

Bulanık dispersiyon modelinin kontur harita ile yorumlanması

Z. Fuat TOPRAK*, M. Emin SAVCI

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

Özet

Akarsularda boyuna dispersiyon katsayısının belirlenmesi için geliştirilen denklemler genellikle doğrusal olmayan regresyon analizine, istatistik metotlara veya benzeri kara kutu yaklaşımlarına dayanmaktadır. Geliştirilmeleri sırasında yapılan kabuller nedeniyle bu denklemler dikkatli kullanılmadıkları takdirde gerçekçi olmayan sonuçlarla karşılaşılabilir. Bu çalışmada bulanık mantık yaklaşımı ile geliştirilen yeni bir modelin, ölçümler sonucu elde edilen verilere uygulanmasının sonuçları sunulmuştur. Veri kümeleri, bağımsız değişkenler olarak akımın derinliği, genişliği, kesit ortalama ve kayma hızlarını, bağımlı değişken olarak da boyuna dispersiyon katsayısını içermektedir. Bulanık model sonuçları, eldeki veriler ve farklı yedi çalışmanın sonuçları kontur harita yöntemi kullanılarak karşılaştırılmış ve bulanık modelin, mevcut çalışmalardan daha gerçekçi sonuçlar verdiği ve kontur harita yönteminin model sonuçlarının karşılaştırılmasında güvenle kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Boyuna dispersiyon katsayısı, Bulanık mantık, difüzyon, dispersiyon, kontur harita, modelleme.*

Interpreting of fuzzy dispersion model by contour map method

Abstract

In order to investigate the dispersion process, researchers have used differential equations written under certain assumptions with a dispersion coefficient. These differential equations cannot be used in practice unless the dispersion coefficient is either directly measured or calculated from measurements. Many empirical equations, statistical methods or several black box approaches are used to determine the longitudinal dispersion coefficients in natural channels. The empirical equations most depend procedurally on the least squares techniques through regression equations of non-linear types. Unfortunately, many critical assumptions in the derivation of these regression equations are not considered and consequently the resulting equations can be used with precautions and reservations. Otherwise, the results will not be reliable. The main goal of this study is to apply a new fuzzy model to the 96 data sets concerning more than 30 rivers at different times. The data sets include four independent and one dependent variables, which are, the depth, the width and the mean cross-sectional velocity of the flow, shear velocity and longitudinal dispersion coefficient. Results of the model have been compared with existing data and the results of seven equations using contour map method. It is observed that the fuzzy model yields more reliable results than other approaches and it can be used more easily and efficiently.

Keywords: *Contour map, dispersion, fuzzy-logic, longitudinal dispersion coefficient, modeling.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Z. Fuat TOPRAK. fuat.toprak@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 68 45.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Akarsularda boyuna dispersiyon katsayısının bulanık mantık yöntemi ile belirlenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 27.01.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 07.04.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Dispersiyon olayı ile ilgili ilk deneysel ve teorik çalışmaların Taylor (1954) ile başladığı bilinmektedir. Daha sonra bu çalışmalar Elder (1959), Fischer (1968), Yotsukura vd., (1970), Godfrey ve Frederick (1970), Savcı (1972), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974), Liu (1977), Jobson (1997), Koussis ve Mirasol (1998), Seo ve Cheong (1998), Kashefipour ve Falconer (2002), ve Toprak vd., (2003) ile devam etmiştir.

Dispersiyon olayı fiziksel olarak, moleküler yayılma, su hızına bağlı olarak kütle transferi ve türbülans yayılması olmak üzere üç farklı mekanizma ile olmaktadır. Taylor (1954) bu üç mekanizmayı, bir boyutlu (1B) dispersiyon denklemi ile:

$$A \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right) = -UA \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) \left[D_1 A \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) \right] \quad (1)$$

şeklinde ifade etmiştir. Burada, C kirletici konsantrasyonu, x kanal boyunca mesafe ve D_1 boyuna dispersiyon katsayısıdır. A , t ve U ise sırası ile, alan, zaman ve kesitsel ortalama akım hızıdır. Bu denklemin yazılmasındaki kabullerin başında, ortamın homojen ve izotropik, kanal veya akarsu kesitinin üniform, yanal dispersiyonun boyuna dispersiyon yanında ihmal edilir ve boyuna dispersiyon katsayısının zaman ve konuma göre değişmez olması gelir. Denklem (1), kirliliğin ilk bulaştığı başlangıç zamanı ve akarsuya ilk enjekte edildiği bölgeler için değil, üniform akımın meydana gelmesi için gerekli zamandan (Taylor periyodundan) daha büyük zamanlar için uygulanabilir.

Elder (1959) boyutsuz dispersiyon katsayısının sabit ve 5.93 değerinde olduğunu belirtmişse de Fischer vd., (1979) birçok deneysel ölçümden sonra, boyuna dispersiyon katsayısının boyutsuz D/HU^* faktörüne bağlı olarak 8.6 ile 7500 arasında değiştiğini göstermiştir. Elder (1959), Fischer (1975), Liu (1977), Koussis ve Mirasol (1998), Seo ve Cheong (1998), Kashefipour ve Falconer (2002), akımın genişliği (W), derinliği (H), kesitsel ortalama hızı (U) ve kayma gerilmesi hızına (U^*) bağlı olarak boyuna dispersiyon katsayısını tahmin eden ve sırasıyla

aşağıda yer alan ampirik denklemleri önermişlerdir.

$$D_1 = 5.93HU^* \quad (2)$$

$$D_1 = \frac{0.011U^2W^2}{HU^*} \quad (3)$$

$$D_1 = \beta \frac{U^2W^2}{HU^*}, \beta = 0.18 \left(\frac{U^*}{U} \right)^{1.5} \quad (4)$$

$$D_1 = \frac{\phi U^* W^2}{H}, \phi = 0.6 \quad (5)$$

$$\frac{D_1}{HU^*} = 5.915 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.62} \left(\frac{U}{U^*} \right)^{1.428} \quad (6)$$

$$D_1 = 10.612 HU \frac{U}{U^*} \quad (7)$$

$$D_1 = \left[7.428 + 1.775 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.62} \left(\frac{U^*}{U} \right)^{0.572} \right] HU \left(\frac{U}{U^*} \right) \quad (8)$$

Bu çalışmanın amacı ise akımın derinliği, genişliği, kesitsel ortalama ve kayma hızlarına bağlı olarak boyuna dispersiyon katsayısını tahmin eden bulanık modelin sonuçlarını sunmak ve bu sonuçları kontur harita yöntemi ile aynı değişkenlerin esas alındığı yukarıdaki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmaktır.

Çalışmada kullanılan verilerin analizi

Modelin geliştirilmesinde ve test edilmesinde ABD'de 30'dan fazla akarsu üzerinde ölçüm sonucu elde edilmiş, Fischer (1968), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Godfrey ve Frederick (1979) gibi rapor ve makalelerde yayınlanan veriler esas alınmıştır. Muhtelif akarsulardan, farklı zamanlarda ve farklı araştırmacılar tarafından ölçüm sonucu elde edilen bu veriler Kashefipour ve Falconer (2002) ve Seo ve Cheong (1998)'ten alınmıştır. Bazı veri kümeleri her iki çalışmada da yer aldığı için bu veri kümelerinin birleşimi esas alınarak birbirinin aynı olmayan 96 adet veri kümesi elde edilmiştir. Veri kümeleri, akarsu

genişliği (W), akım derinliği (H), kesitsel ortalama akım hızı (U) ve kayma gerilmesi hızı (U^*) olmak üzere dört bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken (boyuna dispersiyon katsayısı, D_1) olmak üzere toplam beş değişken içermektedir.

