



Tümsel rezerv kestiriminde güven sınırlarının blok bootstrap ile belirlenmesi

Construction of confidence limits for global reserve estimates by means of block bootstrap

A. Erhan TERCAN

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, ANKARA

ÖZ

Tümsel kestirim işlemi, bir maden yatağını değerlendirmenin ilk ve en önemli adımıdır. Kestirime ilişkin güven sınırlarının belirlenmesi, bu işlemin en zor aşamasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, güvenilirliği değerlendirmek amacıyla blok bootstrap yöntemi esas alınmıştır. Yöntem, Kangal (Kalburçayırı) linyit yatağı kalınlık ve kalite değişkenlerine (ısı değer, kül) uygulanmıştır. Bu amaçla, 5 farklı blok büyüklüğü dikkate alınmış ve üç değişkenin tümsel ortalamalarına ilişkin %95 güven sınırları, her bir blok büyüklüğü için belirlenmiştir. Sonuçlar, uzaklığa bağlı ilişki yüksek olduğunda, güven aralıklarının artan blok büyüklüğü ile genişlediğini göstermektedir. Bununla birlikte, uzaklığa bağlı ilişki düşük olduğunda aralıkların genişliği blok büyüklüğündeki artıştan etkilenmemektedir. Çokgen yaklaşımının, bootstrap yöntemlerinden daha kısa aralıklar ürettiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bootstrap, güven aralıkları, jeostatistik, kestirim varyansı.

ABSTRACT

Global estimation is the first and most important step of evaluating a mineral deposit. Construction of confidence limits for estimates constitutes the most difficult stage of this procedure. In this study, block bootstrap method is considered in estimating the confidence limits. The method was applied to coal quality variables (calorific value and ash) and thickness of the Kalburçayırı lignite deposit at Kangal. For this purpose, 5 block sizes were considered. The 95 % confidence limits for the global averages of the three variables were constructed by block bootstrap for each block size. The results indicate that when spatial correlation is high, as block size increases the intervals get wider while they do not change when the spatial correlation is low. It is observed that polygonal method produces shorter intervals than the bootstrap methods do.

Key words: Bootstrap, confidence intervals, geostatistics, estimation variance.

GİRİŞ

Tümsel rezerv kestirimi, bütün bir maden yatağı için cevher miktarı ve ortalama tenörün hesaplanması, bunların doğruluk derecesinin belirlendiği işlemlerdir. Bu tür çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bir maden yatağını işletmeye açmak, ya da üretimin devam ettiği bir maden işletmesine

ilişkin yeni yatırımlara yön vermek amacıyla kullanılır. Bu açıdan tümsel kestirimlerin, bir maden yatağını değerlendirmenin ilk ve en önemli adımı olduğu söylenebilir. Gerçekte doğru hesaplanmayan rezervler, maden yatağının hatalı bir şekilde işletmeye alınmasına, sermaye kaybına, ya da ekonomik olduğu halde işletilmemesi gibi bir karara varılmasına yol açabilir.

Tümsel rezerv kestirimi, rezerv ve ortalama tenör hesabına ilişkin bir yöntemin (kestiricinin) belirlenmesi, bu yöntemle göre tümsel değerin hesaplanması (kestirimi) ve hesaplanan (kestirim) değerin ne kadar güvenilir olduğunun belirlenmesi adımlarından oluşur. Güvenilirlik, kestirim değerinin standard hatasını hesaplayarak, ya da bilinmeyen tümsel değere ilişkin güven aralıkları oluşturularak incelenir. Güvenilirliği değerlendirme, tümsel değeri kestirmekten daha zor bir işlem olup, bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır.

