

Kömür Rezerv Tahmininde Variogram Etki Mesafesinin Önemi

The Importance of the Variogram Range in Coal Reserve Estimation

Ercüment YALÇINO

ÖZET

Kriging metoduyla yapılan kömür kalınlık ve rezerv tahminlerinin doğruluğu, kullanılan numune sayısına ve variogram modelinin parametrelerine bağlıdır. Bazı durumlarda variogram modelinin sili ve külçe etkisi değerleri kolaylıkla bulunurken etki mesafesini bulmak zor olabilir. Bu çalışmada, küresel tip variogram modelinin parametrelerinden birisi olan etki mesafesinin kömür kalınlık ve rezerv tahminlerine etkisi araştırılmıştır.

ABSTRACT

The accuracy of the estimation of coal thickness and reserve by kriging method depends on the number of samples used and the parameters of the variogram. In some cases, it is relatively easy to estimate the sill and nugget effect on the underlying variogram whereas the estimation of the range may not be easy. In this study, the effect of the range which is one of the parameters of the spherical type variogram model on the estimation of coal thickness and reserve was determined.

(*) Doç. Dr., D.E.U. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., İZMİR

1.GİRİŞ

Jeoistatistik, kömür ya da cevher rezervlerini tahmin etmede kullanılan teknikler seridir. Klasik istatistikte, hesaplamalarda kullanılan değişkenler birbirinden bağımsız kabul edilirken jeoistatistikte, sahadan alınan numuneler arasında, aradaki mesafeye bağlı olarak belirli bir ilişkinin olduğu kabul edilmektedir. Bu durum, jeostatistiği klasik istatistikten ayıran en önemli özelliktir. Numune noktaları birbirine çok yakın ise alınan numune değerleri birbirine çok yakın, uzak olması durumunda ya da "değişkenin etki mesafesi" olarak tanımlanmaktadır (Kim ve Knudsen, 1977). Numuneler arasında ilişkiyi gösteren fonksiyon "variogram fonksiyonu" ya da kısaca "variogram" olarak bilinmekte ve jeostatistiksel bir tahmin yöntemi olan kriging metodunda kullanılmaktadır.

Kriging methoduyla kömür sahasında oluşturulan blokların kömür kalınlıklarının gerçek değerlere çok yakın tahmin edilmesi, sahadan alınan numune sayısına, seçilen kriging planına ve tahmin sırasında kullanılan variogram modelinin ve parametrelerinin doğruluk derecesine bağlıdır (Broker, 1986; Chaouai ve Fytas, 1991). Sahadan alınan numune sayısının yetersiz olması ya da hesaplanan variogram değerlerinin iyi sonuçlar vermemesi nedeniyle, variogram modelinin parametrelerinden birisi olan "etki mesafesi" tam olarak bulunamamaktadır. Bu durum, yapılan kömür kalınlık ve rezerv tahmininin doğruluk derecesini etkilemektedir. Bu çalışmada, Sivas-Kangal-Kalburçayın kömür sahasındaki üst damara alt sondaj verileri kullanılarak, variog-

ram etki mesafesinin kömür kalınlık ve rezerv taminine etkisi araştırılmıştır.

2. VARIOGRAM

Jeoistatistiğin temelini variogram oluşturmaktadır. Numuneler arasındaki ilişkiyi göstermekte ve cevher yatağının mineralojik yapısı hakkında bilgi vermektedir. Variogram, belirli aralıktaki numune değerlerinin ortalama farklarını gösteren bir grafik gösterimdir. Diğer bir deyişle variogram, bir cevher yatağında tenorun uzaklıkla nasıl değiştiğini gösteren bir eğridir ve aşağıdaki eşitlik ile gösterilir (Royle, 1979; Royle, 1982).

$$(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [f(x_2+h)]^2$$

Burada (h) : varyans,

h : numune çifti arasında uzaklık, m.

f(x₂): x₂ noktasında değişken değeri,

f(x₂+h): x₂ noktasında h uzaklıktaki diğer bir noktanın değişken çift sayısıdır.

N : Numune çift sayısıdır.

