

Zincirli Kollu Mermer ve Doğaltaş Kesme Makinelerinin Bazı Dinamik, Kinematik ve Tasarım Özellikleri

Dynamics, Kinematics and Design Characteristics of Chain Saw Machines Employed for Mechanical Cutting of Marbles and Natural Stones

O. Z. HEKİMOĞLU

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 48000 Muğla, e-mail: ozhekimoglu@gmail.com

ÖZET Bu bildiride zincirli kollu kesme makinelerinin bazı temel dinamik ve kinematik özellikleri kesici uç dizilimi açısından ele alınmaktadır. Bu makinelerin kesici uç dizilimleri gerçekçi bir dinamik ve kinematik analiz için önemlidir. Keski tutucuların zincir üzerindeki dik konumu, kesici uç eksenlerinin konumu ile ilgili yanlış algılara neden olabilmektedir. Bu durum ile ilgili konular tartışılmış ve analiz için en uygun bağıntılar sunulmuştur. Zincirli kollu kesme makinelerinin temel dinamik ve kinematik analizleri için kullanılan yöntemin bu alandaki diğer makinelere uygulanan yöntem ile uyduğu vurgulanmış ve bu durumun kesici uç dizilimlerinin aynı temel özelliklere sahip olmasından ileri geldiği belirtilmiştir.

ABSTRACT This paper deals with some fundamental dynamic and kinematic characteristics of chain saw machines with particular reference to cutter tool arrangement. Aspects of tool lacing were understood to be an important factor for a rational dynamic and kinematic analysis of these machines. The upright position of tool holders on the continuous chain belt is very likely to lead to a misleading definition of cutter tool position. Important issues were discussed and the most proper equations were presented. It was emphasized that the method adopted for a dynamic and kinematic analysis of chain saw machines are also valid for those of other transverse motion machines, since both types fundamentally possesses common tool lacing arrangement.

1 GİRİŞ

Mermer ve doğaltaşların ocak üretiminde yaygın olarak zincirli kollu kesiciler ve elmaslı tel kesme makineleri kullanılmaktadır. Elmaslı tel kesme makineleri, ilk yatırım maliyetlerinin düşüklüğü, kolay kurulabilirliği ve düşük bakım gideri gibi önemli özelliklere sahiptir. Buna karşın bu makinelerin kullanılabilmesi için elmaslı tellerin geçeceği deliklerin açılması gerekir. Bu durum ise delme makineleri için ek maliyet ortaya çıkarmakta ve uzun deliklerin açılması sırasında hizalanma sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca elmaslı tellerle kesim yapılırken en az iki ya da üç ayna yüzeyinin önceden hazırlanması gerekir. Bütün bunların yanısıra

gerili halde bulunan telin potansiyel olarak kopma tehlikesi de bulunmaktadır. Zincirli kollu kesicilerle bu tür sorunlar söz konusu olmadığından ötürü, bu makinelerin mermer ve doğaltaşların ocak üretiminde kullanımları gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Zincirli kollu kesicilerin bu üstünlüklerine karşın kesme hızları elmaslı tel kesme yöntemine göre daha yüksek değildir. Kesme hızlarında elde edilecek önemli bir artış ile zincirli kollu kesiciler çok daha fazla tercih edilebilecek bir konuma gelecektir.

Zincirli kollu kesicilerde kesme işlemi, kesici kol üzerinde kayarak hareket eden sonsuz bir zincir üzerinde bulunan kesicilerle gerçekleşir. Bu kesiciler normalde tungsten karbür uçlu olabildiği gibi aşındırıcı

ortamlarda daha çok PDC (Polycrystalline Diamond Compact) türü elmaslı uçlar kullanılmaktadır. Her bir zincir baklası üzerinde yer alan keskinin hareketi makinenin kinematik özelliklerine bağlıdır. Zincirli kollu kesiciler mekanik kazı yapan çoğu diğer makinelerde olduğu gibi dönme ve ilerleme hareketlerini (Transverse motion) aynı anda yaparlar. Sonsuz zincir kesici kol üzerinde dönme hareketi yaparken, kesici kolda aynı anda dönme eksenine dik olarak yatay ya da düşey yönde ilerleme hareketi gerçekleştirir. Aynı anda yapılan bu iki hareketin birbirlerine göre olan büyüklük değerlerine göre, keskinin kesme derinliği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin değerleri de değişir.



