

DİSK KESİCİLİ "TAM KESİT" TÜNEL AÇMA MAKİNALARININ ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ, ÇALIŞMA PARAMETRELERİ VE ORTAYA ÇIKAN SORUNLAR

SuhaNİZAMOĞLU*

ÖZET

Bildiride disk kesicili "tam kesit" tünel açma makinaları tanıtılmaktadır. Bu makinaların araştırma yöntemleri, çalışma alanları, mekanik kazıdaki yarar ve sakıncaları, ortaya çıkan sorunlar anlatılmaktadır. Araştırma yöntemlerinde verilen örneklerde ilerleme hızının makina çalışma ve kayaç parametreleri ile olan ilişkisi incelenmektedir.

ABSTRACT

In this paper "Full Face" tunnelling machines and disc cutters are described. Methods of investigation and fields of operation of these machines, their advantages and disadvantages in mechanical excavation and the problems arising are explained. The relationship between the advance rate and rock and machine parameters is examined by the examples given in the methods of investigation.

(*) Dr. Asistan, İTO Maden Fakültesi

GİRİŞ

Tam kesit tüne! açma makinalarının işlemleri ve özellikle kesici aletlerinin çalışmaları üzerine yapılan ve yeni sayılabilecek araştırmaların gelişmesi iki nedene bağlıdır:

- Birincisi gelecek senelerde kazılması öngörülen tünel uzunluklarının büyük artış göstermesi.
- İkincisi ise kayacın direnci belirli bir sınırı aştığında kazının metre maliyetinin çok yüksek olmaya başlamasıdır.

Birinci şıka kanıt olarak OECD'nin kazılacak tünellerde, gelecek on yılda, son on yıla oranla % 450 bir artış olacağı öngörüsünü gösterebiliriz.

İkinci şık için ise 1500 bar direncindeki kayaçların pik kesicili kazı makinalarının çalışma alanlarını sınırlandırdığını ve bu değerin aşındırıcı özelliği olan kayaçlarda 1000 bara düştüğünü öne sürebiliriz.

Tam kesit tünel açma makinalarının ilginçliği hem bu sınırların üzerinde çalışmalarında, hemde şantiye emniyetinin ve "sürekli ilerleme" yöntemine bağlı olarak ilerleme hızının artmasındadır.

Bu tür kazı aynı zamanda:

- Profil bozukluğunu
- Tahkimatı
- Kaplamayı
- Zararları
- Personeli
- Enerjii

en aza indirger.

Profil bozukluğu, makinayı kullanana ve çevre kesici aletlerinin aşınma durumuna bağlı olarak çok büyük ölçüde önlenmiştir.

Kazının kayayı sağlam bırakması ve hatta sıkıştırması nedeniyle kaya çok iyi mekanik nitelik gösterir. Üstelik, tam dairesel olan kesit, izotop gerilmeler ortamında, iç ve dış etkenlere en uygun direnç koşullarını verir. Ayrıca metal tahkimatın cidara tam uyması nedeniyle tahkimat üzerine gelen yükler iyi bir dağılıma gösterir ve kamalama gerekmez. Aynı nedenlerden ve düzgün profil sayesinde kaplama kalınlığı düzgün ve ekonomiktir.