Variogramın parametreleri sili değeri (Co+C), külçe etkisi (Co) ve etki mesafesi (a) dır. Sili değeri, variogram fonksiyonunun belirli bir düzlüğe ulaştığı noktadır. Pratikte sili değeri, variogramı hesaplamak için kullanılan tüm numunelerin varyansıdır. Külçe etkisinin yüksek olması, mineralleşmenin çok zayıf bir şekilde geniş bir sahaya yayıldığını ya da numune değerlendirilmesinin kötü yapıldığını gösterir. Etki mesafesi ise, variogram fonksiyonunun düzlüğe ulaştığı uzaklıktır ve belirtilen

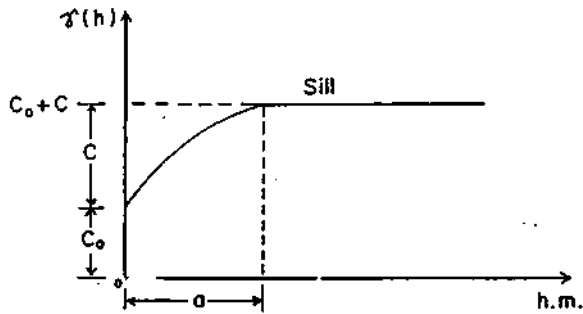
bir sondaj noktasından belirli bir uzaklıkta bulunan diğer sondaj noktalan değerlerinin o sondaj noktası değerini etkilediğini göstermektedir. Bu uzaklık etki mesafesi olarak tanımlanmak ve bu uzaklığın dışındaki sondaj noktalarının ise belirtilen sondaj noktasının değerine etkisi bulunmamaktadır (Daöid, 1977: Joumel ve Huijbregts, 1978).

Kömür ve cevher yataklarında yaygın olarak görülen ve kullanılan variogram modeli "küresel tip variogram" modelidir, (Şekil 1), ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$(h) = C_0 + C[1.5(h/a) - 0.5(h/a)^3] \quad h < a$$

$$= C_0 + C \quad h > a$$

Burada (h): varyans,
 Co: külçe etkisi,
 C: Sili değeri,
 a: etki mesafesi,
 h: uzaklıktır.

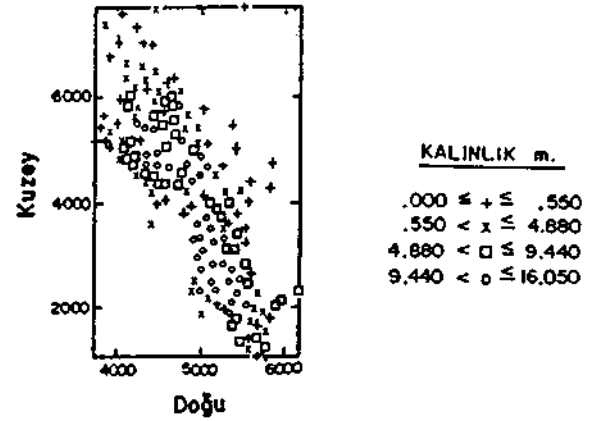


Şekil 1. Küresel tip variogram modeli

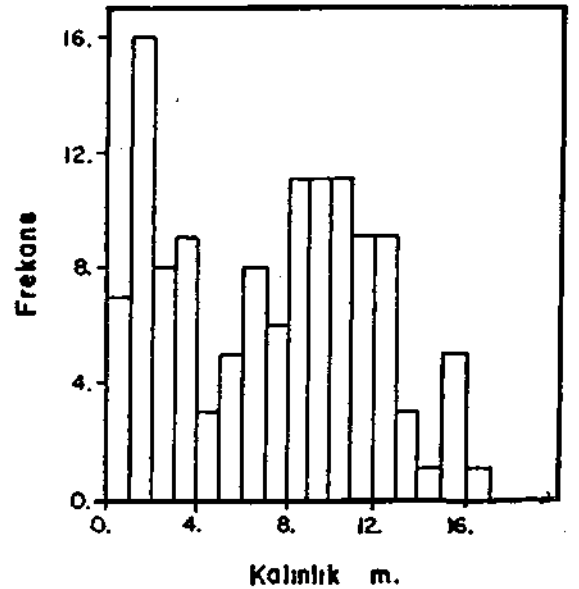
3. SONDAJ VERİLERİNİN ANALİZİ VE VARIÖGRAM MODELİNİN BULUNMASI

Kalburçayın kömür sahasında yapılan 162 adet sondaj 123 tanesi üst damarda kömür kesmiştir (MTA,

1976). Sahada yapılan sondajların lokasyonları Şekil 2'de görülmektedir, kesilen kömür kalınlıkları 0,55 m ile 16,05 m arasında değişmektedir. Ortalama kömür kalınlığı, sadece kömür kesen sondajlar göz önüne alındığında 7,265 m, bütün sondajlar göz önüne alındığında ise 5,516 m'dir. Kesilen kömür kalınlıklarının histogramı Şekil 3'de verilmiştir.

