



BEŞ EKSENLİ KÖPRÜ TİPİ CNC MERMER İŞLEME MAKİNESİ TASARIMI VE İMALATI

Semih GÜLAÇTI¹, Ertuğrul DURAK^{2*}

¹ Özteknik Makine Ticari ve Endüstriyel, Antalya OSB Döşemealtı, Antalya, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Mermer,
Mermer işleme,
Mermer kesme,
Köprü kesme makinesi,
Beş eksen CNC mermer işleme makinesi.

Öz

Bu çalışmada mermerin kısaca tanıtımı, Türkiye'nin küresel mermer pazarındaki yeri ve önemi anlatılmakla birlikte klasik köprü tipi mermer işleme makinelerinin çağımızın gerekliliklerine neden ayak uyduramadığı ve ihracatımızın önemli bir kısmını oluşturan ebatlı taşlardaki işleme problemleri ortaya konulmuştur. Sektörün sahip olduğu bu sorun yüksek fiyatlı ithal makinelerle karşılanmaktadır. Sonuç olarak bu durumu göz önünde bulundurarak, beş eksenli köprü tipi CNC mermer işleme makinesi tasarımı ve imalatı amaçlanmıştır. Bu makinede hassas kesimler için çözüm bulunurken çağın gerektirdiği basit ve karmaşık geometrik şekillerde mermerlerin çok kısa sürede işlenmesi bu makine ile yapılabilmektedir.

DESIGN AND MANUFACTURING OF BRIDGE TYPE FIVE AXIS CNC MARBLE PROCESSING MACHINE

Keywords

Marble,
Processing of marble,
Cutting of marble,
Bridge cutting machine,
Five axis bridge type CNC marble processing machine.

Abstract

In this study, a brief description of the marble and Turkey's role and importance on the global marble market is provided. In this study, the conventional bridge cutting machines' inability to meet current requirements of the sector and its adverse effect on cut natural stone industry that makes up a considerable amount of Turkey's export are presented. The demand for five axis bridge cutting machines therefore has been met with imported, expensive machinery, and to be able to meet this demand locally, a CNC bridge cutting machine is designed and manufactured. With this machine, precision cutting and simple and complex geometric shapes are intended to be performed in the very short time.

Alıntı / Cite

Gülaçtı, S., Durak, E., (2019). Beş Eksenli Köprü Tipi CNC Mermer İşleme Makinesi Tasarımı ve İmalatı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 282-293.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Gülaçtı, 0000-0001-8108-3538
E. Durak, 0000-0001-6957-3796

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.09.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.11.2018
Kabul Tarihi / Accepted Date	31.12.2019
Yayın Tarihi / Published Date	26.06.2019

1. Giriş

Endüstrinin hızla gelişip ilerlediği ve Endüstri 4.0'a geçtiği bu dönemde, ülkemizin en yüksek ihracat payını oluşturan mermer endüstrisi, ne yazık ki bu gelişime ayak uyduramamıştır. Ülkemizde halen mermerden yapılan evye, mutfak tezgahları, süs ve dekoratif objeler, pencere denizlikleri, kapı eşikleri, merdiven basamakları, heykel, hayvan figürleri, vb. ürünler el işçiliğiyle yapılmaktadır. Bu durum global markette firmalarımıza ciddi bir handikap yaratmaktadır. Çünkü el işçiliğiyle yapılan bu işler ciddi uzun sürelerde üretilebilmekte ve tamamen

konvansiyonel tezgahı kullanan kişinin becerisine bağlı kalınmaktadır.

Dikkatsizlik sonucu yapılan en ufak hata ise malzemeyi atıl duruma düşürebilmektedir. Bu da hem doğal kaynaklarımızın çöp olmasına neden olmakta, hem de üreticilerimizi küresel pazarda zarara uğratmaktadır.

Bu sebeple tasarlanıp prototip imalatı yapılan bu makine ile hata payını en aza indirerek ve işleme süresini kısaltarak mermer firmalarına büyük kolaylık sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca bu firmalar

* İlgili yazar / Corresponding author: ertugruldurak@sdu.edu.tr, +90-246-211-1236

madenlerimizi, düşük maliyetli işçiliklerle global markete çok yüksek karlılıkla pazarlayabileceği de bir gerçektir.

Bu makinelerin muadilleri çoğunlukla İtalyan firmaları tarafından üretilmekte ve tüm dünyaya pazarlanmaktadır. Bu ithal makinelerden yüksek ilk maliyetleri, kullanma problemleri, yüksek servis maliyetleri, operatör bulma problemleri vb., nedeniyle Türkiye’de de çok fazla bulunmamaktadır. Çünkü bu makinelerin gerek ilk yatırım maliyetleri gerekse satış sonrası servis maliyetleri çok yüksektir. Dolayısıyla mermer makineleri üreten firmalar, bu yatırımı kolay bir şekilde gerçekleştirememektedirler.

Bu çalışmada (Gülaçtı, 2018), beş eksenli köprü tipi CNC makinesinin tasarımı, prototip makine imalatında kullanılacak olan malzemelerin seçimi, tasarım süreci, imalatı ve prototip makineye ait örnek mermer işleme test sonuçları; ithal ve yerli rakiplerine göre öne çıkan özellikleri ve kabiliyetleri incelenmiştir.

1.1. Doğal Mermer Bloklarından Levha Üretimi Yöntemleri ve Kesim Teknikleri

1.1.1 Mermer

Mermer, metamorfizma olayı sonucunda kalker ve dolomitik kalkerlerin yeniden kristalleşmesiyle meydana gelmiş bir bileşimdir (Şekil 1.). Bileşimlerinin %90-98’i $CaCO_3$ ’ten (Kalsiyum karbonat) oluşmaktadır. Düşük oranda $MgCO_3$ (Magnezyum karbonat) içermektedir. $CaCO_3$ kristallerinden oluşan mermerlerde esas mineral “Kalsit” tir. Aynı zamanda az miktarda silis, silika, feldspat, demiroksit, mika, florin ve organik maddeler bulunabilir. Renkleri genellikle beyaz ve grimsidir. Fakat yabancı maddeler nedeniyle sarı, pembe, kırmızı, mavimsi, esmerimsi ve siyah gibi renklerde de olabilirler. Safılık derecesi; saydamlık ve beyaz renkli oluşu ile paralel olmaktadır (Karaman, 2010).

Mikroskop altında incelendiğinde, birbirine iyice kenetlenmiş "Kalsit Kristalleri"nden oluştuğu görülür.



