

## Bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi

**Bahattin YANIK\***, İlhan AVCI

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

*Bu çalışmada, bölgesel ölçekte hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde akım ölçüm değeri olmayan veya eksik olan yerlerde proje debisinin belirlenmesi için hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan küme analiz (cluster analysis) yöntemleri kullanılarak bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilebileceği ortaya konmuştur. Küme analiziyle oluşturulan homojen bölgelere ait sınırların, veri olarak kullanılan özgül debi değerlerinin standart hale getirilip getirilmemesine, özgül debi süreklilik eğrisinin kullanılan aralığına ve küme analiz yöntemine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Doğal akışlı hidroelektrik santraller için debi süreklilik eğrisinin aşılma olasılığı %30-%100 olan aralığının kullanılmasının uygun olması sebebiyle bu aralıktaki veriler standart hale getirilerek küme analiziyle bölgesel debi süreklilik eğrileri elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Doğal akışlı hidroelektrik potansiyel, bölgesel debi süreklilik eğrisi, küme analizi.

### Determination of regional flow duration curves

#### Abstract

*This study shows that regional flow duration curves can be obtained by means of methods of hierarchical or non-hierarchical cluster analysis in order to determine the design flow values of the regional hydroelectric potential where measured flow data do not exist or is incomplete/inadequate. It is determined that change of the boundaries of homogenous sub-regions depends on whether making or not making standard the specific flow duration curve values being used as data, and the used interval of specific flow duration curve and cluster analysis methods. The regional flow duration curves are obtained, because it is appropriate for natural flow hydropower plants to use the probability of excess of flow duration curve, which is 30%-100%, with cluster analysis by making data in that interval standard. When the homogeneous regions formed in terms of specific flow duration curves with hierarchical and nonhierarchical cluster analysis methods by using the data used in this study are compared, it was observed that complete linkage method and Ward method within hierarchical methods and k-means method within nonhierarchical methods yield closer results to each other. The results obtained by using single linkage, median linkage, centroid linkage, average linkage, and weighted average linkage methods within other nonhierarchical methods could not be found applicable and meaningful in terms of flow duration relations.*

**Keywords:** Hydroelectric potential of natural flow, regional flow duration curve, cluster analysis.

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Bahattin YANIK. byanik@dsi.gov.tr; Tel: (216) 325 63 40 dahili: 108.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde bölgesel analiz yaklaşımı" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 14.07.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 09.09.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 28.02.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Hidroelektrik santraller, depolamalı ve doğal akışlı olmak üzere iki ana grupta değerlendirilebilir. Depolamalı hidroelektrik santrallerde, zaman içinde rasgele bir değişken niteliğinde olan akım, depolama yapılmak suretiyle düzenlenmekte ve bu düzenli debiyle akarsudan daha fazla enerji üretilmektedir. Depolama terimi genellikle mevsimlik düzenlemeler için kullanılmaktadır.

Doğal akışlı hidroelektrik santrallerde, depolama unsurunun olmaması ve düşünün santralın inşa edildiği yerdeki fiziki ve topografik şartlara bağlı sabit bir değer olması nedeniyle santralden üretilecek elektrik enerjisi miktarı, akarsuda olan var olan akımın bir fonksiyonudur. Bu tür santrallerin enerji ihtiyacının fazla olduğu zamanlarda talebi karşılamak üzere enerji üretimini artırma yeteneği bulunmamaktadır.

Yatırım maliyeti ve inşaat süresi uzun olan depolamalı hidroelektrik santral yapılması durumunda, projenin yaratacağı olumsuz çevre ve sosyal etkileri asgari düzeye çekmek için doğal akışlı hidroelektrik santral alternatifi gündeme gelmektedir. Olumsuz çevresel etkiler nedeniyle dünya genelinde depolamalı tesisler yerine doğal akışlı tesisler tercih edilir hale gelmiştir. Bu tür tesislerden üretilen enerjiye de eko-enerji adı verilmektedir.

Doğal akışlı bir hidroelektrik santralın kurulu güç ve enerji potansiyelinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli sorun proje debisinin seçilmesidir. Burada bir başka önemli sorun da öngörülen tesis yerinde akarsuya ait akım ölçüm verilerinin bulunmamasıdır. Yine enerji potansiyelinin belirlenmesi bölgesel ölçekte ele alındığında bu sorunlar çok daha büyük boyutlara varmaktadır. Yukarıdaki sorunların giderilmesinde “bölgesel debi süreklilik eğrisi” kavramı önemli bir araç olmaktadır.

Debi süreklilik eğrisi, her hangi bir akarsuda belli bir istasyondaki günlük, haftalık, aylık (veya başka bir zaman aralığında) akımların miktarı ile frekansı arasındaki ilişkiyi karakterize etmektedir. Söz konusu istasyona ait debi gidiş çizgisinden faydalanılarak debinin belli bir

değere eşit veya ondan büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanarak düşey eksene debiler, yatay eksene zaman yüzdeleri taşınırsa debi süreklilik eğrisi elde edilir (Bayazıt, 1987). Yıllık küçük zaman birimleri için bir akarsudaki akımın istatistik özellikleri zamanla değişmeyen bir süreç olmayıp ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı gibi özellikleri yıl boyunca değiştiği için debi süreklilik eğrisi, eklenik olasılık dağılım eğrisi değildir. Dolayısıyla belli bir gündeki akımın belli bir değeri aşma olasılığı yıl içinde bulunan güne bağlıdır (Cıgızoğlu, 1997).

Akım ölçüm değerleri olmayan veya eksik/yetersiz olan yerlerdeki debi süreklilik çizgilerinin elde edilmesinde günümüze kadar uygulanan genel yaklaşım, aynı veya komşu havzalardaki mevcut akım verilerinden yararlanarak eksikliklerin giderilmesi ve buna göre de debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi şeklindedir. İstasyonlar arasındaki ilişkinin belirlenmesinde regresyon analizi veya drenaj alanı oranı ilişkisi gibi yöntemler kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan regresyon analizi, ancak belirli düzeyde akım verilerinin mevcut olması ve eksik verilerin tamamlanması amacıyla kullanılırken, verinin hiç olmaması halinde böyle bir regresyon analizi yapma imkanı bulunmamaktadır. Bu durumda, (1) eşitliğinde verilen esaslar dahilinde kullanılan havza drenaj alanı oranlarına dayalı yöntem ise çok kaba bir yaklaşımdan öteye gidememektedir. Gulliver ve Arndt (1991), bir akım gözlem istasyonundaki akım değerlerinin, akım gözlem değeri olmayan hidroelektrik tesis yerine istasyon ve tesis yerindeki drenaj alanlarına bağlı olarak (1) ifadesi ile taşınabileceğini belirtmektedir.

$$Q_{\text{tesis}} = \left( \frac{A_{\text{tesis}}}{A_{\text{istasyon}}} \right)^c Q_{\text{istasyon}} \quad (1)$$

