

**175847**

**AKARSULARDA BOYUNA DİSPERSİYON  
KATSAYISININ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ  
İLE BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ  
Y. Müh. Z. Fuat TOPRAK  
(Enstitü No : 501982053)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Aralık 2003  
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2004**

**Tez Danışmanı :  
Diğer Jüri Üyeleri**

**Prof.Dr. M. Emin SAVCI (İ.T.Ü.)**

**Prof. Dr. Zekai ŞEN (İ.T.Ü.)**

**Prof. Dr. Cem AVCI (B.Ü.)**

**Prof.Dr. Necati AĞIRALIOĞLU (İ.T.Ü.)**

**Prof.Dr. Ahmet DEMİR (Y.T.Ü.)**

**OCAK 2004**

## ÖNSÖZ

Tez danışmanım Prof. Dr. Sayın M. Emin SAVCI'ya başta olmak üzere, tez süresince hiç bir yardımını benden esirgemeyen, adeta bir eş danışman gibi her türlü soru ve sorunumla yakından ilgilenen, tez izleme jürisi üyesi olarak bana rehberlik eden, kendisinden ders aldığım ve her zaman yanımda olan Prof. Dr. Sayın Zekai ŞEN'e ve tez izleme jürisi üyesi olarak bana her zaman destek olan, beni teşvik eden ve cesaretlendiren, aynı zamanda yorum, eleştiri ve tavsiyeleri ile değerli bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen Prof. Dr. Sayın Cem AVCI'ya öncelikle, büyük bir içtenlikle ve ne kadar teşekkür etsem eksik kalacağı bilinci ile teşekkür etmek istiyorum. Bunun yanında doktoram süresince, kendilerinden ders aldığım ve çok değerli bilgi ve deneyimlerini hiç bir zaman benden esirgemeyen Prof. Dr. Ferruh MÜFTÜOĞLU, Prof. Dr. Yılmaz MUSLU, Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU, Prof. Dr. Mehmetcik BAYAZIT, Prof. Dr. Emin KARAHAN, Prof. Dr. İstemi ÜNSAL, Prof. Dr. Zekai CELEP ve diğer İTÜ İnşaat Fakültesi öğretim üyelerine, bana doktora yapma olanağını sağlayan ve tezimi destekleyen İTÜ Rektörlüğü ve İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve İTÜ Mustafa İnan kütüphanesi çalışanlarına büyük içtenlik ve minnet duyguları ile teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Ayrıca, doktoram süresince hiç bir desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan değerli aileme, yeterlilik jürisi üyesi Prof. Dr. Sabahattin UC ve ilgisi ve yardımları için Doç. Dr. Hafzullah AKSOY'a teşekkürü bir borç biliyorum. Ocak, 2004.

Z. Fuat TOPRAK

# İÇİNDEKİLER

|                                                         |             |
|---------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                      | <b>v</b>    |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                    | <b>vi</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                    | <b>vii</b>  |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                   | <b>x</b>    |
| <b>ÖZET</b>                                             | <b>xi</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                                         | <b>xiii</b> |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                         | <b>1</b>    |
| 1.1. Yayılma (Dispersiyon)                              | 1           |
| 1.2. Yayılma Olayında Problem Nedir                     | 3           |
| 1.3. Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı                | 5           |
| 1.4. Çalışmanın Önemi                                   | 6           |
| 1.5. Çalışmada İzlenen Yol                              | 7           |
| <b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ</b>         | <b>9</b>    |
| 2.1. Konunun Tarihçesi                                  | 9           |
| 2.2. Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi              | 10          |
| 2.3. Önceki Çalışmaların Sınıflandırılması              | 21          |
| 2.3.1. Akım ortamına göre sınıflandırma                 | 21          |
| 2.3.2. Amacına göre sınıflandırma                       | 22          |
| 2.3.3. İzleyici türüne göre sınıflandırma               | 22          |
| 2.3.4. Kullanılan yönteme göre sınıflandırma            | 22          |
| <b>3. YÖNTEM GELİŞTİRME ESASLARI</b>                    | <b>23</b>   |
| 3.1. Yöntem Seçimi                                      | 23          |
| 3.2. Bulanık Mantık                                     | 26          |
| 3.3. Bulanık Mantığın Fayda ve Mahsurları               | 29          |
| 3.4. Bulanık Mantığın Diğer Yöntemler İçerisindeki Yeri | 30          |
| 3.5. Kümeler                                            | 33          |
| 3.5.1. Küme kavramı                                     | 33          |
| 3.5.2. Klasik kümeler                                   | 34          |
| 3.5.2.1. Klasik küme notasyonu                          | 35          |
| 3.5.2.2. Klasik küme işlemleri                          | 35          |
| 3.5.2.3. Klasik küme özellikleri                        | 36          |

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| 3.5.3 Bulanık kümeler                            | 37         |
| 3.5.3.1. Bulanık küme notasyonu                  | 39         |
| 3.5.3.2. Bulanık küme işlemleri                  | 40         |
| 3.5.3.3. Bulanık küme özellikleri                | 45         |
| 3.6. Üyelik Fonksiyonları                        | 46         |
| 3.6.1. Üyelik fonksiyonlarının kısımları         | 47         |
| 3.6.2. Üyelik fonksiyonlarının özellikleri       | 49         |
| 3.7. Bulanıklaştırma                             | 51         |
| 3.8. Bulanık Matematik                           | 52         |
| 3.9. Durulaştırma                                | 56         |
| 3.9.1. En büyük üyelik derecesi yöntemi          | 57         |
| 3.9.2. Sentroid (ağırlık merkezi) yöntemi        | 57         |
| 3.9.3. Ortalama en büyük üyelik derecesi yöntemi | 58         |
| 3.9.4. Ağırlıklı ortalama yöntemi                | 59         |
| <b>4. BULANIK MODEL</b>                          | <b>60</b>  |
| 4.1. Giriş                                       | 60         |
| 4.2. Verilerin Analizi                           | 63         |
| 4.3. Seçilen Verilerin Analizi                   | 71         |
| 4.4. Bulanık Model                               | 71         |
| 4.5. Modelin Sınır Şartları                      | 76         |
| 4.6. Karşılaştırma Kriterleri                    | 76         |
| 4.7. Kontur Harita (contour map) Yöntemi         | 79         |
| <b>5. UYGULAMA</b>                               | <b>81</b>  |
| 5.1. Giriş                                       | 81         |
| 5.2. Birinci Uygulama                            | 81         |
| 5.3. İkinci Uygulama                             | 113        |
| <b>6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME</b>                 | <b>128</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                 | <b>131</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                  | <b>138</b> |

## KISALTMALAR

|                        |                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>1B</b>              | : Bir boyutlu                                   |
| <b>m</b>               | : Metre                                         |
| <b>m/s</b>             | : Metre/saniye                                  |
| <b>m<sup>2</sup>/s</b> | : Metrekare/saniye                              |
| <b>ve diğ.</b>         | : Ve diğerleri                                  |
| <b>KDD</b>             | : Konvektif difüzyon denklemi                   |
| <b>s.”...”</b>         | : Sayfa “...”                                   |
| <b>ABD</b>             | : Amerika Birleşik Devletleri                   |
| <b>YSA</b>             | : Yapay sinir ağları                            |
| <b>ANN</b>             | : Artificial neuro network                      |
| <b>L</b>               | : Uzunluk                                       |
| <b>T</b>               | : Zaman                                         |
| <b>K</b>               | : Kuvvet                                        |
| <b>M</b>               | : Kütle                                         |
| <b>EB</b>              | : En büyükleme veya en büyük                    |
| <b>EK</b>              | : En küçükleme veya en küçük                    |
| <b>Bknz.</b>           | : Bakınız                                       |
| <b>OKH</b>             | : Ortalama karesel hata                         |
| <b>OKKH</b>            | : Ortalama karekök karesel hata                 |
| <b>OMH</b>             | : Ortalama mutlak hata (ortalama standart hata) |
| <b>OMRH</b>            | : Ortalama mutlak rölatif (bağıl) hata          |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                      | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Tablo 4.1.</b> Kullanılan veri kümeleri (Seo ve Cheong, 1998; Kashefipour ve Falconer, 2002).....                                                                 | 61                     |
| <b>Tablo 4.2.</b> Sınıflandırılmış veri kümelerinde, akarsu büyüklüklerinin istatistik parametreleri.....                                                            | 65                     |
| <b>Tablo 4.3.</b> Çelişkili veri kümelerine örnek .....                                                                                                              | 71                     |
| <b>Tablo 4.4.</b> Seçilen verilerdeki değişkenlerin istatistik parametreleri .....                                                                                   | 72                     |
| <b>Tablo 5.1.</b> Eğitim grubu verilerinin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile modellerin birinci uygulama sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matrisi..... | 82                     |
| <b>Tablo 5.2.</b> Modellerin birinci uygulama sonuçlarına ait istatistikler ve eğitim grubu verilerine göre hataları .....                                           | 83                     |
| <b>Tablo 5.3.</b> Test grubu verilerinin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile modellerin birinci uygulama sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matrisi .....  | 87                     |
| <b>Tablo 5.4.</b> Modellerin birinci uygulama sonuçlarına ait istatistikler ve test grubu verilerine göre hataları .....                                             | 87                     |
| <b>Tablo 5.5.</b> Modellerin ikinci uygulama sonuçlarına ait istatistikler ve eldeki tüm verilere göre hataları .....                                                | 114                    |
| <b>Tablo 5.6.</b> Verilerin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile modellerin ikinci uygulama sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matrisi .....                | 114                    |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                      | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 : Enine karışım ve boyuna yayılma olayı ve izleyicinin merkezi tek noktadan yapılan damla enjeksiyonunun mansabından itibaren konsantrasyon dağılımındaki değişimler ..... | 3               |
| Şekil 3.1 : Bulanık mantığın bilimsel yöntemler arasındaki yeri (Şen, 1999).....                                                                                                     | 31              |
| Şekil 3.2 : Klasik sistem .....                                                                                                                                                      | 31              |
| Şekil 3.3 : Genel bulanık sistem (Şen, 1999) .....                                                                                                                                   | 32              |
| Şekil 3.4 : Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi (Şen, 1999) ...                                                                                                                 | 33              |
| Şekil 3.5 : Klasik kümelerin şematik gösterimi .....                                                                                                                                 | 35              |
| Şekil 3.6 : (a) İki bulanık kümenin Venn diyagramı, (b) $A$ bulanık kümesinin değilinin (tamlayanının) Venn diyagramı .....                                                          | 40              |
| Şekil 3.7 : $A$ ve $B$ bulanık kümelerinin birleşimi (Şen, 1999) .....                                                                                                               | 41              |
| Şekil 3.8 : $A$ ve $B$ bulanık kümelerinin kesişimi (Şen, 1999) .....                                                                                                                | 42              |
| Şekil 3.9 : Bağdaşmayan klasik kümeler (Şen, 1999) .....                                                                                                                             | 44              |
| Şekil 3.10 : Bağdaşmayan bulanık kümeler (Şen, 1999) .....                                                                                                                           | 44              |
| Şekil 3.11 : İçerilen bulanık $B$ kümesi (Şen, 1999) .....                                                                                                                           | 45              |
| Şekil 3.12 : Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları .....                                                                                                                             | 46              |
| Şekil 3.13 : Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları .....                                                                                                                            | 46              |
| Şekil 3.14 : Bir üyelik fonksiyonu veya bulanık bir kümenin kısımları (Şen, 1999) .....                                                                                              | 48              |
| Şekil 3.15 : Bulanık kümeler, (a) normal, (b) normal olmayan (Şen, 1999) .....                                                                                                       | 49              |
| Şekil 3.16 : Dışbükey (a), içbükey (b) bulanık küme (Şen, 1999) .....                                                                                                                | 50              |
| Şekil 3.17 : (a) normal dışbükey, (b) normal olmayan dışbükey ve (c) içbükey bulanık kümelerde küme yüksekliği .....                                                                 | 50              |
| Şekil 3.18 : Bir cihazın hassaslığı; (a) bulanık, (b) klasik hassaslık gösterimi (Şen, 1999) .....                                                                                   | 51              |
| Şekil 3.19 : “Bulanık 6” sayısının kümesi ve elemanları .....                                                                                                                        | 53              |
| Şekil 3.20 : (a) üçgen, (b) yamuk bulanık sayılar (Şen, 1999) .....                                                                                                                  | 54              |
| Şekil 3.21 : Bulanık sayı kesim seviyeleri (Şen, 1999) .....                                                                                                                         | 55              |
| Şekil 3.22 : Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi (Şen, 1999) .....                                       | 56              |
| Şekil 3.23 : En büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma (Şen, 1999) .....                                                                                                     | 57              |
| Şekil 3.24 : Sentroid yöntemi ile durulaştırma (Şen, 1999) .....                                                                                                                     | 58              |

|                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 3.25 :</b> Ortalama en büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma (Şen, 1999) .....                                                                                                                                    | 58  |
| <b>Şekil 3.26 :</b> Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma (Ross, 1995) .....                                                                                                                                                  | 59  |
| <b>Şekil 4.1 :</b> Tüm veri topluluğu için değişkenlerin histogramı .....                                                                                                                                                           | 64  |
| <b>Şekil 4.2 :</b> Boyuna yayılma katsayısı ( $D_1$ ) ile boyutlu ve boyutsuz büyüklükler arasındaki korelasyon katsayıları .....                                                                                                   | 66  |
| <b>Şekil 4.3 :</b> Değişkenler ile boyuna yayılma katsayısı arasındaki logaritmik ve doğrusal ilişki ( $H, W, U, U^*, W/H, U/U^*$ ve $D_1$ ) .....                                                                                  | 68  |
| <b>Şekil 4.4 :</b> $D_1$ ile $H$ (a, b), $D_1$ ile $W$ (c,d), $D_1$ ile $U$ (e, f) ve $D_1$ ile $U^*$ (g, h) arasındaki ilişki .....                                                                                                | 69  |
| <b>Şekil 4.5 :</b> Seçilen veri kümelerindeki boyutlu ve boyutsuz değişkenler ile boyuna yayılma katsayısı arasındaki ilişki ..                                                                                                     | 72  |
| <b>Şekil 4.6 :</b> Seçilen veri kümelerindeki değişkenlerin histogramları .....                                                                                                                                                     | 73  |
| <b>Şekil 4.7 :</b> Model girdilerinin ve çıktısının üyelik fonksiyonları (a) $W$ , (b) $H$ , (c) $U$ , (d) $U^*$ ve (e) $D_1$ .....                                                                                                 | 75  |
| <b>Şekil 5.1 :</b> Eğitim grubu verileri ile modellerin karşılaştırması, (a) Bulanık model, (b) EL, (c) FI, (d) KF 1, (e) KF 2, (f) KM, (g) LI ve (h) SC .....                                                                      | 84  |
| <b>Şekil 5.2 :</b> Test grubu verileri ile modellerin karşılaştırması, (a) Bulanık model, (b) EL, (c) FI, (d) KF 1, (e) KF 2, (f) KM, (g) LI ve (h) SC .....                                                                        | 89  |
| <b>Şekil 5.3 :</b> Eğitim ve test grubu verileri ile model sonuçlarının saçılma diyagramları (a) Bulanık model, (b) EL, (c) FI, (d) SC, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) LI ve (h) KM .....                                                  | 92  |
| <b>Şekil 5.4 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının maksimum değerleri .....                                                                                                                                                         | 94  |
| <b>Şekil 5.5 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının minimum değerleri .....                                                                                                                                                          | 95  |
| <b>Şekil 5.6 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının ortalama değerleri .....                                                                                                                                                         | 96  |
| <b>Şekil 5.7 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının standart sapmaları .....                                                                                                                                                         | 96  |
| <b>Şekil 5.8 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının çarpıklık katsayıları .....                                                                                                                                                      | 97  |
| <b>Şekil 5.9 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının değişim katsayıları .....                                                                                                                                                        | 97  |
| <b>Şekil 5.10 :</b> Model sonuçları ile veriler arasındaki korelasyon katsayıları .....                                                                                                                                             | 98  |
| <b>Şekil 5.11 :</b> Modellerin verilere göre ortalama karesel hataları .....                                                                                                                                                        | 99  |
| <b>Şekil 5.12 :</b> Modellerin verilere göre ortalama karekök karesel hataları..                                                                                                                                                    | 99  |
| <b>Şekil 5.13 :</b> Modellerin verilere göre ortalama mutlak hataları .....                                                                                                                                                         | 100 |
| <b>Şekil 5.14 :</b> Modellerin verilere göre ortalama mutlak rölatif (bağıl) hataları .....                                                                                                                                         | 101 |
| <b>Şekil 5.15 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının eğitim grubu verileri için eş yayılma eğrili haritaları, (a) eğitim grubu verileri (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC .....          | 102 |
| <b>Şekil 5.16 :</b> Şekil 5.16 Verilerin ve model sonuçlarının test grubu verileri için eş yayılma eğrili haritaları, (a) test grubu verileri (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC .....   | 107 |
| <b>Şekil 5.17 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının eğitim grubu verileri için boyutsuz eş yayılma eğrili haritaları, (a) eğitim grubu verileri (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC ..... | 109 |
| <b>Şekil 5.18 :</b> Verilerin ve model sonuçlarının test grubu verileri için                                                                                                                                                        |     |

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| boyutsuz eş yayılma eğrili haritaları, (a) test grubu verileri<br>(b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g)<br>KM, (h) LI, (i) SC .....                                          | 111 |
| <b>Şekil 5.19 :</b> Bulanık modelin ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen<br>veriler .....                                                                                                         | 115 |
| <b>Şekil 5.20 :</b> EL ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler .....                                                                                                                         | 115 |
| <b>Şekil 5.21 :</b> Farklı eksen ölçeklerinde EL sonuçları ve ölçülen veriler ..                                                                                                                  | 116 |
| <b>Şekil 5.22 :</b> FI ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler .....                                                                                                                         | 117 |
| <b>Şekil 5.23 :</b> KF 1 ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler .....                                                                                                                       | 118 |
| <b>Şekil 5.24 :</b> KF 2 ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler .....                                                                                                                       | 118 |
| <b>Şekil 5.25 :</b> KM ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler .....                                                                                                                         | 119 |
| <b>Şekil 5.26 :</b> SC ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler .....                                                                                                                         | 119 |
| <b>Şekil 5.27 :</b> LI ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler .....                                                                                                                         | 119 |
| <b>Şekil 5.28 :</b> Modellerin ikinci uygulama sonuçlarına ait saçılma<br>diyagramları .....                                                                                                      | 121 |
| <b>Şekil 5.29 :</b> Modellerin ikinci uygulama sonuçlarına ait istatistik<br>parametreler .....                                                                                                   | 123 |
| <b>Şekil 5.30 :</b> Modellerin ikinci uygulama sonuçlarının eldeki tüm<br>verilere göre hataları .....                                                                                            | 124 |
| <b>Şekil 5.31 :</b> İkinci uygulama sonuçlarına ait eş yayılma eğrili haritalar,<br>(a) eldeki tüm veriler (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e)<br>KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC ..... | 126 |

## SEMBOL LİSTESİ

|              |                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $D_1$        | : Boyuna dispersiyon katsayısı                                          |
| $D_{1m}$     | : Ölçülen boyuna dispersiyon katsayısı                                  |
| $D_{1p}$     | : Tahmin edilen boyuna dispersiyon katsayısı                            |
| $H$          | : Akarsu derinliği (akım derinliği)                                     |
| $W$          | : Akarsu genişliği (akım genişliği)                                     |
| $U$          | : Kesitsel ortalama akım hızı                                           |
| $U_*$        | : Kayma gerilmesi hızı                                                  |
| $A$          | : En kesit alanı                                                        |
| $g$          | : Yerçekim ivmesi                                                       |
| $R$          | : Hidrolik yarıçap                                                      |
| $S$          | : Enerji çizgisi eğimi                                                  |
| $K$          | : von Karman sabiti                                                     |
| $U'$         | : $y$ 'ye bağlı olarak kesitsel ortalama akım hızındaki uzaysal değişim |
| $y$          | : Akımın enine doğrultudaki koordinatı                                  |
| $\epsilon_y$ | : $y$ doğrultusundaki enine türbülans karışımı katsayısı                |
| $Q$          | : Akım debisi                                                           |
| $Fn$         | : Froude sayısı                                                         |
| $Re$         | : Reynold sayısı                                                        |
| $\lambda$    | : En yüksek hız noktasından en uzak kenara olan mesafe                  |
| $\epsilon_y$ | : $0.6HU_*$ değerine eşit kabul edilen bir katsayı                      |
| $\lambda$    | : $0.7 W$ değerine eşit kabul edilen bir katsayı                        |
| $\phi$       | : Yaklaşık $0.6$ değerine eşit kabul edilen bir katsayı                 |
| $\beta$      | : Enkesit şekli ve kesit boyunca hız dağılımına bağlı bir katsayı       |
| $R^2$        | : Korelasyon katsayısının karesi                                        |
| $r_{yx}$     | : $Y$ ve $X$ değerleri arasındaki korelasyon                            |
| $Var(.)$     | : Herhangi bir argümanın varyansı                                       |
| $X_{max}$    | : Maksimum değer                                                        |
| $X_{min}$    | : Minimum değer                                                         |
| $X_m$        | : Ortalama değer                                                        |
| $S_X$        | : Standart sapma                                                        |
| $C_{sX}$     | : Çarpıklık katsayısı                                                   |
| $C_{vX}$     | : Değişim katsayısı                                                     |
| $r$          | : Korelasyon katsayısı                                                  |

## AKARSULARDA BOYUNA DİSPERSİYON KATSAYISININ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

### ÖZET

Araştırmacılar, dispersiyon olayını, ancak bazı kabuller altında dispersiyon katsayısını içeren diferansiyel denklemlerle ifade edegelmiştir. Bu denklemler, dispersiyon katsayısı belirlenmeden pratikte pek kullanılamamaktadır. Dispersiyon katsayısı ise ya doğrudan ölçülerek veya dolaylı yünden hesaplanarak belirlenir. Bununla birlikte, dispersiyon katsayısının tespiti için, çoğu ampirik denklemler olmak üzere bir çok model de geliştirilmiştir. Özellikle akarsulardaki boyuna dispersiyon olayına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu ampirik denklemler genellikle doğrusal olmayan regresyon denklemleri aracılığı ile en küçük kareler metoduna dayanmaktadır. Bu denklemler, geliştirilmeleri sırasında yapılan bir çok kritik kabul nedeniyle son derece dikkatli kullanılmalıdır. Aksi halde gerçekçi olamazlar. Bununla birlikte, akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını tahmin edebilecek bir kısım bağıntı veya modellerin ise istatistik yöntemler veya benzeri kara kutu yaklaşımları ile geliştirildikleri görülmektedir.

Tezin ana amacı, bulanık mantık (BM) yaklaşımı ile akarsularda boyuna dispersiyon katsayısını tahmin edebilecek yeni bir model (Bulanık Model) geliştirmektir. Bulanık model, literatürden alınan ve ABD’de otuzdan fazla akarsu üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilmiş 96 veri kümesi kullanılarak geliştirilmiş ve test edilmiştir. Veri kümeleri, akımın, derinliği, genişliği, kesit ortalama ve kayma hızları bağımsız değişkenleri ve boyuna dispersiyon katsayısı bağımlı değişkenini içermektedir. Veriler, modeli geliştirmek (eğitmek) ve test etmek için, eğitme ve test grubu verileri şeklinde iki kısma ayrılmıştır.

Bulanık model sonuçları, eldeki veriler ve altı araştırmacı tarafından önerilen yedi tane denklemin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, 1) Maksimum, minimum, ortalama, standart sapma ile çarpıklık, değişim ve korelasyon katsayıları olmak üzere yedi istatistik büyüklük, 2) Ortalama karesel hata (OKH), ortalama karekök karesel hata (OKKH), ortalama mutlak (standart) hata (OMH) ve ortalama mutlak rölatif hata (OMRH) olmak üzere dört hata kriteri ve 3) Eş dispersiyon eğrili harita kullanılarak üç farklı şekilde toplam 12 kriter temel alınarak yapılmıştır.

Sonuç olarak, bulanık modelin, diğer araştırmacılar tarafından önerilen yedi modelden daha gerçekçi sonuçlar verdiği ve bu bağıntılara göre daha kolay ve güvenilir bir şekilde kullanılabildiği görülmüştür.

**Tez toplam altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonra, konunun tarihçesini, daha önce yapılmış çalışmaların değerlendirilmesini ve bu çalışmaların sınıflandırılmasını da içeren geniş bir literatür çalışması sunulmuştur. Bu tezde kullanılan BM yöntemi, tüm detayları ile geniş bir şekilde üçüncü bölümde verilmiştir. Verilerin analizi ve karşılaştırma kriterleri ile birlikte bulanık modelin nasıl geliştirildiği dördüncü bölümde anlatılmıştır. Beşinci bölüm, bulanık model sonuçlarını, bu sonuçların veriler ve diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmasını içermektedir. Sonuç ve öneriler altıncı bölümde verilmiştir.**



## **DETERMINATION OF LONGITUDINAL DISPERSION COEFFICIENTS IN NATURAL CHANNEL USING FUZZY LOGIC METHOD**

### **SUMMARY**

**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. In addition to differential equations, empirical equations are developed for the estimation of dispersion coefficients especially for longitudinal dispersion coefficients in natural channels. These 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 at all and consequently the resulting equations can be used with precautions and reservations. Otherwise, the results will not be reliable. However, many statistical methods or several black box approaches are used to develop equations or models in order to determine the longitudinal dispersion coefficients.**

**The main goal of the thesis is to develop a new fuzzy model to estimate the longitudinal dispersion coefficient in natural channels. The fuzzy model uses 96 data sets from the literature concerning more than 30 rivers at different times and locations in USA. 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. In order to test the model, the data sets have been divided into training and testing phases.**

**Results of the model have been compared with existing data and seven equations proposed by six researchers. The comparison have been” made by considering: 1) Seven statistical parameters (maximum, minimum, average, standard deviation, skewness, variation, and correlation coefficients. 2) Four different error criteria which are the mean square error (MSE), root mean square error (RMSE), standard error (SE), and normalized error (NE). 3) 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.**

**The thesis has six chapters. After an introduction, an extensive literature review is presented including the history and summary, classification and criticism of the previous studies. A detailed theoretical consideration of the fuzzy logic method as used in the thesis is given in Chapter Three. Development of the fuzzy model altogether with the data analysis and the comparison criteria are then presented. Chapter Five includes the model results and their comparison to the data and the existing equations. Finally, conclusion and recommendation of the study are given.**



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Yayılma (Dispersiyon)

“Dispersiyon” kelimesi, Türkçe’de olduğu gibi kullanılmakla birlikte Türkçe’deki karşılığı, “dağılma” veya “yayılma”dır. Bilimsel terminolojide ise, maddenin herhangi bir ortamda (boşluklu, gaz veya sıvı) enine, derinliğine ve boyuna yayılması anlamına gelmektedir. Yayılma olayının en önemli katsayısı yayılma katsayısıdır, ki maddenin bir ortam içerisinde birim zamanda birim alandan yayılması olarak ifade edilir ve boyutu  $L^2/T$  şeklindedir. Ayrıca, birimden bağımsız hale getirmek için yayılma katsayısı boyutsuz hale getirilir. Böylece tüm birim sistemlerinde, herhangi bir dönüşüm yapmaksızın kullanılabilir.

Konu ile ilgisinden dolayı burada, bir maddenin sadece su ortamı içerisindeki yayılmasından söz edileceği için, yayılma ortamı olarak tüm su kaynakları düşünülecektir. Bunlar, denizler, göller, akarsular, yeraltı suyu ve içme, kullanma ve sulama suyu tesisleridir. Bu tesisler yerine göre, biriktirme veya kabartma tesisi (baraj, bağlama, gölet v.b.), iletim tesisi (kanal, kanalet, galeri, tünel v.b.) ve tahliye tesisi (atık su kanalları, sulama alanları için drenaj kanalları) olabilir.

Bu çalışmanın konusu ve kapsamı gereği daha çok akarsular veya akarsulara kısmen benzeyen kıvrımlı ve kaplamasız kanallardaki boyuna yayılma olayı üzerinde durulacak ve akarsulardaki boyuna yayılma katsayısı, akarsuyun geometrik ve hidrolik büyüklüklerine bağlı olarak belirlenmeye çalışılacaktır.

Boyutsuz boyuna yayılma katsayısı ise, akarsular için genellikle boyuna yayılma katsayısının, kayma hızı ( $U_*$ ) ve akım derinliğine ( $H$ ) bölünmesi ile ifade edilmektedir. Böylece, yayılma katsayısı derinlikten ve kayma gerilmesi hızından bağımsız hale getirilmektedir. Literatürde, akım derinliği ve kesit ortalama hızına ( $U$ ) bölünerek de boyuna yayılma katsayısının boyutsuzlaştırıldığına rastlamak mümkündür. Ancak bu şekil bir boyutsuzlaştırmanın, çeşitli nedenlerle uygun olmadığı bilinmektedir.

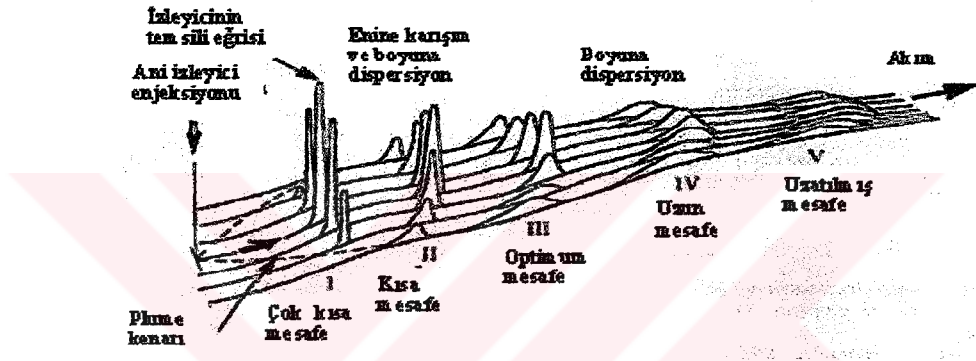
Ortam içinde yayılmasından söz edilen madde, katı, sıvı veya gaz olabilir. Madde aynı zamanda çözülebilen veya çözilemeyen, ağırlıklı veya ağırlıksız, sürüntü veya askı malzemesi olabilir. Yerine göre gaz, sıvı veya katı bir madde olabildiği gibi ısı da olabilir. Çalışmanın kapsamı gereği, burada, sadece sıvı ve katı madde yayılması üzerinde durulacaktır. Akım ortamı içinde takibi söz konusu olan bu maddeden bundan böyle “kirletici” veya “izleyici” olarak söz edilecektir. Bu bağlamda kirleticiler, su kaynaklarına herhangi bir şekilde bulaşmış olan kimyasal, nükleer veya biyolojik kirleticiler olarak yerine göre akarsulardaki katı madde, evsel ve sanayi atık suları, kimyasal gübre veya zirai ilaçlar, maden aramada kullanılan kimyasal maddeler, nükleer reaktörlerin soğutma suyu veya benzeri maddeler olabilmektedir.

Yayılma olayı fizik olarak üç farklı şekilde olabilir. Birincisi, moleküllerin serbest hareketleri nedeniyle meydana gelen yayılma. Buna “*moleküler yayılma*” denir. İkincisi, su ortamının türbülansı nedeniyle meydana gelen yayılma olup buna da “*türbülans yayılması*” denir. Son olarak, suyun hareketi nedeniyle meydana gelen kütle transferi şeklindeki yayılma ki buna da “*konvektif yayılma*” denir (Sümer, 1970).

Belirtilen bu yayılma mekanizmalarının önemi, farklı su ortamına göre değişebilir olmalarıdır. Örneğin, durgun bir su ortamında özellikle moleküler yayılma söz konusudur. Diğer taraftan, ortamda her hangi bir nedenle türbülans varsa bu durumda moleküler yayılma yanında türbülans yayılması da etkili olacaktır. Türbülansın artmasına bağlı olarak türbülans yayılmasının da etkisi ve önemi artacaktır. Diğer taraftan bir akarsuda, moleküler ve türbülans yayılmaları, konvektif yayılmasının yanında çok küçük kalacağı için ihmal edilebilir. Böylece, yalnızca konvektif yayılma varmış gibi bir kabul yapılabilir.

Her üç yayılma mekanizması için de üç boyutlu yayılmadan söz etmek mümkündür. Yayılma olayı, enine, boyuna ve derinlemesine olmak üzere aynı anda üç doğrultuda meydana gelir. Denizlerdeki ve derin göllerdeki yayılma olayı için her üç doğrultu da önemlidir. Diğer taraftan sığ ve durgun sularda ise yayılma olayı iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Akarsularda yayılma olayını tek boyutlu olarak düşünmek mümkündür. Akarsularda, akışkan hızına bağlı akım yönündeki yayılma enine ve derinliğine meydana gelen yayılmadan daha etkindir. Akım yönünde ve hızın etkisi ile meydana gelen yayılmaya da “*boyuna yayılma*” denir. Sümer (1970) boyuna

yayılmayı “kesit içerisinde hız değişimi etkisi ile meydana gelen boyuna yayılma” şeklinde tanımlamaktadır. Bu tanımda, “hız değişimi etkisi” yerine “akışkan hızı etkisi” denmesi daha uygun olur. Çünkü kesit içerisinde bir hız değişimi olmasa da -örneğin sabit bir hız da söz konusu olsa- yine boyuna yayılma gözlenecektir. Fakat enine yayılmaların üzerinde, kesit içerisindeki hız değişimlerinin rolü büyüktür. Jobson (1997) bir akarsuda enine mesafenin boyuna mesafeye göre çok kısa olması nedeniyle enine karışım süresinin boyuna yayılma süresine göre çok kısa olduğunu belirtmekte ve boyuna yayılma olayını, ilk olarak Kilpatrick (1993) tarafından tasarlanan aşağıdaki şekil ile açıklamaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Enine karışım ve boyuna yayılma olayı ve izleyicinin merkezi tek noktadan yapılan damla enjeksiyonunun mansabından itibaren konsantrasyon dağılımındaki değişimler

## 1.2 Yayılma Olayında Problem Nedir?

Bir maddenin akım ortamı içerisinde birim zamanda üç boyutlu olarak yayılması veya kısaca üç boyutlu yayılma katsayısı bilindiği takdirde, herhangi bir  $\Delta t$  zaman diliminde maddenin, o ortam içerisindeki toplam yayılması hesaplanabilir. Bunun gibi, örneğin bir kirleticinin özellikle bir akarsuda belli bir zaman içinde ne kadar yol alacağı da tahmin edilebilir. Burada asıl problem yayılma katsayısının belirlenmesidir. Araştırmacılar, yayılma olayını, ancak bazı kabuller altında yazılan ve yayılma katsayısını içeren diferansiyel denklemlerle ifade etmişlerdir. Bu diferansiyel denklemler ise, yayılma katsayısı belirlenmeden pratikte pek kullanılamamaktadır. Yayılma katsayısı ya doğrudan ölçülerek veya dolaylı yoldan hesaplanarak belirlenir. Bununla birlikte, yayılma katsayısının tespiti için çoğu ampirik denklemler olmak üzere bir çok model geliştirilmiştir. Özellikle akarsulardaki boyuna yayılma olayına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır (bir

sonraki bölümde verilecek). Ampirik ifadeler genellikle doğrusal olmayan regresyon denklemleri aracılığı ile en küçük kareler metoduna dayanmaktadır. Regresyon denklemlerinin geliştirilmesinde yapılan bir çok kritik kabulün göz önünde tutulmaması bu denklemlerin son derece dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir.

Yayılma katsayısı hava ve su kirliliklerinin modellenmesinde en çok aranan ve mevcut ortamda kirlilik yayılımını gösteren bir parametredir. Yayılma hacimsel bir ortamda meydana gelmektedir. Dolayısıyla heterojen ve izotropik olmayan yayılma için her biri bir doğrultu için olmak üzere üç yayılma katsayısından söz edilebilir. Bununla birlikte, doğa problemlerinin çözümü için genellikle bir veya iki boyutlu yayılma katsayısına gereksinim duyulur. Örneğin yayılma problemi gölde ise iki, nehirde ise bir boyutlu yayılma katsayısı ile yaklaşık olarak çözülebilir.

Yukarıda da belirtildiği gibi bir doğal akarsuya veya kanala kirleticisi bulaştığında, bu kirleticinin su ortamı içinde fiziksel olarak yayılması, moleküler yayılma, su hızına bağlı olarak kütle transferi ve türbülans nedeniyle meydana gelen türbülans yayılması olmak üzere üç farklı mekanizma ile olmaktadır. Bu üç mekanizma, Taylor (1954) tarafından geliştirilen bir boyutlu (1B) yayılma denklemi ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$A \left( \frac{\partial C}{\partial t} \right) = -UA \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \left( \frac{\partial}{\partial x} \right) \left[ D_1 A \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) \right] \quad (1.1)$$

Burada, C kirleticisi konsantrasyonu, x kanal boyunca mesafe ve  $D_1$  yayılma katsayısıdır. Diğer taraftan, A, t ve U ise sırası ile, alan, zaman ve kesit ortalama hızıdır. Bu denklemin yazılmasındaki kabullerin başında, ortamın homojen ve izotropik, kanal veya akarsu kesitinin üniform, yanal yayılmaların boyuna yayılma yanında ihmal edilir ve boyuna yayılma katsayısının zaman ve konuma göre değişmez olması gelir. O halde, (1.1) denklemi, kirliliğin ilk bulaştığı başlangıç zamanı ve akarsuya ilk enjekte edildiği bölgeler için geçerli değildir. Taylor (1954) analizleri, kirliliğin akarsuda tam anlamıyla karıştıktan sonraki durumlar için uygulanabilir. Kirliliğin kaynağından itibaren üniform bir şekilde suya karışması için yeterli bir zaman ve mesafeye ihtiyaç vardır.

Elder (1959) boyutsuz yayılma katsayısının sabit ve 5.93 değerinde olduğunu belirtmiş ise de Fischer ve diğ. (1979) birçok deneysel ölçümden sonra, boyuna

yayılma katsayısının boyutsuz  $D/HU^*$  faktörüne bağlı olarak 8.6 ile 7500 arasında değiştiğini göstermiştir.

### 1.3 Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada incelenen konu, iki boyutlu bir açık akım ortamında, özellikle akarsularda, maddenin boyuna yayılma katsayısının bulanık mantık (BM) yaklaşımı ile belirlenmesidir. Çalışmanın ana amacı, akımın derinliği (H), genişliği (W), kesit ortalama hızı (U) ve kayma gerilmesi ( $U^*$ ) olmak üzere dört bağımsız değişken kullanılarak boyuna yayılma katsayısını ( $D_1$ ) tahmin edebilecek BM esaslı yeni bir model geliştirmektir. Bunun gereği olarak, konunun tarihçesini ve bu güne değin konu ile ilgili yapılan çalışmaların kısa özetlerini, ana hatları ile sınıflandırılmasını ve bu çalışmaların genel bir değerlendirmesini de içeren literatür çalışmasının sonucu sunulmuş ve BM metodu hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca bulanık modelin sonuçları ile ölçülen veriler ve aynı değişkenleri kullanan mevcut çalışmaların sonuçları arasında farklı istatistiksel karşılaştırmalar yapılarak yeni geliştirilen bulanık modelin eldeki verilere göre doğruluğu ve mevcut çalışmaların içindeki yeri belirlenmiştir. Literatürde, bir karşılaştırma kriteri olarak kullanıldığına rastlanmayan kontur harita (eş yayılma eğrili harita) yöntemi ile bulanık model sonuçları eldeki verilerle ve diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak bu yöntemin, son derece iyi bir karşılaştırma kriteri olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Bulanık modelin geliştirilmesinde kullanılan veriler doğal akarsulardan ölçüm sonucu elde edilmiş verilerdir. Dolayısıyla bu çalışma, daha çok akarsulardaki boyuna yayılma olayı ile ilgili çalışmalara katkıda bulunacaktır. Bunun yanı sıra bu model, düzgün doğrultulu olmayan (kıvrımlı) ve kaplamasız, modelin geçerli olduğu hidrolik ve geometrik sınır koşullarının içinde kalan sulama ve drenaj kanalları için de kullanılabilecektir. Bu geometrik sınır koşulları, akımın, derinliği için 0,2 – 20 m; genişliği için 10 – 750 m; kesit ortalama akım hızı için 0,1 – 2 m/s ve kayma gerilmesi hızı için 0,01– 0,6 m/s'dir. Girdilerin bu sınır koşullarına karşı çıktının yani boyuna yayılma katsayısının 1 – 2000  $m^2/s$  arasında değişmesi beklenmektedir.

Özetle bu çalışma, uygulamada akarsulardaki boyuna yayılma olayını kapsamaktadır. Bu çerçevede, her hangi bir nedenle söz konusu su kaynaklarına bulaşan bir kirliliğin ne kadar zaman ve mesafe sonunda güvenilir sınırlara inebileceğine ışık tutacaktır.

Bu çalışmanın aynı zamanda, kaplamasız ve düzgün doğrultulu olmayan sulama ve drenaj kanalları ile evsel ve sanayi atık suyu kanallarındaki yayılma olayı ile ilgili çalışmalara da katkı yapacağı düşünülmektedir.

#### 1.4 Çalışmanın Önemi

Yoğunluğu akışkanın yoğunluğunun aynısı veya farklı olan maddelerin, çeşitli nedenlerle herhangi bir ortam içerisinde iletimi, gerek temel bilimlerde ve gerekse hidrolik, su temini ve çevre sağlığı, sulama, kimya, metalürji ve benzeri mühendislik bilimlerinde karşılaşılan bir çok problemin çözüm yollarını araştırmak amacıyla inceleme konusu olmuştur. Bu kapsamda farklı disiplinler tarafından (bir sonraki bölümde açıklanacak) sayısız çalışma yapılmıştır.

Akarsular, insanlığın doğal su şebekesidir. Bir ülke için öneminin yanında özellikle sınır aşan suların önemi uluslararası boyuttadır. Her hangi bir nedenle kirlenmiş göl gibi durgun suları korumak veya karantinaya almak mümkündür. Oysa sürekli akan (hareket halinde olan) akarsuların kirlenmesi halinde insanı, diğer canlıları ve çevreyi kirlilikten korumak oldukça güçtür. Akarsular deniz veya göl gibi başka su kaynakları ile bağlantılıdır. Bu nedenle, bir akarsuda meydana gelebilecek bir kirlilik, başka su kaynakları ve bazen birden fazla ülke için büyük bir risk olmaktadır. Bu tezde özellikle akarsulardaki yayılma olayı ele alınmıştır.

Dünyada, insanoğlunun karşılaştığı hemen hemen tüm problemler, insan nüfusunun artışına bağlı olarak büyümektedir. İnsan ve diğer canlıların sayısının gün geçtikçe artmasına karşılık tatlı su kaynakları sınırlıdır. Bu yüzden, günümüzde, tatlı su kaynakları ihtiyaca cevap veremeyecek hale gelmiştir. Birçok ülke şu an su kıtlığını yaşamakta, bir kısmının ise yakın gelecekte yaşaması beklenmektedir (Aytek ve Toprak, 2001). Bu nedenle “sulamada kullanılmış suların tekrar kullanımı” konusu gündeme gelmiştir. Sulamada kullanılmış ve dolayısıyla çeşitli kimyasal gübre ve ilaçlarla kirlenmiş olan sulama dönüş akımlarının sulamada tekrar kullanılması halinde, sulama suyuna hangi oranlarda ve kanalın hangi noktasında karıştırılması ve yeniden kullanılmak üzere kanalın hangi noktasından alınması gerektiği problemi de önem kazanmıştır. Bu problem büyük ölçüde boyuna yayılma olayının konusudur. Bunun yanısıra, kirlenmiş suyun doğal ortama nasıl verilmesi gerektiğinin; örneğin bir akarsuya verilecekse akarsuyun güvenli bir şekilde taşıyabileceği kirlilik konsantrasyonunun ne olduğunun bilinmemesi de bir çevre problemidir. Bu

problemin çözümü de büyük ölçüde akarsulardaki boyuna yayılma olayının tam anlamıyla aydınlatılmasına bağlıdır.

Bunların yanında, nükleer, kimyasal ve biyolojik kirliliklerin su kaynaklarına çeşitli nedenlerle bulaşması halinde kirlilik konsantrasyonunun su kaynağında ne kadar zaman ve mesafede emniyetli bir seviyeye ineceği konusu boyuna yayılma olayı ile çok yakından ilgilidir. Bu kirlilikler, nükleer enerji santrallerindeki soğutma suyu, sızıntı veya atıkları ile çeşitli nedenlerle nükleer, kimyasal ve biyolojik madde üretim tesislerinde meydana gelen kazaların neden olduğu kirlilikler, tarımsal ilaçlar ve kimyasal gübreler, salgın hastalık mikrobiyolojik içerikli sular ve benzeri kirliliklerdir.

Maden arama ve işletmesinde kullanılan zehirli maddelerin su kaynaklarına bulaşması riskinin ne kadar zamanda ortadan kalkacağına önceden tahmin edilmesinin gerekliliği konunun önemini daha da artırmaktadır.

Özetle herhangi bir nedenle nükleer, kimyasal veya biyolojik kirlleticilerin bir akarsuya karışması durumunda, bu suların temizlenmesi, tekrar kullanılması veya doğal ortama verilmesi, bir akımın havalandırılması, kısaca su kalitesinin korunması için akarsuyun iletim ve yayılma kapasitesinin belirlenebilmesi gerekir. Bu da boyuna yayılma katsayısının doğruya en yakın şekilde tahmin edilmesi ile mümkündür. Tüm bu nedenlerden dolayı akarsulardaki boyuna yayılma katsayısının tahminine yönelik çalışmalara ciddi bir şekilde ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

## **1. 5 Çalışmada İzlenen Yol**

Öncelikle, geniş bir literatür çalışması sonunda 2003 yılına kadar konuya ilişkin yapılmış yüzlerce çalışmaya ulaşılmış ve bu çalışmalar incelenerek konuya yakınlıklarına göre sınıflandırılmıştır. Özel olarak tez çalışmasına en yakın onlarca çalışma daha yakından incelenmiştir. Çalışmanın literatürde henüz rastlanmayan fakat yapılmasında yarar olduğu düşünülen daha özel bir yaklaşım üzerinde şekillenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bu yeni yaklaşım, akarsu veya kıvrımlı ve kaplamasız kanalların akım ortamında boyuna yayılma katsayısının BM ile modellenmesidir. Bu yüzden BM metodu, geniş kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Daha sonra, farklı araştırmacılar tarafından, akarsularda yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler kullanılarak BM esaslı bir model geliştirilmiştir. Yeni modelin performansını göstermek için bu modelin sonuçları, ölçülen veriler ve daha önce

yapılmış teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

ABD’de 30’dan fazla akarsu üzerinde ölçüm sonucu elde edilen ve Fischer (1968), Yotsukura ve diğ. (1970), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Godfrey ve Frederick (1970) gibi rapor ve makalelerde yayımlanan veri kümeleri kullanılmıştır. Farklı akarsulardan, farklı zamanlarda ve farklı araştırmacılar tarafından ölçüm sonucu elde edilen bu veriler Kashefipour ve Falconer (2002) ve Seo ve Cheong (1998)’den alınmıştır. Her iki makaleden alınan veri kümeleri sayısı, sırasıyla 81 ve 59, toplam 140’tır. Bu çalışmada her iki makalede geçen veri kümelerinin birleşimi kullanılmıştır. Yani tekrarlanan veriler çıkarıldığında birbirinden farklı 96 adet veri kümesi elde edilmiştir. Kashefipour ve Falconer (2002)’ den alınan 81 veri kümesi, akım derinliği  $H$  (m), akarsu genişliği  $W$  (m), kesitsel ortalama akım hızı  $U$  (m/s) ve kayma hızı  $U^*$  (m/s) bağımsız değişkenlerini ve boyuna yayılma katsayısı  $D_1$  ( $m^2/s$ ) bağımlı değişkenini (toplam 5 değişken) içermektedir. Seo ve Cheong (1998)’den alınan veri kümesi ise bunlara ek olarak akarsu eğimini de içermektedir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 2.1 Konunun Tarihçesi

Deneyssel ve teorik çalışmalar, Taylor (1921, 1953, 1954) ile başlamış ve Scheidegger (1954), Aris (1956), Elder (1959), Bear (1960), Parker (1961), Bear ve Bachmat (1965), Fischer (1967, 1968 a, b, 1975), Sayre (1968), Sayre ve Chang (1968), Sooky (1969), Godfrey ve Frederick (1970), Atesman (1970), Sümer (1970), Chang (1971), Savcı (1972), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Graf (1986) ile devam etmiştir. Bu çalışmalar daha çok, prizmatik kanallar ve doğal akarsularda boyuna yayılma mekanizmasının daha iyi anlaşılmasına yönelik olmuştur. Bununla birlikte, Taylor (1954) ve Elder (1959)'ın analitik sonuçlarının birbirinden farklı çıktığı görülmektedir. Savcı (1972) bu farklılığın araştırmacıların farklı hız dağılımlarını kullanmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Fischer (1968), Godfrey ve Frederick (1970), Yotsukura ve diğ. (1970), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Boning (1974) akarsulardaki yayılma katsayısının tespitine yönelik yerinde ölçüm ve sonuçlarının değerlendirilmesi çalışmaları ile bilinir. ABD'deki akarsular üzerinde yapılmış bir çok çalışmada, genellikle U.S. Geological Survey tarafından elde edilen veriler kullanılmıştır. Daha sonra Jobson (1997)'de akarsularda yapılan ölçümler sonucu elde edilen veri kümeleri kullanılarak izleyicinin akım içindeki seyahat süresi ve boyuna yayılmaya ilişkin modeller sunulmuştur. Arkasından Seo ve Cheong (1998) ve Kashefipour ve Falconer (2002)'de doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon ve boyut analizi gibi metotlar önceki araştırmacıların elde ettikleri verilere uygulanarak ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. El Hadi ve Daver (1976) akımın, taban pürüzlülüğüne bağlı olarak boyuna yayılmayı araştırmış, Scheidegger (1954), Bear (1960), Bear ve Bachmat (1965) ise konvektif yayılma denklemi (KYD) üzerinde çalışmıştır. Son olarak, Toprak ve diğ. (2003)'te Kashefipour ve Falconer (2002) tartışılmıştır.

Sooky (1969), Godfrey ve Frederick (1970), Bansal (1970), Chatwin (1971), Nordin ve Sabol (1974), Day (1975) ve El Hadi ve Daver (1976) kısmen düzgün olan bazı doğal akarsular için model veya teorilerle yapılan yayılma tahminlerinin, ölçüm sonucu elde edilmiş yayılma değerlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ve gözlenen boyuna yayılma katsayısının bir çok nedenle teorik tahminlerden daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Savcı (1972) bu farklılığa değinerek ölçüm yayılma katsayısının teorik olandan daha büyük olması kabul ve basitleştirmelerden kaynaklandığını belirtmiştir.

Nordin ve Sabol (1974), Godfrey ve Frederick (1970) ve Thackston ve Krenkel (1967) arazi gözlemleri ve izleyici çalışmaları veya deneme-yayılma kalibrasyonları sonucunda, ampirik veya kalibre edilmiş değer ve verilerle çeşitli modelleri geliştirmiş. Li ve Zhou (1997) bu tür modellerin genelleştirilmesine geometri ve akım şartları açısından itiraz etmiştir. Çünkü doğal akarsuların akım ve geometri değişkenleri birinden diğerine farklılık göstermektedir.

## 2.2 Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi

Taylor (1954) düzgün dairesel kesitli bir boru içindeki türbülanslı akımda boyuna karışımın belirlenmesi için boyuna yayılma katsayısını araştırmıştır. Bu çalışmada kayma hızı kullanılarak ampirik

$$D_1 = 10.1 \times r \times U_* \quad (2.1)$$

bağıntısı geliştirilmiştir. Burada,  $r$  boru yarıçapı,  $U_*$  kayma hızı ve  $D_1$  boyuna yayılma katsayısıdır.

Taylor (1954) aslında borulardaki yayılma olayı ile ilgili bir çalışma olup doğrudan akarsulardaki boyuna yayılma katsayısının tahminine yönelik değildir. Ancak, yayılma olayı ile ilgili daha sonraki bir çok çalışma Taylor (1954) analizlerine dayanmaktadır.

Elder (1959)'in boyuna yayılma katsayısı konusundaki ilk laboratuvar ölçümleri Taylor (1921, 1953, 1954)'e dayanmaktadır. Çalışmada, logaritmik düşey hız dağılımının kabulü ile

$$D_1 = \frac{0.4041}{K^3} + \frac{K}{6} HU. \quad (2.2)$$

denklemini geliştirilmiştir. Burada K von Karman sabitidir ki, yaklaşık değeri 0.41 olarak alınırsa bu ifade

$$D_1 = 5.93HU. \quad (2.3)$$

şekline döner.

Guymmer ve West (1992) Conwy halicinin bir enkesitindeki hız ve tuzluluk dağılımı ölçümlerine dayanarak boyuna yayılma katsayısının düşey ve yatay germe bileşenlerinin önemine değinmiştir. Doğal akarsulardan alınan çok sayıda ölçülen veri kümelerinin kullanıldığı çalışmaları göz önünde tutarak  $D_1/HU^*$  oranının 5.93 gibi sabit bir sayı olmayıp çok daha büyük ve 8.6 ile 7500 arasında değişen değerler aldığını belirtmiştir. Diğer taraftan Seo ve Cheong (1998), Elder (1959)'in akarsu ve derelerdeki boyuna yayılma katsayısını tam olarak açıklayamadığını ve bu bağıntı ile hesaplanan katsayının genel olarak önemli derecede beklenen değerler altında kaldığını belirtmiştir. Toprak ve diğ. (2003), ABD'de 30 akarsudan elde edilen ve Kashefipour ve Falconer (2002) tarafından da kullanılan 81 veri kümesine (2.3) denklemini uygulayarak sonuçları aynı veri kümesindeki ölçülen yayılma katsayısı değerleri ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma, sonuçlarının ölçülen yayılma katsayısı değerlerinin çok altında kaldığını göstermiştir. Ayrıca, veriler ile bu bağıntı sonuçları arasında 0,309 değerinde düşük bir korelasyon katsayısı, maksimum ve ortalama değerler ile standart sapma ve benzeri istatistiklerin verilerinkinden farklı olduğunu tespit etmiştir.

Parker (1961), Taylor (1954)'un kabullerini türbülanslı akım için kütlenin korunumu kanununa uyguladığında, hız profili üzerinde enine değişkenlerin boyuna değişkenlerden daha etkili olduğu sonucuna varmıştır. Taylor (1954)'un türbülanslı akım denklemini açık kanalda, boru yarıçapı yerine hidrolik yarıçapı (R) koyarak uygulamış ve

$$D_1 = 14.28 R^{3/2} \sqrt{2gS} \quad (2.4)$$

denklemini vermiştir. Burada g yerçekim ivmesi ve S enerji çizgisi eğimidir.

Fischer (1967 ve 1975) sırasıyla, doğal akarsularda yayılma mekanizmasını, boyuna yayılma katsayısını ve kıvrımların yayılma olayına etkilerini araştırarak teorik ve ampirik bağıntılar geliştirmiştir. Fischer (1967) akarsularda boyuna yayılma katsayısının tahmini için

$$D_1 = -17A \int_0^w U'(y) H(y) \int_0^y \frac{1}{\varepsilon(y) H(y)} \int_0^y U'(y) H(y) dy dy dy \quad (2.5)$$

şeklinde bir bağıntı sunmuştur. Burada,  $U'$ ,  $y$  doğrultusundaki mesafenin bir fonksiyonu olarak kesit ortalama akım hızının mesafe ile sapması,  $W$  akarsu genişliği,  $y$  enine akım doğrultusundaki kartezyen koordinatı,  $\varepsilon_y$  ise deneysel olarak,  $0.23 HU^* - 0.7 HU^*$  arasında değer aldığı tespit edilen  $y$  doğrultusundaki enine türbülans karışımı katsayısıdır. Bu bağıntı, kütle denkleminin korunum bileşkesinin zamandan bağımsız parçasının sınır şartlarına göre entegrasyonunun derinliğe bölünmesi esasına dayanmaktadır. Fischer (1975) boyuna yayılma katsayısının tahmini için, bu kez (2.5) denklemini entegralsız olarak sadeleştirilmiş halini

$$D_1 = \frac{0.07U'^2 \lambda^2}{\varepsilon_y} \quad (2.6)$$

denklemini sunmuştur. Burada  $\lambda$  hızın maksimum olduğu noktadan kıyıya kadar olan mesafedir. Laboratuvar deneylerinden, Fischer  $U'^2/U^2$ 'nin, ortalamasının 0,2 olacak şekilde 0,17 ile 0,25 arasında değiştiğini ve  $\lambda$ 'nın ise yaklaşık olarak  $0,7W$ 'ye eşit olduğunu bulmuştur. Bu değerlerin (2.6) denkleminde yerine konması ve  $\varepsilon_y = 0.6 HU^*$  alınması ile boyuna yayılma katsayısının

$$D_1 = \frac{0.011 U^2 W^2}{HU^*} \quad (2.7)$$

bağıntısı ile bulunabileceği sonucuna varılmıştır.

Liu (1977), Seo ve Cheong (1998), Koussis ve Mirasol (1998), Kashefipour ve Falconer (2002) ile birçok araştırmacının, boyuna yayılma katsayısının tahmini için Fischer (1975) gibi, aynı hidrolik ve geometrik değişkenlerle çalıştıkları, nehirlerden ölçüm sonucu elde edilen veri kümelerini ve laboratuvar sonuçlarını değerlendirdikleri görülmüştür. Bu yüzden Fischer (1975)'in, 1976'dan itibaren birçok araştırmacıya ilham kaynağı olduğu düşünülmüştür. Toprak ve diğ. (2003), ABD'de 30 akarsudan ölçüm sonucu elde edilmiş ve Kashefipour ve Falconer (2002) tarafından da kullanılan 81 veri kümesine Fischer (1975)'in (2.7) denklemini uygulamış ve sonuçlarını aynı veri kümesindeki ölçülen yayılma katsayısı değerleri ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonunda, Fischer'in (2.7) denkleminin, Elder

(1959)'in (2.3) denkleminin tersine, ölçülen değerlerin çok üstünde sonuçlar verdiği, maksimum ve ortalamanın verilerinkinden çok yüksek (sırasıyla, yaklaşık 7 ve 5 katı), minimumun ise verilerinkine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Sooky (1969) enkesit şekli ve hız dağılımının yayılma katsayısı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Logaritmik ve üstsel hız profili kabullerini yaparak üniform bir akıma sahip düzgün doğrultulu bir açık kanal için akım genişliğinin derinliğine oranının bir fonksiyonu olarak boyutsuz yayılma denklemini geliştirmiştir. Bu çalışmasında üçgen ve daire enkesitler kullanmıştır. Godfrey ve Frederick (1970) verilerin analizi sonucu, Sooky (1969)'nin bulduğu boyutsuz yayılma katsayısının akım genişliğinin hidrolik yarıçapa oranına bağlı olarak arttığını göstermişlerdir. Buna karşı, Seo ve Cheong (1998), “Sooky (1969)'nin çalışmaları ile gerçek akarsulardaki doğal yayılma katsayısı açıklanamaz. Çünkü, gerçek akarsular üniform bir enkesite sahip olmadığı halde, Sooky (1969) üniform bir enkesit kabulünü yapmaktadır” şeklinde itirazda bulunmuştur. Bansal (1971) ise U.S. Geological Survey'den temin ettiği verilerle yaptığı çalışmalardan Sooky (1969)'yi destekler sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir.