Veriler önce toplu halde incelenmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin, maksimum, minimum ve ortalama değerleri, standart sapmaları, ęarpıklık ve değişim katsayıları gibi istatistik parametreleri ve aralarındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Aynı işlemler boyutsuz bağımsız değişkenler ile boyutsuz boyuna dispersiyon katsayıları için de tekrarlanmıştır. Daha sonra, hem araştırmacısına hem de akarsuyuna göre veriler sınıflandırılarak incelemeye devam edilmiştir. Bu incelemeler sonucunda aşağıdaki hususlar belirlenmiştir:

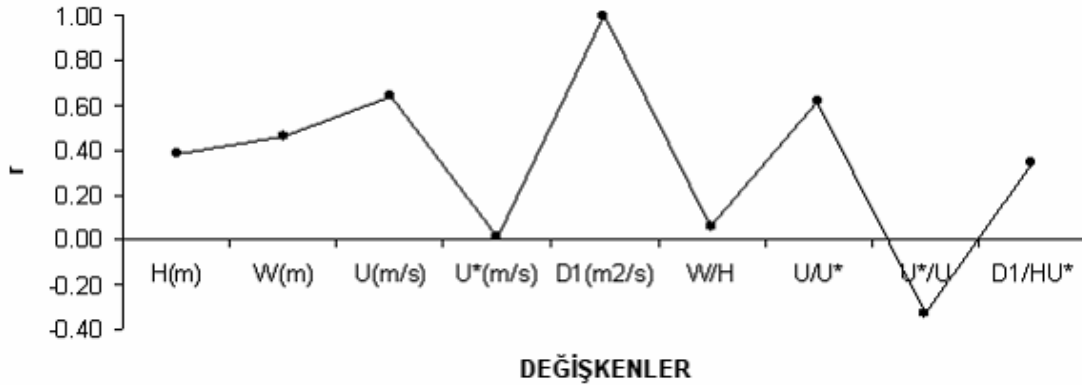
- Veriler toplu halde değerlendirildiğinde boyutlu ve boyutsuz bağımsız değişkenler ile boyutlu ve boyutsuz boyuna dispersiyon

katsayıları arasında dikkate değer doğrusal, logaritmik veya polinomal bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. En yüksek korelasyon katsayılarının kesitsel ortalama akım hızı ve U/U^* boyutsuz büyüklüğü ile bir boyutlu boyuna dispersiyon katsayısı arasında olduğu görülmüş ve değerleri sırasıyla 0.64 ve 0.62 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 1).

- Veriler akarsularına ve araştırmacılarına göre sınıflandırıldığında değişkenlere ait istatistiklerin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bir çok sınıf için bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki korelasyon katsayılarının belirgin derecede pozitif veya negatif yönde arttığı görülmüştür. Bu durum, araştırmacıların çalışma ortamının geometrik ve akım özelliklerinin ve araştırmacıların ölüm teknik ve metotlarının birbirinden farklı olması, boyutlu büyüklüklerle çalışılması, bazı sınıflardaki veri sayısının az olması ve olası ölüm hatalarına bağlanmıştır.

Tablo 1. Eldeki tüm verilerin istatistik parametreleri

İSTATİSTİKLER	DEğİŞKENLER								
	H(m)	W(m)	U(m/s)	U*(m/s)	D ₁ (m ² /s)	W/H	U/U*	U*/U	D ₁ /HU*
Korelasyon Katsayısı (D ₁ ile)	0.39	0.5	0.64	0.01	1.00	0.06	0.62	-0.33	0.34
Maksimum	19.94	711.2	1.74	0.55	1486.45	156.54	20.77	0.83	35712.25
Minimum	0.22	11.9	0.13	0.02	1.90	13.82	1.21	0.05	6.17
Ortalama	1.61	77.9	0.55	0.08	118.35	51.92	7.65	0.19	1364.60
Standart Sapma	2.42	118.1	0.38	0.08	221.07	30.90	4.68	0.13	3766.99
Çarpıklık Katsayısı	5.29	3.6	1.47	4.63	3.71	1.38	1.21	2.44	8.23
Değişim Katsayısı	1.51	1.5	0.69	0.91	1.87	0.60	0.61	0.71	2.76



Şekil 1. Eldeki tüm veriler için boyuna dispersiyon katsayısı ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

- Veriler sınıflandırılınca her bir sınıftaki veri sayısı ciddi bir şekilde azalmaktadır. Bu nedenle sınıflandırılmış hali ile verilerin model geliştirmede kullanılması halinde sonuçların yanıltıcı olacağı beklenmektedir.
- Verilerin normal dağılmadığı ve çarpıklığın mutlak değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Tüm veri topluluğu için yapılan dikkatli inceleme ve gerekli hesaplamalar sonucunda, bazı veri kümelerinin birbiri ile çeliştiği görülmüştür.
- Farklı akarsulardan alınmış ve çok değişkenli veri kümeleri için bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin tümü arasında yüksek bir korelasyonun olması beklenemez. Çünkü bir akarsuyun geometrik ve akım büyüklükleri diğer bir akarsuyun aynı büyüklüklerinden bağımsızdır. Diğer taraftan, kesitsel ortalama akım hızı ile boyuna dispersiyon katsayısı arasında her zaman bir ilişkinin olması beklenebilir. Nitekim, tüm veri kümeleri bir arada değerlendirildiğinde de en yüksek korelasyon katsayısının bu iki değişken arasında olduğu görülmüştür.
- Bu özellikleri nedeniyle eldeki verilerle geleneksel yöntemler yerine, bulanık mantık yaklaşımı ile model geliştirmenin daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Bulanık modelin geliştirilmesinde daha sağlıklı verileri kullanabilmek için yukarıda sözü edilen çelişkili veri kümeleri çıkarılmıştır. Seçilen veri kümeleri, modelin eğitilmesi ve test edilmesi için ayrıca ikiye ayrılmıştır. Verilerin toplu halde yapılan analizinin bir benzeri seçilen veriler için de tekrarlanmıştır. Maksimum ve minimum değerleri içeren veri kümeleri elenenlerin arasında yer almamıştır. Ortalama değerlerde ise dikkate değer bir farklılık gözlenmemiştir. Bununla birlikte, H , W , U ve U_* ile D_I arasındaki korelasyon katsayılarında belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu artış çelişkili verilerin çıkarılmasına bağlanmıştır. Çarpıklık katsayısı genel olarak küçülmekle birlikte bazı değişkenler için

arttığı, fakat hiçbir değişkenin normal dağılıma uymadığı görülmüştür. Standart sapmalarda ise bir düşüş gözlenmiştir (Tablo 2 ve Şekil 2).

Bulanık model

Bulanık modeller genellikle Sugeno ve Kank (1988) veya Mamdani (1977) yaklaşımları ile geliştirilmektedir. Sugeno ve Kank (1988) yaklaşımında çıktılara sanal denklem uydurulmakta ve girilen kural ve üyelik fonksiyonu sayısı ve şekline bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmektedir. Daha sonra optimum kural ve üyelik fonksiyonu sayısı ve şekli belirlenir. Bu yaklaşım, daha çok en küçük kareler yöntemine benzemektedir. Mamdani (1977) yaklaşımında ise üyelik fonksiyonlarının sayısı ve şekli belirlendikten sonra kurallar atanır. Bu yaklaşımda eldeki verilere benzer sayısal değerler modelin çıktısı olarak elde edilmektedir. Bu çalışmadaki bulanık model için Mamdani (1977) yaklaşımı uygun görülmüştür.

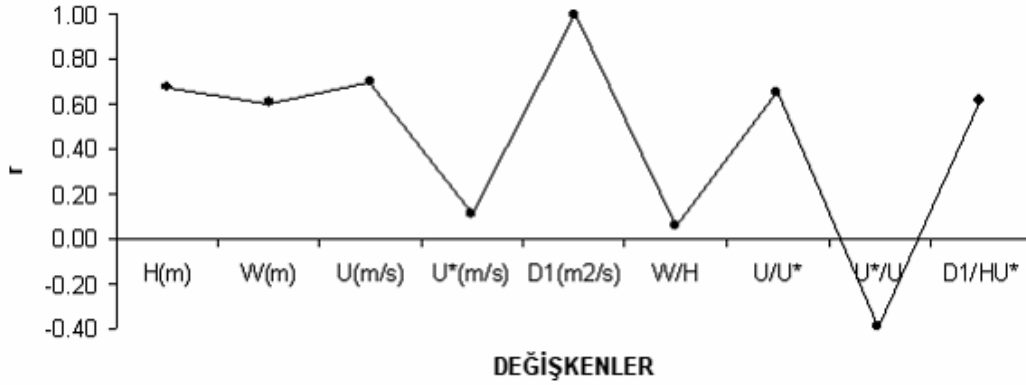
Bulanık model için 47'si eğitime aşaması ve 18'i test aşaması için olmak üzere toplam 65 veri kümesi esas alınmıştır. Eğitime ve test aşaması verilerinin seçimi tamamıyla rastgele yapılmıştır. Veri sayısının modeli geliştirmek için yeterli olduğu düşünülmüştür. Literatürde çok daha az veri kümesi ile çalışmış araştırmaya rastlamak mümkündür. Örneğin Seo ve Cheong (1998)'te 35 veri kümesi üzerinde çalışılmıştır.