Literatürde tümsel kestirimlerin gerçeğe yakınlık derecesinin belirlenmesine yönelik çalışmalar incelendiğinde, daha çok jeostatistiksel tekniklerin kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, çokgen yaklaşımı yöntemi (Journal ve Huijbregts, 1981; Buxton, 1989; Tercan, 1998), tümsel krigleme (Journal ve Huijbregts, 1981; Isaaks ve Srivastava, 1989) ve blok krigleme yaklaşımı (Crozel ve David; 1985) bunlar arasında sayılabilir. Bu yaklaşımların hepsi, güvenilirliğin bir ölçütü olarak kestirim hata varyansını kullanmaktadır. Bununla birlikte, hata varyansı (eğer kestirim yöntemi olarak krigleme kullanılıyorsa krigleme varyansı) veri değerlerine bağlı değildir ve aynı zamanda hataların dağılımına ilişkin pratikte mümkün gözükmeyen çok sayıda varsayımın doğrulanmasını gerektirir. Bu sakıncaların giderilmesi yönünde bir çalışma Adisoma ve Hester (1996) tarafında yapılmıştır. Bu araştırmacılar, jackknife (Tukey, 1958) ile blok krigleme yöntemlerini birleştiren bir yöntem önermişlerdir. Ancak, yöntem karmaşık ve kullandığı bazı varsayımların doğruluğu açısından kuşku içermetedir. Örneğin, yaklaşım, blok krigleme ile elde edilen ortalama kestirim değerlerinin normal bir dağılım izlediğini varsaymaktadır. Ancak, veriler çarpık bir dağılım sergilediğinde kestirim değerlerinin dağılımı normallikten sapa gösterebilir.

Blok bootstrap (Politis ve Romano, 1994; Lahiri, 1999), veriler uzaklığa bağlı bir ilişki gösterdiğinde, kestirim değerinin doğruluk derecesini değerlendirmede kullanılan veri temelli bir benzetim yöntemidir. Bu çalışmada ise, önceki yaklaşımlara göre anlaşılması daha kolay olan ve verilerin dağılımı ile ilgili hiçbir varsayım gerektirmeyen blok bootstrap yöntemi göz önüne alınmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında bootstrap ve blok bootstrap yöntemlerine değinilmiş, daha

sonra yöntem Sivas-Kangal linyit yatağına uygulanmıştır. Tümsel değişkenler olarak kalınlık, ısı değer ve kül dikkate alınmıştır. Bootstrap ile elde edilen sonuçlar, çokgen yaklaşımı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, tümsel kestirime ilişkin güven aralıklarının incelenen değişkenin uzaklığa bağlı değişimlerine ve seçilen blok büyüklüğüne bağlı olduğunu ve ayrıca bootstrap yönteminin çokgen yaklaşımından daha geniş aralıklar ürettiğini göstermiştir.

BOOTSTRAP

Sözlük anlamı “kendi işini kendi görmek” olan bootstrap terimi “kendi kendini kurtarmak” deyiminden gelmektedir (Efron ve Tibshirani, 1993). Bootstrap, ilk kez Efron (1979) tarafından ortaya atılmıştır. Temel amaç, kestirim değerinin örneklem dağılımını elde edip, bu dağılım esas alınarak bilinmeyen tümsel değerin belirsizliğini incelemektir. Bootstrap ile ortalamanın örneklem dağılımının nasıl elde edildiği en iyi, bir örnek ile açıklanabilir. Çizelge 1, bu amaçla tasarlanmıştır. [2, 5, 8, 9, 7, 6, 3, 10 ve 4]'den ibaret 9 adet değer, mevcut verileri oluşturmaktadır. İlk olarak bu veri setinden yerine koymak suretiyle ve rastgele bir şekilde mevcut veri sayısı kadar veri çekilir. Çizelge 1'deki ikinci kolon çekilen 9 adet veriyi göstermektedir. Bu veriler, birinci bootstrap örneklemini oluşturmaktadır. Daha sonra bu örneklemin ortalaması hesaplanır. Çizelge 1'deki son satır hesaplanan ortalama değerleri göstermektedir. Sonraki adımda yine yerine koymak suretiyle (9 adet veriden ibaret) ikinci bir bootstrap örneklemini çekilir ve bu örneklemin ortalama değeri hesaplanır. Çizelge 2'deki üçüncü kolon, ikinci bootstrap örneklemini göstermektedir. Örneklem çekme ve bu örnek-

Çizelge 1. Bootstrap ile örnekleme.
Table 1. Sampling by bootstrap.

Mevcut veriler	Bootstrap örneklemleri		
	# 1	# 2	# 3
2	9	3	8
5	8	5	7
8	6	5	10
9	9	7	7
7	3	8	5
6	7	2	6
3	7	5	4
10	4	6	4
4	2	6	9
Ortalama	6.1	5.2	6.7

Çizelge 2. Blok bootstrap ile örnekleme.
Table 2. Sampling by block bootstrap.