Şekil.1. Mermer(Karaman, 2010)

Endüstriyel anlamda “mermer”; kesilip parlatılabilen her cins taş mermer olarak kabul edilmektedir. Ancak, doğru olanı, taşları kökenlerine bağlı gerçek türleri ile tanıyıp isimlendirmektir. Belirtildiği gibi blok verebilen, kesilerek cilalanıp parlatılabilen, dayanıklı ve göze hoş görünen her türlü taş (magmatik, metamorfik, sedimanter), iyi cila kabul eden kalkerler, tektonik breşler ve pudinger, traverten ve oniks mermerlerinden başka granit, diabaz, lösitli siyenit ve serpantinitier gibi magmatik kayalar da bu mermer terimi içerisinde yer almaktadır. Bununla beraber mermerlerin değerlendirilmesinde jeolojik, mineralojik, petrografik, yapısal ve jeomekanik unsurlar ile teknolojik özellikler etkilidir (Karaman, 2010). 5 Haziran 2004 tarihli ve 25483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden Kanununda Mermer; “II. Grup madenler; Dekoratif taşlar, Traverten, Kalker, Dolomit, Kalsit, Granit, Siyenit, Andezit, Bazalt ve benzeri taşlar” içerisinde yer almaktadır.

1.1.2. Türkiye’de mermer rezervleri

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) verilerine göre Türkiye’nin mermer rezervi 5 milyar m^3 olarak tahmin edilmekte olup, bu da dünya potansiyelinin yaklaşık % 40’ını oluşturmaktadır. Toplam rezervi 13.9 milyar ton (yaklaşık 5,1 milyar m^3) olan Türkiye, 1,6 milyar ton civarındaki görünür rezervi ile dünya tüketimini 80 yıl karşılayabilecek bir konumdadır. Türkiye’de 80’in üzerinde değişik yapıda, 120’nin üzerinde ise değişik renk ve desende mermer rezervi bulunmaktadır. En tanınan çeşitler olarak; Süpren, Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Afyon Şeker sayılabilir (Demir, 2017).

Mermer sektöründe Türkiye’de yaklaşık 800 mermer ocağı, 1500 fabrika ve 7000 civarında küçük kapasitedeki atölyeler bulunmaktadır. Söz konusu bu sektörde istihdam edilen insan sayısı ise yaklaşık olarak 300 000 kişi olduğu belirtilmektedir (www.ekonomi.gov.tr). Ocakların % 90’ı Ege ve Marmara Bölgesi’nde yoğunlaşmış olup, mevcut ocakların % 27’si Balıkesir, % 24’ü Afyon, %12’si Bilecik, % 8 Denizli, % 6’sı ise Muğla’da bulunmaktadır (Demir, 2017).

2. Materyal ve Yöntem

Sunulan çalışmada kullanılan yöntemi şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Makinenin tasarımı ve malzeme seçimi,
- Kesme kuvvetleri,
- Tezgah gövdesi mukavemet hesabı,
- Tahrik motorlarının seçimi,
- Lineer yatakların seçimi,
- Yağlama durumunun incelenmesi,
- Prototip imalatı ve montajı,
- Örnek kesme testleri(Gülaçtı, 2018).

2.1. Köprü Kesme Makinesi

Köprü tipi mermer kesim makinesi büyük fabrikalarda plaka halindeki mermer, granit ve benzeri ürünlerin istenilen ölçülerde kesimi için tasarım ve imalatı yapılan otomatik bir makinedir. Şekil 2.'de geleneksel köprü kesme makinesine ait bir tasarım örneği görülmektedir. Bu tip makinelerde eksen motorları asenkron olup, eksen konum bildirimini enkoder ile sağlamaktadır.



Şekil 2. Geleneksel köprü tipi mermer kesme makinesi (www.mks.com.tr, 2018).

Asenkron motorlar, bir diğer adıyla indüksiyon motorları, motor sargılarından geçen alternatif akımın oluşturduğu manyetik döner alanın dönme hızı ile rotordaki dönme hızının aynı olmadığı motorlardır. Söz konusu manyetik alanı oluşturan sargılar, motorun sabit duran parçası olan stator da konumlanır. Elektrik motorlarının dönen parçaları ise rotor olarak isimlendirilir. Asenkron motorların başlıca avantajları:

- Az periyodik bakım ihtiyacı,
- Çalışma esnasında ark oluşmaması,
- Geniş güç seçeneği,
- Çeşitli faz seçeneği,
- Yüksek momentlere sahip olması şeklinde sıralamak mümkündür (http://hbogm.meb.gov.tr, 2018)

Asenkron motorların dezavantajlarını da şu şekilde sıralayabiliriz;

- Kalkınma anında normal akımının 4-5 katı fazla akım çekmektedirler,
- Devir sayılarını değiştirmek oldukça zordur,
- Gürültülü olarak çalışırlar(Elektrikce, 2017).

Enkoderler, dönüşsel konum ve hız verilerini elektriksel sinyallere çeviren ve bu sinyalleri işleyen cihazlardır (Şekil 3.).



Şekil 3. Autonics firmasının enkoder ürünü (www.autonics.com, 2018)

Sistem olarak PLC kullanılmakta olup, makine sadece Şekil 4.'te görüldüğü gibi plakaları müşterinin istediği tam ölçüde veya plakadan fayans ölçüsüne ebatlama işlemi yapabilmektedir. Bu ebatlama işlemini gerçekleştirirken sistem 90°deki kesimleri tabladan sağlayabilmektedir. Tabla 90°, 180° ve 270°lerde sabit dönüşler yapabilmektedir. Bu yüzden mermer plakalarından, daire, elips, üçgen, beşgen, altıgen gibi çokgenler vb. gibi şekiller elde edilememektedir. Ayrıca zamanla oluşan boşluklardan dolayı gönyesiz kesimler elde edilebilmektedir. Döner tablalı bir makine de Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Mermer plakasının ebatlanması

2.2. CNC Mermer Köprü Kesme Makinesi Tasarımı

Şekil 5.'te görülen makine, köprü tipi CNC mermer makinesi için örnek gösterilebilir. Bu makinede tüm eksenler servo motor ile kontrol edilmektedir. Servo motorlar yine boşluksuz servo redüktörlere akuple edilmiştir. Böylece 0,1mm'lik kesim hassasiyeti sağlanmıştır. Kızak olarak lineer kızaklar kullanılıp, ilerleme eksen tahrik işlemi; hassas, sertleştirilmiş, taşlanmış kremayer ve pinyon dişli ile sağlanmıştır. Makine kontrol sistemi CNC tabanlı olup karmaşık şekillerde CAD-CAM ile elde edilen G kodlarını desteklemektedir. Bu tip makinelerde kesim açları döner kafadan sağlandığı için; aşağıda Şekil 6.'da belirtilen kesim işlemlerini elde etmek çok kolaylıkla sağlanabilmektedir.