Sümer (1970), ağırlıklı ve ağırlıksız maddelerin türbülanslı yayılmasına ilişkin deneysel bir çalışma yapmış ve 1) herhangi bir kesit şekline sahip düzgün doğrultulu bir akımda madde yayılımının tek boyutlu bir yayılma denklemi ile karakterize edilebileceği, 2) boyuna türbülans difüzyonu ile beraber kesit içerisinde hız ve konsantrasyon profillerinin üniform olmayışının ortak etkisi sonucu meydana gelen türbülans difüzyonunun süperpoze edilebileceği, 3) ağırlıklı katı maddelerin bir açık kanalda boyuna yayılımının tek boyutlu bir denklem ile ifade edilebileceği sonuçlarını çıkarmıştır.

Bansal (1971) yayılma katsayısının hesaplanmasına yönelik ampirik ve teorik bağıntıları inceleyerek özetlemiştir. U.S. Geological Survey'den temin ettiği verileri kullanarak boyutsuz yayılma katsayısının, akım genişliğinin hidrolik yarıçapa oranına bağlı olarak arttığını tespit etmekle Sooky (1969)'nin vardığı sonuçları desteklemiştir.

McQuivey ve Keefer (1974) bir boyutlu doğrusal akım denklemi ile bir boyutlu yayılma denkleminin birleştirilmesi sonucu Froude sayısının 0,5'ten küçük değerleri için en küçük kareler yöntemi ile

$$D_1 = \frac{0.058 Q}{SW} \quad (2.8)$$

denklemini geliştirmiştir. Burada, Q baz akım debisini göstermektedir. Her ne kadar bu araştırmacılar, geliştirdikleri bağıntıya basit bir denklem demişlerse de Fischer (1975) bu denklemin analitik temelden yoksun olduğu, çünkü mekanizma, taşkın dalgaları ve zlemeyen maddeler için açık bir şekilde farklı olacağı şeklinde itiraz etmiştir. Kashefipour ve Falconer (2002) McQuivey ve Keefer (1974)'in (2.8) denklemini

$$D_1 = 0.058 \frac{HU}{S} \quad (2.9)$$

şeklinde vermiştir. Denklem (2.8) ve (2.9) aynı fakat farklı şekillerde gösterildiği ve ikisinde de birim genişlik debisi kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Savcı (1970, 1972, 1973, 1977, 1987, 1989) sırasıyla, boyuna yayılma ile ilgili çalışmaların bir kritiğini yaparak bir seri deneysel çalışma ile batmış sıçrama durumunda maddenin boyuna yayılması, çözülebilir bir maddenin boyuna yayılması, hidrolik sıçramada maddenin boyuna yayılması ve Froude sayısının boyuna yayılma katsayısına etkisi, su kalitesi kontrolünde türbülans yayılması ve akımda türbülans yayılması gibi konuları ele almıştır. Genel olarak, boyuna yayılma ve batmış sıçramada çözülebilen bir maddenin boyuna yayılması konularında yapmış olduğu bir çok laboratuvar deneylerinin sonuçlarını yukarıda verilen çalışmalarında sunmakta ve sabit kanal şartlarında cidar pürüzlülüğünün boyutsuz yayılma katsayısını artırdığı ve kanal cidar pürüzlülüğünün etkisinin taban pürüzlülüğünün etkisinden daha fazla olduğu sonucuna varmıştır. Gözlem sonucu elde edilmiş yayılma katsayısının, teorik yayılma katsayısından daha büyük olduğunu tespit etmiş ve bu farklılığın, araştırmacıların yapmış oldukları kabul ve basitleştirmelerden kaynaklandığını belirtmiştir. Diğer taraftan Taylor (1954) ve Elder (1959)'in analitik sonuçlarının birbirinden farklı çıktığını da tespit ederek bu farklılığın araştırmacıların farklı hız dağılımlarını kullanmalarından kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

El Hadi ve Daver (1976) taban pürüzlülüğü ve akarsu akımının diğer hidrodinamik karakteristikleri ile boyuna yayılma katsayısı arasında bir ilişki kurmaya çalışmıştır. Farklı taban pürüzlülüklerinin simülasyonu ile dolaşım (sirkülasyon) halindeki bir akımda yaptıkları deneysel çalışmalarla, boyutsuz yayılma katsayısının rölatif

pürüzlülük yoğunluklarının bir fonksiyonu olduğunu tespit etmiştir. Bu ilişkinin,  $HU^*$ 'ın  $0,009 \text{ m}^2/\text{s}$  civarındaki değerleri dışında açık bir şekilde doğrusal olmadığı ve non-lineerliğin pürüzlülük sıklığının artmasına bağlı olarak arttığını belirtmişlerdir.

Liu (1977) akarsulardaki yayılma olayına yanal hız gradyanının rolünü de hesaba katıp Fischer (1967) denklemini kullanarak

$$D_1 = \beta \frac{U^2 W^2}{H U^*} \quad (2.10)$$

şeklinde yeni bir yayılma katsayısı denklemini geliştirmiştir. Burada,  $\beta$  akarsu enkesit şekli ve kesit boyunca hız dağılımının bir fonksiyonu olarak

$$\beta = 0.18 \left( \frac{U_*}{U} \right)^{1.5} \quad (2.11)$$

denkleminde ifadesini bulan bir parametredir.

Zhang (1995) Corrsin hipotezi üzerinde yeni bir analiz yaparak bu hipotez ile elde edilen doğrusal olmayan dinamik denklemin kesin sonuçlarını sunmuştur. Exponansiyel fonksiyona sahip bir hız alanı için, Corrsin yaklaşımının kesin sonuçları ile doğrusal ve yarı doğrusal teorilerin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Corrsin hipotezi sonuçlarının, değişkeni  $\sigma$  olan eksponansiyel bir korelasyon fonksiyonu için boyuna asimptotik yayılma katsayısının  $\sigma$ 'dan küçük değerleri için  $\sigma^2$  ile, büyük değerleri için ise  $\sigma$  ile orantılı olduğu sonucuna varmıştır.

Cardoso ve diğ. (1996) iki boyutlu türbülanslı akımda, pasif bir izleyicinin yayılmasını ve eş konsantrasyon eğrilerine bağlı geometriyi deneysel olarak tespit etmeye çalışmıştır. Deneysel sistem daha önce Tabeling ve diğ. (1991)'de kullanılan deney sistemlerinin aynısıdır. Çalışma ortamı  $30 \times 30 \text{ cm}$  ebadında, PVC'den yapılmış açık bir haznedir. Çalışılan sıvı,  $3 \text{ mm}$  kalınlıktaki bir tuzlu su tabakasıdır. Akım üretmek için haznenin bir tarafından diğer tarafına yatay olarak bir elektrik hattı döşenmiş ve akımın tam altında bir mıknatıs tabakası yerleştirilmiştir. Magnetik alan ile elektrik akımının karşılıklı etkileşimleri sonucu, yapısı mıknatıs tabakaları tarafından oluşturulan akım dolaşım sistemini üretmektedir. Tuzlu suyun flüoresanlı karışımı olan izleyici, sıvı durgun halde iken akımın tam ortasına enjekte edilmiştir.

Sistemin destabilize olması için bir saniyeden daha az zaman geçmektedir. Ayrıca, yoğunluk etkilerini gidermek için sıvıya phenolphthalerin maddesi eklenmiştir.

Jobson (1997) kirliliğin nehirdeki hızını, kirletici pik konsantrasyonunun seyrelme derecesini ve kirliliğin belli bir noktadan geçmesi için gerekli zamanı tahmin etmek için modeller geliştirmiştir. Modeller, US Geological Survey tarafından boyut, boyuna eğim ve jeomorfik açıdan farklı tipte yüze yakın bir nehir dizisinden toplanan verilere dayanmaktadır. Geliştirdiği modelleri, drenaj alanları, topografya ve benzeri özellikler açısından birbirinden farklı iki akarsuya uygulamıştır.

Basha (1997) üniform olmayan eksenel bir hız dağılımı ile nehirlerde yayılma olayının analitik bir modelini sunmuştur. Yayılma olayının, izotropik olmayan türbülans difüzyon katsayıları dışında başka bir sabit ile iki boyutlu edveksiyon-yayılma denklemi ile tanımlanabileceğini ve akarsuyun yayılmaya izin vermeyen paralel banklarla yandan sınırlandırılmış prizmatik enkesite sahip sonsuz uzunlukta olduğu kabullerini yapmıştır. Konsantrasyon dağılımının önemli istatistik parametrelerinin çıkarılması için momentler yöntemini kullanılmış ve konsantrasyon moment denklemlerini analitik olarak çözmüştür. Ayrıca çalışmasında, zamana bağlı iki boyutlu yayılma denklemini tek boyutlu olarak sadeleştirerek konsantrasyon momentlerinin hız dağılımı ile bağımlılığını ve dağılım şeklini analiz etmiştir. Ayrıca, hız profilinin, karışım uzunluğu ve zamanı ile konsantrasyon çarpık dağılımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bununla birlikte, enjeksiyon senaryoları etkisinin geniş zamanlarda anlamlı olmadığını belirtmiş ve modelin prizmatik nehirlerin simülasyonunda basit, pratik bir araç olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Jackel ve Vereecken (1997)'de teorik alan metodu ile rastgele bir akımdaki efektif yayılma için makro yayılma katsayısı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bogle (1997) boyuna yayılmayı karakterize eden parametre değerlerini elde etmek için Sacramento Deltası ve Kuzey California'dan alınan kesit hız dağılımı ölçümelerini analiz etmiştir. Fischer bu parametreleri, laboratuvar ölçümleri ile ideal durumlar için teorik dönüşümler yaparak ve gerçek akarsulardan elde edilmiş verileri kullanarak hesaplamıştır. Bogle (1997)'in sonuçları, Fischer tarafından kullanılan parametre değerlerinin, delta akarsularındaki yayılmayı anlamlı derecede tahmin edebildiğini göstermiştir.

Li ve Zhou (1997) doğal akarsularda boyuna yayılma için stokastik bir teori geliştirmişlerdir. Akarsu en ve taban kıvrımlarındaki düzensiz değişimleri, bir boyutlu uygun bir rastgele alan ile temsil etmiş ve boyuna çözelti taşınımını, bir boyutlu stokastik çözelti taşınımı bağıntısı ile açıklamıştır. Sınır değişkenleri küçük ve istatistiksel olarak homojen olduğu zaman, stokastik çözelti taşınımı bağıntısının, temsili bir stokastik teknik kullanılarak kapalı formda çözülebildiğini belirtmişlerdir. Sonuçları, geniş ölçekli boyuna taşınımın, efektif boyuna yayılma katsayısı ile açıklanabilen bir gradient yayılım ile temsil edilebileceğini göstermiştir. Bu katsayı, akarsu en ve boy kesitindeki akım değişimlerinin etkisi ile meydana gelen boyuna karışımı ifade etmektedir. Araştırmacılar bu katsayının, üniform kanallardakinden daha büyük olabildiği sonucuna varmıştır. Özellikle akımın ortalama Froude sayısının yüksek olduğu durumlarda ve nehir en ve taban kıvrımları arttığı zaman, doğal akarsular ile üniform kanallar arasındaki farklılığın arttığını belirtmişlerdir. Bu analizlerinin, Taylor (1953, 1954), Elder (1959) ve Fischer (1967)'den bu yana doğal akarsularda boyuna taşınım konusundaki teorik çalışmaların başında gelen yeni bir gelişmeyi temsil ettiğini iddia etmişlerdir.

Al Naib ve Sanders (1997) bir kanalın içine doğru yatık ve düşey vuruşlar (çarpmalar) yapan bir su jetinin kenarlarının aşınması ve yayılması ilkelerinin genelleştirilmesini araştırmış ve ilgili bağıntıları geliştirmişlerdir. Lazer dopplerin anemometre tekniği, akım içine girmeksizin ortalama hızların ölçülmesi için uygulanmıştır. Aynı zamanda kanallardaki akımın dolaşım halindeki üç boyutlu durumunun araştırılması için de bu teknik kullanılmıştır. Deneyde, jet eğimi kanal tabanı ile 45°'den 90°'ye kadar değiştirilerek farklı eğimler, aynı zamanda kanal genişlik ve derinliğinin jet çapına oranının farklı değerleri ve akımın değişik Froude sayıları için de çalışılmıştır.

Strack ve Fairbrother (1997) hareketli cephe yayılması için Strack (1992) tarafından sunulmuş olan diferansiyel denklemi nümerik bir yöntemle çözmüştür. Bu, yayılmanın boy ile sınırlı olduğu konveksiyon-yayılma esaslı klasik denklemlerden (Scheidegger, 1954; Bear, 1960; Bear ve Bachmat 1965) farklıdır. Bu nümerik yöntem, sonsuz uzunlukta bir akarsu hattının bir noktasına konsantrasyon yığılması durumu için özetlenmiştir. Nümerik çözüm kesin çözümle karşılaştırılarak kanıtlanmıştır.

Guymer (1998)'de planda-sintüs şeklinde geniş ölçekli bir kanal üzerinde yapılan bir seri laboratuvar deneyinin sonuçları sunulmuştur. Kanal, farklı enkesit şekline sahip beş bölgeye ayrılmıştır. Belli yerlere fluorometre yerleştirilerek konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Böylece farklı enkesit şekillerine göre yayılmanın nasıl olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda debiler de değiştirilerek konsantrasyonlar ölçülen ve yayılmanın debi ile değişimi de belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta, doğal enkesitli kanal geometrisinin, güçlü bir çarpık dağılım gösterdiği ve boyuna yayılma parametresini %150 arttırdığı tespit edilmiştir.

Koussis ve Mirasol (1998), Fischer (1967, 1968, 1975) tarafından sunulan orijinal teori ve bağıntıları kullanıp von Karman sabitinin değerini Fischer (1975) denkleminde yerine koyarak

$$D_1 = \frac{\phi U \cdot W^2}{H} \quad (2.12)$$

şeklinde yeni bir denklem geliştirmiştir. 16 veri kümesine regresyon analizinin uygulanması sonucu  $\phi$ 'nın değeri 0.6 olarak bulunmuştur. Fischer (1975)'in sonuçları ile karşılaştırıldığında kendi sonuçlarının ölçülen verilere çok daha yakın olduğu görülmüştür.

Seo ve Cheong (1998), Elder (1959)'in çalışmasına değinerek doğal akarsularda yayılma katsayısının tahmini için kullanılamayacağını belirtmiştir. Çalışmalarında, ABD'de 26 akarsu üzerinde ölçüm yapılarak elde edilen 59 veri kümesinden 35'i kullanılmıştır. Tek adımlı Huber metodu için regresyon ve boyut analizlerinden yararlanılarak akarsularda boyuna yayılma katsayısını veren

$$\frac{D_1}{HU} = 5.915 \left( \frac{W}{H} \right)^{0.62} \left( \frac{U}{U_*} \right)^{1.428} \quad (2.13)$$

denklemini geliştirilmiştir. Toprak ve diğ. (2003), ABD'de 30 akarsudan ölçüm sonucu elde edilmiş ve Kashefipour ve Falconer (2002) tarafından da kullanılan 81 veri kümesine Seo ve Cheong (1998)'in (2.13) denklemini uygulamış ve sonuçlarını aynı veri kümesindeki ölçülen yayılma katsayısı değerleri ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucu, hem hesaplanan hata türlerine, hem de korelasyon ve diğer istatistiksel kriterlere göre, (2.13) denkleminin, Elder (1959) ve Fischer (1975)'in

bağıntılarından daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bunun yanında Fischer (1975)'in sonuçları ile Seo ve Cheong (1998)'in sonuçları arasında 0,87 değerinde bir korelasyon olduğu ve Cheong (1998)'in denklemi de Fischer (1975)'in denklemi gibi, ölçülen verilerden daha yüksek sonuçlar verdiği (maksimum değer iki kattan fazla ve minimum ve ortalama değerler yaklaşık iki kat) görülmüştür.

Benson ve diğ. (2000)'de kısmi bir edveksiyon-yayılma denkleminin uygulaması sunulmuştur.

Bidwell (2000)'de çözünen maddenin bir boyutlu taşınımını tahmin etmek için sayısal analize dayalı bir yöntem sunulmuştur.

Swamee ve diğ. (2000) dış kaynaktan bir akarsuya enjekte edilen çözülebilir bir maddenin boyuna yayılması ile ilgili en son yapılan çalışmaları sunmuştur. Çalışmada, kütle-zaman eğrisi için iki taraflı logaritmik ve üstel eşitliğin kabulü ile bir akarsuyun belli bir noktasının mansabında herhangi bir noktadaki çözünen maddenin konsantrasyonunun hesaplanması için bir denklem geliştirilmiştir. Ayrıca, boyut analizi kullanılarak bazı yayılma parametreleri ve bunların akım özellikleri ile kanalın geometrisi üzerine etkileri açıklanmıştır.

Baeumer ve diğ. (2001) izleyici taşınımı için kullanılan klasik adveksiyon-yayılma denkleminin uygulama alanını genişleten “subordination” adlı matematiksel bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde zaman değişkenin, farklı partiküller ile denenmiş operasyon zamanı ile temsil edilerek rastgele olması sağlanmıştır.

Pasquero ve diğ. (2001) iki boyutlu türbülânsta daneli malzemenin yayılmasının belirlenmesinde standart stokastik model performansını incelemiştir. Birbiri ile bitişik girdapların varlığı nedeni ile iki boyutlu türbülânsta tanecik yayılması Gaussian olmayan hız dağılımı ve eksponansiyel olmayan bir hız otokorelasyonu ile karakterize edilmiştir.

Gandolfi ve diğ. (2001)'de bir akarsuda çözünenin taşınımı denklemi bir boyutlu olarak ele alınmış ve üç farklı durum için incelenmiştir. İlk durumda bir çözelti kütlesi akarsuyun her hangi bir kesitinde  $x = 0$  noktasına enjekte edilmiş ve konsantrasyonun  $x = -\infty$  ve  $x = +\infty$  da sıfır olacağı kabul edilmiştir. Yani çözelti akarsuya enjekte edildikten sonra hem memba ve hem de mansaba doğru hareket edebilmektedir. İkinci durumda çözeltinin sadece mansaba doğru hareket ettiği kabul edilmiştir. Bu durumda membaya doğru bir taşınım söz konusu olmamaktadır.

Üçüncü durum ise yayılmasız olanıdır ki bu durumda, ne memba ne de mansaba doğru bir taşınımından söz edilebilmektedir. Sonunda, yayılmanın ihmal edilebileceği durumlarda ve akarsulara boşaltılan noktasal su kalite gözlem ve modelleme çalışmalarının ön inceleme safhasında kullanılabilecek basit formüller geliştirilmiştir. Çalışmada, İtalya’da bir nehre giren evsel deterjan atıkları incelenmiştir.

Kashefipour ve Falconer (2002) akarsularda boyuna yayılma katsayısının tahminine yönelik son çalışmalardandır. Çalışmada, ABD’de 30 akarsuda yerinde ölçüm sonucu elde edilen 81 veri kümesi kullanılmıştır. Sonuçta regresyon ve boyut analizleri yöntemleri ile akarsularda boyuna yayılma katsayısını veren

$$D_1 = 10.612 H U \frac{U}{U^*} \quad (2.14)$$

$$D_1 = \left[ 7.428 + 1.775 \left( \frac{W}{H} \right)^{0.62} \left( \frac{U^*}{U} \right)^{0.572} \right] H U \left( \frac{U}{U^*} \right) \quad (2.15)$$

denklemleri önerilmiştir. Bu denklemlerin sonuçları ile ölçülen veriler arasındaki determinasyon katsayılarının sırasıyla  $R^2 = 0.84$  and  $R^2 = 0.80$  gibi yüksek değerlerde olduğu belirtilmiştir. Özellikle akarsulardaki boyuna yayılma katsayısı için geliştirilmiş mevcut diğer ampirik denklemlerle dört farklı istatistik kriter ile yaptıkları karşılaştırma sonucu sonuçlarının ölçülen verilere daha çok benzediği iddia edilmiştir. Toprak ve diğ. (2003) hesapları gözden geçirdiklerinde (2.14) ve (2.15) denklemlerinin sonuçları ile ölçülen veriler arasındaki determinasyon katsayılarının, çalışmada belirtildiği gibi yüksek olmadığı fark edilmiştir. Hesaplar yeniden tekrarlandığında çalışmada sözü edilen katsayıların sırasıyla logaritmik koordinat sisteminde  $R^2_{14} = 0.3238$ ,  $R^2_{15} = 0.3197$ , Kartezyen koordinat sisteminde ise  $R^2_{14} = 0.393$  ve  $R^2_{15} = 0.3853$  olduğu görülmüştür. Ayrıca korelasyon katsayısının yüksek olması her zaman model sonuçlarının ölçülen veriler ile uyum içinde olduğu anlamına gelmemektedir.

Dikkatli bir incelemeden sonra ve Seo ve Cheong (1998)’in (2.13) denklemi ile Kashefipour ve Falconer (2002)’in (2.14), (2.15) denklemleri ölçülen verilere uygulandığında bu denklemler arasında sırasıyla 0.981 ve 0.992, ayrıca (2.14) ve (2.15) denklemleri arasında ise 0.997 gibi çok yüksek bir korelasyon olduğu görülmüştür. Buna karşılık, bu üç denklem ile ölçülen veriler arasında sırsıyla 0.603,

0.627 ve 0.621 gibi daha düşük bir korelasyon katsayısı hesaplanmış ve bu bağıntıların sonuçlarının rölatif hatalarının yüksek olduğu görülmüştür. Bu tespitlere rağmen Toprak ve diğ. (2003) tarafından, Kashefipour ve Falconer (2002)'de önerilen (2.14) ve (2.15) denklemlerinin, aynı çalışmada karşılaştırıldıkları Elder (1959), Fischer (1975), Liu (1977), Koussis ve Mirasol (1998) ve Seo ve Cheong (1998)'in önerdiği denklemlerden daha iyi sonuçlar verdiği teyit edilmiştir.

### **2.3 Önceki Çalışmaların Sınıflandırılması**

Bu konudaki çalışmalar teknolojinin gelişmesine bağlı olarak daha yoğun ve kısmen daha doğru ve kolay bir şekilde büyük bir hızla devam etmektedir. Bu bağlamda konu ile ilgili her yıl sayısız bilimsel yayın çıkmaktadır. Bu nedenle söz konusu çalışmaları sınıflandırmanın yararı olacaktır. Buna göre çalışmaları ana hatları ile, çalışılan akım ortamına, model veya bağıntı geliştirilirken kullanılan yöntemlere, çalışmanın amacına ve takip edilen izleyiciye göre sınıflandırmak mümkündür.

#### **2.3.1 Akım ortamına göre sınıflandırma**

Bu sınıftaki çalışmaları akarsu, açık kanal, boşluklu ortamlar, yer altı suyu, denizler ve göllerde yayılma olayını araştırmaya yönelik çalışmalar olmak üzere altı alt sınıfta toplamak mümkündür. Burada konuya yakınlığı nedeniyle, akarsular üzerindeki doğrudan ölçümlerden ve laboratuvar şartlarındaki deneylerden elde edilen verilerle yapılan çalışmalar olmak üzere iki alt sınıf ele alınmıştır. Akarsular üzerinde yapılan çalışmalara, Fischer (1967 ve 1968 a, b), Bansal (1970), Chiu ve Lee (1971), Day (1975), Beltaos (1980), Bear ve Young (1983), Jobson (1997), Bogle (1997), Li ve Zhou (1997), Seo ve Cheong (1998), Gandolfive diğ. (2001) ve Kashefipour ve Falconer (2002) ve Toprak ve diğ. (2003) gibi çalışmalar örnek olarak gösterilebilir. Laboratuvar şartlarında yapılan deneysel çalışmalara gelince, Taylor (1954) borulardaki yayılma üzerinde, Sayre (1968), Sooky (1969), Sümer (1970), Chatwin (1971), Savcı (1972), Tabeling ve diğ. (1991), Cardoso ve diğ. (1996) ve Al Naib ve Sanders (1997), Chatwin (1980) düzgün doğrultulu kanallar üzerinde; Chang (1971), Fukooka ve Sayre (1973) ve Guymer (1998) ise bir kısmı planda sinüs kanal olmak üzere kıvrımlı kanallar üzerinde çalışmıştır. Laboratuvar şartlarında kullanılan kanalların, enkesit şekline göre dikdörtgen, üçgen, dairesel veya trapez; plandaki şekline göre kıvrımlı kanal veya düzgün doğrultulu kanal olmak üzere hem enkesit

hem de boykesit şekli olarak değıştikleri için açık kanallar üzerinde yapılan çalışmaları ayrıca kendi aralarında da sınıflandırmak mümkündür.

### **2.3.2 Amacına göre sınıflandırma**

Çalışmaları amacına göre sınıflandırmak oldukça güçtür. Çünkü araştırmacıların büyük bir kısmı aynı parametrelerle çalışmadıkları görülmektedir. Herbir araştırmacı farklı parametrelerle çalışmış veya özellikle her hangi bir parametrenin etkisini araştırmıştır. Kimisi türbülansın, kimisi akım şartlarının, kimisi kanal veya akarsuyun geometrisinin, kıvrımlarının, cidar ve taban pürüzlülüğünün veya eğiminin etkisini araştırmıştır. Çalışmaların bir kısmı boyutlu, bir kısmı ise boyutsuz yayılma katsayısının belirlenmesine yönelik olmuştur.

### **2.3.3 İzleyici türüne göre sınıflandırma**

Araştırmacılar çalışmalarında, yer yer aynı izleyiciyi izlemekle birlikte birbirinden farklı maddeyi de izledikleri görülmektedir. Öncelikle izleyicileri ağırlıklı ve ağırlıksız madde (Sümer, 1970) ile çözülen ve çözölemeyen maddeler (Savcı, 1972) olarak iki sınıfta toplamak mümkündür. Sıkça kullanılan izleyiciler sediment, tuz (Savcı, 1972), pH, O<sub>2</sub>, boya, taneli malzemeler, nükleer atıklar, zirai ilaçlar ve gübreler, organik bileşenler gibi katı, sıvı veya gaz halindeki maddelerdir.

### **2.3.4 Kullanılan yöntemle göre sınıflandırma**

Bu konudaki çalışmaları kullanılan yöntemlere göre sınıflandırmaya tabi tutmak oldukça zordur. Nitekim çok sayıda birbirinden farklı yöntem kullanılmıştır. Literatürde, en çok regresyon analizi (Koussis ve Mirasol, 1988; Seo ve Cheong, 1998; Kashefipour ve Falconer, 2002), boyut analizi (Kashefipour ve Falconer 2002), nümerik metotlar (Bogle, 1997), analitik metotlar (Cushman ve Ginn 2000), stokastik yaklaşımlar (Li ve Zhou, 1997) gibi çok sayıda metodun kullanıldığını görmek mümkündür.

### 3. YÖNTEM GELİŞTİRME ESASLARI

#### 3.1 Yöntem Seçimi

Doğa olaylarında her zaman var olan belirsizlikler, belirgin (deterministik) yöntemlerle modellemeyi güçleştirmektedir. Bu yüzden araştırmacılar başka yöntemler geliştirerek problemi yaklaşık olarak modellemeye çalışmıştır. Yaklaşık sonuç elde etmek için, ya eldeki problem idealleştirilmeli, ya da çok sayıda değişken kullanılmalıdır. Problemi idealleştirmek için yapılan kabul veya ihmaller nasıl model veya bağıntının hatasını büyütüyor ise, değişkenlerin sayısını artırmak da hata sayısını artırmaktadır. Birçok araştırmacı dikkate alınacak değişken sayısı ile yapılacak ihmal ve kabullerin sayısını optimize etmeye çalışır. Doğa olaylarını modellerken kullanılan yöntemler çoğu kez, değişken sayısı ile kabul ve ihmal sayısını optimize ederek toplam hatayı minimize etmeye imkan verememektedir. O halde model geliştirilirken, kullanılacak yöntem özenle ve çalışmaya en uygun olacak şekilde seçilmelidir. Diğer taraftan, özellikle mühendislik gibi uygulamalı bilimlerde, güvenli tarafta kalmanın gerekliliğinden söz edilir ve hesaplarda genellikle bir emniyet katsayısı kullanılır. Bu katsayı aslında, tüm hatalara karşı alınan bir önlemdir. Başka bir ifade ile, hataların toplamının etkisini sayısal olarak bir katsayı ile ifade etmektir.

Çok karmaşık olan doğa olayları genellikle basit kara kutu kavramı ile sistemin içine girilmeden yaklaşık olarak çözülmektedir. Sistemin içinde ne olup bittiği hakkında hiçbir şey bilinmemektedir. Sistem, girdilere göre çıktı veya çıktılara göre girdi üretir. Bu tür bir yaklaşımda, sistemin içi bilinmemekle birlikte sistemin davranışı, sistem hakkındaki deneyimlerden bilinmektedir. Bu yüzden ne zaman aynı girdiler aynı miktarda sistem içerisine alınırsa sistemin içi bilinmeden de aynı çıktılar tahmin edilebilmektedir.

Yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritma (GA) gibi yöntemler kara kutu sistemleri gibi çalışır. Fizik temelinden yoksundur. Dolayısıyla aynı doğa olayına ait

eldeki farklı verilere göre model farklı sonuçlar vermektedir. Bu yüzden, modeli sürekli olarak yeni verilere göre yeniden eğitmek gerekmektedir. Bu tür modeller gerçek anlamda doğa olaylarını temsil etmemektedir. Bilgisayarların hızlı işlem yapmasından yararlanılarak, genellikle en küçük kareler metoduna göre hatanın minimize edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu hatalar, ortalama karesel hata, ortalama karekök karesel hata veya her hangi bir hata fonksiyonu kullanılarak hesaplanır.

İstatistik modeller ise yukarıdakilerden farklı olarak, verilerin bazı parametrelerini dikkate almaktadır. Bu tür modellerde, model sonuçlarının ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, çarpıklık katsayısı gibi istatistik parametrelerinin, verilerinkine yakın olması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak istatistik ve olasılık teorisine dayanan modellerde, model sonuçlarının eldeki verilere istatistiksel parametreler açısından benzemesi hedeflenmektedir. Modelin fizik veya neden-sonuç ilişkisi temeline dayandırma gayreti yoktur.

Literatürde sıkça rastlanan metotların başında regresyon analizi gelmektedir. Regresyon analizinin amacı iki ya da daha fazla rastgele değişken arasındaki istatistik ilişkinin biçimini (matematik ifadesini) belirlemek, değişkenlerden birinin (bağımlı değişkenin) değişiminin diğer değişken(ler)in (bağımsız değişkenler) değişiminden kaynaklanan yüzdesini hesaplamak ve bağımlı değişkenin değerini, bağımsız değişken(ler)in bilinen değerlerine bağlı olarak tahmin etmektir. Basit doğrusal regresyon analizi iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi göstermektedir (Bayazıt, 1996).

Şen (2001) korelasyon katsayısının normal dağılımlı değişkenler için tanımlanabileceğini ve regresyon denkleminin parametre tahmininde altı tane sınırlayıcı kabulün yapıldığını belirtmiştir. Bunlar:

1. Doğrusallık (Linearity) Kabulü: Regresyon tekniği, verilerin saçılma diyagramının doğrusal bir trende sahip olduğu durumlarda geçerlidir. Eğer saçılma diyagramında, uydurulan eğrinin doğrusal bir trendi yoksa, regresyon analizinin yanıltıcı olacağı açıktır.
2. Normal Dağılım Kabulü: Doğrusal regresyonun kullanılabilmesi için değişkenlerin normal dağılmış olması gerektiği yaygın olarak kabul edilir. En azından hatalar normal dağılıma uymalıdır.

3. Eşit Varyanslılık (Homosedastiklik) Kabulü: Bu şartlı dağılımlarda eşit varyanslılık anlamına gelir ve önemli bir kabuldur. Verilerin homosedastik olup olmadığını test etmek için verileri en az üç veya daha fazla gruba ayırmalı ve bu grupların varyansları hesaplanmalıdır. Eğer bu varyanslar arasında belirgin bir farklılık yoksa verilerin homosedastic olduğu kabul edilebilir.
4. Otokorelasyon Kabulü: Eğer birden fazla bağımsız değişken varsa ve bağımlı değişken bunların tümünün etkisinde ise bu durumda bağımsız değişkenler de kendi aralarında bağımsız olması gerekir. Aksi halde Y, X bağımsız değişkenlerine bağlı olarak tam anlamı ile tahmin edilemez.
5. Verilerde Hata Yokluğu Kabulü: Gözlem ve ölçüm sonucu elde edilmiş verilerde, ölçüm ve gözlem yöntemlerinden, kullanılan cihazlardan ya da cihazların yanlış kullanımından kaynaklanan hataların olmadığı kabulüdür.
6. Şartlı Dağılım: Ölçülen veriler ile tahmini değerler arasındaki farkların ortalamasının sıfır olması gerekir. Eğer değil ise, regresyon denkleminin katsayıları (a ve b) önyargılı tahmin edilmektedir.

Görüldüğü gibi ölçüm ve gözlem sonucu elde edilen verilerin regresyon analizi ile modellenmesinde çoğu kez dikkate alınmayan bazı sınırlayıcı kabuller vardır. Bu kabuller regresyon analizinin birer tuzağı olarak değerlendirilebilir. Bir kısım araştırmacı, yukarıda belirtilen sınırlayıcı koşullardan bazısını, hatta bazen tümünü dikkate almadan regresyon analizi ile model geliştirmektedir. Özellikle birden fazla bağımsız değişkenin aynı anda söz konusu olduğu durumlarda, regresyon analizi ile model geliştirmek oldukça güçtür. Bayazıt (1996) bu durumlarda çok değişkenli doğrusal regresyonun kullanıldığını ve çok değişkenli doğrusal regresyonda en iyi modeli belirlemek için bir değişken ekleyip diğer bir değişkeni çıkararak yapılan adım adım regresyonun uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Regresyon analizine genellikle gereğinden fazla güven duyulmaktadır. Bu yüzden çoğu kez ciddi hatalar yapılmaktadır. Bir modelin sonuçlarının eldeki verilerle karşılaştırmasında sadece korelasyon katsayısına bakılması da yeterli değildir. Böyle bir karşılaştırmanın bir anlamı var ama hiçbir zaman tek başına modelin başarısını göstermez. Diğer taraftan korelasyon katsayısının düşük çıktığı durumlarda model sonuçları ile eldeki verilerin dönüşümleri alınabilir ve bu şekilde çapraz korelasyon katsayısına bakılabilir. Böyle bir dönüşümden sonra elde edilen çapraz korelasyon katsayısı iki tarafın logaritmik değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Oysa aranması gereken ilişki model sonuçları ile eldeki veriler

arasındaki ilişkidir. Diğer taraftan, böyle bir dönüşümden önce (gerçekte) çok yüksek olan bazı değerlerin, dönüşümden sonra küçüleceği için hatalar ve model sonuçları ile eldeki verilere ait istatistik parametreler arasındaki farklar da küçülecektir. Dolayısıyla bu şekilde hesaplanan hatalar ve istatistik parametreler yanıltıcı olabilir. Bu nedenle, bu tür bir dönüşümün modele yansıtılması gerekir.

Diğer taraftan çoğu kez eldeki veriler ile model sonuçlarının saçılma diyagramlarına çeşitli eğriler uydurulmaktadır. Bazen bu eğriler altıncı dereceden bir polinomdur. Daha sonra korelasyon katsayısına bakılmakta ve eğer yüksek ise modelin uygunluğuna karar verilmektedir. Oysa bu şekilde hesaplanan korelasyon katsayısı, model sonuçları ile veriler arasındaki korelasyon katsayısı değil, uydurulan eğrinin denklemi ile veriler arasındaki korelasyon katsayısıdır. Burada yapılması gereken, saçılma diyagramında sıfır noktasından geçen ve eksen takımı ile 45°'lik açı yapan bir doğrunun çizilmesidir. Böyle bir doğru çizildikten sonra noktaların doğruya göre konumlarına bakılarak modelin taraflı olup olmadığı kolayca anlaşılabilir.

Sonuç olarak regresyon analizinde yapılan kabuller ve korelasyon katsayısına yüklenen yanlış anlam gizli birer tuzaktır. Modelin geliştirilmesinde her hangi bir hata olmasa da, yapılan bu kabuller nedeniyle modellerin taraflı olabileceği açıktır. Bu ve benzeri tuzakları olması nedeniyle, modellemede regresyon tekniğinin uygulanması büyük bir dikkat ve ciddi bir veri analizini gerektirir. Korelasyon katsayısı ise modelin başarısı hakkında her zaman yeterli bilgi veremeyebilir. Dolayısıyla sonuçların karşılaştırılmasında sadece korelasyon katsayısı ile yetinilmemelidir. Korelasyon katsayısı ile beraber mümkün olduğunca daha fazla kriter göz önünde bulundurulmalıdır.

### 3.2. Bulanık Mantık

Mantık, insan ile birlikte var olan bir olgudur. Mantığın, bir bilim olarak temellerinin Aristo tarafından atıldığı bilinmektedir. Bir bilim olarak ilk kullanım alanı da felsefe olmuştur. Aristo aklın, dolayısıyla mantığın şu üç prensibinden söz eder:

Özdeşlik İlkesi : “Bir şey kendisidir” yani  $A, A'$  dır.

Çelişmezlik İlkesi : Özdeşlik ilkesi tek başına bir nesneyi tanımlamaya yetmez. İlk prensibe göre bir nesnenin kendisi olduğu kesindir, fakat başka bir şey olmadığı

kesin değildir. Bunun önüne geçmek için Aristo, “Aynı niteliğin, aynı zamanda ve aynı bakımdan aynı özneye hem ait olması hem da ait olmaması imkansızdır” demekte ve çelişmezlik ilkesini kabul etmektedir. A, A ise aynı zamanda A olmayan değildir. Çelişmezlik ilkesi, nesnelerin birbirinden ayırıt edilmesini sağlar.

Üçüncü Halin Olanaksızlığı İlkesi: Bir şey ya doğrudur ya da değildir. Aristo mantığına göre eğer bir şey doğru ise, o şeye aynı zamanda “doğru değildir” denemez. Benzer şekilde, bir şey ya var, ya da yoktur. Bir eleman, bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Örnekler çoğaltılabilir. Bu ilke, “bir şey ya A’ dır, ya da A değildir” şartını getirmektedir. Yani üçüncü bir alternatif sözkonusu değildir.

Bu üç ilke ile bir nesnenin kesin olarak sınırı belirlenmiş ve tanımı yapılmış olmaktadır. Şöyle ki, birinci ilkeye göre, bir nesne kendisidir. İkinci ilke, o nesnenin kendisinden başka bir şey olamayacağını, üçüncü ilke ise o nesne için üçüncü bir alternatifi olamayacağını göstermektedir. Sonuçta bir şey ya A’ dır ya da A değildir.

Bu mantık ilkeleri, yüzyıllar boyu taraftar buldu. Herhangi bir doğa olayını açıklayabilmek için yapılabilecek diğer açıklamaların kesinlikle red edilebilirliğine ihtiyaç vardı. Çünkü, 19. yüzyılın ortalarına kadar bilim adamlarının arasındaki yaygın kanaate göre bilim kesinlik istiyordu. Daha sonra doğa olaylarının bütün çabalara rağmen her zaman belirsizliğini koruyabileceği yönünde düşünceler gelişti. Bu bakış açısının değişmesinin ilk aşaması 19. yüzyılın son çeyreğinde fizikçilerin çalışmalarıyla başladı. Bundan sonra bir şeyin ya doğru ya da yanlış olabileceğinin yanında bazı yanlışlıklarla beraber bazı doğruları da içerebileceği düşüncesi doğmaya ve gelişmeye başladı. Buna ışığın “tanecik” ve “dalga” teorileri örnek olarak verilebilir. Yapılan çalışmalar ışığın yerine göre dalga, yerine göre tanecik şeklinde yayıldığını göstermektedir. Oysa Aristo felsefesine göre, eğer ışık bu teorilerden birine göre yayılıyor ise diğerine göre yayılmamalıdır.

Bulanık Mantık (BM) yaklaşımı bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme teorisi ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Bu nedenle Zadeh (1965) modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilir. Bu çalışma kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koydu. Bu çalışmanın yankı bulması sadece olasılık teorisine bir alternatif oluşundan değil, ayrıca o güne değin hemen hemen tüm bilimlere temel olan Aristo mantığına karşı bir alternatif olabileceğinden de kaynaklanmaktaydı. Bu çalışmadan sonra BM’nin Uzak Doğu ve Avrupa’da kısa

sürede teknolojik uygulamaları ortaya çıkmaya başlamıştır. Günümüzde ise başta elektronikte, kontrol sistemlerinde olmak üzere hemen hemen tüm disiplinlerde yerini almış ve konu ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışma yayınlanmıştır.

Doğada değişen ve gelişen olaylar birbirini etkilemektedir. Dolayısıyla çoğu kez bir olayı etkileyen parametrelerin sayısı zamana ve konuma göre değiştiği gibi bunların olay üzerindeki etkisinin niteliği ve niceliği de her zaman ve her yerde aynı değildir. Bunun yanında, laboratuarlarda deney koşullarını gerçek doğa koşullarına benzetebilmek ve gözlemleri doğada aynı koşullarda tekrarlamak da güçtür. Bunlara ölçüm ve gözlemlerde yapılan hatalar da eklenince belirsizlikler daha da artmaktadır. Bazı durumlarda, doğa olayı çok iyi kavrandığı ve yorumlandığı halde bu kavram ve yorumların modele yansıtılması problem olur. O halde doğa olaylarının her zaman insanoğlu açısından belirsizlikleri olacaktır. Bu belirsizlikler nedeniyle doğa olaylarını önceden tam olarak tahmin etmek veya modellemek oldukça güçtür. Bu gerçeklerden hareketle denilebilir ki, doğa olaylarının tahmini için hatasız olarak geliştirildiği iddia edilen modellerde nedeni kesin olarak bilinmese de hatalar vardır. Bu hatalar genel olarak yapılan kabul ve ihmallere, kısaca idealleştirmelere, deney veya gözlemlerde göz önünde tutulan yanlış veya eksik parametrelere, parametrelerin hesaba katılan nitelik ve niceliğine, deney veya gözlem koşullarının farklılığına ve ölçüm ve kayıtlarda yapılan hatalara bağlıdır. Bilgisayarlar bu türlü belirsizlikleri gideremedikleri gibi, yorumlamaktan da acizdir. Ancak sayısal olarak girilen verileri daha hızlı bir şekilde işlemeye yardımcı olurlar. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın düşünme yeteneğine bağlı olarak yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem ve tanımlama yapabilme ve bu işlem ve tanımlamaları ifade edebilme yeteneği vardır. İnsanın düşünme, tanımlama ve tasvirlerinin büyük bir kısmı hatta hemen hemen hepsi belirsizlik (yaklaşıklık) içerir. Yani insan bulanık düşündür, bulanık tanımlar ve bulanık tasvir eder. Başka bir ifade ile insanoğlu çoğu kez sayısal değil sözel düşündür ve ifade eder. Bu belirsizlik kimi zaman yapılan idealleştirmeler, ölçüm ve gözlem hataları, kimi zaman doğa olayları hakkındaki eksik ve yanlış bilgiler nedeniyle bilimde de varlığını sürdürmüştür. Şen (1999), değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına “bulanık (fuzzy) kaynaklar” adı verildiğini, Zadeh (1971) ise gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir. O halde zaten karmaşıklığın ve belirsizliğin var olduğu bir bilim

dünyasında “bulanık mantık” felsefesi bir bakıma bu durumun gerçek adını koyarak ve olayları idealleştirmek yerine olduğu gibi kabul ederek çözüme anlayışını getiren bir felsefe olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte BM yönteminde fizik kanunları uzman görüşü olarak modele yansıtılmaktadır. Uzman görüşü yanında, eldeki verilerin kullanılması ise daha iyi bir sonucun elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Bunun yanında, BM’de uzman görüşü olarak fizik kanunlarını işin içine katmanın beraberinde bazı idealleştirmeleri getirebileceği şeklinde düşünülebilir. Fizik kanunlarının hesaba katılmasına bağlı olarak bazı idealleştirmeler söz konusu olabilir. Ancak, bu idealleştirmeler, diğer yöntemlerde yapılanların yanında çok küçük kalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı BM metodu tercih edilmiştir. Literatürde böyle bir çalışmaya rastlanmamasının da bu tercihte etkisi olmuştur.

### **3.3 Bulanık Mantığın Fayda Ve Mahzurları**

Bulanık mantığın özellikle elektronik ve kontrol sistemlerinde çok başarılı olduğu bilinmektedir. Hemen hemen tüm disiplinlerdeki modellemelerde önemli bir yeri vardır. Görüntüleme, seste ve tıpta görüntülü teşhiste iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Kabul ve ihmallerin en az olduğu yöntemlerden biri olması nedeniyle tercih edilebilmektedir. Ayrıca, diğer istatistiksel yöntemler ile YSA ve benzeri yöntemler gibi fiziksel temelden yoksun değildir. Olayın fiziksel nedenleri, uzman kişi tarafından hem üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi, hem de kuralların atanması sırasında modele yansıtılabilmektedir. Başka bir ifade ile sadece eldeki verileri taklit etmesi gibi bir özelliği yoktur. Özellikle çözümleri zor diferansiyel denklemlere gereksinim duyulmadığı için karmaşık ve belirsizlik içeren problemlerin çözümünde büyük faydaları söz konusudur.

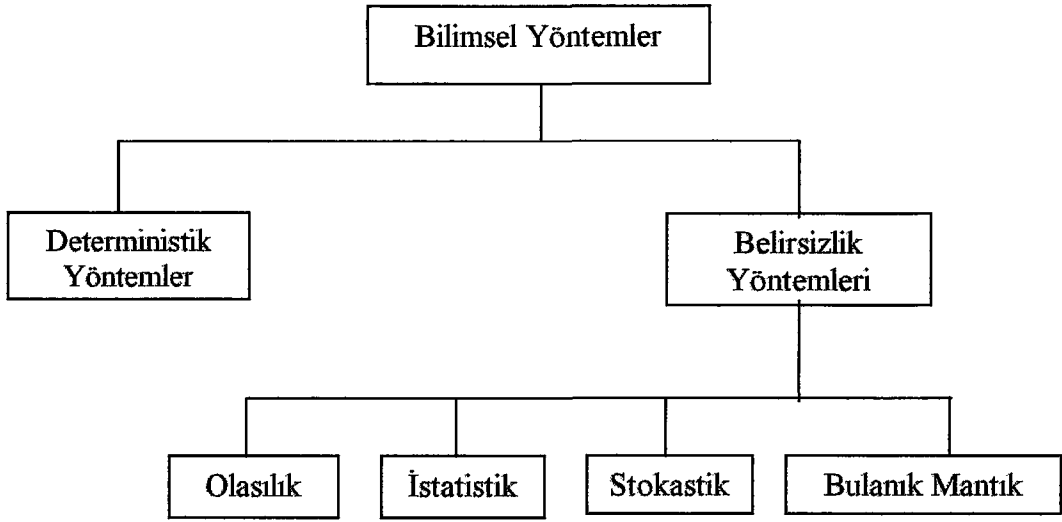
Diğer taraftan, bütün gelişmelere rağmen BM’nin bilim ve teknolojiye binlerce yıllık klasik mantık ile birlikte aynı şartlarda yer alması için henüz erkendir. Aynı zamanda klasik mantığa göre daha güvenilir ölçüm yöntemlerine sahip değildir. BM özellikle boyutlandırmaya yönelik mühendislik uygulamalarında henüz istenen konumda değildir. Uygulamalarında sağlıklı verilerin yanında uzman görüşüne de ihtiyaç vardır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde ve kuralların atanmasında henüz uygulayıcıyı deneme-yanılmadan tam anlamıyla kurtaracak mekanizmalar gelişmiş değildir. Bu nedenle, herhangi bir problemin çözümünde BM’yi kullanmaya hemen karar vermek güçtür. Çok uzun programlar yapmaya ihtiyaç vardır. Özellikle

deneme-yanılmaya gereksinim duyulduğu takdirde problemi çözecek programları geliştirmek çok zaman alabilir.

### **3.4 Bulanık Mantığın Diğer Yöntemler İçerisindeki Yeri**

Yukarıda da belirtildiği gibi literatüre geçmiş bir çok bilimsel yöntemde belirsizlik vardır. Ancak bu yöntemlerin felsefesinde BM yoktur. Klasik mantık bu yöntemlerde geçerli olmaktadır. Örneğin istatistiksel bir yöntemde, herhangi bir olay için belirlenen bir güven aralığının hemen dışında bir değere yaklaşım nasıl olacaktır? Klasik mantığa göre bu değer elbette güven aralığının dışında tutulacaktır. Örneğin, bir yapı elemanının taşıma gücü, deterministik yollarla 20 ton olarak hesaplansın. Deneysel olarak belirlenen değer ise 19.4 ton olsun. Bu durumda iki seçenek söz konusudur: Birincisi,  $19.4 \text{ ton} < 20 \text{ ton}$  olduğu için kesiti büyütmek ki, bu klasik mantık yaklaşımıdır. İkincisi, mühendis sorumluluk üstlenip bu küçük farkı gözardı eder ki, bu da kısmen BM anlayışına girmektedir. Şekil 3.1’de bulanık mantığın diğer bilimsel yöntemler içindeki yeri gösterilmektedir.

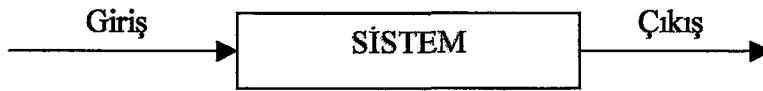
Günümüzde, bulanık uzman sistemler, kontrol, örnek tanıma, finans sistemleri, işletme araştırmaları, veri analizleri v.b. birçok alanda kullanılmaktadır. Birçok sistem bulanık uzman sistemler yardımı ile modellenenebilir ve hatta kopyalanabilir. Bu yüzden dünya çapında BM’nin çeşitli proje ve araştırmalarla oldukça yaygınlaştığı görülmektedir. BM kontrol sistemleri, yüksek boyutlarda bulanık modelleme, tıbbi görüntülemelerde örnek tanıma, akıllı otoyol için olay tespit tabanlı BM, BM kontrollü trafik sinyalizasyon çalışmaları, metro ve beyaz eşya teknolojisi buna birkaç örnektir (Şen, 1999).



Şekil 3.1 Bulanık mantığın bilimsel yöntemler arasındaki yeri (Şen, 1999)

BM doğa olaylarının modellenmesi çalışmalarında da bir çok disiplinde kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Örneğin, 1-, 2- ve 3-boyutlu modellemede (Bardossy ve diğ. 1995), sızma (Bardossy ve Disse, 1993), su yapıları (Toprak ve Aytek, 2001), sulama (Toprak ve diğ., 2002), katı madde taşınımı (Dou ve diğ., 1997), hidroloji (Bardossy ve diğ, 1990, Droesen, 1996), mühendislik sistemleri (Bardossy ve Duckstein, 1995) ve elektrik-elektronikte (Mamdani, 1977) gibi çok sayıda çalışma örnek olarak verilebilir.

Şimdiye kadar öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3.2’de verilen üç ayrı birimden oluşur (Şen, 1999).



Şekil 3.2 Klasik Sistem

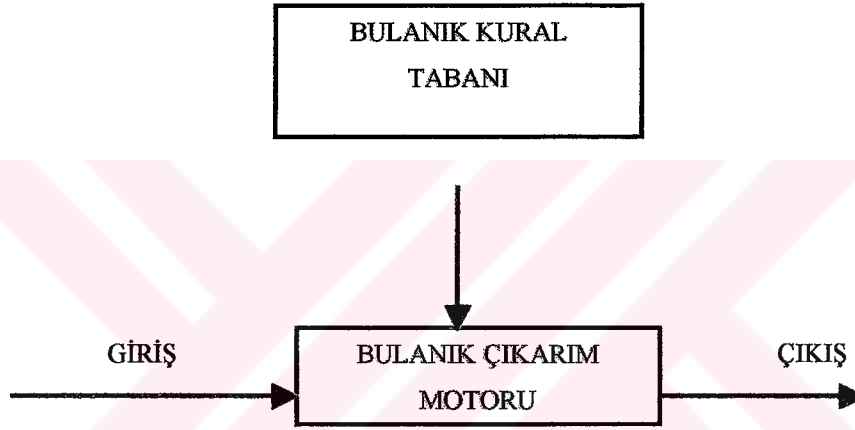
Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanmaları için genel olarak iki nedenleri vardır (Şen, 1999). Bunlar:

- 1) Çok karmaşık olmaları nedeniyle doğa olaylarının kesin sonuç verebilecek denklemlerle ifade edilememesi ve bunun doğal sonucu olarak da araştırmacının kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere başvurmayı her zaman tercih etmesi,

2) Mühendislikte bütün teori ve denklemlerin, gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade etmesi.

Bulanık sistemlerin klasik sistemlerden farkı sistem davranışı kısmının ikiye ayrılması ve Şekil 3.3'te gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır (Şen, 1999). Bu birimler:

1) **Genel bilgi tabanı birimi:** İncelenecek olayı etkileyen girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir.



Şekil 3.3 Genel Bulanık Sistem (Şen, 1999)

2) **Bulanık kural tabanı birimi:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal **EĞER-İSE** türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm bulanık küme bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü bulanık kural tabanını oluşturur.

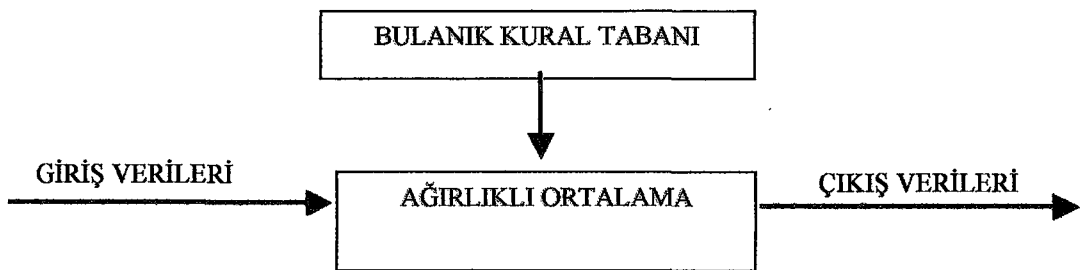
3) **Bulanık çıkarım motoru birimi:** Bu birim, bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parçalar halindeki ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin tek çıkışlı davranmasını temin eden işlemlerin tümünü içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğini belirler.

4) **Çıktı birimi:** Yukarıdaki üç birimin desteği ve birbiri ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir. Kısaca çıkış da denilebilir.

Şekil 3.3 genel bir bulanık sistemi temsil eder. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, veri tabanındaki bilgilerin bulanık girdi şeklinde sisteme girmesi ve çıktıların da bulanık değerler olarak alınmasıdır. Yani Şekil 3.3'teki sistemde, tüm birimler tamamen bulanık kümelerden oluşmaktadır. Temel bulanık sistemin en önemli mahsuru, sayısal olan veri tabanının böyle bir genel bulanık sisteme girememesi ve çıktıların sayısal olmaması, dolayısı ile mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılamamasıdır (Şen, 1999).

Genel bulanık sistemlerin bu eksikliklerini bir derece ortadan kaldırabilmek için, Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kank (1988) tarafından önerilen ve Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi denilen sistem kullanılır. Burada, veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması sonunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Yani kural tabanındaki öncül kısımların değişkenleri, İSE'den sonraki kural soncul kısmına, birer doğrusal fonksiyon olarak yansıtılmaktadır.

Bütün kuralların soncul kısımları sanki bir çoklu doğrusal denklemden ibarettir. Böyle bir yapıya sahip olan bulanık sistemde soncullar bulanık küme şeklinde olmadıklarından Şekil 3.3'teki bulanık çıkarım motoru yerine her bir kuralın öncül kısmında hesaplanan üyelik dereceleri ağırlık olmak üzere ağırlıklı çıkarım hesaplaması birimi gelir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi (Şen, 1999)

### 3.5 Kümeler

#### 3.5.1 Küme kavramı

Küme kavramı aslında bir tür sınıflandırma kavramıdır. İnsanoğlu ilk çağlardan beri küme kavramını kullanmıştır. İlk zamanlarda insanlar belki “küme”yi

kavramlaştırmadan, başka bir ifade ile “küme”yi, “küme” olduğunu bilmeden kullanmıştır. Aynı şekilde iletişim, düşünme, tasvir ve karar için ilk insandan itibaren kümeler kullanılmıştır. Örneğin, “bebekler”, “çocuklar”, “yetişkinler”, “yaşlılar”, “kadınlar”, “erkekler”, “koyunlar”, “sığırlar”, “vahşi hayvanlar” gibi terimler aslında birer sınıfı dolayısıyla birer kümeyi temsil etmektedir. “18 yaşından küçükler giremez” şeklindeki bir ifadeyi, anlamını hiç bozmadan küme bilimi dili ile şu şekilde değiştirmek mümkündür: “18 yaşından küçük insanların kümesine eleman olanlar giremez.” veya, “yalnızca 18 yaşında veya 18 yaşından büyük insanların kümesine ait elemanlar girebilir”.

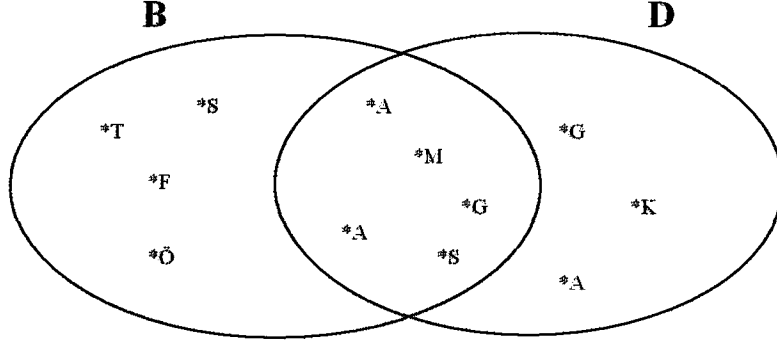
Şen (1999) konuya şu şekilde yaklaşmaktadır: “Kümeler temel matematik ve mantık kavramlarının esaslarını teşkil eder. Aslında insan düşüncesinin en temel öğelerini kümeler meydana getirir, fakat insanoğlu onları günlük hayatının her safhasında kullanmasına rağmen küme kavramını bilmeyebilir. Artık düşünce sisteminde sistematik bir şekilde mantık ve matematiğin kullanılması ile küme kavramları da otomatik olarak kullanılır hale gelmiştir. Özellikle, günümüzde eğitim sistemlerinde klasik matematiğin yerini modern matematiğe bırakması kümeler teorisinin daha da önem kazanmasına neden olmuştur”.

### 3.5.2 Klasik kümeler

Klasik küme anlayışına göre bir eleman bir kümeye ya aittir ya da değildir. Başka bir ifade ile “biraz aittir veya biraz değildir” denemez. Çünkü klasik küme anlayışında bir eleman, bir kümeye ya 0 ya da 1 üyelik derecesi ile bağlıdır. Bir elemanın, bir kümeye 0 ile 1 arasındaki herhangi bir üyelik derecesi ile bağlılığı söz konusu değildir. Bu nedenle herhangi bir kümenin alt kümelerinin sınırları kesindir. Bu durum beraberinde bazı problemleri getirmektedir. Örneğin, “sıcaklık” uzayını ve bu uzayın alt kümeleri olarak; “çok sıcak”, “sıcak”, “ılık”, “serin” ve “soğuk” alt kümelerini düşünelim. “Sıcak” alt kümesi  $25^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{sıcak}} \leq 35^{\circ}\text{C}$  olarak kabul edilsin. Bu durumda klasik küme mantığına göre,  $35.01^{\circ}\text{C}$  çok sıcak ve  $24.99^{\circ}\text{C}$  ise ılık kabul edilmektedir. Oysa gerçek hayatta her kümenin sınırı ve dolayısıyla bu kümelere ait her elemanın özellikleri o kadar kesin değildir. Dolayısıyla klasik küme anlayışı böyle durumları ifade etmede yetersiz kalmaktadır.