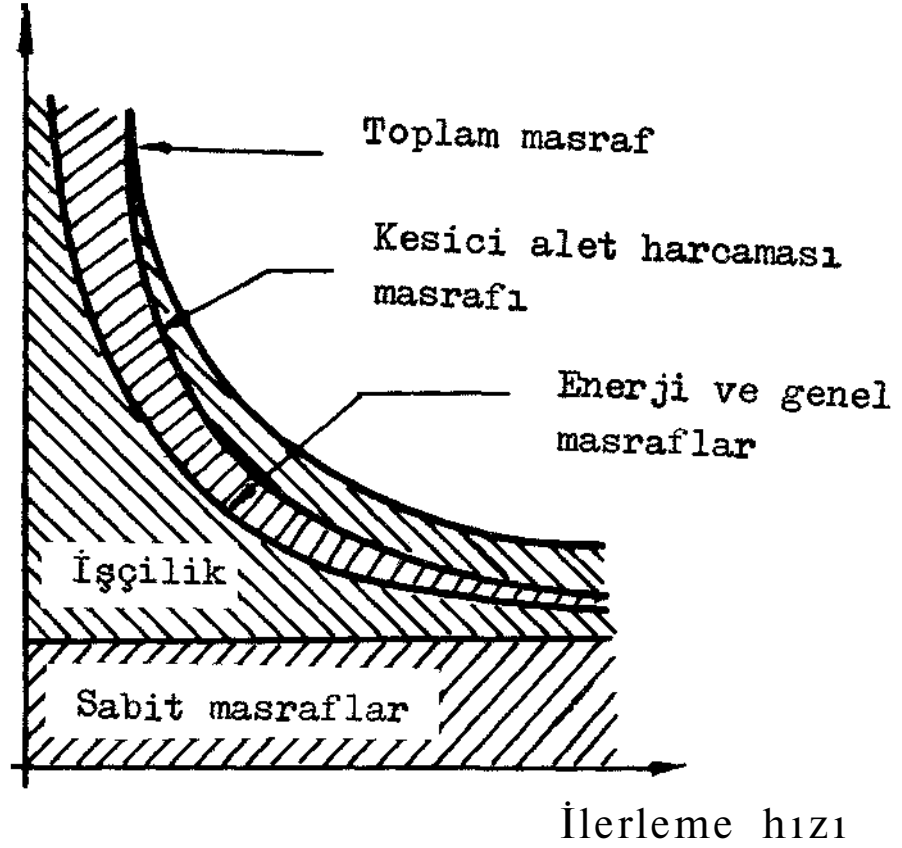
Patlayıcı maddelerin oluşturduğu sarsıntı ve zararlı gazlar yoktur. Şantiyelerin ses düzeyi en azdır ve zemin daha kolay tutulabilir. Bu, şehir içi şantiyeleri için, özellikle ilginçtir.

Personel azdır ve çalışma ve emniyet koşulları en iyidir.

Kazılan m³ başına, kayaç sertliğine göre, harcanan enerji 10 ile 40 kwh arasında değişmektedir.

Tam kesit tünel açma makineleri ile kazının ilginç yönleri çok açıktır. Fakat mekanik kazı, ekonomik olarak, geleneksel kazı ile rekabet edebilmeli ve ilk yatırımın ağırlığını doğrulayabilmelidir. Mekanik kazının avantajlarını göstermek için J.ROBBİNS bu konuda bir diyagram vermektedir (Şekil 1).

Tünel kazı maliyeti



ŞEKİL 1: Mekanik kazı maliyetinin ilerleme hızına göre değişimi (J.Robbins'e göre)

Görölmektedir ki tünelin maliyeti artan hızın etkisinde azalmaktadır.

Bunun gerçekleşmesi için de tünel açma makinası hızlı ilerleyebilmelidir. Fakat bu hız makinanın ve ek tesislerinin güvenilirliğine ve geçilmesi zor ve pahalı olan ezilmiş ve faylı bölgelere bağılıdır.

J.ROBBİNS, diyagramında, kesici alet harcamalarının belirli bir hızdan sonra değişmez olduğunu göstermektedir. Kanımızca bu doğru değildir.

Fransa da Alpler Bölgesi hidrolik tünelleri kazıları araştırmaları sırasında yaptığımız kısa bir ekonomik değerlendirme bu masrafın şantiyenin değişken işletme giderlerinde hiçte küçümsenemeyecek bir yer tuttuğunu göstermiştir. Örneğin bir tünelin 2400 m.lik kristalen şistler içinde açılan bir bölümü için 1000 m³ kazıda 18 disk harcanmıştır. Buna kesici aletin gövdesi, rulmanları ve aksının da kırılma ve bozulmalarını da katarsak, sadece kesici aletlerin aşınmalarına harcanan malzeme tutarı, metre başına ihale bedelinin % 17'sini oluşturmaktadır. Buna karşılık tünel açma makinasının hızı bu kayaçta 1.6 m/saat idi. Bu masrafın, el emeği, harcanabilir diğer küçük malzeme masraflarını ve diğer amortismanları gözönünde tuttuğumuz zaman, % 25'e yükseldiğini görmekteyiz.