Burada,  $c$  0.6 ile 1.2 arasında değişen katsayıyı,  $A_{\text{tesis}}$  tesisin inşa edileceği yerdeki drenaj alanını ( $\text{km}^2$ ),  $A_{\text{istasyon}}$  akım gözlem istasyonundaki drenaj alanını ( $\text{km}^2$ ),  $Q_{\text{tesis}}$  tesisin inşa edileceği yerdeki debi değerini ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ve  $Q_{\text{istasyon}}$  ise akım gözlem istasyonundaki debi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) değerini göstermektedir. Bu sadece sınırlı bir alanda

eksik verilerin giderilmesi ve hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi amacıyla yönelik bir uygulama olabilmektedir. Büyük bir bölge, hatta ülke ölçeğinde hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi ve planlamasına yönelik uygulamanın gündeme gelmesi halinde, bu yöntem ve yaklaşımların hem uygulanması zor hem de sonuçları yeterli düzeyde güvenilir olmamaktadır. İşte burada özellikle havza veya bölge ölçeğinde güvenilir bir debi süreklilik eğrisinin belirlenmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Bayazit (1997) tarafından çeşitli akarsuların debi süreklilik çizgilerini birbiriyle karşılaştırarak bölgesel analizde kullanabilmek için debileri özgül debi olarak ( $m^3/s/km^2$ ) ifade etmenin veya debilerin, istasyonun yıllık ortalama debisine bölünmek suretiyle boyutsuzlaştırılmasının uygun olacağı ifade edilmektedir.

Genelde bölgesel homojenlik analizinde kullanılan istatistiksel test ve yöntemler, ölçülmüş/gözlenmiş verilerin kullanılmasına dayanmaktadır. Halbuki özgül debi süreklilik eğrilerinde değişik aşılma olasılıklarına karşı gelen değerler serisi artık birer gözlenmiş veya ölçülmüş seri karakterini yitirmiş olması sebebiyle bu çalışmada, özgül debi süreklilik eğrileri yönünden homojen bölgelerin belirlenmesinde küme analizi yöntemi kullanılmıştır. Küme analiziyle verilerin anlamlı şekilde gruplandırılması hedeflenmektedir. Bu gruplandırmada, küme sayısı mümkün olduğunca az, her bir kümedeki nesne sayısı ise kriterlerin müsaade ettiği ölçüde fazla olmalıdır. Kümeler homojen olmalı ve aynı kümeye ait elemanlar kendi içinde benzer, farklı kümeye ait elemanlarla benzer olmamalıdır. Kümeleme sonucunda elde edilecek gruplar, veri ve yöntemlerdeki küçük değişikliklerden etkilenmeyecek kadar kararlı olmalıdır. Oluşturulan grupların, ne kadar anlamlı olduğu istatistiksel bir test yardımıyla belirlenemediği için küme analizinden elde edilen sonuçların ne kadar anlamlı olduğu tespit edilememekle birlikte en anlamlı grupların oluşturulması hedeflenmektedir. Küme analizi, nesnelere arasında yapıldığı gibi değişkenler arasında da yapılabilir.

## Çalışmada kullanılan küme analiz yöntemleri

Küme analiz yöntemleri, hiyerarşik, hiyerarşik olmayan ve probabilistik olmak üzere üç ana başlıkta toplanmaktadır. Hiyerarşik küme analiz tekniklerinde, kümeleme işlemi dört temel esasa dayanmaktadır. Birinci adımda, tüm nesnelere arasındaki benzerliği ifade eden uzaklıklar hesaplanır. İkinci adımda ise belirlenen kriterlere göre en yakın iki nesne birleştirilmek suretiyle yeni bir küme oluşturulur. Üçüncü adımda, tüm nesnelere arasındaki uzaklık yeniden hesaplanır. Tüm nesnelere bir kümede toplanana kadar ikinci ve üçüncü adımlar tekrarlanır. Hiyerarşik küme analizinde, benzer veri çiftlerini birleştirmek için benzerlikle ilgili özgün bir kriter ihtiyacı duyulmaktadır. Yani hiyerarşik küme analiz yöntemlerinde gruplar (kümeler), veriler arasındaki uzaklıklara göre oluşturulmaktadır. Bu nedenle veriler arasındaki ilişkiyi karakterize edebilmek amacıyla bir sayısal benzerlik ölçüsünün ortaya konulması gerekmektedir. Bunun için ilk olarak  $n \times n$  boyutlu benzerlik matrisinin hesaplanması zorunludur. Küme analizinde, benzerlikle ilgili öklit uzaklığı, Chebychev uzaklığı, korelasyon katsayısı, kapa katsayısı, Minkowski, Cosine ve city blok uzaklığı gibi değişik ölçüler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı "öklit uzaklığı"dır (Bacher, 2002). Öklit mesafesi, 0 ile  $+\infty$  arasında bir değer almakta olup,  $n \times q$  boyutunda  $X$  veri matrisi üzerinde öklit uzaklığının hesap esasları aşağıda verilmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1q} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nq} \end{bmatrix}$$

şeklinde verilen  $X$  matrisinde  $n$  değeri, nesne sayısını ve  $q$  değeri ise değişken adedini ve  $x_{ij}$  ise  $i$ -inci nesnenin  $j$ -inci değişkene karşılık gelen değerini göstermektedir. Öklit uzaklığı (2) ifadesi ile hesaplanmaktadır.

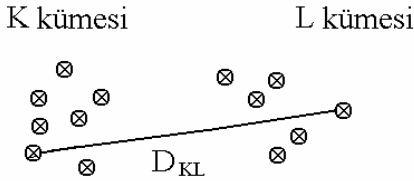
$$d_{a,b} = \sqrt{\sum_j (x_{aj} - x_{bj})^2} \quad (2)$$

Burada  $d_{a,b}$ , a ve b nesneleri arasındaki öklit uzaklığını,  $x_{aj}$  terimi a nesnesinin j-inci değişken değerinin ve  $x_{bj}$  ise b nesnesinin j-inci değişken değerini göstermektedir.

Yapılan araştırmada, bölgesel özgül debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi yönünden daha uygun sonuç veren tam bağlantı, Ward ve k-ortalamaları yöntemlerinin ana ilkeleri aşağıda verilmektedir.

### Tam bağlantı yöntemi

Tam bağlantı küme analizi, “en uzak komşu küme analizi” olarak da bilinmektedir (Gong ve Richman, 1994). Bu yöntemde, küme oluşumları aykırı değerlerden kolaylıkla etkilenebilmekte ve verilerin birbirine yakın olması halinde iyi sonuç elde edilmektedir. İki küme arasındaki uzaklık, Şekil 1’de görüldüğü gibi kümelerin bir birine en uzak iki nesnesi arasındaki uzaklık olarak tanımlanmakta olup, (3) ifadesi ile hesaplanmaktadır (Everitt, 1993).