Şekil 1. Zincirli kollu kesme makinesi.

Eksensel tipli galeri açma makineleri (Axial type roadheaders), tamburlu kesiciler, tambur tipli kollu kesiciler (Continuous miners), döner çarklı kanal kazıcılar v.b gibi mekanik kazıcılarda keski kinematiği zincirli kollu kesicilere çok benzerdir. Sözü edilen bu mekanik kazıcılarda kesici kafaların dönme eksenine, kesme yönüne dik doğrultudadır. Mekanik kazı yapan kesme makinelerinin dinamik analizinin sağlıklı yapılabilmesi için, kesici uç dizilimleri ile ilgili temel tasarım özelliklerinin iyi anlaşılması gerekir. Zincirli kollu kesme makinelerinin genel dinamik ve kinematik özellikleri, keski dizilim tasarımları açısından bu alandaki diğer makinelerden önemli farklılıklar göstermemektedir. Buna karşın zincirli kollu kesme makinelerinde

sonsuz zincirin yapıları ve işlevi nedeniyle keskinin zincir üzerinde özel bir konumda yerleştirme zorunluluğu bulunmaktadır. Bu özelliği nedeniyle zincirli kollu kesme makinelerindeki keski dizilim tasarımı bu sınıftaki diğer makinelerden bir ölçüde farklı olduğu algısına neden olmaktadır. Buda sağlıklı bir dinamik ve kinematik analiz yapılması sırasında hatalara neden olabilmektedir.

Bu bildiride zincirli kollu kesme makinelerinin temel dinamik ve kinematik özellikleri anlatılmakta ve kesici uç dizilim tasarımından kaynaklanan ve yanıltıcı algıya neden olabilecek konular ele alınmaktadır. Bu yanılgıların nelerden kaynaklandığı ve gerçek anlamda nasıl olması gerektiği vurgulanmıştır. Bildirinin zincirli kollu kesme makinelerinin dinamik ve kinematik analizinde önemli bir konuyu aydınlatacağına inanılmaktadır.

2. ZİNCİRLİ KOLLU KESME MAKİNELERİNİN TEMEL YAPISAL VE TASARIM ÖZELLİKLERİ

Zincirli kollu kesme makineleri ana gövde, kesici kol ve ray sistemi olmak üzere üç temel kısımda incelenebilir. Ana gövde tüm sistemin tahrik edildiği elemanları içerir. Kesme işlemi gövdeye bağlı olan kesici kol tarafından gerçekleştirilir. Kesici kolun dönme hareketi ana gövde tarafından sağlanırken, ileriye doğru yaptığı kesme işlemi ise bütünüyle ana gövdenin ray üzerindeki hareketiyle gerçekleşir (Şekil 1). Tüm tahrik sistemi hidrolik olup, bazı makinelerde kesici kolun dönme hareketi galeri açma makinelerinde olduğu gibi bir dişli kutusu üzerinden doğrudan elektrik motorlarıyla gerçekleştirilmektedir.

Mermer ve doğaltaşların kesiminde kullanılan zincirli kollu kesme makinelerinde normal kesme koşullarında tungsten karbür tipli kesici uçlar kullanılmaktadır. Aşındırıcı ve zor kesme koşullarında ise PDC (Polycrystalline Diamond Compact) türü elmaslı uçların kullanıldığı görülmektedir. PDC tipli kesici uçlar daha çok dairesel yüzeyli geometrik şekilde görülürler. Tungsten karbür tipli uçlar ise daha çok dikdörtgen prizma şeklindedirler. Bir köşesi

aşındığında konumları değiştirilerek yeni bir köşeyle kesme yapabilmektedir. Böylece bir kesici ucun toplam sekiz köşesinin ayrı olarak kullanılabilme olanağı bulunmaktadır (Şekil 2). Bu tür prizmatik kesici uçların ön ağız açısı (Rake angle) ve arka boşluk açısı (Back clearance angle) birbirlerine eşit olup uygulamada -10° civarında olduğu görülmektedir. Ancak yalnızca dört köşesinin kullanılabilirdiği kesik piramit şekilli uçlarda ise bu iki açı birbirlerinden farklı olup ön ağız açısının 0° olduğu gözlenmiştir.