Mevcut veriler	Bootstrap örneklemleri		
	# 1	# 2	# 3
2	9	3	2
5	7	10	5
8	6	4	8
9	2	9	3
7	5	7	10
6	8	6	4
3	2	2	3
10	5	5	10
4	8	8	4
Ortalama	5.8	6.0	5.4

lemden ortalama hesaplama işlemi n kez tekrarlanır. Çizelge 1’de bu işlem üç kez tekrarlanmıştır. Bootstrap örneklemlerinden hesaplanan n adet ortalama, ortalamanın örneklem dağılımını oluşturur. Bootstrap örnekleminde hesaplanan ortalama değer, bootstrap yinelenmesi olarak adlandırılır. Örnekleme işlemi, yerine koyma suretiyle ve rastgele yapıldığından her bir bootstrap örnekleme, mevcut verilerin farklı bir kombinasyonundan oluşur. Dolayısıyla bir bootstrap örnekleme bir veri değerini hiç içermezken, diğerleri bir, iki ya da daha çok kez içerebilir. Çizelge 1’de verilen örnekte birinci bootstrap örnekleminde 5 değeri hiç içerilmezken, ikincisinde üç, üçüncüde ise bir defa yer almıştır. Örnekleme dağılımı bilindiğinde, ortalamanın standart hatası, ya da ortalamaya ilişkin güven aralıkları hesaplanabilir. Örneğin z_{α} , örneklem dağılımının $100 \cdot \alpha$ ıncı değerini gösteriyorsa, ortalamaya ilişkin bakışimli güven aralığı (z_{α} ve $z_{\alpha-1}$) ile verilir. Güven aralıkları oluşturulurken bootstrap yinelemelerinin sayısı 1000, standard hata hesaplanırken 100 veya 200 olarak alınır (Efron ve Tibshirani, 1993).

Bootstrap, mevcut veriler içindeki bir değer diğerleri üzerinde hiçbir etkisi olmadığını, diğer bir deyişle ilişkisiz olduğunu varsayar. Bununla birlikte, maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan değişkenler, uzaklığa bağlı bir ilişki gösterebilir. Örneğin, yakın örneklerin değerleri birbirine benzerken, uzaklık arttıkça örnek değerleri arasındaki benzerlik azalabilir. Örnek değerleri arasındaki farkın uzaklıkla değişimi uzaklığa bağlı ilişki olarak adlandırılır (Tercan ve Saraç, 1998). Veriler uzaklığa bağlı bir ilişki gösterdiğinde bunu dikkate alan bir yöntemin kullanılması gerekir.

BLOK BOOTSTRAP

Blok bootstrap (Lahiri,1999), veriler uzaklığa bağlı bir ilişki gösterdiğinde kullanılan bir yöntemdir. Bootstrap ile blok bootstrap yöntemlerini birbirinden ayıran tek fark blok bootstrapta örnekleme işleminin, tek tek verilerden değil, veri içeren bloklar üzerinden yapılmasıdır. Bunkaki amaç, veriler arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiyi kısmende olsa blok içinde sağlamaktır. Bootstrap yönteminde olduğu gibi, blok bootstrap ile ortalamaya ilişkin örneklem dağılımının elde edilme şekli bir örnekle açıklanmış ve bu amaçla Çizelge 2 düzenlenmiştir. Mevcut veri olarak Çizelge 1’deki 9 değer kullanılmıştır.