Kısaca gözden geçirdiğimiz ve tam kesit tünel açma makinalarının kazı işlemlerinde sağladıkları bu yararları rağmen Fransa koşullarında en az iki kilometre uzunluğunda bir tünel veya galeri yatırımı ve işletme giderlerini doğrulayabilmektedir. Bu uzunluğun Türkiye koşullarındaki değeri ise bir araştırma konusudur.

2. MAKİNALARIN TANITILMASI

Tam kesit tünel açma makinaları, genel olarak bir dış gövde, bunun içinde hareket eden bir iç gövde ve kesici aletleri taşıyan dairesel bir döner kafadan oluşur.

Dış gövde, makinanın yapısına göre sayısı iki ila sekiz arasında değişen hidrolik demirleme ayaklarını taşır. Bu ayaklar makinayı, kafa delerken, yerinde tuturlar ve sağ-sol sapmaları ayarlarlar. Ayrıca üst tarafında kazılmış malzemeyi arkaya nakleden bir band ve eğer kesit uygunsa kafanın hemen arkasına demir bağları nakleden küçük bir araba bulunur.

İç gövde, dış gövdenin içinde bir ucu kendisine diğer ucu ise dış gövdeye bağılı itici-çekici hidrolik krikolar yardımı ile kayarak ilerler ve kazıyı sağlar. İlerleme adımı, yapımcılara göre, 0.75 ila 1.5 m. arasında değişir. İç gövdenin her iki ucunda birer tane hidrolik dayanma ayağı bulunur. Bunlar hem dış gövde demir-

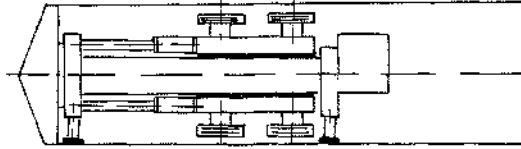
1-Kazı başlangıcı. Dayanma ayakları çekilmiş ve makina demirlemiş



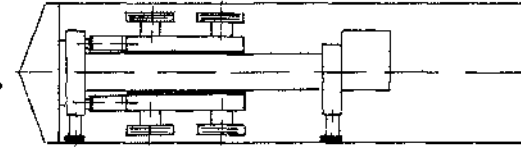
2-Kazı adımı tamamlanmış; zoner kafa durmakta.



3-Makina ilerleme 100 cm üzerinde. Demirleme ayakları çekilmiş.



4-Dış gövde ileri çekilmiş ve düşey yön ayarlaması yapılmakta.



5-Dayanma ayakları çekilmiş, makina demirlemiş ve yeni bir kazı devresi başlamakta.



ŞEKİL 2. Bir tam kesit tunei açma makinasının tam kazı devresini oluşturan safhalar.

leme ayaklarını çekip ilerlerken makinayı tutar, hem de yukarı aşağı yön düzeltmesini sağlarlar. Elektrik veya hidrolik motorlarla döndürülen büyük bir dişli bu gövdenin içinde uzanan ve kafanın dönmesini sağlayan aksa bağlıdır.

Döner kafa iç gövdeye çok büyük bir dayanak rulmanı ile bağlanmıştır. Çapı küçükse ($< \rho = 3\text{m.}$) tek parçadan, büyükse birbirine civatalanmış bir kaç parçadan oluşur. Döner kafa çeşidi ve sayısı, yapımcılara ve çapına göre değişen kesici aletleri, tozu önleyen ve kesicileri soğutan su püskürtücüleri ve çevresinde, kazılmış malzemeleri alttan alıp, makinanın üst tarafındaki banda boşaltan kepçeleri taşır. Kafanın profili konik veya kenarları yuvarlatılmış düz olabilir.

Bir tünel açma makînasının çalışması bir tam kazı devresi oluşturan iki bölümden oluşur (Şekil 2):

— Dış gövde demirleme ayakları yardımı ile sabitleşir. Dayanma ayakları çekilmiş iç gövde itici hidrolik krikolar yardımı ile ilerleme yönüne doğru itilir. Kafa dönerek kazmaktadır.