Zincirli kollu kesme makinelerinde kesici uçlar belli bir sıralama düzeni (dizilim) konumunda sonsuz zincir üzerine yerleştirilirler. Her bir dizilim belli sayıda kesici uç içerir. Kinematik açıdan zincir üzerindeki toplam keski sayısı bir dizilimdeki kesici uç sayısının (ya da pabuç sayısının) toplam dizilim sayısı ile çarpımına eşittir. Bir dizilimde her bir pabuç içerisindeki kesici uçlar ya tek ya da simetrik çift olarak konumlandırılırlar. Zincirli kollu



Şekil 2. Kesici uç ve kesici uç tutucusu.

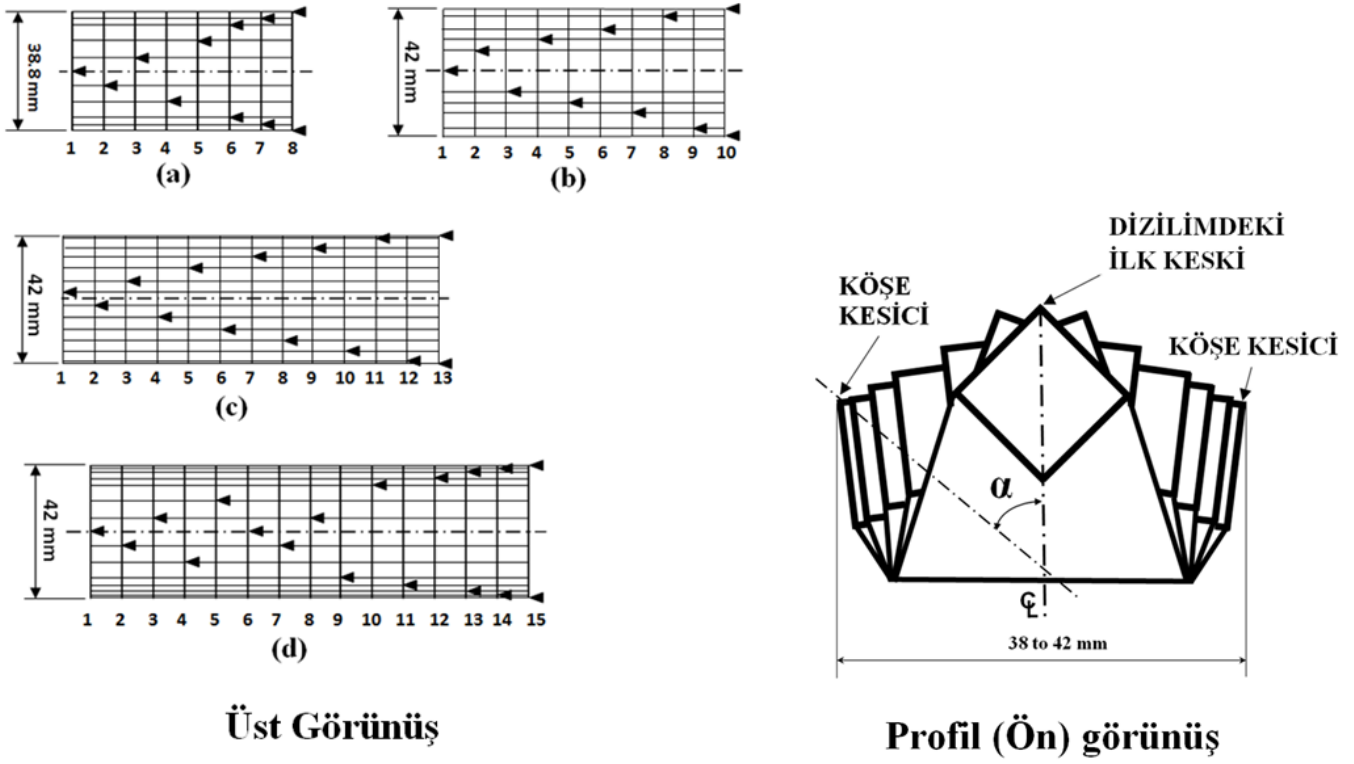
kesme makinelerinin bazı kinematik özelliklerinde her bir pabuç (çift keski içerse dahi) tek keski olarak ele alınırken, çift keski ise daha çok dinamik analizlerde dikkate alınır. Keski dizilimlerinde keski kuvvetlerinin birbirlerine göre simetrik