Bulanık sistemin dört girdi ve bir çıktısı bulunmaktadır. Bunlar, akarsuyun genişliği, derinliği, kesit ortalama akım hızı, kayma gerilmesi hızı ve boyuna dispersiyon katsayısı'dır.

Üyelik fonksiyonları üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 3 a-e). Bu seçim, girdilerin çıktı üzerindeki etkisi veya çıktının girdilere tepkisi yani uzman görüşü ve girdilerin veya çıktılarının sınır şartlarına göre yapılmıştır. Bulanık sistemin üyelik fonksiyonları sayısı tüm girdiler için altı, çıktı için ise dokuz olarak belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonlarının sayısı ve taban genişliği "uzman görüşü", "verilerin dağılımı" ve "deneme-yanılma" yöntemleri esas alınarak hatayı en aza indirecek şekilde belirlenmiştir. Hatayı minimize etmek için çıktının üyelik fonksiyonu sayısının daha

Tablo 2. Seçilen verilerin istatistik parametreleri

İSTATİSTİKLER	DEĞİŞKENLER								
	H(m)	W(m)	U(m/s)	U*(m/s)	D ₁ (m ² /s)	W/H	U/U*	U*/U	D ₁ /HU*
Korelasyon Katsayısı (D ₁ ile)	0.68	0.6	0.70	0.11	1.00	0.06	0.66	-0.39	0.62
Maksimum	4.94	533.4	1.74	0.27	1486.45	130.93	20.77	0.42	7692.31
Minimum	0.22	11.9	0.13	0.02	1.90	13.82	2.41	0.05	91.39
Ortalama	1.29	59.9	0.53	0.08	119.76	49.50	7.42	0.17	974.98
Standart Sapma	1.17	76.4	0.37	0.04	251.78	28.33	4.12	0.09	1297.60
Çarpıklık Katsayısı	1.54	4.1	1.72	2.24	3.63	1.23	1.42	1.05	3.34
Değişim Katsayısı	0.91	1.3	0.70	0.55	2.10	0.57	0.55	0.51	1.33



Şekil 2. Seçilen veriler için boyuna dispersiyon katsayısı ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

fazla olması uygun görülmüştür. Kısacası hem girdi, hem de çıktılar için belirtilen yöntemlerle optimum üyelik fonksiyonu şekli ve sayısı belirlenmiştir.

Maksimum kural sayısı, girdi sayısı ve girdilerin üyelik fonksiyonları sayısının (bulanık alt küme sayısının) kombinasyonu kadardır. Eldeki verilere göre bazen tüm kombinasyonlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Programın yükünü ağırlaştırmamak için mümkün olduğunca kural sayısı az tutulmuştur. Ancak, kural sayısında gereğinden fazla bir kısıtlamaya da gidilmemiştir. Bu durumdan bazı veri kümeleri için hiç bir kuralın tetiklenemeyeceği veya tetiklenmenin özellikle bazı kurallar üzerinde yoğunlaşacağı endişesi ile kaçınılmıştır. Kısacası deneme-yanılma ile optimum kural sayısı 42 olarak belirlenmiştir.

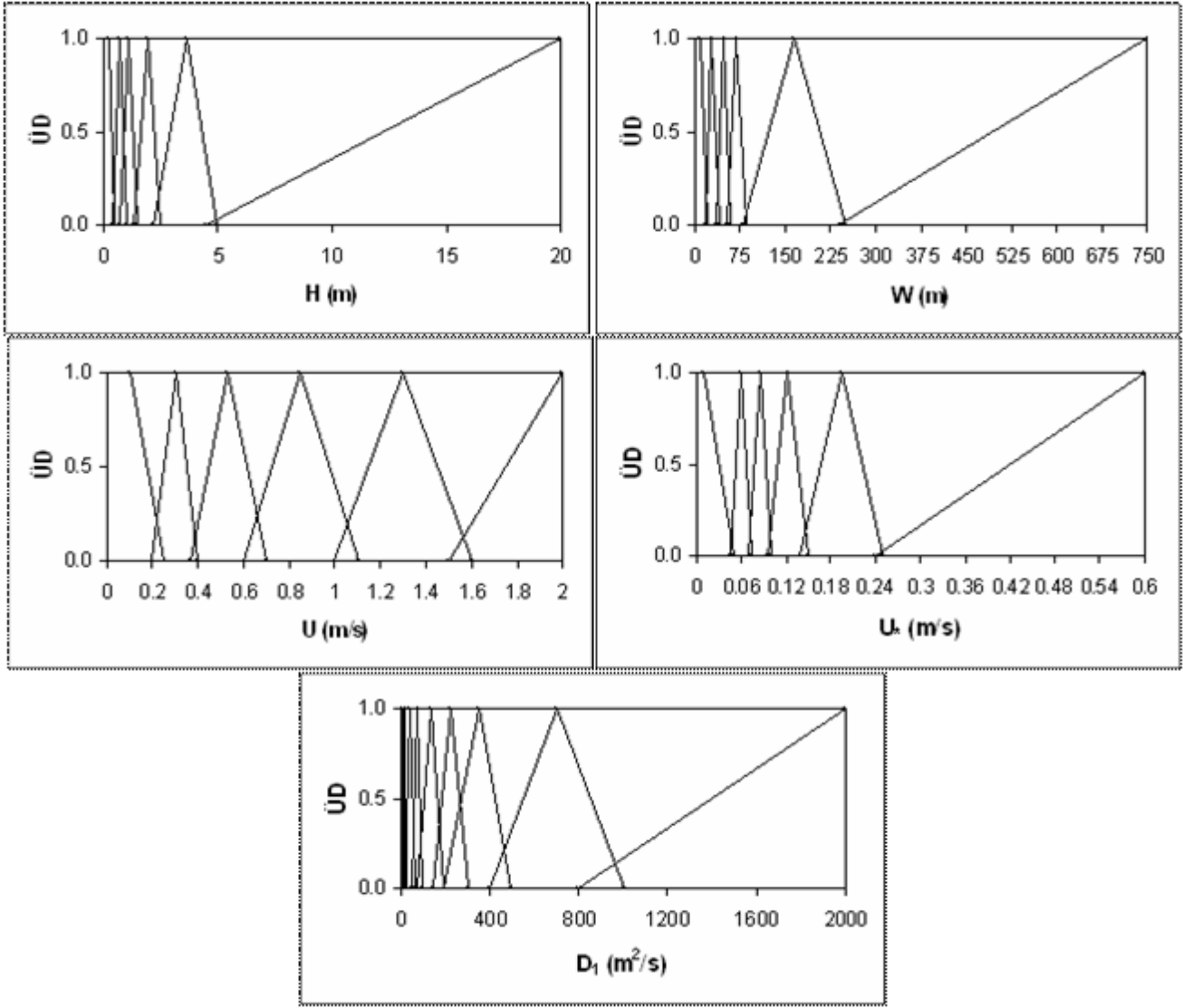
Durulaştırma için farklı alternatifler söz konusudur (Ross, 1995). Bu alternatiflerin içinden herhangi birinin seçimi yapılan çalışmanın özelliğine bağlı olarak konunun uzmanı tarafından yapılır.

Bundan hareketle durulaştırma alternatifleri içinden amaca en uygun metodun sentroid metot olduğu düşünülmüştür. Sentroid metoda karar verilirken seçilen üyelik fonksiyonlarının şekli ve sayısı ve bulanık kural tabanı da göz önünde tutulmuştur.

Modelin sınır şartları

Her modelin bazı sınır şartları vardır. Bu şartlar daha çok değişkenlerin sınır şartlarıdır. Buna göre geometrik ve hidrolik büyüklükleri, $0.2 \text{ m} < H < 20 \text{ m}$, $10 \text{ m} < W < 750 \text{ m}$, $0.1 \text{ m/s} < U < 2 \text{ m/s}$ ve $0.01 \text{ m/s} < U^* < 0.6 \text{ m/s}$ olan akarsular için bulanık model uygulanabilir.

“Kontur harita” burada “eş dispersiyon eğrili harita” olarak adlandırılabilir. Çok iyi bilinen eş yükselti eğrili haritadan hiçbir farkı yoktur. Burada büyüklükler özellikle boyutsuz hale getirilmemiştir. Amaç, ikiden fazla (dört) olan bağımsız değişken sayısını, tüm değişkenleri bir arada kullanabilecek şekilde ikiye indirebilmektir.



Şekil 3. Bulanık model girdilerinin ve çıktısının üyelik fonksiyonları

Bu yöntemde de, diğer grafik yöntemlerinde olduğu gibi ölçek önemlidir. Eldeki verilerin ve model sonuçlarının eş dispersiyon eğrili haritaları aynı veya farklı şekilde ölçeklendirilebilir.