Şekil 1. Tam bağlantı yönteminde iki küme arasındaki uzaklık

$$D_{KL} = \max_{i \in C_K} \max_{j \in C_L} d(x_i, x_j) \quad (3)$$

$C_K$  ve  $C_L$  kümeleri birleştirilerek  $C_M$  kümesi elde edildiğinde,  $C_M$  kümesi ile diğer bir küme olan  $C_J$  arasındaki uzaklık (4) eşitliğinde verildiği gibi hesap edilmektedir.

$$D_{JM} = \max(D_{JK}, D_{JL}) \quad (4)$$

Burada,  $x_i$  nesnenin i-inci değerini,  $x_j$  nesnenin j-inci değerini,  $C_J$ ,  $C_K$ ,  $C_L$  ve  $C_M$  sırasıyla J-inci, K-ıncı, L-inci ve M-inci kümeleri ifade etmekte olup  $D_{KL}$ ,  $D_{JK}$ ,  $D_{JL}$  ve  $D_{JM}$  terimleri ise sırasıyla

$C_K$  ve  $C_L$  kümeleri arasındaki uzaklığı,  $C_J$  ve  $C_K$  kümeleri arasındaki uzaklığı,  $C_J$  ve  $C_L$  kümeleri arasındaki uzaklığı ve  $C_J$  ve  $C_M$  kümeleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

### Ward yöntemi

Ward, “minimum varyans yöntemi” adı altında bir hiyerarşik yöntemi ortaya koymuştur. Bu yöntem, kümeler arasındaki uzaklığı değerlendirmek için varyans analizi yaklaşımını kullanması sebebiyle diğer yöntemlerden farklıdır. Küme analizinde, her adımda birleştirilen kümelede (5) ifadesinin en az artması hedeflenmektedir (Everitt, 1993).

$$ESS = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5)$$

Burada n kümedeki nesne sayısını,  $x_i$  i-inci nesne değerini,  $\bar{x}$  nesne değerlerinin ortalamasını göstermektedir.

Ward algoritması, küme kütle merkezleri arasındaki öklit mesafesine dayanmaktadır. Bu yöntemin diğer hiyerarşik küme analiz yöntemleriyle test edilmesi tavsiye edilmektedir. Ward yönteminde benzerlik ölçüsü olarak öklit uzaklığının karesinin kullanılmasını istenmekte olup, iki küme arasındaki uzaklık (6) eşitliği ile belirlenmektedir.

$$D_{KL} = \frac{\|\bar{x}_K - \bar{x}_L\|^2}{\frac{1}{N_K} + \frac{1}{N_L}} \quad (6)$$

$C_K$  ve  $C_L$  kümeleri birleştirilerek  $C_M$  kümesi elde edildiğinde,  $C_M$  kümesi ile diğer bir küme olan  $C_J$  arasındaki uzaklık (7) eşitliği ile belirlenmektedir.

$$D_{JM} = [(N_J + N_K)D_{JK} + (N_J + N_L)D_{JL} - N_J D_{KL}] / (N_J + N_M) \quad (7)$$

6 ve 7 nolu eşitliklerde,  $D_{KL}$ ,  $D_{JK}$ ,  $D_{JL}$  ve  $D_{JM}$  terimleri sırasıyla  $C_K$  ve  $C_L$  kümeleri arasındaki uzaklığı,  $C_J$  ve  $C_K$  kümeleri arasındaki uzaklığı,  $C_J$  ve  $C_L$  kümeleri arasındaki uzaklığı ve  $C_J$  ve  $C_M$  kümeleri arasındaki uzaklığı,  $N_J$ ,  $N_K$ ,  $N_L$  ve

$N_M$  terimleri ise sırasıyla J -inci kümedeki nesne sayısını, K -inci kümedeki nesne sayısını, L -inci kümedeki nesne sayısını ve M -inci kümedeki nesne sayısını ifade etmektedir.  $\bar{x}_K$ , K kümesinin ortalama vektörünü ve  $\bar{x}_L$  L kümesinin ortalama vektörünü tanımlamaktadır.

Ward yöntemi, genel olarak küçük boyutta kümeler oluşturmaya karşın çok etkili bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntem, aynı sayıda nesne içeren kümeler oluşturma eğilimindedir.

### K-ortalamları yöntemi

1970'li yıllarda geliştirilen k-ortalamları yönteminde, kümelendirme işlem sırası şu şekildedir;

Birinci adımda k kümesi, başlangıç şartı olarak nesnelere tahminen seçilmesiyle oluşturulur. İkinci adımda her bir nesnenin, küme merkezine olan öklit uzaklığının karesi hesaplanır. Böylece her bir nesne, en yakın kümeye dahil edilir. Tüm nesnelere bu şekilde kontrol edildikten sonra üçüncü adımda küme merkezi tekrar hesaplanmaktadır. Yukarıdaki ikinci ve üçüncü adımdaki işlemlere, (8) ifadesi minimum olacak şekilde devam edilir (Bacher, 2002).

$$\min \sum_k \sum_{a \in k} \sum_j (x_{aj} - \bar{x}_{kj})^2 \quad (8)$$

Bu ifadede k küme sayısını,  $x_{aj}$  a nesnesinin j-inci değişken değerini ve  $\bar{x}_{kj}$  a nesnesinin j-inci değişken değerlerinin ortalamasını göstermektedir.

### Küme sayısının belirlenmesi

Uygun küme sayısının belirlenmesi, küme analizinin ana sorunu olarak tanımlanmaktadır (Jajuga vd., 2002). Küme sayısının belirlenmesine yönelik objektif ve standart bir yöntem bulunmamaktadır. Hiyerarşik küme analiz yöntemlerinde hem küme analiz işlemiyle elde edilen dendogram hem de geliştirilmiş bazı testler yardımıyla küme sayısı belirlenmeye çalışılır. Küme analizinin istatistiksel bir dağılımı olmadığı için her hangi bir istatistiksel test ile uygun küme sayısına karar verilememektedir. Seçilen küme sayısının istatistik tabana dayanmamakla

birlikte pseudo F, pseudo  $t^2$ ,  $R^2$ , SPRSQ, RMSSTD ve kübik küme kriteri (CCC) gibi testlerle kontrol edilmesi önerilmektedir (Hair vd., 1997). Ancak bu testlerin hiç biri tam olarak kabul görmüş, güvenilirlikleri ispatlanmış ve istatistiksel olarak savunulabilir değildir (Gong ve Richman, 1994).

Pseudo F istatistiği kümeler arasındaki varyansın kümeler içindeki varyansa oranı olup, (9) eşitliği ile hesaplanabileceği belirtilmektedir (Fovell ve Fovell, 1993). Burada oranın büyük çıkması hedeflenmektedir:

$$\text{pseudo } F = [A/W] [(n-k)/(k-1)] \quad (9)$$

Burada A kümeler arasındaki kareler toplamını, W küme içindeki kareler toplamını, n nesne sayısını ve k küme sayısını göstermektedir.

Küme analizinin başlangıcında A değeri büyük ve W değeri küçüktür. Bu sebeple pseudo F istatistiği büyük değerler almaktadır. Parantez içindeki k-1 terimi k=1 değeri için 0 olur ve bu durumda pseudo F istatistiği belirsiz hale gelir. Pseudo  $t^2$  istatistiği, birleşen iki küme elemanlarının birleşme öncesi ve sonrası kareleri toplamının birbirine oranlarıdır (SAS Institute, 1985). SAS Institute (1985), küme sayısına karar verirken pseudo  $t^2$  istatistiğindeki ani sıçramalarla biten yerel tepe noktalarına bakılmasını önermektedir. Kübik küme kriteri (CCC), çarpık dağılımlarda negatif değerler vermektedir. Bu nedenle çarpık dağılımlarda kullanılmamaktadır. CCC değerinin 2 (veya 3)'den büyük olması istenir. CCC'nin negatif değerinin büyük olması (örneğin -30 gibi) gözlemlerde aykırı değerlerin varlığını göstermektedir. Bu durumda küme analizi yapmadan önce gözlem değerlerinden aykırı değerlerin yok edilmesi gerekmektedir.