### 3.5.2.1 Klasik küme notasyonu

Bilindiği üzere klasik kümeler büyük harflerle adlandırılır ve elemanlar,  $\{ \}$  şeklinde bir parantez içinde gösterilir. Şematik olarak da Şekil 3.5'teki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.5 Klasik kümelerin şematik gösterimi

Küme kavramında sembollerin önemli bir yeri vardır. Bu sembollerden önemli birkaç tanesi aşağıya alınmıştır:

$x \in X$  :  $x$ ,  $X$  uzayına ait bir elemandır.

$x \in A$  :  $x$ ,  $A$  kümesine ait bir elemandır.

$x \notin A$  :  $x$ ,  $A$  kümesine ait bir eleman değildir.

$A \subset B$  :  $B$  kümesi  $A$  kümesinin tümünü içerir (Eğer  $x \in A$  ise  $x \in B$ 'dir) .

$A \subseteq B$  :  $B$  kümesi  $A$  kümesinin tümünü içerir veya  $A$  kümesi  $B$  kümesine denktir.

$A=B$  :  $A$  kümesi  $B$  kümesi ile aynıdır.

$A=\emptyset$ :  $A$  kümesinin hiçbir elemanı yoktur; yani  $A$  kümesi boş kümedir.

$X = \{a, b, c\}$  ise  $X$  kardinalı  $P(X) = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, \{a, b, c\}\}$  kümesi olur ki bu küme,  $X$  kümesinin olabilecek tüm alt kümelerinin kümesidir.

### 3.5.2.2 Klasik küme işlemleri

$A$  ve  $B$  gibi iki kümenin birleşimi,

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ veya } x \in B\} \quad (3.1)$$

şeklinde gösterilir.  $A$  veya  $B$  kümelerine ait olan elemanların kümesidir

A ve B gibi iki kümenin kesişimi ise,

$$A \cap B = \{ x \mid x \in A \text{ ve } x \in B \} \quad (3.2)$$

şeklinde gösterilir. Burada hem A kümesine hem B kümesine ait olan elemanlar bulunur.

Tamlama kümesi

$$\bar{A} = \{ x \mid x \notin A \text{ ve } x \in X \} \quad (3.3)$$

şeklinde gösterilir. X uzay kümesinde, A kümesinin dışında kalan elemanların kümesidir.

Fark kümesi ise,

$$A \setminus B = \{ x \mid x \in A \text{ ve } x \notin B \} \quad (3.4)$$

şeklinde gösterilir. Kesişen A ve B kümeleri için, A kümesine ait fakat B kümesine ait olmayan elemanların kümesi yani A kümesinin B kümesinden farkıdır.

### 3.5.2.3 Klasik küme özellikleri

Klasik kümelerin önemli bazı özellikleri şunlardır:

Değişme Özelliği:

$$A \cup B = B \cup A \text{ ve } A \cap B = B \cap A \quad (3.5)$$

Birleşme Özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C \text{ ve } A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C \quad (3.6)$$

Dağılma Özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \text{ ve } A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \quad (3.7)$$

$$\text{Tek Kuvvet Özelliği } A \cup A = A \text{ ve } A \cap A = A \quad (3.8)$$

Klasik kümelerin ayrıca aşağıdaki özellikleri de vardır:

$$A \cup \emptyset = A, \quad A \cup X = X, \quad A \cap X = A, \quad A \cap \emptyset = \emptyset \quad (3.9)$$

### 3.5.3 Bulanık kümeler

“Küme” ve “klasik küme” kavramlarına değindikten sonra “bulanık küme” kavramına geçilebilir. Bulanık küme kavramının iyice anlaşılabilmesi için “Küme” ve “klasik küme” kavramlarını paralel olarak açıklamak, farklılık ve benzerliklerin ortaya çıkması açısından daha doğru olur.

Bulanık kümelerin arasındaki sınırlar klasik küme mantığının aksine çok net ve keskin değildir. Küme sınırları genellikle iç içe geçmektedir. Örneğin “bebek”, “çocuk”, “genç”, “orta yaş”, “yaşlı” ve “çok yaşlı” gibi yaş alt kümeleri için kesin yıl sınırları verilemez. İnsanoğlu hiç bir zaman 1 yıl 11 ay 29 günlük bir insana, “henüz iki yaşını doldurmadığı için bebek sayılır” demediği gibi 2 yıl 1 günlük bir insana da “artık bebek değil çocuk sayılır” demez. Çünkü insanoğlu başka parametreleri de hesaba katarak küme sınırlarını bulanık olarak belirler. Olayın fiziksel büyüklüğüne, zeka seviyesine, davranışlarına vb. parametrelere bakarak o insan hakkında bir küme sınırını belirler. Dolayısıyla duruma göre 1 yıl 10 aylık bir insana “çocuk” derken, 2 yıl 2 aylık birine de “bebek” diyebilmektedir. Görüldüğü üzere insanoğlunun belirlediği kümelerin sınırları birbirine geçmektedir. Bu kümeleme mantığı, bulanık küme mantığından başka bir şey değildir. Yukarıda, “insanoğlu ilk çağlardan beri küme ve küme işlemlerini kullanmıştır” denmişti. O halde, bu cümlemin aslında “insanoğlu ilk çağlardan beri bulanık küme ve bulanık küme işlemlerini kullanmıştır” şeklinde yazılması daha uygundur. Aynı şekilde iletişim, düşünme, tasvir etme ve karar için ilk insandan itibaren hep bulanık kümeler kullanılmıştır.

Yukarıda da belirtildiği gibi klasik küme anlayışına göre, bir eleman bir kümeye ya aittir (üyelik derecesi 1) ya da değildir (üyelik derecesi 0). Oysa bulanık küme anlayışında bir eleman bir kümeye, 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri ile aittir. Başka bir ifade ile bir eleman bir kümeye “biraz aittir veya biraz değildir” denebilir. Aynı zamanda bir elemanın, aynı anda, birbirinin aynısı veya farklı üyelik dereceleri ile farklı iki bulanık kümeye bağlılığı söz konusu olabilir.

Yukarıdaki sıcaklık örneğine dönersek, “sıcaklık” uzayının “çok sıcak”, “sıcak”, “ılık”, “serin” ve “soğuk” bulanık alt kümeleri verilmişti. “Sıcak” alt kümesinin sıcaklık aralığı,  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{sıcak}} \leq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmişti. Bu durumda, klasik mantığa göre  $35.01\text{ }^{\circ}\text{C}$  “çok sıcak” ve  $24.99\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’nin ise “ılık” alt kümelerinin elemanları olarak kabul edildiği belirtilmişti. Oysa bulanık küme anlayışına göre  $35.01\text{ }^{\circ}\text{C}$  hem “sıcak” hem de “çok sıcak” bulanık alt kümelerinin,  $24.99\text{ }^{\circ}\text{C}$  gibi bir

sıcaklık değeri ise hem “ılık” hem de “sıcak” bulanık alt kümelerinin ikisine birden farklı üyelik dereceleri ile elemanıdır.

Görüldüğü üzere bulanık mantıkta, kümenin sınırları ve elemanlarının özellikleri kesin değildir. Başka bir ifade ile, bulanık mantık anlayışında, siyah ile beyaz arasında, sonsuz sayıdaki gri tonlara yer vardır. Nitekim gerçek hayatta da her kümenin sınırı ve dolayısıyla her elemanın özellikleri o kadar kesin değildir. Dolayısıyla bulanık küme anlayışı gerçek hayatın ruhuna daha yakındır denebilir.

Şen (1999), “Klasik kümelerde bir kümeden diğerine geçiş keskin ve aniden değişen üyelik dereceleri ile olmaktadır. Ancak bulanık kümelerde bu geçiş yumuşak ve sürekli bir şekildedir. Bu geçişte belirsizlik, hayal gücü, sezgi gibi faktörler rol oynar. Aslında üyelik fonksiyonu bu tür faktörlerin karışık bir şekilde elemanlara yayılmasını temsil eder. Buradan hareketle bulanık kümenin değişik üyelik derecesinde elemanları olan bir topluluk olduğu söylenebilir. Ortaya çıkan önemli noktalardan biri klasik kümelerde bir elemanın kümeye ait olması için üyelik derecesinin mutlaka 1’e eşit olması gerekirken, bulanık kümede elemanların değişik derecelerle kümeye ait olmaları mümkündür. Bununla birlikte, bulanık kümenin bir elemanı başka bir kümenin de aynı veya farklı üyelik dereceleriyle elemanı olabilir.” şeklinde konuyu özetlemektedir.

Elemanların üyelik derecelerinden söz edildiğine göre, bulanık küme mantığına göre, bir elemanın bir kümenin elemanı olduğunun bilinmesi o elemanın tanımlanması için yeterli değildir. Aynı zamanda, elemanın hangi üyelik derecesi ile o kümeye ait olduğunun da bilinmesi gerekir. Örneğin, 40 °C’lik bir sıcaklık, ekvator bölgesinde “sıcaklık” uzayının bir alt kümesi olan “sıcak” bulanık kümesinin 0.9’luk üyelik derecesi ile bir elemanı iken, aynı zamanda “çok sıcak” bulanık kümesinin de 0.2’lik üyelik derecesi ile elemanı olabilir. Oysa aynı sıcaklık derecesi kutuplarda “sıcaklık” uzayının bir alt kümesi olan “çok çok sıcak” bulanık kümesinin 1.0 üyelik derecesi ile elemanı olabilir. O halde, değerlerin bir bulanık kümeye aitlik ölçüsünü gösteren “üyelik derecesi” her zaman ve her yerde aynı olmayabilir. Bu daha çok alt kümenin ait olduğu uzaya bağlıdır. Nitekim “Çok sıcak” tanımlaması bir insanın zihninde ekvator ve kutup bölgeleri için farklı sıcaklık değerlerini çağrıştırdığı gibi, yaz ve kış mevsimlerinin uzayları için de farklı sıcaklık değerlerini çağrıştırmaktadır.

### 3.5.3.1 Bulanık küme notasyonu

Gerek bulanık küme işlemleri ve gerekse özelliklerinin tanımlanması ve ifade edilmesi için klasik kümelerde olduğu gibi bazı notasyonlara gereksinim vardır. Bu notasyonlar genel olarak klasik kümelerinkinden pek farklı değildir. Bu bölümde klasik kümelerle karışmaması için, notasyon olarak bulanık kümeler, büyük harflerin altına bir çizgi işaretinin konulması ile gösterilecektir. Örneğin, A kümesinin bulanık kümedeki karşılığı  $\underline{A}$ 'dır.  $x \in \underline{A}$  ise x'in üyelik derecesi  $\bar{U}_{\underline{A}}(x)$  ile gösterilir. X klasik kümesi

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\} \quad (3.10)$$

Şeklinde gösterilir. Bunun bulanık küme gösterimi ise,

$$\underline{X} = \left\{ \frac{\bar{U}_X(x_1)}{x_1} + \frac{\bar{U}_X(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\bar{U}_X(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.11)$$

olur. Bulanık kümenin sürekli olması durumunda ise,

$$\underline{X} = \left\{ \int \frac{\bar{U}_X(x)}{x} \right\} \quad (3.12)$$

şeklini alır. Bulanık küme gösteriminin yukarıdaki iki halinde de, bölüm işareti asla bölmeyi göstermez, küme elemanları ile o elemanların üyelik derecesini birbirinden ayırmak için kullanılır. Bu denklemlerdeki + işareti de toplama işareti değil, küme elemanlarının topluluğunu ifade eden bir işarettir. Benzer şekilde entegral işareti de bilinen entegral anlamına gelmez, topluluğu gösteren bir işaret olarak kullanılmaktadır. Örneğin, “sıcaklık” uzayının iki farklı bulanık kümesi, elemanları ile birlikte

$$\underline{A} = \{0.2/40 + 0.4/45 + 0.6/50 + 0.8/55 + 1/60\} \quad (3.13)$$

ve

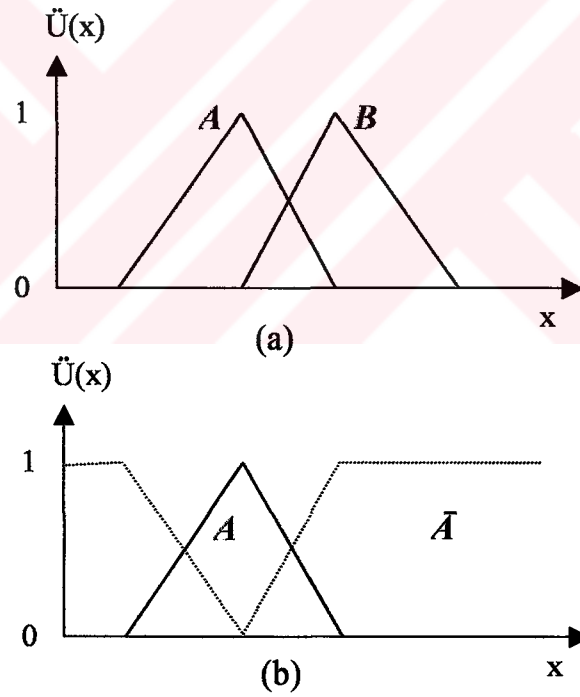
$$\underline{B} = \{0.2/20 + 0.4/25 + 0.6/30 + 0.8/35 + 1/40\} \quad (3.14)$$

şeklinde gösterilebilir. Herhangi iki bulanık kümenin klasik küme Venn diyagramına karşı gelen gösterimi ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Diğer notasyonlar ise tıpkı klasik

küme anlayışındaki gibidir. Farklı olan, kesişim ( $\cap$ ) ve birleşim ( $\cup$ ) işaretleri yerine “VE” ve “VEYA” kelimelerini ifade eden kesişim ( $\wedge$ ) ve birleşim ( $\vee$ ) sembollerinin gelmesidir.

Daha önce 3.5.2.1 kısmında tanımlanan klasik küme notasyonları bulanık kümeler için de geçerlidir.

$\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  gibi iki bulanık kümenin birleşimi,  $\underline{A}$ ’ da VEYA  $\underline{B}$ ’ de, kesişimi ise  $\underline{A}$  VE  $\underline{B}$ ’ de olan elemanların kümesi anlamına gelir ve sırasıyla,  $\underline{A} \vee \underline{B}$  ve  $\underline{A} \wedge \underline{B}$  şeklinde gösterilir. Birleşimin veya kesişimin tanımlanması üyelik dereceleri ile birlikte yapıldığı için  $\underline{A} \vee \underline{B} = \ddot{U}_{\underline{A}}(x) \vee \ddot{U}_{\underline{B}}(x)$ , benzer şekilde ve  $\underline{A} \wedge \underline{B} = \ddot{U}_{\underline{A}}(x) \wedge \ddot{U}_{\underline{B}}(x)$  şeklinde gösterilir.



Şekil 3.6. (a) İki bulanık kümenin Venn diyagramı, (b)  $\underline{A}$  bulanık kümesi değilinin (tamlayanının) Venn diyagramı

### 3.5.3.2 Bulanık küme işlemleri

$A$  ve  $B$  bulanık kümelerin  $\ddot{U}_{\underline{A}}(x)$  ve  $\ddot{U}_{\underline{B}}(x)$  üyelik fonksiyonları cinsinden birleşimlerinin üyelik fonksiyonu

$$\ddot{U}_{\underline{A} \vee \underline{B}}(x) = \ddot{U}_{\underline{A}}(x) \vee \ddot{U}_{\underline{B}}(x) \quad (3.15)$$

şeklinde yazılır. Bu işlemde ortak olmayan elemanlarının tümü ve ortak elemanlarından ise sadece üyelik derecesi en büyük (EB) olanlar alınır. İki bulanık kümenin birleşimi şematik olarak Şekil 3.7’deki gibi gösterilir.

Benzer şekilde iki bulanık kümenin kesişimlerinin üyelik fonksiyonu

$$\tilde{U}_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \tilde{U}_{\underline{A}}(x) \wedge \tilde{U}_{\underline{B}}(x) \quad (3.16)$$

şeklinde gösterilir. Bu işlemde iki bulanık kümenin sadece ortak elemanlarından üyelik derecesi en küçük (EK) olanlar işin içine girer (Şekil 3.8).

Tamlama işlemi ise Şekil 3.6. b’de görüldüğü üzere

$$\tilde{U}_{\underline{\bar{A}}}(x) = 1 - \tilde{U}_{\underline{A}}(x) \quad (3.17)$$

Şeklinde ifade edilir. Ayrıca

$$\underline{A} \subseteq X \Rightarrow \tilde{U}_{\underline{A}}(x) \leq \tilde{U}_X(x) \quad (3.18)$$

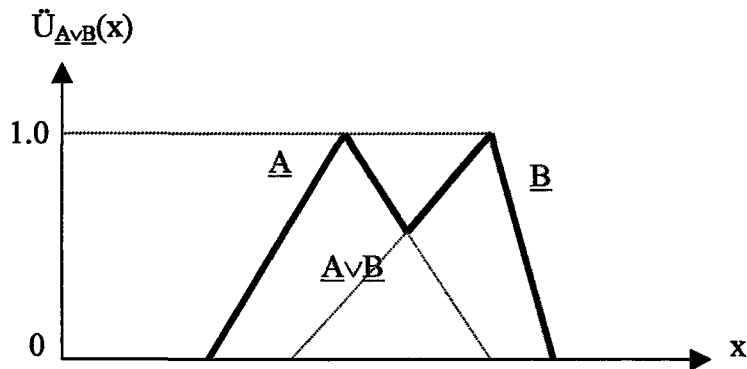
yazılabilir. Tüm x değerleri için de

$$x \in X, \tilde{U}_{\emptyset}(x) = 0 \quad (3.19)$$

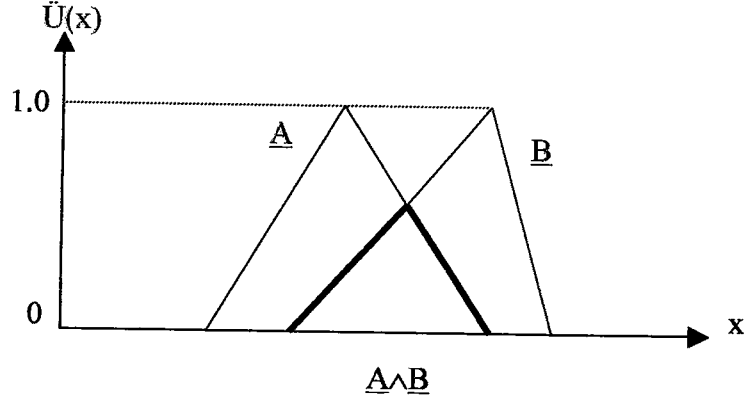
ve

$$x \in X, \tilde{U}_X(x) = 1 \quad (3.20)$$

dir.



Şekil 3.7 A ve B bulanık kümelerinin birleşimi (Şen, 1999)



Şekil 3.8 A ve B bulanık kümelerinin kesişimi (Şen, 1999)

Ayrıca klasik kümeler için geçerli olan De Morgan kuralı bulanık kümeler için de benzer olarak aşağıdaki ifadeler aracılığı ile geçerlidir.

$$\overline{\underline{A} \wedge \underline{B}} = \overline{\underline{A}} \vee \overline{\underline{B}} \quad (3.21)$$

$$\overline{\underline{A} \vee \underline{B}} = \overline{\underline{A}} \wedge \overline{\underline{B}} \quad (3.22)$$

Klasik ve bulanık kümelerin birleşim ve kesişim işlemlerini bir örnek vererek karşılaştıralım:

$$A = \{a, b, c, e, h, i\} \quad (3.23)$$

ve

$$B = \{1, a, 3, z, b, x\} \quad (3.24)$$

kümelerinin birleşimi sonucunda

$$A \cup B = \{a, 1, 3, b, c, e, h, i, z, x\} \quad (3.25)$$

olacağını VEYA ( $\cup$ ) kelimesinin anlamından görmek mümkündür. Bulanık kümelerin elemanları ile verilmesine örnek teşkil etmek üzere yukarıda verilen A ve B klasik kümelerinin elemanlarını esas alan A ve B bulanık kümeleri

$$\underline{A} = \{0.1/a + 0.3/b + 0.9/c + 1.0/e + 0.6/h + 0.2/i\} \quad (3.26)$$

$$\underline{B} = \{1.0/1 + 0.8/a + 0.6/3 + 0.4/z + 0.2/b + 0.1/x\} \quad (3.27)$$

olsun. Bunların birleşimi,

$$\underline{A} \vee \underline{B} = \{0.8/a + 1.0/1 + 0.6/3 + 0.3/b + 0.9/c + 1.0/e + 0.6/h + 0.2/i + 0.4/z + 0.1/x\} \quad (3.28)$$

olur. Burada herhangi bir eleman sadece A ve B bulanık kümelerinden birinde bulunuyorsa üyelik derecesi bulunduğu alt kümeden olduğu gibi alınır. Örneğin, c, e, h, i, 1, 3, z ve x elemanları A veya B'de bulunduğundan üyelik dereceleri doğrudan alınır. Oysa, a ve b elemanları hem A hem de B'de bulunduğundan kümelerin birleşimi için üyelik derecesi iki bulanık kümedeki üyelik derecelerinin en büyüğü (EB) alınarak belirlenir. Buna göre a elemanının üyelik derecesi

$$\ddot{U}_{\underline{A} \vee \underline{B}}(a) = EB [0.1, 0.8] = 0.8 \quad (3.29)$$

ve b elemanının üyelik derecesi ise

$$\ddot{U}_{\underline{A} \vee \underline{B}}(b) = EB [0.3, 0.2] = 0.3 \quad (3.30)$$

olur. Sonuçta, A ve B bulanık alt kümelerinde ortak bulunan bir elemanın birleşiminin üyelik derecesi

$$\ddot{U}_{\underline{A} \vee \underline{B}}(x) = EB [\ddot{U}_{\underline{A}}(x), \ddot{U}_{\underline{B}}(x)] \quad (3.31)$$

şeklinde yazılır. Bir de iki bulanık alt küme VE ifadesi ile bir araya getirilebilir. Burada VE ifadesinden göz önünde tutulan iki veya daha fazla bulanık alt kümede bulunan ortak elemanların meydana getirdikleri küme anlaşılır. VE ile bir araya getirilen iki bulanık kümeden daha dar kapsamlı bir alt kümenin elde edileceği açıktır.

A ve B bulanık alt kümelerinin kesişiminde, klasik kümelerin kesişiminden farklı olarak birbirinin aynı olan elemanlardan üyelik derecesi en küçük olanı alınır. Buna üyelik derecelerinin en küçüklenmesi (EK) de denir. Bunun doğal sonucu olarak a ve b elemanlarının üyelik dereceleri sırası ile

$$\ddot{U}_{\underline{A} \wedge \underline{B}}(a) = EK [0.1, 0.8] = 0.1 \quad (3.32)$$

ve

$$\ddot{U}_{\underline{A} \wedge \underline{B}}(b) = EK [0.3, 0.2] = 0.2 \quad (3.33)$$

olarak bulunduğundan, sonuç bulanık kesişim kümesi

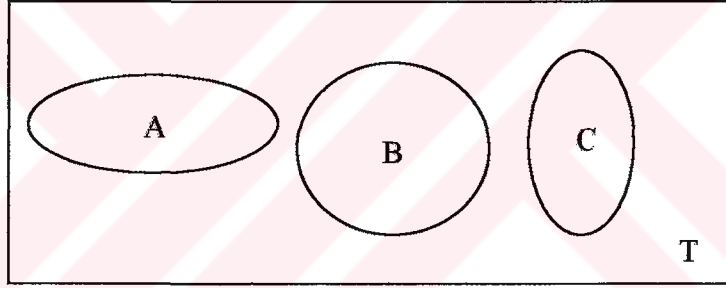
$$\underline{A} \wedge \underline{B} = \{0.1/a + 0.2/b\} \quad (3.34)$$

dir. Genel olarak,  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık alt kümelerinin ikisinde de bulunan bir elemanın kesişiminin üyelik derecesi

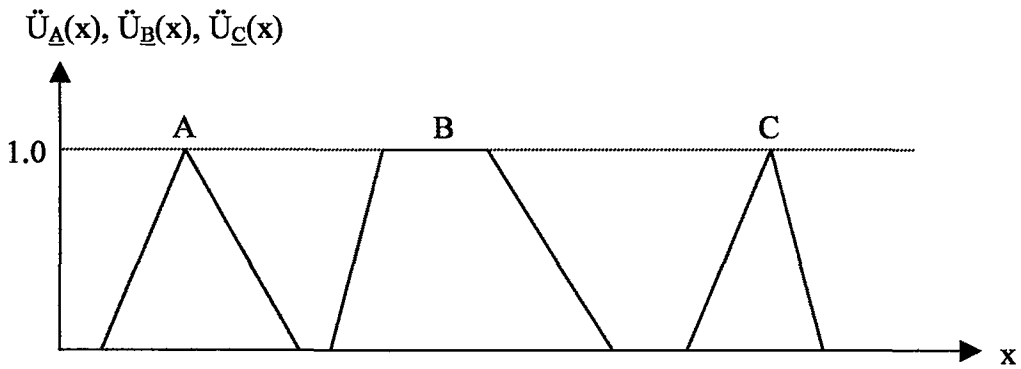
$$\ddot{U}_{\underline{A} \wedge \underline{B}}(x) = EK [\ddot{U}_{\underline{A}}(x), \ddot{U}_{\underline{B}}(x)] \quad (3.35)$$

şeklinde yazılır.

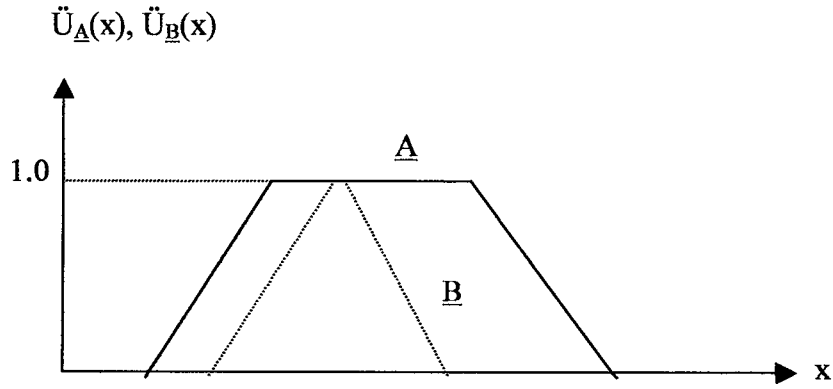
İki veya daha fazla kümenin hiç ortak elemanının bulunmaması halinde bunlara bağdaşmayan alt kümeler denir. Şekil 3.9, 3.10 ve 3.11’de bağdaşmayan klasik ve bulanık kümeler ile içerilen bir bulanık küme gösterilmiştir (Şen, 1999).



Şekil 3.9 Bağdaşmayan klasik kümeler (Şen, 1999)



Şekil 3.10 Bağdaşmayan bulanık kümeler (Şen, 1999)



Şekil 3.11 İçerilen bulanık  $\underline{B}$  kümesi (Şen, 1999)

### 3.5.3.3 Bulanık küme özellikleri

Bulanık kümelerin önemli bazı özellikleri ise şunlardır:

Değişme Özelliği:

$$\underline{A} \vee \underline{B} = \underline{B} \vee \underline{A} \text{ ve } \underline{A} \wedge \underline{B} = \underline{B} \wedge \underline{A} \quad (3.36)$$

Birleşme Özelliği:

$$\underline{A} \vee (\underline{B} \vee \underline{C}) = (\underline{A} \vee \underline{B}) \vee \underline{C} \text{ ve } \underline{A} \wedge (\underline{B} \wedge \underline{C}) = (\underline{A} \wedge \underline{B}) \wedge \underline{C} \quad (3.37)$$

Dağılma Özelliği:

$$\underline{A} \vee (\underline{B} \wedge \underline{C}) = (\underline{A} \vee \underline{B}) \wedge (\underline{A} \vee \underline{C}) \text{ ve } \underline{A} \wedge (\underline{B} \vee \underline{C}) = (\underline{A} \wedge \underline{B}) \vee (\underline{A} \wedge \underline{C}) \quad (3.38)$$

Tek Kuvvet Özelliği:

$$\underline{A} \vee \underline{A} = \underline{A} \text{ ve } \underline{A} \wedge \underline{A} = \underline{A} \quad (3.39)$$

Bulanık kümelerin ayrıca

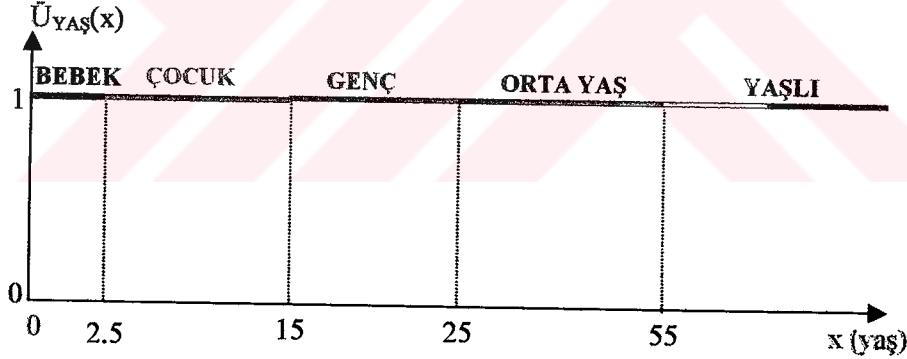
$$\underline{A} \vee \emptyset = \underline{A}, \underline{A} \vee X = X, \underline{A} \wedge X = \underline{A}, \underline{A} \wedge \emptyset = \emptyset, \text{ Eğer } \underline{A} \subseteq \underline{B} \subseteq \underline{C} \text{ ise } \underline{A} \subseteq \underline{C} \text{ ve } \check{\underline{A}} = \underline{A} \quad (3.40)$$

gibi özellikleri de vardır.

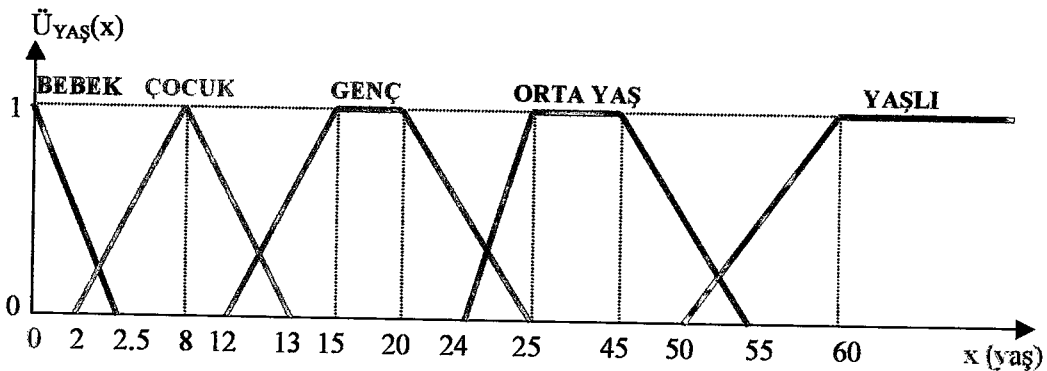
### 3.6 Üyelik Fonksiyonları

Daha önce, herhangi bir elemanın bulanık bir kümeye üyelik (aitlik) derecesinden söz edilmişti. Bir  $x$  değeri için bir üyelik derecesi atanır. Kesikli veriler için ise yine değerler kümesinin her bir elemanı için ayrı ayrı üyelik derecesi atanır. Eğer değerler kümesi sürekli ise bu durumda üyelik dereceleri de  $x$  değerlerine bağlı bir fonksiyon ( $f(x)$ ) şeklini alır. Değişen  $x$  değerlerine ve atanan üyelik fonksiyonuna göre üyelik dereceleri de değişmektedir. Örneğin, “yaş” uzayının “bebek”, “çocuk”, “genç”, “orta yaş” ile “yaşlı” alt kümeleri için, önce klasik, daha sonra bulanık mantığa göre birer üyelik fonksiyonu belirleyelim:

Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları ya bir nokta veya yatay bir doğru şeklinde iken bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları doğrusal veya doğrusal olmayan herhangi bir fonksiyon şeklinde olabilir. Bu seçim uzman tarafından elemanların bulanık kümeye üyelik derecesine göre yapılır. İkili mantığa göre klasik kümelerin üyelik fonksiyonları arasında bir geçiş bölgesi yoktur. Oysa bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları ise iç içe geçmektedir (Şekil 3.12 ve 3.13).



Şekil 3.12 Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları



Şekil 3.13 Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları

Şekil 3.13'te, “yaş” uzayında, “bebek” yaşı sıfırdan başlamakta ve 2.5 yaşına kadar sürmektedir. “Bebek” yaşı en küçük yaş grubudur. O halde en düşük yaş olan sıfır yaş, en büyük üyelik derecesi olan 1 ile “bebek” bulanık kümesine ait olacaktır. Mantık olarak, “sıfır” yaştan uzaklaştıkça bebeklik yaşından uzaklaşma, buna karşın “çocukluk” yaşına yaklaşma söz konusu olacaktır. Nitekim, “bebek” bulanık alt kümesinin üyelik fonksiyonu, gittikçe azalan üyelik derecesi ile, en yüksek bebek yaşı olan 2.5 yaşında sıfır olmaktadır. Eğer bebeklik yaşı ile bu yaş değerinin “bebek” bulanık alt kümesine üyelik derecesi arasında doğrusal bir ilişki varsa doğal olarak üyelik fonksiyonu, üyelik derecesi eksenini ile kesiştiği noktada 1, yaş eksenini ile kesiştiği noktada sıfır olan eğik bir doğru olacaktır. Eksen takımı ile birlikte düşünüldüğünde üyelik fonksiyonu bir dik üçgen görünümünü alacağı açıktır (Şekil 3.13). Benzer şekilde, “yaşlı” bulanık kümesini düşünelim: 50 yaşı, genellikle yaşlı insanların alt yaş limiti olarak kabul edilir. Üst yaş limiti ise kesin değildir. Bu durumda yine üyelik fonksiyonu tam 50 yaşında sıfır değerine sahip olacak ve yine doğrusal olarak 1 değerine ulaşmaya kadar artacaktır. Öyle bir yaş değerine gelecek ki, o değerden itibaren üyelik derecesi 1 olarak devam edecektir. Yani eğik doğru olarak başlayan üyelik fonksiyonu bir süre sonra belli bir değerde yatay hale gelecek ve yatay bir doğru olarak devam edecektir. Böylece, üyelik fonksiyonu, yine eksen takımı ile birlikte bir trapez şeklini alacaktır. “Yaş” uzayının alt ve üst yaş bulanık kümelerinden farklı olarak “çocuk”, “genç” ve “orta yaş” bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları, önce sıfır değerinden itibaren doğrusal olarak artarak belli bir yaş değeri veya değerler kümesi için 1 olacak ve yine belli bir değerden itibaren sıfır oluncaya kadar doğrusal olarak azalacaktır. Böylece bulanık kümeler için üyelik fonksiyonu, yine eksen takımı ile birlikte ya üçgen ya da trapez şeklini alacaktır (Şekil 3.13). Tekrarlamak gerekirse bulanık küme elemanları ile kümeye aitlik dereceleri arasında her zaman sadece doğrusal ilişkiler olmaz. Herhangi bir fonksiyonel ilişki de söz konusu olabildiği için üyelik fonksiyonları, üçgen veya trapezden farklı şekiller de alabilmektedir. Üyelik fonksiyonunun türü ve şekli, ele alınan konu ve girdilerin çıktı üzerindeki etkisine bağlı olarak konunun uzmanı tarafından belirlenir.

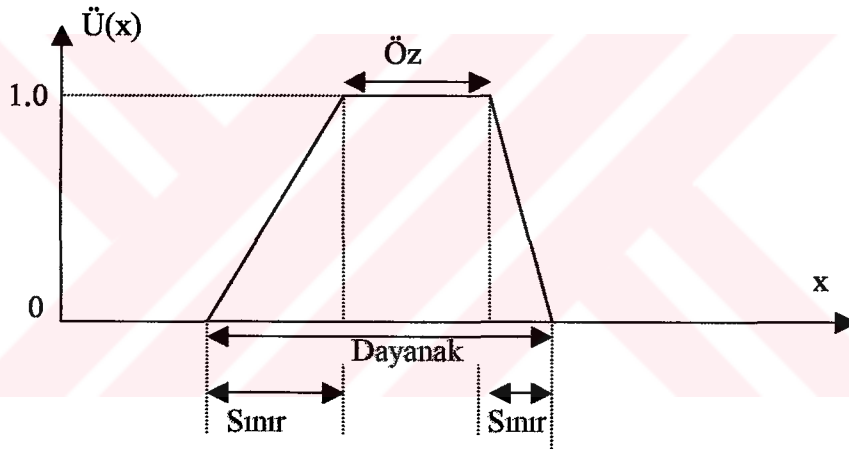
### 3.6.1 Üyelik fonksiyonlarının kısımları

Genel olarak üyelik fonksiyonları 3 kısımdan meydana gelir. Bunlar öz, sınır ve dayanak kısımlarıdır. Üyelik fonksiyonları aynı zamanda bulanık alt kümelerin

sınırlarını belirledikleri için bu kısımlar, “bulanık kümelerin kısımları” olarak da anılabilir (Şekil 3.14).

Üyelik fonksiyonunun üyelik dereceleri 1’e eşit olan bulanık küme elemanlarına ait kısmına “üyelik fonksiyonunun özü” denir. Başka bir ifade ile, üyelik derecelerinin 1’e eşit olduğu bulanık küme kısmına bulanık alt kümenin özü denir. Burada  $\ddot{U}(x) = 1$ ’dir. Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunda bir tek elemanın üyelik derecesi 1’e eşit olduğundan üçgen üyelik fonksiyonlarının özü bir noktadır. Trapez şeklindeki bir üyelik fonksiyonunda ise birden fazla elemanın üyelik derecesi 1’dir (Şekil 3.14).

Bulanık bir kümenin tüm elemanlarını içeren aralığa alt kümenin dayanağı adı verilir. Dayanakta bulunan her elemanın, 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri vardır. Bunun matematik gösterimi  $0 \leq \ddot{U}(x) \leq 1$ ’dir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Bir üyelik fonksiyonu veya bulanık bir kümenin kısımları (Şen, 1999)

Üyelik dereceleri 1’e veya 0’a eşit olmayan elemanların oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonunun sınırları veya geçiş bölgeleri adı verilir. Bunun matematik tanımı  $0 < \ddot{U}(x) < 1$  şeklindedir (Şekil 3.14). Bunlar bulanık kümenin kısmi elemanlarıdır. Aslında bir kümeye bulanıklık özelliğini kazandıran da üyelik fonksiyonunun bu kısımlarıdır.

Şekil 3.13’te, “bebek” bulanık kümesinin, bir nokta olan özü ve bir tane geçiş bölgesi vardır. “Çocuk” bulanık kümesinin ise sağda ve solda birer tane olmak üzere iki tane geçiş bölgesi ve bir nokta olan özü vardır. “Genç” ve “orta yaş” bulanık kümelerinin ikişer geçiş bölgesi ve her biri bir doğru parçası olan birer özü vardır. “Yaşlı” bulanık kümesinin ise bir geçiş bölgesi ve yatay bir doğru şeklindeki özü vardır.

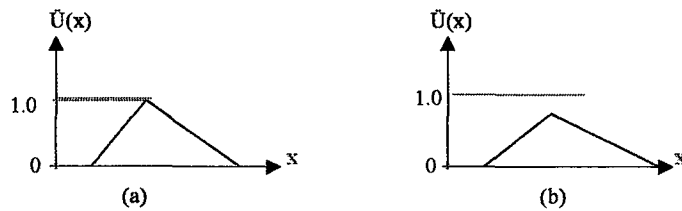
Genel olarak üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için 10 yöntemden söz edilmektedir (Ross, 1995). Bunlar,

1. Sezgi
2. Çıkarım
3. Verilerin sıralanması
4. Açısal bulanık kümeler
5. Sinir ağları
6. Genetik algoritma
7. Tümevarım yaklaşımı
8. Bölümleme
9. Kuraldışı belirleme
10. Bulanık istatistik

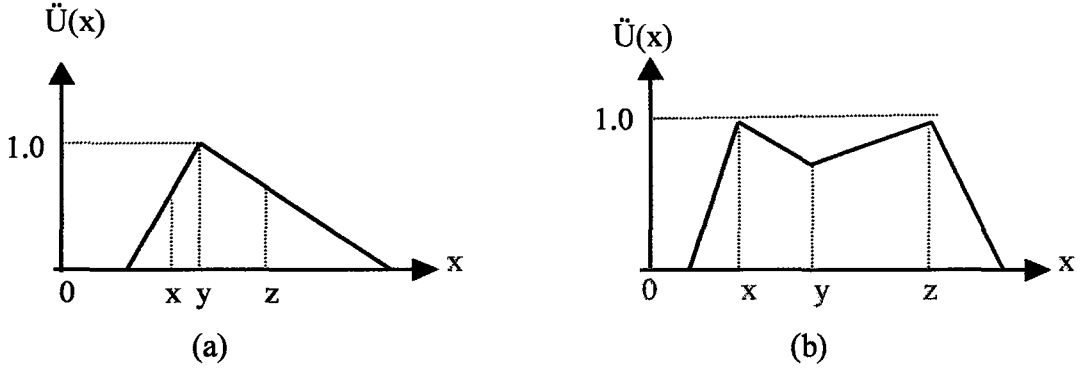
### 3.6.2 Üyelik fonksiyonlarının özellikleri

Bulanık kümede genellikle üyelik derecesi 1'e eşit olan en az bir eleman bulunmaktadır (Şekil 3.15. a). Bu tür bulanık kümelere normal bulanık küme denir. Elemanlarının tümünün üyelik derecesi 1'den küçük ise bu tür bulanık kümelere normal olmayan bulanık küme denir (Şekil 3.15. b). Normal olmayan bulanık küme, kümenin üyelik dereceleri, en büyük üyelik derecesine bölünerek normal bulanık küme haline getirilebilir, (Şen, 1999).

Bulanık kümeler dışbükey veya içbükey olmaktadır (Şekil 3.16 a, b). Burada şunun bilinmesinde yarar vardır: Üyelik fonksiyonu ilk atandığı zaman işlemlerin kolaylığı açısından üyelik fonksiyonu normal ve dışbükey seçilir. Ancak bu durum normal olmayan ve içbükey bulanık kümelerin olmadığı anlamına gelmez ve genellikle küme işlemleri sonucu bu tür bulanık kümeler ortaya çıkar. Şekil 3.7 ile Şekil 3.8 ve Şekil 3.15 ile Şekil 3.16 karşılaştırıldığında içbükey bir bulanık kümenin, aslında iki dışbükey bulanık kümenin birleşimi, benzer şekilde normal olmayan bir bulanık kümenin ise aslında normal olan iki bulanık kümenin kesişimi olabileceği görülecektir.



Şekil 3.15 Bulanık kümeler, (a) normal, (b) normal olmayan (Şen, 1999)



Şekil 3.16 (a) dışbükey, (b) içbükey bulanık küme (Şen, 1999)

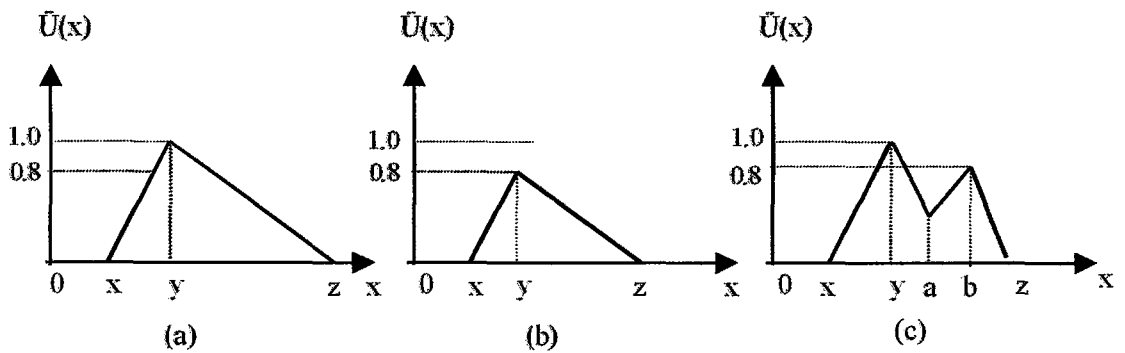
Dışbükey bulanık kümeler için,  $x < y < z$  olmak üzere, aynı bulanık alt kümeye ait  $x$ ,  $y$  ve  $z$  gibi üç tane elemanın üyelik dereceleri arasında

$$\bar{U}(y) \geq \text{EK}[\bar{U}(x), \bar{U}(z)] \quad (3.41)$$

bağıntısı daima geçerli olmalıdır. Bu bağıntı dışbükey bulanık kümenin matematiksel ifadesidir. Burada, “EK” en küçükleme işlemi demektir. Yani,  $y$ 'nin üyelik derecesi,  $x$  ve  $z$ 'nin üyelik derecelerinin en küçüğünden daha büyüktür (Şekil 3.16).

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecesinin 0.5'e eşit olduğu noktaya geçiş noktası adı verilir. Yani geçiş noktasında  $\bar{U}(x) = 0.5$ 'tir.

Ayrıca, bulanık kümenin yüksekliğinden söz edilebilir. Bulanık kümenin yüksekliği normal kümeler için üyelik derecesinin en büyük olduğu eleman/lar ile bulanık kümenin özü arasındaki düşey mesafedir. O halde, normal bulanık kümelerin yüksekliğin 1'e eşit olması gerekir (Şekil 3.17 a, b, c).



Şekil 3.17 (a) normal dışbükey, (b) normal olmayan dışbükey ve (c) içbükey bulanık kümelerde küme yüksekliği

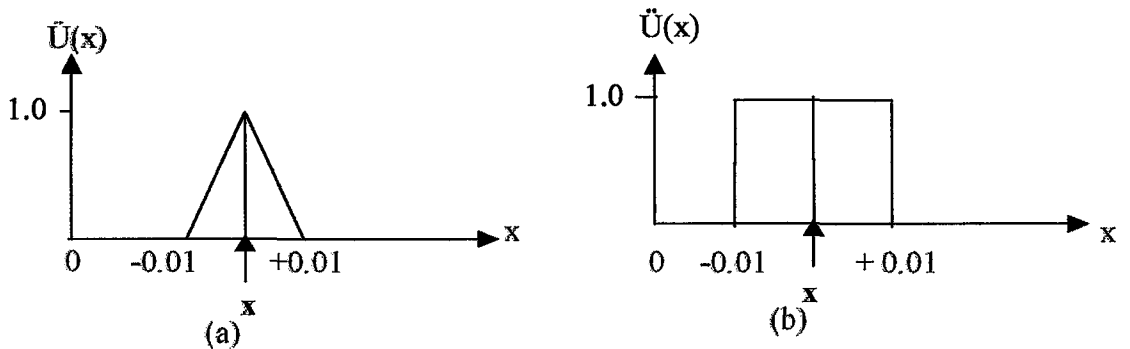
Şekil 3.17’de, normal dışbükey, normal olmayan dışbükey ve içbükey bulanık kümelerde küme yükseklikleri,  $y$  elemanlarına karşı gelen düşey doğruların yüksekliğidir. Buna göre, (a) ve (c) bulanık kümelerinin yüksekliği 1 iken (b) bulanık kümesinin yüksekliği 0.8’dir.

Temel üyelik fonksiyonları normal ve dışbükey olmasına karşın, küme işlemleri sonucunda elde edilen üyelik fonksiyonları dışbükey ve normal olmayabilir. Örneğin, iki normal ve dışbükey bulanık alt kümenin birleşimi veya kesişimi normal ve dışbükey olmayan bulanık küme şeklinde çıkabilir (Şekil 3.7 ve 3.8).

Üyelik fonksiyonlarının simetrik olma zorunluluğu da yoktur. Genel olarak, bir boyutlu uzayda tanımlanan bulanık kümelerin iki veya daha fazla boyutta da tanımlanması mümkündür. Şimdiye kadar gösterilen tüm üyelik fonksiyonları bir boyutta tanımlanmıştır. Bir boyutlu uzayda çizgi şeklinde olan üyelik fonksiyonları, iki boyutlu uzay sisteminde yüzey şeklinde görülür (Şen, 1999).

### 3.7 Bulanıklaştırma

Bulanık sistem uygulamalarında girdilerin klasik küme şeklindeki değişim aralıklarının bulanıklaştırılması gerekmektedir. Bunun için bir aralıktaki elemanların hepsinin 0 ile 1 arasında değişen değerlere sahip olması düşünülür. Bu durumda, bazı elemanların belirsizlik içerdikleri kabul edilebilir. Bu belirsizliğin, sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir. Özellikle, bazı cihazların,  $\pm \%1$ ’lik hassaslığı, ölçülen  $x$  büyüklüğünün,  $x + 0.01$  ve  $x - 0.01$  arasında her hangi bir değer alabileceği anlamına gelir. Bunun klasik ve bulanık kümelerde gösterimi Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18 Bir cihazın hassaslığı; (a) bulanık, (b) klasik hassaslık gösterimi (Şen, 1999)

Buradan bulanık hassaslığın, gerçek hassaslığı daha sağlıklı bir şekilde tanımladığı söylenebilir. Ayrıca, olaydaki belirsizlik nedeniyle hassaslığın bulanık üyelik fonksiyonunun üçgen şeklinde olması daha mantıklıdır, (Şen, 1999).

### 3.8 Bulanık Matematik

Bulanık kuralların, öncül ve soncul kısımlarında bulunan bulanık küme kısımları birer yaklaşıklık ifade eder. Örneğin, “kesit ortalama hızı (U) yüksek ise boyuna yayılma katsayısı ( $D_1$ ) yüksektir” gibi bulanık bir kuralda “kesit ortalama hızı yüksek” öncül ve “boyuna yayılma katsayısı yüksektir” soncul kısımdır. Burada kesit ortalama hızının da, boyuna yayılma katsayısının da yüksek olmaları bir yaklaşıklık veya bulanıklığı gösterir. Benzer şekilde, “yaklaşık üç”, “yaklaşık yedi”, “aşağı yukarı dokuz” ve “on civarı” gibi ifadelerin hepsi birer bulanık (yaklaşık) sayıyı ifade eder. Herbiri bir bulanık alt kümeye karşı gelir. Bu nedenle, bu tip bulanık sayılarla aritmetik işlemlerin nasıl yapılacağı sorusu karşımıza çıkmaktadır. İşte bu sorunun cevabı bulanık matematikle verilebilir.

Bulanık sayılarla bazı kısıtlamaların altında işlemler yapılır. Bulanık sayı kümesinin normal, dışbükey, sınırlı destek ve her üyelik derecesi kesiminde kapalı ve sonlu bir aralığa sahip olması gerekir, (Şen, 1999). Bulanık sayıların normal olabilmeleri için bulanık ifadedeki gerçek sayılardan en az birinin üyelik derecesinin 1'e eşit olması gerekir. Yani, ‘yaklaşık sekiz’ ifadesinde  $\tilde{U}(8) = 1$ 'dir.

Genel olarak uygulamalarda, bulanık sayılar için üçgen ve trapez olmak üzere iki tane üyelik fonksiyonu kullanılır.  $\underline{A}$  bulanık kümesi ile gösterilen üçgen şeklinde bir bulanık sayı (üçgen bulanık sayı) ile üyelik derecesi arasındaki matematik ifade,

$$\tilde{U}_{\underline{A}}(x) = \tilde{U}_{\underline{A}}(x; a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & \text{eğer } b \leq x < c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (3.42)$$

şeklinde dir. Burada, şimdiye kadar alışlagelenden farklı bir üyelik derecesi gösterimi  $\tilde{U}_{\underline{A}}(x; a, b, c)$  şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bu üyelik derecesi şekli, bulanık bir sayının üçgen şeklindeki bir üyelik fonksiyonunun üç sayı ile ifade edildiğini göstermektedir. (3.42) bağıntısı söz konusu bulanık sayı kümesinin herhangi bir elemanının o kümeye üyelik derecesini vermektedir. Örneğin, “yaklaşık

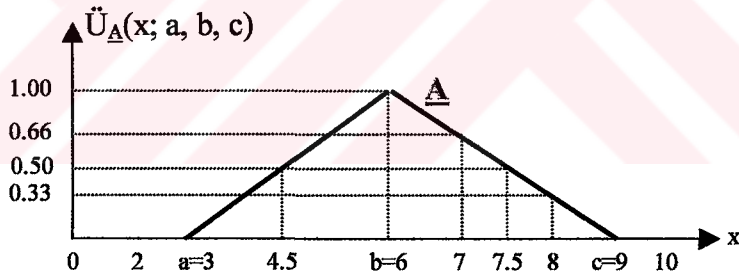
altı” sayısını ele alalım. Bu bulanık sayının kümesi Şekil 3.19’daki gibi ve  $a = 3$ ,  $b = 6$  ve  $c = 9$  olsun. Doğal olarak, 6’nın üyelik derecesi 1 olacaktır. Çünkü burada ele alınan, “yaklaşık 6” bulanık sayısının kümesidir. Buna göre, 2, 4.5, 7, 7.5, 8 ve 10 elemanlarının üyelik derecelerini (3.42) bağıntısı ile bulmaya çalışalım:

$2 < a=3$  olduğu için  $\tilde{U}_A(2) = 0$  olacaktır. Nitekim, 2 sayısı bu bulanık sayı kümesinin dışında kaldığı için üyelik derecesinin de sıfır olması gerekir.

Şekil 3.19’da  $a = 3 \leq 4.5 < b = 6$ ’dır. O halde,  $\tilde{U}_A(4.5) = (4.5 - 3) / (6-3) = 0.5$  olacaktır. Zaten 4.5 sayısı  $a$  ve  $b$ ’nin ortalaması ve üyelik fonksiyonu da üçgen şeklinde olduğu için üyelik derecesinin 0.5 olması gerekir.

Yine Şekil 3.19’da  $b = 6 \leq 7 < c = 9$ ,  $b = 6 \leq 7.5 < c = 9$  ve  $b = 6 \leq 8 < c = 9$  olduğundan, her üç sayının da üyelik fonksiyonu, (3.42) bağıntısı ile sırasıyla 0.66, 0.5 ve 0.33 olarak hesaplanacaktır.

$10 > c = 9$  olduğu için, bu sayının da üyelik derecesinin, (3.42) bağıntısına göre sıfır olması gerekir. Nitekim Şekil 3.19’a bakıldığında, 10 sayısının da 2 sayısı gibi “yaklaşık altı” bulanık sayı kümesinin bir elemanı olmadığı görülecektir.



Şekil 3.19 “Bulanık 6” sayısının kümesi ve elemanları

Benzer olarak, yamuk üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık sayının (yamuk bulanık sayı) üyelik derecesi  $\tilde{U}_A(x; a, b, c, d)$  şeklinde gösterilmektedir. Üçgen bulanık sayılarinkinden farklı olarak yamuk sayıların üyelik dereceleri dört sayı ile ifade edilmektedir. Burada,  $a$  ve  $d$  yamuk bulanık sayı kümesi desteğinin sırası ile alt ve üst sınırlarını,  $b$  ve  $c$  ise bu iki sayı arasında üyelik derecesi bir olan yamuk sayıların kümesinin sınırlarını gösterir. Başka bir ifade ile, yamuk bulanık sayı kümesinin özünün alt ve üst sınırını göstermektedir. Yamuk sayının matematik gösterimi ise,

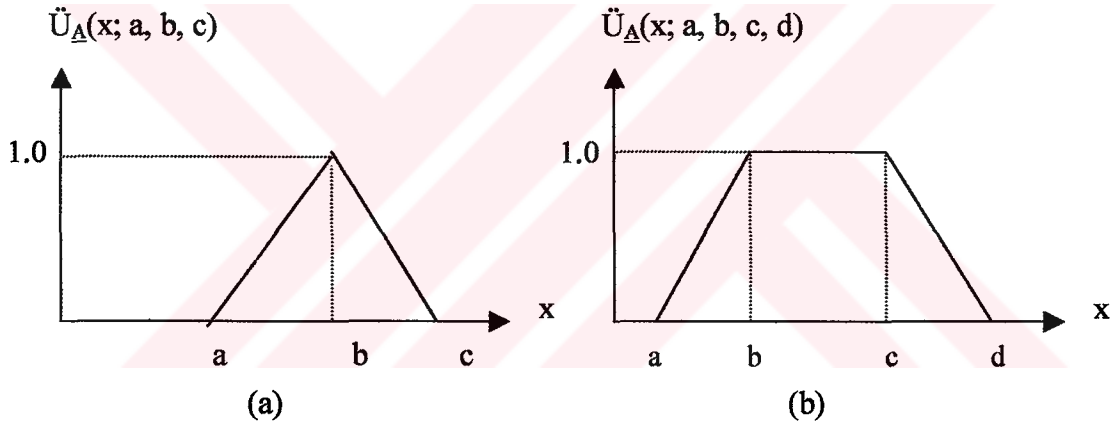
$$\bar{U}_A(x) = \bar{U}_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer } c \leq x < d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (3.43)$$

şeklindedir. Dikkat edilirse  $b = c$  olduğu zaman yamuk bulanık sayı üçgen bulanık sayı haline dönüşür. Hem üçgen hem de yamuk sayıların grafik gösterimleri Şekil 3.20’de verilmiştir.

Bir  $\underline{A}$  bulanık alt kümesinin  $\lambda$  seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesik bulanık küme

$$\underline{A}_\lambda = \{x \in \underline{A} \mid \bar{U}_A(x) \geq \lambda\} \quad (3.44)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 3.20 (a) üçgen, (b) yamuk bulanık sayılar (Şen, 1999)

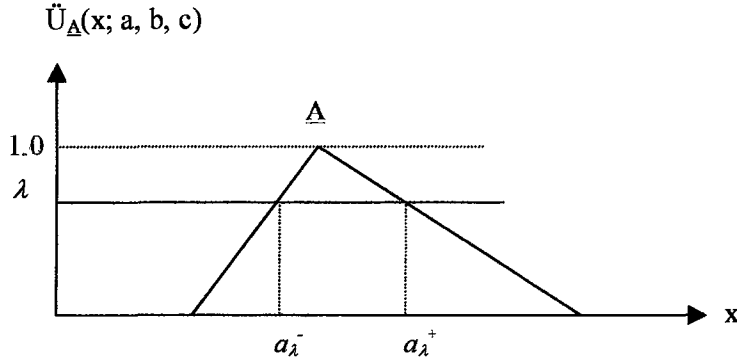
Şekil 3.21’de, bir bulanık kümenin  $\lambda$  seviyesindeki kesimi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin  $a_\lambda^-$  ve  $a_\lambda^+$  gibi bir alt bir de üst sınır küme değerleri gösterilmiştir.  $\underline{A}$  bulanık kümesinin  $\lambda$  seviyesindeki kesim sınırları

$$\underline{A}_\lambda = [a_\lambda^-, a_\lambda^+] \quad (3.45)$$

olarak gösterilmektedir. Kesimleri  $\lambda$  seviyesinde olan  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık alt kümeleri  $\underline{A}_\lambda = [a_\lambda^-, a_\lambda^+]$  ve  $\underline{B}_\lambda = [b_\lambda^-, b_\lambda^+]$  olsun. Bu iki bulanık alt kümenin toplamının  $\lambda$  seviyesindeki kesim sınırları ise

$$(\underline{A} + \underline{B})_\lambda = [a_\lambda^- + b_\lambda^-, a_\lambda^+ + b_\lambda^+] \quad (3.46)$$

şeklinde gösterilir.