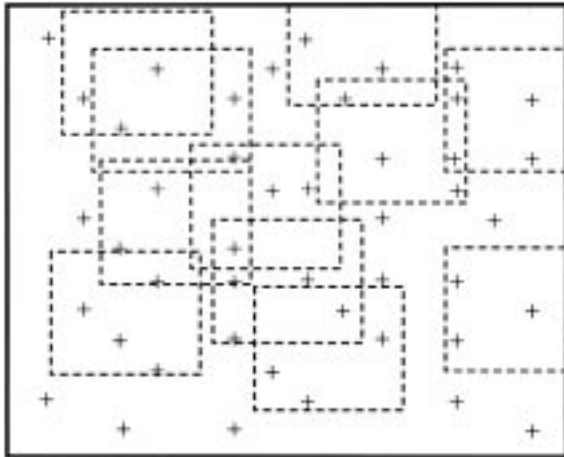
Yöntem ilk olarak bir blok uzunluğunun belirlenmesini gerektirir. Daha sonra veriler, bu uzunluğa göre bloklara ayrılır. Verilen örnekte blok uzunluğu üç olarak seçilmiştir. Bu noktada blok uzunluğu ile blok boyutunun aynı şeyler olmadığını belirtilmesi gerekir. Bootstrap terminolojisinde blok uzunluğu, blok içine düşen veri sayısı olarak alınır. Daha sonra mevcut bloklardan yerine koymak suretiyle rastgele bir şekilde bloklar çekilir. Çekilen blok sayısı, mevcut veri sayısını blok uzunluğuna bölerek hesaplanır. Örnekte veri sayısı 9 ve her bir blokta üç adet veri olduğundan 3 adet blok çekilmiştir. Birinci blok bootstrap örnekleme bu bloklardaki değerlerin arka arkaya eklenmesiyle üretilir ve daha sonra bu örneklemin ortalaması hesaplanır. Çizelge 2’deki ikinci kolon, birinci blok bootstrap örneklemini ve bundan hesaplanan ortalamayı göstermektedir. Diğer blok bootstrap örneklemleri, benzer şekilde oluşturulur. Çizelge 2’de yalnızca üç adet blok bootstrap örnekleme çekilmiştir. Birinci blok veriler (2 5 8), ilk bootstrap örnekleminde 2 kez, ikinci ve üçüncü bootstrap örneklemlerinde birer kez yer almıştır. İkinci blok veri (9 7 6) ise, üçüncü bootstrap örnekleminde hiç yer almamıştır. Son satır, blok bootstrap örneklemlerinin ortalamalarını, diğer bir ifade ile blok bootstrap yinelemelerini göstermektedir.

Blok bootstrap, zaman dizilerindeki belirsizlik problemlerinin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiştir. Bu nedenle, Çizelge 2’deki örnek bir boyutlu olarak verilmiştir. Bununla birlikte, maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan veriler (sondaj verileri), çoğu zaman iki boyutta eşit olmayan aralıklarda alındığından blok bootstrap yönteminin iki boyutu dikkate alacak şekilde rezerv kestirimine uyarlanması gerekir.

Sondajlar genellikle düzensiz aralıklarda yapıldığı için, çekilecek bloklardaki veri sayısı sabit olmayıp, bir bloktan diğerine değişim gösterecektir. Dikkate alınması gereken diğer bir konu, blokların çekilme şeklidir. Bloklar, ayırık ya da birbiri üzerine çakışacak şekilde çekilebilir. Çakışmalı çekmenin ayırık çekmeden daha iyi sonuçlar verdiği Hall (1985) ve Davison ve Hinkley (1997) tarafından gösterilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada değişken uzunluklu ve çakışmalı blok çekme yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntem, Politis ve Romano (1994) tarafından önerilen blok bootstrap yöntemine benzerlik göstermektedir. Şekil 1, önerilen yöntemin bir maden yatağındaki uygulamasını göstermektedir. Bloklar, maden yatağında rastgele konumlarda bulunmaktadır. Blokların boyutu aynı olmasına karşın, blok uzunlukları (blok içine düşen veri sayısı) değişmektedir. Ayrıca bloklar ayırık konumda değil, birbiri üstüne çakışmaktadır. Maden yatağında 45 adet cevher kesen sondaj vardır. Blok bootstrap örnekleminde yerine koymak suretiyle 11 adet blok çekilmiştir. Bu bloklar içinde toplam veri sayısı 45’ dir. Diğer blok bootstrap örneklemeleri de benzer şekilde oluşturulur. Blokları çekme işlemi, bloklar içindeki toplam veri sayısı mevcut veri sayısına eşit olduğunda bırakılır.

SİVAS-KANGAL (KALBURÇAYIRI) LİNYİT SEKTÖRÜNDE ÖRNEK BİR UYGULAMA

Kangal (Sivas) Kalburçayırı linyit sektörünün tümsel rezervi daha önce Tercan (1998) tarafın-