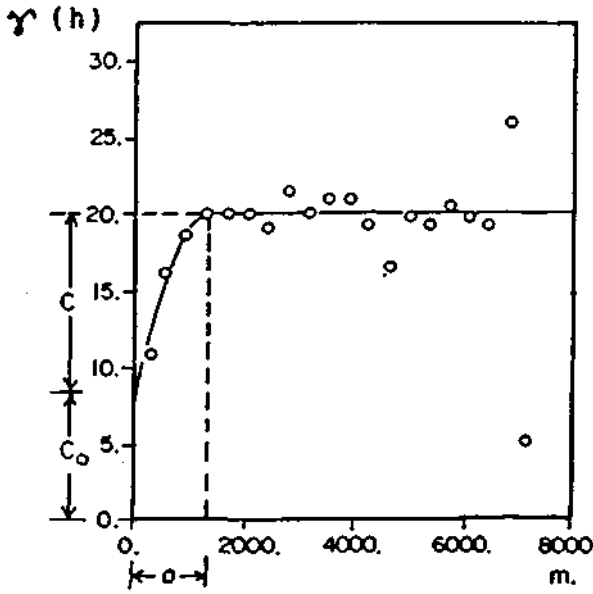


Şekil 2. Kalburçayın sahasında yapılan sondajların lokasyonları



Şekil 3. Üst damar kömür kalınlıklarının histogramı

Ust damara ait sondaj verileri kullanılarak sahanın Doğu-Batı ve Kuzey-Güney yönlerinin ortalaması olan variogram değerleri hesaplanmış ve bunun sonucunda variogram modelinin küresel tip olduğu görülmüştür. Sili değeri (C+Co), külçe değeri (Co) ve teki mesafesi (a) sırasıyla 20,2 , 8,0 ve 1300 m olarak bulunmuştur, Şekil 4.



Şekil 4. Üst damara ait variogram modeli

4. VARIÖGRAM ETKİ MESAFESİNİN KÖMÜR KALINLIK TAHMİNİNE ETKİSİ

Variogram etki mesafesinin kömür kalınlık tahminine etkisini bulmak amacıyla nokta kriging tekniği kullanılmış ve etki mesafesi 800 m den 2000 m ye kadar her defasında 100 m arttırılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve gerçek etki mesafesi olan 1300 m de elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu teknikte sondaj yapılan noktalardaki kömür kalınlık değerleri bilgisayar programına girdi olarak verilmekte

ve sırasıyla şu işlemler yapılmaktadır. Önce kömür kalınlığı bilinen noktadaki kömür kalınlığının bilinmediği kabul edilmekte ve sahaya ait variogram modeli ile çevresinde bulunan noktaların kömür kalınlık değerleri kullanılarak, bu noktanın kömür kalınlığı nokta kriging metoduyla tahmin edilmektedir. Sonra tahmin edilen kömür kalınlığı, gerçek kömür kalınlığıyla karşılaştırılmakta ve gerçek kalınlıktan tahmin edilen kalınlık çıkarılarak tahmin hatası hesaplanmaktadır. Ayrıca her nokta için kriging varyansı da bulunmaktadır. Bu işlemin bütün sondaj noktalarına uygulanmasıyla elde edilen tahmin hatalarının istatistiksel analizi yapılarak variogram etki mesafesinin kömür kalınlık tahminine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgedeki ortalama hata, artı ve eski hataların toplamının tahmin yapılan nokta sayısına bölümünden elde edilmektedir. Tahmin sırasında kullanılacak olan en fazla sondaj sayısı rastgele olarak 16 seçilmiştir.