Şekil 3.21 Bulanık sayı kesim seviyeleri (Şen, 1999)

Benzer şekilde iki bulanık alt kümenin birbirinden çıkarılması aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$(\underline{A} - \underline{B})_\lambda = [EK(a_\lambda^- - b_\lambda^-, a_\lambda^+ - b_\lambda^+), EB(a_\lambda^- - b_\lambda^-, a_\lambda^+ - b_\lambda^+)] \quad (3.47)$$

Bu işlemler her  $\lambda$  seviyesi için geçerlidir. İki bulanık sayının çarpım ve bölüm işlemlerinin anlaşılması için öncelikle aralık sayılarının bu işlemler karşısında nasıl davranacaklarının açıklanmasında yarar vardır. Bir aralık sayısı sadece alt ve üst sınır değerleri ile belirlenir. Bunun diğer bir anlamı, bu alt ve üst sınırlar arasında bulunan bütün sayıların üyelik derecelerinin 1'e eşit olduğu kabul edilirse, yukarıda söylenen üçgen veya yamuk yaklaşık sayılar yerine dikdörtgen bir sayı elde edilir. Aralık sayılarından iki tanesi  $\underline{A}=[a, b]$  ve  $\underline{B}=[c, d]$  olsun. Bunların çarpımı tanım olarak

$$\underline{A} * \underline{B} = [EK(ac, ad, bc, bd), EB(ac, ad, bc, bd)] \quad (3.48)$$

dir. Buna benzer olarak aynı iki sayının bölünmesi de

$$\underline{A}/\underline{B} = [a, b]/[c, d] = [EK(a/c, a/d, b/c, b/d), EB(a/c, a/d, b/c, b/d)] \quad (3.49)$$

şeklinde yapılır ki, buradan bölen sayının sınırlarının sıfıra eşit olmaması gerektiği anlaşılır. Yani  $c \neq 0$  ve  $d \neq 0$  olmalıdır.

Bulanık sayıların çarpma ve bölme işlemleri aralık sayılarınkine benzemektedir. Çünkü bulanık sayıların  $\lambda$  kesimleri zaten daha önce açıklandığı gibi aralık sayılar gibi gösterilmektedir.  $\lambda$  seviyesinde kesilmiş iki bulanık sayı  $\underline{A}_\lambda = [a_\lambda^-, a_\lambda^+]$  ve  $\underline{B}_\lambda = [b_\lambda^-, b_\lambda^+]$  ise bunların yine  $\lambda$  seviyesinde geçerli çarpımları

$$(\underline{A}*\underline{B})_\lambda=[EK(a_\lambda^-.b_\lambda^-, a_\lambda^-.b_\lambda^+, a_\lambda^+.b_\lambda^-, a_\lambda^+.b_\lambda^+),EB(a_\lambda^-.b_\lambda^-, a_\lambda^-.b_\lambda^+, a_\lambda^+.b_\lambda^-, a_\lambda^+.b_\lambda^+)] \quad (3.50)$$

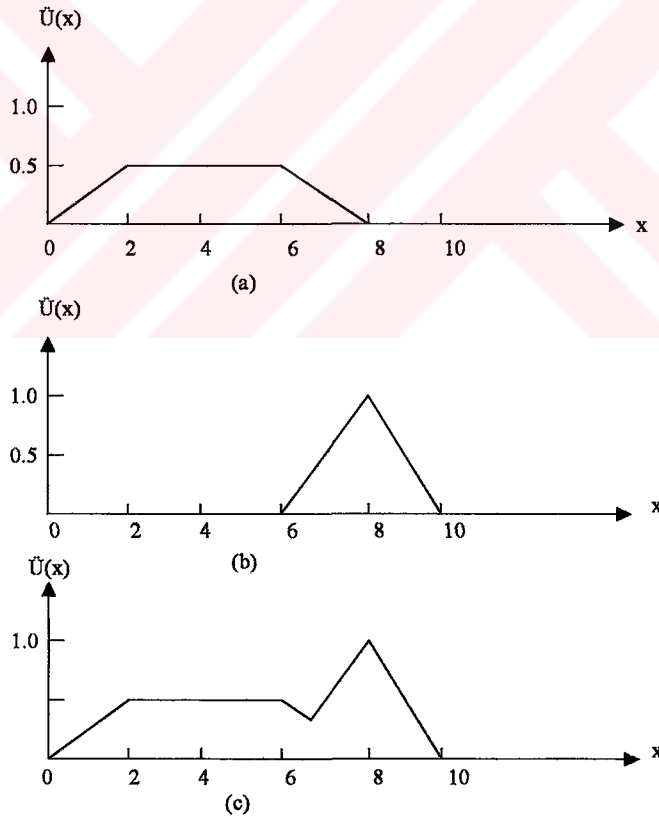
olur. Benzer şekilde, bölme işlemi de,

$$(\underline{A}/\underline{B})_\lambda=[EK(a_\lambda^-/b_\lambda^-, a_\lambda^-/b_\lambda^+, a_\lambda^+/b_\lambda^-, a_\lambda^+/b_\lambda^+),EB(a_\lambda^-/b_\lambda^-, a_\lambda^-/b_\lambda^+, a_\lambda^+/b_\lambda^-, a_\lambda^+/b_\lambda^+)] \quad (3.51)$$

olarak tanımlanır (Şen, 1999).

### 3.9 Durulaştırma

Uygulamada, özellikle mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmakta ve bu nedenle çıktıların durulaştırılması gerekmektedir. Bulanık olan bilgilerin bulanık olmayan (kesin) sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne “durulaştırma” adı verilir.



Şekil 3.22 Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi (Şen, 1999)

Yapılan işlemler sonrasında bulanık sonuçlardan bir tanesi Şekil 3.22 a'daki gibi yamuk, diğeri ise Şekil 3.22 b'deki gibi üçgen şeklinde olsun. Bu iki bulanık sonucun birleşimi ise en son yapılan işlemde sonraki bulanık çıkarım olsun. Bu çok

değerli bulanık çıkarımın, mühendislik uygulamalarında olduğu gibi kullanılamayacağı açıktır. O halde bu çıkarımı, tek sayılı bir tasarım büyüklüğüne dönüştürmek gerekir. Gerekli olan bu dönüşüm, durulaştırma işlemi ile yapılmaktadır. Oysa, ikiden fazla temel bulanık küme arasında birden fazla farklı işlemler sonunda, farklı şekillerde çıkarımlar elde etmek de mümkündür (Şen, 1999).

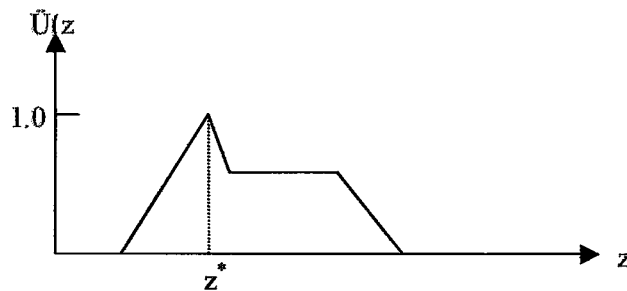
Birbirinden farklı çok sayıda durulaştırma yöntemi vardır. Burada dört önemli durulaştırma yönteminden söz edilecektir. Bunların seçimi tümüyle olay veya problemin kendisine bağlı olarak uzman görüşü tarafından belirlenir. Örneğin, bir mühendislik probleminde güvenli tarafta kalmak gerekiyorsa veya uygulamada riskler söz konusu ise bu durumda uzman kendisi için bu olanağı sağlayan en uygun yöntemi seçer.

### 3.9.1 En büyük üyelik derecesi yöntemi

Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılması için tek noktali tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 3.23'te gösterilen bu durulaştırma işleminin aritmetik notasyonu tüm  $z \in Z$  için,

$$\bar{U}_C(z^*) \geq \bar{U}_C(z) \quad (3.52)$$

şeklindedir (Şen, 1999).



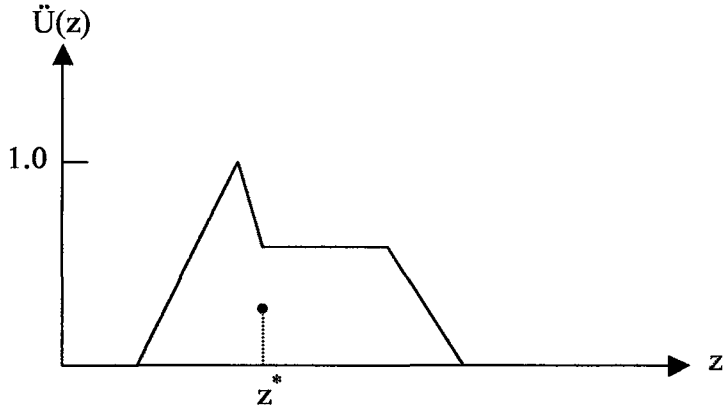
Şekil 3.23 En büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma (Şen, 1999)

### 3.9.2 Sentroid (ağırlık merkezi) yöntemi

Durulaştırma işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan işlem budur. Şekil 3.24'te gösterilmiş olan bu durulaştırmanın matematik işlemi

$$z^* = \frac{\int \bar{U}_C(z) \cdot z dz}{\int \bar{U}_C(z) dz} \quad (3.53)$$

denklemini ile yapılır.



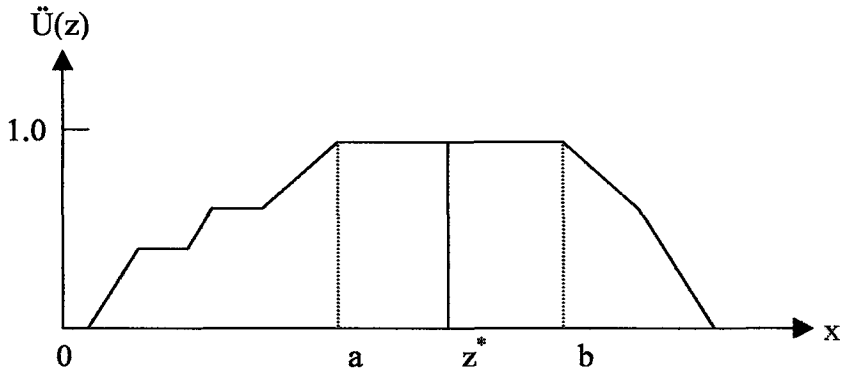
Şekil 3.24 Sentroid yöntemi ile durulaştırma (Şen, 1999)

### 3.9.3 Ortalama en büyük üyelik derecesi yöntemi

Bu yöntem aynı zamanda en büyüklerin ortası diye de bilinir. Bu bakımdan birinci durulaştırma ilkesine çok yakındır. Ancak, en büyük üyeliğin konumu tekil olmayabilir. Bunun anlamı üyelik fonksiyonunda en büyük üyelik derecesine sahip olan bir nokta yerine plato gibi düzlük kısmı bulunabilir. Şekil 3.25’de ortalama en büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma verilmiştir. Matematik ifadesi

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.54)$$

dir.



Şekil 3.25 Ortalama en büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma (Şen, 1999)

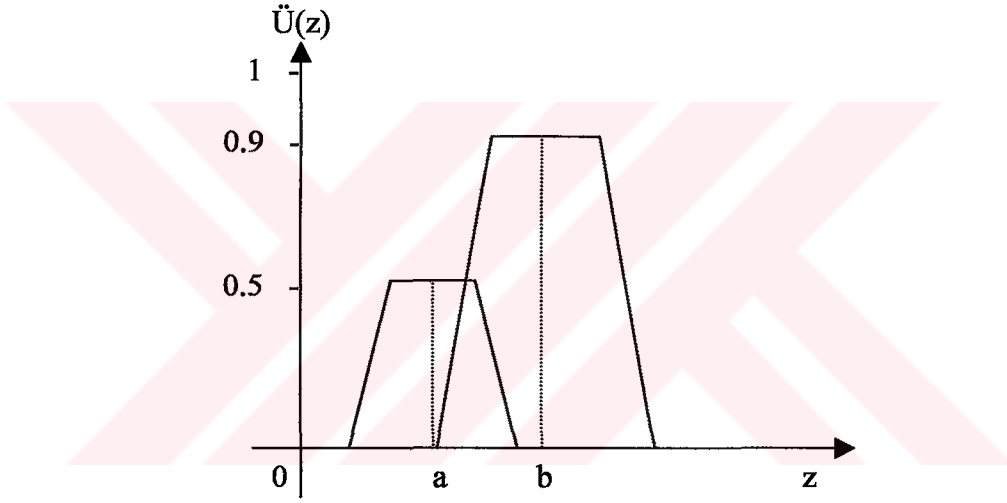
### 3.9.4 Ağırlıklı ortalama yöntemi

Bu yöntem sadece simetrik çıktı üyelik fonksiyonları için geçerli olup

$$z^* = \frac{\sum \ddot{U}_{\varphi}(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \ddot{U}_{\varphi}(\bar{z})} \quad (3.55)$$

bağıntısı ile ifade edilir, (Ross, 1995).

Burada  $\sum$  cebrik toplamı göstermektedir. Bu yöntem, çıktıdaki tüm üyelik fonksiyonlarının en büyük üyelik derecelerine bağlı olarak ağırlıklandırılması ile şekillenmektedir (Şekil 3.26)



Şekil 3.26 Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma (Ross, 1995)

## 4. BULANIK MODEL

### 4.1 Giriş

Bu bölümde amaçlanan akarsulardaki boyuna yayılma katsayısını, daha önce geliştirilen model ve bağıntılardan daha iyi tahmin edebilecek bulanık mantık temeline dayalı yeni bir modelin geliştirilmesidir. Modelin başarısını test etmek için bulanık model sonuçları, eldeki veriler ve konu ile ilgili mevcut denklemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modeli geliştirmek ve test etmek için ABD’de 30’dan fazla akarsu üzerinde ölçüm sonucu elde edilen ve Fischer (1968), Yotsukura ve diğ. (1970), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Godfrey ve Frederick (1979) rapor ve makalelerinde yayınlanan veriler kullanılmıştır. Farklı akarsulardan, farklı zamanlarda ve farklı araştırmacılar tarafından ölçüm sonucu elde edilen bu veriler, en son kullandıkları Kashefipour ve Falconer (2002) ve Seo ve Cheong (1998)’ten alınmıştır. Her iki makaleden alınan toplam veri kümesi sayısı sırasıyla 81 ve 59’dur. Kashefipour ve Falconer (2002)’de sunulan 81 veri kümesinin tümü, Seo ve Cheong (1998)’de ise sunulan 59 veri kümesinden yalnızca 35 tanesi denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Bazı veri kümelerinin, her iki çalışmada da kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle veriler alınırken her iki çalışmada geçen veri kümelerinin birleşimi göz önünde tutularak tekrarlanan veriler bir kez kullanılmıştır. Sonuçta, iki çalışmada bulunan toplam 140 veri kümesinden birbirinin aynı olmayan 96 adet veri kümesi elde edilmiştir (Tablo 4.1). Kashefipour ve Falconer (2002)’de sunulan 81 veri kümesi, akım derinliği, akarsu genişliği, kesit ortalama akım hızı ve kayma hızı olmak üzere dört bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken (boyuna yayılma katsayısı) olmak üzere toplam beş değişken içermektedir.

Tablo 4.1 Kullanılan veri kümeleri (Seo ve Cheong, 1998; Kashefipour ve Falconer, 2002)

| No | ARAŞTIRMACI                | AKARSU                       | H(m) | W(m)  | U(m/s) | U <sub>c</sub> (m/s) | D <sub>50</sub> (m <sup>2</sup> /s) | WH    | U/U <sub>c</sub> | U <sub>c</sub> /U | D <sub>50</sub> /H <sub>U</sub> |   |
|----|----------------------------|------------------------------|------|-------|--------|----------------------|-------------------------------------|-------|------------------|-------------------|---------------------------------|---|
| 1  | Fischer (1968)             | Copper creek, VA(below gage) | 0.49 | 15.9  | 0.21   | 0.079                | 19.5                                | 32.4  | 2.7              | 0.4               | 504.3                           | + |
| 2  | Fischer (1968)             | Copper creek, VA(below gage) | 0.84 | 18.3  | 0.52   | 0.1                  | 21.4                                | 21.8  | 5.2              | 0.2               | 254.8                           | + |
| 3  | Fischer (1968)             | Copper creek, VA(below gage) | 0.49 | 16.2  | 0.25   | 0.079                | 9.5                                 | 33.1  | 3.2              | 0.3               | 245.4                           | + |
| 4  | Fischer (1968)             | Clinch river, TN(below gage) | 0.86 | 46.9  | 0.28   | 0.067                | 13.9                                | 54.5  | 4.2              | 0.2               | 241.8                           |   |
| 5  | Fischer (1968)             | Clinch river, TN(below gage) | 2.13 | 59.4  | 0.86   | 0.104                | 53.9                                | 27.9  | 8.3              | 0.1               | 243.2                           | + |
| 6  | Fischer (1968)             | Clinch river, TN(below gage) | 2.09 | 53.3  | 0.79   | 0.107                | 46.5                                | 25.5  | 7.4              | 0.1               | 207.7                           | + |
| 7  | Fischer (1968)             | Copper creek, VA(above gage) | 0.39 | 18.6  | 0.14   | 0.116                | 9.9                                 | 47.7  | 1.2              | 0.8               | 217.7                           |   |
| 8  | Fischer (1968)             | Power river, TN              | 0.85 | 33.8  | 0.16   | 0.055                | 9.5                                 | 39.8  | 2.9              | 0.3               | 203.2                           | + |
| 9  | Fischer (1968)             | Clinch river, VA             | 0.58 | 36    | 0.3    | 0.049                | 8.1                                 | 62.1  | 6.1              | 0.2               | 284.3                           | + |
| 10 | Fischer (1968)             | Coachell canal, CA           | 1.56 | 24.4  | 0.67   | 0.043                | 9.6                                 | 15.6  | 15.6             | 0.1               | 142.7                           | + |
| 11 | McQuivey and Keefer (1974) | Bayou Anacoco                | 0.41 | 19.8  | 0.29   | 0.044                | 13.9                                | 48.3  | 6.6              | 0.2               | 772.7                           | + |
| 12 | McQuivey and Keefer (1974) | Nooksack river               | 2.94 | 86    | 1.2    | 0.514                | 153.3                               | 29.3  | 2.3              | 0.4               | 101.4                           |   |
| 13 | McQuivey and Keefer (1974) | Antietam creek               | 0.39 | 15.8  | 0.32   | 0.06                 | 9.3                                 | 40.5  | 5.3              | 0.2               | 397.0                           | + |
| 14 | McQuivey and Keefer (1974) | Antietam creek               | 0.52 | 19.8  | 0.43   | 0.069                | 16.3                                | 38.1  | 6.2              | 0.2               | 453.2                           | + |
| 15 | McQuivey and Keefer (1974) | Antietam creek               | 0.71 | 24.4  | 0.52   | 0.081                | 25.6                                | 34.4  | 6.4              | 0.2               | 444.3                           |   |
| 16 | McQuivey and Keefer (1974) | Monocacy river               | 0.32 | 35.1  | 0.21   | 0.043                | 4.7                                 | 109.7 | 4.9              | 0.2               | 337.9                           | + |
| 17 | McQuivey and Keefer (1974) | Monocacy river               | 0.45 | 36.6  | 0.32   | 0.051                | 13.9                                | 81.3  | 6.3              | 0.2               | 607.4                           | + |
| 18 | McQuivey and Keefer (1974) | Monocacy river               | 0.87 | 47.5  | 0.44   | 0.07                 | 37.2                                | 54.6  | 6.3              | 0.2               | 610.2                           | + |
| 19 | McQuivey and Keefer (1974) | Missouri river               | 2.23 | 182.9 | 0.93   | 0.065                | 484.5                               | 82.0  | 14.3             | 0.1               | 3204.7                          |   |
| 20 | McQuivey and Keefer (1974) | Missouri river               | 3.56 | 201.2 | 1.27   | 0.082                | 836.1                               | 56.5  | 15.5             | 0.1               | 2864.2                          | + |
| 21 | McQuivey and Keefer (1974) | Missouri river               | 3.11 | 196.6 | 1.53   | 0.077                | 891.9                               | 63.2  | 19.9             | 0.1               | 3724.3                          | + |
| 22 | McQuivey and Keefer (1974) | Wind/Bighorn rivers          | 0.98 | 67.1  | 0.88   | 0.11                 | 41.8                                | 68.5  | 8.0              | 0.1               | 367.8                           |   |
| 23 | McQuivey and Keefer (1974) | Elkhorn river                | 0.3  | 32.6  | 0.43   | 0.046                | 9.3                                 | 108.7 | 9.3              | 0.1               | 673.2                           | + |
| 24 | McQuivey and Keefer (1974) | Elkhorn river                | 0.42 | 50.9  | 0.46   | 0.046                | 20.9                                | 121.2 | 10.0             | 0.1               | 1081.8                          | + |
| 25 | McQuivey and Keefer (1974) | John Day river               | 0.56 | 25    | 1.01   | 0.137                | 13.9                                | 44.6  | 7.4              | 0.1               | 181.7                           | + |
| 26 | McQuivey and Keefer (1974) | Comite river                 | 0.26 | 12.5  | 0.31   | 0.043                | 7.0                                 | 48.1  | 7.2              | 0.1               | 623.4                           | + |
| 27 | McQuivey and Keefer (1974) | Comite river                 | 0.41 | 15.8  | 0.37   | 0.055                | 13.9                                | 38.5  | 6.7              | 0.1               | 618.2                           | + |
| 28 | McQuivey and Keefer (1974) | Amite river                  | 0.81 | 36.6  | 0.29   | 0.068                | 23.2                                | 45.2  | 4.3              | 0.2               | 421.8                           | + |
| 29 | McQuivey and Keefer (1974) | Amite river                  | 0.8  | 42.4  | 0.42   | 0.068                | 30.2                                | 53.0  | 6.2              | 0.2               | 555.0                           | + |
| 30 | McQuivey and Keefer (1974) | Sabine river                 | 2.04 | 103.6 | 0.56   | 0.054                | 315.9                               | 50.8  | 10.4             | 0.1               | 2867.4                          | + |
| 31 | McQuivey and Keefer (1974) | Sabine river                 | 4.75 | 127.4 | 0.64   | 0.081                | 668.9                               | 26.8  | 7.9              | 0.1               | 1738.5                          | + |
| 32 | McQuivey and Keefer (1974) | Muddy creek                  | 0.81 | 13.4  | 0.37   | 0.077                | 13.9                                | 16.5  | 4.8              | 0.2               | 223.5                           | + |
| 33 | McQuivey and Keefer (1974) | Muddy creek                  | 1.2  | 19.5  | 0.45   | 0.093                | 32.5                                | 16.3  | 4.8              | 0.2               | 291.4                           |   |
| 34 | McQuivey and Keefer (1974) | Sabine river, Texas          | 0.98 | 35.1  | 0.21   | 0.041                | 39.5                                | 35.8  | 5.1              | 0.2               | 982.6                           | + |
| 35 | McQuivey and Keefer (1974) | White river                  | 0.55 | 67.1  | 0.35   | 0.044                | 30.2                                | 122.0 | 8.0              | 0.1               | 1247.5                          | + |
| 36 | McQuivey and Keefer (1974) | Chattahoochee river          | 1.13 | 65.5  | 0.39   | 0.075                | 32.5                                | 58.0  | 5.2              | 0.2               | 383.7                           |   |
| 37 | McQuivey and Keefer (1974) | Susquehanna river            | 1.35 | 202.7 | 0.39   | 0.065                | 92.9                                | 150.1 | 6.0              | 0.2               | 1058.7                          |   |
| 38 | Seo and Cheong (1998)      | Mississippi river, MO        | 8.9  | 537.4 | 1.51   | 0.097                | 341.1                               | 60.4  | 15.6             | 0.1               | 395.1                           |   |
| 39 | Nordin and Sabol (1974)    | Antietam Creek, MD           | 0.3  | 12.8  | 0.42   | 0.057                | 17.5                                | 42.7  | 7.4              | 0.1               | 1023.4                          |   |
| 40 | Nordin and Sabol (1974)    | Antietam Creek, MD           | 0.98 | 24.08 | 0.59   | 0.098                | 101.5                               | 24.6  | 6.0              | 0.2               | 1056.9                          |   |
| 41 | Nordin and Sabol (1974)    | Antietam Creek, MD           | 0.66 | 11.89 | 0.43   | 0.085                | 20.9                                | 18.0  | 5.1              | 0.2               | 372.5                           | + |
| 42 | Nordin and Sabol (1974)    | Antietam Creek, MD           | 0.48 | 21.03 | 0.52   | 0.069                | 25.9                                | 43.8  | 7.5              | 0.1               | 782.0                           | + |
| 43 | Nordin and Sabol (1974)    | Monocacy River, MD           | 0.55 | 48.7  | 0.26   | 0.052                | 37.8                                | 88.5  | 5.0              | 0.2               | 1321.7                          |   |
| 44 | Nordin and Sabol (1974)    | Monocacy River, MD           | 0.71 | 92.96 | 0.16   | 0.046                | 41.4                                | 130.9 | 3.5              | 0.3               | 1267.6                          | + |
| 45 | Nordin and Sabol (1974)    | Monocacy River, MD           | 0.65 | 51.21 | 0.62   | 0.044                | 29.6                                | 78.8  | 14.1             | 0.1               | 1035.0                          | + |
| 46 | Nordin and Sabol (1974)    | Monocacy River, MD           | 1.15 | 97.54 | 0.32   | 0.058                | 119.8                               | 84.8  | 5.5              | 0.2               | 1796.1                          | + |
| 47 | Nordin and Sabol (1974)    | Monocacy River, MD           | 0.41 | 40.54 | 0.23   | 0.04                 | 66.5                                | 98.9  | 5.8              | 0.2               | 4054.9                          |   |
| 48 | Nordin and Sabol (1974)    | Conococheague Creek, MD      | 0.69 | 42.21 | 0.23   | 0.064                | 40.8                                | 61.2  | 3.6              | 0.3               | 923.9                           |   |
| 49 | Nordin and Sabol (1974)    | Conococheague Creek, MD      | 0.41 | 49.68 | 0.15   | 0.081                | 29.3                                | 121.2 | 1.9              | 0.5               | 882.3                           |   |
| 50 | Nordin and Sabol (1974)    | Conococheague Creek, MD      | 1.13 | 42.98 | 0.63   | 0.081                | 53.3                                | 38.0  | 7.8              | 0.1               | 582.3                           |   |

Tablo 4.1 (Devamı)

| No                                                                                                                      | ARAŞTIRMACI                  | AKARSU                   | H(m)  | W(m)   | U(m/s) | U <sub>1</sub> (m/s) | D <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> /s) | WH     | U/U <sub>1</sub> | U/U <sub>1</sub> | D <sub>1</sub> /HU |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------|--------|--------|----------------------|------------------------------------|--------|------------------|------------------|--------------------|
| 51                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Chattahoochee River, GA* | 2.0   | 75.6   | 0.74   | 0.14                 | 88.9                               | 38.8   | 5.36             | 0.19             | 330.4              |
| 52                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Chattahoochee River, GA* | 2.4   | 91.9   | 0.52   | 0.09                 | 166.9                              | 37.7   | 5.53             | 0.18             | 727.7              |
| 53                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Salt Creek, NE           | 0.5   | 32.0   | 0.24   | 0.04                 | 52.2                               | 64.0   | 6.32             | 0.16             | 2747.4 +           |
| 54                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Difficult Run, VA*       | 0.3   | 14.5   | 0.25   | 0.06                 | 1.9                                | 46.7   | 4.03             | 0.25             | 98.9 +             |
| 55                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Bear Creek, CO*          | 0.9   | 13.7   | 1.29   | 0.55                 | 2.9                                | 16.1   | 2.33             | 0.43             | 6.2                |
| 56                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Little Piny Creek, MD*   | 0.2   | 15.9   | 0.39   | 0.05                 | 7.1                                | 72.0   | 7.36             | 0.14             | 608.9 +            |
| 57                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Bayou Anacoco, LA*       | 0.5   | 17.5   | 0.32   | 0.02                 | 5.8                                | 39.0   | 13.33            | 0.08             | 537.0 +            |
| 58                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Corrite River, LA        | 0.2   | 15.7   | 0.36   | 0.04                 | 69.0                               | 68.3   | 9.23             | 0.11             | 7692.3 +           |
| 59                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Bayou Bartholomew, LA*   | 1.4   | 33.4   | 0.20   | 0.03                 | 54.7                               | 23.8   | 6.45             | 0.16             | 1260.4             |
| 60                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Amite River, LA*         | 0.5   | 21.3   | 0.54   | 0.03                 | 501.4                              | 41.0   | 20.00            | 0.05             | 35712.3            |
| 61                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Tickfau River, LA        | 0.6   | 14.9   | 0.27   | 0.08                 | 10.3                               | 25.3   | 3.38             | 0.30             | 218.2 +            |
| 62                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Tangipahoa River, LA*    | 0.8   | 31.4   | 0.48   | 0.07                 | 45.1                               | 38.8   | 6.67             | 0.15             | 773.3 +            |
| 63                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Tangipahoa River, LA*    | 0.4   | 29.9   | 0.34   | 0.02                 | 44.0                               | 74.7   | 17.00            | 0.06             | 5500.0             |
| 64                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Red River, LA*           | 1.6   | 253.6  | 0.61   | 0.03                 | 143.8                              | 156.5  | 19.06            | 0.05             | 2773.9             |
| 65                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Red River, LA*           | 4.0   | 161.5  | 0.29   | 0.06                 | 130.5                              | 40.8   | 4.83             | 0.21             | 549.2 +            |
| 66                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Red River, LA*           | 3.7   | 152.4  | 0.45   | 0.06                 | 227.6                              | 41.6   | 7.89             | 0.13             | 1091.0 +           |
| 67                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Red River, LA*           | 1.7   | 155.1  | 0.47   | 0.04                 | 177.7                              | 89.2   | 13.06            | 0.08             | 2836.8 +           |
| 68                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Sabine River, LA         | 1.7   | 116.4  | 0.58   | 0.05                 | 131.3                              | 70.6   | 10.74            | 0.09             | 1473.6 +           |
| 69                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Sabine River, LA         | 2.3   | 160.3  | 1.06   | 0.05                 | 308.9                              | 69.1   | 19.63            | 0.05             | 2465.7             |
| 70                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Sabine River, TX*        | 0.5   | 14.2   | 0.13   | 0.04                 | 12.8                               | 28.3   | 3.51             | 0.28             | 691.9 +            |
| 71                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Sabine River, TX*        | 0.5   | 12.2   | 0.23   | 0.03                 | 14.7                               | 23.9   | 7.67             | 0.13             | 960.8 +            |
| 72                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Sabine River, TX*        | 0.9   | 21.3   | 0.36   | 0.04                 | 24.2                               | 22.9   | 10.29            | 0.10             | 743.5              |
| 73                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Mississippi River, LA*   | 19.9  | 711.2  | 0.56   | 0.04                 | 237.2                              | 35.7   | 13.66            | 0.07             | 290.1              |
| 74                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Mississippi River, MO*   | 4.9   | 533.4  | 1.05   | 0.07                 | 457.7                              | 108.0  | 15.22            | 0.07             | 1342.8 +           |
| 75                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Mississippi River, MO*   | 8.9   | 537.4  | 1.51   | 0.10                 | 374.1                              | 60.4   | 15.57            | 0.06             | 433.3              |
| 76                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Wind/Bighorn River, WY   | 1.4   | 44.2   | 0.99   | 0.14                 | 184.6                              | 32.3   | 6.97             | 0.14             | 948.9 +            |
| 77                                                                                                                      | Nordin and Sabol (1974)      | Wind/Bighorn River, WY   | 2.4   | 85.3   | 1.74   | 0.15                 | 464.6                              | 35.9   | 11.37            | 0.09             | 1275.9 ++          |
| 78                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Copper Creek, VA         | 0.5   | 16.7   | 0.20   | 0.08                 | 16.8                               | 34.0   | 2.50             | 0.40             | 429.6 ++           |
| 79                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Clinch River, VA         | 1.2   | 48.5   | 0.21   | 0.07                 | 14.8                               | 41.8   | 3.04             | 0.33             | 184.4              |
| 80                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Copper Creek, VA*        | 0.4   | 18.3   | 0.15   | 0.12                 | 20.7                               | 48.1   | 1.29             | 0.77             | 469.8              |
| 81                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Powell River, TN         | 0.9   | 36.8   | 0.13   | 0.05                 | 15.5                               | 42.3   | 2.41             | 0.42             | 329.9 ++           |
| 82                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Clinch River, VA*        | 0.6   | 28.7   | 0.35   | 0.07                 | 10.7                               | 47.0   | 5.07             | 0.20             | 254.2 ++           |
| 83                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Copper Creek, VA         | 0.8   | 19.6   | 0.49   | 0.10                 | 20.8                               | 23.3   | 4.85             | 0.21             | 245.4 ++           |
| 84                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Clinch River, VA*        | 2.5   | 57.9   | 0.75   | 0.10                 | 40.5                               | 23.6   | 7.21             | 0.14             | 158.9              |
| 85                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Conchella Canal, CA*     | 1.6   | 24.7   | 0.66   | 0.04                 | 5.9                                | 15.6   | 16.10            | 0.06             | 91.4 ++            |
| 86                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Clinch River VA*         | 2.4   | 53.2   | 0.66   | 0.11                 | 36.9                               | 22.1   | 6.17             | 0.16             | 143.2 ++           |
| 87                                                                                                                      | Godfrey and Frederick (1970) | Copper Creek, VA*        | 0.5   | 16.8   | 0.24   | 0.08                 | 24.6                               | 35.7   | 3.00             | 0.33             | 654.8 ++           |
| 88                                                                                                                      | Yotsukura et al. (1970)      | Missouri River, IA       | 3.3   | 180.6  | 1.62   | 0.08                 | 1486.5                             | 55.1   | 20.77            | 0.05             | 5810.1 ++          |
| 89                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | Bayou Anacoco, LA*       | 0.9   | 25.9   | 0.34   | 0.07                 | 32.5                               | 27.6   | 5.07             | 0.20             | 516.4 ++           |
| 90                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | Bayou Anacoco, LA*       | 0.9   | 36.6   | 0.40   | 0.07                 | 39.5                               | 40.2   | 5.97             | 0.17             | 647.5 ++           |
| 91                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | Nooksack River, WA       | 0.8   | 64.0   | 0.67   | 0.27                 | 34.8                               | 84.2   | 2.50             | 0.40             | 171.1 ++           |
| 92                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | Wind/Bighorn River, WY*  | 1.1   | 59.4   | 0.88   | 0.12                 | 41.8                               | 54.0   | 7.39             | 0.14             | 319.4 ++           |
| 93                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | Wind/Bighorn River, WY*  | 2.2   | 68.6   | 1.55   | 0.17                 | 162.6                              | 31.8   | 9.23             | 0.11             | 448.0 ++           |
| 94                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | John Day River, OR*      | 2.5   | 34.1   | 0.82   | 0.18                 | 65.0                               | 13.8   | 4.56             | 0.22             | 146.3 ++           |
| 95                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | Yadkin River, NC*        | 2.4   | 70.1   | 0.43   | 0.10                 | 111.5                              | 29.8   | 4.26             | 0.23             | 469.7 ++           |
| 96                                                                                                                      | McQuivey and Keefer (1974)   | Yadkin River, NC*        | 3.8   | 71.6   | 0.76   | 0.13                 | 260.1                              | 18.7   | 5.94             | 0.17             | 529.2 ++           |
| KORELASYON (H,W,U ve U <sub>1</sub> D <sub>1</sub> ile; WH,U/U <sub>1</sub> ve U/U <sub>1</sub> D <sub>1</sub> /HU ile) |                              |                          | 0.39  | 0.46   | 0.64   | 0.01                 | 1.00                               | 0.09   | 0.43             | -0.21            | 1.00               |
| EN BÜYÜK                                                                                                                |                              |                          | 19.94 | 711.20 | 1.74   | 0.55                 | 1486.45                            | 166.54 | 20.77            | 0.83             | 35712.25           |
| EN KÜÇÜK                                                                                                                |                              |                          | 0.22  | 11.89  | 0.13   | 0.02                 | 1.90                               | 13.82  | 1.21             | 0.05             | 6.17               |
| ORTALAMA                                                                                                                |                              |                          | 1.61  | 77.89  | 0.55   | 0.08                 | 118.35                             | 51.92  | 7.65             | 0.19             | 1364.60            |
| STANDART SAPMA                                                                                                          |                              |                          | 2.42  | 118.13 | 0.38   | 0.08                 | 221.07                             | 30.90  | 4.68             | 0.13             | 3766.99            |
| ÇARPIKLIK KATSAYISI                                                                                                     |                              |                          | 5.29  | 3.68   | 1.47   | 4.63                 | 3.71                               | 1.38   | 1.21             | 2.44             | 8.23               |
| VARYASYON KATSAYISI                                                                                                     |                              |                          | 1.51  | 1.52   | 0.69   | 0.91                 | 1.87                               | 0.60   | 0.61             | 0.71             | 2.76               |

(\*) Seo ve Cheong'in kullandığı veri setleri, (\*\*) Modelin geliştirilmesi (eğitime aşaması), (\*\*\*) Modelin testi (test aşaması) için seçilen veri setleri

Seo ve Cheong (1998)'den alınan 59 veri kümelerinde ise Kashefipour ve Falconer (2002)'deki bağımsız değişkenlere ek olarak akarsu eğimi ile birlikte toplam altı değişken bulunmaktadır. Bunlardan, akarsu eğimi bulanık modelde kullanılmadığı için tabloda gösterilmemiştir.

#### 4.2 Verilerin Analizi

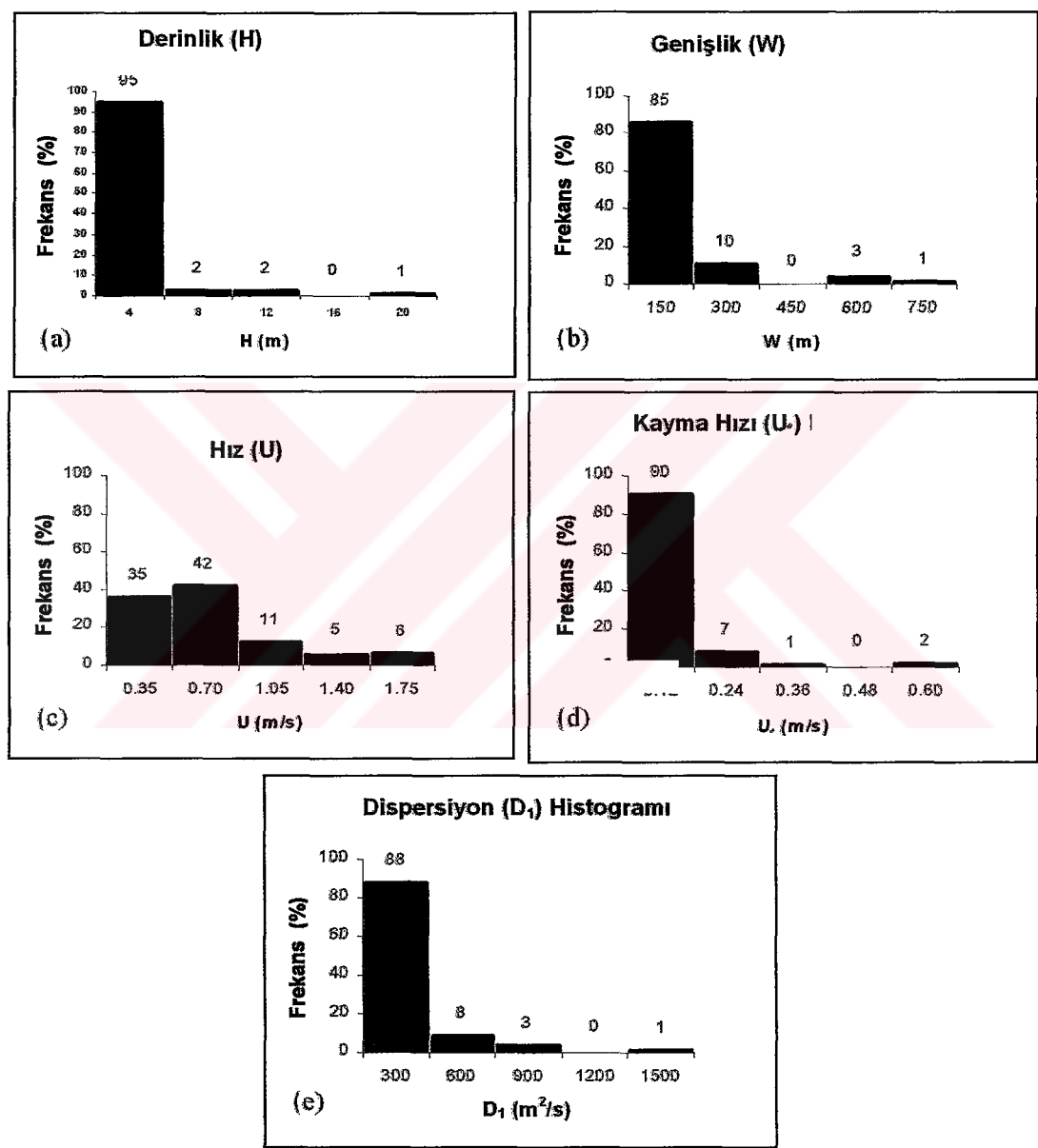
Veriler önce toplu halde incelenmiştir. Bu kapsamda, boyutlu ( $W$ ,  $H$ ,  $U$ ,  $U^*$  ve  $D_1$ ) ve boyutsuz ( $W/H$ ,  $U/U^*$ ,  $U^*/U$  ve  $D_1/HU^*$ ) tüm bağımlı ve bağımsız değişkenlerin, maksimum, minimum ve ortalama değerleri, standart sapmaları, çarpıklık ve değişim katsayıları gibi istatistik parametrelerine ve bağımsız değişkenlerin boyuna yayılma katsayısı ile ilişkilerine (korelasyonlarına) bakılmıştır. Bu analiz ayrıca, histogram ve saçılma diyagramı gibi grafikler ve bulunan sonuçların yer aldığı tablolar ile görsel hale getirilmiştir. Bunun yanında, gerek görülen bazı grafikler, logaritmik eksen takımında gösterilmiştir.

Boyutlu ve boyutsuz, bağımlı ve bağımsız tüm değişkenlerin çarpıklık katsayısı yüksek olduğu ve hiçbirinin normal dağılıma uymadığı gözlenmiştir (Tablo 4.1 ve Şekil 4.1, a-e).

Bağımsız değişkenler ile yayılma katsayısı arasındaki korelasyonların çok yüksek olmadığı ve en yüksek korelasyon katsayılarının, kesit ortalama akım hızı ( $U$ ) ve boyutsuz bağımsız değişken ( $U/U^*$ ) ile boyutlu boyuna yayılma katsayısı ( $D_1$ ) arasında olduğu görülmüştür. Korelasyon değerleri sırasıyla 0.64 ve 0.62 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan,  $U/U^*$  ile boyutsuz boyuna yayılma katsayısı ( $D_1/HU^*$ ) arasındaki korelasyon katsayısı ise 0.43'tür. Diğer boyutlu bağımsız değişkenler ( $H$ ,  $W$  ve  $U^*$ ) ile  $D_1$  arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0.39, 0.46 ve 0.01; diğer boyutsuz bağımsız değişkenler ( $W/H$  ve  $U^*/U$ ) ile  $D_1/HU^*$  arasındaki korelasyon katsayıları da sırasıyla 0.09 ve -0.21; aynı boyutsuz değişkenler ile  $D_1$  arasındaki korelasyon katsayıları ise sırasıyla, 0.06 ve -0.33 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.1 ve Şekil 4.2).

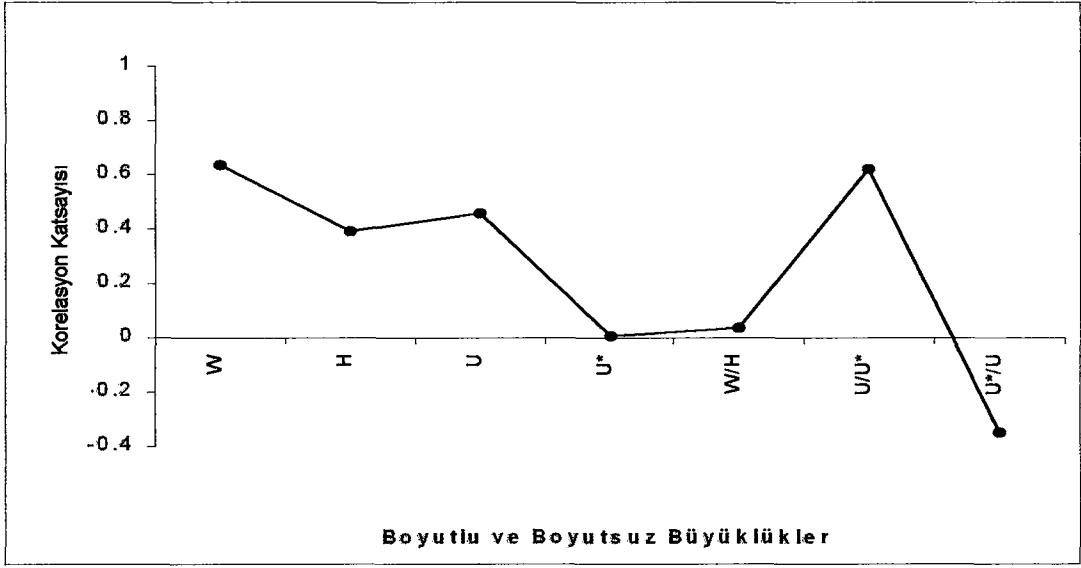
Boyutlu ve boyutsuz değişkenler ile boyuna yayılma katsayısı arasındaki ilişki kartezyen ve logaritmik eksen takımlarındaki grafikleri de incelenmiştir. Bu incelemeler sonunda değişkenlerin arasında dikkate değer bir ilişkinin olmadığı görülmüştür (Şekil 4.3 a-j ve Şekil 4.4 a-h).

Özetle, eldeki veriler toplu halde dikkatli bir şekilde incelenmiş, fakat kesit ortalama akım hızı ( $U$ ) ve boyutsuz  $U/U^*$  büyüklüğü dışında, boyutlu veya boyutsuz diğer bağımsız değişkenler ile boyutlu veya boyutsuz boyuna yayılma katsayıları arasında yüksek bir korelasyonun olmadığı anlaşılmıştır (Tablo 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Tüm veri topluluğu için değişkenlerin histogramı





Şekil 4.2 Boyuna yayılma katsayısı ( $D_1$ ) ile boyutlu ve boyutsuz büyüklükler arasındaki korelasyon katsayıları

Daha sonra, hem araştırmacısına hem de akarsuyuna göre veriler sınıflandırılmış ve aynı işlemler bunlar için de yapılmıştır. Tablo 4.2'den de anlaşılacağı üzere bir çok sınıf için bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki korelasyon katsayılarının belirgin derecede değiştiği görülmüştür. Sınıfların büyük çoğunluğu için bu katsayı yükselirken bir kısmı için de negatif yönde arttığı gözlenmiştir. Korelasyonun negatif olması, boyuna yayılma katsayısının ilgili bağımsız değişken ile ters orantılı olarak değiştiği anlamına gelmektedir.

Veriler sınıflandırıldıktan sonra, doğal olarak her bir sınıftaki veri sayısı azalmıştır. Bu nedenle bu sınıflar için hesaplanan istatistikler yanıltıcı olabilir. Bu yanılgıya meydan vermemek için Tablo 4.2'de, veri sayısının 10'dan az olduğu sınıflara (?) işareti konularak dikkat çekilmiştir.

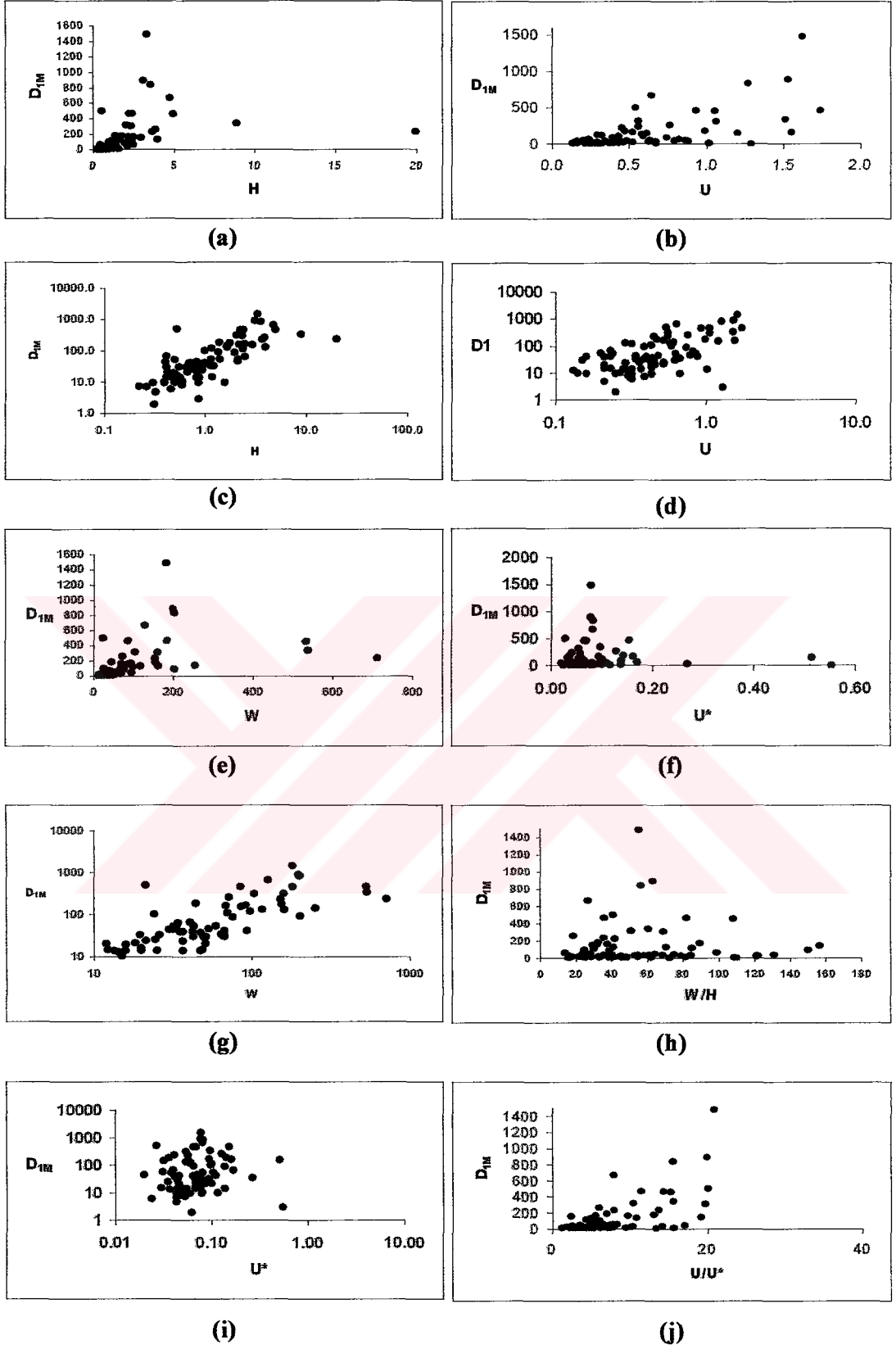
Verileri tanımaya yönelik bu analizin sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Verilerin toplu halde değerlendirilmesi sonucunda, boyutlu ve boyutsuz bağımsız değişkenler ile boyutlu ve boyutsuz boyuna yayılma katsayıları arasında dikkate değer doğrusal, logaritmik veya polinomal bir ilişkinin olmadığı, en yüksek korelasyonun, kesit ortalama akım hızı ile boyuna yayılma katsayısı arasında olduğu görülmüştür.
- Hem akarsularına göre, hem de araştırmacılarına göre veriler sınıflandırıldığında tüm istatistiklerin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bazı değişkenler ile yayılma katsayısı arasındaki korelasyon katsayısının

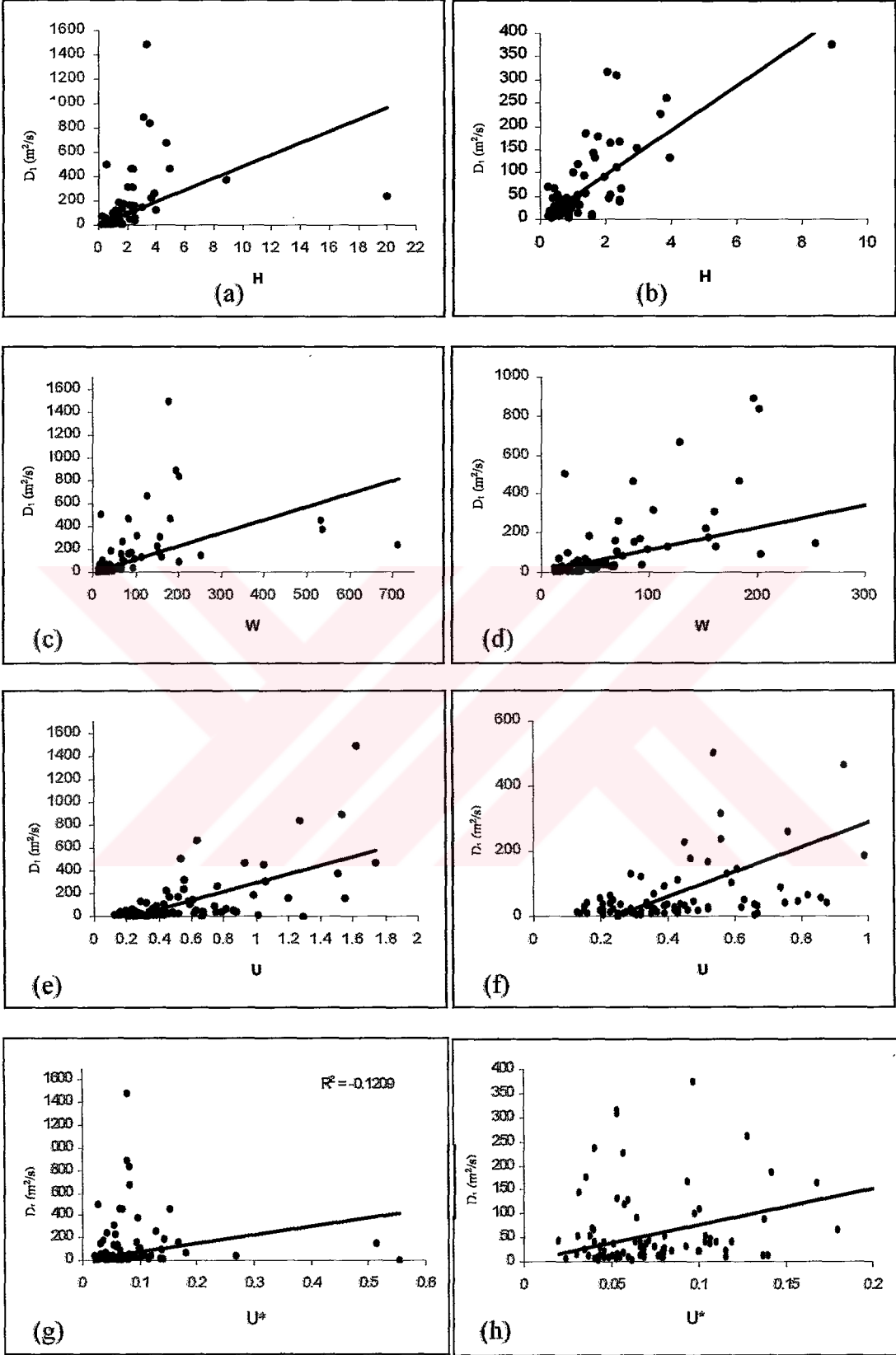
belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Bu durum araştırmacıların çalışma ortamının geometrik ve akım özellikleri, araştırmacıların ölçüm teknik ve metotlarının birbirinden farklı olması olasılığı, boyutsuz büyüklüklerle çalışılmaması, bazı sınıflardaki veri sayısının az olmasından ve ölçüm hatalarından kaynaklanmış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ne yazık ki veriler, akarsularına veya araştırmacılarına göre sınıflandırılınca, her bir sınıftaki veri sayısında ciddi bir azalma olmaktadır. Bu nedenle sınıflandırılmış halleri ile eldeki verilere, herhangi bir modelin uygulanması halinde hatalar küçük çıksa bile sonuçlarının yanıltıcı olacağı beklenmektedir.

- Logaritmik değerlerle yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda da boyutlu ve boyutsuz, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında dikkate değer bir ilişkiye rastlanmamıştır.
- Bunun yanı sıra, boyutsuz bağımsız değişkenler ile boyutsuz boyuna yayılma katsayıları için de aynı istatistikler çıkarılmış, benzer şekilde aralarında dikkate değer bir doğrusal ilişkiye rastlanmamıştır.
- 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 çelişki içinde olduğu görülmüştür. Yani, bağımsız değişkenlerin değerleri birbirine yakın olmasına rağmen bağımlı değişkenin (boyuna yayılma katsayısı) değerleri arasında dikkate değer bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, Tablo 4.1’de 38 no.lu veri kümesinde, boyuna yayılma katsayısının artmasında en etkili parametre olan kesit ortalama akım hızı, 31 no.lu veri kümesindeki kesit ortalama akım hızının yaklaşık 2.5 katı olmasına rağmen, 38 no.lu veri kümesindeki boyuna yayılma katsayısının, 31 no.lu veri kümesindekinin yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmektedir (Tablo 4.3). Veri topluluğunda, bu durumun tersini gösteren veri kümeleri de bulunmaktadır.



Şekil 4.3 Değişkenler ile boyuna yayılma katsayısı arasındaki logaritmik ve doğrusal ilişki ( $H, W, U, U^*, W/H, U/U^*$  ve  $D_1$ )



Şekil 4.4  $D_1$  ile  $H$  (a, b),  $D_1$  ile  $W$  (c,d),  $D_1$  ile  $U$  (e, f) ve  $D_1$  ile  $U^*$  (g, h) arasındaki ilişki

Verileri tanımayaya yönelik bu ön çalışma, boyuna yayılma katsayısı ile bağımsız değişkenlerin tümü arasında yüksek bir korelasyon bulma beklentisi ile yapılmamıştır. Veriler farklı 30 akarsu üzerinde yapılan ölçümler sonucu temin edilmiştir. Aynı akarsudan temin edilen küçük veri grupları için akarsuyun ölçüm yapılan kesitlerinin debileri ve diğer hidrolik özellikleri hakkında bir bilgi yoktur. Buna rağmen veriler, elde edildikleri akarsularına göre sınıflandırıldığında zaten bir çoğu için, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayısında bir yükselme olduğu görülmektedir (Tablo 4.2). Bir akarsuyun geometrik ve akım büyüklükleri diğer bir akarsuyun aynı büyüklüklerinden bağımsızdır. Diğer taraftan, kesit ortalama akım hızı ile boyuna yayılma 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 görülmektedir.