RMSSTD testinde, iki kümenin birleştirilmesiyle oluşturulan yeni kümenin varyanslarının karekökü hesaplanır. İki benzer küme birleştirildiğinde RMSSTD değeri küçülmektedir.  $R^2$  testinde, küme analizinde kullanılan tüm nesnelere bir kümeye ait olduğu durumda  $R^2 = 0$  olmaktadır. Her bir nesnenin kendi başına bir küme oluşturduğu zaman ise  $R^2 = 1$  değerini

almaktadır. Bu testte  $R^2$  değerinin ani sıçrama yaptığı noktadaki küme sayısının esas alınması önerilmektedir.

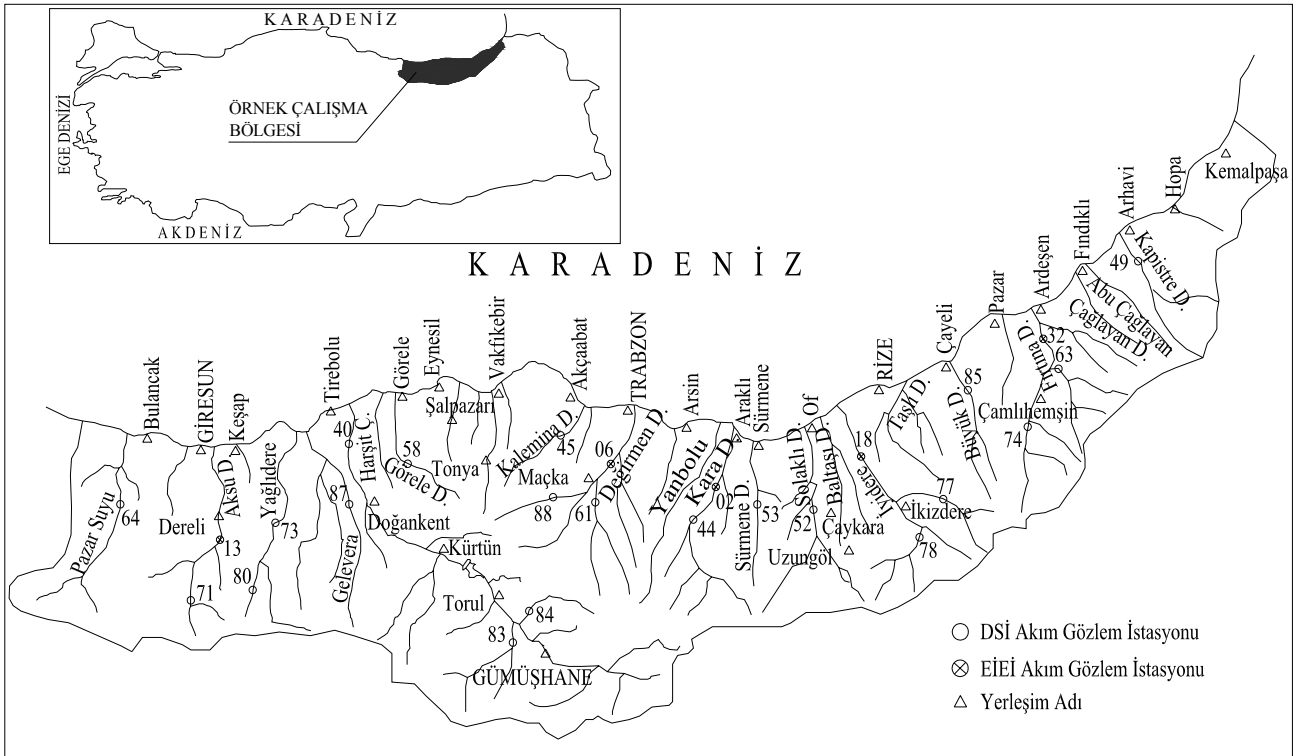
SPRSQ testinde ise SPRSQ değeri iki kümenin birleşmesinden önce ve sonra azalıyorsa küme analizinde bu noktadaki küme sayısının esas alınması tavsiye edilmektedir.

Bölgesel özgül debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi amacıyla bir çok alt havzadan oluşan Doğu Karadeniz Bölgesinde örnek bir çalışma bölgesi seçilmiştir. Seçilen bölge, Şekil 2’de görüldüğü gibi batıda Ordu – Giresun il sınırından başlayarak doğuda Sarp sınır kapısına kadar uzanmaktadır. Kuzeyi, Karadeniz ile sınırlanan çalışma bölgesinin güneyinde Çoruh Havzası yer almaktadır. Çalışma bölgesinde yeteri uzunlukta ölçüm değeri olan ve havzanın yapısını temsil edebilecek sayı ve özellikte olan 26 adet akım gözlem istasyonu seçilmiştir. Çalışma bölgesi içerisinde kalan istasyonların seçiminde, istasyonun kayıt uzunluğu, bölge içindeki konumu ve istasyona ait drenaj alanının fiziksel ve topografik yapısı dikkate alınmaya çalışılmıştır.

Özgül debi süreklilik eğrileri, günlük ortalama debilerin istasyonlara ait drenaj alanlarına bölünmesiyle elde edilmiştir. Doğu Karadeniz’de seçilen çalışma bölgesindeki istasyonların değişik aşılma olasılıklarına karşı gelen özgül debi değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

Debi süreklilik eğrisinin bütünü için küme analizi yapıldığında yılın küçük bir döneminde akarsuda mevcut olan taşkın debilerinin etkisi de dikkate alınmış olunacaktır. Halbuki doğal akışlı hidroelektrik tesislerin planlamasında hiçbir zaman taşkın debilerine göre santral kurulu gücü belirlenmemektedir.

Doğu Karadeniz’de seçilen örnek çalışma bölgesindeki istasyonlara ait özgül debi süreklilik eğrilerinin değişik aşılma olasılıkları arasında kalan değerleri standart hale getirilerek ve getirilmeden hiyerarşik yöntemlerden tekli bağlantı, tam bağlantı, medyan bağlantı, basit ortalama bağlantı, ağırlıklı ortalama bağlantı, merkezi bağlantı ve Ward yöntemleri ile hiyerarşik olmayan k-ortalama yöntemleriyle elde edilecek homojen bölge sınırlarının değişimi araştırılmıştır.