Çizelge 1. Etki mesafesinin kömür kalınlık tahminine etkisi

Etki Mesafesi m	Ortalama Kalınlık m	Ortalama Hata m	Ortalama Kriging Standart Sapma
800	5,640	0,124	3,971
900	5,620	0,104	3,878
1000	5,606	0,090	3,801
1100	5,595	0,079	3,787
1200	5,588	0,072	3,684
1300	5,583	0,067	3,638
1400	5,579	0,063	3,598
1500	5,577	0,061	3,563
1600	5,575	0,059	3,532
1700	5,574	0,058	3,504
1800	5,574	0,058	3,479
1900	5,574	0,058	3,457
2000	5,575	0,059	3,437

Çizelge 1'de görüldüğü gibi, 800 m etki mesafesinde tahmin edilen ortalama kömür etki mesafesi arttıkça azalmakta ve durum ortalama hatada da görülmektedir. Küçük etki mesafelerinde tahmin edilen ortalama kömür kalınlıkları yüksek olmasına rağmen içerdikleri hata miktarları da yüksek olmakta ve etki mesafesi arttıkça tahminlerin içerdikleri hata miktarı azalmaktadır. Etki mesafesinin artması ortalama kriging standard sapmayı olumlu yönde etkilemekte ve standard sapma etki mesafesi arttıkça azalmaktadır.

Değişik etki mesafelerinde elde edilen değerlerin gerçek etki mesafesi olan 1300 m de elde edilen değerlerle karşılaştırılmasında ise şu sonuçlar elde edilmektedir: Kriging işleminde kullanılan etki mesafesi gerçek etki mesafesinden küçük alınmış ise, tahmin edilen kömür kalınlıkları 1300 m etki mesafesindeki kalınlık tahminlerinden fazla olmaktadır ve içerdikleri hata miktarı da yüksektir. Etki mesafesinin gerçek değerinden fazla alınmasında ise tahmin edilen kömür kalınlıkları 1300 m etki mesafesine göre biraz az tahmin edilmekte, fakat aradaki fark çok yüksektir. Özellikle 1700 m etki mesafesinden sonra yapılan kalınlık tahminlerinde herhangi bir değişiklik olmaktadır.

Gerçek kömür kalınlıklarıyla, değişik etki mesafelerinde tahmin edilen kömür kalınlıkları arasındaki ilişkiyi görmenin diğer bir yolu da doğrusal regrasyon analizidir. Değişik etki mesafelerinde tahmin edilen kömür kalınlıklarının gerçek kalınlıklara göre doğrusal regrasyon sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Değişik etki mesafelerinde elde edilen regrasyon sonuçları.

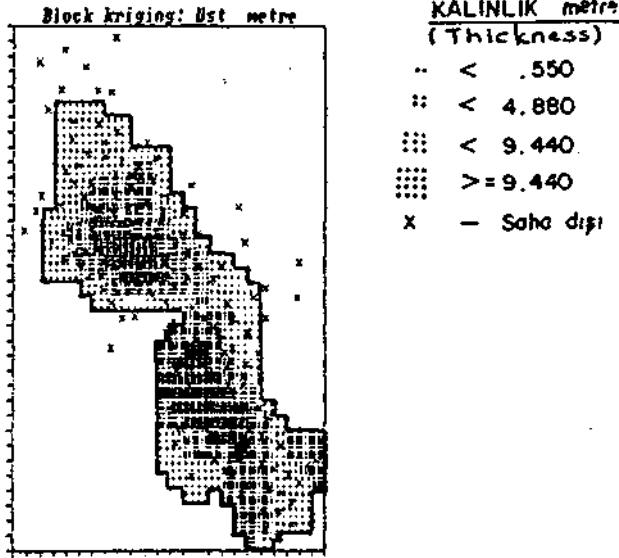
Etki Mesafesi m	Eğim	Kesim Noktası	Korrelasyon Katsayısı
800	0,525	2,745	0,759
900	0,517	2,767	0,758
1000	0,510	2,794	0,756
1100	0,503	2,822	0,753
1200	0,497	2,848	0,751
1300	0,491	2,872	0,749
1400	0,487	2,895	0,747
1500	0,482	2,917	0,745
1600	0,478	2,938	0,743
1700	0,474	2,957	0,741
1800	0,471	2,976	0,739
1900	0,468	2,993	0,737
2000	0,465	3,009	0,735