Bu analizin asıl amacı, önceki araştırmacıların bu verileri kullanarak nasıl regresyon analizi ile bağıntılar geliştirdiklerini ve bağıntılarının başarılı olduğunun göstergesi olarak sadece korelasyon katsayısını gördüklerini araştırmaktır. Nitekim, aynı veriler üzerinde daha önce yapılmış çalışmalar, istatistik, logaritmik, polinom veya doğrusal herhangi bir modelin verilere uygulanması halinde hataların büyük olacağını göstermektedir (Kashefipour ve Falconer, 2002). Diğer bir amaç, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının BM yaklaşımında hayati bir öneminin olmadığını göstermektir. Korelasyonun yüksek olması modelin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Ancak tersine bir durum, bulanık modelin geliştirilemeyeceği anlamına gelmemektedir. Amaçlardan bir diğeri ise, verileri en iyi şekilde tanıyarak en sağlıklı modeli geliştirmektir. Veri analizinde görüldüğü gibi değişkenlerle yayılma katsayısı arasında doğrusal veya doğrusal olmayan bir ilişki tespit edilememiştir. Bu özelliğinden dolayı veri topluluğunun modellenmesinde, geleneksel yöntemler yerine, bulanık mantık yönteminin kullanılmasının daha uygun olabileceği düşünülmüştür.

Tablo 4.3 Çelişkili veri kümelerine örnek

| Küme No | Araştırmacı                | Akarsu                | H (m) | W (m) | U (m/s) | U* (m/s) | D <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> /s) |
|---------|----------------------------|-----------------------|-------|-------|---------|----------|------------------------------------|
| 31      | McQuivey and Keefer (1974) | Sabine river          | 4.75  | 127.4 | 0.64    | 0.081    | 668.9                              |
| 38      | Seo and Cheong (1998)      | Mississippi river, MO | 8.9   | 537.4 | 1.51    | 0.097    | 341.1                              |

#### 4.3 Seçilen Verilerin Analizi

Yukarıda da değinildiği üzere veri topluluğu içinde, birbiri ile çelişen veri kümeleri bulunmaktadır. Bulanık modelin geliştirilmesinde daha sağlıklı verileri kullanabilmek için bazı veri kümeleri çıkarılmıştır. Seçilen veri kümeleri, modelin eğitilmesi ve testi için ayrıca ikiye ayrılmıştır. Bunun için özel bir seçim yapılmamış, test için daha az veri kullanılmıştır (Tablo 4.1). Çelişkili olan bu veri kümeleri, veri topluluğundan çıkarıldığında mevcut çalışmaların da daha iyi sonuç verdiği görülmektedir .

Verilerin toplu halde yukarıda yapılan analizinin bir benzeri bulanık model için seçilen veriler için de yapılmış, çelişkili veri kümelerinin elenmesinden sonra genel olarak, maksimum, minimum ve ortalama değerlerde dikkate değer bir farklılık gözlenmemiştir. Bu durum, bulanık model için seçilen veri grubunun tüm veri grubunu temsil edebilmesi açısından olumlu karşılanmaktadır. Bununla birlikte, bağımsız değişkenler (H, W, U ve U\*) ile boyuna yayılma katsayısı (D<sub>1</sub>) arasındaki korelasyon katsayılarında belirgin bir artış gözlenmiştir (Tablo 4.4 ve Şekil 4.5). Zaten çelişkili veri kümeleri elendikten sonra korelasyon katsayılarındaki bu artış beklenir bir durumdur. Diğer taraftan, çarpıklık katsayısı genel olarak küçülmekle birlikte bazı değişkenler için artış gözlenmiş, fakat hiçbir değişkenin normal dağılıma uymadığı görülmüştür (Tablo 4.4). Dolayısıyla histogramlarda da belirgin bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.6). D<sub>1</sub> hariç diğer değişkenlerin standart sapmalarında bir düşüş gözlenmiştir. Maksimum ve minimum değerler içeren veri kümeleri, elenenlerin arasında yer almadığı için bu değerlerde bir değişim olmamıştır. Bu durum modelin testi için bir fayda olarak değerlendirilmiştir.

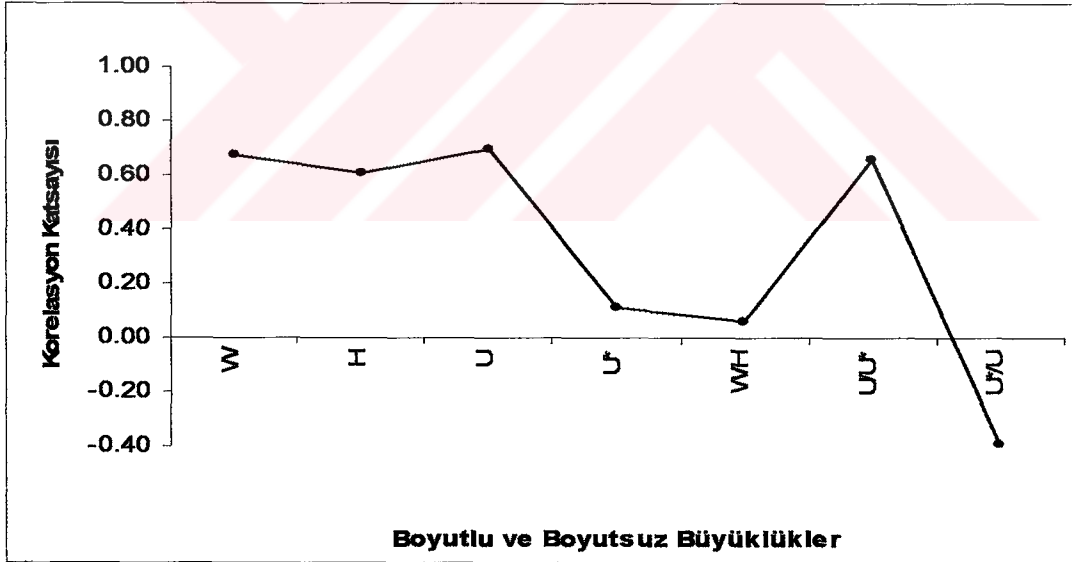
#### 4.4 Bulanık Model

Bulanık modeli iki farklı yaklaşımla geliştirmek mümkündür. Bunlardan bir tanesi Sugeno (1988) diğeri ise Mamdani (1977) yaklaşımıdır. Sugeno (1988) yaklaşımında çıktıları sanal denklem uydurulmakta ve girilen kural ve üyelik fonksiyonu sayısı ve

şekline bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmektedir. Deneme-yanılma ile veya başka yöntemlerle optimum kural sayısı, üyelik fonksiyonu sayısı ve şekli belirlenir. Sonuçta bu verilere bir denklem uydurulmaktadır. Bu yaklaşım, daha çok en küçük kareler yöntemine benzemektedir. Mamdani (1977) yaklaşımında ise herhangi bir yöntemle üyelik fonksiyonlarının sayısı ve şekli belirlendikten sonra kurallar atanır. Mamdani yaklaşımı, Sugeno yaklaşımından farklı olarak herhangi bir bağıntı vermeyip, eldeki verilere benzer sayısal değerler vermektedir. Bulanık model için Mamdani (1977) yöntemi seçilmiştir.

Tablo 4.4 Seçilen verilerdeki değişkenlerin istatistik parametreleri

| İSTATİSTİKLER                     | $D_1$ (m <sup>2</sup> /s) | H (m) | W (m)  | U (m/s) | $U^*$ (m/s) | W/H    | U/ $U^*$ |
|-----------------------------------|---------------------------|-------|--------|---------|-------------|--------|----------|
| Korelasyon Katsayısı ( $D_1$ ile) | 1.00                      | 0.68  | 0.61   | 0.70    | 0.11        | 0.06   | 0.66     |
| Maksimum                          | 1486.45                   | 4.94  | 533.40 | 1.74    | 0.27        | 130.93 | 20.77    |
| Minimum                           | 1.90                      | 0.22  | 11.89  | 0.13    | 0.02        | 13.82  | 2.41     |
| Ortalama                          | 119.76                    | 1.29  | 59.86  | 0.53    | 0.08        | 49.50  | 7.42     |
| Standart Sapma                    | 251.78                    | 1.17  | 76.39  | 0.37    | 0.04        | 28.33  | 4.12     |
| Çarpıklık Katsayısı               | 3.63                      | 1.54  | 4.14   | 1.72    | 2.24        | 1.23   | 1.42     |
| Değişim Katsayısı                 | 2.10                      | 0.91  | 1.28   | 0.70    | 0.55        | 0.57   | 0.55     |

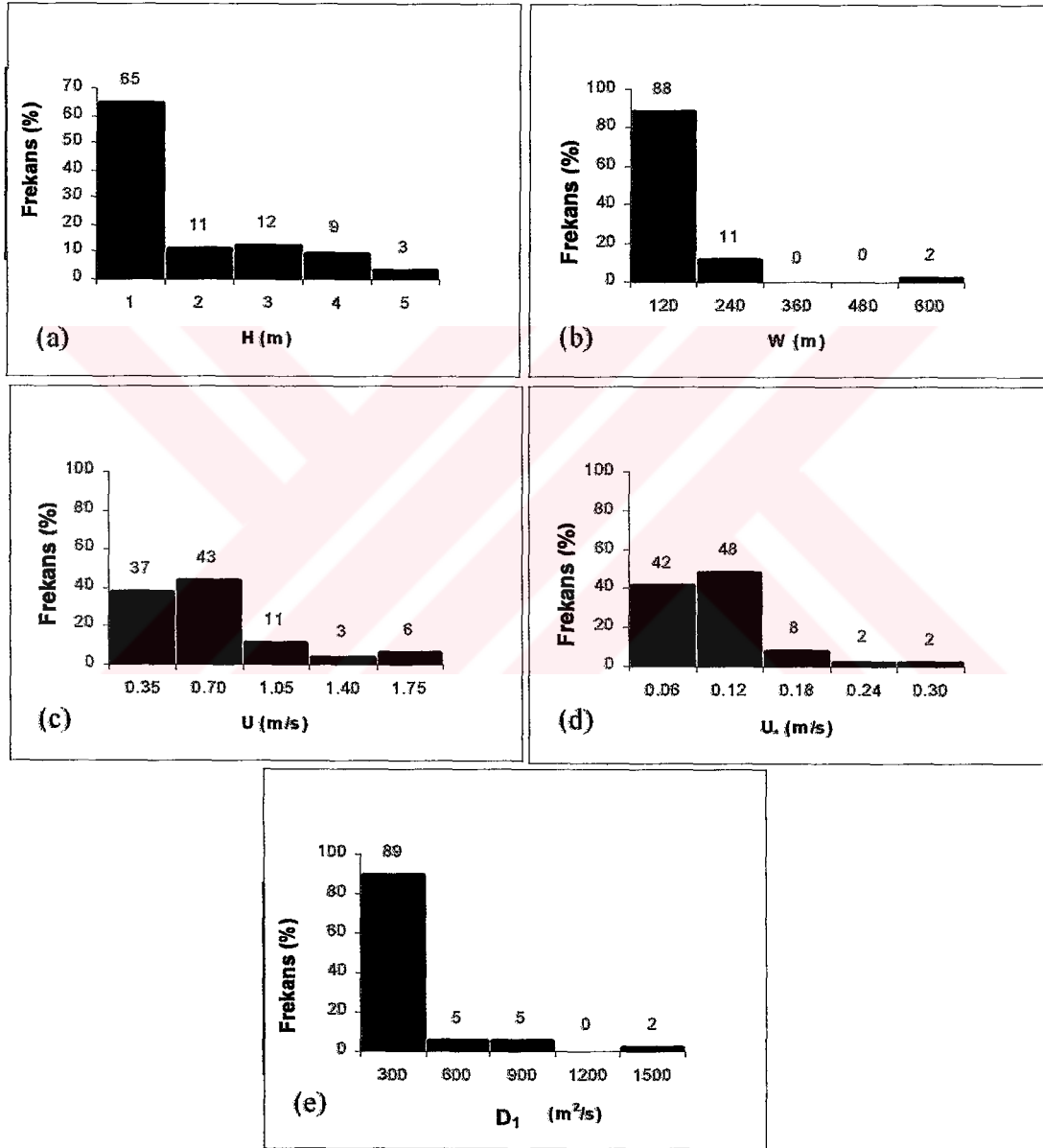


Şekil 4.5 Seçilen veri kümelerindeki boyutlu ve boyutsuz değişkenler ile boyuna yayılma katsayısı arasındaki ilişki

Bulanık model için 65 veri kümesi seçilmiştir. Veri sayısının modeli geliştirmek için yeterli olduğu düşünülmektedir. Literatürde çok daha az veri kümesi ile çalışmış araştırmaya rastlamak mümkündür. Örneğin Seo ve Cheong (1998)'in, 35 veri kümesi üzerinde çalıştıkları görülmüştür. Diğer taraftan bulanık model aynı zamanda

eldeki tüm verilere de uygulanarak ikinci bir testten geçirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Seçilen 65 veri kümesinden 47'si eğitime aşaması yani modelin kalibrasyonu için kullanılmıştır. Bu seçimin özel hiçbir kriteri yoktur. Seçim tamamen rastgele yapılmıştır. Geri kalan veriler ise test aşaması için kullanılmıştır. Test için genellikle az sayıda veri ayrılır.



Şekil 4.6 Seçilen veri kümelerindeki değişkenlerin histogramları

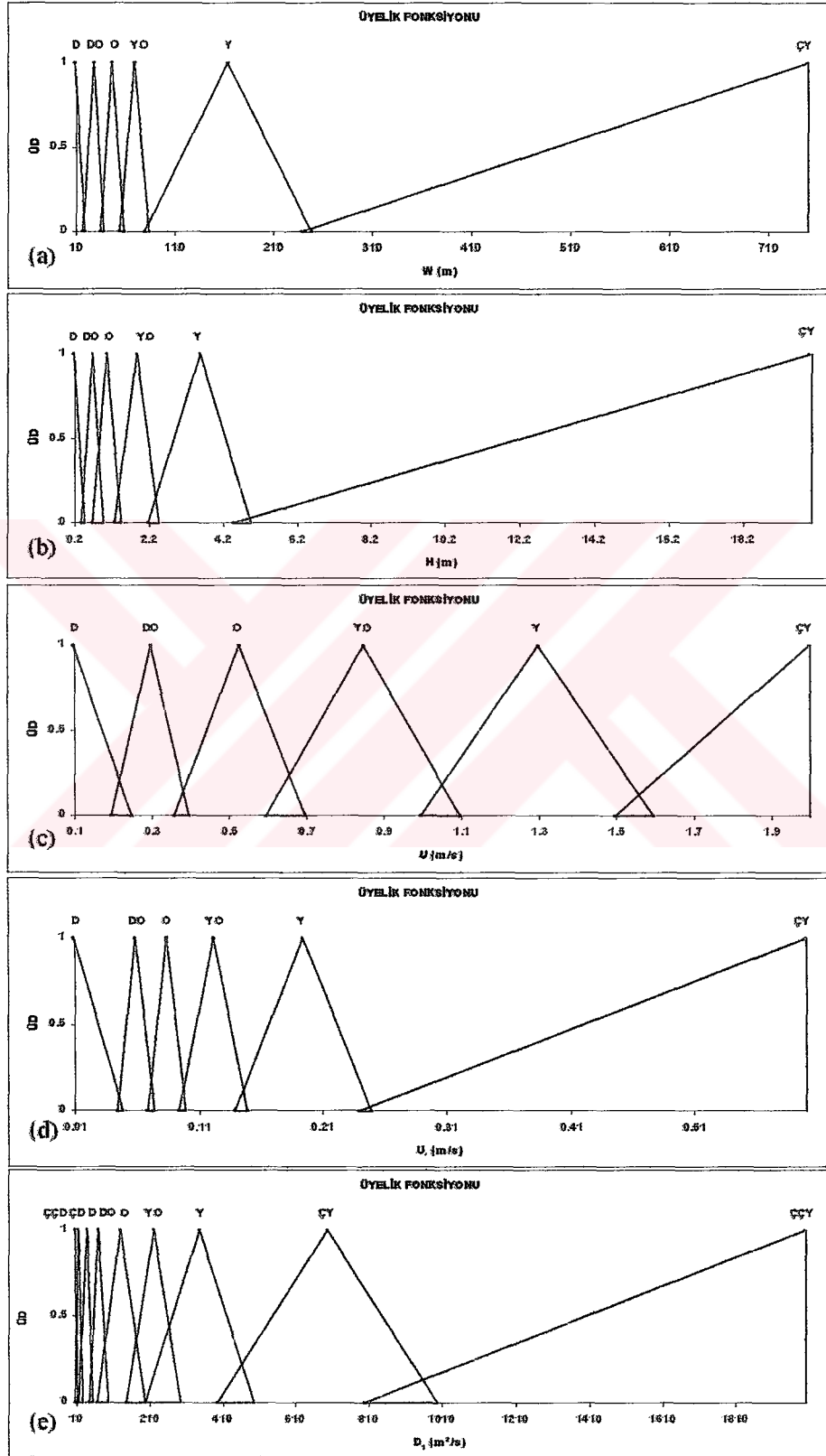
Bulanık sistemin dört girdi ve bir çıktısı bulunmaktadır. Akarsuyun genişliği W (m), derinliği H (m), kesit ortalama hızı U (m/s) ve kayma hızı  $U^*$  (m/s) sistemin girdileri olup boyuna yayılma katsayısı  $D_1$  (m²/s) ise sistemin tek çıktısıdır.

Üyelik fonksiyonları üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 4.7 a-e). Bu seçim, başlıca iki kriter gere göre yapılır. Birincisi, girdilerin çıktı üzerindeki etkisi veya çıktının girdilere tepkisi ki bu uzman görüşü ile belirlenir. İkincisi ise girdinin kendi özelliğinden kaynaklanmaktadır ki, bu da girdilerin veya çıktıların sınır şartlarına bağlıdır (Bölüm 3).

Bulanık sistemin üyelik fonksiyonları sayısı tüm girdiler için altı, çıktı için ise dokuz olarak belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonlarının sayısı ve taban genişliğinin belirlenmesinin birkaç yöntemi vardır (Bölüm 3). Bunlardan iki tanesi bu çalışmada kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler, uzman görüşü ve dağılım yöntemleridir. Bunun için, önce model için seçilmiş olan veri kümelerindeki bağımlı ve bağımsız değişkenlerin dağılım ve histogramları çıkarılmış, verilerin yoğun olduğu aralıklarda fonksiyonların tabanı dar ve sayısı fazla tutulmuştur. Yoğunluğun azalmasına bağlı olarak taban genişletilmiş ve üyelik fonksiyonu sayısı azaltılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının sayısı, hatayı en aza indirecek şekilde belirlenmiştir. Bu çalışmada olduğu gibi durulaştırmanın sentroid metodu ile yapılması durumunda üyelik fonksiyonlarının sayısı artıka hata oranı azalmaktadır. Bu durumda kural sayısı arttığı için buna bağlı olarak programın yükü de artmakta ve programın sağlıklı bir şekilde çalışması güçleşmektedir. Çıktının üyelik fonksiyonu sayısının fazla olması, hatanın azalması açısından uygun görülmüştür. Kısacası hem girdi, hem de çıktılar için optimum üyelik fonksiyonu şekli ve sayısı belirlenmiştir. Ayrıca verilerin çok özel durumları dışında, üyelik fonksiyonları bir miktar iç içe geçmelidir. Aksi halde bazı veri kümeleri için hiçbir kural tetiklenmemekte veya tetiklenme belli bir kural grubu üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu durum programın çalışmasını engellemekte, fakat hata oranının artmasına neden olmaktadır.

Toplam kural sayısı 42 olarak belirlenmiştir. Maksimum kural sayısı girdi sayısı ve girdilerin üyelik fonksiyonlarının kombinasyonu kadardır. Eldeki verilere göre bazen tüm kombinasyonlara gerek duyulmamaktadır. Programın yükünü ağırlaştırmamak için özellikle bundan kaçınılmıştır. Ancak, kural sayısında 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 belirlenmiştir. Kurallar belirlenirken kuralın katkısı, 0 ile 1 arasında değişen bir

ağırlık katsayısı ile belirlenebilir. Burada, yine deneme-yanılma ile bu katsayı 1 olarak alınmıştır.



Şekil 4.7 Model girdilerinin ve çıktısının üyelik fonksiyonları (a)  $W$ , (b)  $H$ , (c)  $U$ , (d)  $U^*$  ve (e)  $D_1$

Durulaştırma için farklı alternatifler söz konusu olup bu alternatiflerin içinden herhangi birinin seçimi yapılan çalışmanın özelliğine bağlıdır. Bundan hareketle durulaştırma alternatifleri içinden amaca en uygun metodun sentroid metot olduğu düşünülmüştür.

#### **4.5 Modelin Sınır Şartları**

Her modelin bazı sınır şartları vardır. Bu şartlar daha çok değişkenlerin sınır şartlarıdır. Bu bağlamda bu model, akarsularda veya akarsulara benzeyen kıvrımlı ve kaplamasız kanallarda, bağımsız değişkenlerin ( $H$ ,  $W$ ,  $U$  ve  $U_*$ ),  $0.2 \text{ m} < H < 20 \text{ m}$ ,  $10 \text{ m} < W < 750 \text{ m}$ ,  $0.1 \text{ m/s} < U < 2 \text{ m/s}$  ve  $0.01 \text{ m/s} < U_* < 0.6 \text{ m/s}$  arasındaki değerleri için geçerlidir.

#### **4.6 Karşılaştırma Kriterleri**

Herhangi bir doğa olayını temsil edecek olan bir model veya bağıntının, doğa olayının tahmininde kullanıldığında, elde edilen sonuçların gerçek ortamdan alınmış verilere benzemesi gerekmektedir. Bu benzerlik aslında elde edilen sonuçların sayısal olarak eldeki verilere benzerliği anlamına gelmektedir. Çeşitli nedenlerle genellikle, tek tek sayısal değerlerin birbirine benzerliği aranmamaktadır. Birebir benzerlik, modelin doğa olayını %100 tahmini anlamına gelmektedir ki, bu çoğu kez yapılan ihmal ve kabuller veya model veya ölçümlerin olası diğer hataları nedeniyle mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte, modelin mümkün olduğunca hatasının en aza indirilmesi gerekmektedir. Çoğu kez veri sayısı çok fazladır. Bu nedenle veriler ile sonuçların, birebir karşılaştırılması çok güç olmakta, hatta bazen mümkün olamamaktadır. Birebir karşılaştırma yapıldığı takdirde dahi araştırmacı açısından bu şekil bir karşılaştırmadan sonuçlar çıkarmak oldukça güç olmaktadır. Bu yüzden bu karşılaştırma çeşitli istatistik parametreler ve bazı hata türleri hesaplanarak parametrelerin benzerliği ve hataların sayısal olarak değerine bakılarak yapılmakta ve modelin başarısı hakkında bilgi edinilmektedir. Model sonuçlarının istatistik parametreleri eldeki verilerin istatistik parametrelerine ne kadar benziyorsa ve hesaplanan hatalar sayısal olarak ne kadar küçük ise model o denli başarılı sayılmaktadır. Bu istatistik parametrelerin başında, “maksimum değerler”, “minimum değerler”, “ortalama”, “standart sapma” veya “varyans”, “çarpıklık katsayısı”, “değişim katsayısı” ve “korelasyon katsayısı” gibi parametreler

gelmektedir. Ayrıca istatistikte farklılıkların veya benzerliklerin ne denli anlamlı olduğunu anlamak için bazı testler kullanılmakta ve gerek duyulduğunda güven aralıkları belirlenmektedir. Bu nedenle istatistik modellerin bir çoğu gerçek verilerin istatistiksel parametrelerinin yakalanması ilkesinden hareketle geliştirilmektedir.

Diğer taraftan, hataların en basiti, model sonuçları ile eldeki veriler arasındaki “ortalama fark (OF)”tır. Burada OF her zaman yeterli olmamaktadır. Pozitif ve negatif farklar bir arada olduğunda, bu farkların ortalaması yanıltıcı olmaktadır. Bu nedenle, aşağıda matematiksel ifadeleri verilecek olan “ortalama karesel hata (OKH)” veya “ortalama karekök karesel hata (OKKH)” hesaplanmaktadır. Oysa küçük değerler arasındaki farklar küçük, büyük değerler arasındaki farklar ise büyüktür. Dolayısıyla, OF, OKH ve OKKH yöntemleri ile hesaplanan hata değerleri, çalışılan konuya bağlı olarak sonuçların sayısal değerlerine göre göreceli olarak değişir. Bu yüzden, tek başına bu hatalar modelin başarısını test etmek için yeterli olmamaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir diğer hata türü de “standart hata” olarak bilinen mutlak hatadır. Bu hata türü, iki değer serisi arasındaki farkın mutlak değeridir. Toplam hata veri sayısına bölünerek ortalama mutlak hata (OMH) hesaplanmaktadır. En çok kullanılan diğer önemli bir hata türü de “rölatif (bağıl) hata”dır. Bu hata türü tahmini değerden ölçülen değer çıkarıldıktan sonra ölçülen değere bölünüp 100 ile çarpılarak hesaplanır. Burada da negatif değerler söz konusu olduğunda, ortalaması yanıltıcı olacağı için genellikle “mutlak rölatif hata” hesaplanmaktadır. Mutlak rölatif hata toplamı, veri sayısına bölünerek ortalama mutlak rölatif hata (OMRH) hesaplanır.

Sonuç olarak, her bir istatistik parametre ve hata türünün kendi başlarına önemli birer anlamı olmakla birlikte, her biri farklı açıdan modeli test ettiği için, tek başlarına modelin veya bağıntının başarısını göstermesi açısından yeterli değildir. Ancak, bu karşılaştırma kriterlerinin, duruma göre birkaç tanesi bir arada değerlendirildiğinde modelin testi için bir anlam ifade edeceği söylenebilir. Ne yazık ki, araştırmacılar genellikle, kendi model veya bağıntı sonuçlarını eldeki verilerle veya başka araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırırken çok az sayıda karşılaştırma kriterini kullanmaktadır.

Bulanık modelin başarısını görebilmek bakımından, hem eğitime hem de test sonuçlarının, gerek veriler ile gerek diğer araştırmacıların bağıntılarının sonuçları ile karşılaştırmak için önceki araştırmacılardan bazılarının yaptığı gibi sadece bir veya

birkaç tane kriterle yetinilmemiştir: Yedi istatistik parametre, dört hata türü ve çok anlamlı fakat literatürde karşılaştırma kriteri olarak fazla kullanılmayan eş yayılma eğrili harita (contour map) yöntemi olmak üzere toplam 12 kriter göz önüne alınmış ve bu kriterler hem tablo, hem de grafiklerle desteklenmiştir. Yaygın olarak kullanıldıkları ve bilindikleri için, eş yayılma eğrili harita yöntemi dışında, diğer karşılaştırma kriterlerini burada açıklamaya gerek duyulmamıştır. Fakat bağıntıları verilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Karşılaştırmada kullanılan bu 12 kriter aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Maksimum değer ( $x_{max}$ )
2. Minimum değer ( $x_{min}$ )
3. Ortalama ( $x_m$ )
4. Standart sapma ( $S_x$ )
5. Çarpıklık katsayısı ( $C_{sx}$ )
6. Değişim katsayısı ( $C_{vx}$ )
7. Korelasyon katsayısı ( $r$ )
8. Ortalama karesel hata (OKH)

$$OKH = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N (D_{1p} - D_{1m})^2 \right] \quad (4.1)$$

9. Ortalama karekök karesel hata (OKKH)

$$OKKH = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N (D_{1p} - D_{1m})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

10. Ortalama mutlak hata (OMH)

$$OMH = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N |D_{1p} - D_{1m}| \right] \quad (4.3)$$

11. Ortalama mutlak rölatif (bağıl) hata (OMRH)

$$OMRH = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N 100 \frac{|D_{1p} - D_{1m}|}{D_{1m}} \right] \quad (4.4)$$

Bu bağıntılarda,  $D_{1p}$  ve  $D_{1m}$  sırasıyla tahmin edilen ve ölçülen boyuna yayılma katsayılarını,  $N$  ise veri sayısını göstermektedir.

12. Kontur harita (contour map) yöntemi.

#### 4.7 Kontur Harita (contour map) Yöntemi

Bu yöntem, karşılaştırma kriteri olarak değil, literatürde eş yükselti eğrili harita, abak ve benzeri grafiklerin çıkarılmasında kullanılmaktadır (Altunkaynak ve diğ., 2002). Ayrıca son zamanlarda, bu yöntemle elde edilen eğrilere denklem uydurup bu denklemleri süperpoze ederek model geliştirmede kullanıldığına seyrek de olsa rastlanmaktadır (Altunkaynak ve diğ., 2003). Bu çalışmada ise farklı ve yeni bir amaçla kullanılmıştır. Üç değişkenli bir grafik olan kontur haritada, bağımsız değişkenler,  $x$  ve  $y$  eksenlerinde gösterilir. Bağımlı değişken değerleri ise, bağımsız değişkenlere bağlı olarak eğriler şeklinde çizilir. Yani grafik üç boyutlu değil, iki boyutludur. Buradaki bağımsız değişkenler  $W/H$  ve  $U/U^*$  boyutsuz büyüklükleri, bağımlı değişken ise boyuna yayılma katsayısıdır. Dolayısıyla “kontur harita” burada “eş dispersiyon eğrili harita” olarak anılacaktır. Çok iyi bilinen eş yükselti eğrili haritadan hiçbir farkı yoktur. Tek fark, eş yükselti eğrili haritada, mesafeler  $x$  ve  $y$  ekseninde gösterilerek eş yükselti eğrileri elde edilirken burada ise,  $W/H$  ve  $U/U^*$  boyutsuz büyüklükleri  $x$  ve  $y$  ekseninde gösterilerek eş yayılma eğrileri elde edilmektedir. Burada büyüklükler özellikle boyutsuz hale getirilmemiştir. Amaç, ikiden fazla (dört) olan bağımsız değişken sayısını, tüm değişkenleri bir arada kullanabilecek şekilde ikiye indirebilmektir. Yöntem, bağıntı veya model geliştirmek veya başka amaçlar için kullanıldığında, bağımsız değişkenlerin birbirine oranlanması veya boyutsuz hale getirilmesi farklı bir anlama gelebilmekte ve yanıltıcı olabilmektedir. Karşılaştırma kriteri olarak kullanıldığı takdirde ve karşılaştırılacak tüm sonuçların değişkenleri de aynı şekilde alındığı takdirde hiçbir karışıklığa veya anlamsızlığa meydan vermemektedir. Bu yöntemde de, diğer grafik yöntemlerinde olduğu gibi ölçek önemlidir. Eldeki verilerin ve model sonuçlarının haritaları aynı veya farklı şekilde ölçeklendirilebilir. Değerlendirmeyi güçleştireceği ve yanılgılara neden olacağı endişesi ile haritalar aynı şekilde ölçeklendirilmiştir.

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.



## 5. UYGULAMA

### 5.1 Giriş

Bulanık model ve bu çalışmada kullanılan değişkenlerle çalışmış altı araştırmacının yedi bağıntısı, hem bulanık modeli geliştirmek için seçilen verilere (eğitme ve test grubu verileri) hem de tüm veri topluluğuna uygulanmıştır. Bu araştırmacılar Elder (1959), Fischer (1975), Koussis ve Mirasol (1998), Seo ve Cheong (1998), Kashefipour ve Falconer (2002)'in iki bağıntısı ve Liu (1977)'dir. Bu çalışmalar, bu bölümde sık sık anılması 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)'in 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.

Birinci uygulamada, modellerin eğitme ve test aşamaları için seçilen verilere uygulamasının sonuçları verilmiştir. Bu uygulamada ayrıca, hem eğitme hem de test grubu verileri için modellerin boyutsuz boyuna yayılma katsayısının tahminindeki performansları da araştırılmıştır. İkinci uygulamada ise modellerin eldeki tüm veri topluluğuna uygulamasının sonuçları verilmiştir. Her iki uygulamanın sonuçları kendi aralarında ve eldeki veriler ile birbirinden farklı 12 kriter esas alınarak karşılaştırılmış ve tablo ve grafiklerle bu karşılaştırmalara görsellik kazandırılarak yorumlar geliştirilmiştir.

### 5.2 Birinci Uygulama

Tablo 5.1'de eğitme grubu verilerinin boyutlu ve boyutsuz bağımsız değişkenleri, boyutlu ve boyutsuz boyuna yayılma katsayıları ve modellerin sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matris şeklinde verilmiştir. Bu tablo, modellerin yalnızca eğitme grubu verileri ile olan ilişkisini değil aynı zamanda kendi aralarındaki ilişkiyi de göstermesi bakımından önemlidir. Buradan hem modellerin performansını, hem

de modellerin birbirinden ne ölçüde etkilendiğini görmek mümkündür. Aynı tablo, ölçülen ve modeller tarafından tahmin edilen boyuna yayılma katsayıları ile boyutlu ve boyutsuz bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonları da vermektedir. Buradan modellerin boyutlu ve boyutsuz değişkenlere nasıl davrandığı konusunda da fikir edinilebilir. KF 1 ve KF 2'nin sonuçları arasında ve bu sonuçlar ile SC'nin sonuçları arasında çok yüksek bir korelasyon katsayısının olduğu görülmüştür. Korelasyon katsayısı iki sayı dizisi arasındaki doğrusal ilişkiyi göstermektedir. Eğer aynı sonuçlar ile veriler arasındaki korelasyon katsayıları da bu kadar yüksek olsaydı kendi aralarında da yüksek bir korelasyonun olması modellerin başarısı olarak yorumlanacaktı. Oysa bağıntıların kendi aralarındaki korelasyon katsayıları bu bağıntılar ile ölçülen veriler arasındaki korelasyon katsayılarından belirgin derecede yüksektir. Bu bağıntılar ile ölçülen veriler arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0.81, 0.89 ve 0.86 iken kendi aralarında bu katsayılar sırasıyla 0.97, 0.99, 0.99 ve 0.99'dur. Bu durum, her üç bağıntının da deterministik olmasına bağlanarak normal karşılanmıştır. Benzer bir durum KM ve LI ile FI'nin sonuçları arasında da görülmüştür. Bunların arasındaki korelasyon katsayıları ise 0.99 olarak hesaplanmıştır. Bu tablodan, sonuçları ile ölçülen veriler arasındaki korelasyon katsayısının en yüksek olduğu modelin bulanık model olduğu ve arkasından KF 1, KF 2 ve SC'nin geldiği görülmüştür.

Tablo 5.1 Eğitim grubu verilerinin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile modellerin birinci uygulama sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matrisi

|                               | H     | W     | U     | U.    | W/H   | U/U.  | U./U    | D <sub>1</sub> /(HU.) | D <sub>1</sub> | D <sub>1</sub> <sup>(1)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(2)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(3)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(4)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(5)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(6)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(7)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(8)</sup> |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-----------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| H                             | 1.00  | 0.81  | 0.58  | 0.23  | -0.04 | 0.45  | -0.345  | 0.198                 | 0.78           | 0.95                          | 0.60                          | 0.74                          | 0.63                          | 0.72                          | 0.73                          | 0.61                          | 0.75                          |
| W                             | 0.81  | 1.00  | 0.53  | 0.05  | 0.35  | 0.53  | -0.367  | 0.257                 | 0.66           | 0.71                          | 0.91                          | 0.89                          | 0.95                          | 0.78                          | 0.84                          | 0.93                          | 0.61                          |
| U                             | 0.58  | 0.53  | 1.00  | 0.56  | -0.01 | 0.72  | -0.606  | 0.245                 | 0.73           | 0.69                          | 0.57                          | 0.75                          | 0.48                          | 0.82                          | 0.80                          | 0.53                          | 0.68                          |
| U.                            | 0.23  | 0.05  | 0.56  | 1.00  | -0.38 | -0.11 | 0.091   | -0.216                | 0.20           | 0.48                          | 0.07                          | 0.17                          | 0.06                          | 0.20                          | 0.19                          | 0.06                          | 0.14                          |
| W/H                           | -0.04 | 0.35  | -0.01 | -0.38 | 1.00  | 0.231 | -0.2296 | 0.2656                | 0.06           | -0.1                          | 0.3                           | 0.21                          | 0.4                           | 0.12                          | 0.158                         | 0.332                         | 0.07                          |
| U/U.                          | 0.45  | 0.53  | 0.72  | -0.11 | 0.23  | 1.00  | -0.8441 | 0.4258                | 0.61           | 0.39                          | 0.56                          | 0.68                          | 0.47                          | 0.73                          | 0.712                         | 0.53                          | 0.60                          |
| U./U                          | -0.34 | -0.37 | -0.61 | 0.09  | -0.23 | -0.84 | 1.00    | -0.3755               | -0.4           | -0.3                          | -0.3                          | -0.4                          | -0.3                          | -0.5                          | -0.45                         | -0.34                         | -0.41                         |
| D <sub>1</sub> /(HU.)         | 0.20  | 0.26  | 0.25  | -0.22 | 0.27  | 0.43  | -0.376  | 1.00                  | 0.46           | 0.15                          | 0.22                          | 0.31                          | 0.18                          | 0.34                          | 0.33                          | 0.20                          | 0.42                          |
| D <sub>1</sub>                | 0.78  | 0.66  | 0.73  | 0.20  | 0.06  | 0.61  | -0.411  | 0.461                 | 1.00           | 0.78                          | 0.58                          | 0.81                          | 0.52                          | 0.89                          | 0.86                          | 0.55                          | 0.97                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(1)</sup> | 0.95  | 0.71  | 0.69  | 0.48  | -0.13 | 0.39  | -0.313  | 0.146                 | 0.78           | 1.00                          | 0.55                          | 0.72                          | 0.57                          | 0.72                          | 0.73                          | 0.56                          | 0.73                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(2)</sup> | 0.60  | 0.91  | 0.57  | 0.07  | 0.30  | 0.56  | -0.341  | 0.217                 | 0.58           | 0.55                          | 1.00                          | 0.93                          | 0.97                          | 0.82                          | 0.88                          | 0.99                          | 0.52                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(3)</sup> | 0.74  | 0.89  | 0.75  | 0.17  | 0.21  | 0.68  | -0.433  | 0.309                 | 0.81           | 0.72                          | 0.93                          | 1.00                          | 0.87                          | 0.97                          | 0.99                          | 0.91                          | 0.76                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(4)</sup> | 0.63  | 0.95  | 0.48  | 0.06  | 0.40  | 0.47  | -0.303  | 0.181                 | 0.52           | 0.57                          | 0.97                          | 0.87                          | 1.00                          | 0.73                          | 0.79                          | 0.99                          | 0.45                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(5)</sup> | 0.72  | 0.78  | 0.82  | 0.20  | 0.12  | 0.73  | -0.454  | 0.342                 | 0.89           | 0.72                          | 0.82                          | 0.97                          | 0.73                          | 1.00                          | 0.99                          | 0.79                          | 0.84                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(6)</sup> | 0.73  | 0.84  | 0.80  | 0.19  | 0.16  | 0.71  | -0.449  | 0.331                 | 0.86           | 0.73                          | 0.88                          | 0.99                          | 0.79                          | 0.99                          | 1.00                          | 0.84                          | 0.81                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(7)</sup> | 0.61  | 0.93  | 0.53  | 0.06  | 0.33  | 0.53  | -0.337  | 0.200                 | 0.55           | 0.56                          | 0.99                          | 0.91                          | 0.99                          | 0.79                          | 0.84                          | 1.00                          | 0.49                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(8)</sup> | 0.75  | 0.61  | 0.68  | 0.14  | 0.07  | 0.60  | -0.405  | 0.425                 | 0.97           | 0.73                          | 0.52                          | 0.76                          | 0.45                          | 0.84                          | 0.81                          | 0.49                          | 1.00                          |

(D<sub>1</sub>) ve (D<sub>1</sub>/HU.) Ölçülmüş veri, <sup>(1)</sup>Elder, <sup>(2)</sup>Fischer, <sup>(3)</sup>Seo ve Cheong, <sup>(4)</sup>Koussis ve diğ.  
<sup>(5)</sup>Kashefipour ve Falconer I, <sup>(6)</sup>Kashefipour ve Falconer II, <sup>(7)</sup>Liu, <sup>(8)</sup>Bulanık Model **EĞİTME AŞAMASI**

Tablo 5.2’de eğitime aşaması için ölçülen veriler ile model sonuçlarının istatistik parametreleri ve modellerin eğitime grubu verilerine göre farklı şekillerde hesaplanmış hataları verilmiştir.

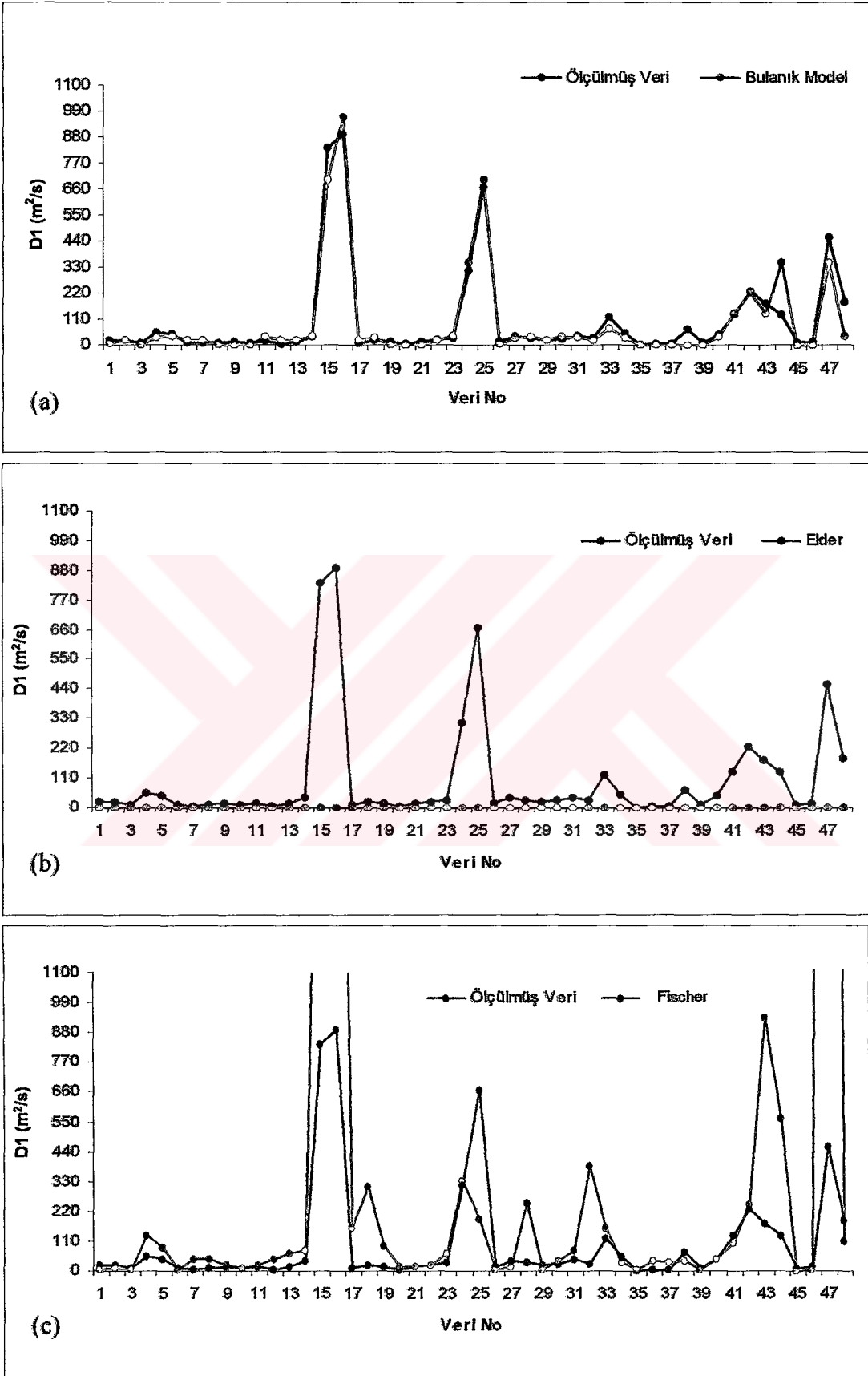
Tablo 5.2 Modellerin birinci uygulama sonuçlarına ait istatistikler ve eğitime grubu verilerine göre hataları

| MODELLER       |   |                                              | İSTATİSTİK PARAMETRELER |           |       |        |          |          |      | HATALAR |      |     |          |
|----------------|---|----------------------------------------------|-------------------------|-----------|-------|--------|----------|----------|------|---------|------|-----|----------|
|                |   |                                              | $X_{Max}$               | $X_{Min}$ | $X_m$ | $S_x$  | $C_{sx}$ | $C_{vx}$ | $r$  | OKH     | OKKH | OMH | OMRH (%) |
| 1              | 2 | 3                                            | 4                       | 5         | 6     | 7      | 8        | 9        | 10   | 11      | 12   | 13  | 14       |
| EĞİTME AŞAMASI | 1 | Ölçülmüş Veriler                             | 891.9                   | 1.9       | 103.2 | 202.8  | 2.9      | 2.0      | 1.00 | 0       | 0    | 0   | 0        |
|                | 2 | Elder (1959)                                 | 2.3                     | 0.1       | 0.5   | 0.6    | 1.8      | 1.2      | 0.78 | 50657   | 32   | 103 | 99       |
|                | 3 | Fischer (1975)                               | 10122.8                 | 2.0       | 450.3 | 1583.9 | 5.4      | 3.5      | 0.58 | 2250343 | 217  | 378 | 288      |
|                | 4 | Liu (1977)                                   | 10885.3                 | 9.4       | 543.8 | 1645.5 | 5.7      | 3.0      | 0.55 | 2524865 | 229  | 453 | 592      |
|                | 5 | Koussis & Mirasol (1998)                     | 2384.4                  | 5.2       | 157.9 | 352.8  | 5.6      | 2.2      | 0.52 | 92562   | 44   | 113 | 252      |
|                | 6 | Seo & Cheong (1998)                          | 1793.0                  | 5.2       | 151.3 | 341.3  | 3.75     | 2.26     | 0.81 | 46358   | 31   | 75  | 124      |
|                | 7 | Kashefipour & Falconer (2002) <sup>(1)</sup> | 1003.3                  | 2.4       | 92.6  | 209.9  | 3.44     | 2.27     | 0.89 | 9665    | 14   | 49  | 93       |
|                | 8 | Kashefipour & Falconer (2002) <sup>(2)</sup> | 1124.4                  | 3.3       | 110.2 | 247.4  | 3.5      | 2.2      | 0.86 | 15450   | 18   | 51  | 93       |
|                | 9 | Bulanık Model                                | 965.2                   | 1.0       | 97.0  | 203.1  | 3.0      | 2.1      | 0.97 | 2501    | 7    | 28  | 63       |

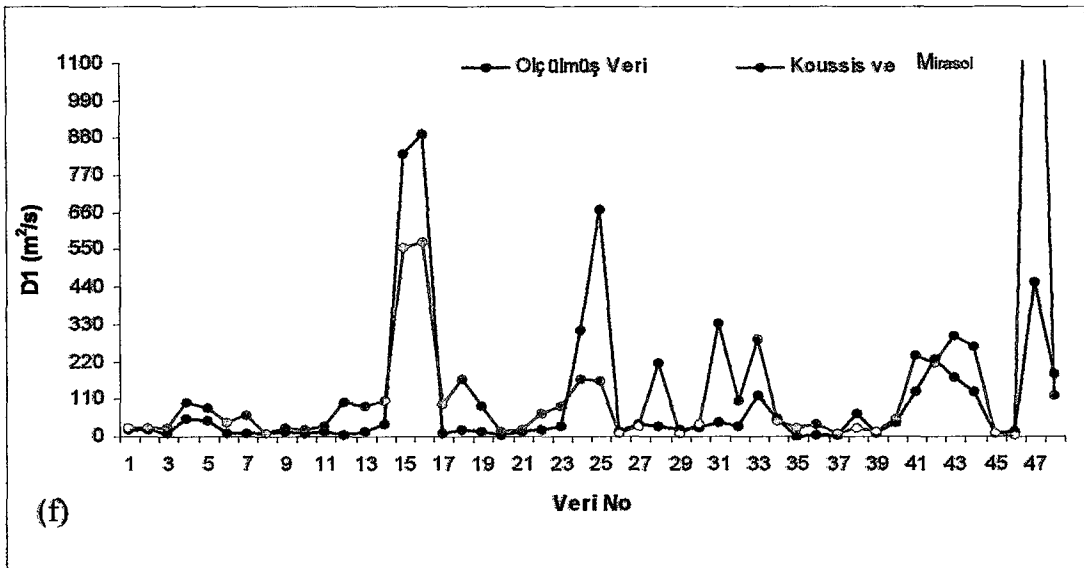
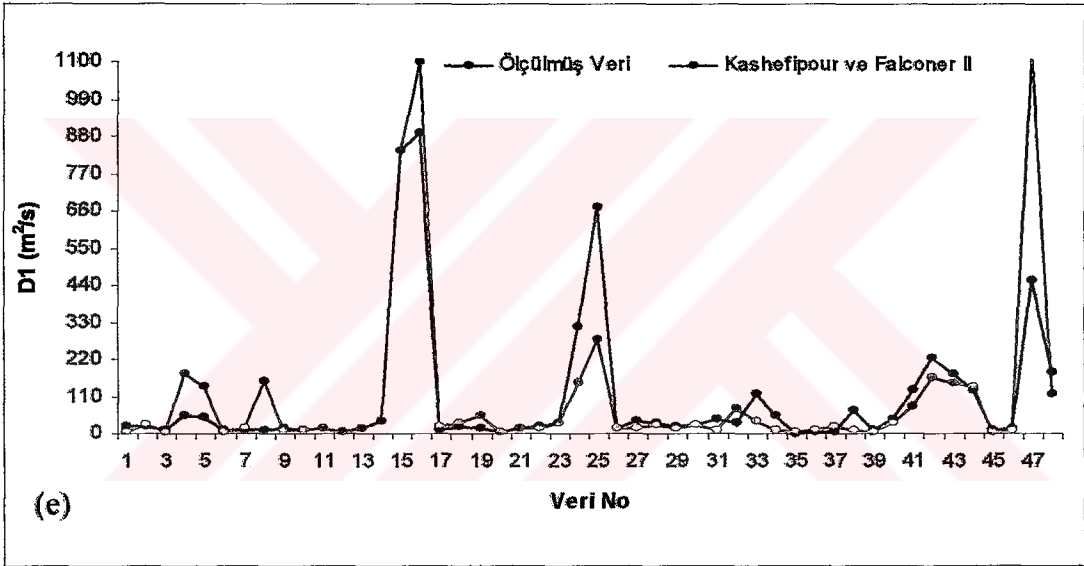
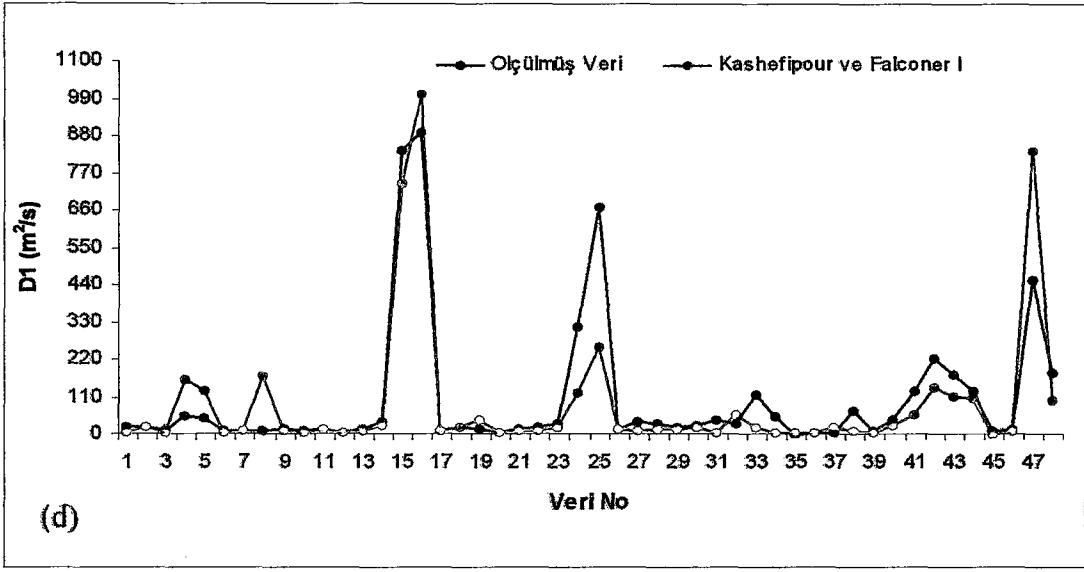
Tablo 5.2’den eğitime aşaması sonuçlarına göre, maksimum, ortalama, standart sapma, çarpıklık, değişim ve korelasyon katsayıları ve her dört hata çeşidine göre veriler ile en uyumlu çalışmanın bulanık model olduğu ve hemen arkasından KF 1, KF 2 ve SC’nin geldiği görülmüştür.

Şekil 5.1’de (a) Bulanık model, (b) EL, (c) FI, (d) KF, (e) KF 2, (f) KM, (g) LI ve (h) SC’nin, eğitime grubu verilerine uygulama sonuçlarının, ölçülen veriler ile karşılaştırması gösterilmiştir.

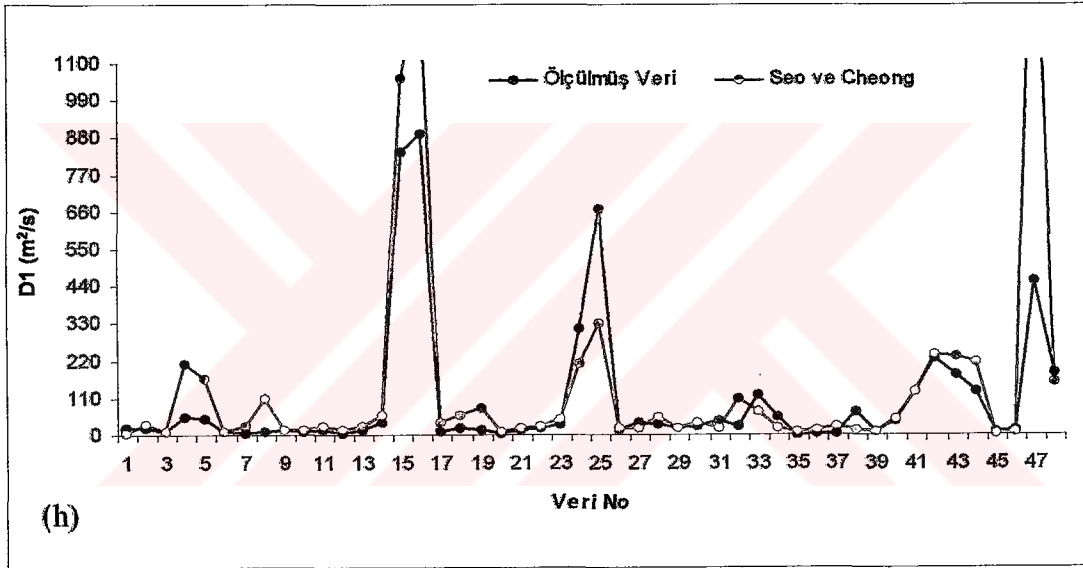
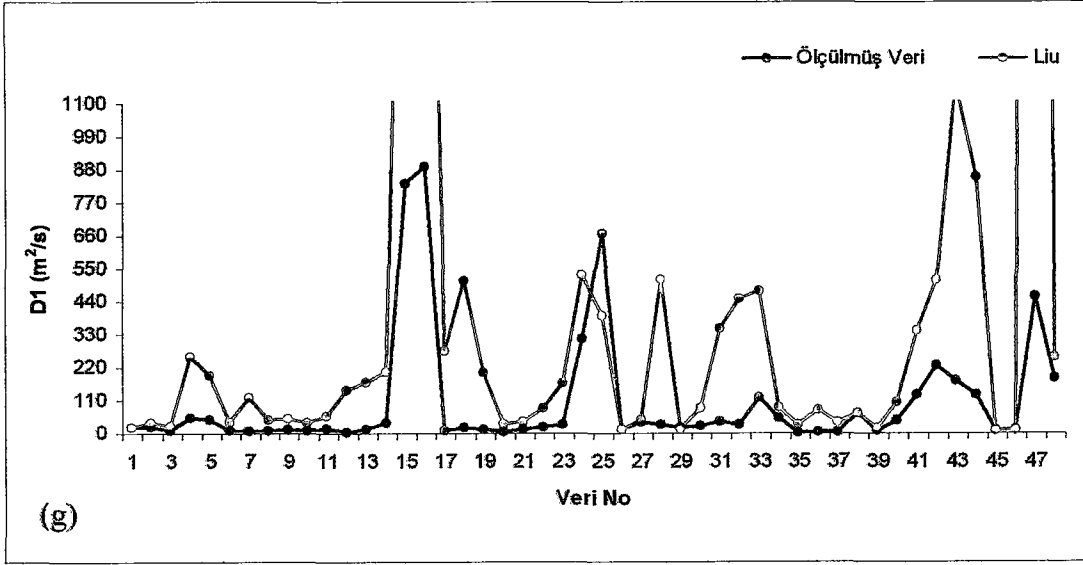
Şekil 5.1’de dikey eksen ölçeği eğitime grubu verilerindeki maksimum boyuna yayılma katsayısı değeri esas alınarak 1100 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle FI, KM, LI ve SC’nin sonuçlarındaki çok yüksek değerler grafik ölçeğinin dışında kalırken, EL’in sonuçları ise çok düşük olduğundan yatay eksene çok yakın seyretmektedir. Diğer taraftan, bulanık model ve KF 1 ve KF 2’nin verilerin grafik ölçeğinde kaldığı ve eğitime grubu verileri ile paralellik sağladığı görülmüştür. Bu durum, söz konusu çalışmaların, sonuçlarının eğitime grubu verilerine yakın, dolayısıyla başarılı olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Şekil 5.1 eğitime grubu verileri ile en uyumlu modelin bulanık model ve arkasından KF 1, KF 2 ve SC’nin geldiğini göstermektedir. Bu nedenle Şekil 5.1’in Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilen sonuçları desteklediği söylenebilir.



Şekil 5.1 Eğitim grubu verileri ile modellerin karşılaştırması, (a) Bulanık model, (b) EL, (c) FI, (d) KF 1, (e) KF 2, (f) KM, (g) LI ve (h) SC



Şekil 5.1'in devamı



Şekil 5.1'in devamı

Tablo 5.3'te test grubu verilerinin boyutlu ve boyutsuz bağımsız değişkenleri, boyutlu ve boyutsuz boyuna yayılma katsayıları ve modellerin sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matris şeklinde verilmiştir. Tablo 5.3'ten, modellerin test grubu verilerine uygulama sonuçlarının, performansları, birbirinden ne ölçüde etkilendikleri, boyutlu ve boyutsuz değişkenlere karşı davranışları açısından eğitime grubu verilerine uygulama sonuçlarını desteklediğini korelasyon katsayılarına bakarak görmek mümkündür.

Tablo 5.4'te test grubu verileri ile model sonuçlarının istatistik parametreleri ve modellerin test grubu verilerine göre farklı şekillerde hesaplanmış hataları verilmiştir. Modellerin, sonuçlarının maksimum, minimum ve ortalamaları, standart

sapma, çarpıklık, değişim ve korelasyon katsayıları ve her dört hata çeşidi esas alınarak yapılan karşılaştırmasında test aşaması sonuçlarına göre verilerle en uyumlu çalışmanın yine bulanık model olduğu ve hemen arkasından KF 1, KF 2 ve SC'nin geldiği görülmüştür. Eğitim ve test aşaması sonuçlarının verildiği Tablo 5.2 ve Tablo 5.4 incelendiğinde modellerin test aşaması sonuçlarının eğitim aşaması sonuçlarını desteklediği görülebilir.