konumları dikkate alınmaktadır. Böyle bir konumda keski ardışıklı olarak birbirlerini dengeleyerek yanal kuvvetleri nötrleştirmeye çalışırlar. Uygulamada birçok kesici uç dizilimleri bulunmakta olup bunlardan bazıları Şekil 3 de verilmiştir. Görüldüğü gibi kesici uçların profil görünüşleri dikkate alındığında, yalnızca ilk keski genel olarak dik konumda yani eğim açısı 0° dır. Bunu izleyen iki yada dört adet keski düşük açılı eğime sahip iken köşeye doğru gidildikçe eğim artmaktadır. Köşe kesiciler için uygulamada gözlenen eğim açısı 55° civarındadır. Dizilim sonuna doğru gidildikçe bir pabuç üzerinde çift keski kullanımını egemen olmaktadır.

3. ZİNCİRLİ KOLLU KESME MAKİNELERİNİN BAZI TEMEL DİNAMİK VE KİNEMATİK ÖZELLİKLERİ

Zincirli kollu kesme makinelerinde kullanılan kesici uçlar kayaç ve makine ara yüzünü oluşturdıklarından, bunlara etkileyen kuvvetlerin büyüklüğü ve yönleri bu makinelerin dinamik ve kinematik parametrelerini doğrudan etkilerler. Kayaç kesme mekaniğinde bu tür keskilere etkileyen bileşke kuvvet genel olarak üç ana bileşenine ayrılır. Bunlardan birincisi kesme yönünde etkileyen 'Kesme Kuvveti (F_c)', ikincisi ise buna dik yönde etkileyen 'Normal Kuvvet (F_n)' dir. Üçüncü bileşen ise F_c ve F_n kuvvetlerinin yer aldığı düzleme dik olarak etkileyen 'Yanal Kuvvet (F_s)' olarak tanımlanır. F_s kuvveti genelde küçük değerlerde olduğundan ötürü hesaplamalarda genel olarak pek gözetilmez.

Zincirli kollu kesme makinelerinde, zincirin dönme hareketi için gereken 'Tork (T)' ve kesici kola etkileyen yatay ve düşey kuvvetlerin değeri makinenin toplam ağırlığı ile toplam kurulu gücü belirleyen faktörlerdir. Bununla ilgili ayrıntılı bilgiler daha önceki çalışmalarda verilmiştir (Mellor, 1976; Copur, 2010; Hekimoğlu, 2014). Zincirin dönmesini sağlayan tork (T) değeri basit olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:



Şekil 3. Zincirli kollu kesme makinelerde gözlenen keski dizilim şekilleri, α = Kesici uç ekseninin eğim açısı..

$$T = k r \sum F_c \quad (1)$$

Burada

F_c = Kesici uçlara etkiyen kesme kuvveti (N),

r = Zincir tahrik dişlisinin yarıçapı (m),

k = Sürtünme faktörleri, zincirin tahrik dişlisine göre konumu v.d ile ilgili katsayı.

Kesici kola etkiyen yatay ve düşey kuvvetler ise sürtünme v.d. faktörler göz önüne alınmaksızın normalde aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$F_H = \sum (F_n \sin \varphi) + \sum (F_c \cos \varphi) \quad (2)$$

$$F_V = \sum (F_n \cos \varphi) - \sum (F_c \sin \varphi) \quad (3)$$

Burada F_H kesici kola etkiyen yatay kuvveti (N), F_V düşey kuvveti (N) ve φ kesici kolun yatay düzlem ile yaptığı açığı ifade etmektedir.