Çizelge 2'de görüldüğü gibi, etki mesafesi arttıkça regrasyon doğrusunun eğimi ve korrelasyon katsayısı azalmaktadır. Buna karşın, regrasyon doğrusunun kesim noktası ise artmaktadır. Teorik olarak regrasyon doğrusunun eğiminin ve korrelasyon katsayısının 1'e, kesim noktasının ise 0'a çok yakın olması gerekmektedir (Kim ve arkadaşları, 1987; Armstrong ve Champigny, 1989). Çizelgede en yüksek eğim ve korrelasyon katsayısı ile en düşük kesim noktası 800 m etki mesafesinde elde edilmiştir.

Çizelge 1 ve Çizelge 2'den elde edilen sonuçlar ışığında, içerdikleri hata miktarı ve kriging standard sapmasının yüksek olmasına karşın, küçük etki mesafelerinde tahmin edilen kömür kalınlıklarının arazide elde edilen gerçek kömür kalınlıklarıyla daha iyi bir uyum gösterdiği ve etki mesafesinin artmasıyla bu uyumun azaldığı sonucu çıkarılabilir.

5. VARIOGRAM ETKİ MESAFESİNİN KÖMÜR REZERV TAHMİNİNE ETKİSİ

Kriging metoduyla sahadaki kömür rezervinin hesaplanması sırasında kullanılan etki mesafesinin, kömür rezerv tahminine etkisini bulmak amacıyla saha sınırları Şekil 5'de görüldüğü gibi tesbit edilmiş ve 200 m x 200 m boyutundaki bloklara bölünmüştür. Sahada toplam olarak 285 blok yer almaktadır. Seçilen sınır dışında kalan sondajlar kömür kesmediği için sınır dışında tutulmuştur.



Şekil 5. Bloklara ayrılan saha sınırları

Blok kriging metoduyla bloklann içerdiği kömür kalınlıklarının talimini sırasında variogram parametreleri olan sili değeri 20,2, külçe değeri 8,0 olarak alınmış ve etki mesafesi ise 800 m den başlayarak her defasında 100 m arttımlar ile işlem tekrarlanmış ve Çizelge 3'de verilen sonuçlar elde

Çizelge 3. Değişik etki mesafelerinde tahmin edilen kömür rezervleri.

Etki Mesafesi	Ortalama Kalınlık	Ortalama Kriging Standart Sapması	Tahmin Edilen Rezerv
	m		Ton
800	6,11	2,061	90 574 640
900	6,10	1,980	90 364 080
1000	6,09	1,910	90 223 640
1100	6,08	1,851	90 143 040
1200	6,08	1,798	90 091 040
1300	6,08	1,753	90 060 360
1400	6,08	1,712	90 059 840
1500	6,08	1,676	90 065 040
1600	6,08	1,642	90 081 160
1700	6,08	1,612	90 100 400
1800	6,08	1,585	90 131 600
1900	6,08	1,560	90 167 480
2000	6,09	1,536	90 198 680

edilmiştir. Kriging planının bir parametresi olan kullanılacak en fazla numune sayısı 16 olarak alınmıştır. Bloklann içerdiği kömür tonajı, blok yüzey alanı ile tahmin edilen kömür kalınlığının çarpımından elde edilen sonucun kömür yoğunluğu ile çarpımından elde edilmiştir. Kalburçayın kömür sahası için kömür yoğunluğu 1,3 Ton/m³ olarak alınmıştır (MTA, 1976).

Çizelge 3'de görüldüğü gibi, ortalama blok kömür kalınlığı 800 m etki mesafesinde 6,11 m olmakta, 1100 m etki mesafesine gelindiğinde 6,08 m ye düşmekte ve daha sonraki etki mesafelerinde değişmemektedir. buna karşın ortalama kriging standard sapması Çizelge 1'de olduğu gibi etki mesafesi arttıkça azalmaktadır. Sahadaki kömür rezervi ise 800 m etki mesafesinde 90 574 640 ton olarak tahmin edilmekte, etki mesafesi 1400 m oluncaya kadar tahmin edilen rezerv miktan azalmakta ve bu mesafede 90 059 840 ton olmaktadır. Bu mesafeden sonra ise, tahmin edilen rezerv tekrar artmaya başlamakta ve 2000 m etki mesafe-

sinde 90 198 680 ton olarak tahmin edilmektedir. Kriging işleminde kullanılan etki mesafesi, sahanın gerçek etki mesafesi olan 1300 m den çok küçük ya da çok büyük alınması durumunda, tahmin edilen kömür rezervi hata içermekte ve gerçek rezerv olan 90 060 360 ton'dan yüksek çıkmaktadır.