Şekil 2. Örnek çalışma bölgesi ve küme analizinde kullanılan istasyonların genel vaziyet planı

Tablo 1. Doğu Karadeniz 'de seçilen çalışma bölgesindeki istasyonların değişik aşılma olasılıklarına karşı gelen özgül debi değerleri

İstasyon No	İstasyon Adı	Aşılma olasılıklarına karşı gelen özgül debi değerleri (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )									
		%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90	%100
22-64	Pazarsuyu - Kovanlık	0.079	0.051	0.031	0.019	0.014	0.011	0.009	0.007	0.005	0.001
22-71	Aksu Deresi - İkisü	0.068	0.043	0.023	0.013	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005	0.003
2213	Aksu - Dereli	0.044	0.031	0.021	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.005	0.001
22-80	Yağlıdere - Sımrköy	0.060	0.035	0.021	0.015	0.012	0.011	0.009	0.008	0.006	0.002
22-73	Yağlıdere - Tuğlacık	0.056	0.036	0.026	0.020	0.016	0.014	0.011	0.009	0.007	0.003
22-87	Gelevera - Hasanşeyh	0.072	0.042	0.025	0.017	0.012	0.010	0.009	0.007	0.005	0.002
22-83	Kodil Çayı - Gümüşkaya	0.036	0.021	0.013	0.009	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.000
22-84	Korum Deresi	0.037	0.016	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001
22-40	Harşit Çayı - Eymür	0.037	0.024	0.016	0.011	0.008	0.006	0.005	0.003	0.002	0.000
22-58	Görelle Deresi	0.078	0.051	0.037	0.029	0.023	0.018	0.014	0.011	0.007	0.002
22-45	Kalanima Deresi	0.027	0.020	0.016	0.014	0.011	0.009	0.007	0.005	0.004	0.000
22-88	Maçka Deresi - Ormanüstü	0.045	0.029	0.016	0.011	0.008	0.006	0.004	0.003	0.003	0.001
22-61	Altın Deresi - Ortaköy	0.042	0.028	0.019	0.014	0.010	0.008	0.007	0.006	0.004	0.000
2206	Değirmendere	0.039	0.024	0.014	0.010	0.008	0.007	0.005	0.005	0.004	0.003
22-44	Karadere - Aytaş	0.056	0.032	0.021	0.016	0.013	0.010	0.008	0.006	0.004	0.000
2202	Karadere - Değirmencik	0.047	0.027	0.017	0.013	0.010	0.009	0.007	0.006	0.004	0.001
22-53	Sürmene Deresi - Ortaköy	0.064	0.047	0.034	0.028	0.023	0.019	0.016	0.013	0.009	0.002
22-52	Solaklı Deresi - Ulucami	0.062	0.042	0.030	0.022	0.017	0.014	0.012	0.009	0.006	0.000
22-78	Tozköy Deresi	0.090	0.052	0.028	0.017	0.012	0.010	0.009	0.008	0.007	0.003
22-77	Cimilderesi -Cimil	0.071	0.048	0.030	0.023	0.019	0.016	0.014	0.013	0.011	0.006
2218	İyidere - Şimşirli	0.074	0.054	0.037	0.027	0.022	0.019	0.016	0.014	0.012	0.006
22-85	Şenözderesi - Kaptanpaşa	0.078	0.060	0.051	0.043	0.036	0.029	0.024	0.019	0.014	0.000
22-74	Hemşinderesi - Çat	0.071	0.047	0.031	0.022	0.017	0.014	0.012	0.010	0.008	0.004
22-63	Hala Deresi - Mikronköprü	0.106	0.076	0.054	0.042	0.033	0.028	0.024	0.021	0.018	0.008
2232	Fırtınaderesi - Topluca	0.087	0.062	0.044	0.033	0.026	0.021	0.018	0.015	0.013	0.007
22-49	Kapistre Deresi - Başköy	0.084	0.059	0.045	0.034	0.029	0.025	0.021	0.017	0.013	0.001

Bu araştırma;

- Debi süreklilik eğrisinin tamamı (aşılma olasılığı %0 ile %100 aralığı),
- Debi süreklilik eğrisinin aşılma olasılığı %0 ile %30 aralığında kalan bölümü,
- Debi süreklilik eğrisinin aşılma olasılığı %30 ile %100 aralığında kalan bölümleri için yapılmıştır.

Bu araştırmanın, Karadeniz Bölgesi'nde seçilen örnek bölge verileri üzerinde yapılması yeterli görülmemiş olup, Yu ve Yang (1996) tarafından Güney Tayvan'da yapılan bölgesel çalışmada kullanılan 34 istasyona ait veriler üzerinde de yapılmıştır. Yukarıda ana hatları verilen testler ile Doğu Karadeniz Bölgesinde seçilen örnek bölgede Ward yöntemi ile yapılan küme analiz sonuçları üzerinde SAS bilgisayar programıyla değişik küme sayılarına karşılık RMSSTD, SPRSQ, RSQ, pseudo F, pseudo t<sup>2</sup> ve CCC değerleri hesaplanmıştır. Debi süreklilik eğrileri

çarpık dağılım gösterdiklerinden CCC kriteri negatif değerler vermiş ve değerlendirme dışında tutulmuştur. Bu testlerden elde edilen sonuçlar ile dendogramın birlikte değerlendirilmesiyle küme sayısının 3 olmasına karar verilmiştir. Netice itibarıyla Doğu Karadeniz Bölgesinde seçilen örnek bölgenin, özgül debi süreklilik yönünden üç alt bölgeye ayrılmasının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hem Doğu Karadeniz'deki örnek bölgede bulunan 26 akım gözlem istasyonuna ait özgül debi süreklilik eğrileri verilerinin hem de Yu ve Yang (1996) tarafından Güney Tayvan'da yapılan bölgesel çalışmada kullanılan 34 akım gözlem istasyonuna ait özgül debi süreklilik eğrileri verilerinin standart hale getirilerek ve getirilmeden aşılma olasılıkları %0 - %30 arasında kalan kısmı, %30 - %100 arasında kalan kısmı ve %0 - %100 arasında kalan kısımları için hem hiyerarşik hem de hiyerarşik olmayan küme analiz yöntemleri ile homojen bölgeler elde edilmiş ve

elde edilen homojen bölge sınırlarının debi süreklilik eğrilerinin küme analizinde kullanılan aralığına ve verilerin standart hale getirilip getirilmemesine bağlı olarak değiştikleri belirlenmiştir. Güney Tayvan veri ve sonuçları bu makede verilmemiştir.