Görüldüğü gibi burada kesici uçlara etkiyen kuvvetlerin büyüklüğü makinenin gücünü etkileyen temel parametreler olup değerlerinin dikkatlice hesaplanması gerekir. Kayaç kesme mekaniğinde verilen bir kazı koşulu için keski kuvvetlerinin büyüklüğü kesici uçların kesme derinliğine bağlıdır. Bu

kesme derinliği zincirli kollu kesme makineleri için aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir (Mellor):

$$d = (U / U_t) s \sin \varphi \quad (4)$$

Ya da (Hekimoğlu, 2014):

$$d = (U U_r / n) \sin \varphi \quad (5)$$

Burada;

U = Makinenin kesme sırasındaki yürüyüş hızı (m/s),

U_t = Kesme sırasında zincirin hızı (m/s),

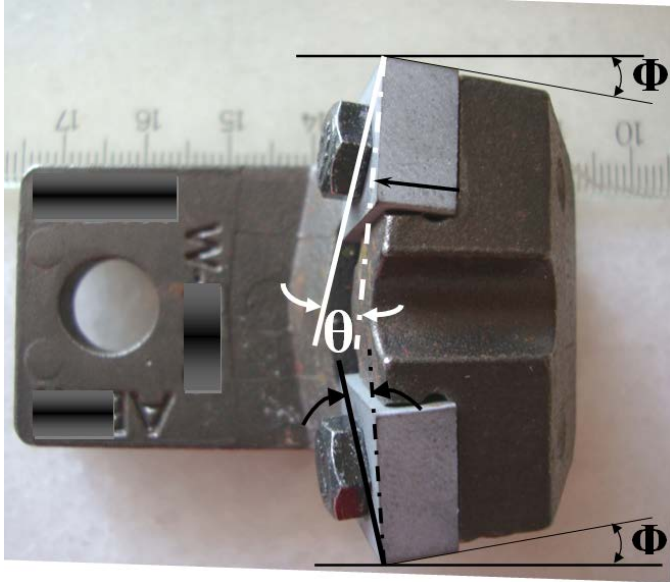
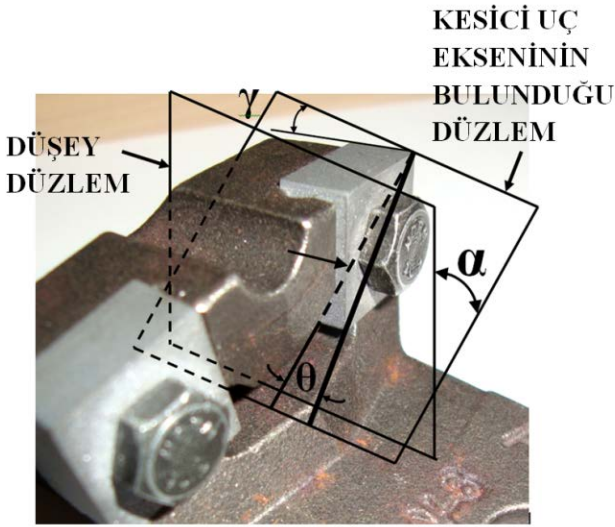
s = Zincir üzerinde verilen bir zaman aralığına karşı gelen keski dizilim uzunluğu (m),

U_r = Zincirin bir dönü hareketi sırasında geçen süre (san / dönü),

n = Zincir üzerindeki toplam dizilim sayısı.

Yukarıdaki (4) ve (5) bağıntılarında bir keski dizilimi içersindeki kesici uç sayısı kavramı kinematik olarak yalnızca aralarında çevresel bir aralık (Circumferential spacing) bulunan kesikleri ifade etmektedir. Bu nedenle çift kesikli pabuçlar tek keski olarak alınmalı, yani bir başka anlatımla zincirli

de görüldüğü gibi normal kuvvet'in (F_n) ise yalnızca düşey bileşeni kesme yönünde etkin olup yatay bileşeni ise zincirin hareketini



Şekil 6. Kesici uç ekseninin keski üzerindeki açısal konumları, θ = Ön ağız açısı, γ = Arka boşluk açısı Φ = Arka boşluk açısının izdüşümü.

engelleyen yanal kuvvet olarak ortaya çıkar (Hurt, 1980). Bu durumda yukarıda verilen (3) ve (4) bağıntıların doğru tanımı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$F_H = \sum ((F_n \cos \alpha) \sin \varphi) + \sum (F_c \cos \varphi) \quad (6)$$