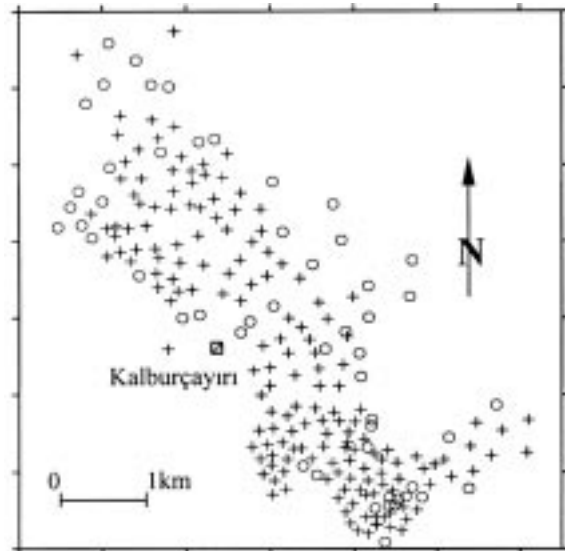


Şekil 1. Bir maden yatağının blok bootstrap ile örnekleme yöntemi ("+" cevher kesen sondaj).

Figure 1. Sampling of a mineral deposit by block bootstrap ("+" borehole intersecting the ore).

dan çokgen yaklaşımı ile kestirilmiştir. Yatak, iki adet kömür damarı içermekte olup, halen işletilmektedir. Arama ve geliştirme amacı ile sahada MTA, TKİ ve Demir Export A.Ş. tarafından toplam 224 sondaj yapılmış, bu sondajlardan 170 tanesi kömür kesmiştir (Şekil 2). Üst damara ilişkin kömür kalınlığı, ısı değer ve kül içeriği bu çalışmada kullanılan değişkenlerdir.

Blok bootstrap yöntemi, önceden optimum bir blok uzunluğunun seçimini gerektirir. Bu uzunluk, veriler arasındaki uzaklığa bağlı ilişkinin ve ayrıca veri sayısının bir fonksiyonudur. Verilerin ilişkili bulunduğu uzaklık arttıkça blok uzunluğunu da arttırmak gerekir. Optimum blok uzunluğunun belirlenmesi, yoğun araştırmaların yapıldığı bir konudur ve henüz herkesin benimsediği bir yöntem geliştirilememiştir. Bu çalışmada 5 farklı blok büyüklüğü (300 x 300m, 600 x 600m, 1200 x 1200m, 1800 x 1800m ve 2100 x 2100m) belirlenmiştir. 300 m blok büyüklüğü, sondajlar arasındaki ortalama uzaklığa karşılık gelmektedir. Diğer blok büyüklükleri keyfi olarak belirlenmiştir. Bu büyüklükteki bloklar için kömür kalınlığı, ısı değer ve kül ilişkili blok bootstrap örneklemeleri elde edilmiştir. Her bir örneklem, incelenen değişkene ilişkin veri sayısı kadar ve-

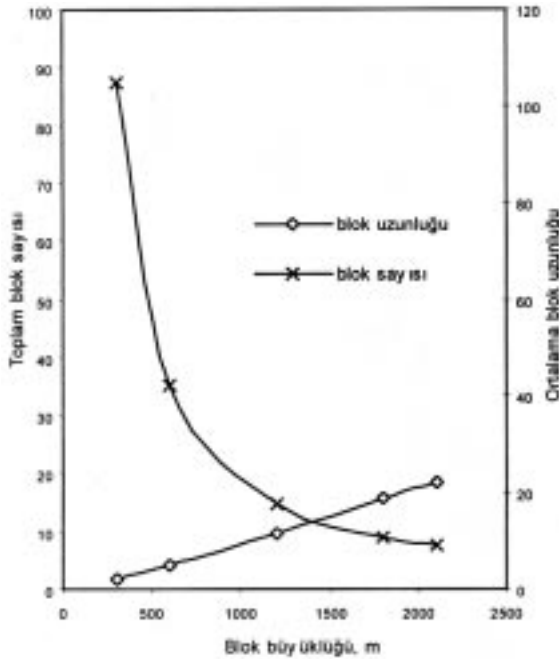


Şekil 2. Kangal (Kalburçayırı) linyit sektörü sondaj lokasyonları ("+" kömür kesen sondaj, "o" kömür kesmeyen sondaj).