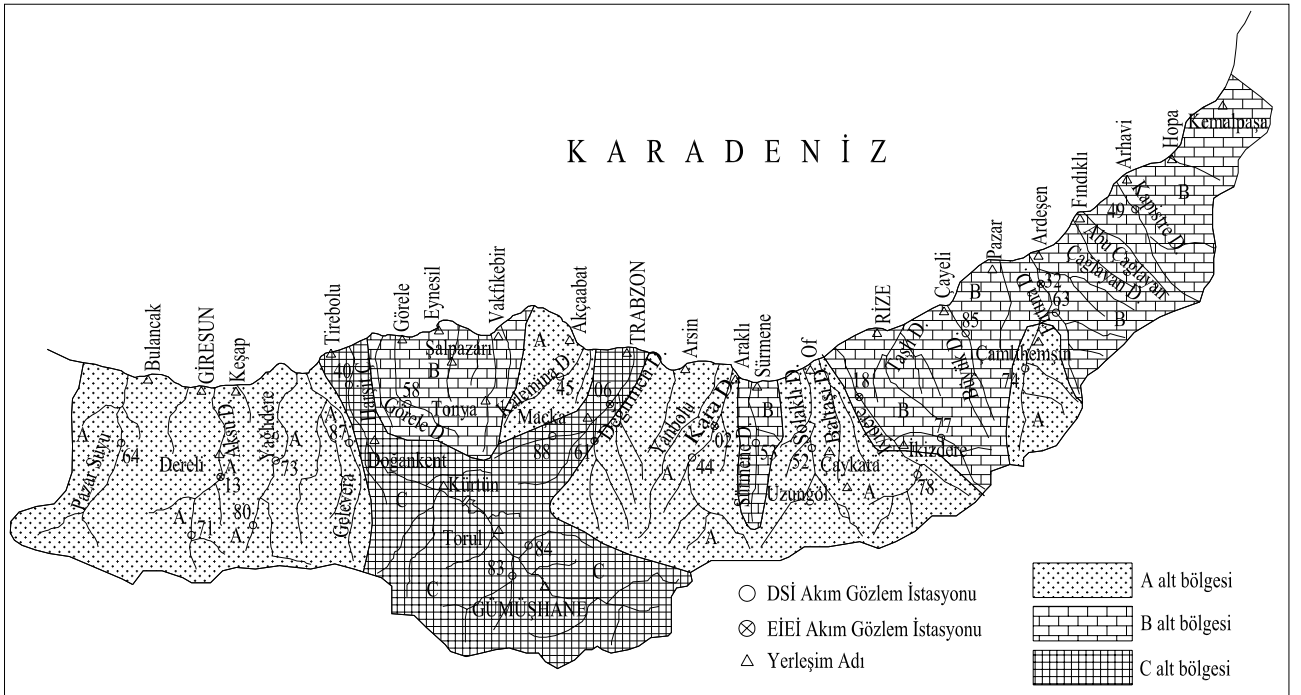
Elde edilen bölgesel debi süreklilik eğrilerinin bölgesel ölçekte doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde kullanılabilir olup olmadığına karar verebilmek için, her bir homojen bölge için belirlenen bölgesel debi süreklilik eğrisi altında kalan alan ile o homojen bölge sınırları içinde kalan istasyonların debi süreklilik eğrileri altında kalan alanlar arasındaki oranlara bakmak anlamlı olacaktır. Bu bağlamda, her bir yöntem ile elde edilen sonuçlar, bölgenin hidrolojik, topoğrafik ve bitki örtüsü gibi parametreleri de dikkate alınarak değerlendirilmiş ve debi süreklilik eğrileri yönünden, tam bağlantı ve Ward yöntemleri ile k-ortalamları yönteminin bir birlerine daha yakın ve kabul edilebilir sonuç verdikleri belirlenmiştir. Doğu Karadeniz’de seçilen örnek bölge için en iyi sonucun k-ortalamları yöntemi ile sağlan-

dığı görülmüş olup, bu yöntemle veriler standart hale getirilerek elde edilen homojen bölge sınırları Şekil 3’de ve her bir bölge içinde kalan istasyonların özgül debi süreklilik eğrileri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmektedir.

Doğal akışlı hidroelektrik enerjinin belirlenmesi açısından her bir homojen bölge için türetilen ortak debi süreklilik eğrisi altında kalan alan ile o homojen bölge içindeki diğer istasyonların debi süreklilik eğrileri altında kalan alanlar karşılaştırılmış ve sonuçları Şekil 7’de histogram olarak sunulmuştur. Bu histogram değerlendirildiğinde hata oranının %30 içinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca Doğu Karadeniz Bölgesindeki çalışma bölgesi için elde edilen her bir homojen bölgeye ait bölgesel debi süreklilik eğrilerinin analitik ifadeleri elde edilmiş ve bu analitik ifadeler aşağıda sunulmuştur.

A bölgesine ait bölgesel debi süreklilik eğrisine ait analitik ifade;

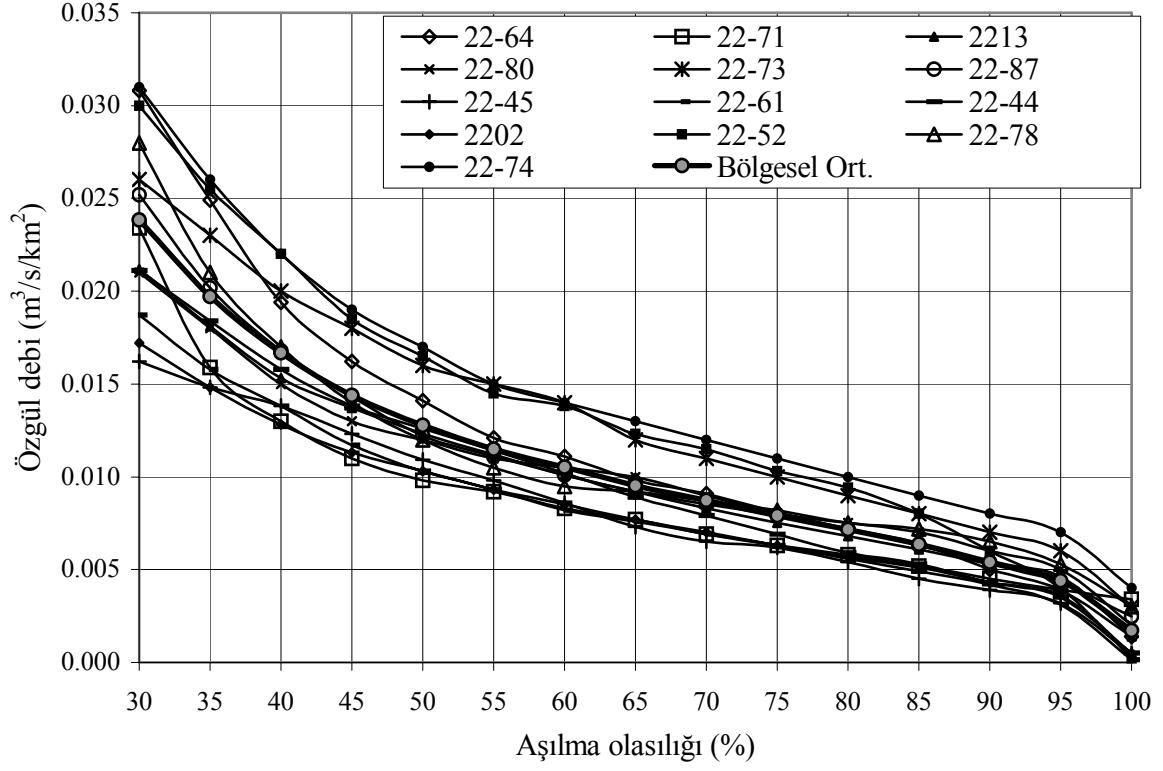
$$Q(t) = 0.0668 - 0.002174 t + 0.00002843 t^2 - 0.0000001317 t^3 \quad (10)$$