- Kazı adımı bitince döner kafa durur. İç gövdenin dayanma ayakları iner ve demirleme ayakları çekilen dış gövde bu defa çekmeye çalışan itici hidrolik krikolar yardımı ile ilerleme yönünde çekilir ve demirler. Yön düzenlemesi bu safhada makinanın ön ve arka taraflarındaki her iki hedefi gören lazer ışını yardımıyla yapılır.

Dünyada en çok kullanılan iki tip tam kesit tünel açma makînasının özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

TABLO 1
BAZI TAM KESİT TÜNEL AÇMA MAKİNALARININ
NİTELİKLERİ

MAKİNA NİTELİKLERİ	WIRT TB V-558 H	ROBBİNS MELBURN	ROBBİNS
KAZI ÇAPI	5,8-6,12 m.	3 m.	8,10 m.
KAZI ADIMI	1,25 m. (1)	1,04 m. (1)	1,50 m. (1)
İTME GUCU NOMİNAL SINIRLI	6351 3201	2851 -	7001 5851

DÖNDÜRME MOMENTİ NOMİNAL SINIRLI	76txm 65txm		
KAFANIN DÖNME HIZI	0-6 tur/dk	5,5 tur/dk	2,1 - 3,2 tur/dk
KAFANIN TAHRİKİ	HİDROLİK	ELEKTRİK	ELEKTRİK
KAFAYA VERİLEN GÜÇ	4x160kw	4 x 74 kw	6 x 110 kw
KAFA PROFİLİ	KONİK	DÜZ	DÜZ
KESİCİ ALETLER	Orta 4 Düğmeli 36 Çift Diskii	Orta 1 Üç Diskii 23 Tek Diskii	Orta 3 Çift Diskii 48 Tek Diskii
DİSK ÇAPLARI	295 - 305 mm. 300-310 mm.	279 mm.	305 mm.
KESME AÇILARI	ASİMETRİK 67° ,65° ,56° ,52°	SİMETRİK 60° ,75° ,90°	SİMETRİK 60° ,75° ,90° ,105°
KESİCİ ALET İZ ARALIĞI	54 mm. 42 mm. 49 mm.	90 mm.	80-110 mm.
DİSK BAŞINA ORTALAMA İTME GÜCÜ	4,21	101	101

(1) Nominal Uzunluk.

3. MEKANİK KAZI PARAMETRELERİ

Tam kesit ve teleskopik kollu tünel açma makınalarının gelişmeye başlaması ile beraber kazıyı ihale eden ve alan şirketlerin ve hatta araştırmacıların baş-

lica amacı bu makinelerin kazı hızının ön görülmesi olmuştur. Doğaldır ki bu konuda ve kesici alet harcamasında iyi bir öngörü ihale koşullarının daha iyi değerlendirilmesini sağlar:

Bir tam kesit tünel açma makinesinin çalışması üç gruba bağlıdır.

— Makinaya bağlı olanlar:

İtme kuvveti
Döndürme momenti
Kafanın dönme hızı.

— Özellikle kesici aletlere bağlı olanlar:

Kesici alet çeşidi
Kesme açısı
Kesici aletin arınla yaptığı açı
Kesici aletlerin iz aralıkları
Çeliğin metalografik yapısı
Aletlerin tümünün aşınma durumu.

— Kayaca bağlı olanlar.

Sertlik
Aşındırıcılık
Yoğunluk
Heterojenlik
Kütlenin jeolojik süreksizlikleri
Kütlenin sağlamlığı
Tabakaların ve şistozitenin kazı yönüne göre eğim ve doğrultusu

İlk iki grup etken ölçülebilir, değiştirilebilir ve seçimleri malzemenin dayanıklılığına ve imalat masrafına bağlıdır. Ancak üçüncü grup etken, yani kayalara bağlı olanlar, değiştirilemez ve uymaktan başka çare olmayan yeraltı mekanik kazılarının temel verilerini oluştururlar

Kayacın nitelikleri arasında makinenin kazı hızını en çok etkileyen ve sertlik ile ölçülen kayacın mekanik direncidir. Çeşitli ülkelerde, bireysel kesici aletler üzerinde laboratuvar araştırması yapan birçok yazar, alet üzerine verilecek itme yükünün kayaç direncine orantılı olarak arttığını göstermişlerdir.