Figure 2. Borehole locations of the lignite deposit at Kangal (Kalburçayırı) ("+" borehole intersecting the lignite, "o" borehole which does not intersect the lignite).

ri içermektedir. Örneğin; kalınlık için bu değer 170 iken, ısı değerinde 164 ve külde ise 124' dür. Her bir durumda 1000 adet blok bootstrap örneklemi çekilmiş ve bu örneklemelerden ortalamalar hesaplanmıştır. Isıl değer ve kül gibi kalite değişkenleri, değişik uzunluktaki karotlar üzerinde tanımlandığından hesaplamalarda doğrudan kullanılmamıştır. Bunun yerine "kalınlık x ısı değer" ve "kalınlık x kül" gibi kalınlığı esas alan değişkenler dikkate alınmıştır. Bu durumda herhangi bir kalite değişkeninin ortalaması, kalınlığı esas alan kalite değişkeninin ortalamasının, ortalama kalınlığa bölünmesiyle elde edilmiştir. Kalınlık için blok büyüklüğüne bağlı olarak ortalama blok uzunluğu ve toplam blok sayısındaki değişim, Şekil 3'de gösterilmiştir. Ortalama blok uzunluğu ve toplam blok sayıları diğer değişkenler için de belirlenmiş, ancak kalınlıktan pek farklı bir davranış sergilemedikleri için Şekil 3' de verilmemiştir. Blok boyutunun artmasıyla toplam blok sayısı azalırken ortalama blok uzunluğu artmaktadır.

İncelenen değişkenlere ilişkin tümsel ortalama değerler, mevcut verilerin ortalamalarından kestirilmiştir. Kestirilen ortalamalar kalınlık için 7.05



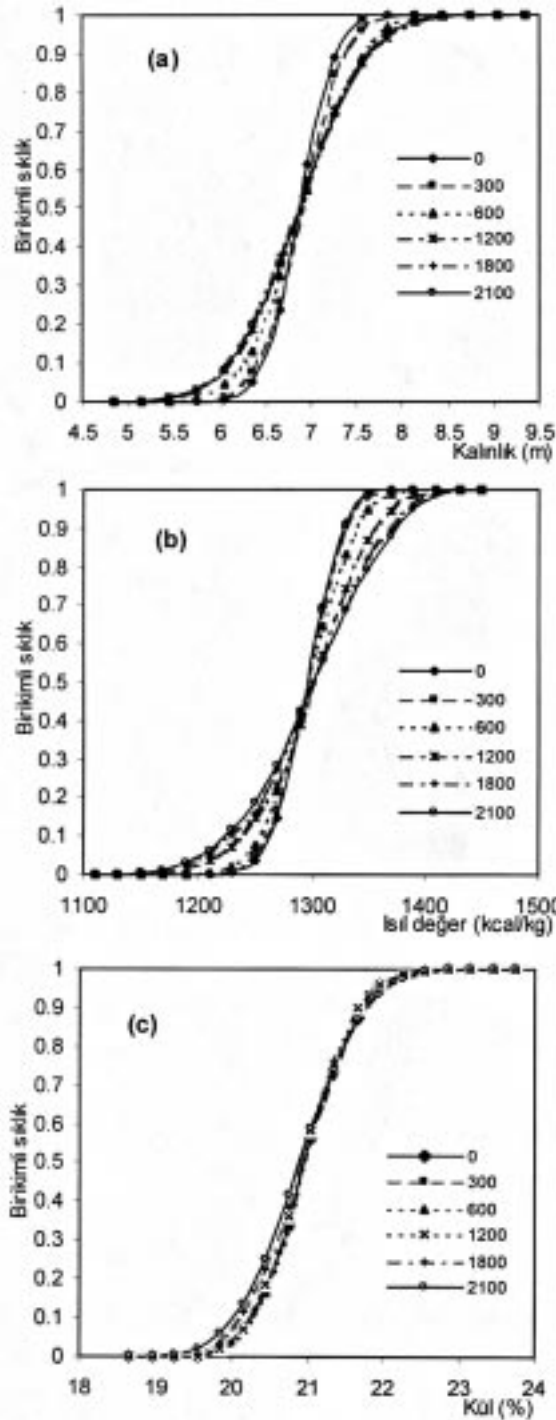
Şekil 3. Blok büyüklüğü ile toplam blok sayısı ve ortalama blok uzunluğu arasındaki ilişki.