Tablo 5.3 Test grubu verilerinin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile modellerin birinci uygulama sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matrisi

|                               | H     | W     | U     | U.    | W/H   | U/U.  | U/U    | D <sub>1</sub> /(H.U.) | D <sub>1</sub> | D <sub>1</sub> <sup>(1)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(2)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(3)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(4)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(5)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(6)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(7)</sup> | D <sub>1</sub> <sup>(8)</sup> |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| H                             | 1.00  | 0.68  | 0.63  | 0.19  | -0.32 | 0.51  | -0.569 | 0.433                  | 0.58           | 0.86                          | 0.46                          | 0.62                          | 0.12                          | 0.62                          | 0.62                          | 0.47                          | 0.57                          |
| W                             | 0.68  | 1.00  | 0.75  | 0.20  | 0.35  | 0.68  | -0.464 | 0.859                  | 0.92           | 0.49                          | 0.89                          | 0.93                          | 0.58                          | 0.91                          | 0.91                          | 0.94                          | 0.92                          |
| U                             | 0.63  | 0.75  | 1.00  | 0.40  | 0.09  | 0.71  | -0.681 | 0.542                  | 0.67           | 0.66                          | 0.62                          | 0.82                          | 0.45                          | 0.80                          | 0.81                          | 0.73                          | 0.63                          |
| U.                            | 0.19  | 0.20  | 0.40  | 1.00  | 0.39  | -0.19 | 0.146  | -0.142                 | -0.03          | 0.60                          | -0.07                         | 0.07                          | 0.72                          | 0.01                          | 0.03                          | 0.13                          | -0.02                         |
| W/H                           | -0.32 | 0.35  | 0.09  | 0.39  | 1.00  | -0.03 | 0.3058 | 0.2761                 | 0.23           | -0.2                          | 0.3                           | 0.2                           | 0.81                          | 0.15                          | 0.166                         | 0.434                         | 0.23                          |
| U/U.                          | 0.51  | 0.68  | 0.71  | -0.19 | -0.03 | 1.00  | -0.797 | 0.7177                 | 0.76           | 0.2                           | 0.77                          | 0.82                          | 0.19                          | 0.86                          | 0.845                         | 0.75                          | 0.75                          |
| U./U                          | -0.57 | -0.46 | -0.68 | 0.15  | 0.31  | -0.80 | 1.00   | -0.383                 | -0.46          | -0.4                          | -0.43                         | -0.6                          | 0.07                          | -0.6                          | -0.58                         | -0.43                         | -0.44                         |
| D <sub>1</sub> /(H.U.)        | 0.43  | 0.86  | 0.54  | -0.14 | 0.28  | 0.72  | -0.383 | 1.00                   | 0.98           | 0.15                          | 0.99                          | 0.92                          | 0.35                          | 0.92                          | 0.92                          | 0.94                          | 0.98                          |
| D <sub>1</sub>                | 0.58  | 0.92  | 0.67  | -0.03 | 0.23  | 0.76  | -0.462 | 0.977                  | 1.00           | 0.33                          | 0.98                          | 0.97                          | 0.40                          | 0.97                          | 0.97                          | 0.96                          | 1.00                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(1)</sup> | 0.86  | 0.49  | 0.66  | 0.60  | -0.23 | 0.20  | -0.363 | 0.149                  | 0.33           | 1.00                          | 0.2                           | 0.42                          | 0.26                          | 0.39                          | 0.40                          | 0.28                          | 0.30                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(2)</sup> | 0.46  | 0.89  | 0.62  | -0.07 | 0.30  | 0.77  | -0.434 | 0.987                  | 0.98           | 0.20                          | 1.00                          | 0.95                          | 0.42                          | 0.95                          | 0.95                          | 0.97                          | 0.99                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(3)</sup> | 0.62  | 0.93  | 0.82  | 0.07  | 0.20  | 0.82  | -0.571 | 0.917                  | 0.97           | 0.42                          | 0.95                          | 1.00                          | 0.42                          | 0.99                          | 1.00                          | 0.96                          | 0.95                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(4)</sup> | 0.12  | 0.58  | 0.45  | 0.72  | 0.81  | 0.19  | 0.073  | 0.353                  | 0.40           | 0.26                          | 0.42                          | 0.42                          | 1.00                          | 0.38                          | 0.39                          | 0.59                          | 0.39                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(5)</sup> | 0.62  | 0.91  | 0.80  | 0.01  | 0.15  | 0.86  | -0.588 | 0.922                  | 0.97           | 0.39                          | 0.95                          | 0.99                          | 0.38                          | 1.00                          | 1.00                          | 0.95                          | 0.96                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(6)</sup> | 0.62  | 0.91  | 0.81  | 0.03  | 0.17  | 0.85  | -0.583 | 0.922                  | 0.97           | 0.40                          | 0.95                          | 1.00                          | 0.39                          | 1.00                          | 1.00                          | 0.95                          | 0.96                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(7)</sup> | 0.47  | 0.94  | 0.73  | 0.13  | 0.43  | 0.75  | -0.429 | 0.938                  | 0.96           | 0.28                          | 0.97                          | 0.96                          | 0.59                          | 0.95                          | 0.95                          | 1.00                          | 0.95                          |
| D <sub>1</sub> <sup>(8)</sup> | 0.57  | 0.92  | 0.63  | -0.05 | 0.23  | 0.75  | -0.439 | 0.983                  | 1.00           | 0.30                          | 0.99                          | 0.95                          | 0.39                          | 0.96                          | 0.96                          | 0.95                          | 1.00                          |

(D<sub>1</sub>) ve (D<sub>1</sub>/H.U.) Ölçülmüş veri, <sup>(1)</sup>Elder, <sup>(2)</sup>Fischer, <sup>(3)</sup>Seo ve Cheong, <sup>(4)</sup>Koussis ve diğ.  
<sup>(5)</sup>Kashefipour ve Falconer I, <sup>(6)</sup>Kashefipour ve Falconer II, <sup>(7)</sup>Liu, <sup>(8)</sup>Bulanık Model **TEST AŞAMASI**

Tablo 5.4 Modellerin birinci uygulama sonuçlarına ait istatistikler ve test grubu verilerine göre hataları

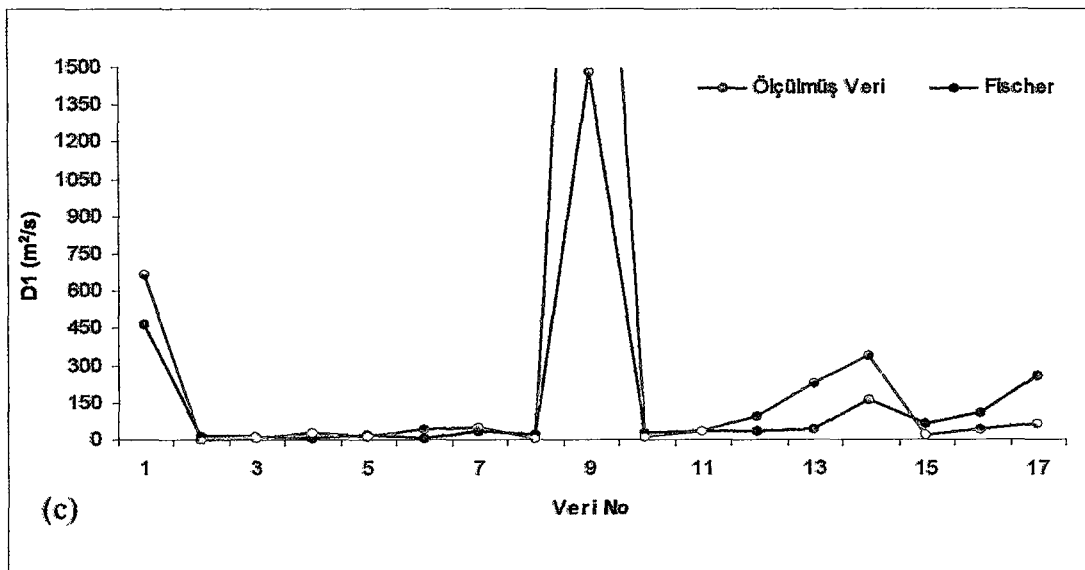
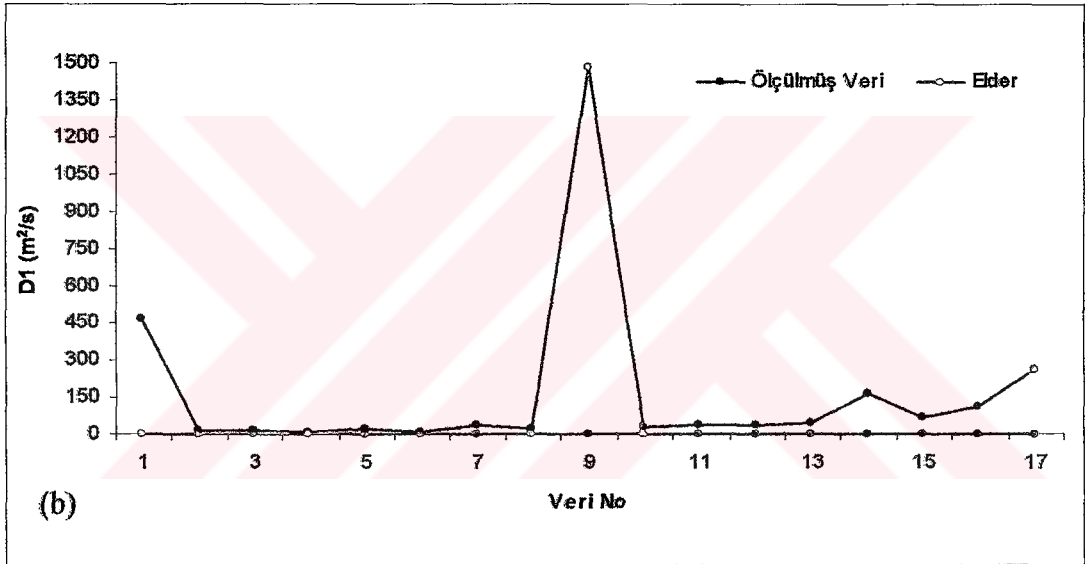
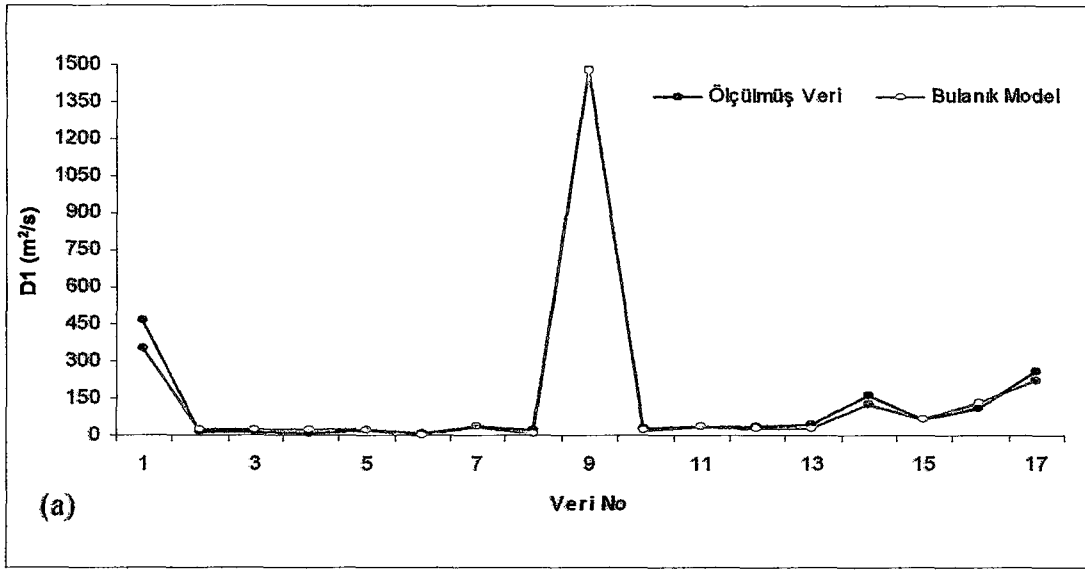
| MODELLER     |   |                                              | İSTATİSTİK PARAMETRELER |                  |                |                |                 |                 |       | HATALAR |      |     |          |
|--------------|---|----------------------------------------------|-------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|---------|------|-----|----------|
| 1            | 2 | 3                                            | X <sub>max</sub>        | X <sub>min</sub> | X <sub>m</sub> | S <sub>x</sub> | C <sub>ax</sub> | C <sub>vx</sub> | r     | OKH     | OKKH | OMH | OMRH (%) |
| 4            | 5 | 6                                            | 7                       | 8                | 9              | 10             | 11              | 12              | 13    | 14      |      |     |          |
| TEST AŞAMASI | 1 | Ölçülmüş Veriler                             | 1486.5                  | 5.9              | 168.5          | 360.0          | 3.5             | 2.2             | 1.00  | 0       | 0    | 0   | 0        |
|              | 2 | Elder (1959)                                 | 2.9                     | 0.2              | 1.1            | 0.9            | 0.7             | 0.8             | 0.330 | 149122  | 94   | 165 | 98       |
|              | 3 | Fischer (1975)                               | 3679.9                  | 3.1              | 314.5          | 883.8          | 3.9             | 2.8             | 0.98  | 292445  | 131  | 193 | 137      |
|              | 4 | Liu (1977)                                   | 2899.4                  | 20.4             | 387.1          | 704.4          | 3.2             | 1.8             | 0.96  | 180372  | 103  | 230 | 326      |
|              | 5 | Koussis & Mirasol (1998)                     | 886.9                   | 9.5              | 159.1          | 218.6          | 2.5             | 1.4             | 0.40  | 108101  | 80   | 155 | 239      |
|              | 6 | Seo & Cheong (1998)                          | 1382.0                  | 7.6              | 208.1          | 345.8          | 2.8             | 1.7             | 0.97  | 9315    | 23   | 64  | 186      |
|              | 7 | Kashefipour & Falconer (2002) <sup>(1)</sup> | 1171.1                  | 2.6              | 163.5          | 292.6          | 2.9             | 1.8             | 0.97  | 10370   | 25   | 63  | 227      |
|              | 8 | Kashefipour & Falconer (2002) <sup>(2)</sup> | 1234.5                  | 4.1              | 178.9          | 308.2          | 2.9             | 1.7             | 0.97  | 8854    | 23   | 62  | 210      |
|              | 9 | Bulanık Model                                | 1473.8                  | 1.0              | 154.9          | 352.1          | 3.7             | 2.3             | 1.00  | 995     | 8    | 17  | 28       |

Şekil 5.2’de (a) Bulanık model, (b) EL, (c) FI, (d) KF 1, (e) KF 2, (f) KM, (g) LI ve (h) SC’nin test grubu verilerine uygulama sonuçları, ölçülen veriler ile grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

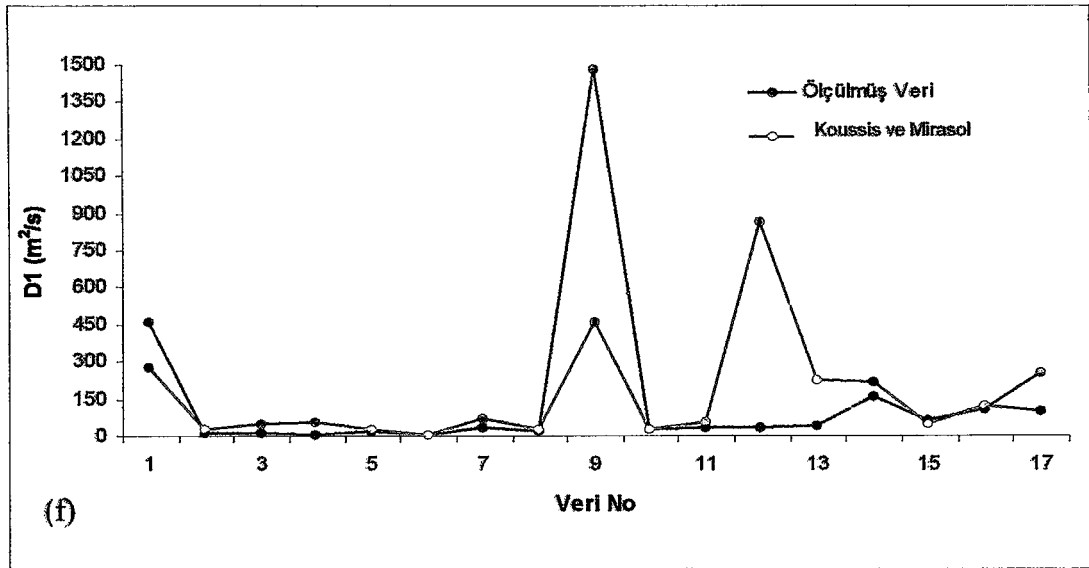
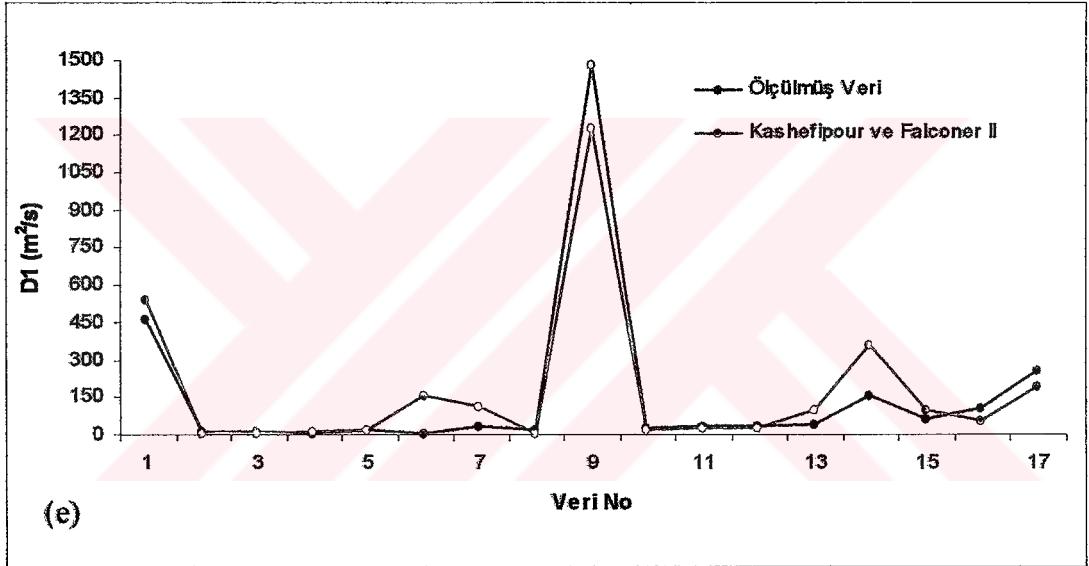
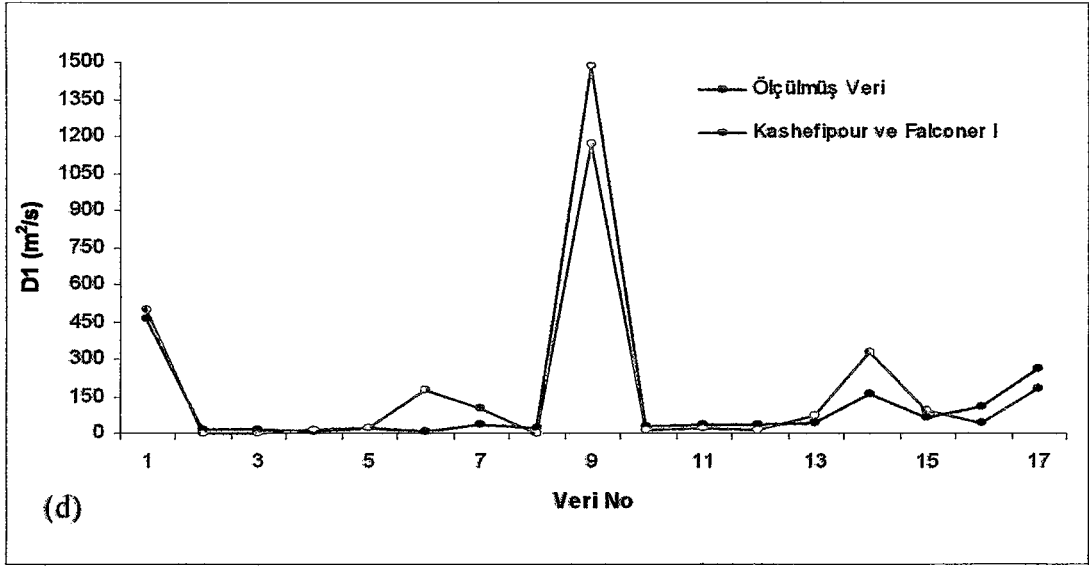
Şekil 5.2’de düşey eksen ölçeği test grubu verilerindeki maksimum boyuna yayılma katsayısı değeri esas alınarak 1500 olarak belirlenmiştir. Modellerin test grubu verilerine uygulanmaları sonucunda, FI ve LI’nin sonuçlarındaki yüksek değerlerin eğitime aşamasındaki gibi grafik ölçeğinin dışında, EL’in sonuçlarının ise yatay eksene çok yakın seyrettiği görülmüştür. Diğer taraftan, KM ile SC’nin sonuçlarının genel olarak verilerden yüksek olduğu fakat eğitime aşamasından farklı olarak grafik ölçeğinin dışında kalmadığı görülmüştür. Bu sonuç, grafik ölçeğinin büyütülmesine bağlanmıştır. Bulanık model, KF 1 ve KF 2’nin sonuçları verilerin grafik ölçeğinde kaldığı ve test grubu verileri ile de paralellik sağladığı görülmüştür. Şekil 5.2’den modellerin test grubu verilerine uygulaması sonucunda bu üç modelin eğitime aşamasındaki gibi veriler ile en uyumlu modeller olduğu anlaşılmıştır. Bulanık modelin test grubu verilerine uygulamasında da modelin, maksimum değerleri büyük bir yaklaşıklıkla tahmin edebildiği dikkat çekmiştir. Bunun yanında, özellikle diğer çalışmaların tahminde başarısız oldukları değerleri bulanık modelin iyi tahmin edebildiği görülmüştür.

Şekil 5.3’te eğitime ve test grubu verileri ile modellerin sonuçlarının saçılma diyagramları bir arada verilmiştir. Saçılma diyagramlarında yatay ve düşey eksenlerin ölçeği her iki grup verideki boyuna yayılma katsayısının maksimum değeri esas alınarak 1500 olarak belirlenmiştir. Modellerin eğitime ve test grubu verilerine uygulama sonuçları aynı saçılma diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Böylece, modellerin eğitime ve test grubu verilerine karşı davranışlarının bir arada yorumlanabilmesi olanağı sağlanmıştır.

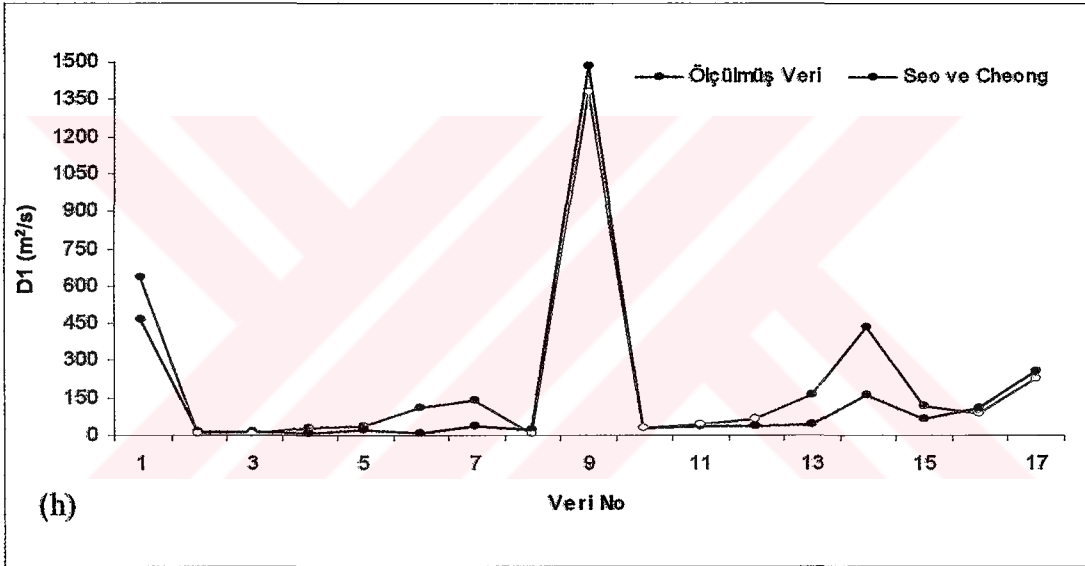
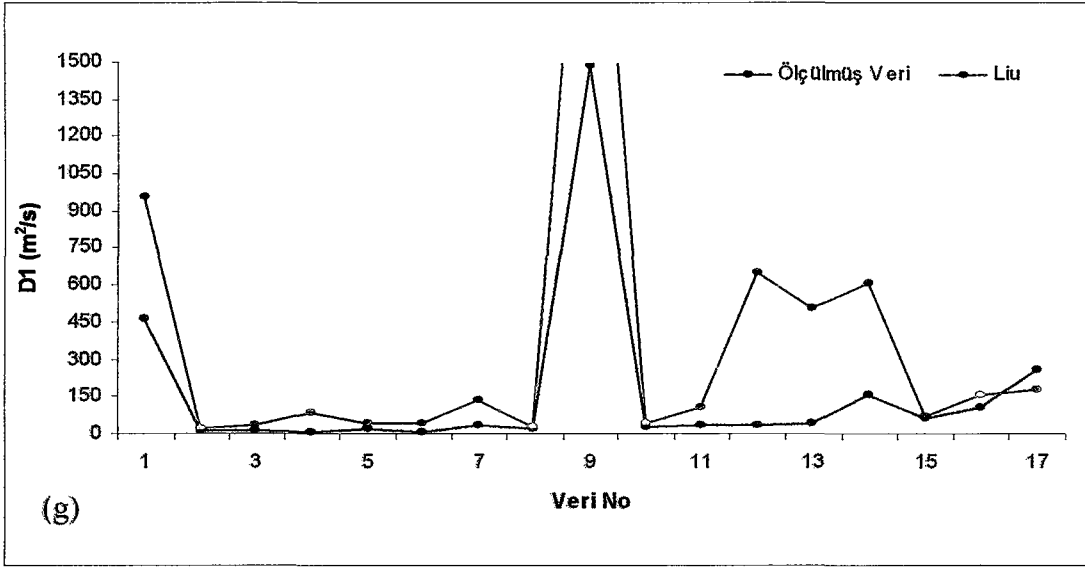
Şekil 5.3 (a)’da bulanık modelin sonuçlarının eksen takımı ile yaklaşık 45°’lik bir açı yapan doğrusal bir trende sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, bulanık modelin uygunluğunu gösterir. Aralarındaki korelasyon katsayısının yüksek olması da bu yorumu desteklemektedir.



Şekil 5.2 Test grubu verileri ile modellerin karşılaştırması, (a) Bulank model, (b) EL, (c) FI, (d) KF 1, (e) KF 2, (f) KM, (g) LI ve (h) SC

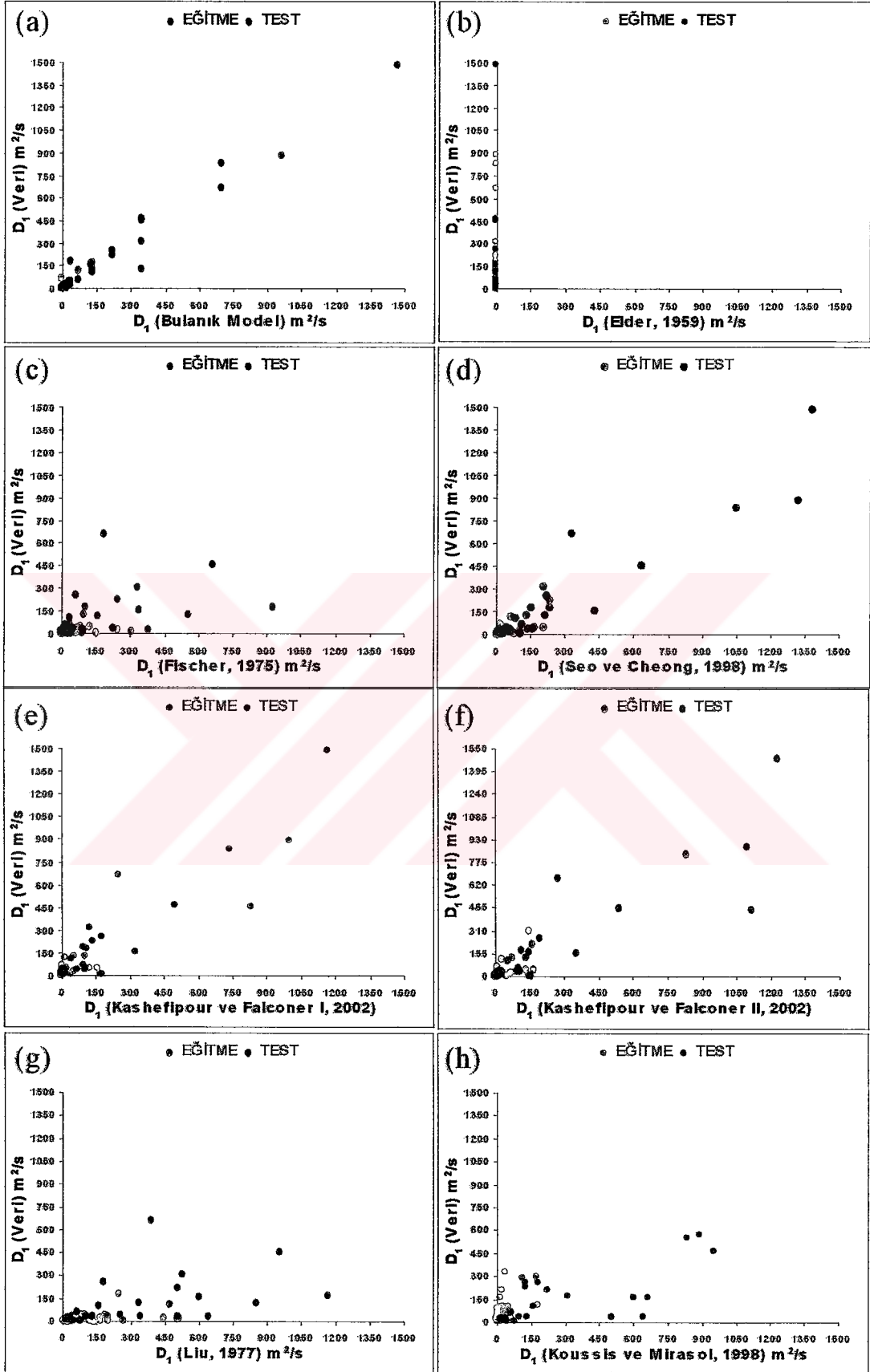


Şekil 5.2'nin devamı



Şekil 5.2'in devamı

Şekil 5.3'ten görüldüğü üzere KF 1, KF 2 ve SC'nin bulanık modelden sonra veriler ile en uyumlu olan çalışmalar olduğu söylenebilir. EL'in sonuçlarının ise düşey eksene yakın ve ona paralel olduğu görülmüştür. Bu durum EL'in sonuçlarının eldeki verilere göre çok küçük olmasına bağlanmıştır.



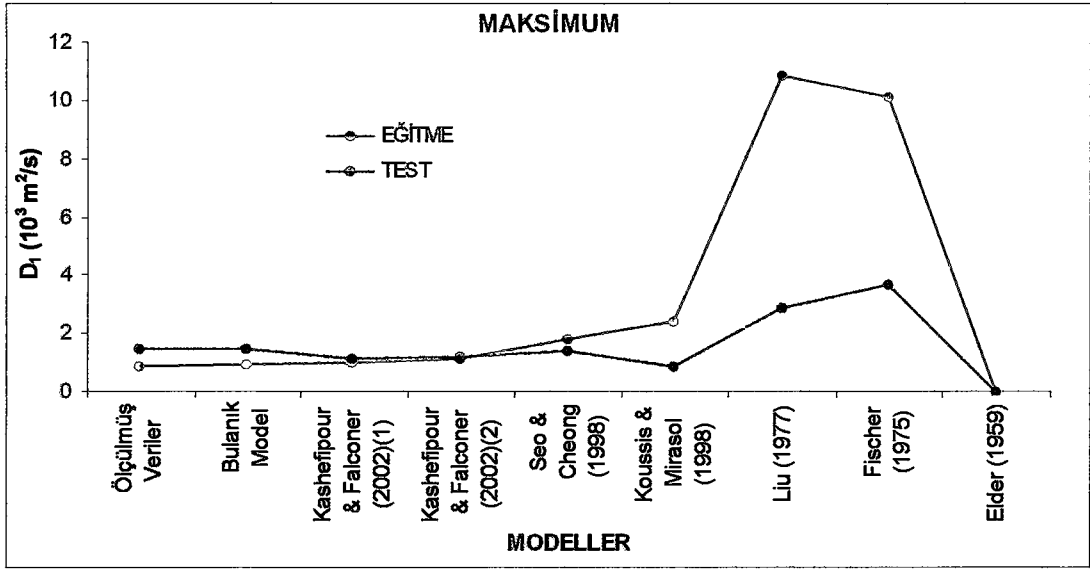
Şekil 5.3 Eğitim ve test grubu verileri ile model sonuçlarının saçılma diyagramları  
(a) Bulanık model, (b) EL, (c) FI, (d) SC, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) LI ve (h) KM

Bulanık model, eğitime grubu verileri esas alınarak geliştirilmiş, test grubu verileri ile de test edilmiştir. Modelin, test grubu verilerine uygulamasından elde edilen sonuçların eğitime grubu verilerine uygulamasından elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermesi, modelin tutarlılığını göstermektedir. Uygulama sonuçlarının eldeki veriler ile uyumlu olması ise modelin başarısını göstermektedir. Burada, modelin eğitime veya test grubu verilerine uygulamalarından sadece birinde başarılı olması, modelin başarılı olduğunu söylemek için yeterli değildir. Önemli olan, her iki uygulama sonucunun birbiri ile paralellik göstermesidir. Model, uygulamaların birinde iyi, diğerinde kötü sonuçlar vermiş olsaydı, modelin tutarsızlığı söz konusu olacaktı ki bu durumdan, modelin yeterince güven veremediği sonucu çıkarılabilirdi. Eldeki veriler ile diğer çalışmalardan daha uyumlu olması ise bulanık modelin diğer çalışmalardan daha başarılı olduğu şeklinde değerlendirilmiştir. Bu nedenle, bulanık modelin test grubu verilerine uygulamasının sonuçları, modelin davranışını görmek bakımından önemlidir. Diğer çalışmaların sonuçları ile aynı şartlarda karşılaştırma yapabilmek için diğer çalışmalar da her iki veri grubuna ayrı ayrı uygulanmış sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Ancak sadece Tablo 5.1-5.4 ve Şekil 5.1-5.3 ile yetinmenin yetersiz olacağı düşünülerek diğer karşılaştırma kriterleri kullanılarak incelemeye devam edilmiştir.

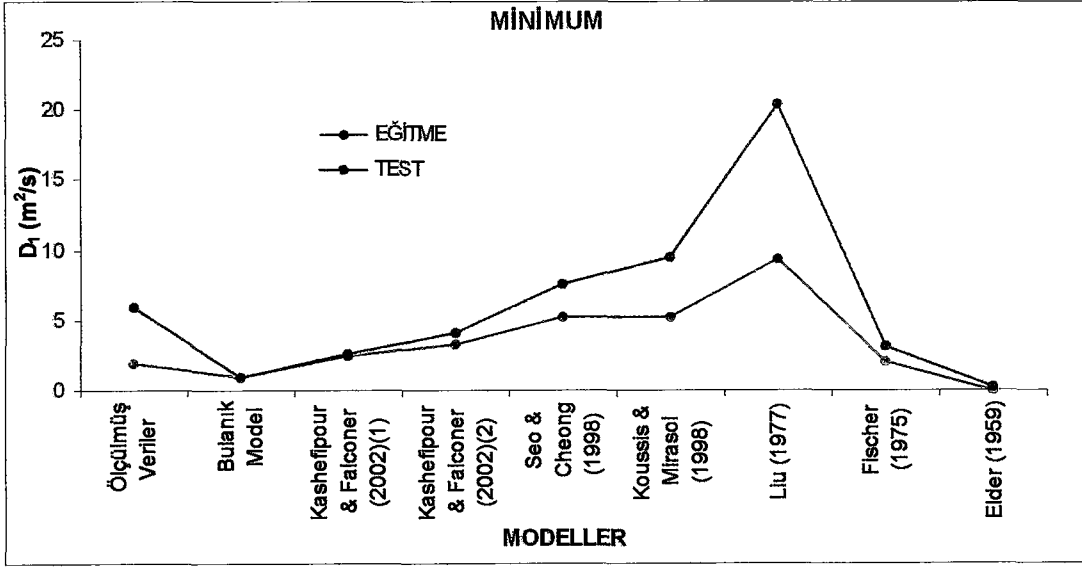
Eğitime ve test sonuçlarını karşılaştırma kriterleri ışığında aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

1. Şekil 5.4'te verilerin ve model sonuçlarının maksimum değerleri bir arada verilerek karşılaştırılmıştır. Eğitime aşaması sonuçlarına göre verilerin 881.9 olan maksimum değerine en yakın maksimumun 965 yaklaşık değeri ile bulanık model sonuçlarına ait olduğu, daha sonra 1003, 1124, 1793 yaklaşık değerleri ile sırasıyla KF 1, KF 2 ve SC'nin verilerinkine en yakın maksimumlara sahip olduğu görülmüştür. EL, LI ve FI'nin sonuçlarının ise sırasıyla 2.3, 10885 ve 10123 olan maksimum değerleri ile maksimum değerler açısından veriler ile en uyumsuz çalışmalar olduğu görülmüştür.



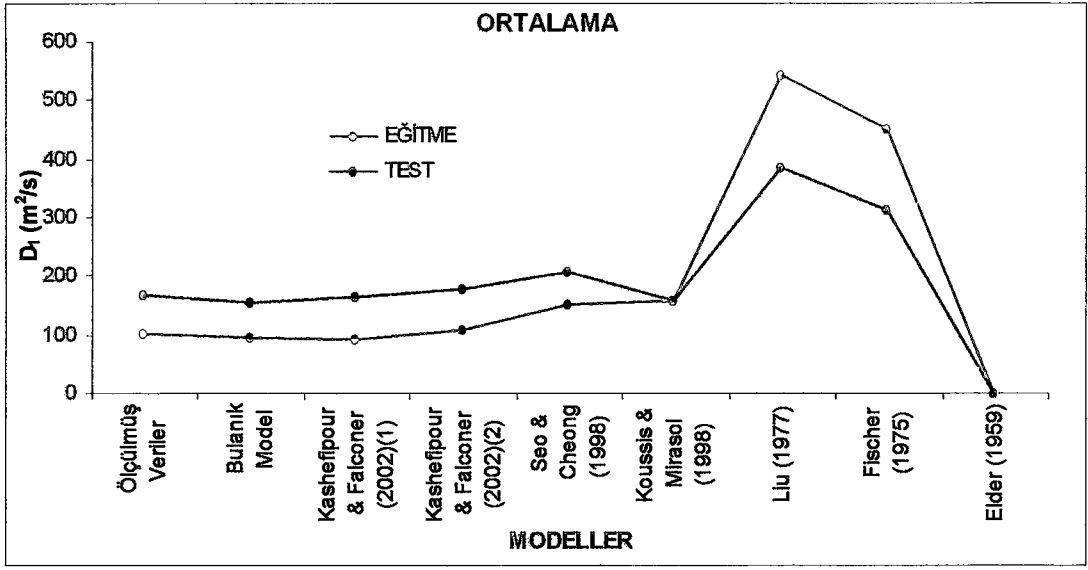
Şekil 5.4 Verilerin ve model sonuçlarının maksimum değerleri

- Şekil 5.5'te verilerin ve model sonuçlarının minimum değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre, minimum değerler açısından maksimum değerler için yapılan sıralamanın biraz değiştiği görülmekle birlikte, bu değişikliğin dikkate değer bir ölçüde olmadığı söylenebilir. Eğitim grubu verileri için minimumlar açısından en uyumlu çalışmanın FI olduğu görülmektedir. Arkasından sırasıyla KF 1, KF 2 ve az bir farkla bulanık model gelmektedir. Test sonuçları ile eğitim sonuçları arasındaki fark nedeniyle minimum değerler açısından hassas bir karşılaştırmaların yapılması güçtür. Çünkü, LI hariç hemen hemen tüm çalışmaların minimum değerleri birbirine yakındır. Sonuç değerlerinin tümü verilerin minimum değerine yakınlık gösterdiği için EI'nin buradaki başarısı yanıltıcı olduğu söylenebilir. Maksimum değerleri, eğitim grubu için oldukça yüksek olan (10885.3 ve 10122.8 m<sup>2</sup>/s) LI ve FI'nin minimum değerlerinin ise çok düşük olması dikkat çekicidir. Diğer taraftan test grubu için, LI'nin sonuçlarındaki maksimum değer çok yüksek olmadığı halde minimum değer çok yüksektir (20.4 m<sup>2</sup>/s).

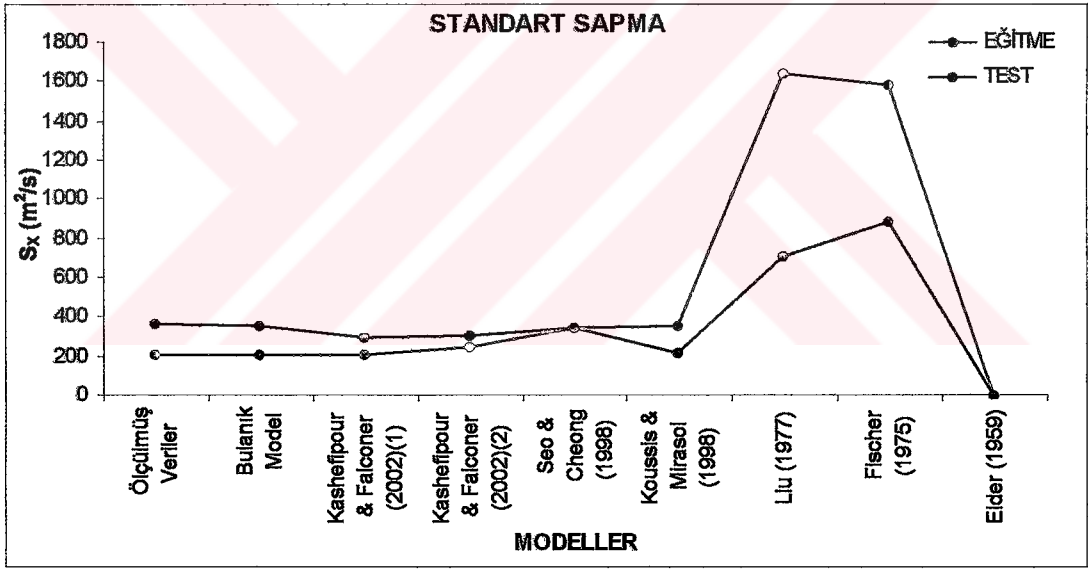


Şekil 5. 5 Verilerin ve model sonuçlarının minimum değerleri

- Şekil 5.6'da verilerin ve model sonuçlarının ortalama değerleri karşılaştırılmıştır. Ortalamalar açısından sırasıyla bulanık model, KF 1, KF 2, ve SC'nin verilerinkine en yakın ortalamalara sahip olduğu ve LI, FI ve EL'in ise uyumlu olmadığı görülmüştür.
- Şekil 5.7'de verilerin ve model sonuçlarının standart sapmaları verilmiştir. Standart sapmaları açısından eğitime grubu veriler için sırasıyla bulanık model, KF 1, KF 2 ve SC; test grubu için ise bulanık model, SC, KF 2 ve KF 1'in en iyi uyumu gösterdiği görülmüştür. LI ve FI'nin standart sapmalarının verilerinkine göre yüksek, EL'in ise düşük olduğu dikkat çekmiştir.
- Şekil 5.8'de verilerin ve model sonuçlarının çarpıklık katsayıları karşılaştırılmıştır. Bulanık model ve KF 1, KF 2 ve SC başta olmak üzere hemen hemen tüm çalışmaların sonuçlarının, verilerin çarpık dağılımını koruduğu görülmüştür. EL'in sonuçlarının yine yanıltıcı olabileceği düşünülmüştür. Çünkü tüm değerleri zaten düşük ve birbirine yakındır. Dolayısıyla çarpıklık katsayısı düşüktür. Burada önemli olan, model sonuçlarının, verilerin sahip olduğu çarpıklığı korumasıdır. Bu yönü ile en uyumlu çalışmanın bulanık model olduğu görülmüştür.

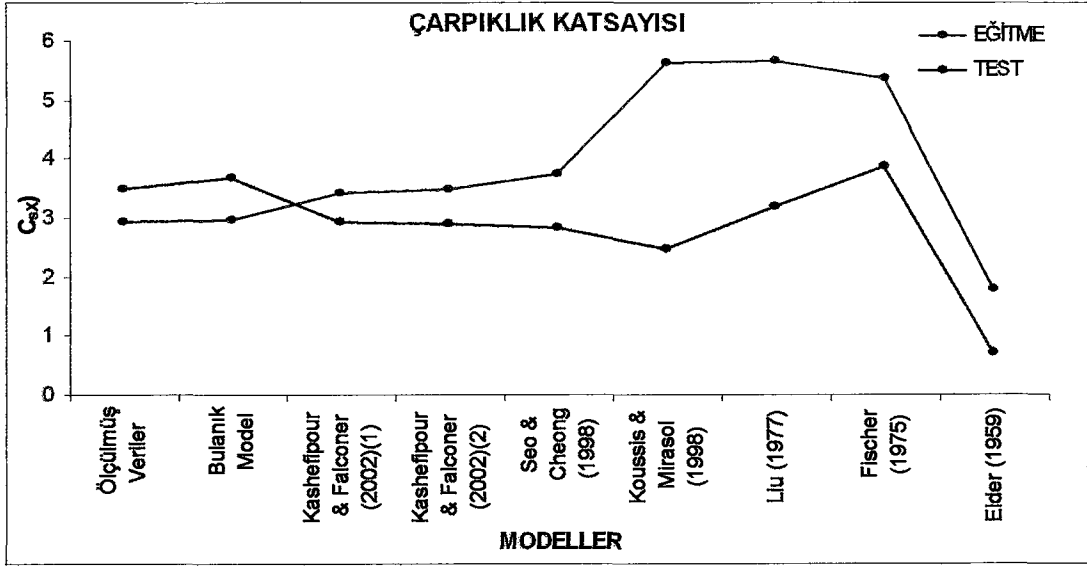


Şekil 5. 6 Verilerin ve model sonuçlarının ortalama değerleri

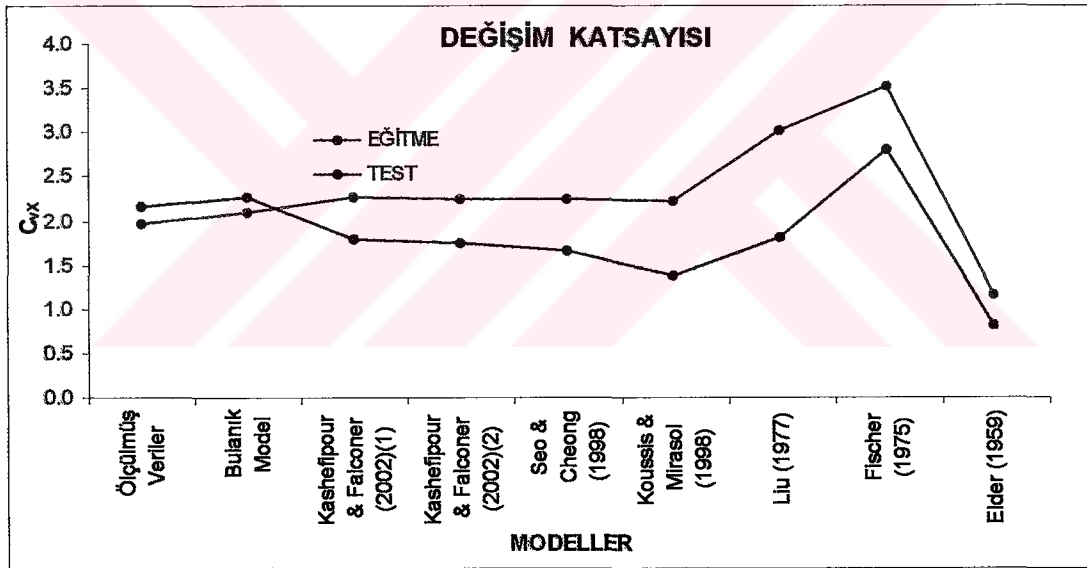


Şekil 5. 7 Verilerin ve model sonuçlarının standart sapmaları

6. Şekil 5.9'da verilerin ve model sonuçların değişim katsayıları karşılaştırılmıştır. Buna göre değişim katsayıları açısından eğitime grubu veriler için sırasıyla bulanık model, KF 2, KM, SC ve KF 2; test grubu için bulanık model, KF 1, LI, SC ve KF 2'nin en iyi uyumu gösterdiği görülmüştür.



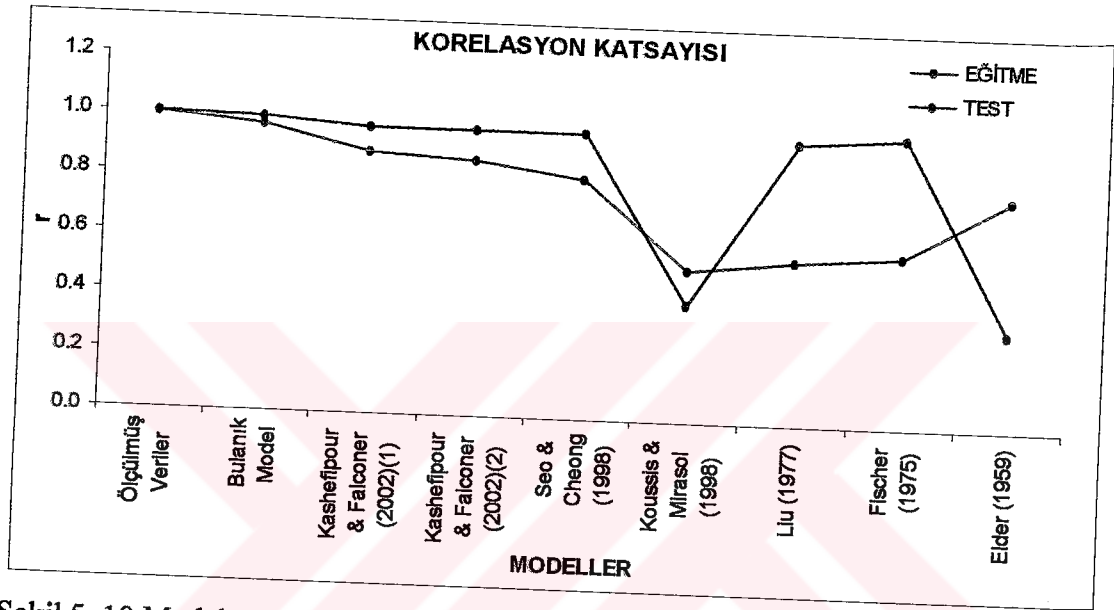
Şekil 5. 8 Verilerin ve model sonuçlarının çarpıklık katsayıları



Şekil 5. 9 Verilerin ve model sonuçlarının değişim katsayıları

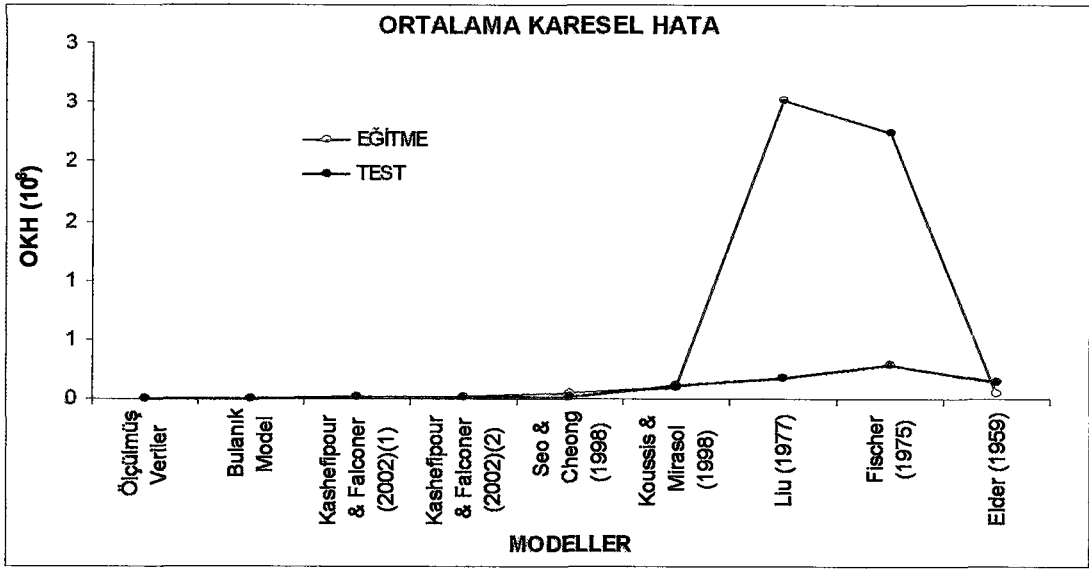
- İstatistik parametrelerin en önemlisi olarak bilinen korelasyon katsayıları açısından en iyi çalışma olarak görünen bulanık model ile veriler arasındaki korelasyon katsayısı, eğitime sonuçlarına göre 0.97 ve test sonuçlarına göre de 0.99 olarak bulunmuştur. Bu katsayı, KF 1 ve KF 2'nin sonuçları için 0.89-0.86 ve 0.97-0.97; SC'nin sonuçları için de 0.81-0.97 olarak hesaplanmıştır. Diğer çalışmaların sonuçları ile verilerin arasındaki korelasyon katsayısının da, özellikle test grubu verileri için yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte korelasyon katsayısı tek başına bir modelin başarılı veya başarısız olduğunu söyleyebilmek için yeterli bir parametre

değildir. Burada da bunun böyle olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Test grubu verileri için FI ve LI'nin sonuçları ile veriler arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0.98 ve 0.96 olduğu halde diğer istatistiksel karşılaştırmalardan bu modellerin sonuçlarının veriler ile iyi bir uyum içinde olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, çalışmada korelasyon katsayısına gereğinden fazla güvenilmemiş ve bir çok kriter esas alınarak sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.



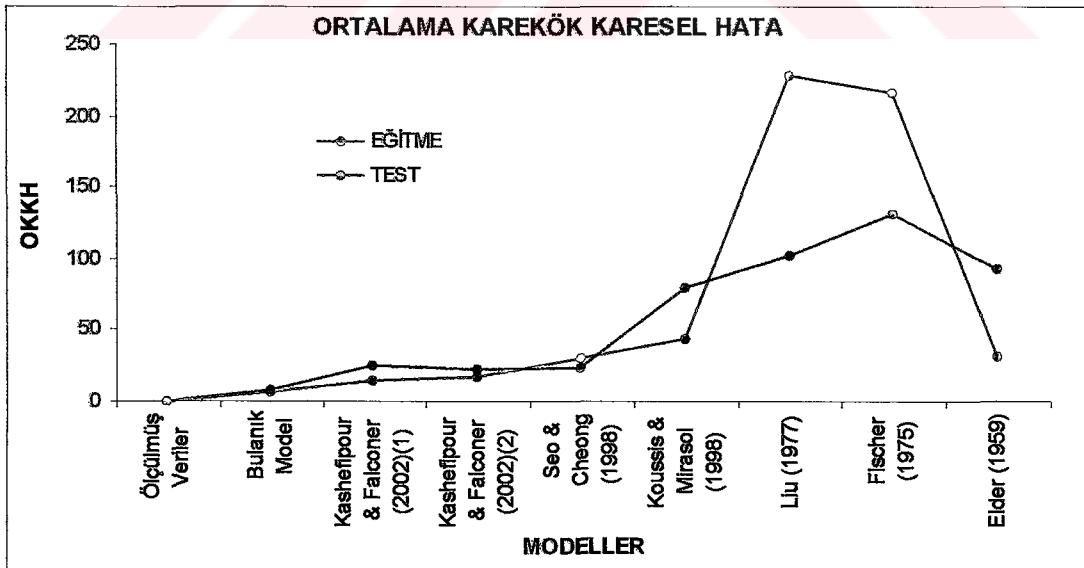
Şekil 5. 10 Model sonuçları ile veriler arasındaki korelasyon katsayıları

8. Şekil 5.11'de modellerin eğitime ve test grubu verilerine göre ortalama karesal hataları (OKH) karşılaştırılmıştır. OKH'sı 2501 olarak hesaplanan bulanık modelin hatası en düşük olan model olduğu görülmüştür. Daha sonra sırasıyla, 9665 ve 15450 OKH değerleri ile KF 1, KF 2 ve 46356 değeri ile SC'nin takip ettiği görülmüştür. Diğer karşılaştırma kriterlerindeki sıralamadan farklı olarak EL de, OKH açısından SC'den hemen sonra geldiği görülmüş, fakat bu sıralamada EL'in sonuçlarının tümünün düşük ve birbirine yakın olmasının etkisi olduğu düşünülmüştür. Diğer çalışmaların sonuçlarında, OKH'yı yüksek tutacak oldukça yüksek değerler bulunmaktadır. Örneğin LI ve FI'nin sonuçlarında sırasıyla, 10885 ve 10123 gibi maksimum değerlerinin yanında, oldukça yüksek başka değerler de bulunmaktadır.



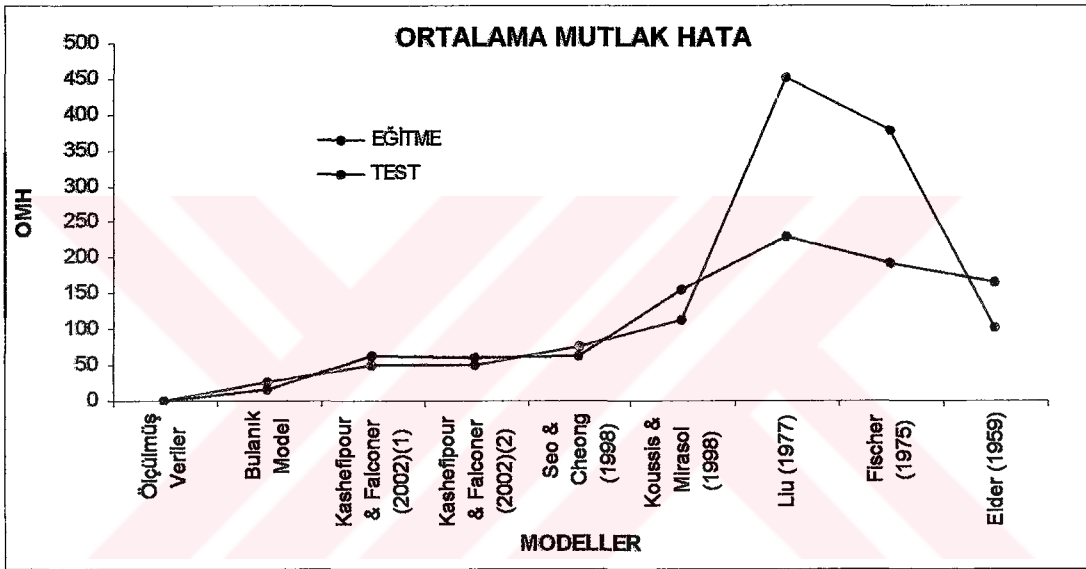
Şekil 5.11 Modellerin verilere göre ortalama karesel hataları

9. Şekil 5.12’de modeller eğitime ve test grubu verilerine göre ortalama karekök karesel hataları (OKKH) açısından karşılaştırılmıştır. OKH kriterine göre çalışmaların mevcut sıralamasının bu karşılaştırmaya göre değişmediği ve hatası en düşük ilk dört çalışmanın eğitime grubu verileri için sırasıyla 7, 14, 18 ve 31 ve test grubu verileri için ise 8, 25, 23 ve 23 değerleri ile bulanık model ve KF 1, KF 2 ve SC olduğu görülmüştür.