Değerlendirmeyi güçleştireceği ve yanılgılara neden olacağı endişesi ile tüm haritalar için aynı ölçek uygun görülmüştür. Bulanık modelin ve diğer çalışmaların performansını görmek için sonuçlarının öncelikli olarak eldeki veriler ile karşılaştırılması gerekir. Bu nedenle veriler için seçilen ölçek tüm modellerin sonuçlarına ait haritalar için aynen uygulanmıştır. Bununla birlikte yedi istatistik parametre ve dört hata kriteri ile bu karşılaştırma desteklenmiştir.

Uygulama

Bulanık model ve bu çalışmada kullanılan değişkenlerle çalışmış altı araştırmacıya ait yedi denklem, hem eğitim hem test grubu verilerine uygulanmıştır.

Bu araştırmacılar Elder (1959), Fischer (1975), Koussis ve Mirasol (1998), Seo ve Cheong (1998), Kashefipour ve Falconer (2002) ve Liu (1977)'dir. Burada Kashefipour ve Falconer (2002)'in iki denklemi dikkate alınmıştır. Bu çalışmalar, sık sık anılmaları nedeniyle bundan sonra tek yazarlı olanların, yazarının isminin ilk iki harfi, iki yazarlı olanların ise her iki araştırmacının isimlerinin ilk harfleri ile anılacaktır. Kashefipour ve Falconer (2002)'nin iki bağıntısı

olması nedeniyle bunlardan KF 1 ve KF 2 şeklinde söz edilecektir. Buna göre bu çalışmalar, sırasıyla EL, FI, KM, SC, KF 1, KF 2 ve LI şeklinde anılacaktır.

Eş dispersiyon eğrili harita yöntemi, sadece maksimum, minimum ve ortalama gibi bir kısım parametreleri değil, tüm sonuç değerlerini temel alan bir değerlendirmeye imkan vermektedir. Bu yüzden bir karşılaştırma kriteri olarak tek başına çok anlam ifade etmemektedir.

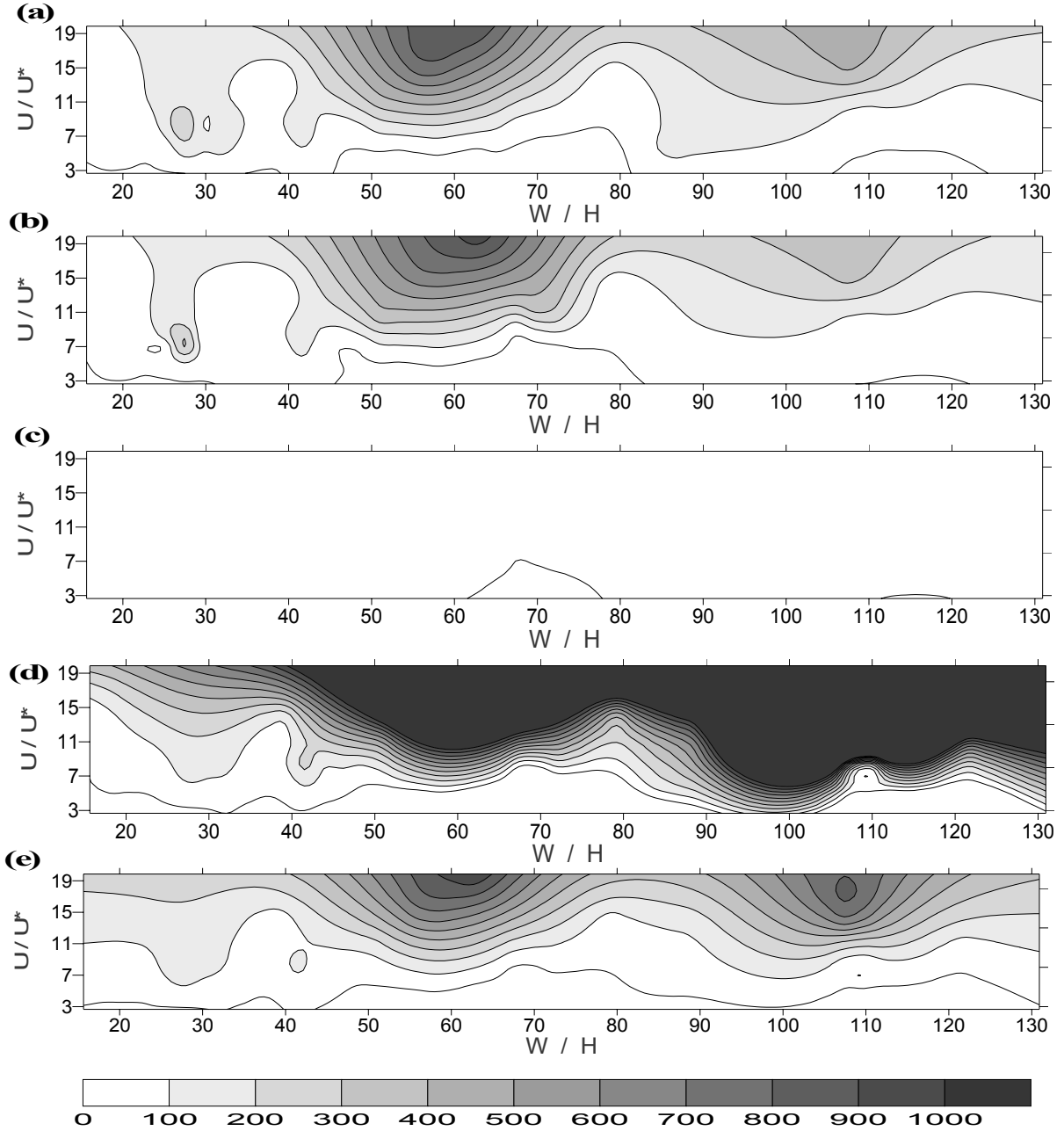
Aynı ölçekteki eş yükselti eğrili haritaları birbirine benzeyen iki coğrafya için topografyalarının da birbirine benzediği nasıl söylenebiliyorsa, aynı ölçekteki eş dispersiyon eğrileri birbirine benzeyen iki modelin de birbirine benzediği söylenebilir. Önemli olan her iki eksen için aynı ölçeğin seçilmesidir. Alınabilecek en doğru ölçek ise, model sonuçlarının karşılaştırıldığı eldeki verilerin ölçeğidir. Bu ölçek, x ve y eksenlerinde gösterilen bağımsız değişkenler ile eğrileri elde edilen bağımlı değişkenin maksimum ve minimumları esas alınarak belirlenmiştir.

Dört bağımsız değişken, W/H ve U/U* şeklinde birbirine oranlanarak iki bağımsız değişken haline getirilmiştir. Bu oranlama, değişkenleri boyutsuzlaştırmak için değil değişken sayısını azaltmak için yapılmıştır.

Şekil 4'te eğitim grubu verileri ve model sonuçlarının eş dispersiyon eğrili haritaları verilmiştir. Haritalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde, haritaları eldeki verilerin haritasına en çok benzeyen modellerin sırasıyla bulanık model, KF 1, KF 2 ve SC olduğu görülmektedir. Eş dispersiyon eğrili harita yönteminin, çalışmaların sonuçlarının kendi aralarındaki ve bu sonuçlar ile veriler arasındaki benzerlik ve farklılıkları çarpıcı bir şekilde ortaya koyduğu söylenebilir. KF 1, KF 2 ve SC, 0 ile 70 arasındaki W/H değerleri için gösterdikleri performansı, W/H'nin daha büyük değerleri için gösteremediği, bulanık modelin ise W/H'nin tüm değerleri için aynı performansı gösterebildiği görülmektedir. Özellikle, W/H 0 ile 45 arasındaki değerleri için EL, FI ve KM dışında diğer tüm modellerin kısmen doğru tahmin yaptığı Şekil 4'ten kolayca anlaşılabilir.

Biri dışında, EL'in tüm eş dispersiyon eğrileri seçilen ölçeğin dışında kaldığı için görülmemektedir ve dolgu rengi açıktır. Bu durum, EL'in sonuçlarının küçük olduğu anlamına gelmektedir. Haritalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde, hemen hemen tüm bağıntıların, U/U*'ın 3 ile 7 arasındaki değerleri için eldeki verilere yakın bir tahminde bulunduğu anlaşılmaktadır. Gerek U/U*'ın gerek W/H'nin büyüyen değerlerine bağlı olarak tüm bağıntıların performansında düşüş gözlenmiştir.