Figure 3. Relationship between block size and the total number of blocks and average block length.

m, ısı değer için 1306 kcal/kg ve kül için % 21.12' dir. Bu değerlerin ne kadar güvenilir olduğu sorusu, tümsel ortalamaların, blok bootstrap ile elde edilen örneklem dağılımı incelenerek cevaplandırılabilir. Şekil 4, üç değişkenin her biri için blok bootstrap ile türetilen birikimli dağılım fonksiyonlarını göstermektedir. Dağılım fonksiyonları, 5 farklı blok büyüklüğü için hesaplanmıştır. Klasik bootstrap ile birikimli dağılım fonksiyonları ayrıca kestirilmiş ve karşılaştırma amacı ile Şekil 4' de gösterilmiştir. Bu şekilde "0" ile gösterilen eğriler klasik bootstrap verilerine karşılık gelmektedir.

Şekil 4, kalınlık ve ısı değer değişkenleri için blok büyüklüğünün birikimli dağılım fonksiyonları üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Bloklar büyüdükçe dağılımın değişkenliği (varyansı) artmakta ve buna bağlı olarak birikimli dağılım fonksiyonu daha yatık bir şekil almaktadır. Bununla birlikte, küle ilişkin dağılım fonksiyonu eğrileri, kalınlık ve ısı değer kadar belirgin bir farklılık göstermemektedir. Bunun nedeni, değişkenlerin kısa mesafede gösterdiği değişkenlik derecesi ile ilişkilidir. Kül kısa mesafede ısı değer ve kalınlığa göre daha fazla değişim gösterdiğinden, örneklem dağılımları blok büyüklüğündeki artıştan daha az etkilenmektedir. Tercan (1998), kısa mesafedeki değişkenliğin bir ölçüsü olarak nugget (külçe) varyansının (C_0), sill değerine (C_0+C) olan oranını dikkate almış ve kalınlık, ısı değer ve kül için bu oranın sırasıyla 0.3, 0.32 ve 0.5 'e eşit olduğunu belirlemiştir. Verilerin tamamıyla bağımsız olması halinde, dağılım fonksiyonlarının blok büyüklüğündeki artıştan hiçbir şekilde etkilenmemesi ve aynı kalması beklenirdi.

Birikimli dağılım fonksiyonu bilindiğinde, tümsel ortalamaya ilişkin %95 güven sınırları, fonksiyonun %2.5 ve %97.5'nci değerlerinden doğrudan elde edilebilir. Ancak, kestirimdeki hata ve ayrıca standard hatadaki değişim dikkate alınarak bu sınırların düzeltilmesi gerekir. Bu işleme ilişkin ayrıntılar BC_a (düzeltilmiş ve hızlandırılmış hata) yaklaşımı adı altında Efron ve Tibshirani (1993) tarafından verilmiştir. Her üç değişkenin tümsel ortalamalarına ilişkin %95 güven sınırları, BC_a yaklaşımı altında birikimli dağılım fonksiyonlarından 5 farklı blok büyüklüğü için elde edilmiştir. Bu sınırlar, çokgen yaklaşımı ile hesaplanan sınırlarla birlikte Çizelge 3'de gösterilmiştir. Çokgen yaklaşımı ile hesaplanan %95



Şekil 4. Biriktirilmiş dağılım fonksiyonları: a) kalınlık, b) ısıl değer ve c) kül.

Figure 4. Cumulative distribution functions: a) thickness, b) calorific value and c) ash content.

güven sınırları, Tercan (1998) tarafından yapılan çalışmadan yüzey kestirim hatası çıkarılarak alınmıştır.

Çizelge 3. Tümsel ortalamalara ilişkin %95 güven sınırları.

Table 3. 95 % confidence limits for global averages.

Blok Boyutu	Kalınlık (m)	Isıl Değer (kcal/kg)	Kül (%)
0 x 0	6.50 ⁽¹⁾	1255	20.05
	7.69 ⁽²⁾	1354	22.26
300 x 300	6.31	1255	20.11
	7.79	1359	22.41
600 x 600	6.06	1242	20.09
	8.06	1367	22.26
1200 x 1200	5.93	1198	20.12
	8.35	1380	22.28
1800 x 1800	5.96	1183	20.05
	8.25	1398	22.42
2100 x 2100	5.93	1181	19.88
	8.25	1405	22.50
Çokgen	6.62	1271	20.64
	7.48	1342	21.98