Diğer taraftan kayaçların aşındırıcılığı kesici aletleri aşındırıp etkinliğini azaltarak, yoğunluk ve heterojenlik makinenin çalışma düzenini etkileyerek, kayacın sertliğinin etkisine katılırlar.

Fay ve milonitli bölgeler, büyük çatlaklar, kayan veya göçen bölgeler gibi jeolojik süreksizlikler de makinenin hızını azaltarak veya tamamen engelleyerek şantiyenin düzenli gidişini aksatırlar.

4. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Tünel açma makinalarının şantiye araştırmaları belirli yöntemlere bağlıdır. Bu yöntemler, özellikle, mümkün olduğu kadar şantiyeyi rahatsız etmemelidir. Zira deneysel olmayan bir şantiyede araştırmacı, her zaman rahatsız eden ve yaptıklarının yararı hemen görülmediği içinde gereksiz fakat gene de kibar davranılmaya çalışılan bir kişidir.

Bu yöntemler:

1. Toplu istatistik değerlendirme yöntemi
2. Seçimli istatistik değerlendirme yöntemi
3. Makina üzerinde direk deneyler
4. Özel bir konunun —kesici aletlerin aşınmaları— analitik incelenmesi.

4.1. TOPLU İSTATİSTİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

Toplu istatistik değerlendirme yöntemi şantiyenin tümü veya kazılmış çeşitli tipteki kayaçlar için kazı parametrelerinin ve özellikle ilerleme hızı, itme gücü ve döndürme momentinin dağılımlarını ve aralarındaki ilişkiyi, eldeki bilgiyi daha önce bir seçime tabi tutmadan, verir. Diğer taraftan bazı gizli parametreleri örneğin makinistin etkisi gibi parametreleri ortaya çıkarır.

Bu yöntem için bilgiler iyi düzenlenmiş şantiye raporlarında kolaylıkla elde edilirler ve bilgi sayarda çeşitli istatistik programlarıyla değerlendirilirler.

örnek olarak Fransız Alplerinde WIRTH tünel açma makinası ile kazılmakta olan 6 m. çaplı Beiledonne tünelinin değerlendirdiğimiz 6200 m'si tablo 2 de verilmektedir.

TABLO 2

BELLEDONNE GALERİSİ 6220 m.LİK BÖLÜMÜNDE KAZI PARAMETRELERİNİN DAĞILIMI

Parametre	Vardiya Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Zaman Dağılımı %
Örtü Kalınlığı (m)	1053	519,02	233,51	2,00	1070,00	

Su Geliri (D)	8	103,25	69,25	10,00	184,00	
Vardiyada İlerleme (m)	997	6,24	3,12	0,10	14,00	
Günde İlerleme (m)	634	17,63	7,91	1,30	35,40	
Ortalama Hız (m/saat)	994	1,3?	0,44	0,15	2,78	
Kafa Dön- me Hızı (tur/dk)	995	5,86	0,52	2,00	6,00	
İtme Gücü (t)	977	269,21	69,57	5,00	330,00	
Döndürme Momenti (txm)	994	46,28	8,73	10,00	60,00	
Çalışma Süresi (saat)	998	4,69	2,06	0,36	7,75	55,50
Kullanma Katsayısı*				0,56	0,59	
Tahkimat Süresi (saat)	244	3,85	1,75	0,16	8,00	11,14
Kazısız Yürüme Süresi (saat)	971	0,58	0,59	0,08	8,00	6,60
Arızalar (saat)	28	2,15	2,41	0,16	8,00	0,71

Kafanın De- netimi ve Ke- sici alet değiştirilmesi Süresi (saat)	296	3,53	1,74	0,16	8,00	12,40
Bakım Süresi (saat)	8	3,50	2,80	0,16	8,00	0,33
Diğer Dur- ma Süreleri (saat)	675	1,67	2,06	0,07	8,00	13,32

Not: Süreler ondalık saat olarak verilmiştir.