Şekil 5. İthal beş eksen köprü tipi CNC mermer kesme makinesi, (Donatoni, 2018).



Şekil 6. CNC 5 eksen köprü kesme makinesi ile yapılabilen örnek kesimler, (www.denver.sm, 2018)

Sistem olarak PLC (Programmable Logic Controller) kullanılmakta olup, makine sadece plakaları tam ölçüsüne veya plakadan fayans ölçüsüne ebatlama işlemi yapabilmektedir. Bu ebatlama işlemi gerçekleştirirken sistem 90° sahip kesimleri iş parçasının bağlı olduğu tabladan sağlamaktadır.

2.2.1. Mermer köprü kesme makinesinin genel özellikleri

Makine tasarımında dikkat edilecek en önemli unsurlardan bir tanesi, yapılacak olan işin ebatlarına göre, piyasada en çok tercih edilen ürün ebatlarını üretebilecek özelliklere sahip olacak şekilde planlanmalıdır. Bu yüzden sunulan bu çalışmada köprü kesme makinelerinin çalışma prensibine uygun olan ve piyasada tercih edilen ölçüler seçilmiştir. Bu ölçülerin tüm dünyada kabul edilmiş granit ve mermer bloklarının maksimum uzunluğuna ve genişliğine göre tasarlanması gerekmektedir (http://ahmetkinoğlu.com.tr, 2017).

Makine tasarımında kullanılacak malzeme cinsi seçimlerinde dikkat edilen en önemli unsur malzemelerin karşılaşacağı yüklere karşı göstereceği mukavemet, çekme-basma, eğilme dayanımları şekil değişim tipi ve miktarı, korozyona karşı direnci, işlenebilirliği ve piyasada kolay ve ekonomik bulunabilirlikleridir.

Sistemin yüksek torklarda (150Nm-250Nm) ve yüksek pozisyonlama hassasiyetinde (0,01mm) çalışması amaçlandığı için servo motor kullanılmıştır. Makinede servo motorların kullanılması ile zamanla oluşabilecek boşlukları engellemek amacıyla, boşluksuz (<1arcmin) servo redüktörler kullanılması amaçlanmıştır. "Backlash" olarak da adlandırılan boşluklar, bir mekanizmayı oluşturan parçalar arasındaki açıklık ya da kayıp devinimler olarak açıklanabilmektedir. Birbirine geçen dişli çark dişlerinin iki taraftan da birbirine temas edip kilitlenmemesi, dişli çark dişli yüzeylerinin yağlanması için mesafe bırakılması ve dişli çark elemanlarının destek yatakları arası genişleme açısından gerekli olan bu boşluklar, hassas işlemler söz konusu olduğunda sorun olabilmektedir (QTC Gears, 'Elements of Metric Gear Technology' kataloğu, 2018). Bu nedenle boşluksuz servo redüktörler kullanarak pozisyonlama hassasiyeti yakalayıp, gönyeli kesimlerin ve hassas ölçülerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Servo motorlar, çok düşük devirlerde (1 d/d) bile kararlı çalışabilen, hız ve moment kontrolü yapan motorlardır (Şekil 7). Servo motorlar da step motorlar gibi sürücüye ihtiyaç duyar ve bu sürücüler servo motorlarla tümleşik olarak bulunur. Robot teknolojisinde en çok tercih edilen motor çeşididir. Ayrıca hidrolik ve pnömatik gibi alanlarda da kullanılır. Servo motor içerisinde AC veya DC motorlardan herhangi biri bulunmaktadır (Karabey, 2016).

Servo motorların genel özellikleri;

- Döndürme momentleri yüksektir,
- Döndürme momentinin iki katına kadar olan değerlere kısa süreli olarak yüklenebilirler,
- Devir sayıları 1-10 000 d/d arasındaki değerlerden herhangi birisine kolayca ayarlanabilirler,
- Çok sık aralıklı olarak hareket edebilirler. Yani dur-kalk yapma sayılarının çok olması motoru olumsuz etkilememektedir. Atalet (kalkış) momentleri küçük olduğundan verilen komutları gecikme olmadan algılar ve bu komutları yerine getirirler.



Şekil 7. Sanyo Denki marka bir servo motor
(www.sanyodenki.com, 2018)

Servo motorların avantajları ise;

- 10 000 d/d gibi yüksek devirlerde çalışabilirler,
- Konum kaçırma olmamaktadır. Hareket esnasında pozisyondan ileri gitmiş ise geri alır, geri kalmışsa ileri alarak pozisyon noktasını bulur,
- Yüksek devirlerde yüksek torkta çalışabilirler,
- Torklarının iki katına kadar çıkan durumlarda kısa süreli de olsa çalışırlar (Karabey, 2016).

CNC freze tezgâhlarında, kesici takımları hareket ettiren ve iş parçasından talaş kaldıran dönme hareketini üreten yüksek frekanslı motora iş (fener) mili motoru denir. İş milinin dönme hızı, iş parçasının malzemesi, iş parçasında amaçlanan yüzey hassasiyeti, kesim hızı gibi parametrelere göre seçilir. İş mili motoru, dönme hızını ve yönünü belirten komutu bilgisayarlı kontrol ünitesinden almaktadır (Karaçam, 2009).

İş mili motoru seçiminde dikkat edilecek önemli unsurların başında; kesilecek taşın kalınlığı, yani kesme ucunun karşılaşıacağı yük ve kesme ucunun çıkacağı maksimum devir göz önünde bulundurulmuştur.

Tahrik sistemimizde mermer sektörüne en uygun çözüm olacağı düşünüldüğü için kremayer dişli mekanizmasının kullanılması planlanmıştır. Çünkü her ne kadar sistem, toz ve çamurdan körüklerle korunması düşünülse de edinilen tecrübeler ışığında, bunun yüzde yüz sağlanamayabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla vidalı mil somun sistemi yerine daha hassas davranışlar sergileyeceği için kremayer dişli mekanizması seçilmiştir.

Yataklama sistemi için kullanılacak standart makine elemanları şunlardır:

- Krom kaplı indüksiyonla sertleştirilmiş taşlanmış mil,
- Alt destekli krom mil,
- Doğrusal (kırılmaç) kızak sistemleri (Şekil 8.) (Karabey, 2016).



Şekil 8. Alt destekli krom mil ve doğrusal kızak sistemleri (Karabey, 2016).

