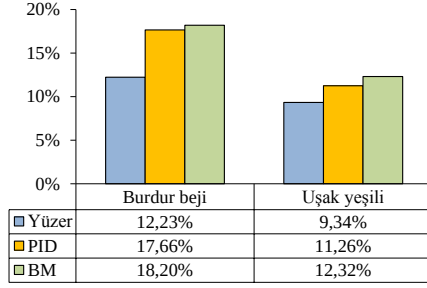
3.4. Kontrol yöntemlerinin enerji tüketimine etkisi

Bu kısımda, kesme deneylerinde, kontrol yöntemlerinin her birinde elde edilmiş minimum SE değerleri karşılaştırılmaktadır. Şekil 8'de yüzer, PID ve BM kontrol yöntemlerinde elde edilmiş minimum SE değerleri verilmektedir.



Şekil 8: Kontrol yöntemleri için SE değerleri

Şekil 8'de ilk kolonda sabit ilerleme hızında yapılmış deneyden elde edilmiş SE değerleri bulunmaktadır. İlerleme hızının kontrol yöntemleriyle düzenlendiği deneylerinin tamamında SE'de belirli oranlarda azalma sağlanabilmektedir.



Şekil 9: Kontrol yöntemleri için tasarruf miktarları

Şekil 9’da kontrol yöntemleri için elde edilen enerji tasarrufu yüzde olarak verilmektedir. Sütun grafikte de açıkça görüldüğü gibi BM kontrolörde daha fazla tasarruf elde edilmiştir. Maksimum tasarruf %18,20 ile BM kontrolör ile Burdur bej mermerinde elde edilmiştir. Uşak yeşil mermerinde de kontrol yöntemlerinde, elle kesime oranla belirli miktarda tasarruf sağlanabilmiştir. Ancak Uşak yeşilinde sağlanan tasarruf miktarı, Burdur bej mermerinde sağlanan tasarruf miktarının oldukça altındadır. Bunun nedeni, Uşak yeşil mermerinin homojen bir yapıya sahip olması ve sabit hızda kesilmesi ile kontrol yöntemiyle kesilmesi arasında fazla bir fark olmamasıdır.

4. Sonuç

Dairesel testereli blok kesme makinesinin (S/T) laboratuvar ölçekli modelinde gerçekleştirilen bu çalışmada, kesme prosesinde tüketilen enerji, ilerleme hızı düzenlenerek azaltılmaya çalışılmıştır. İlerleme hızını düzenlemek üzere hazırlanan kontrol döngüsünde yüzer, PID ve BM kontrolörler kullanılmıştır. Kontrolörlerle yapılan deneylerde Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleri kullanılmıştır. Her bir kontrolör için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Geliştirilen kontrolörlerin tamamında elle (sabit ilerleme hızında) kesime oranla belirli oranlarda enerji tasarrufu sağlanabilmiştir. Kontrolörler içinde en iyi sonuç BM kontrolörde elde edilmiştir.
- Yüzer kontrolörde ilerleme hızı değişim miktarını (V_{wc}) artırıp azaltarak, kontrolörün tepki hızını değiştirmek mümkün olmakla birlikte, kontrolörün kararlı duruma geçmesi uzun sürmektedir. Bu durum ise verimi azaltmaktadır.
- Endüstride oldukça yaygın kullanılan PID kontrolör aktif güç geri beslemesiyle oldukça iyi sonuç elde edilmiştir. Ancak kontrolör parametrelerinin her kayaç için ayarlanma zorunluluğu kontrolörün kullanımındaki pratikliği ortadan kaldırmaktadır.
- BM kontrolör, yüzer ve PID kontrolöre göre hem kolay ayarlanabilmekte hem de kısa sürede kararlı duruma geçebilmektedir. BM kontrolörde kural tabanlı bir kere ayarlanmaktadır ve kayaca göre ayarlanması gereken parametre, kontrolörün giriş-çıkış değişken aralıklarıdır.
- Burdur bej mermeri ve Uşak yeşil mermeri için gerçekleştirilen bu çalışmada, kontrol yöntemleri içinde BM kontrolörle maksimum verim Burdur bej mermeri için %18,20 olarak gerçekleşmiştir. BM kontrolörde Uşak yeşili için elde edilen tasarruf ise yaklaşık %12 değerindedir. Burdur bej mermerinde daha fazla tasarruf sağlanmasının sebebi, bu mermerin yapısındaki farklı sertlik ve yapıdaki bölgelerden

kaynaklanmaktadır. İçyapısı homojen olmayan, Burdur bej mermeri gibi kayaçlar, sabit ilerleme hızında kesildiklerinde verim düşmektedir. Ancak ilerleme hızı kesilen bölgenin yapısına uygun değere ayarlanırsa verim artmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan BM kontrolöre yeni giriş değişkenleri eklenerek BM kontrolörle elde edilen enerji tasarrufu miktarı artırılabilir. Ayrıca kesme verimi üzerinde önemli etkiye sahip testere dönüş hızı, ilerleme hızıyla birlikte düzenlenebilirse kesme verimi maksimum seviyeye çıkarılabilir.

Çalışmada geliştirilen kontrolörler dairesel testereli mermer kesme makineleri için test edilmiş olmakla birlikte, mermer endüstrisinde kullanılan tel veya lama testereli mermer kesme makinelerine de uygulanarak enerji verimliliği artırılabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Buyuksagis, I. S. and Goktan, R. M., “Investigation of Marble Machining Performance Using an Instrumented Block-cutter”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.169, 258-262, 2005.
- [2] Xu, X.P., Li, Y. and Malkin, S., “Forces and Energy in Circular Sawing and Grinding of Granite”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.123, 13-22, 2001.
- [3] Büyüksağış, I. S., “ Dairesel Testereli Blok Kesme Makinelerinde Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri ”, *Doktora tezi, OGU, FBE*, 1998.
- [4] Çınar, S.M., “Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi, AKÜ, FBE*, 2007.
- [5] Ersoy, A. and Atıcı, U., “Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks”, *Diamond and Related Materials*, Vol.13, 22-37, 2004.
- [6] Çimen, H., Cinar, S.M. and Nartkaya, M., “The Development of Software and Hardware for Marble Cutting Tests”, *2nd WSEAS Int. Conf on Computer Engineering and Applications (CEA’08) Acapulco, Mexico*, Vol.1, 244 – 249, 2008.
- [7] Çimen, H., Cinar, S.M., “Energy consumption analysis in marble cutting processing”, *International Symposium on Sustainable Development (ISSD2009)*, Sarajevo, Bosna/Hercegovina, 1-6, 9-10 June 2009.
- [8] Çimen, H., Cinar, S.M., Nartkaya, M. and Yabanova, I., “Energy Efficiency in Natural Stone Cutting Process”, *Energy 2030 Conference, 2008. Energy 2008. IEEE, Atlanta, GA USA*, 1-6, 17-18 Nov. 2008.
- [9] Horng, J.H., “Hybrid MATLAB and LabVIEW with neural network to implement a SCADA system of AC servo motor”, *Advances in Engineering Software*, Vol.39, 149-155, 2008.
- [10] NI LabVIEW, “PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual”, *Austin-Texas*, 2009.
- [11] Astrom, K. and Hagglund, T., “PID Controllers: theory, design and tuning”, *ISA Press, Research Triangle Park*, 1995.
- [12] Çimen, H., Çınar S.M. and Zengin A., “Control Applications for Energy Saving in Marble Machining Process”, *IEEE- ICMLC2011*, s.1-6, Singapore, 26-28 Feb. 2011.