(*) Birinci değer çalışma süresinin toplam vardiya süresine olan oranı, ikinci değer ise çalışma süresinin toplam kazı vardiyaları süresine olan oranıdır.

Kazılan kayaçların büyük bir kısmı (5100 m) dirençten" 1000-1500 bar olan kristalen şistlerdir. Geri kalan kısım ise, kalker, dolomitlik kalker, arkoz, anhidrit, kumtaşı gibi kayaçlardan oluşmaktadır. Tabloda, incelenen parametrenin görüldüğü vardiya sayısı, ortalama değeri ve standart sapması ile en az ve en yüksek değeri verilmektedir. Son sütunda ise yüzde olarak zaman dağılımı görülmektedir. Burada dikkati çeken en önemli iki noktadan biri makinanın, dirençleri 300-1500 bar arasında değişen kayaçlarda, ortalama 1,37 m/saat hız ile kazması, ikincisi ise makinanın kullanma katsayısının yani kazı zamanının vardiya süresine oranı 0,56 gibi yüksek bir değer göstermesidir.

Bu tür değerlendirme çeşitli tüneller ve kazılan çeşitli kayaçlar için ayrı ayrı yapılmıştır.

$$V_{ort} = \frac{C_{ort} \cdot V_R}{P} \quad n.r. \quad \text{eleri arasındaki ilişki ise,}$$

şeklinde bulunmuştur. Burada:

V_{ort} = ortalama hız (m/saat)
 c_{ort} = ortalama döndürme momenti (txm)
 v_R = kafanın dönme hızı (tur/dk)
 F_{moy} = ortalama itme gücü (t)
 n = 968 (alınan örnekteki eleman sayısı)
 r = 0,8 (bağıntı katsayısı)
dır.

İtme gücünün hız ile ters orantılı olması gerçeğe uygun değildir. Yani makinanın kesici kafası ne kadar az kuvvet ile itilirse o kadar hızlı ilerleme elde edilir şeklinde bir *yorum* geçersizdir. Bu durumu kayaç direnci ve makinist parametreleri ile açıklamaktayız:

Makina yumuşak kabul edilen kayaçta ilerlediği zaman makinist itme gücünü, döndürme momenti çok fazla artmasın diye azaltır; fakat hız yine yüksektir. Aksine çok sert kayaçta makina itme gücü sınırına eriştiği zaman kayacın sertliğinin artması, itme gücünün yüksekliğine rağmen, hızı azaltır. Görüldüğü gibi bu üç parametre ilerleme hızı değişimlerinin % 64'ünü açıklamaktadır.

Bu yöntemin yararları şunlardır:

- Olayların etraflı anlatımını sağlar
- Ölçülemeyen parametreleri hesaba katar (makina kullanma şekli gibi)
- Şantiyenin çalışmasını rahatsız etmez
- Gelecekte yapılacak işler için büyük bir bilgi kaynağı verir.

Sakıncalar ise

- Kör bir yöntemdir
- Sapmalar ve dağılımlar büyüktür
- Pasiftir (gözlemler ve çalışmalar bittikten sonra açıklama getirir).

4.2. SEÇİMLİ İSTATİSTİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

Tünel açma makinasının çalışma parametreleri ve kayaçların karakteristikleri arasındaki ilişkilere daha iyi yaklaşmak için bu yöntem kullanılır. İncelenen galeride belirli kriterlere göre kayaç test bölgeleri seçilir ve ya yerinde, ya da küçük kayaç parçalarına uygulanabilen, kolay kayaç sertlik testleri yapılır.