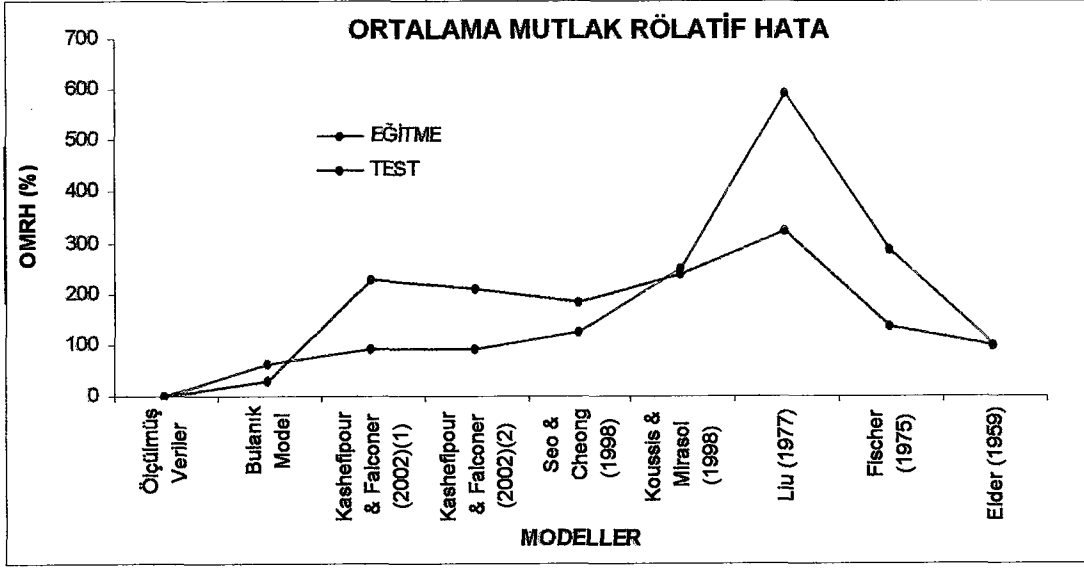
Şekil 5.12 Modellerin verilere göre ortalama karekök karesel hataları

10. Şekil 5.13'te modeller, eğitime ve test grubu verilerine göre ortalama mutlak (standart) hataları (OMH) açısından karşılaştırılmıştır. OMH'ya göre de ilk iki hata türüne göre oluşan sıralamanın aynen korunduğu görülmüştür. Buna göre hatası en düşük ilk dört çalışmanın, eğitime grubu verileri için 26, 49, 51 ve 75 ve test grubu verileri için 17, 63, 62 ve 64 değerleri ile yine bulanık model, KF ve SC olduğu görülmüştür. FI ve LI'nin, 193 ve 230 gibi yüksek OMH değerleri ile, bu hata kriteri açısından çalışmaların içinde son sırada yer aldığı görülmüştür.



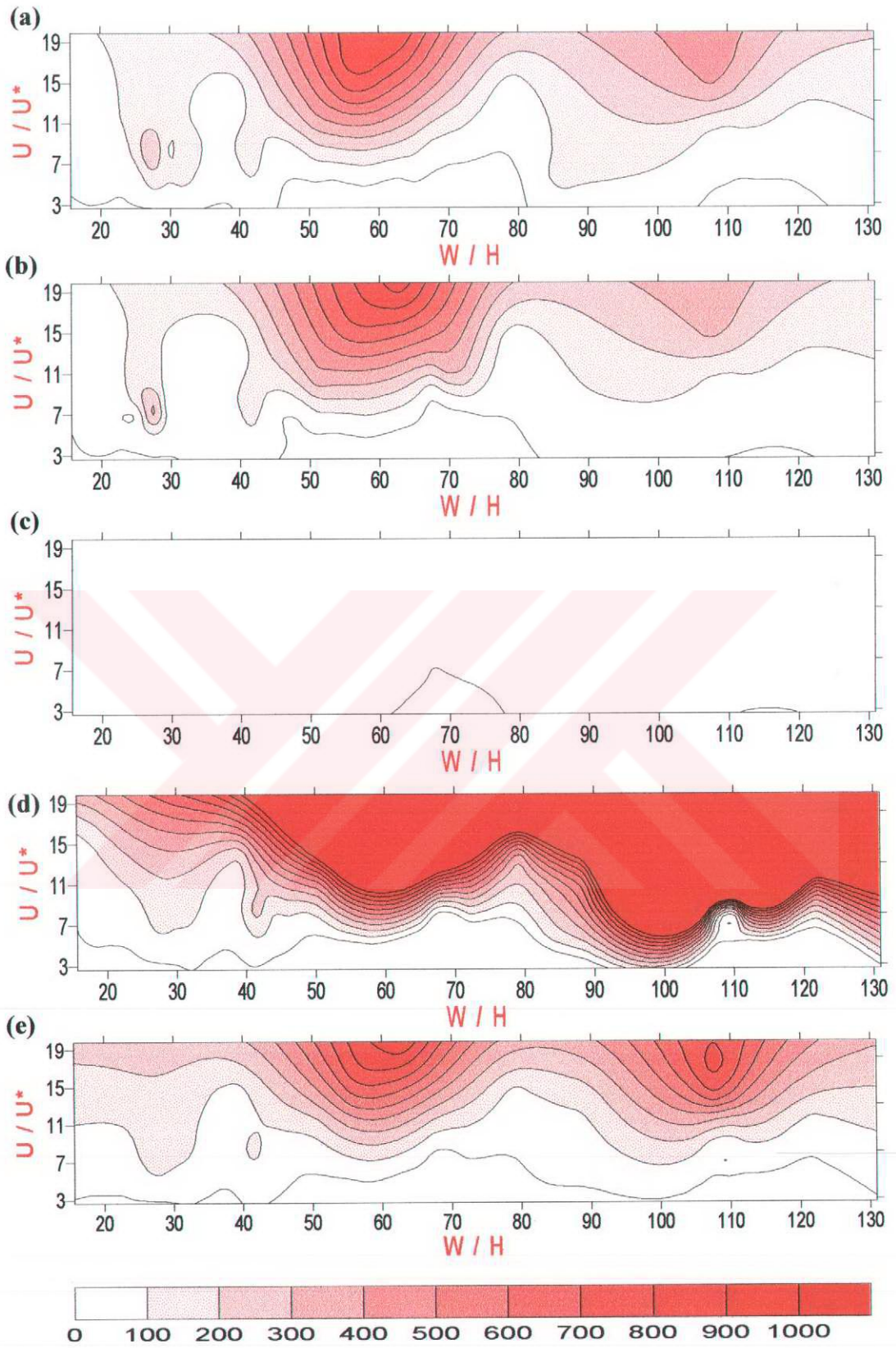
Şekil 5.13 Modellerin verilere göre ortalama mutlak hataları

11. Şekil 5.14'te modeller, eğitime ve test grubu verilerine göre ortalama mutlak rölatif hataları (OMRH) esas alınarak karşılaştırılmıştır. OMRH kriterine göre, KF 1 ve KF 2'nin, eğitime grubu verileri için 93 ve 93 ve test grubu verileri için 227 ve 210 değerleri ile bulanık modelden sonra en düşük hataya sahip modeller olduğu görülmüştür. Bulanık modelin bu hatası ise eğitime ve test grubu verileri için sırasıyla 63 ve 28 olarak hesaplanmıştır. Burada EL, OMRH açısından her iki veri grubuna göre de SC'den daha iyi olduğu ve LI ve FI'nin son sıraları paylaştıkları görülmüştür. EL'in LI ve FI'ye göre daha az hatalı görülmesi sonuçlarının çok düşük olmasına bağlanmıştır.

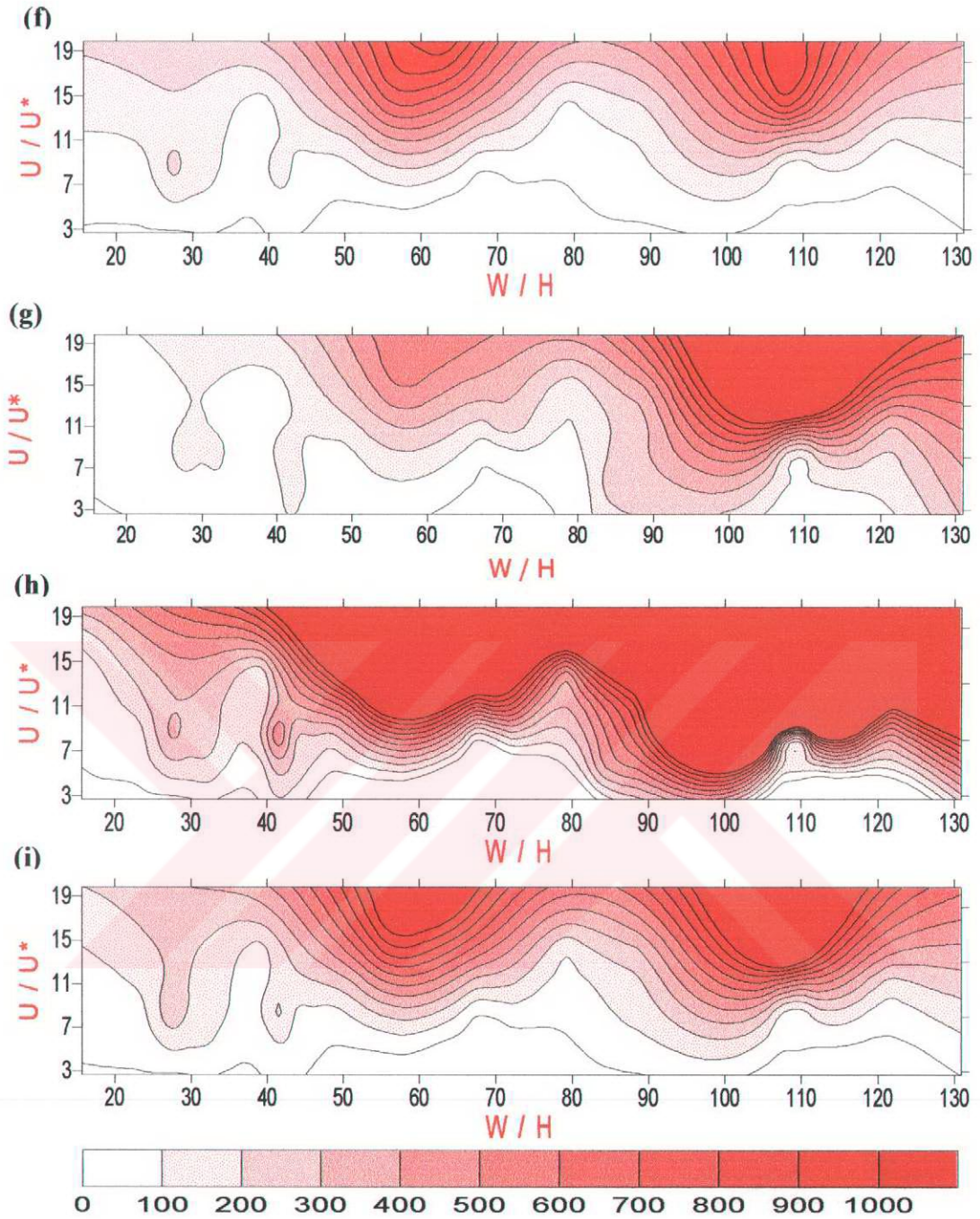


Şekil 5.14 Modellerin verilere göre ortalama mutlak rölatif (bağıl) hataları

12. Eş yayılma eğrili harita yöntemi, yukarıda ele alınan bir çok karşılaştırma yönteminden farklı olarak 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 etmektedir. Aynı ölçekteki eş yükselti eğrili haritaları birbirine benzeyen iki coğrafya için nasıl topografyalarının birbirine benzediği söylenebiliyorsa, burada da sonuçlarının aynı ölçekteki eş yayılma eğrili haritaları birbirine benzeyen iki modelin de birbirine benzediği söylenebilir. Önemli olan her ikisi için de aynı ölçeğin seçilmesidir. Alınabilecek en doğru ölçek model sonuçlarının karşılaştırıldığı eldeki verilerin ölçeğidir. Bu ölçek, x ve y eksenlerinde gösterilen bağımsız değişkenler ile eğrileri elde edilen bağımlı değişkenin maksimum ve minimumlarına göre belirlenebilir. Hem eğitim grubu verileri için hem de modellerin eğitim grubu verilerine bağlı olarak elde edilen sonuçları için x ve y eksenindeki değişkenler aynı alınmıştır. Gerçek veriler ile model sonuçlarının eş yayılma eğrili haritalarında değişen sadece eğrileri elde edilen boyuna yayılma katsayısı değerleridir (Şekil 5.15 ve 5.16).



Şekil 5.15 Verilerin ve model sonuçlarının eğitime grubu verileri için eş yayılma eğrili haritaları, (a) eğitim grubu verileri (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC



Şekil 5.15 (Devamı)

Eldeki veri kümelerinde dört bağımsız değişken bulunmaktadır. Oysa her bir harita için iki bağımsız değişken kullanılabilir. Dolayısıyla, eldeki veriler için her seferinde bağımsız değişkenler değiştirilerek toplam altı tane harita elde edilmelidir. Bu haritaların, eğitme ve test grubu verileri için ayrı ayrı çıkarılması düşünülürse sayısı 12'yi, hem boyutlu hem boyutsuz yayılma katsayısı için tekrarlanması durumunda 24'ü bulmaktadır. Veriler ve model sonuçlarının her biri için işlemin tekrarlanması halinde ise toplam 216 haritaya ihtiyaç olacaktır. Bu durum

karşılaştırmanın sağlıklı bir şekilde yapılmasını oldukça güçleştirecektir. Böyle bir karışıklığa meydan vermemek için dört bağımsız değişken, W/H ve U/U\* şeklinde birbirine oranlanarak iki bağımsız değişken haline getirilmiştir. Bu oranlama, değişkenleri boyutsuzlaştırmak için değil harita sayısını azaltmak için yapılmıştır.

Şekil 5.15'te eğitime grubu verileri ve model sonuçlarının eş yayılma eğrili haritaları (kontur haritaları) verilmiştir. Haritalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde, haritaları ölçülen verilerin haritasına en çok benzeyen modellerin sırasıyla bulanık model, KF 1, KF 2 ve SC olduğu görülmektedir. Buna göre verilerle en uyumlu modelin bulanık model olduğu söylenebilir. KF 1, KF 2 ve SC, 0 ile 70 arasındaki W/H değerleri için gösterdikleri performans, W/H'nin daha büyük değerleri için gösteremediği, diğer taraftan bulanık model'in W/H'nin tüm değerleri için aynı performansı gösterebildiği görülmüştür. Özellikle, 0 ile 45 arasındaki W/H değerleri için, EL, FI ve KM'nin dışında diğer tüm modellerin kısmen doğru tahmin yaptığı görülmüştür. Biri dışında, EL'in eş yayılma eğrileri seçilen ölçeğin dışında kaldığı için görülmemektedir ve dolgu rengi ise açıktır. EL'in sonuçlarının küçük olduğu, eş yayılma eğrili harita yönteminden de anlaşılmaktadır. Haritalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde, hemen hemen tüm bağıntıların, U/U\*'ın 3 ile 7 arasındaki değerleri için verilere yakın bir tahminde bulunduğu görülmektedir. Gerek U/U\*'ın gerek W/H'nin büyüyen değerlerine bağlı olarak tüm bağıntıların performansında düşüş gözlenmektedir. Görüldüğü gibi eş yayılma eğrili harita yönteminin, çalışmaların sonuçlarının kendi aralarındaki ve bu sonuçlar ile eldeki veriler arasındaki benzerlik ve farklılıkları yukarıda sunulan diğer istatistik ve hata kriterlerine göre daha açık ve daha çarpıcı bir şekilde ortaya koyduğu söylenebilir.

W/H ve U/U\*'ın belli aralıkları için bazı bağıntıların sonuçlarına ait haritalar birbirine benzediği halde W/H ve U/U\*'ın aynı aralıkları için eldeki verilerin haritasına benzememektedir. KF 1, KF 2 ve SC bu duruma örnek olarak verilebilir. W/H'nin 80 ve üstündeki değerleri için bunu açıkça görmek mümkündür. Şekil 5.15 e ve 5.15 f ve i sırasıyla KF 1, KF 2 ve SC'nin sonuçlarına ait haritaları göstermektedir. Bu haritalar genel olarak birbirine benzedikleri kadar aynı değişkenlere ve ölçeğe sahip eldeki verilerin haritalarına benzemedikleri görülmüştür. Ölçülen verilerin haritasına bakıldığında (Şekil 5.15 a), 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 yayılma 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,  $W/H$ 'ın 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 yayılma katsayısı değerlerinin daha düşük, değişkenlere bağlı olarak daha az ve düzensiz değiştiği yorumu yapılabilir. Oysa yukarıda belirtilen üç bağıntının sonuçlarına ait haritalara bakıldığında (Şekil 5.15 e ve Şekil 5.15 f ve i), verilere ait haritanın tersine  $W/H$ 'ın 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 yayılma katsayılarının, değişkenlerin verilen değer aralıkları için, verilerin boyuna yayılma katsayısı değerlerinden daha yüksek, bağımsız değişkenlere daha çok bağımlı ve daha düzenli değiştiği anlamına gelmektedir. Bu durum, SC'nin sonuçlarına ait haritadan (Şekil 5.15 i) daha açık bir şekilde görülmektedir. Görüldüğü gibi bağıntıların birbirinden etkilenip etkilenmediğini de bu haritalardan tahmin etmek mümkündür. Diğer taraftan, Şekil 5.15 d, e ve Şekil 5.15, f, h ve i haritalarına bakıldığında, FI, KF 1, KF 2, LI ve SC'nin,  $U/U^*$ 'ın 3-7 arasındaki değerleri için birbirine yakın boyuna yayılma katsayısı değerlerini tahmin ettiği ve bu değerlerin eldeki verilerle kısmen uyduğu görülmektedir. Çünkü, verilere ve anılan bu çalışmalara ait tüm haritaların,  $W/H$  ve  $U/U^*$ 'ın belirtilen aralıktaki değerleri için dolgu rengi açık, eğriler seyrek ve düzensiz olup eğri şekilleri, haritadan haritaya benzerlik göstermektedir.

O halde eş yayılma eğrili haritalarda, dolgunun renk tonu ve eğrilerin sıklığı, şekli ve kendi aralarındaki benzerlikleri, önemli birer anlam ifade etmektedir. Dolgu rengi tonu boyuna yayılma katsayısının büyüklüğünü, eğrilerin sıklığı değişkenlere bağımlılık derecesini, şekli ise bağımlılığın nasıl değiştiğini göstermektedir. Oysa korelasyon katsayısı, bağımsız değişkenlerin farklı değerleri için bağımlı değişkenin bağımlılık derecesini gösterememektedir. Bağımsız değişkenlerin tüm değerleri için bir tek sayısal değer vermektedir. 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 şekili, sıklığı ve birbirine benzerliklerine göre sonuçların birbirine ve eldeki verilere ne kadar benzediğini, yani hatalarını tahmin etmek de mümkündür.

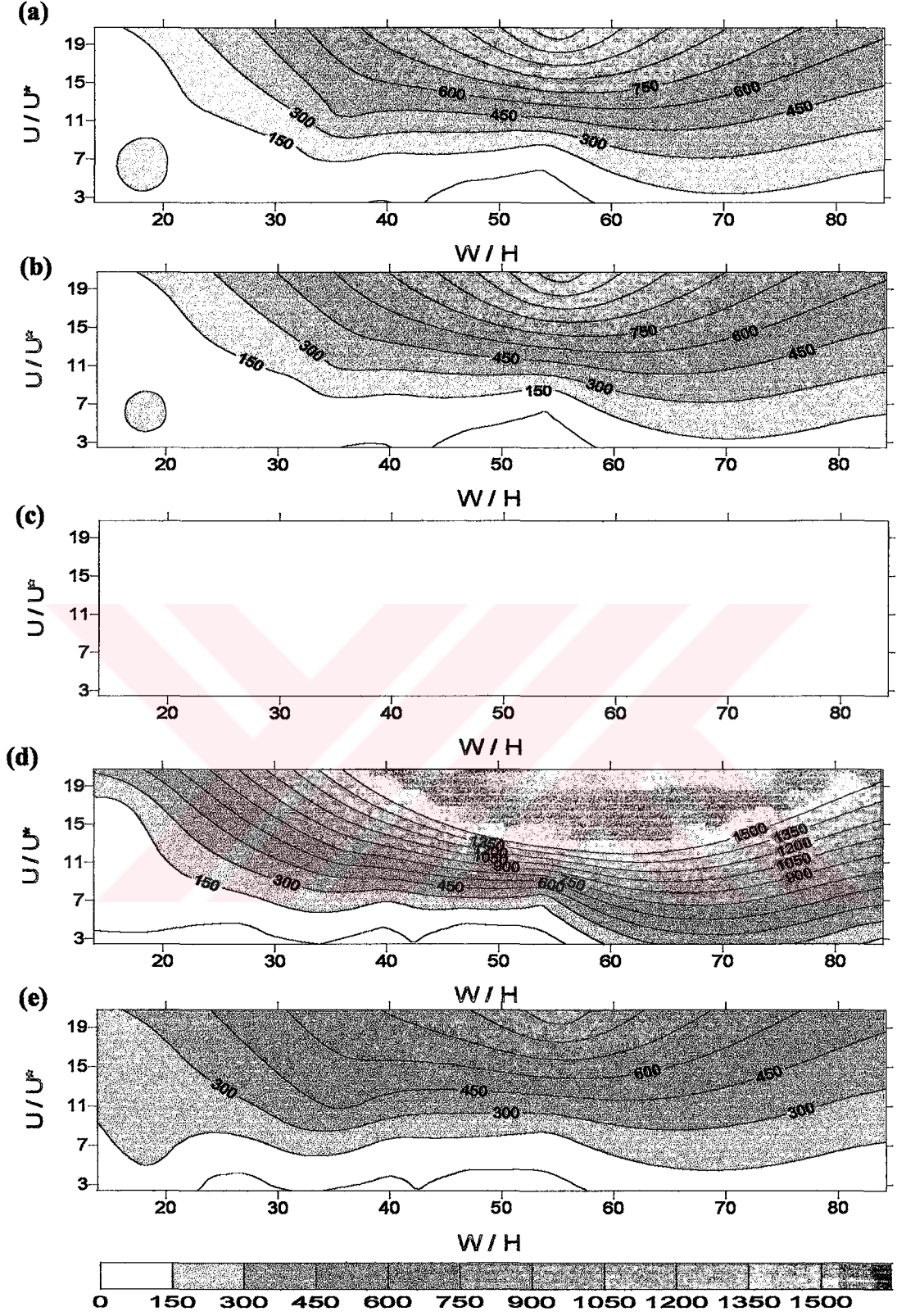
Görüldüğü üzere, eş yayılma eğrili harita yöntemi tek başına bir çok farklı karşılaştırma kriterini içermektedir.

Bu ayrıntılara inilmesindeki amaç haritaların sadece belli bir bölgesine bakarak modellerin başarılı veya başarısızlığı hakkında bir yorum yapmak değil, harita yönteminin karşılaştırmadaki performansını göstermektir.

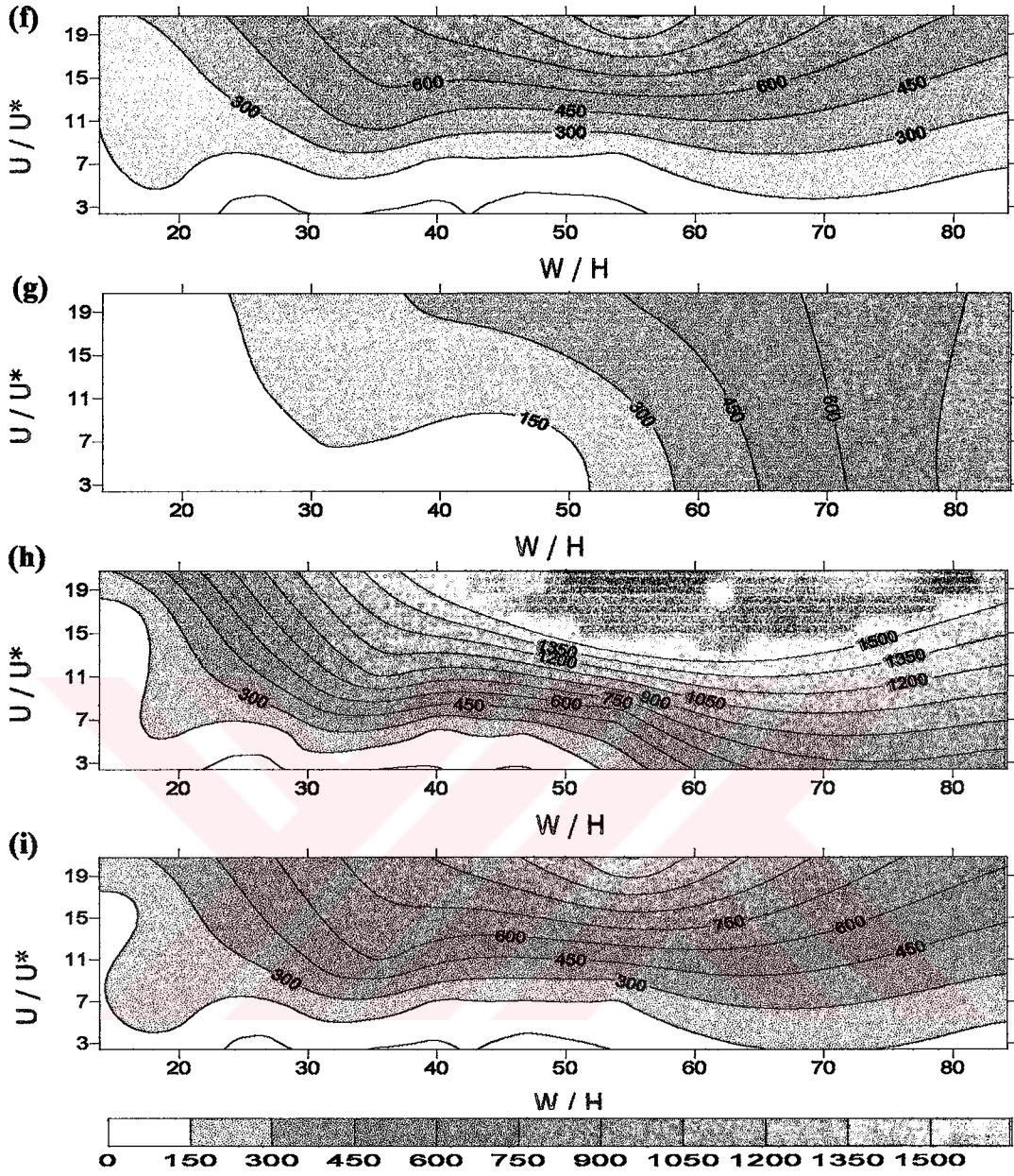
Böyle bir değerlendirme için haritaların tüm bölgelerine bakmak gerekir. Tüm bu değerlendirmeler ışığında ve haritalar bir bütün olarak dikkatlice incelendiğinde en başarılı çalışmanın bulanık model olduğu ve hemen arkasından sırasıyla, KF 1, KF 2 ve SC'nin geldiği rahatlıkla söylenebilir.

Şekil 5.16'ya bakıldığında aynı yorumları test grubu verilerine ait haritaların karşılaştırması için de yapmak mümkündür. EL'in test grubu verilerine ait sonuçlarının haritasına bakıldığında (Şekil 5.16 c) hiç bir eğrinin görülmediği ve rengin açık olduğu dikkati çekmektedir. Bu durumda EL'in tüm sonuçlarının, eldeki verilerden çok düşük olduğu bu nedenle seçilen ölçeğin dışında kaldığını söylemek mümkündür. Nitekim EL'in sonuçlarının çok küçük olduğu, maksimum ve ortalama değerinden de anlaşılmaktadır. FI ve LI'nin sonuçlarına ait haritalara (Şekil 5.16 d ve h) bakıldığında, U/U\* ve W/H'nin bazı aralıkları için hiç bir eğri görülmemektedir, fakat EL'in tersine rengi koyudur. Bu ise sonuçların ölçülen değerlerden çok yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

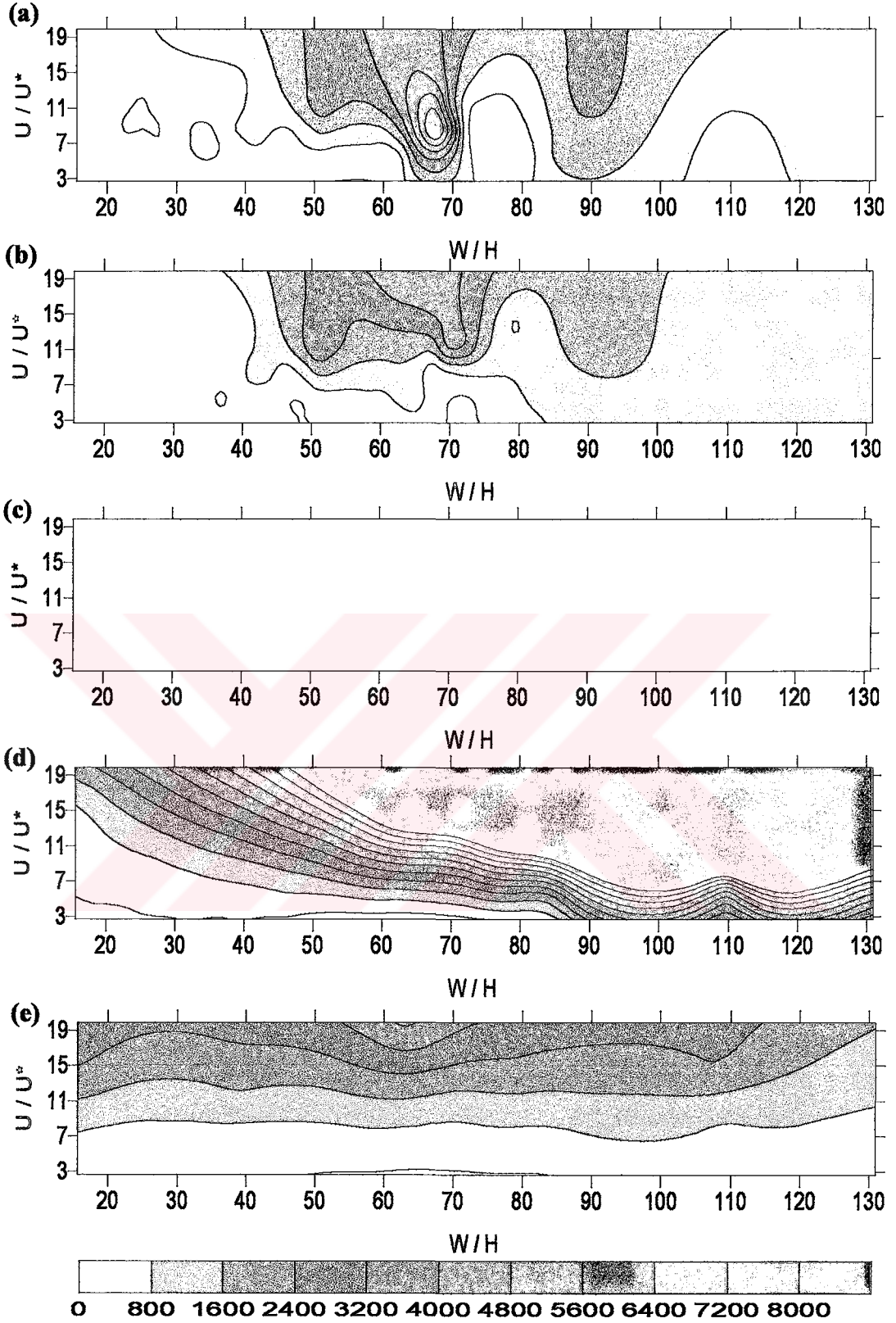
Bulanık modelin girdileri olan genişlik, derinlik, kesit ortalama akım hızı ve kayma hızı sırasıyla m, m, m/s ve m/s ve çıktısı olan boyuna yayılma katsayısı ise  $m^2/s$  boyutundadır. Amaç bağımsız değişkenleri boyutsuzlaştırmak olmasa da x ve y eksenindeki değişkenler boyutsuz hale getirilmiştir. Bu durum beraberinde “boyuna yayılma katsayısının da boyutsuz olması gerekmez mi?” sorusunu akla getirmektedir. Bunun için x ve y eksenindeki boyutsuz değişkenler değiştirilmeden boyutsuz eş yayılma eğrili haritalar da elde edilmiştir (Şekil 5.17-5.18).



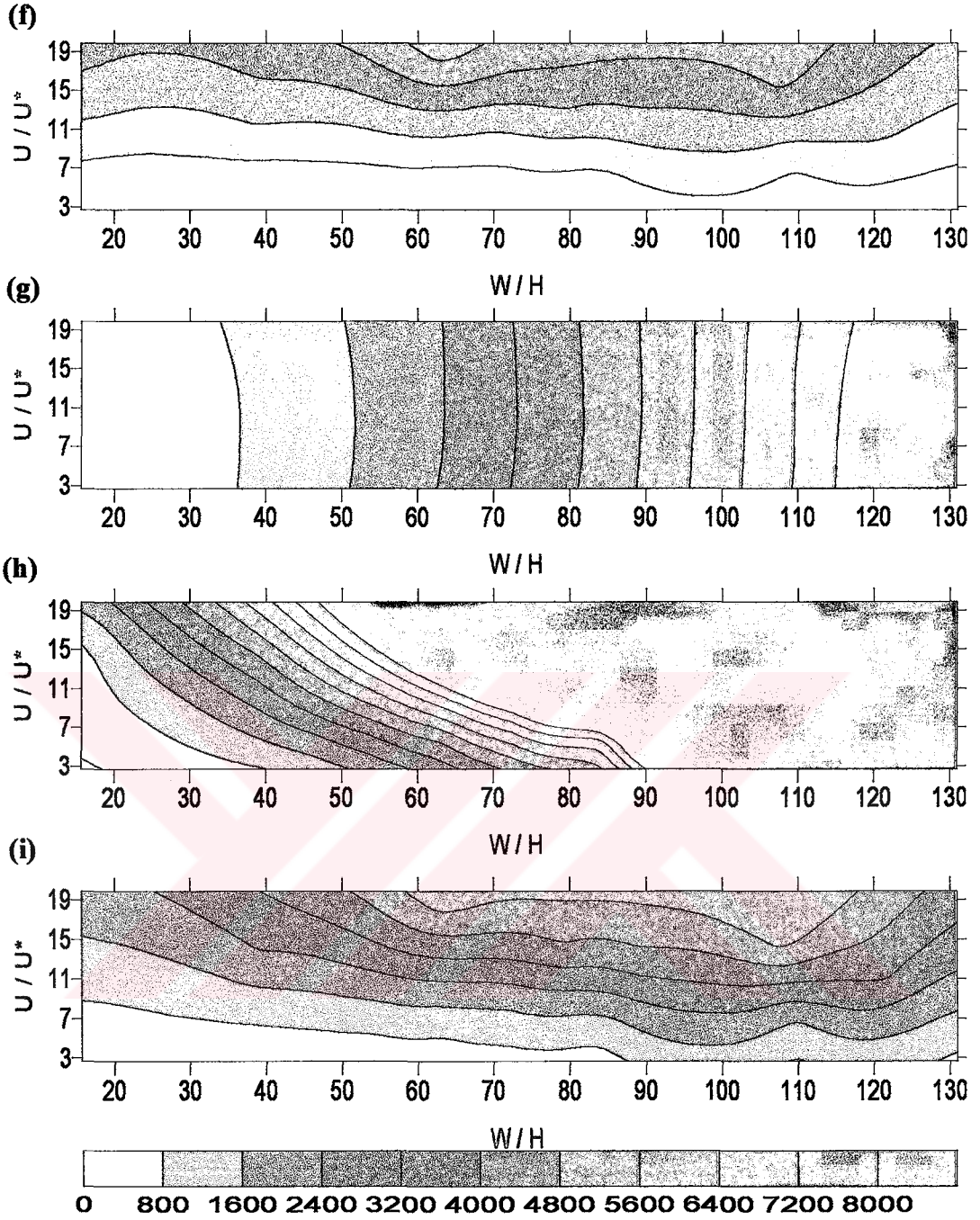
Şekil 5.16 Verilerin ve model sonuçlarının test grubu verileri için eş yayılma eğrili haritaları, (a) test grubu verileri (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC



Şekil 5.16 (Devamı)

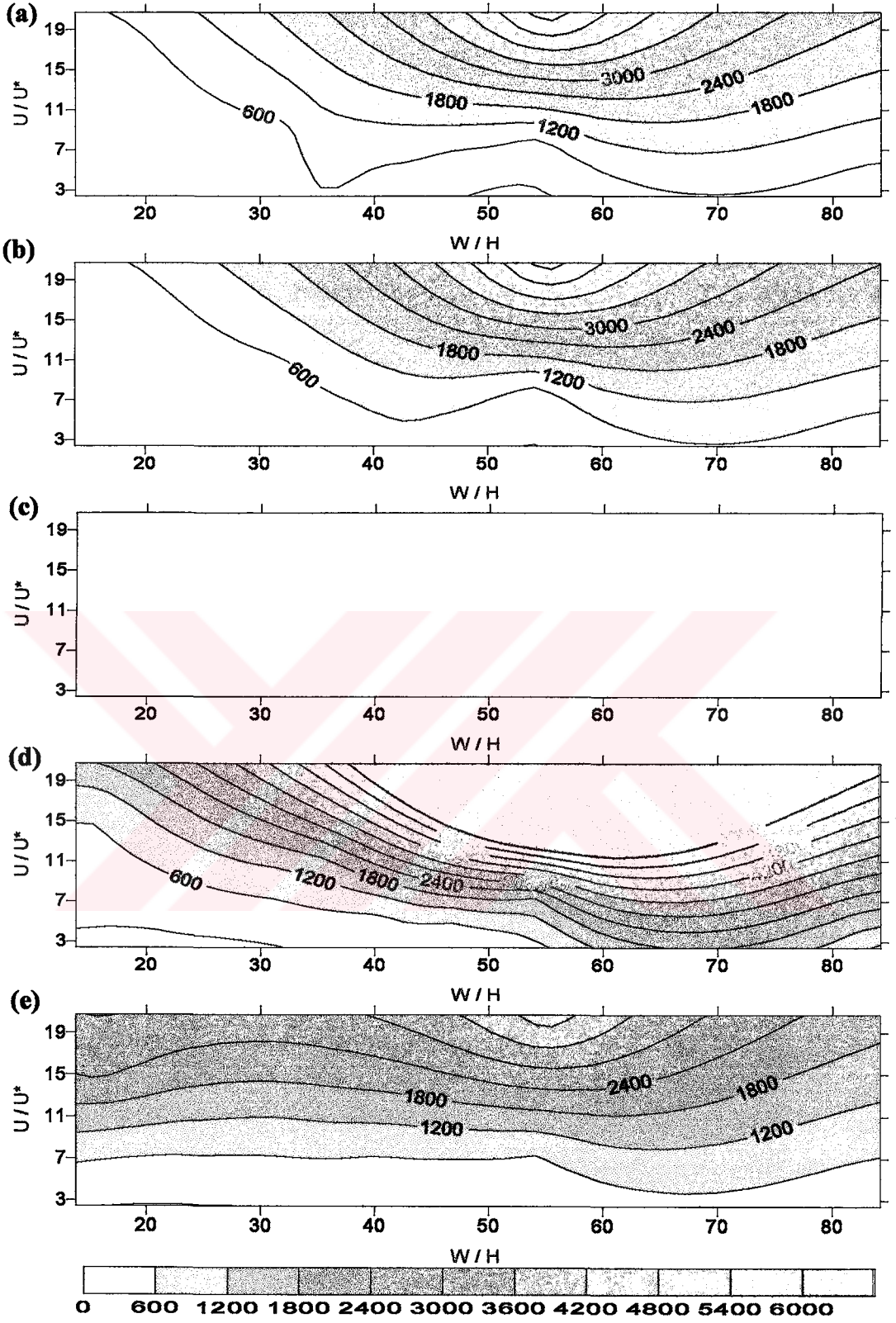


Şekil 5.17 Verilerin ve model sonuçlarının eğitime grubu verileri için boyutsuz eş yayılma eğrili haritaları, (a) eğitime grubu verileri (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC

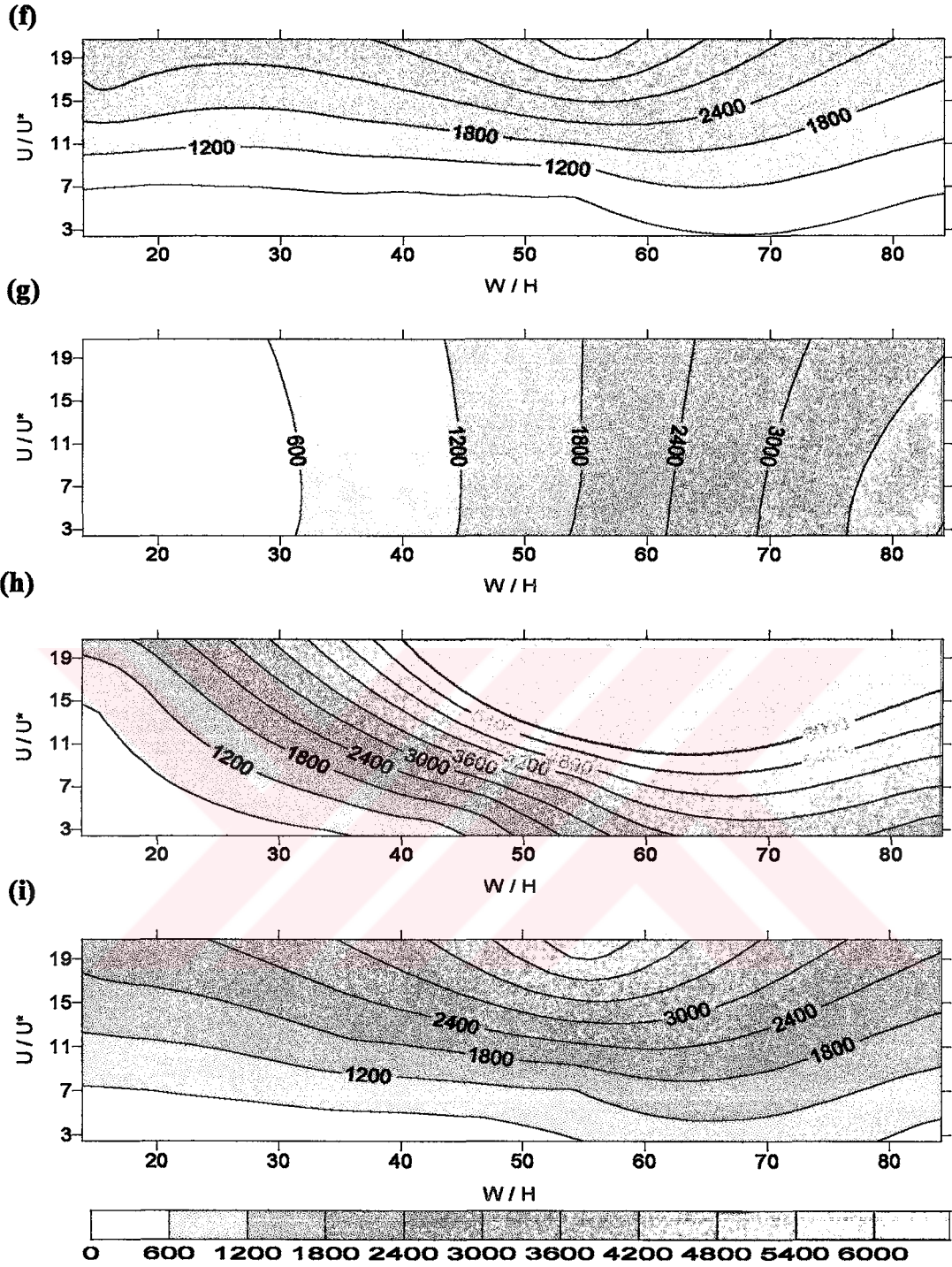


Şekil 5.17 (Devamı)

Boyuna yayılma katsayısı  $HU^*$ 'a bölünerek boyutsuz boyuna yayılma katsayısı ( $D_1$ ) elde edilmiştir. Model sonuçları da bu şekilde boyutsuzlaştırılmıştır. Şekil 5.17-5.18'de sırasıyla eğitime ve test grubu verileri için modellerin boyutsuz eş yayılma eğrili haritaları verilmiştir.



Şekil 5.18 Verilerin ve model sonuçlarının test grubu verileri için boyutsuz eş yayılma eğrili haritaları, (a) test grubu verileri (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC



Şekil 5.18 (Devamı)

Boyutsuz eş yayılma eğrili haritalar (Şekil 5.17–5.18) incelendiğinde bulanık model dahil, hiç bir modelin boyutsuz yayılma katsayısının tahmininde çok başarılı olmadığı görülmektedir. Modeller boyutlu yayılma katsayısının tahminine yönelik olarak geliştirildiği için bu durum normal karşılanmıştır. Bununla birlikte hem eğitime, hem test grubu verileri için bulanık modelin boyutsuz boyuna yayılma

katsayısının tahmininde de diğer modellerden daha üstün olduğu görülmüştür (Şekil 17 a ve b ve Şekil 5.18 a ve b). Özellikle test grubu verilerine ait haritalardan (Şekil 5.18) bu üstünlüğü daha kolay görmek mümkündür. Şekil 5.17-5.18 incelendiğinde bulanık modelden sonra KF 1, KF 2 ve SC'nin verilerle en iyi uyumu gösteren modeller olduğu söylenebilir. Şekil 5.17-5.18'den bu üç çalışmanın birbirine benzediğini görmek de mümkündür. Bu benzerlik çalışmaların birbirinden etkilenmiş olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Sonuç olarak, boyutlu eş yayılma eğrili haritalar için elde edilen bulgular ve yapılan tespitler boyutsuz eş yayılma eğrili haritalar için de geçerlidir. Bu nedenle boyutsuz eş yayılma eğrili haritalar modellerin karşılaştırılmasında ayrı bir kriter olarak değerlendirilebilir.

### 5.3 İkinci Uygulama

Bulanık model, anılan bağıntılar ile birlikte ayrıca eldeki tüm veri (eğitime ve test grubu verilerine ek olarak elenmiş veriler de dahil edilmiştir) kümelerine de uygulanmıştır. Bu uygulama, bir bakıma modeller için ikinci bir test olmuştur.

Tablo 5.5'de model sonuçlarının istatistik parametreleri ve eldeki verilere göre hataları verilmiştir. Maksimum, ortalama, değişim katsayısı, korelasyon katsayısı ve her dört hata çeşidine göre veriler ile en iyi uyumu bulanık modelin gösterdiği görülmüştür. KF 1, KF 2 ve SC'nin ise bulanık modelden hemen sonra geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç çalışmanın maksimum, minimum, ortalama, standart sapma ve çarpıklık katsayılarının ve KF 1 ve KF 2'nin ortalama karesel hatalarının da birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Tablo 5.6'da ise verilerin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile modellerin sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matrisi verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında dikkat çekici bir durum olarak bazı bağıntıların sonuç değerler ile eldeki veriler arasındaki korelasyon katsayıları çok yüksek olmadığı halde kendi aralarındaki bu katsayı önemli derecede yüksek olduğu görülmüştür. Bu bulgu, birinci uygulamanın bu yöndeki sonuçlarını çarpıcı bir şekilde desteklemektedir. Örneğin, KF 1 ve KF 2'nin sonuçları arasında 0.997 ve bunlar ile SC'nin sonuçları arasında ise sırasıyla 0.981 ve 0.99 gibi yüksek korelasyon katsayıları olduğu halde bu üç çalışmanın sonuçları ile verilerin arasındaki korelasyon katsayıları ise sırasıyla 0.62, 0.64 ve 0.64 olarak hesaplanmıştır. Bunun nedenlerine yukarıda değinilmiştir (Tablo 5.6).

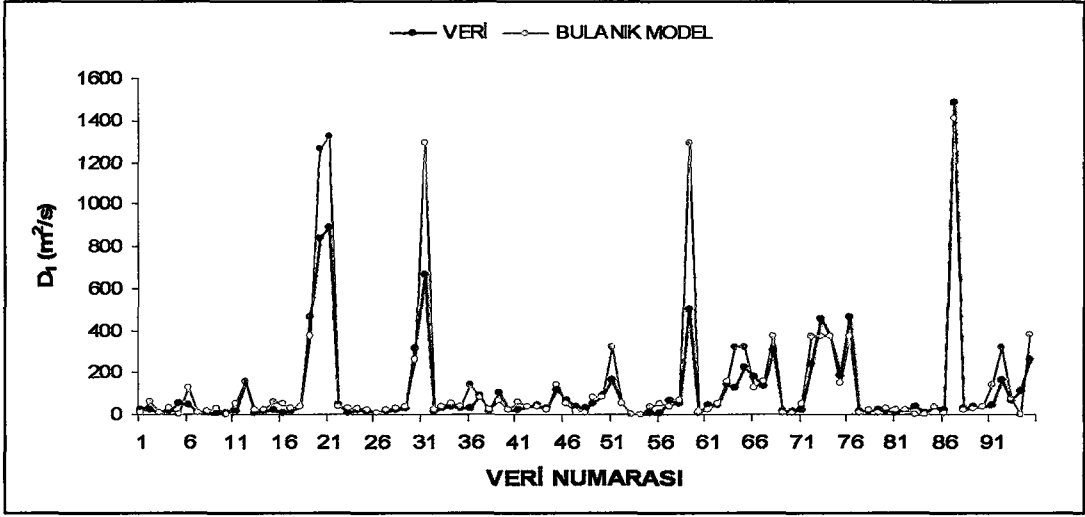
Tablo 5.5 Modellerin ikinci uygulama sonuçlarına ait istatistikler ve eldeki tüm verilere göre hataları

| $D_1$ ( $m^2/s$ )               |                                     | $D_1$                                | $D_1^{(1)}$ | $D_1^{(2)}$ | $D_1^{(3)}$                    | $D_1^{(4)}$ | $D_1^{(5)}$ | $D_1^{(6)}$ | $D_1^{(7)}$       | $D_1^{(8)}$ |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|
| İSTATİSTİK<br>PARAMETRELER      | Maksimum                            | 1486.5                               | 9.0         | 10122.8     | 3271.4                         | 2384.4      | 2220.1      | 2535.7      | 10885.3           | 1412.4      |
|                                 | Minimum                             | 1.9                                  | 0.0         | 1.8         | 3.8                            | 5.2         | 0.7         | 1.6         | 9.4               | 0.5         |
|                                 | Ortalama                            | 130.3                                | 0.9         | 621.9       | 236.5                          | 219.9       | 158.3       | 181.8       | 730.4             | 162.8       |
|                                 | Standart Sapma                      | 221.0                                | 1.3         | 1560.0      | 469.3                          | 356.7       | 334.9       | 373.5       | 1581.3            | 297.7       |
|                                 | Çarpıklık Katsayısı                 | 3.8                                  | 4.0         | 4.5         | 4.3                            | 4.1         | 4.2         | 4.2         | 4.8               | 3.3         |
|                                 | Değişim katsayısı                   | 1.7                                  | 1.4         | 2.5         | 2.0                            | 1.6         | 2.1         | 2.1         | 2.2               | 1.8         |
|                                 | Korelasyon Katsayısı <sup>(a)</sup> | 1.00                                 | 0.32        | 0.54        | 0.62                           | 0.41        | 0.64        | 0.64        | 0.50              | 0.92        |
| HATALAR<br>( $D_1$ 'e Göre)     | OKH                                 | 0.0                                  | 61440       | 2251618     | 146818                         | 117592      | 65887       | 84182       | 2436247           | 17104       |
|                                 | OKKH                                | 0.0                                  | 25.4        | 154.0       | 39.3                           | 35.2        | 26.3        | 29.8        | 160.1             | 13.4        |
|                                 | Ortalama MH                         | 0.0                                  | 115.2       | 445.3       | 120.3                          | 153.1       | 86.8        | 91.6        | 525.4             | 53.7        |
|                                 | Ortalama MRH                        | 0.0                                  | 97.6        | 281.5       | 153.7                          | 276.1       | 124.8       | 125.8       | 547.5             | 84.2        |
| (D <sub>1</sub> ) Ölçülmüş Veri |                                     | (a) D <sub>1</sub> ile Korelasyonlar |             |             | (1) Elder                      |             | (2) Fischer |             | (3) Seo ve Cheong |             |
| (4) Koussis ve Mirasol          |                                     | (5) Kashefipour ve Falconer I        |             |             | (6) Kashefipour ve Falconer II |             | (7) Liu     |             | (8) Bulanık Model |             |

Tablo 5.6 Verilerin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile modellerin ikinci uygulama sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları matrisi

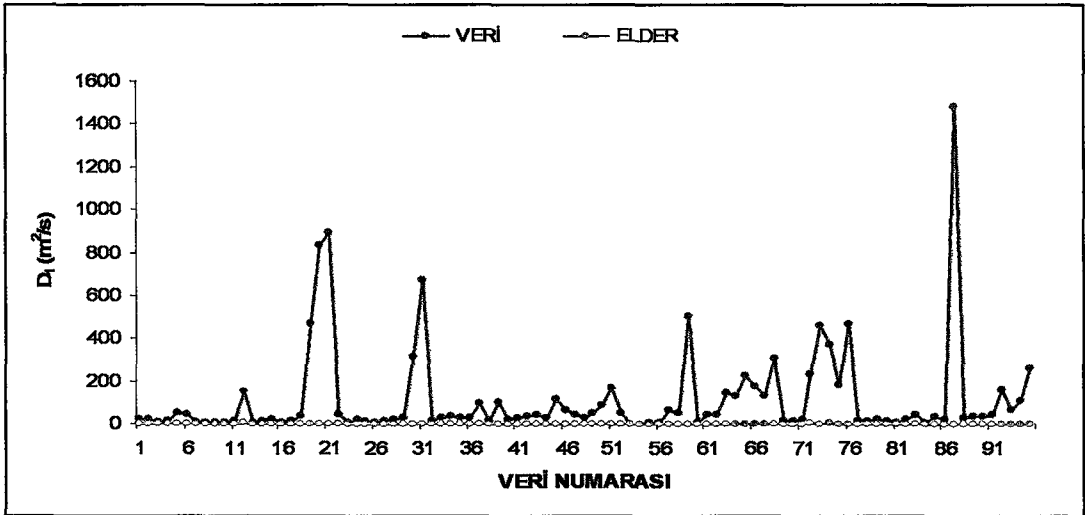
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | H     | W     | U     | U.    | W/H   | U/U.  | U/U.   | $D_1/(HU.)$ | $D_1$ | $D_1^{(1)}$ | $D_1^{(2)}$ | $D_1^{(3)}$ | $D_1^{(4)}$ | $D_1^{(5)}$ | $D_1^{(6)}$ | $D_1^{(7)}$ | $D_1^{(8)}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| H                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.00  | 0.87  | 0.36  | 0.04  | -0.09 | 0.33  | -0.229 | -0.041      | 0.37  | 0.64        | 0.46        | 0.73        | 0.47        | 0.78        | 0.77        | 0.49        | 0.36        |
| W                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.87  | 1.00  | 0.40  | -0.05 | 0.27  | 0.47  | -0.285 | 0.007       | 0.46  | 0.53        | 0.79        | 0.87        | 0.80        | 0.85        | 0.86        | 0.83        | 0.39        |
| U                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.36  | 0.40  | 1.00  | 0.47  | -0.10 | 0.54  | -0.374 | 0.060       | 0.64  | 0.59        | 0.51        | 0.62        | 0.46        | 0.62        | 0.62        | 0.49        | 0.54        |
| U.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.04  | -0.05 | 0.47  | 1.00  | -0.24 | -0.28 | 0.360  | -0.154      | 0.01  | 0.66        | -0.05       | 0.02        | 0.15        | 0.00        | 0.01        | -0.02       | -0.02       |
| W/H                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | -0.09 | 0.27  | -0.10 | -0.24 | 1.00  | 0.21  | -0.09  | 0.0866      | 0.06  | -0.2        | 0.32        | 0.11        | 0.44        | 0.04        | 0.067       | 0.354       | 0.01        |
| U/U.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.33  | 0.47  | 0.54  | -0.28 | 0.21  | 1.00  | -0.709 | 0.4368      | 0.62  | 0.09        | 0.58        | 0.56        | 0.36        | 0.57        | 0.572       | 0.53        | 0.59        |
| U/U.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -0.23 | -0.29 | -0.37 | 0.36  | -0.09 | -0.71 | 1.00   | -0.214      | -0.3  | 0.01        | -0.3        | -0.3        | -0.2        | -0.3        | -0.32       | -0.28       | -0.32       |
| $D_1/(HU.)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -0.04 | 0.01  | 0.06  | -0.15 | 0.09  | 0.44  | -0.214 | 1.00        | 0.35  | -0.1        | 0.06        | 0.04        | -0          | 0.05        | 0.05        | 0.04        | 0.52        |
| $D_1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0.37  | 0.46  | 0.64  | 0.01  | 0.06  | 0.62  | -0.324 | 0.348       | 1.00  | 0.32        | 0.54        | 0.62        | 0.41        | 0.64        | 0.64        | 0.50        | 0.92        |
| $D_1^{(1)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.64  | 0.53  | 0.59  | 0.66  | -0.20 | 0.09  | 0.007  | -0.090      | 0.32  | 1.00        | 0.34        | 0.56        | 0.49        | 0.55        | 0.56        | 0.38        | 0.29        |
| $D_1^{(2)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.46  | 0.79  | 0.51  | -0.05 | 0.32  | 0.58  | -0.295 | 0.065       | 0.54  | 0.34        | 1.00        | 0.87        | 0.87        | 0.78        | 0.81        | 0.99        | 0.42        |
| $D_1^{(3)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.73  | 0.87  | 0.62  | 0.02  | 0.11  | 0.56  | -0.313 | 0.041       | 0.62  | 0.56        | 0.87        | 1.00        | 0.77        | 0.98        | 0.99        | 0.87        | 0.52        |
| $D_1^{(4)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.47  | 0.80  | 0.46  | 0.15  | 0.44  | 0.36  | -0.156 | -0.006      | 0.41  | 0.49        | 0.87        | 0.77        | 1.00        | 0.66        | 0.71        | 0.93        | 0.30        |
| $D_1^{(5)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.78  | 0.85  | 0.62  | 0.00  | 0.04  | 0.57  | -0.316 | 0.050       | 0.64  | 0.55        | 0.78        | 0.98        | 0.66        | 1.00        | 1.00        | 0.76        | 0.55        |
| $D_1^{(6)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.77  | 0.86  | 0.62  | 0.01  | 0.07  | 0.57  | -0.317 | 0.047       | 0.64  | 0.56        | 0.81        | 0.99        | 0.71        | 1.00        | 1.00        | 0.81        | 0.54        |
| $D_1^{(7)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.49  | 0.83  | 0.49  | -0.02 | 0.35  | 0.53  | -0.282 | 0.042       | 0.50  | 0.38        | 0.99        | 0.87        | 0.93        | 0.76        | 0.81        | 1.00        | 0.38        |
| $D_1^{(8)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.36  | 0.39  | 0.54  | -0.02 | 0.01  | 0.59  | -0.320 | 0.515       | 0.92  | 0.29        | 0.42        | 0.52        | 0.30        | 0.55        | 0.54        | 0.38        | 1.00        |
| (D <sub>1</sub> ) ve (D <sub>1</sub> /HU.) Ölçülmüş veri, <sup>(1)</sup> Elder, <sup>(2)</sup> Fischer, <sup>(3)</sup> Seo ve Cheong, <sup>(4)</sup> Koussis ve diğ.<br><sup>(5)</sup> Kashefipour ve Falconer I, <sup>(6)</sup> Kashefipour ve Falconer II, <sup>(7)</sup> Liu, <sup>(8)</sup> Bulanık Model |       |       |       |       |       |       |        |             |       |             |             |             |             |             |             |             |             |

Şekil 5.19-5.27'de verilen grafiklerde y eksenı ölçülen ve tahmin edilen yayılma katsayılarını, x eksenı ise veri numaralarını göstermektedir. Eksen takımları bu şekilde seçilerek, çalışmaların sonuçları ile gerçek değerler arasındaki sapmalar, grafiksel olarak daha net ortaya çıkarılmıştır. Böylece, sözkonusu çalışmaların davranışları daha görsel hale getirilmiştir. Grafiklerin tümünde aynı ölçek ve gerçek verilerin maksimum değerleri esas alınarak 1600  $m^2/s$  olarak seçilmiştir.