W/H ve U/U*'ın belli aralıkları için KF 1, KF 2 ve SC'nin sonuçlarına ait haritalar birbirine benzediği halde W/H ve U/U*'ın aynı aralıkları için verilerin haritasına benzememektedirler. W/H'nin 80 ve üstündeki değerleri için bunu açıkça görmek mümkündür. Şekil 4e, 4f ve 4i sırasıyla KF 1, KF 2 ve SC'nin sonuçlarına ait haritaları göstermektedir. Bu haritaların genel olarak da birbirine benzedikleri kadar aynı değişkenlere ve ölçeğe sahip verilerin haritalarına benzemedikleri görülmektedir. Verilerin haritasına bakıldığında (Şekil 4a), W/H'nin 45-80 ve U/U*'ın 7-20 arasındaki değerleri için eğriler, düzgün dairesel görünümlü, daha sık ve birbirine benzer olup dolgu rengi daha koyudur. Haritanın bu kısmındaki görünümü, değişkenlerin verilen aralıklarında boyuna dispersiyon katsayılarının daha yüksek ve değişkenlere, özellikle de U/U*'a bağlı olarak daha çok ve daha düzenli değiştiği anlamına gelmektedir. U/U*'ın aynı aralıktaki, W/H'nin daha büyük değerleri için ise eğriler, daha yayvan, birbirinden farklı ve düzensiz, daha seyrek ve dolgu rengi daha açıktır. Haritanın bu kısmı için de, boyuna dispersiyon katsayısı değerlerinin daha düşük, değişkenlere bağlı olarak daha az ve düzensiz değiştiği yorumu yapılabilir. Oysa yukarıda belirtilen üç bağıntının sonuçlarına ait haritalara bakıldığında (Şekil 4e, 4f ve 4i) verilere ait haritanın tersine W/H'nin 80'den büyük ve U/U*'ın 7-20 aralığındaki değerleri için, eğriler sık, düzenli, birbirine benzer, dairesel görünümlü olup dolgu rengi koyudur. Bu durum, söz konusu bağıntılar tarafından tahmin edilen boyuna dispersiyon katsayılarının, değişkenlerin verilen değer aralıkları için, verilerin boyuna dispersiyon katsayısı değerlerinden daha yüksek, bağımsız



Şekil 4. Eğitim grubu verileri ve model sonuçlarının eş dispersiyon eğrili haritaları: (a) eğitim grubu verileri, (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1

değişkenlere daha çok bağımlı ve daha düzenli değiştiği anlamına gelmektedir. Özellikle SC'nin sonuçlarına ait haritadan (Şekil 4i) bu durumu daha açık bir şekilde görmek mümkündür. Diğer taraftan, Şekil 4d, 4e, 4f, 4h ve 4i haritalarına bakıldığında, FI, KF 1, KF 2, LI ve SC'nin U/U^* 'in 3-7 arasındaki değerleri için boyuna dispersiyon katsayısı değerlerini birbirine yakın tahmin ettiği ve bu değerlerin, ölçülen verilerle

kısmen uyduğu görülmektedir. Çünkü, verilere ve anılan bu çalışmalara ait tüm haritaların W/H ve U/U^* 'in belirtilen aralıktaki değerleri için dolgu rengi açık, eğriler seyrek ve düzensiz olup eğri şekilleri, haritadan haritaya benzerlik göstermektedir.

Görüldüğü gibi burada, dolgunun renk tonu ve eğrilerin sıklığı, şekli ve kendi aralarındaki

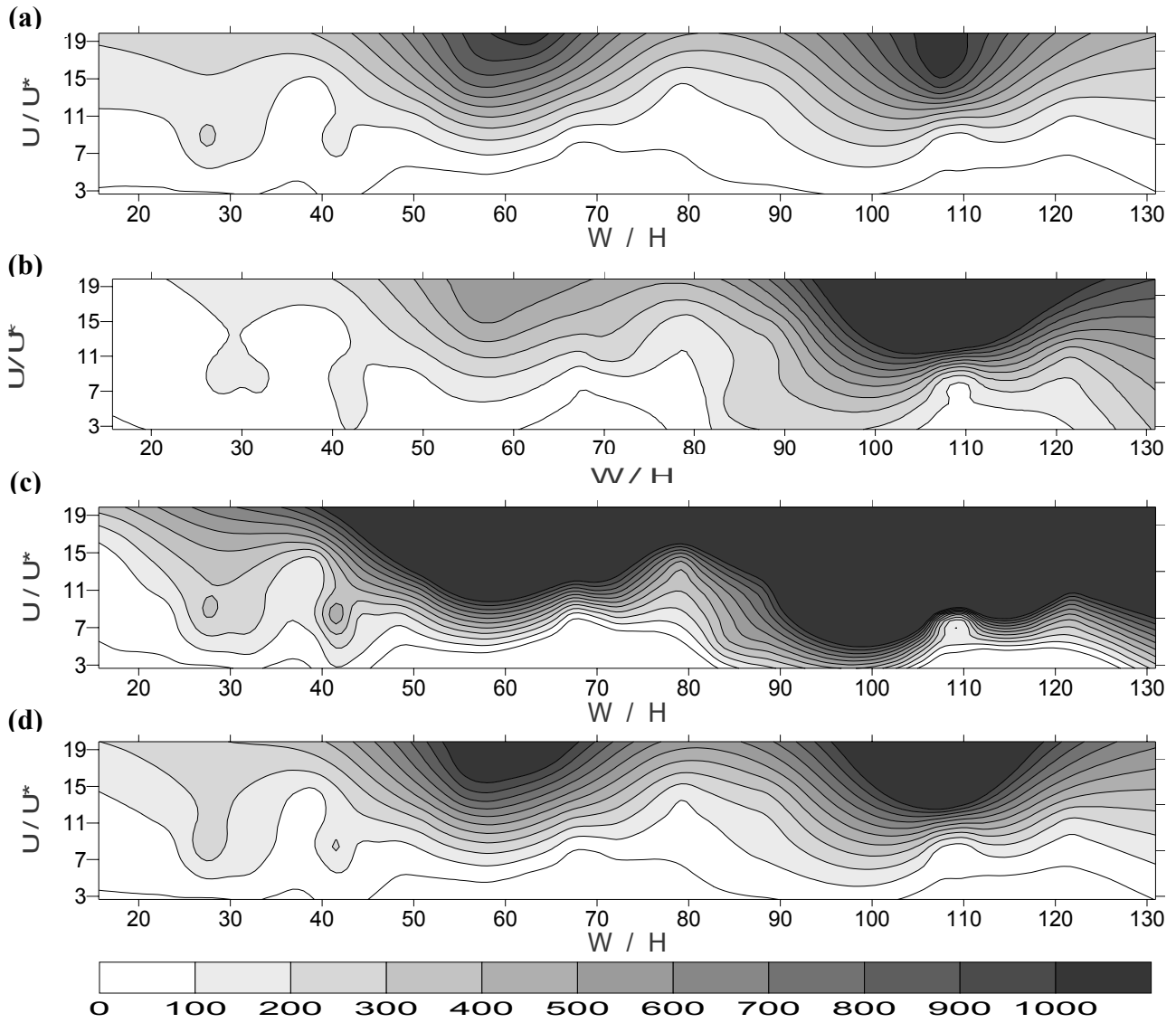
benzerlikleri, önemli birer anlam ifade etmektedir. Dolgu rengi tonu boyuna dispersiyon katsayısının büyüklüğünü, eğrilerin sıklığı değişkenlere bağımlılık derecesini, şekli ise bağımlılığın nasıl değiştiğini göstermektedir.

Diğer taraftan bu yöntemle eksenlerin seçilen ölçeğine bağlı olarak, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin maksimum ve minimum değerlerini ve kabaca ortalamalarını tahmin etmek de mümkündür. Bunun yanında, eğrilerin şekilleri, sıklıkları ve birbirine benzerliklerine göre farklı sonuçların birbirine ve ölçülen verilere ne kadar benzerlik gösterdiğini, başka bir ifade ile göreceli hatalarını görmek de mümkündür.

Görüldüğü üzere, eş dispersiyon eğrili harita yöntemi tek başına bir çok farklı karşılaştırma kriterini içermektedir.

Bu değerlendirmeler ışığında ve eğitime grubu verilerine ait haritalar bir bütün olarak dikkatlice incelendiğinde, en başarılı çalışmanın bulanık model olduğu ve hemen arkasından sırasıyla, KF 1, KF 2 ve SC'nin geldiği rahatlıkla söylenebilir.