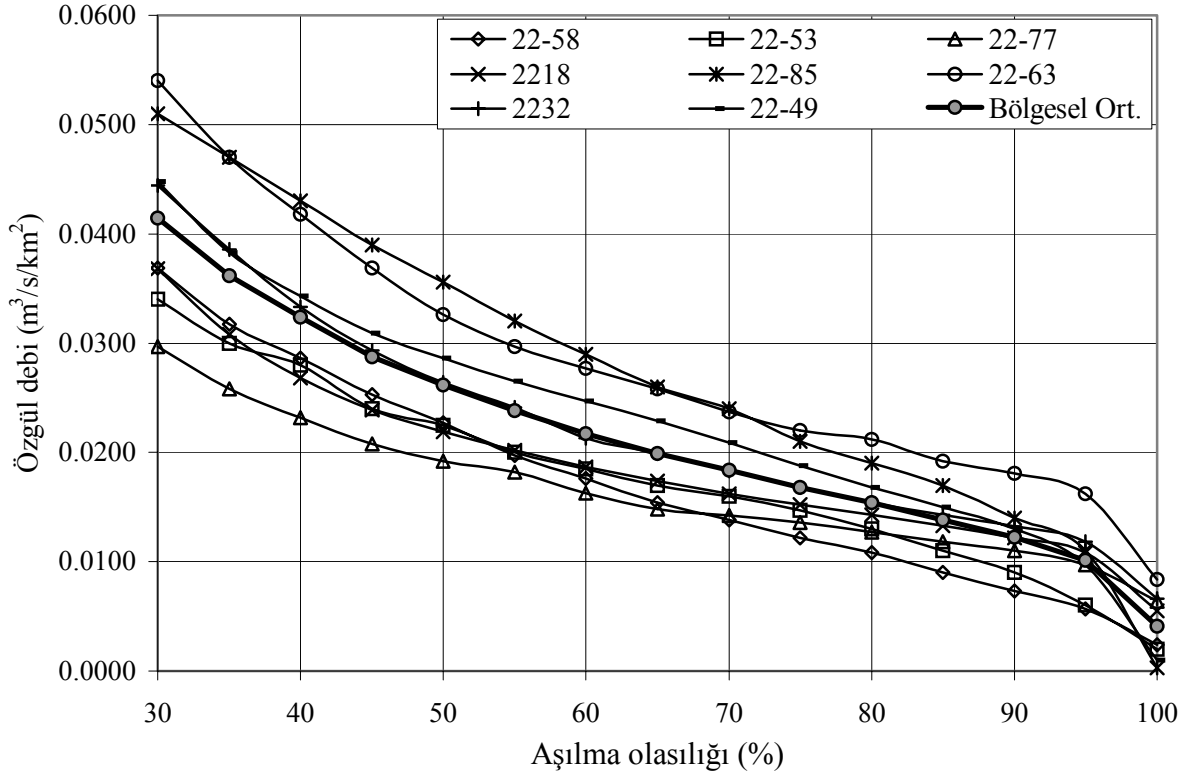
Şekil 3. k-ortalamları küme analizi yöntemine göre homojen bölgeler (veriler standart hale getirilmiş)