(¹) Alt sınır, (²) Üst sınır

SONUÇLAR

Kangal (Kalburçayı) linyit sektöründe yapılan çalışma, blok bootstrap yönteminin tabakalı yataklara başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Ayrıca uzaklığa bağlı ilişkinin yüksek olduğu kalınlık ve ısıl değer değişkenleri için, blok büyüklüğü arttıkça aralıkların alt sınırı azalır, üst sınırı artmaktadır. Blok büyüklüğü arttıkça aralıkların genişlemesi, örneklem dağılımların artan değişkenliği ile ilgilidir. Bununla birlikte, uzaklığa bağlı ilişkinin görece daha düşük olduğu kül değişkeni için aralıkların alt ve üst sınırı blok büyüklüğündeki artıştan etkilanmemektedir. Çokgen yaklaşımı, bootstrap yöntemlerinden daha kısa aralıklar üretmiştir. Bunun en önemli nedeni, bu yöntemin veri değerlerine bağlı olmamasıdır. Aralıkların kestirim değeri çevresindeki simetrisi, çokgen yaklaşımı ile bootstrap yöntemlerini birbirinden ayıran diğer önemli bir özelliktir. Çokgen yaklaşımı, kestirim değeri çevresinde simetrik aralıklar üretirken, bootstrap ile elde edilen aralıklar asimettiktir. Bununla birlikte, çokgen yaklaşımı ile elde edilen aralıklar, klasik bootstrap (blok boyutunun 0 olduğu) aralıklarına yakın çıkmıştır. Her iki yöntemde, bir blok içinde aynı sayıda veri kullanılması bunun en önemli nedenidir. Gerçekten, çokgen yaklaşımında çokgen (blok) ortalaması, blok içindeki tek bir veriden hesaplanmakta benzer şekilde klasik bootstrapta bir blok

içinde yalnızca bir veri çekilmektedir. Optimum blok büyüklüğünün seçimi, blok bootstrap yönteminin henüz çözülmemiş bir problemidir. Variogramın yapısal uzaklık parametresi burada dikkate alınması gereken bir faktördür. Çünkü yapısal uzaklık, örneklerin birbiri ile (uzaklığa bağlı) ilişki içinde olduğu en büyük uzaklığı verir. Bu nedenle, yapısal uzaklık uygun bir blok boyutu olarak alınabilir. Ancak bu seçimin optimum olup olmadığı araştırılmalıdır. Kalburçayırı linyit sahasında yapısal uzaklık 1100 m civarındadır. Diğer önemli bir yaklaşım, verileri önce ilişkisiz hale getirip daha sonra dönüştürülmüş veriler üzerinde bootstrap yönteminin uygulanmasıdır.

KATKI BELİRTME

Yazar, yapıcı eleştirilerinden dolayı hakemlere ve editöre teşekkür eder. Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Araştırma Fonu 01.01.602.016 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Adisoma, G.S., and Hester, M.G., 1996. Grade estimation and its precision in mineral resources: the jackknife approach. *Mining Engineering*, 10 (2), 84-88.
- Buxton, B.E., 1989. An application of the construction of confidence intervals for global reserve estimates. *Geostatistics*, 2, 875-887.
- Crozel, D., and David, M., 1985. Global estimation variance: formulas and calculations. *Mathematical Geology*, 17 (8), 785-796.

- Davison, A.C., and Hinkley, D.V., 1997. *Bootstrap Methods and Their Application*. Cambridge University Press, 582 pp.
- Efron, B., 1979. Bootstrap methods: another look at the jackknife. *The Annals of Statistics*, 7, 1-26.
- Efron, B., and Tibshirani, R.J., 1993. *An Introduction to Bootstrap*. Chapman & Hall, New York, 436 pp.
- Hall, P., 1985. Resampling a coverage pattern. *Stochastic Processes and Their Applications*, 20, 231-246
- Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 pp.
- Journal, A.G., and Huijbregts, C.J., 1981. *Mining Geostatistics*. Academic Press, New York, 600 pp.
- Lahiri, S.N., 1999. Theoretical comparisons of block bootstrap methods. *The Annals of Statistics*, 27 (1), 386-404.
- Politis, D., and Romano, J.P., 1994. The stationary bootstrap. *Journal of American Statistical Association*, 89, 303-313.
- Tercan, A.E., 1998. Kömür yatakları rezervinin jeostatistiksel yöntemle global kestirimi. *Madencilik*, 37 (1), 17-25.
- Tercan, A.E. ve Saraç, C., 1998. Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler. *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*:48, 137 s.
- Tukey, J.W., 1958. Bias and confidence in not –quite large samples, abstract. *Annals of Mathematical Statistics*, 29, 614.