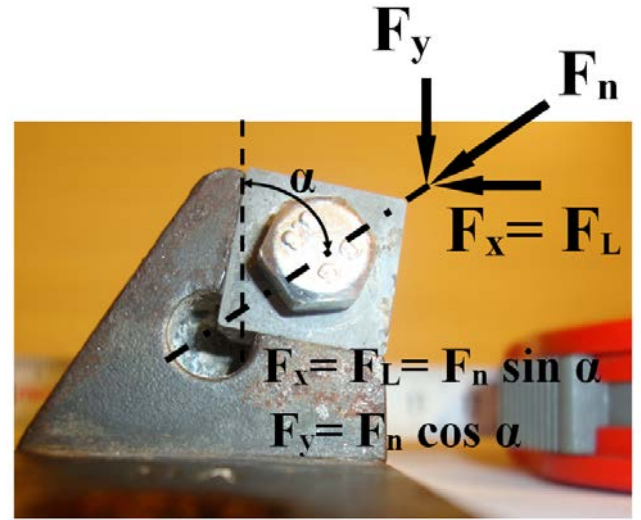
$$F_V = \sum ((F_n \cos \alpha) \cos \varphi) - \sum (F_c \sin \varphi) \quad (7)$$

Kesme koluna etkiyen diğer bir bileşen ise yanal kuvvet (F_L) olup sürtünme v.d faktörler göz ardı edilirse aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$F_L = F_n \sin \alpha \quad (8)$$

Burada α kesici uç ekseninin derece cinsinden eğim açısıdır.

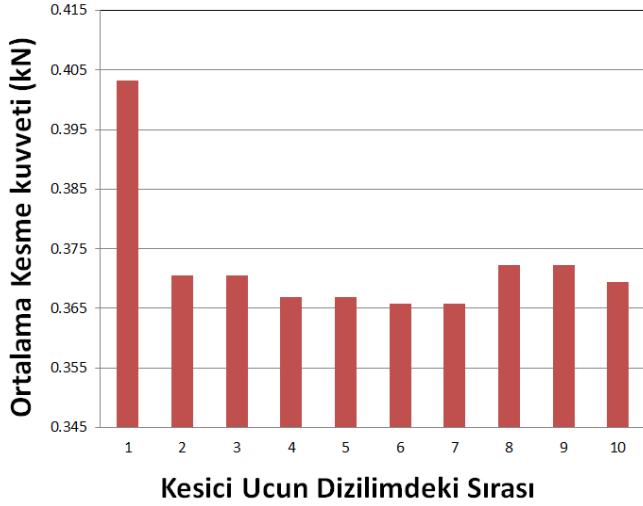
Zincirli kollu kesme makinelerinde bu kuvvet yanal yönde etkiyerek pabuçların kesme yönündeki hareketini engellemeye çalışır. Etkin bir makine performansı için bu kuvvetin kesinlikle dengelenmesi ya da nötrleştirilmesi gerekir. Dengelemek için kesici uçların ardışıklı şekilde ve olabildiğince eşit yüklü simetrik sıralı olarak konumlandırılmaları gerekir. Nötrleştirmek için ise bir pabuç üzerinde çift simetrik kesici uç kullanılabilir.



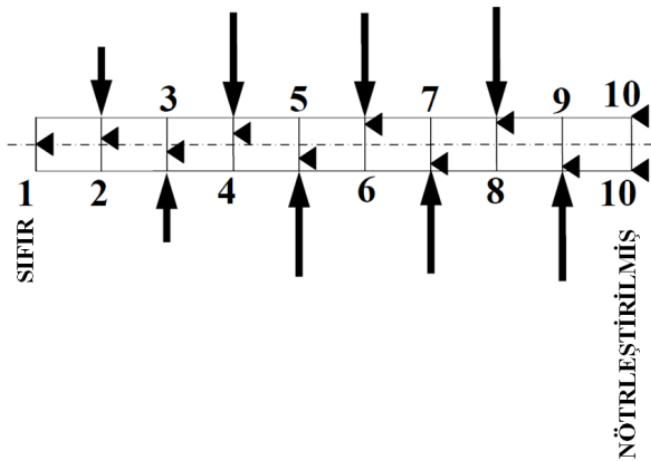
Şekil 7. Kesici uca etkiyen yanal kuvvet.