6. SONUÇ

Kriging metoduyla yapılan kömür rezerv tahminlerinin doğruluğu, sahadan alınan numune sayısına ve özellikle sahanın mineralojik yapısının çok iyi bilinmesine bağlıdır. Bu da ancak bulunmasıyla mümkündür. Variogram parametreleri olan sili ve külçe etkisi değerlerinin gerçek değerler olmasına karşın, etki mesafesinin gerçek değerden farklı olması durumunda aşağıda belirtilen sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Etki mesafesinin gerçek değerinden küçük alınması durumunda yapılan tahminlerin kriging standard sapması yüksek olmakta ve bu nedenle içerdikleri hata miktarları da yüksek olmaktadır.

Etki mesafesinin gerçek değerinden büyük alınması durumunda yapılan tahminler, etki mesafesinin küçük alınması durumuna göre daha az etkilenmekte ve içerdikleri hata miktarı daha az olmaktadır.

Etki mesafesinin gerçek değerinden küçük ya da büyük olması durumunda yapılan kömür rezerv tahminleri, gerçek rezervden fazla bulunmaktadır.

Uzun vadeli kömür üretim plan-

larının gerçekleşmesi, planlama sırasında eldeki bilgilerin ve özellikle sahanın değişik bölgelerindeki kömür kalınlıkların tahmininin doğru olmasına bağlıdır. Bu nedenle, sahaya ait variogram modelinin ve parametrelerinin bulunma sırasında gereken hassasiyet gösterilmeli ve kriging işleminde gerçek değerler kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR:

ARMSTRONG, M. ve CHAMPIGNY, N., 1989 "A study on kriging small blocks", CIM Bulletin, Vol. 82, No 923, s. 128-133.

BROOKER, P. I., 1986, " A parametric study of robustness of kriging variance as a function of range and relative nugget effect for spherical semivariograms", Math. Geol., Vol. 18, No 5, s. 447-488.

CHAOUI, N. E. ve FYTAS, K., 1991, "A sensitivity analysis of search distance and number of samples in indicator kriging", CIM Bulletin, Vol. 84, No 948, s. 37-43

DAVID, M., 1977, "Geostatistical ore reserve estimation", Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 364 s.

JOURNEL, A ve HUIJBREGHTS, C.J., 1978, "Mining geostatistics", Academic Press, London, 600 s.
MTA, 1976, "Sivas-Kangal kömür yatağı fizibilite araştırma raporu". Cilt 2, Rezerv, 31 s.

KİM Y.C. ve KNUDSEN, H.P., 1977, "Geostatistical ore reserve estimation for a roll-front type Uranium deposit". (Practitioner's Guide), GJBX-3(77). U.S. Dep. of Energy Res. and Dev. Administration, 51 s.

KİM, Y.C. MEDHI, P.K. ve RADITIS, I.S., 1977 "Performance evaluation of indicator kriging in a gold deposit", Min. Eng., Vol 39, s. 947-952.

ROYLE, A.S., 1979, "Estimating small blocks of ore. How to do it with confidence". World Mining, Vol. 32, April, s. 55-57.

ROYLE, A.G., 1982, "Using geostatistics to estimate coal reserves". World Coal, Vol. 8, May, s. 93-94.

CAN ŞİRKETLER GRUBU

CAN HAFRİYAT -MÜNİP ÇÖKER

CANEL MADENCİLİK A.Ş.

CANT AŞ MADENCİLİK A.Ş.

CANNÂK TAŞIMACILIK A.Ş.

CAN PETROL A.Ş.

CANMER MERMER SAN A.Ş.

Gümüş Pala Mah. Zabit Sok. No: 1/1

34850 AVCILAR - İSTANBUL

Tel : 0 (212) 593 14 83 - 593 18 75 - 509 45 41 - 593 18 76

Fax .0(212)593 2199