İncelenebilecek, çok çeşitli parametre ilişkileri arasından örnek olarak yalnız galeri içinde sertlik ölçen sklerometre ile ilgili sonucu vereceğiz. Makina ve kayaç parametreleri arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi ortaya konmuştur:

$$V_i = 3,65 \frac{C^{1,73}}{P \cdot D} \quad \text{n.r burada}$$

- V_j = ani hız (m/saat)
 C = ani döndürme momenti (txm)
 P = ani itme gücü (t)
 D = kayaç sertliği (sklerometrik birim)
 n = 29 (örnek eleman sayısı)
 r = 0,821 (bağıntı katsayısı)

Görülüyor ki itme gücü gene paydadadır ve kayaç sertliği ise hız ile ters orantılıdır. Kayaç parametrelerinden biri hesaba girdiğinde ilerleme hızının değişiminin % 64'ü açıklanmıştır.

Bu yöntemde diğeri gibi pasiftir ve ancak hazır bilgilerle tamamen rastsal Örneklere uygulanır. Yararları ise sapmaları azaltır ve şantiye çalışmasını rahatsız etmez.

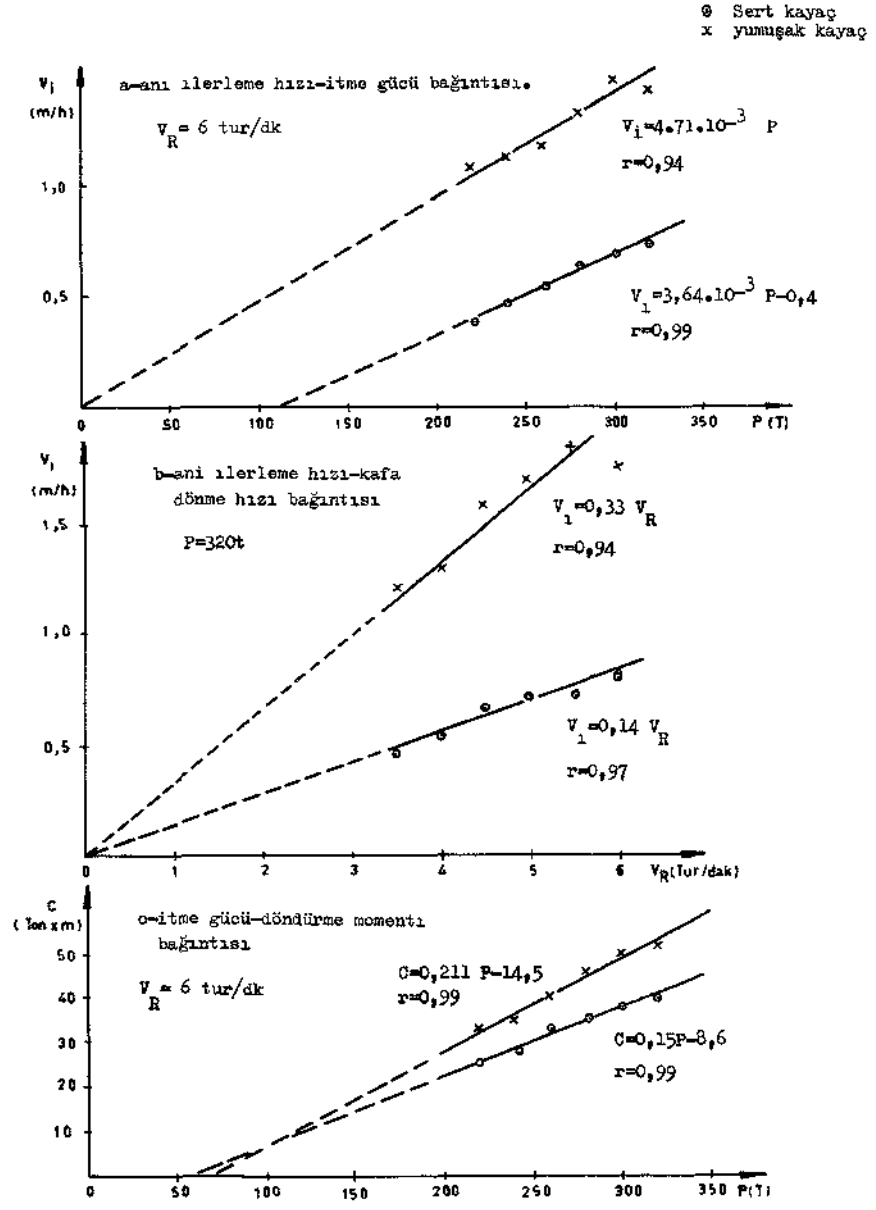
4.3. MAKİNA ÜZERİNDE DİREK DENEYLER

Yukarıda açıklanan iki yöntemin sakıncaları ortadan kaldırmak ve yaklaşık çözüm getirilen problemlere kesin yanıtlar verebilmek için tünel açma makinaları üzerinde direk deneyler gerçekleştirmek zorunludur. Bu konuda iki tip deney gerçekleştirdik. Birincisi makina çalışma parametrelerinden bazılarını sabit tutup diğerlerinin değiştirilmesi ve ölçülmesi ikincisi ise kesici aletlerin gerçek çalışma koşullarında aldıkları yüklerin ölçülmesi.

Birinci tip deney bir anlamda makinistin yerini araştırmacının almasıdır. Deneyin koşullarını ayrıntılı olarak açıklamaktan sakınıp yalnızca sonuçlardan bazılarını vermekle yetineceğiz:

Şekil. 3'de makinanın çalışma parametreleri arasındaki bağıntılar görülmektedir. Bu parametrelerin sistematik her artışında hız da artmaktadır. Diğer bir önemli sonuç ise kayacın sertliğinin etkisidir. Sertliğin etsiki bağıntı doğrularının yer değiştirmelerinde görülmektedir.

İkinci tip deneyde bir kesici aletin eksen gerilim ölçme dirençleriyle donatılmış ve amplifikatör ve kayıt cihazlarıyla, paralel olarak, eksen üzerine gelen