Prototip tezgâh imalatında yataklama sisteminde, gerek işleme maliyetleri, gerekse hassasiyet ve montaj hızı anlamında hazır doğrusal kızak sistemler seçilmiştir.

Prototip tezgâh imalatında 5 eksen interpolasyonlu olduğundan ve G kodu destekli olması amaçlandığından dolayı CNC kontrol ünitesi kullanılması gerekmektedir. Bu doğrultuda Sanyo Denki servo motorlarla uyumlu olan Tex Computer'ın Power E 10.4 Compact modeli kullanılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Tex Computer Power E 10.4 Compact (Tex Computer, 2018)

CNC kontrol üniteleri yüksek matematiksel işlem kabiliyetine sahiptirler. Bu sayede tezgâhın bir sonraki konumunu matematiksel yöntemlerle hesaplar ve tezgâhı o konuma taşırlar. Ünitenin bir saniyede yerine getirebildiği komut sayısı işlem hızını verir. İşlem hızı, tezgâhın performansında çok etkili bir faktördür (Karaçam, 2009).

2.2.2. Beş eksen CNC tezgâhi

İlerleyen CNC teknolojisiyle beş eksen CNC tezgâh kullanım alanları da genişlemiştir. Beş eksen işleme operasyonları havacılık, savunma imalat sanayi, otomotiv, kalıpcılık ve medikal sektörlerinde karmaşık yüzeylerin imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Hem yapısal parçaların imalatında hem de motor parçalarının imalatında simültane ve indeksli beş eksen imalat metotları sıklıkla kullanılır. İlerleyen tıp dünyasında CNC ile implant ve protez imalatı gibi imalat konularındaki gelişim medikal imalat sanayinde her geçen gün artmaktadır.

CNC işleme makineleri genellikle hareket eksen sayılarına göre tanımlanırlar. Üç eksen işleme makinesi, üç lineer eksen hareket sağlarken; beş

eksen işleme makinesi, üç lineer eksen ve iki rotasyon eksen sayesinde yüksek kalitede kompleks yüzeyleri işleme olanağı sağlar. Üç eksen teknolojisine yapılan yatırımlar, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte beş eksen teknolojisine doğru yönelmiştir (Kavala, 2010).

CNC freze tezgâhlarında üç temel eksen bulunur. Bunlar; tablanın boyuna ilerlemesi sağlayan X ekseni, enine ilerlemeyi sağlayan Y ekseni, kesici takımın aşağı yukarı ilerlemesini sağlayan Z eksenidir. Ayrıca her bir temel eksenlerde dönel eksenler bulunmaktadır. X eksenindeki dönel eksen A ekseni, Y eksenindeki dönel eksen B ekseni, Z eksenindeki dönel eksen C eksenisidir.

Şekil 10.'da görüldüğü gibi, beş eksen köprü tipi CNC mermer kesme makinesinde X, Y, Z temel eksenlerine ek olarak X eksenindeki dönel eksen A ve Z eksenindeki dönel eksen C eksenleri bulunmaktadır.



Şekil 10. Beş eksen köprü tipi CNC mermer kesme makinesi (GMM, 2018).

2.2.3. Beş eksen malzeme işlemeye olan ihtiyaç

Döner tablalı sistemlere nazaran daha küçük hacim kaplanması ve yüklemenin daha kısa sürmesi söz konusudur. Beş eksen tezgâh, kesme ucuna parçayı bir kere sabitleme koşuluyla işleme olanağı vermektedir. Örnek olarak, rotasyon eksenlerinde delik delme işlemi verilebilir. Özellikle otomotiv sanayinde tek kompleks parçaların (otomobil motoru, vb.) işlenmesinde büyük kolaylık sağlar. Beş eksen tezgâhlar, serbest formları işlemeye büyük avantaj sağlar. Bu tarz parçalar üç eksenle de işlenebilir. Fakat işleme zorlukları ve yumuşak hareket verilememesi yüzünden pürüzlü yüzeyler ile karşılaşılır ve istenen yüzeye mekanik aksamdan dolayı yaklaşamama durumu mevcuttur (Kavala, 2010).

2.3. Beş Eksen Köprü Tipi CNC Mermer Kesme Makinesi Tasarımı

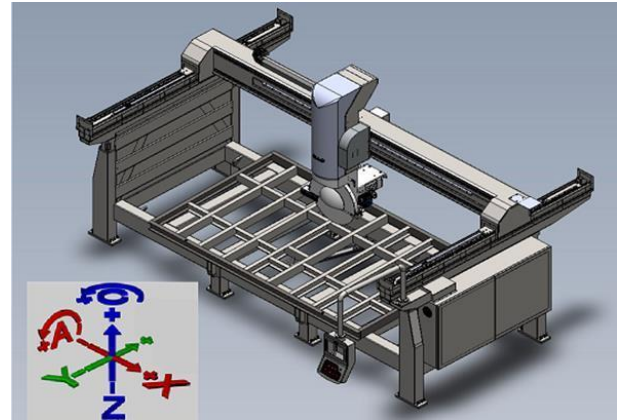
2.3.1. Genel özellikler

Makine tasarımında dikkat edilecek en önemli unsurlardan birisi yapılacak olan işin ebatlarına, amacına uygun olmasıdır. Bu yüzden köprü kesme

makinelerinin çalışma prensibine uygun olarak aşağıdaki ölçüler seçilmiştir.

- Maksimum çalışma uzunluğu: 3500 mm
- Maksimum çalışma genişliği: 2100 mm
- Maksimum çalışma kalınlığı: 240 mm

Yukarıdaki ölçülerde belirtildiği gibi makine, bugün tüm dünyada kabul edilmiş granit ve mermer bloklarının maksimum uzunluğuna ve genişliğine göre tasarlanmıştır. Çalışma kalınlığı ise kullanıcının hassas ebatlama işlemini gerçekleştirebileceği 240 mm'ye göre ayarlanmıştır (www.gmm.it, 2017). Bu çalışmadaki tasarımı yapılan prototip tezgâhında kullanılan eksenler Şekil 11.'de gösterildiği üzere adlandırılmaktadır. Prototip makine tasarımında ve imalatında kullanılan malzeme cins ve tipleri genel olarak; köprü, döner kafa, dikey yön hareket kafasında sac malzemesi olarak S235JR (St37); taşıyıcı kolonda çeşitli çaplarda imalat çelikleri CK45, yatak malzemesi olarak yüksek kalaylı bronz malzeme DIN 1705G.CuSn14 olarak sıralanabilir. Kalay içeren bakır alaşımlarından olan bu malzeme, aşınma direnci yüksek olduğundan yataklama malzemesi olarak oldukça uygundur (Ünlü vd., 2003).