Şekil 5'e bakıldığında aynı değerlendirmeleri test grubu verilerine ait haritaların karşılaştırma sonuçları için de yapmak mümkündür. Burada, EL'in test grubu verilerine ait sonuçlarının



Şekil 5. Eğitime grubu verileri ile model sonuçlarının eş dispersiyon eğrili haritaları: (a) KF 2, (b) KM, (c) LI ve (d) SC

haritasına bakıldığında (Şekil 5c) hiç bir eğrinin görülmediği ve renginin açık olduğu dikkati çekmektedir. Bu, EL'in tüm sonuçlarının ölçülen değerlerden çok düşük olduğu anlamına gelmektedir. Nitekim EL'in sonuçlarının çok küçük olduğu, maksimum ve ortalama değerinden de anlaşılmaktadır (Tablo 3 ve 4). FI ve LI'nin sonuçlarına ait haritalara bakıldığında (Şekil 6d ve Şekil 7c) U/U^* ve W/H' 'in bazı aralıkları için hiç bir eğri görülmemektedir. Fakat EL'in haritasının tersine rengi koyudur. Bu ise sonuçlarının ölçülen değerlerden çok yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 3 ve 4'te eğitime ve test grubu verileri ile modellerin sonuçlarına ait çeşitli istatistik para-

metreler ve modellerin eğitime ve test grubu verilerine göre hataları verilmiştir. Şekil 8 ve 9'da veriler ile model sonuçlarının farklı bir grafikte karşılaştırması sunulmuştur.

Tablo 3 ve 4 ile Şekil 8 ve 9 dikkatli bir şekilde incelendiğinde bunların da eş dispersiyon eğrili haritalar (kontur haritalar) için yapılan yorumları desteklediği rahatlıkla söylenebilir.

Sonuç

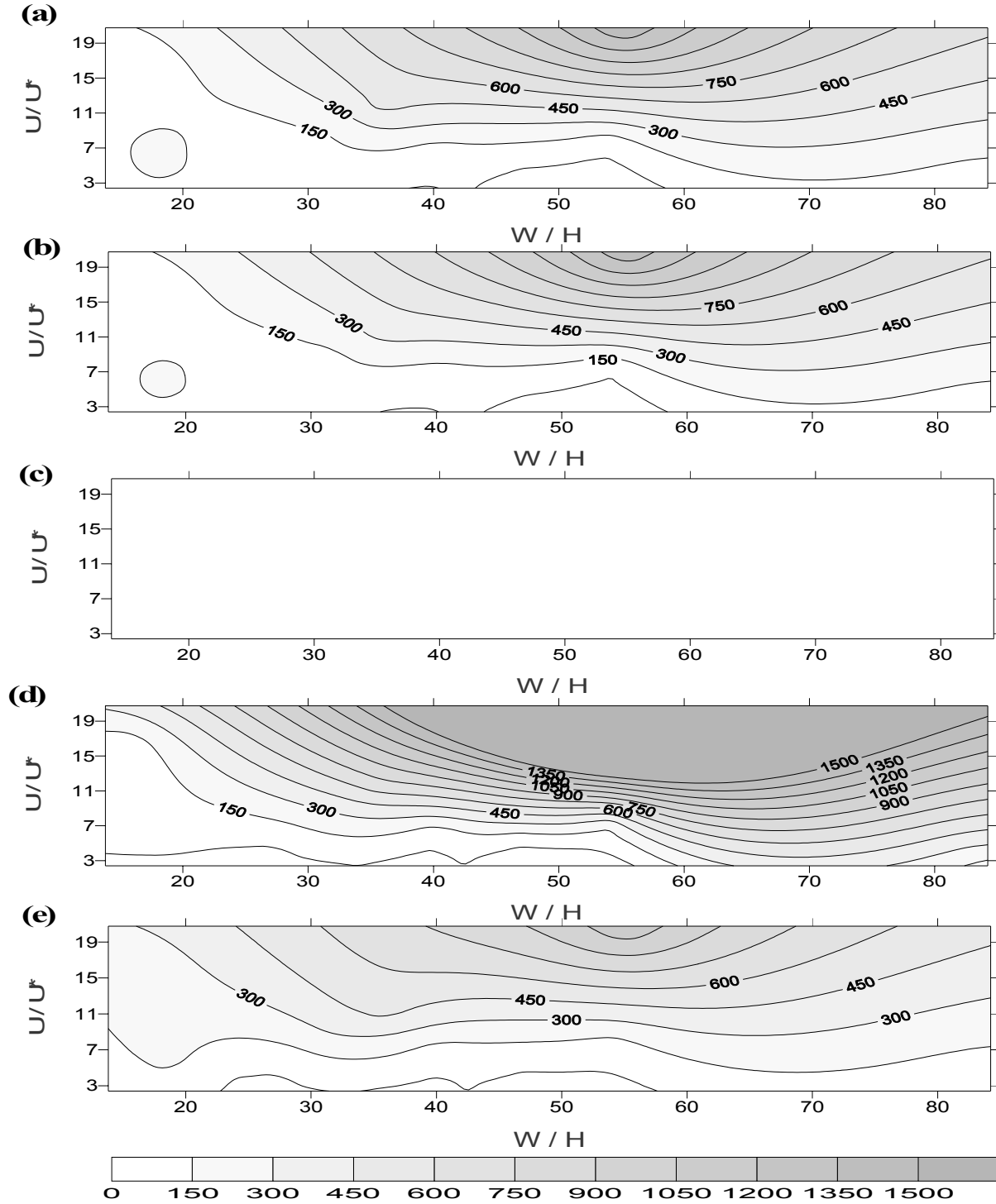
Bu çalışmada, akarsularda boyuna dispersiyon katsayısının belirlenmesi için bulanık mantık yaklaşımı ile geliştirilen model ile Elder (1959), Fischer (1975), Seo ve Cheong (1998), Liu

Tablo 3. Modellerin sonuçlarına ait istatistikler ve eğitime grubu verilerine göre hataları

MODELLER	EĞİTME AŞAMASI											
	İSTATİSTİK PARAMETRELER							HATALAR				
	X_{Max}	X_{Min}	X_m	S_x	C_{sX}	C_{vX}	r	OKH	OKKH	OMH	OMRH	
Ölçülmüş veriler	891.9	1.9	103.2	202.8	2.9	2.0	1.00	0	0	0	0	
Elder (1959)	2.3	0.1	0.5	0.6	1.8	1.2	0.78	50657	32	103	99	
Fischer (1975)	10122.8	2.0	450.3	1583.9	5.4	3.5	0.58	2250343	217	378	288	
Liu (1977)	10885.3	9.4	543.8	1645.5	5.7	3.0	0.55	2524865	229	453	592	
Koussis&Mirasol (1998)	2384.4	5.2	157.9	352.8	5.6	2.2	0.52	92562	44	113	252	
Seo&Cheong (1998)	1793.0	5.2	151.3	341.3	3.75	2.26	0.81	46356	31	75	124	
Kashefipour&Falconer (2002)-I	1003.3	2.4	92.6	209.9	3.44	2.27	0.89	9665	14	49	93	
Kashefipour&Falconer (2002)-II	1124.4	3.3	110.2	247.4	3.5	2.2	0.86	15450	18	51	93	
Bulanık model	965.2	1.0	97.0	203.1	3.0	2.1	0.97	2501	7	26	63	

Tablo 4. Modellerin sonuçlarına ait istatistikler ve test grubu verilerine göre hataları