ŞEKİL 3: WIRTH tünel açma maki naşının çalışma parametreleri arasındaki bağıntılar. (Belledonne galerisi kristalen şistlerinde)

kesme ve itme kuvvetleri, zaman, makinanın ilerleme hızı ve itme gücü kaydedilmiştir. Bu deney iki yönden ilginçtir:

Bir taraftan kesici aletin gerçek şantiye koşullarında nasıl çalıştığı görülmüş diğer taraftan ise laboratuvar deney sonuçlarıyla bağlantı sağlanmıştır.

Önemli sonuçlardan bazılarını şöyle sıralayabiliriz:

— Eksen üzerine gelen kuvvetin ölçebildiğimiz itme ve kesme bileşenleri birbirlerine artan bir bağıntı ile bağlıdır.

— Bu kuvvetler, sıfır değeri ile hesaplanan ortalama değer iki katı arasında, kesici aletin kafa merkezinden uzaklığına orantılı olarak yüksek sayılabilen bir frekansla, değişmektedirler.

— Kesici aletler izlerini iz aralarındaki dişler kırılıncaya kadar derinleştirilmektedirler.

Kesici aletlerin aşınmalarının analizi gibi özel bir konuyu başlı başına bir araştırma konusu olduğu için buraya almayacağız.

5. SONUÇ

Tam kesit tünel açma makinaiarı çapları 3 m ile 10 m arasında değişen metro, demiryolu ve otoyol tünelleri, uzun yeraltı hazırlık galerilerinde başarılı olarak kullanılmaktadırlar. Elde edilen ilerlemelerin yüksek oluşu (günde 35 m'ye kadar) ve kazının emniyetli ve ekonomik oluşu ilk yatırım masraflarının ağırlığını doğrulamaktadır. Ancak gevşek arazide makinanın kendini iyi demirleyememesi, kafanın hemen arkasını tahkim zorluğu, büyük faylardan kolay kurtulmayıp bazan yan galeri açılarak makinanın faydan kurtarılma zorunluğu ve özellikle yeraltında kazı tamamlandığı zaman sökülüp taşınması gereği bu tür kazı makinalarının sakıncalarının tamamı olarak sayılabilir.

KAYNAK

Süha NİZAMOĞLU: Contribution a l'etude de fonctionnement des tunneliers "pleine section" et analyse de l'usage de leurs outils de coupe.

Doktora tezi. Institut National Polytechnique de Lorraine. Ecole Nationale Supérieure de la Metallurgie et de l'Industrie des Mines de Nancy. Nancy 6 Mart 1978