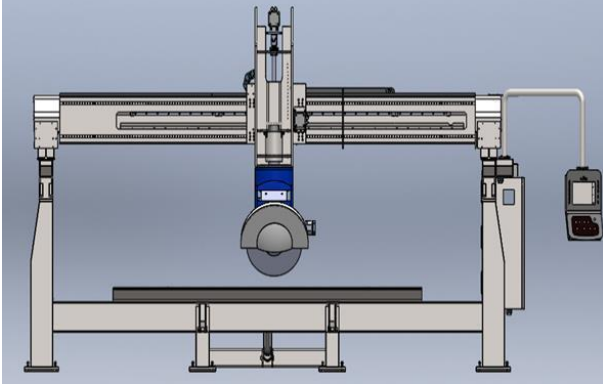


Şekil 11. Tezgahtaki çalışma eksenleri

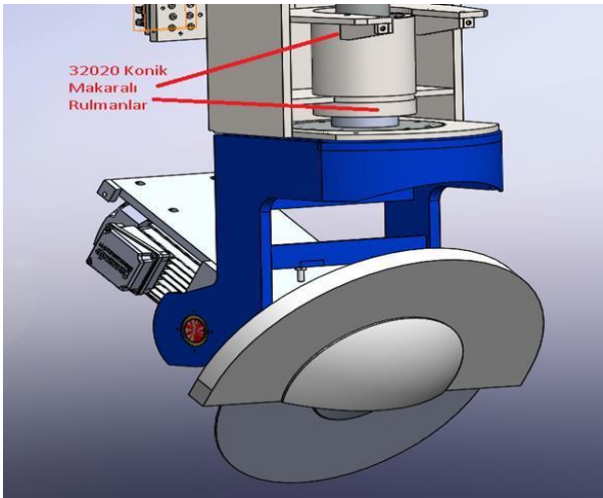
2.3.2. Döner kafa tasarımı

Şekil 12.'de görüldüğü gibi tasarlanan prototip makinede, kesimlerdeki açılış işlemi döner kafa (Şekil 13.) ile gerçekleştirmektedir. Sistem 20 mm S235JR malzemeden yapılmıştır. Bileşenler birbirine SG2 kaynak teli kullanarak tek sıra gazaltı kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş olup uygun kalınlıkta federlerle desteklenmiştir. Sistemde zamanla oluşabilecek boşluklara karşı boşluksuz<1arcmin servo redüktörler kullanılmıştır. Bu sayede pozisyonlama hassasiyeti yakalanmış olup gönyeli kesimler elde edilmiştir. Sistemin C ekseni etrafındaki dönüşünü 32020 (iç çap 100 mm, dış çap 150 mm, genişlik 32 mm, dinamik yük 200 kN, statik yük 270 kN) kodlu konik makaralı rulmanlar ile desteklenmektedir. Sistemin düşey yönde her iki taraftan kuvvet etki etmektedir. Bir tarafta kendi

ağırlığından gelen kuvvet diğer tarafta ise taş kesim esnasında gelen kuvvetlerdir. Bu durum göz önüne alındığında ise aksel kuvvetler çift yönde olduğu için konik makaralı rulmanlar sırt sırta (X düzeni) konumlandırılmıştır (Şekil 12 ve Şekil 13). Bu yapının en büyük avantajı ise daha az boşluklu bir yapıyı sağlamaktır.



Şekil 12. Prototip makine tasarımı



Şekil 13. Döner kafa

2.3.3. Şasi ve sehpa tasarımı

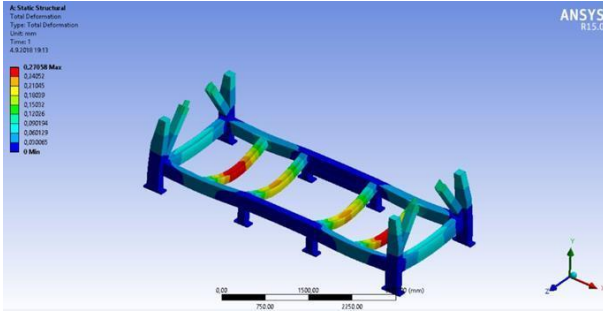
Yoğunluğu en yüksek olan mermerlerden olan bazalt bloğun makinede kesilmesi söz konusu olduğunda, bazaltın yoğunluğu (yaklaşık 3000 kg/m^3) ve köprü kesme makinesinin çalışma ölçü kısıtları, yani kesilebilecek bloğun maksimum ölçüleri göz önüne alınmalıdır. Bu ölçüler $3500 \times 2200 \times 240 \text{ mm}$ ve blok kütlesi yaklaşık olarak 5500 kg 'dır. Blokların yerleştirildiği sehpanın kütlesi ise sehpayı oluşturan NPU profillerin montaj halde kütle toplamlarından bulunur. 120 NPU profillerinin metre başına kütlesi $13,4 \text{ kg/m}$ olup kullanılan profillerin uzunlukları göz önünde bulundurulduğunda toplam sehpa kütlesi yaklaşık 460 kg 'dır. Solidworks programının Kütle Özellikleri seçeneği ile makinenin yaklaşık toplam ağırlığının 6000 kg olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada yükün (analize tabi tutulan makine bölümlerinin ağırlığı) maksimum hıza erişmesi için gereken ivme 2 m/s^2 olarak alınmıştır. Bu hız ve ivme değeri, testerenin kesim hızı/ivmelenmesi değildir; yükün istenen konuma ilerletilirken sahip olacağı değerlerdir. Ancak, kesim esnasındaki kesim kuvvetlerinin ölçülebilmesi için gerekli dinamometre, uzama ölçer gibi ekipmanlar mevcut olmadığından deneysel ölçme imkanı olmamıştır. Dolayısıyla yük ağırlığına ek olarak söz konusu kesme kuvvetleri ve ivmenin etkisiyle oluşacak kuvvetlerin de analize dahil edilmesi gerekmektedir. Bunun için çalışmada bir yaklaşım uygulanmıştır. Seçilen yaklaşım, testere motoru boşa iken 20 amper sağlamakta iken, kesim esnasında bu değer en fazla 30 amper yükselmektedir. Bu akımdaki % 50 artışın tezgâhtaki kesme kuvvetleri ve ivmenin etkisiyle oluşacak kuvvetlerin ilavesi için yük değerinin 1.5 katı alınarak tasarlanmıştır. Yani bir nevi 1.5 değerinde işletme faktörü ile analizlerin yapılması öngörülmüştür.