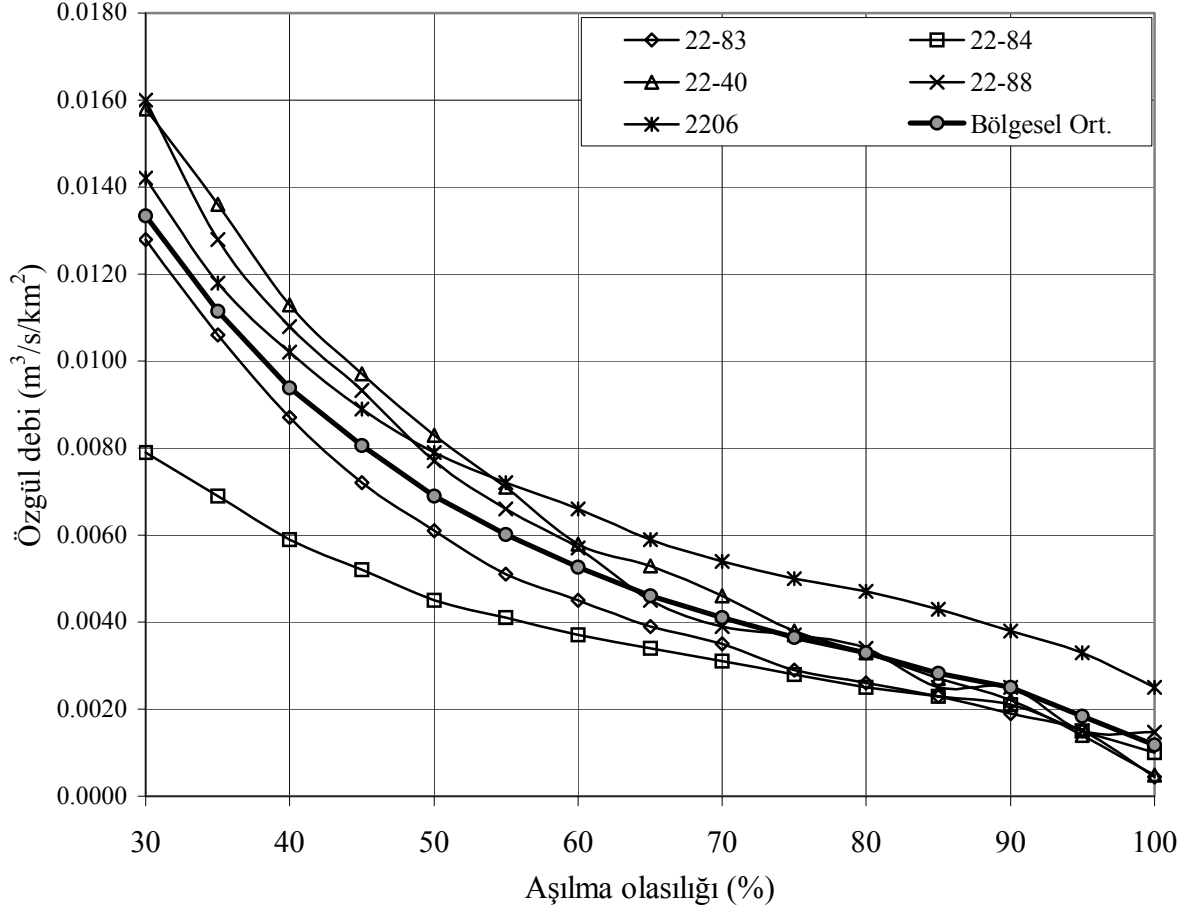
Bölgesel debi süreklilik eğrileri



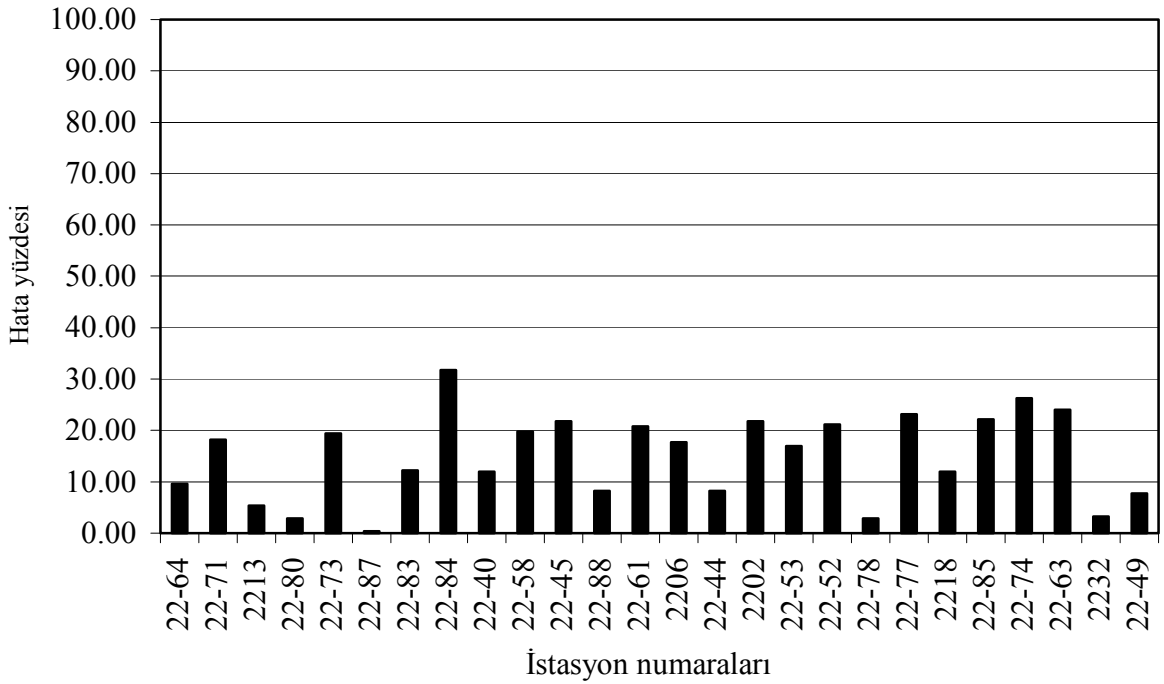
Şekil 4. *k*-ortalamaları küme analizi yöntemiyle elde edilen A bölgesindeki istasyonların özgül debi süreklilik eğrileri



Şekil 5. *k*-ortalamaları küme analizi yöntemiyle elde edilen B bölgesindeki istasyonların özgül debi süreklilik eğrileri



Şekil 6. *k*-ortalamaları küme analizi yöntemiyle elde edilen C bölgesindeki istasyonların özgül debi süreklilik eğrileri



Şekil 7. *k*-ortalamaları yöntemiyle elde edilen bölgesel debi süreklilik eğrilerine göre hata oranları

B bölgesine ait bölgesel debi süreklilik eğrisine ait analitik ifade;

$$Q(t) = 0.1003 - 0.00293t + 0.0000378t^2 - 0.0000001803t^3 \quad (11)$$

C bölgesine ait bölgesel debi süreklilik eğrisine ait analitik ifade;

$$Q(t) = 0.035137 - 0.001054t + 0.0000124t^2 - 0.0000000527t^3 \quad (12)$$

## Sonuçlar

Hem Doğu Karadeniz Bölgesinde seçilen çalışma bölgesindeki 26 akım gözlem istasyonuna ait özgül debi süreklilik eğrileri hem de Yu ve Yang (1996) tarafından Güney Tayvan'da yapılan bölgesel çalışmada kullanılan 34 akım gözlem istasyonuna ait debi süreklilik eğrileri kullanılarak bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesine yönelik olarak yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Bölgesel ölçekte doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi için küme analizi yöntemleri kullanılarak bölgesel debi süreklilik eğrilerinin belirlenebileceği ortaya konmuştur.
2. Hem Doğu Karadeniz Bölgesinde seçilen çalışma bölgesindeki 26 akım gözlem istasyonuna ait hem de Yu ve Yang (1996) tarafından Güney Tayvan'da yapılan bölgesel çalışmada kullanılan 34 istasyona ait debi süreklilik eğrilerinin aşılma olasılığı %0 - %30 arasında kalan kısmı, %0 - %100 arasındaki kısmı ile %30 - %100 arasında kalan kısımları için hem hiyerarşik hem de hiyerarşik olmayan küme analiz yöntemleri ile homojen alt bölgeler oluşturulmuş ve elde edilen homojen alt bölge sınırlarının debi süreklilik eğrilerinin kullanılan aralığına bağlı olarak değiştikleri belirlenmiştir. Bu bağlamda, homojen alt bölgelerin oluşturulmasında özgül debi süreklilik eğrilerinin hangi kısmına göre küme analizi yapılacağına karar verilirken debi süreklilik eğrisinin kullanım amacı dikkate alınmalıdır.

3. Doğu Karadeniz Bölgesine ait veriler ile hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan küme analiz yöntemleri ile özgül debi süreklilik eğrileri yönünden oluşturulan homojen bölgeler karşılaştırıldığında, hiyerarşik yöntemlerden tam bağlantı ve Ward yöntemleri ile hiyerarşik olmayan k-ortalamları yönteminin biri birlerine daha yakın ve kabul edilebilir sonuç verdikleri belirlenmiştir.
4. Bir birinden tamamen bağımsız hem Güney Tayvan hem de Doğu Karadeniz Bölgesine ait özgül debi süreklilik eğrileri verileri kullanılarak hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan küme analiz yöntemleri ile oluşturulan homojen bölge sınırları karşılaştırıldığında, küme analiz işleminden önce verilerin standart hale getirilip getirilmemesinin homojen bölge sınırlarını değiştirdiği sonucuna varılmıştır. Verilerin çarpık dağılması durumunda, standart hale getirilmesi uygun olacaktır.
5. Bu çalışmada, küme analizi yöntemiyle belirlenen homojen bölgeleri yeterli doğrulukla temsil edecek ortak özgül debi süreklilik eğrilerine ait analitik ifadelerin elde edilebileceği ve bu sayede bölgedeki herhangi bir nokta için çeşitli aşılma olasılıklarına karşı gelen debi değerlerinin kolaylıkla bu analitik ifadelerden hesaplanabileceği ortaya konulmuştur. Bu durum doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesine yönelik planlama çalışmalarında daha önce kullanılan yaklaşık yöntemlere göre büyük bir kolaylık ve hassasiyet sağlayacaktır.
6. Fizibilite ve master plan çalışmalarında, akım ölçüm değeri olmayan veya eksik olan yerlerde bu tez çalışmasında ortaya konan yöntemle "Bölgesel Debi Süreklilik Eğrileri" elde edilerek proje debisi kolaylıkla belirlenebilecek ve buna bağlı olarak da bölgesel ölçekte doğal akışlı hidroelektrik potansiyel kolaylıkla hesaplanabilecektir.

## Kaynaklar

- Bacher, J., (2002). Cluster analysis, Nuremberg.  
Bayazit, M., (1987). Hidroloji, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

- Bayazıt, M., (1997). Biriktirme haznelerinin tasarımı ve işletilmesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Cıgızoğlu, K., (1997). Debi süreklilik çizgisinin matematik modelleri, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Everitt, B., S., (1993). Cluster analysis, New York.
- Fovell, R.G. ve Fovell, M.Y.C., (1993). Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis, *Journal of Climate*, **6**, 2103-2135.
- Gong, X. ve Richman, M.B., (1994). On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies, *Journal of Climate*, **8**, 897-931.
- Gulliver, J.S., ve Arndt R.E.A., (1991). Hydropower engineering handbook, U.S.A.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatman, R.,L. ve Black, W.,C., (1997). Multivariate data analysis, U.S.A.
- Jajuga, K., Sokolowski, A. ve Rock, H.H., (2002). Classification, clustering and data analysis, Germany.
- SAS Institute, (1985). SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute, 268, U.S.A.
- Yu, P.S. ve Yang, T.C., (1996). Synthetic regional flow duration curve for southern Taiwan, *Hydrological Processes*, **10**, 373-391.