Uygulamada gözlenen kesici uç dizilim tasarımlarının verimli bir kesme için istenilen düzeyde olmadıkları gözlenmektedir. Şekil 3b de gösterilen 10 pabuçlu bir kesme diziliminde yer alan kesici uçlara etkiyen kuvvet dağılımı Şekil 8'de gösterilmiştir (Hekimoglu, 2014). Verilen bu dizilim tasarımında en yüksek kuvvetlerin ilk keski üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Tek keski olarak gözetildiğinde ise en küçük kuvvetlerin çift köşe kesicilerin her birinin üzerinde oluşmaktadır. Bu dizilime ait yanal kuvvetlerin dağılımı ise Şekil 9 da verilmektedir. Şekildeki okun uzunluğu yanal kuvvetin hesaplanan büyüklüğünü göstermektedir. Görüldüğü gibi bir dizilim boyunca yanal kuvvet dağılımı düzenli değildir. Yanal kuvvetlerin tüm pabuçlar için olabildiğince eşit yükte tutulması en ideal olanıdır. Bu durum iyi bir dizilim tasarımı ile elde edilebilir. Yanal yüklerin dağılımındaki

dengelessizlikler zincirin kesme hareketini önemli oranda önleyebilir. Uygulamada



Şekil 8. 10 Pabuçlu bir dizilimde her bir kesici uca etkiyen kesme kuvvetleri.



Şekil 9. 10 Pabuçlu bir dizilimde her bir kesici uca etkiyen yanıl kuvvetler.

kullanılan dizilim tasarımları gözetildiğinde kesici uçların büyük çoğunluğunun eğim açısı $25^\circ - 30^\circ$ 'nin üzerinde olması nedeniyle yüksek yanıl kuvvetlerin ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Yanıl kuvvetler arasındaki dengelessizlik nedeniyle bu durum zincirin kesme hareketini önemli ölçüde engelleyebilmektedir. Yanıl kuvvetlerin olumsuz etkilerini önlemenin en uygun yöntemlerinden birisi bir pabuç üzerinde simetrik çift kesici uç kullanımınıdır. Bunun için ise etkin bir dizilim tasarımı ile bireysel kesici uçlara etkiyen kuvvet değerlerinin düşük tutulması gerekir.

4. SONUÇLAR

Zincirli kollu kesme makinelerinin temel dinamik ve kinematik özellikleri, galeri açma makineleri, tamburlu kesiciler, döner çarklı kanal kazıcılar v.b. makinelerin özelliklerine benzerdir. Tungsten karbürü kesici uçların dizilimleri ile ilgili temel tasarım özellikleri bu makineler içinde geçerlidir. Buradaki kesici uçların eksenleri sözü edilen diğer makinelerde olduğu gibi belli açılarla köşeye doğru kademeli olarak eğik konumda bulunmakta ve dizilim tasarımları aynı ilkeye göre yapılmaktadır. Bu nedenle aynı dinamik ve kinematik analiz yöntemleri zincirli kollu kesme makineleri için de yapılabilir.

Zincirli kollu kesme makinelerinin dinamik ve kinematik analizleri yapılırken yanıl kuvvetlerin etkisi göz ardı edilmemelidir. Bunun için en uygun bir kesici uç dizilim tasarımı geliştirilerek bu kuvvetler aynı anda ardışıklı kesicilerle dengelenmeli ya da çift keski kullanımı ile nötrleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Copur, H, 2010. Linear stone cutting tests with chisel tools for identification of cutting principles and predicting performance of chain saw machines. *Int J Rock Mech Min Sci.* 2010; 47: 104–120.
- Hekimoglu, O. Z, 2014. Studies on increasing the performance of chain saw machines for mechanical excavation of marbles and natural stones, *Int J Rock Mech Min Sci.* 72 (2014) 230–241.
- Hurt KG. 1980. Roadheader cutting heads: a study of the layout of cutting tools and a rational procedure for design. NCB MRDE Report No. 90, England; 1980. 28 p.
- Mellor, M, 1976. Mechanics of cutting and boring, Part 3: kinematics of continuous belt machines. *CRREL (US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH, Special Report 76-17, 1976.*