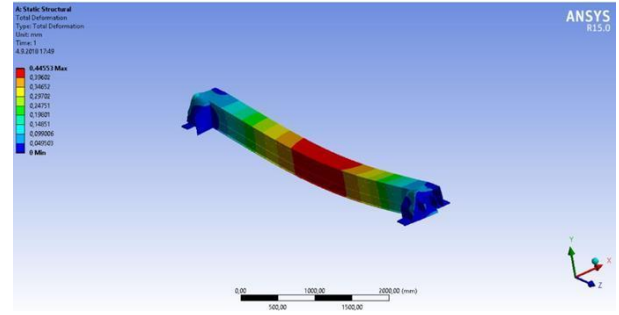
Yük, makine gövdesindeki $250 \times 150 \times 4870 \text{ mm}$ ölçülerinde 2 adet, $150 \times 150 \times 1700 \text{ mm}$ ölçülerinde 4 adet profilden ve ayak profillerinden oluşan şasi üzerinde konumlandırılmıştır.

Ansys programında yapılan analizden (Şekil 14-21) alınan aşağıdaki görsel çıktılarda görülebilecek bu profiller, gövde boyunca uzanan profillerin uçları, ayak profillerine kaynaklandığından sabit destek olarak modellenmiş olup, yerle temas eden kısa ayak profilleri de yine aynı şekilde modellenmiştir. Yük ise yine yaklaşık 60000 N olarak alınmıştır. 1.5 değerinde işletme (güvenlik) faktörü (hareket ve kesme anındaki oluşacak dinamik kuvvetlerinde etkisi tezgahın boş ve kesme anındaki akım değişimi göz önüne alınarak bu faktör seçilmiştir.) de göz önüne alındığında, 90000 N yük değeri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda en yüksek sehim $0,20 \text{ mm}$, en yüksek gerilim değeri ise $18,8 \text{ MPa}$ olduğu görülmüştür (Şekil 14 ve Şekil 15). Şasi profilleri, gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak teli olarak 540 N/mm^2 ye kadar çekme dayanımı olan SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Sehpa montajı da bu şekilde gerçekleştirilmekle beraber, şasiye menteşeler ve hidrolik sistemi ile birleştirilmiştir. Tüm bu yapı, işlemlerinde çift sıra kaynak işlemi yapıldıktan sonra gerekli çapak ve yüzey temizliğinden sonra yüzeyler boyanmaktadır. Şasi yanlarında, ayak profilleri ve taşıyıcı yan montajları arasında galvaniz kaplı trapez saclar kullanılmıştır. Trapez saclarının çekme ve eğilme kuvvetlerine karşı daha dayanıklı olması yanında çalışma koşullarında oluşacak su, kir ve doğal taş atıklarının, bu sacların geometrisi nedeniyle yüzeye yapışıp kalma riskinin daha az olması gibi etmenler de göz önüne alınmıştır.

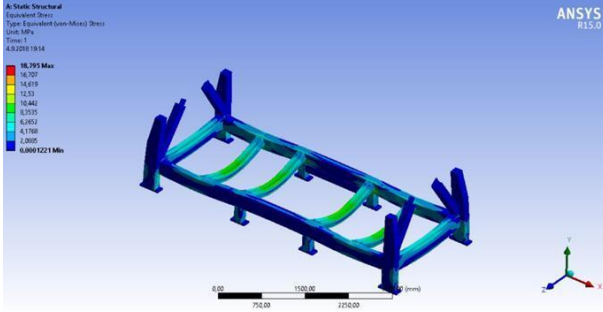
Z ekseni analizinde (Şekil 16), 10800 N yük altında en yüksek deformasyon değeri $0,05 \text{ mm}$ olarak bulunmuştur.



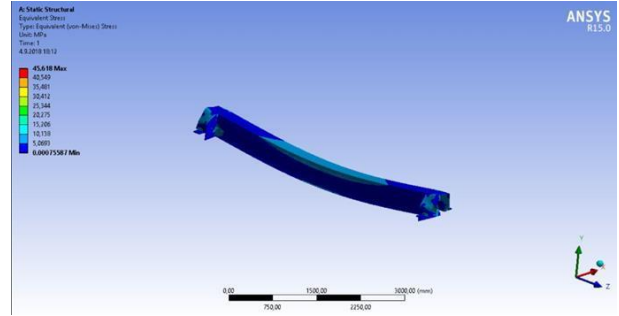
Şekil 14. Şasi yükü bağlı sehım analizi sonucu



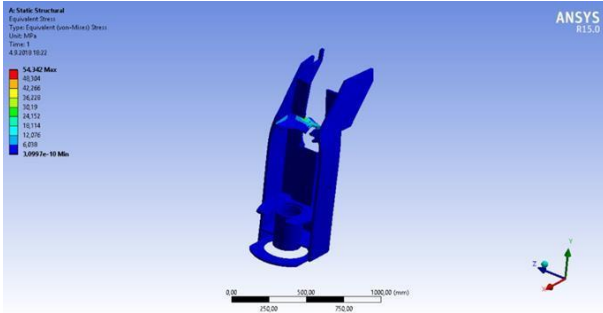
Şekil 18. Köprü deformasyon analizi



Şekil 15. Şasi yükü bağlı gerilim analizi sonucu

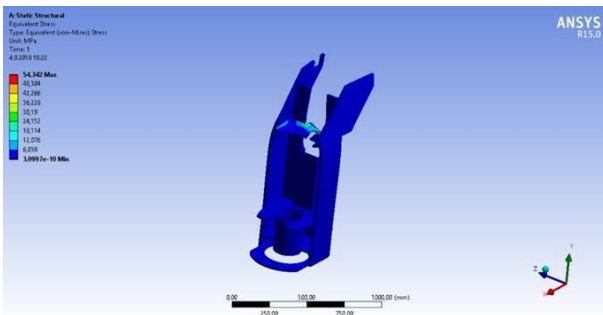


Şekil 19. Köprü gerilim analizi



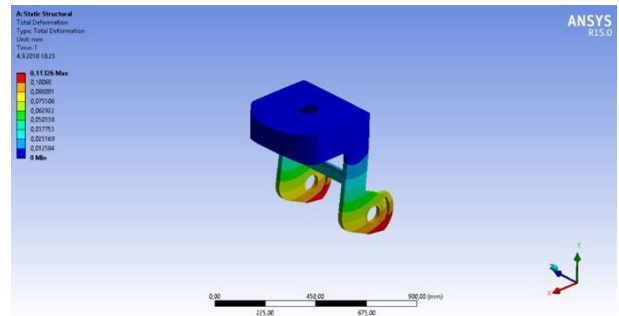
Şekil 16. Z eksenı deformasyon analizi

Z eksenı analizinde (Şekil17), 10800 N yük altında en yüksek gerilim değeri 54 MPa olarak bulunmuştur.