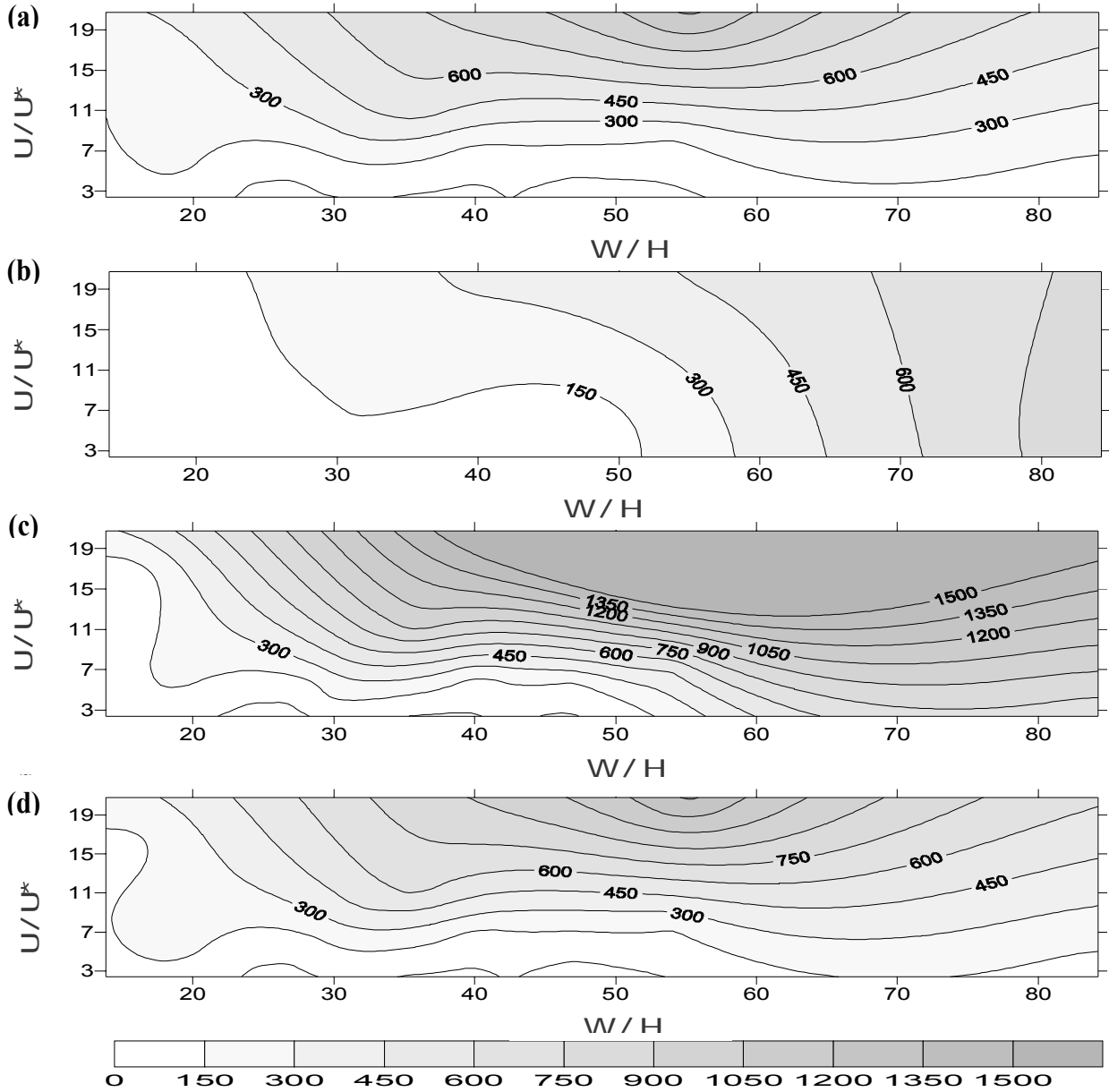
MODELLER	EĞİTME AŞAMASI											
	İSTATİSTİK PARAMETRELER							HATALAR				
	X_{Max}	X_{Min}	X_m	S_x	C_{sX}	C_{vX}	r	OKH	OKKH	OMH	OMRH	
Ölçülmüş veriler	1486.5	5.9	166.5	360.0	3.5	2.2	1.00	0	0	0	0	
Elder (1959)	2.9	0.2	1.1	0.9	0.7	0.8	0.33	149122	94	165	98	
Fischer (1975)	3679.9	3.1	314.5	883.8	3.9	2.8	0.98	292445	131	193	137	
Liu (1977)	2899.4	20.4	387.1	704.4	3.2	1.8	0.96	180372	103	230	326	
Koussis&Mirasol (1998)	866.9	9.5	159.1	218.6	2.5	1.4	0.40	108101	80	155	239	
Seo&Cheong (1998)	1382.0	7.6	208.1	345.8	2.84	1.66	0.97	9315	23	64	186	
Kashefipour&Falconer (2002)-I	1171.1	2.6	163.5	292.6	2.93	1.79	0.97	10370	25	63	227	
Kashefipour&Falconer (2002)-II	1234.5	4.1	176.9	308.2	2.9	1.7	0.97	8854	23	62	210	
Bulanık model	1473.8	1.0	154.9	352.1	3.7	2.3	1.00	995	8	17	28	



Şekil 6. Test grubu verileri ve model sonuçlarının eş dispersiyon eğrili haritaları: (a) test grubu verileri, (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF I

(1977), Kashefipour ve Falconer I-II (2002), Koussis ve Mirasol (1998) tarafından önerilen modeller eldeki verilere uygulanmış, bu modellerin sonuçları kendi aralarında ve ölçülen verilerle kontur harita yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan aşağıda sıralanan sonuçlar çıkarılmıştır:

Kontur harita yöntemi ile yapılan karşılaştırmada, hem eğitime hem test grubu verileri için haritası verilerin haritasına en çok benzeyen modelin bulanık model olduğu, arkasından sırasıyla Kashefipour ve Falconer I-II (2002) ve Seo ve Cheong (1998) tarafından önerilen



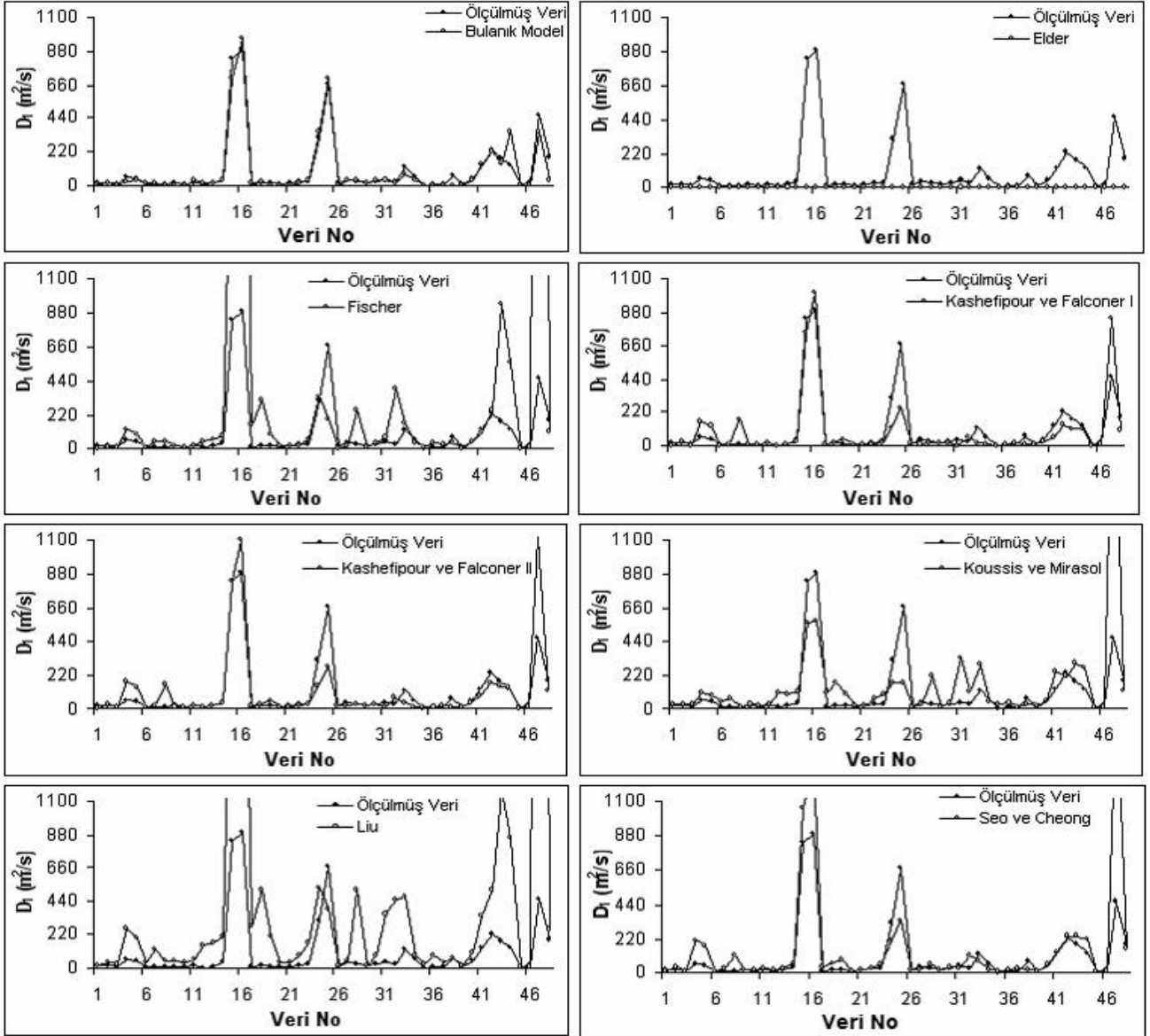
Şekil 7 Test grubu verileri ile model sonuçlarının eş dispersiyon eğrili haritaları: (a) KF 2, (b) KM, (c) LI ve (d) SC

modellerin geldiği söylenebilir. Maksimum, minimum, ortalama, standart sapma ve çarpıklık, değişim ve korelasyon katsayıları esas alınarak yapılan diğer karşılaştırmaların ve ilgili grafiklerin de bu sonucu desteklediği görülmüştür.