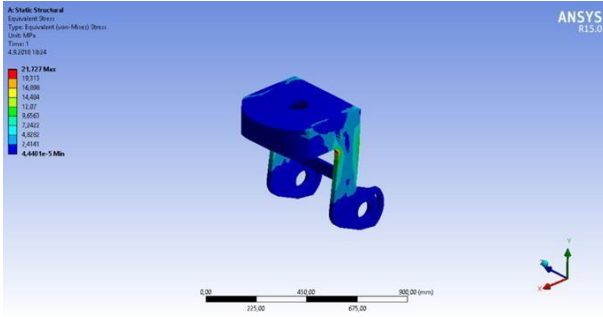
Şekil 17. Z eksenı gerilim analizi

Köprü üzerinde 36000 N yük altında yapılan analizde (Şekil 18), en fazla 0,44 mm sehım değeri görülmüştür.



Şekil 20. Döner kafa deformasyon analizi

Döner kafa analizinde (Şekil 21), 2700 N yükte en büyük deformasyon değeri 21.7 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 21. Döner kafa gerilim analizi

2.4. Tahrik Motoru Seçimleri

Beş eksenli CNC köprü tipi mermer işleme makinesinde X, Y, Z, C, A eksenleri servo motorlarla, testere ise asenkron motorla tahrik edilmektedir. Şekil 22'de, 1 numara ile gösterilen bölgede x eksenini, 2 numara y eksenini, 3 numara z eksenini, 4 numara a eksenini, 5 numara c eksenini motorunun konumunu göstermekte olup, 6 numara ise testere motorunun yerini göstermektedir.



Şekil 22. Motorların konumları

Kütle, atalet kuvvetleri, ivme, hız, tork değerleri ve diğer çalışma parametreleri dikkate alınarak yapılan hesaplardan sonra;

- Y eksenindeki hareket için Sanyo Denki R2AA13120D servo motoru,
- X eksenindeki hareket için Sanyo Denki R2AA08040F servo motoru,
- Z eksenindeki hareket için Sanyo Denki R2AA13120D servo motoru,
- A eksenindeki hareket için Robosan R2AA08075F servo motoru,
- C eksenindeki hareket için Sanyo Denki R2AAB8100H servo motoru,
- Dairesel Testere tahriği için 3 fazlı Saccardo SBC 107 motoru seçilmiştir.

3. Örnek Çalışmalar ve Tartışma

Tasarımı ve imalatı tamamlanan 2 adet prototip makineler ile performans testleri için tam daire, çokgen, çoklu kesim ve evye imatları

gerçekleştirilmiş olup, aşağıdaki fotoğraflarla (Şekil 23 - 27) bu örnek denemeler gösterilmiştir.

Şekil 23'de görüldüğü üzere imalatını gerçekleştiren makinede 725 mm çapında testere bağlanabilecek şekilde üretilmiştir. Muadili olan yerli ve ithal makinelerde bu konseptteki makinelerde maksimum bu ölçü en fazla 625 mm çapında dairesel testere takılabilmektedir. Bu da maksimum 200 mm kalınlığında taş kesilebilmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 23. Dairesel kesim

Şekil 24'de 30 mm kalınlığında 8 adet; toplam 240 mm kalınlığında mermer kesilmiştir. Yapılan teste kesim hızı yaklaşık 3m/d olarak kullanıldığında üstteki taşlarda bir kayma yaşanmadığı saptanmıştır. Kesme hızının 3m/d' yı aşması halinde ise en üstteki iki plakada kaymadan dolayı yaklaşık olarak +/- 0.3mm değerinde istenen ölçülerden sapma olduğu gözlemlenmiştir. Bu sapma değeri, yurtiçi satışlarda çok önem arz etmese de, yurtdışı satışlarda bu tolerans değeri +/-0.2 mm kadar olduğundan büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla, üretici firma yurtdışı satış

gerçekleştirecek olursa testere kesim hızını 3m/d ve/veya altında kullanması gerekmektedir.



Şekil 24. 1. prototip makinanın genel görünümü ve çoklu kesim denemesi

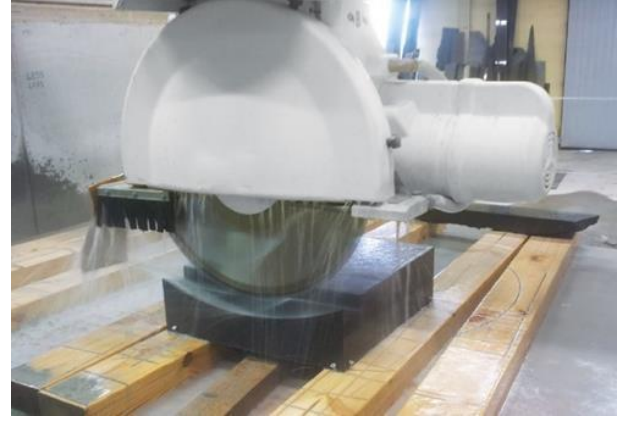
Şekil 25.' de 2. prototip makinede, 1. prototip makineye oranla yüklemeyi kolaylaştırması açısından 80°'e kadar yatabilen hidrolik bir tabla eklenmiştir. Aynı zamanda, makinede kesim optimizasyonu programı devreye alınmıştır.



Şekil 25. 2. Prototip makinanın genel görünümü

Şekil 26 ve Şekil 27.'de görülen parça için Stone Terroir firması ile ortak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Standart olarak üretilen bu parçayı insan gücüyle yaklaşık 24 saat sürekli çalışma ile tamamlandığı ve yüzey kalitesinin pürüzlü ve ise çok iyi olmadığı gözlenmiştir.

Aynı parça için Pegasus CAD/CAM programında ilk önce 3 boyutlu katı modeli çizilip daha sonra çizilen parçanın CAM programı yardımıyla G kodları oluşturuldu ve bir bellek yardımıyla prototipi üretilmiş olan makinemizin; kontrol ünitesine aktarıldı. Parça, işleme mantığı olarak kaba operasyon ve finiş operasyonu olarak iki adımda gerçekleştirilmiştir. Parça 2 saat 37 dakika gibi bir sürede elde edilmiştir. Elde edilen parçanın yüzey kalitesinin gözle görülür bir biçimde el işçiliğinden çok daha kaliteli olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 26. Beş eksen makine prototipi ile parça işlenirken



Şekil 27. Beş eksen makine prototipi ile işlenmiş parça

4. Sonuçlar

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde; beş eksen köprü tipi CNC mermer makinesine ait bilimsel çalışmalar yeterli olmadığından bu çalışma ile literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmada beş eksen köprü tipi CNC mermer işleme makinesi tasarımı ve üretimi hedeflenmiştir. Bu bağlamda tasarım için gerekli olan hesaplamalar yapılmıştır. Solidworks programıyla üç boyutlu katı modeli oluşturulan makinenin ANSYS programı yardımıyla yapılan analizlerle de tasarımın ve malzeme seçiminin doğruluğu değerlendirilmiştir. Ülkemizde üretilecek bu prototip makine ile ithal makinelerin ilk yatırım maliyetlerinin yanı sıra, olası bakım, onarım ve yedek parça temini giderleri söz konusu olacağı için, bunların daha düşük bir maliyet ve daha kısa zaman aralığında müşterilere sunulabilmesi ile büyük bir avantaj sağlanacağı öngörülmektedir.

Sunulan çalışmada üretimi tamamlanan beş eksenli köprü tipi mermer işleme makinesi, başarıyla doğrusal, dairesel, çokgen ve açısız kesimlerin yanı sıra evye üretimiyle ilgili testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle karmaşık üç boyutlu

şekillerin işlenmesinde, el işçiliğine oranla avantajlarının fazlalığı örnek çalışmalarla görülmüştür. Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi, insan gücüyle yaklaşık 24 saat sürekli çalışma ile ancak bitirilebilen bir işlemin, 2 saat 37 dakikada bitmesi sağlanabilmiştir.

Günümüz ileri teknolojisinin, mermer sektöründeki mevcut yerli üretim makinelerine tam aktarılamadığı gözlemlenmiştir. Çalışmada prototiplerini ürettiğimiz beş eksen CNC makine ile mermer sektörünün ithal makinelerin yerini alabilecek seviyede olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca bu tip çalışmalar ile elde edilecek ileri teknoloji makineler ile ülkemizde yetersiz fonksiyonlara sahip konvansiyonel veya sınırlı eksen hareketine sahip CNC kesim makinelerin yerini alabileceği düşünülmektedir. Böylece daha kısa sürede işleme zamanı, daha düşük maliyet, operatör kabiliyetinden bağımsız, çok sayıdaki siparişlerin aynı kalitede, aynı ölçüde, aynı geometride olması, daha hassas ölçü ve yüzey kalitedeki ürünlerin üretilebileceği, daha güvenli bir iş ortamının olabileceği de bir gerçektir.

Muadili olan yerli ve ithal makinelerde bu konseptteki makinelerde maksimum 625 mm çapında dairesel testere takılabilirken, imalatı gerçekleştirilen prototip makinede 725 mm çapında testere bağlanabilmektedir. Bu da maksimum 200 mm kalınlığında taş kesilebilmesi anlamına gelmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda CNC kesim makinesinin boştaki hareketleri 35 metre/dakika hızlara çıkarabilmesi yönünde çalışmalar yapılabilir. Aynı zamanda, günümüzde hammaddenin çok değerli konuma gelmesinden dolayı kesilecek ürünün fotoğrafları çekilip bu görüntü üzerinde bilgisayar program desteği iş parçasının konum optimizasyonu (fire oranını azaltmak için) yapıldıktan sonra kesim işleminin yapılması sağlanabilir. Ayrıca Mermer İşleme firmalarınca söz konusu bu makinelerin kullanılmasıyla geri bildirimlerle mevcut özellikleri geliştirilebilir ve/veya ilave özellikler eklenmesi de mümkün olabilecektir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Atıcı, U., Ersoy, A., 2003. Correlation of Specific Energy of Cutting Saws and Drilling Bits with Rock Brittleness and Destruction Energy, Journal of Materials Processing Technology.

Autonics, 2018. Erişim Tarihi: 24.03.2018. <http://www.autonics.com>

Breton, 2018. Erişim Tarihi: 19.03.2018. <http://www.breton.it>

Demir, E., 2017. Bir mermer Ocağından Çıkarılan Blok Mermer İle Mermer Fabrikasından Çıkan Ürünlerin Maliyet Analizi; Barla Mermer Ocağı ve Fabrikası Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, Isparta

Denver, 2017. Erişim Tarihi: 06.04.2018. <http://www.denver.sm>

Donatoni, 2018. Erişim Tarihi: 06.04.2018. <http://www.donatonicmachine.eu>

Elektrikce, 2018. Erişim Tarihi:02.03.2018. <http://www.elektrikce.com/uc-fazli-assenkron-motorlarin-calisma-prensibi/>

GMM, 2018. Erişim Tarihi: 10.05.2018. <http://www.gmm.it>

Gülaçtı, S., 2018, Beş Eksenli Köprü Tipi CNC Mermer İşleme Makinesi Tasarımı Ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 107s. Isparta/Türkiye

HBOGM, 2018. Erişim Tarihi: 24.03.2018. <http://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1ElektrikMakLab/unite5.pdf>

İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, 2018. Doğal Taş Sektörü. Erişim Tarihi: 20.05.2018. <https://www.ekonomi.gov.tr/portal/content/content/UCM/uuid/dDocName:EK-051196>

Karabey, Ö., 2016. Prototip 3 Eksenli Freze Tasarımı Ve Uygulaması. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Sivas

Karaçam S.,2009. Adım Motor Kontrollü hızlı CNC freze tasarımı. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.

Karaman, D., 2010. Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemi ve Bir Mermer İşletmesinde Uygulama Örneği, Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, Isparta.

Kavala Şen, D., 2010. Beş Eksenli CNC Tezgah Tasarım Ve Kontrolü. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55 s, İzmir.

Kınaoğlu, A., 2018. Erişim Tarihi: 19.03.2018. <http://www.ahmetkinoaglu.com.tr>

MKS, 2018. Erişim Tarihi: 24.03.2018.

- <http://www.mks.com.tr>
QTC Gears, Elements of Metric Gear Technology.
Erişim Tarihi 22.03.2018.
<https://www.webcitation.org/5nQCqsUa9?url=http://www.qtcgears.com/Q410/PDF/techsec14.pdf>
- Robosan, 2018. Erişim Tarihi: 08.06.2018
<http://www.robosan.com.tr>
- Sanyo Denki, 2018. Erişim Tarihi: 15.03.2018
<http://www.sanyodenki.eu>
- Tex Computer, 2018. Erişim Tarihi: 06.04.2018.
<http://www.texcomputer.com>
- Ünlü, B.S., Köksal, N. S. , Atik, E., 2003, Bakır Esaslı Bronz ve Pirinç Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, 103-108.