1. Bulanık modelin, akım genişliği, akım derinliği, kesit ortalama akım hızı ve kayma gerilmesi hızına bağlı olarak belirtilen sınır şartları dahilinde akarsularda boyuna dispersiyon katsayısının tahmin edilmesinde güvenle kullanılabilirliği düşünülmektedir.

2. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi ve kuralların atanması sırasında fizik uzman görüşü olarak bulanık modellere yansıtılmaktadır. Bu yüzden bulanık model sadece veri esaslı bir model değil, fizik temeli de olan bir modeldir.

3. Kontur harita yöntemi karşılaştırma amacı ile kullanılabilir ve tek başına birden fazla istatistik parametreye göre daha anlamlı olduğu söylenebilir.



Şekil 8. Eğitim grubu verileri ile model sonuçlarının grafiksel karşılaştırması

4. Bulanık mantık yaklaşımının önerilen modellerden daha doğru sonuçları vermesi önerilen modellerde yapılan ihmal ve kabullerin bulanık mantıkta daha az olmasına bağlanmıştır.

Kaynaklar

Elder, J. W., (1959). The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow, *Journal of Fluid Mechanics*, **5**, 4, 544-560.
 Fischer, H. B., (1968). Dispersion predictions in natural streams, *ASCE Journal of Sanitary Division*, **94**, 5, 927-943.
 Fischer H. B., (1975). Discussion of Simple method for prediction dispersion in streams' by R.S. McQuivey and T.N.Keefer, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **101**, 453-455.

Fischer H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., ve Brooks, N. H., (1979). Mixing in inland and coastal waters, Academic Press, Inc., New York.
 Godfrey, R. G., ve Frederick, B. J., (1970). Stream dispersion at selected sites, *U.S. Geological Survey*, 433-K, Washington.
 Jobson, H. E., (1997). Predicting travel time and dispersion in rivers and streams, *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*, **123**, 11, 971-978.
 Kashedipour, S. M. ve Falconer, R. A., (2002). Longitudinal dispersion coefficients in natural streams, *Water Research*, **36**, 1596-1608.
 Koussis, A. D. ve Rodriguez-Mirasol, J., (1998). Hydraulic estimation of dispersion coefficient for streams, *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, **124**, 317-320.

Liu, H., (1977). Predicting dispersion coefficient of stream, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **103**, 1, 59-69.

Mamdani, E. H., (1977). Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *IEEE Transactions on Computers*. **26**, 12, 1182-1191.

McQuivey, R. S. ve Keefer, T. N., (1974). Simple method for prediction dispersion in streams, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **100**, 997-1011.

Nordin, C. F., ve Sabol, G. V., (1974). Empirical data on longitudinal dispersion in rivers, *U.S. Geological Survey Water Resource Investigation* Washington, 20-74.

Ross, T. J., (1995). Fuzzy Logic with Engineering Applications. McGraw-Hill, Inc.

Savcı, M. E., (1972). Batmış sıçramanın etüdü ve batmış sıçramada maddenin boyuna dispersiyonu, *Doktora Tezi*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.

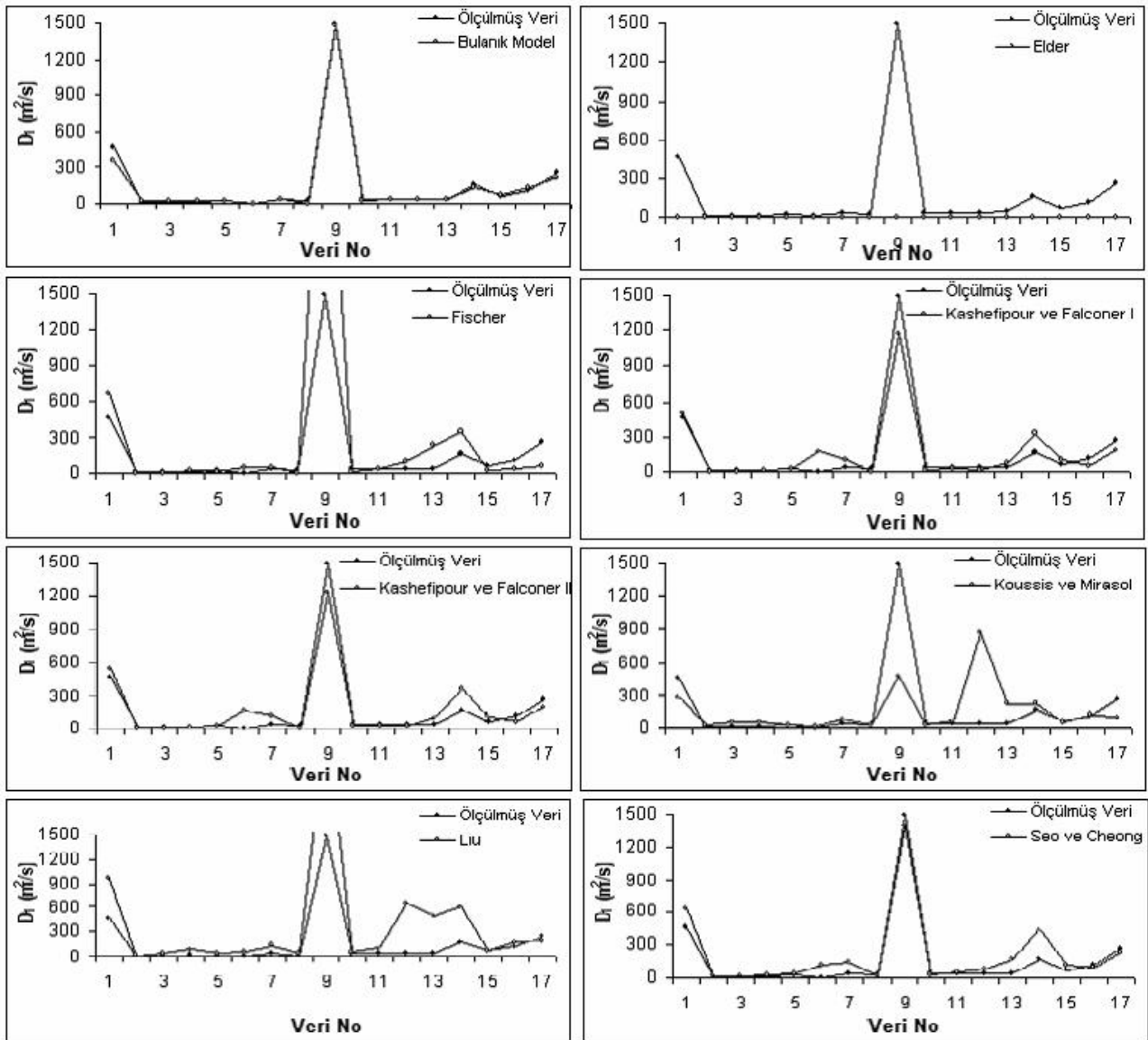
Seo, W. ve Cheong, S., (1998). Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams, *Journal of Hydraulic Engineering*, **24**, 1, 25-32.

Sooky, A. A., (1969). Longitudinal dispersion in open channels, *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, **95**, 4, 1327-1346.

Sugeno, M. ve Kank, G.T., (1988). Structure identification of fuzzy model, *Fuzzy Sets and Systems*, **28**, 1, 15-33.

Taylor, G. I., (1954). The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe, *Proceedings of the Royal Society of London*, **223**, A, 446-468.

Toprak, Z. F., Şen, Z., ve Savcı, M. E., (2003). Comment on longitudinal dispersion coefficients in natural channel, *Water Research*, under publication.



Şekil 9. Test grubu verileri ile model sonuçlarının grafiksel karşılaştırması