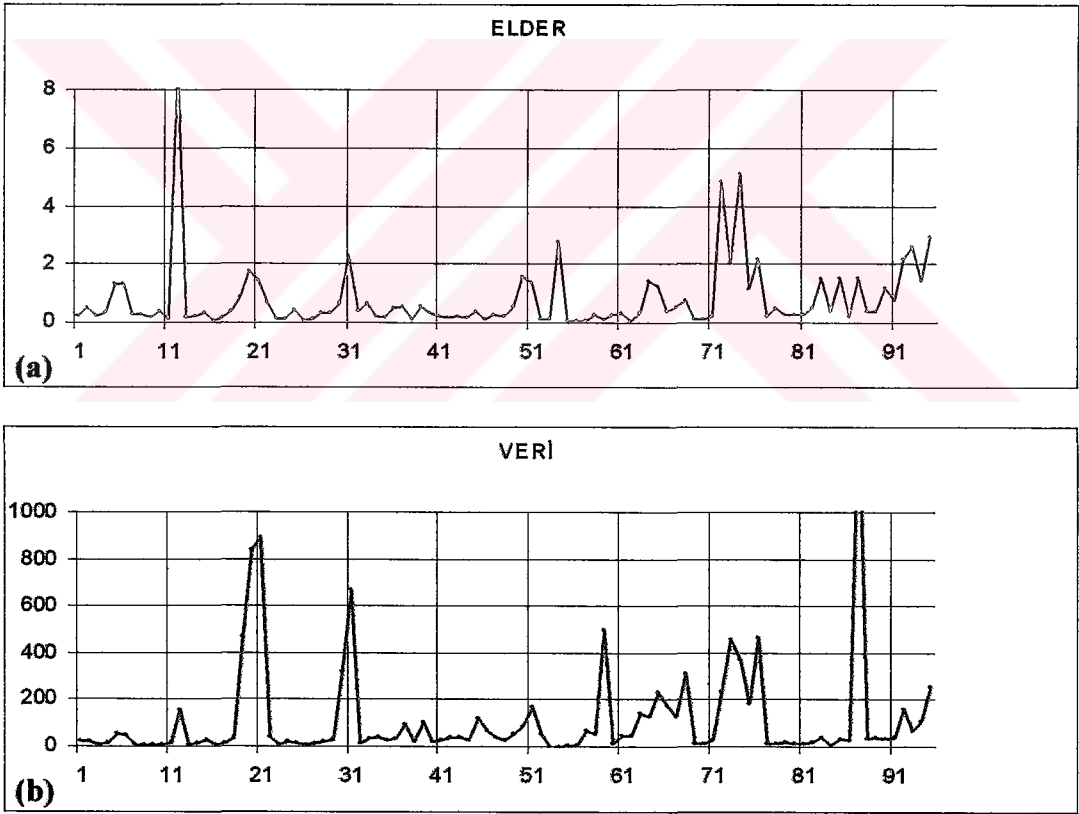
Şekil 5.19 Bulanık modelin ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler

Şekil 5.19'dan, bulanık modelin, özellikle  $200 \text{ m}^2/\text{s}$ 'den büyük boyuna yayılma katsayısı değerlerini tahmin etmede güçlük çektiği fakat minimum ve maksimum değerleri yine büyük bir başarı ile yakaladığı anlaşılmaktadır. Model sonuçları ile eldeki veriler arasındaki farkların ortalamasının ise pozitif olduğu, yani genel olarak gerçek verilere göre daha büyük değerler verdiği görülmektedir. Çarpıklık katsayısının verilerin çarpıklık katsayısına yakın olması ise bulanık model sonuçlarının verilerin çarpık dağılımına yakın bir dağılım gösterdiği anlamına gelmektedir.



Şekil 5.20 EL'in ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler

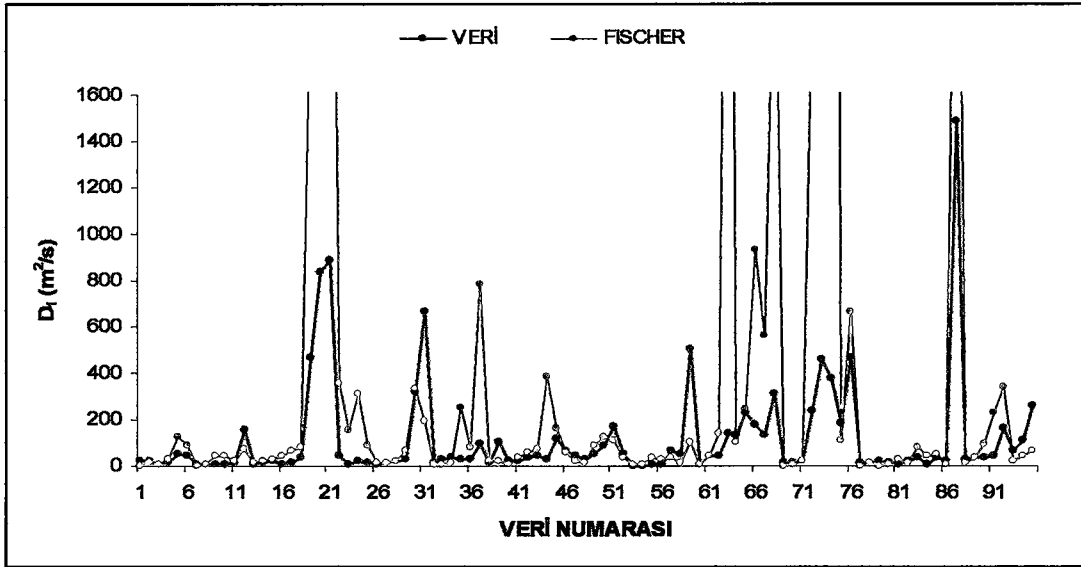
Şekil 5.20’den, EL’in sonuçlarının çok küçük ve birbirine yakın olduğu buna bağlı olarak standart sapmasının da küçük olduğu görülmektedir. Bu yüzden sonuçlarının yatay eksene yakın ve ona paralel bir doğru izlenimi verdikleri, bağıntının verilerdeki değişimlerden adeta hiç etkilenmediği anlaşılmaktadır. EL’in sonuçlarını daha doğru yorumlayabilmek için Şekil 5.21 a ve b’de bu sonuçlar ile ölçülen veriler, farklı ölçeklerdeki iki ayrı grafikte gösterilmiştir. Bu grafiklerden, Şekil 5.20’nin tersine EL’in değişkenlerin sayısal olarak değişiminden etkilendiği, x eksenine yakın ve ona paralel bir doğru olmadığı ve verilerle benzer bir trend izlediği, fakat sonuçlarının tümünün yaklaşık 100 gibi bir sayı ile çarpıldığı takdirde daha iyi sonuç verebileceği anlaşılmıştır. Böylece (2.3) denklemindeki boyutsuz 5.93 katsayısının yerine 593 gibi bir katsayının alınmasının daha anlamlı olacağı düşünülmüştür. Bu durum, modelin taraflı olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 5.21 Farklı eksen ölçeklerinde EL’in sonuçları ve ölçülen veriler

FI’nin sonuçlarının, özellikle boyuna yayılma katsayısının 100’ün üstündeki değerlerinde eldeki verilerle büyük farklılık gösterdiği, daha küçük değerlerinde ise kısmen uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 5.22). Modelin tahmin gücü, verilerin

yüksek değerleri için azalmakla birlikte, EL'e göre eldeki verilerle daha iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir.

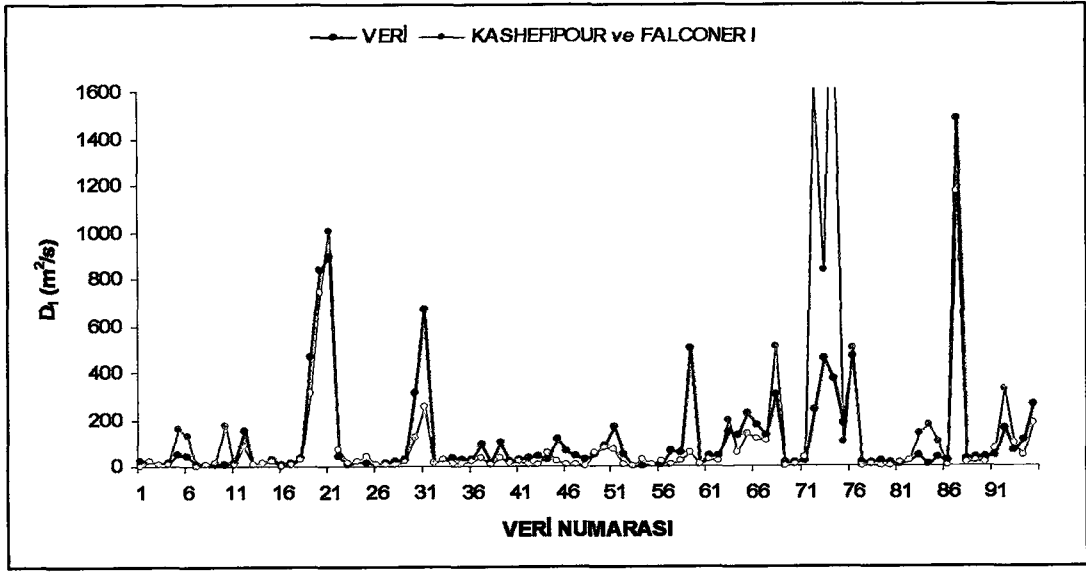


Şekil 5.22 FI'nin ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler

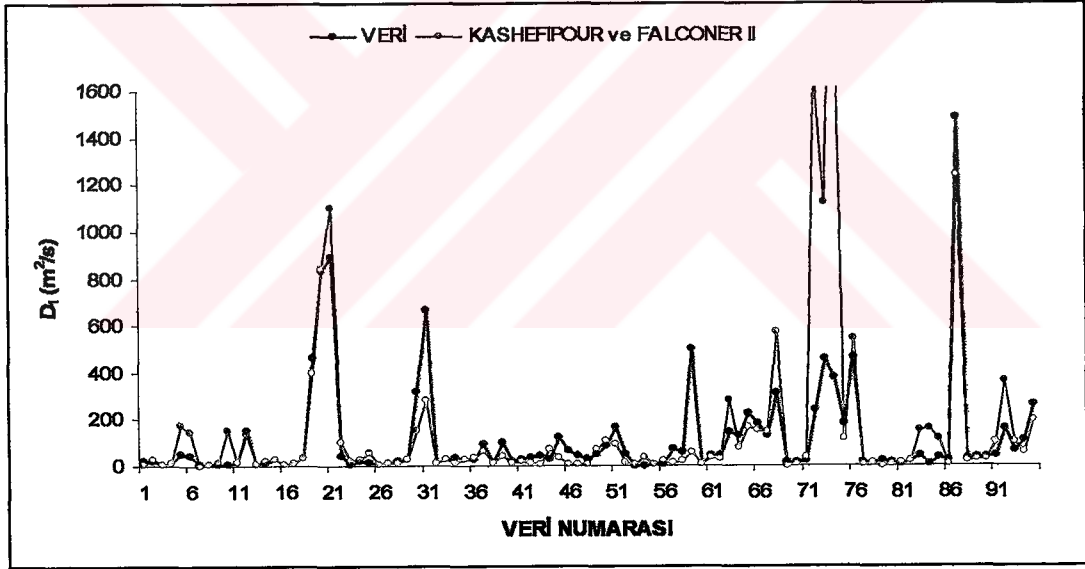
KF 1 ve KF 2'nin bulanık modelden sonra en başarılı çalışmalar olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların da daha çok, değişkenlerin büyük değerlerinde uyumsuzluk gösterdiği dikkat çekmiştir (Şekil 5.23 ve 5.24)

KM'nin de verilerin yüksek değerlerini tahminde güçlük çektiği, dolayısıyla maksimum değerleri yakalayamadığı, bunun yanında ara değerleri yakalamada KF 1 ve KF 2 kadar başarılı olmadığı görülmüştür (Şekil 5.25)

SC verilerle genel uyumluluk sıralamasında, KF 1 ve KF 2'den hemen sonra geldiği görülmüştür. Şekil 5.26, Şekil 5.23 ve 5.24'ten de açık bir şekilde görüldüğü üzere bu üç çalışmanın sonuçları dikkat çekici bir şekilde birbirine benzemektedir.

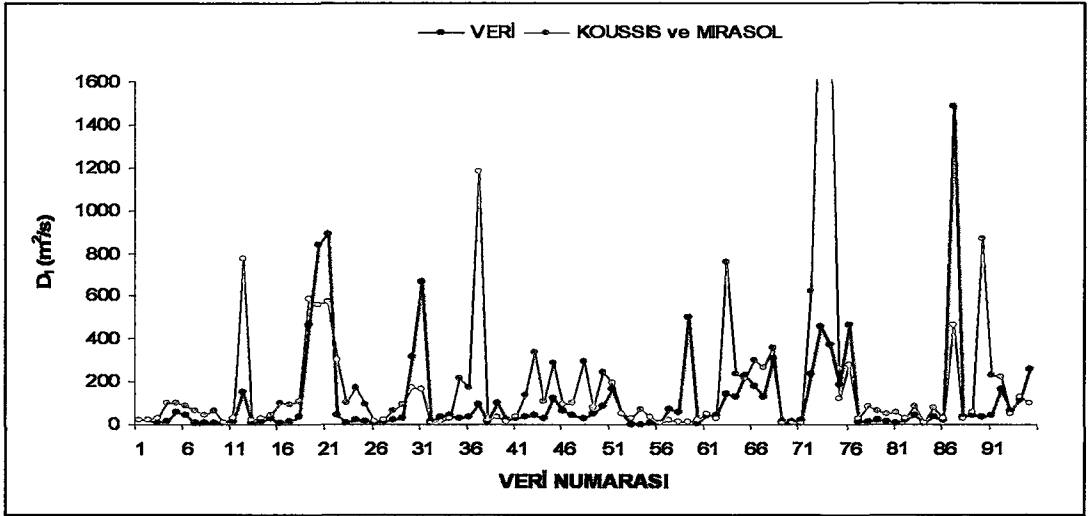


Şekil 5.23 KF 1'in ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler

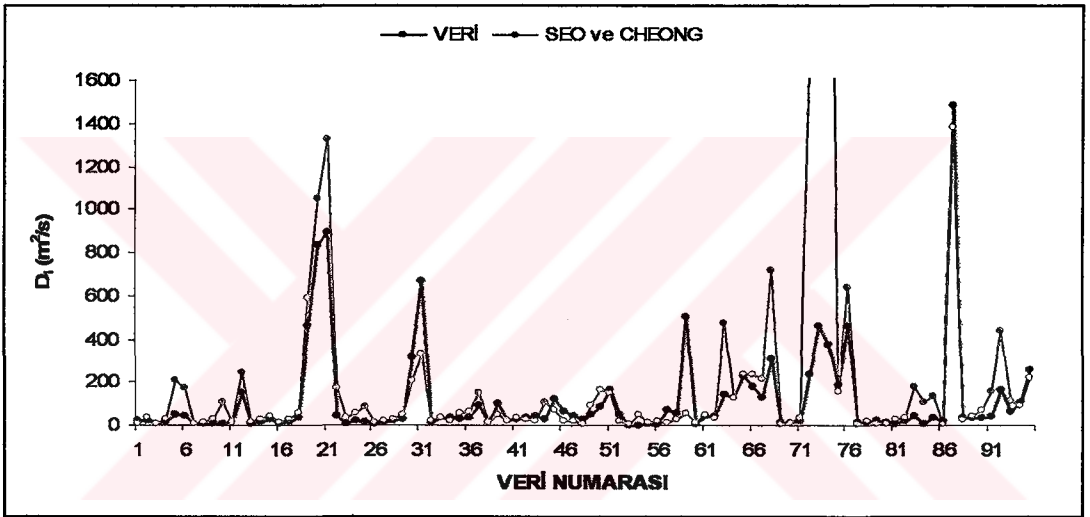


Şekil 5.24 KF 2'nin ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler

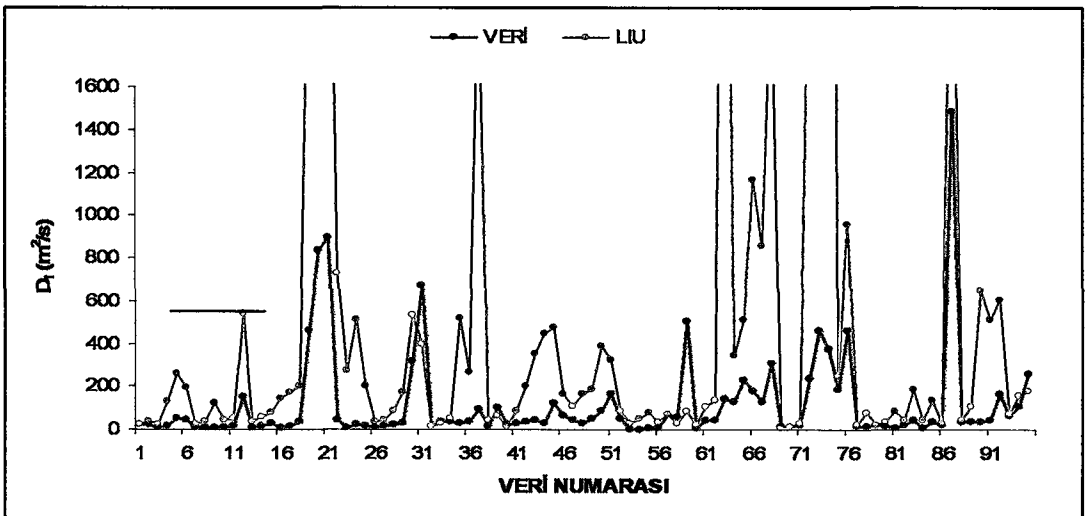
LI'nin sadece maksimum ve minimum değerleri değil ara değerleri de yakalayamadığı görülmüştür (Şekil 5.27). Bu durum, modelin sonuçlarının genel olarak çok yüksek olmasına bağlanmıştır.



Şekil 5.25 KM'nin ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler



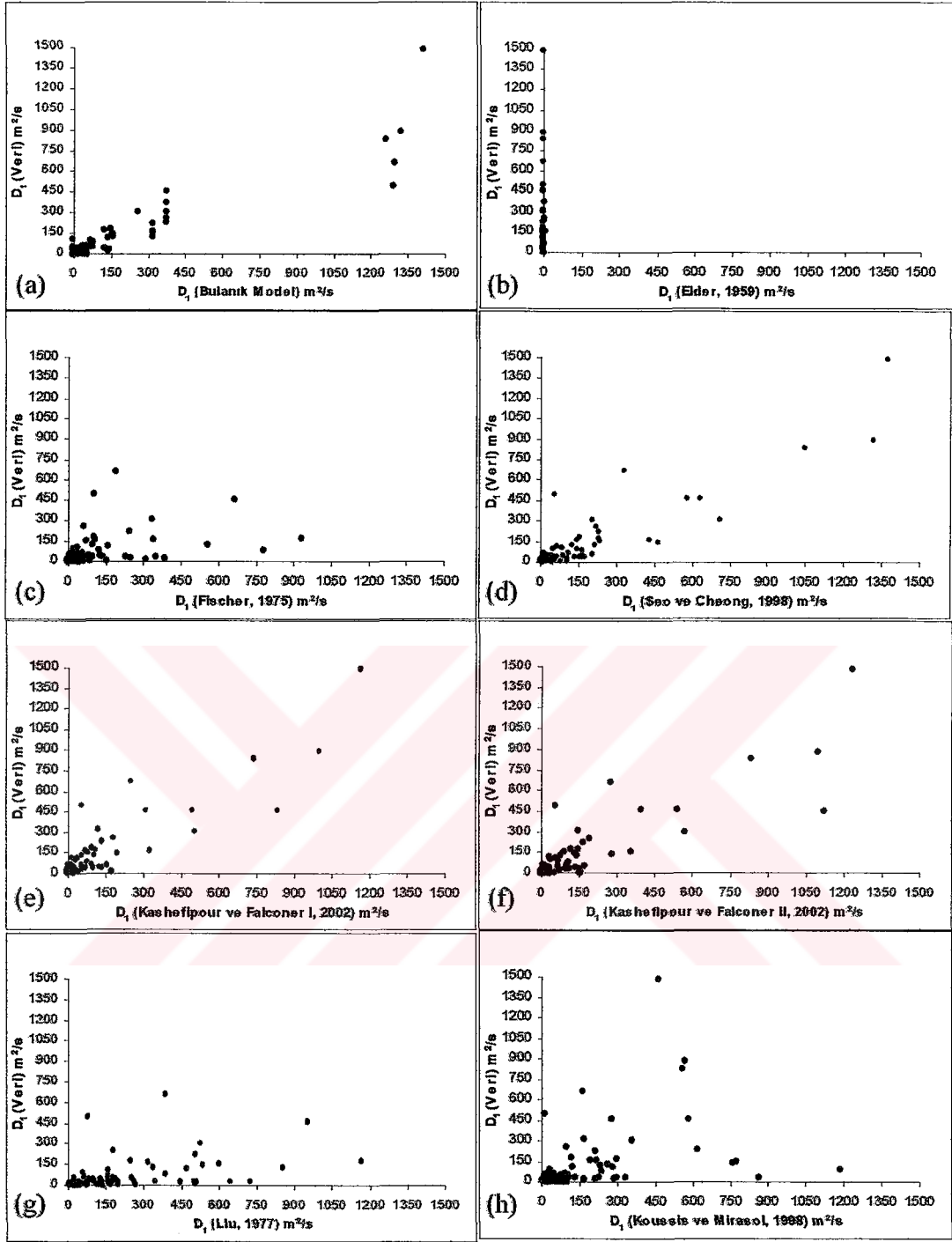
Şekil 5.26 SC'nin ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler



Şekil 5.27 LI'nin ikinci uygulama sonuçları ve ölçülen veriler

Genel olarak, bu grafiklere bakıldığında (Şekil 5.19-5.27), EL de dahil bütün modellerin verilerin grafiğindeki iniş çıkışları az veya çok takip ettiği görülmektedir. EL için bu durum, sonuç değerlerinin genelde çok düşük olması nedeniyle Şekil 5.21 dışında diğer grafiklere yansımamaktadır. Bu durum aynı zamanda tüm modeller için gerçek verilerdeki değişkenlerin etkili olduğu, bağımlı veya bağımsız değişken/lerin sayısal değerlerine göre bağıntıların tepki verdiği anlamına gelir ki, bundan da modellerin tümünün hatalarına rağmen doğru temellere oturduğu ve bağımsız değişkenlerin seçiminin doğru olduğu sonucu çıkarılabilir. SC ve KF 1 ve KF 2, eldeki veriler kısmen esas alınarak geliştirildikleri için bulanık modelden sonra verilerle en iyi uyumu göstermeleri de normal karşılanmıştır.

Şekil 5.28’de model sonuçlarının eldeki verilere göre saçılma diyagramları verilmiştir. Saçılma diyagramlarından hiç bir bağıntının sonuçları ile veriler arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Doğrusala en yakın ilişkinin, bulanık model, KF 1, KF 2 ve SC’nin sonuçları ile veriler arasında görülmektedir (Şekil 5.28 c, e, f, h). Saçılma diyagramında üst üste dizilmiş noktalar bulanık modelin verilerdeki değişkenlerin belli değerleri için aynı sonucu verdiğini göstermektedir (Şekil 5.28 a). Bu durum, değişkenlerin belli aralıktaki değerleri için belli kural/ların tetiklenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tür durumlar Bulanık Mantık yönteminin bir dezavantajı olarak değerlendirilebilir.



Şekil 5.28 Modellerin ikinci uygulama sonuçlarına ait saçılma diyagramları

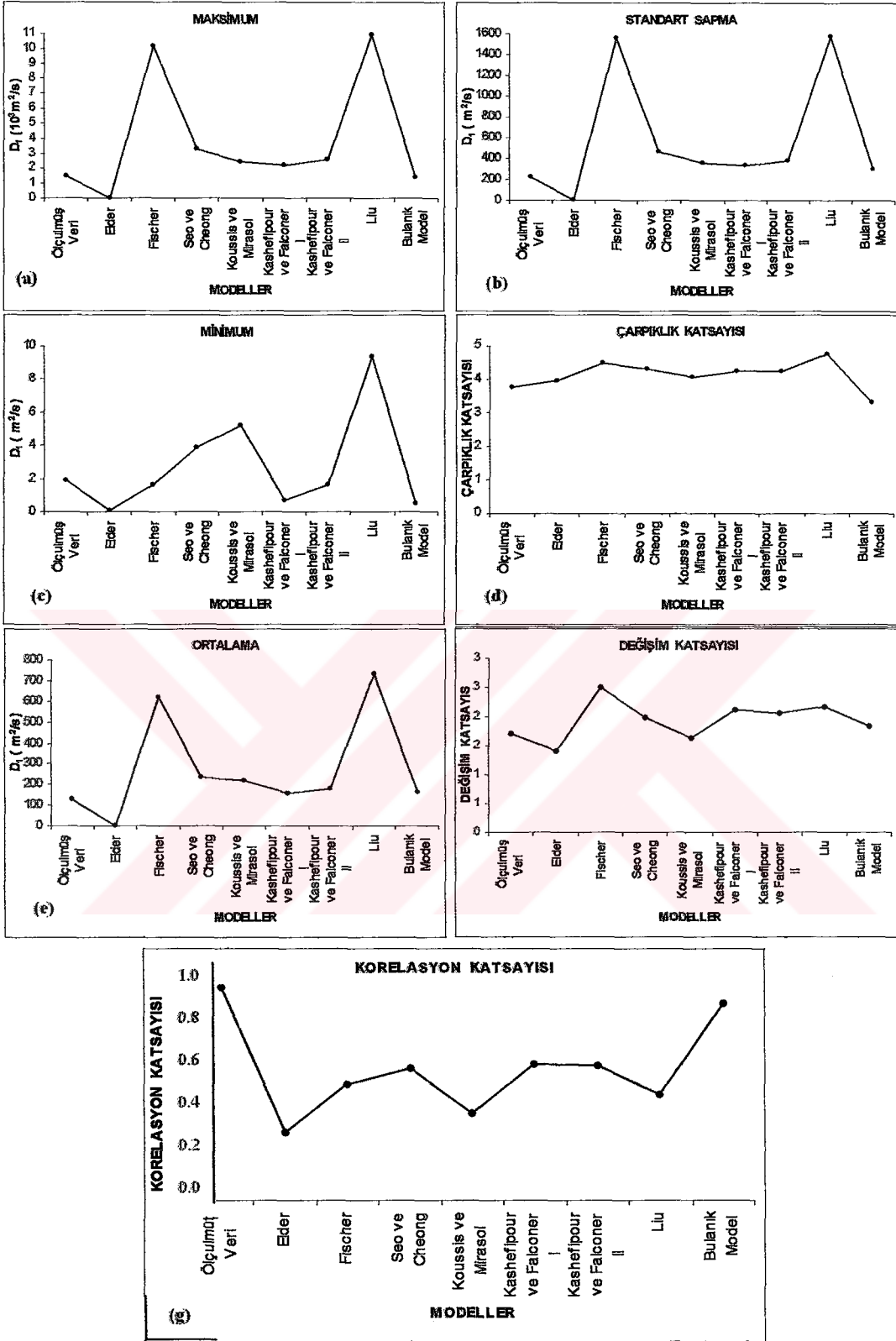
Şekil 5.29 ve 5.30 model sonuçlarına ait istatistik parametreler ve bu çalışmaların eldeki verilere göre farklı şekillerde hesaplanmış hatalarını grafiksel olarak göstermektedir. Bu grafikler, Tablo 5.2’de özetlenmiş olmakla birlikte burada her bir istatistik parametre ve hata türüne göre çalışmaları birer cümle ile yorumlamakta yarar görülmüştür. Maksimum ve ortalama değerler açısından verilerle en uyumlu çalışmanın bulanık model olduğu ve arkasından, KF 1, KF 2, KM ve SC’nin geldiği

gözden kaçmamaktadır. Minimum değerlerde ise bulanık model, FI, KF 1 ve KF 2'den sonra gelmektedir (Şekil 5.29). Birinci uygulamanın sonuçlarından hatırlanacağı üzere minimum değerlerde modellerin verilerle uyumluluk sıralamasında değişimler olmuştur. Özellikle bulanık modelin, minimum değerleri daha iyi bir yaklaşıklıkla yakalayamamasının nedeni değişkenlerin belli aralıktaki değerleri için bulanık sistemde, belli kural/ların tetiklenmesidir. Bu bulanık mantığın bir dezavantajı olarak değerlendirilmiştir.

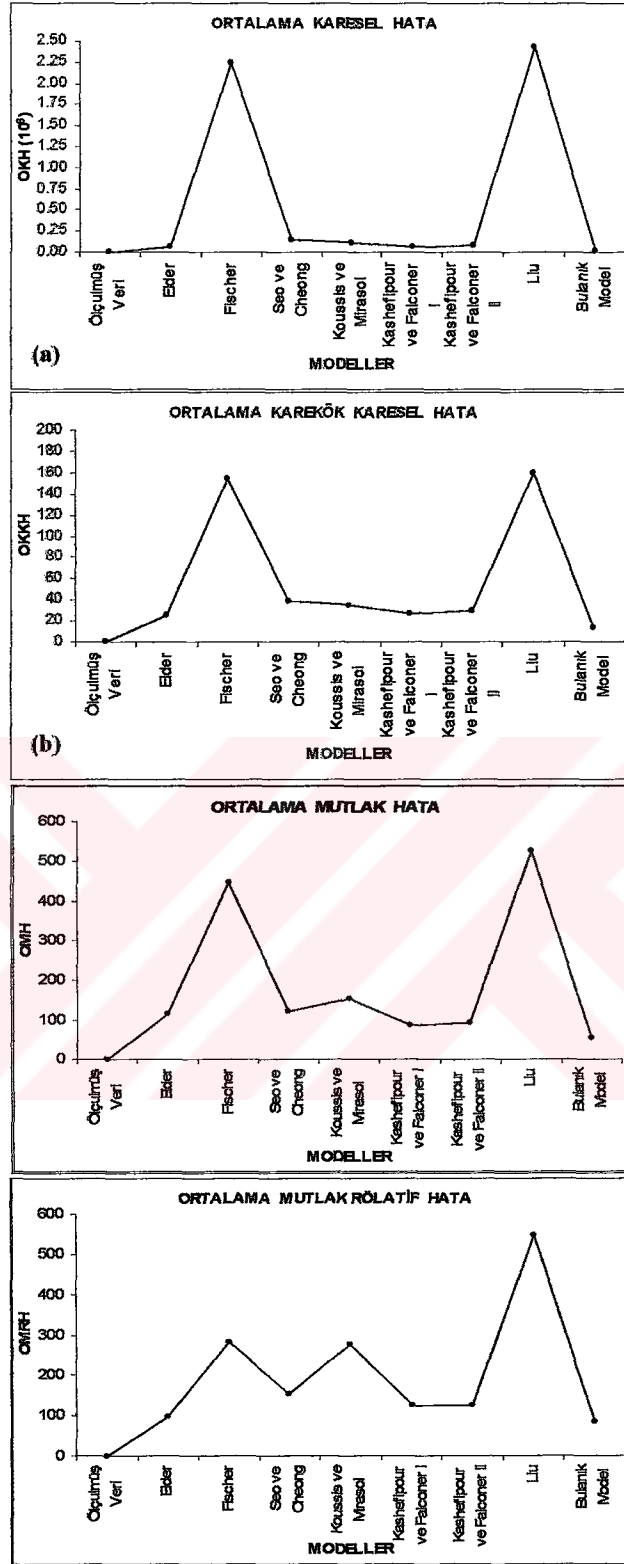
Diğer taraftan, korelasyon katsayısı başta olmak üzere, standart sapma, çarpıklık ve değişim katsayıları açısından verilerle en iyi uyumu sağlayan çalışmanın bulanık model, daha sonra sırasıyla, KF 1, KF 2, SC ve KM'nin geldiği ve LI ise tüm istatistik parametrelere göre verilerle en az uyumlu çalışma olarak değerlendirilebilir, (Şekil 5.29).

Hesaplanan dört farklı hata türüne göre de aynı uyumluluk sıralamasının değişmediği ve bu karşılaştırma kriterlerine göre de LI'nin eldeki verilere göre performansı en düşük çalışma olduğu gözden kaçmamaktadır (Şekil 5.30).

Şekil 5.31'de eldeki tüm verilerin ve modellerin ikinci uygulama sonuçlarına ait eş yayılma eğrili haritaları verilmiştir. İkinci uygulama sonuçlarına ait tüm haritaların birinci uygulama sonucu elde edilen haritalarından farklılık gösterdiği görülmüştür. Çünkü veri sayısındaki artış nedeniyle boyuna yayılma katsayısının maksimum ve minimumları değişmemekle birlikte bağımsız değişkenlerin maksimumlarında bir artış sözkonusu olmuştur. Şekil 5. 15'te W/H'ın minimum ve maksimum değerlerine bağlı olarak x ekseni değerleri 20-130 aralığında değişirken Şekil 5.31'de ise 14-149 aralığında değişmektedir. Benzer şekilde U/U\* (düşey eksen) için bu aralıklar sırasıyla 3-20 ve 1-20'dir. Diğer taraftan birinci uygulamada eğitim ve test grubu verileri için ayrı ayrı haritalar elde edilmiştir. Bu nedenle verilerin her iki uygulamaya ait haritaları arasındaki bu farklılık normal karşılanmıştır.



Şekil 5.29 Modellerin ikinci uygulama sonuçlarına ait istatistik parametreleri

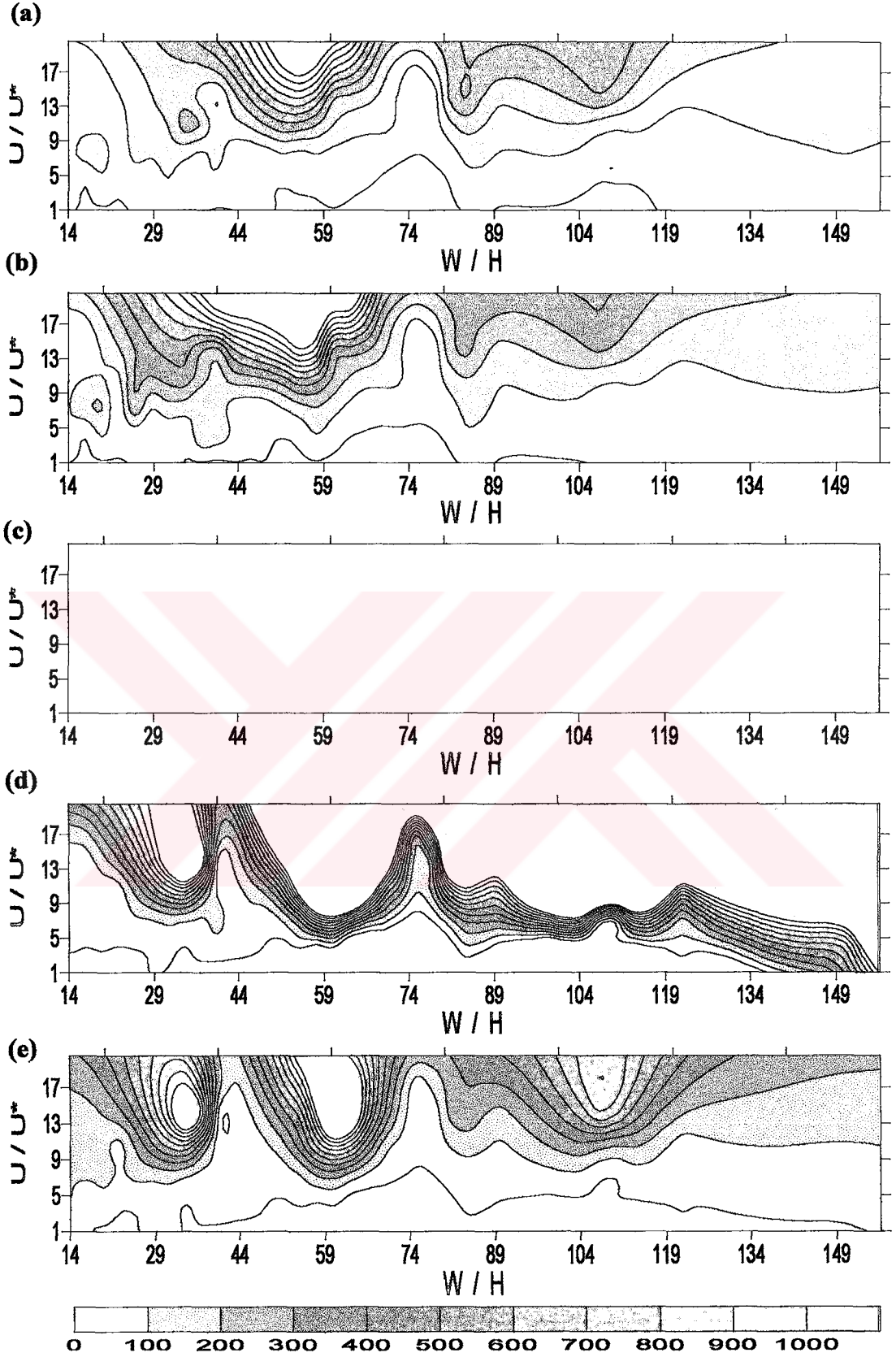


Şekil 5.30 Modellerin ikinci uygulama sonuçlarının eldeki tüm verilere göre hataları

Modellerin ikinci uygulama sonucunda elde edilen haritalarının verilerin haritalarına, birinci uygulamadaki kadar benzerlik göstermediği gözlenmiştir. Bu durum ikinci uygulamada yukarıda sözü edilen çelişkili veri kümelerinin de eğitime ve test grubu

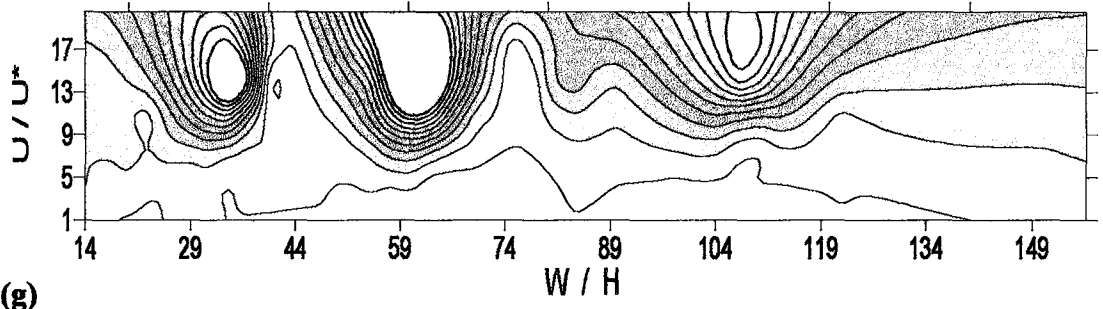
verilerine eklenmiş olmasına bağlanmıştır. Buna rağmen Şekil 5.31’de görüldüğü üzere eş yayılma eğrili harita yöntemi ile ikinci uygulama sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda, modellerin eldeki verilerle uyumluluk sıralamasında dikkate değer bir farklılık gözlenmemiştir.

Sonuç olarak modellerin ikinci uygulamada performanslarının biraz düştüğü tespit edilmiştir. İkinci uygulama sonuçlarına ait istatistik parametrelerden, hata ve eş yayılma eğrili haritalarından bunu görmek mümkündür. Bununla birlikte verilerle uyumluluk sıralamasında bir farklılığın olmadığı söylenebilir. İkinci uygulama sonucuna göre de veriler ile en uyumlu modelin bulanık model, arkasından KF 1, KF 2 ve SC’nin olduğu görülmüştür. Ayrıca istatistik parametreler, farklı hata türleri ve eş yayılma eğrili harita yöntemi esas alınarak yapılan karşılaştırma sonucunda ikinci uygulama sonuçlarının birinci uygulama sonuçlarını şaşırtıcı bir şekilde desteklediği görülmüştür. Bu nedenle birinci uygulama sonucunda elde edilen bulgular ve yapılan tespitler bu uygulama için de geçerli olduğu söylenebilir.

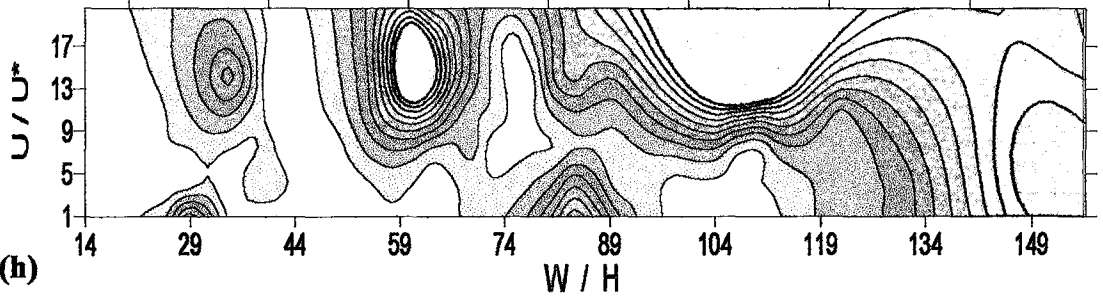


Şekil 5.31 İkinci uygulama sonuçlarına ait eş yayılma eğrili haritalar, (a) eldeki tüm veriler (b) bulanık model, (c) EL, (d) FI, (e) KF 1, (f) KF 2, (g) KM, (h) LI, (i) SC

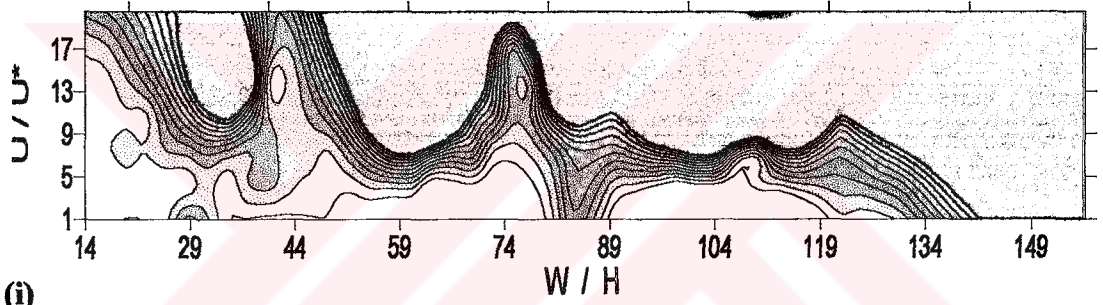
(f)



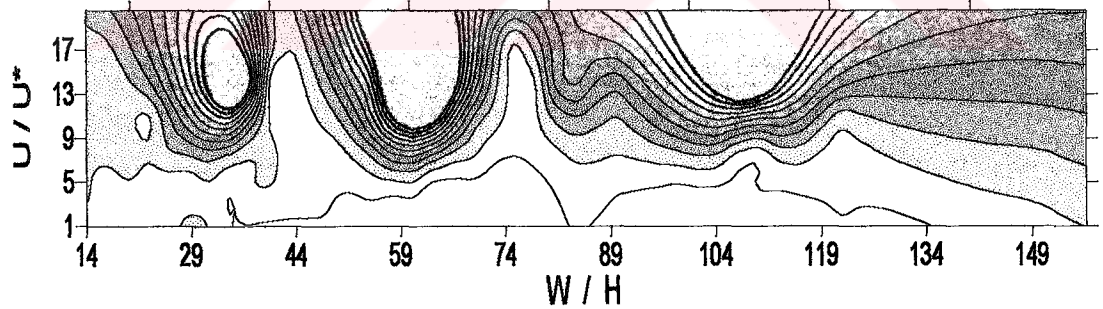
(g)



(h)



(i)



Şekil 5.31 (Devamı)

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, akarsularda boyuna yayılma katsayısının belirlenmesi için bulanık mantık yaklaşımı ile bir model geliştirilmiştir. Bulanık model, akarsu genişliği, akım derinliği, kesit ortalama akım hızı ve kayma hızına bağlı olarak boyutlu boyuna yayılma katsayısını tahmin etmektedir. Bulanık model ile aynı değişkenlerle çalışmış Elder (1959), Fischer (1975), Seo ve Cheong (1998), Liu (1977), Kashefipour ve Falconer I-II (2002), Koussis ve Mirasol (1998) tarafından önerilen modeller eldeki verilere uygulanmış, bu modeller kendi aralarında ve ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan aşağıda sıralanan sonuçlar çıkarılmış, bu sonuçlar ışığında bazı tespit ve tavsiyelerde bulunulmuştur:

1. Yedi istatistik parametre (maksimum, minimum, ortalama, standart sapma ve çarpıklık, değişim ve korelasyon katsayıları), dört hata çeşidi (ortalama karesel hata, ortalama karekök karesel hata, standart hata ve ortalama mutlak rölatif hata) ve eş yayılma eğrili harita yöntemi olmak üzere toplam 12 farklı karşılaştırma kriteri esas alınarak yapılan karşılaştırma ile sonuçların eldeki verilerle uyumu açısından bulanık modelin en başarılı model olduğu, arkasından sırasıyla Kashefipour ve Falconer I-II (2002) ve Seo ve Cheong (1998) tarafından önerilen modellerin geldiği söylenebilir.
2. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi ve kuralların atanması sırasında fizik kanunları uzman görüşü olarak bulanık modellere yansıtılmaktadır. Bu yüzden bulanık model sadece veri esaslı bir model değil, fizik temeli de olan bir modeldir.
3. Hem bulanık model, hem de önceki bölümlerde belirtilen yedi model, eldeki verilerden çelişkili olduğu kabul edilen veri kümeleri çıkarıldıktan sonra kalan 65 veri kümesine uygulandığında modellerin tüm veri topluluğuna uygulamasından belirgin derecede daha anlamlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu durum, model geliştirmede esas alınan verilerin doğru ve güvenilir olması gerektiğini göstermektedir.

4. Model sonuçları ile eldeki veriler arasındaki korelasyon katsayısının yüksek olması modelin başarılı olduğunu söylemek için yeterli olmadığı söylenebilir.
5. Eş yayılma eğrili harita yöntemi karşılaştırma amacı ile kullanılabilir. Bir karşılaştırma kriteri olarak tek başına birden fazla istatistik parametre ve çeşitli hata kriterlerine göre daha anlamlı olduğu söylenebilir.
6. Boyutlu ve boyutsuz eş yayılma eğrili harita yöntemi, ölçülen verilere ait eğrilerin denklemlerini çıkarıp süperpoze ederek boyutlu ve boyutsuz boyuna yayılma katsayısını tahmin edebilecek yeni modellerin geliştirilmesinde de kullanılabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında, herhangi bir akarsudan ölçülerek elde edilen verilerin eş yayılma eğrili haritasının akarsu için bağımsız değişkenlere bağılı olarak boyuna yayılma katsayısının okunmasına da (bir abak gibi kullanılmasına) imkan sağladığı düşünülmektedir.
7. Bir model veya bağıntının başarısından emin olmak veya başka model veya bağıntılar ile karşılaştırmak için az sayıda karşılaştırma kriteri yerine imkanlar el verdiği ölçüde çok sayıda karşılaştırma kriterinin kullanılmasında yarar vardır.
8. Eldeki verilere dayanan çalışmalarda, kapsamlı bir veri analizine yer verilmesi çalışmanın sonunda geliştirilecek olan bağıntı veya modelin yanıltıcı sonuçlar vermemesi açısından çok önemlidir.
9. Bir model veya bağıntının davranışından emin olmak için, eldeki verilerin bir kısmı modelin eğitiminde, bir kısmı ise testinde kullanılmalıdır. Test veya eğitim için veri kümeleri rastgele seçilmelidir. Özel olarak bir seçim yapmaktan özenle kaçınılmalıdır. Aksi halde sonuçlar yanıltıcı olabilir.
10. Bu çalışmada sunulan bulanık modelin belirtilen sınır şartları dahilinde akarsu ve kanallarda boyuna yayılma katsayısını, akım genişliği  $W$  (m), akım derinliği  $H$  (m), kesit ortalama akım hızı  $U$  (m/s) ve kayma hızı  $U^*$  (m/s) hidrolik ve geometrik bağımsız değişkenlerine bağılı olarak  $m^2/s$  biriminde tahmin etmede kullanılabileceği düşünülmektedir.

11. Yayılma katsayısı belirlenirken kullanılan izleyici maddesinin olaya etkisi göz ardı edilmemiş ise modelin izleyiciye göre özelleştirilmesinin mümkün ve uygun olacağı düşünülmektedir.
12. Farklı araştırmacıların elde etmiş olduğu verilerin bir modelin geliştirilmesi için bir arada kullanılması gerektiğinde ölçüm metodunun ve ölçüm veya gözlem koşullarının dikkate alınması modelin güvenilirliği açısından önemli olduğu düşünülmektedir.
13. Model veya bağıntıların geliştirilmesi ve test edilmesinde kullanılmak üzere farklı geometrik ve hidrolik özelliklere sahip akarsular üzerinde hassas cihazlar ile ölçümler yaparak geniş bir veri bankasının oluşturulmasında ve araştırmacıların hizmetine sunulmasında yarar olduğu düşünülmektedir.
14. Genellikle doğa olaylarını idealleştirmek için ihmal ve kabuller yapılmaktadır. Bu ihmal ve kabuller modelin doğa olayını temsil etme yeteneğinin azalmasına neden olmaktadır. Çok sayıda parametre ile çalışıldığı takdirde ise hatalar değerce küçülmemekte sayısızca artmaktadır. Bu nedenle optimum parametre sayısı ile çalışmanın yararlı olacağı düşünülmektedir.
15. İhmal ve kabullerin etkisini en aza indiren ve “bilimde modern yöntemler” olarak bilinen “bulanık mantık”, “yapay sinir ağları” ve benzeri yöntemlerle yapılmış çalışmalara yeterince rastlanamamaktadır. Bu tür metotların kullanıldığı çalışmalara ağırlık verilmesinde yarar umulmaktadır.
16. Araştırmacıların yer yer farklı parametrelerle çalıştıkları görülmektedir. Bu durum araştırmacıların akarsulardaki boyuna yayılmaya etki eden parametrelerde henüz netleşemedikleri şeklinde bir izlenim vermektedir. Bu nedenle konunun uluslararası bilimsel platformlarda ele alınmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.
17. Olayın fizik nedenlerine inmeden deneme-yanılma metodu ile veya önceki araştırmacıların çalışmalarında bazı değişiklikler yaparak geliştirilen model veya bağıntıların genelleştirilmesi için farklı verilerle test edilmeleri uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Al Naib, S. and Sanders, J.,** 1997. Oblique and vertical jet dispersion in channels, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **123(5)**, 456-462.
- Altunkaynak, A., Özger, M ve Şen, Z.,** 2003. Triple diagram model of level fluctuations in Lake Van, Turkey, *Hydrology and Earth System Sciences*, **7(2)**, 235-244
- Aris, R.,** 1956. On the dispersion of the solute in a fluid flowing through a tube, *Proceedings of the Royal Society, Series A*, 67-77.
- Atesman, K.M.,** 1970. The dispersion of matter in turbulent shear flows, *PhD Thesis*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Aytek, A. and Toprak, Z.F.,** 2001. Freshwater-saltwater distribution and freshwater potential of Turkey, *Proceedings of International Symposium on Water Resources and Environmental Impact Assessment*, İTÜ, İstanbul, July 2001, 233 – 238.
- Baeumer, B., Benson, D.A., Meerschaert, M.M., and Wheatcraft, S.W.,** 2001. subordinated Advection-Dispersion Equation for contaminant transport, *Water Resources Research*, **37(6)**, 1543-1550.
- Bansal, M.K.,** 1970. Dispersion and reaeration in natural streams, *PhD Thesis*, Kansas University, Lawrence, Kansas.
- Bansal, M. K.,** 1971, Dispersion in natural streams, *J. Hydr. Div., ASCE*, **97(11)**, 1867-1886
- Bardossy, A., Bogardi, I., and Duckstein, L.,** 1990. Fuzzy regression in hydrology, *Water Resources Research*, **26(7)**, 1497-1508.
- Bardossy, A. and Disse, M.,** 1993. Fuzzy rule-based models for infiltration, *Water Resources Research*, **29(2)**, 373-372.
- Bardossy, A., Bronstert, A. and Merz, B.,** 1995. 1-, 2- and 3-dimensional modeling of water movement in the unstruated soil matrix using a fuzzy approach, *Advances in Water resources*, **18(4)**, 237-251.
- Bardossy, A., and Duckstein L.,** 1995. Fuzzy rule-based modeling with applications to geophysical, biological and engineering systems, Boca Raton, Fla.: CRC press.

- Basha, H.A.**, 1997. Analytical model of two-dimensional dispersion in laterally nonuniform axial velocity distributions, *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*, **123(10)**, 853-862.
- Bayazıt, M.**, 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bear, J.**, 1960. The transition zone between fresh and salt waters in coastal aquifers, *PhD Thesis*, University of California, Berkeley.
- Bear, T. and Bachmat, Y.**, 1965. A unified approach to transport phenomena in porous media. Underground storage and mixing of water. *Prog. Rep. 3, Technion-Israel Ins. of Technol.*, Hydraulic Lab., Haifa, P.N. 1/65.
- Bear T. and Young P.C.**, 1983. Longitudinal dispersion in natural streams, *ASCE J. Envir. Engrg.*, **109(5)**, 1049-1067.
- Beltaos, S.**, 1980. Longitudinal dispersion in rivers, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, **106( HY1)**, 151-172.
- Benjamin, J.R. and Cornell, C.A.**, 1970. Probability Statistics and Decision for Civil Engineering, McGraw-Hill Book Co., 1970.
- Benson, D.A., Wheatcraft, S.W. and Meerschaert, M.M.**, 2000. Application of a fractional advection-dispersion equation, *Water Resources Research*, **36(6)**, 1403-1412.
- Bidwell, V.J.**, 2000. A formula for prediction advection-dispersion in the vadose zone at uneven drainage intervals, *Water Resources Research*, **36(10)**, 3077-3080
- Bogle, G.V.**, 1997. Stream velocity profiles and longitudinal dispersion, *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*, **123(9)**, 816-820.
- Boning, C. W.**, 1974. Generalization of streamtravel rates and dispersion characteristics from time of travel measurements, *U.S. Geological Survey, Journal of Research*, **2(4)**, 495-499.
- Cardoso, O., Gluckmann, B., Parcollet, O. and Tabeling, P.**, 1996. Dispersion in a quasi-two-dimensional-turbulent flow: An experimental study, *Physics of Fluids*, **8(1)**, 209-214.
- Chang, Y.C.**, 1971. Lateral mixing in meandering channels, *PhD Thesis*, The University of Iowa.
- Chatwin, P.C.**, 1971. On the interpretation of some longitudinal dispersion experiments, *J. Fluid Mech.*, **48(4)**, 689-702.

- Chatwin P.C.**, 1980. Presentation of longitudinal dispersion data, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, **106**, 71-83.
- Chiu, C.L. and Lee, T.S.**, 1971. Stochastic simulation in study of transport processes in irregular natural streams, *Stochastic Hydraulics*, C. L. Chiu, ed., School of Engineering Publication Series 4, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pa.
- Cushman, J.H. and Ginn, T.R.**, 2000. Fractional advection-Dispersion Equation: A Classical Mass Balance with Convolution-Fickian Flux, *Water Resources Research*, **36(12)**, 3763-3766.
- Day, T.J.**, 1975. Longitudinal dispersion in natural channels, *Water Resources Research*, **11(6)**, 909-918.
- Dou, C., Woldt, W., Bogardi, I., and Dahap, M.**, 1997, Numerical solute transport simulation using fuzzy sets approach, *Journal of Contaminant Hydrology*, **27**, 107-126.
- Droesen, W.J.**, 1996. Formalisation of ecohydrological expert knowledge applying fuzzy techniques, *Ecological Modeling*, **85(1)**, 75-81.
- El Hadi, N. D., and Daver, K. S.**, 1976. Longitudinal dispersion for flow over rough beds, *J. Hydr. Div.*, ASCE, **102(4)**, 483-498.
- Elder, J.W.**, 1959. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow, *Journal of Fluid Mechanics*, **5(4)**, 544-560.
- Fischer, H.B.**, 1967. The mechanics of dispersion in natural streams, *ASCE, J. Hydr. Div.*, **93(6)**, 187-216.
- Fischer, H.B.**, 1968 a. Dispersion predictions in natural streams, *ASCE J. Sanitary Div.*, **94(5)**, 927-943.
- Fischer, H.B.**, 1968 b. The effects of bends on dispersion in streams, *Water Resources Research*, **5(2)**, 496-506.
- Fischer H.B.**, 1975. Discussion of Simple method for prediction dispersion in streams' by R.S. McQuivey and T.N. Keefer, *J. Environ Eng Div ASCE*, **101**, 453-5.
- Fischer H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, N.H.**, 1979. Mixing in inland and coastal waters, Academic Press, Inc., New York, N.Y.
- Fukooka, S. and Sayre, W.**, 1973. Longitudinal dispersion in sinuous channels, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, **99 (1)**, 195-217.

- Gandolfi, C., Facchi, A. and Whelan, M.J.,** 2001. On the relative role of hydrodynamic dispersion for river water quality, *Water Resources Research*, **37(9)**, 2365-2375.
- Godfrey, R. G., and Frederick, B. J.,** 1970. Stream dispersion at selected sites, *U.S. Geological Survey*, Prof. Paper, 433-K, Washington, D.C.
- Graf, J.B.,** 1986. Travel time and longitudinal dispersion in Illinois streams, Water-Supply Paper 2269, U.S, Geological Survey.
- Guymer, I., and West, J.R.,** 1992. Longitudinal dispersion coefficients in Estuary. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **118(5)**, 718-734.
- Guymer, I.** 1998. Longitudinal dispersion in sinuous channel with changes in shape, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **124(1)**, 33-40.
- Jackel, U. and Vereecken, H.,** 1997. Renormalization group analysis of macrodispersion in a directed random flow, *Water Resources Research*, **33(10)**, 2287-2299.
- Jobson, H.E.,** 1997. Predicting travel time and dispersion in rivers and streams, *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*, **123(11)**, 971-978.
- Kashefipour, S.M. and Falconer, R.A.,** 2002. Longitudinal dispersion coefficients in natural streams, *Water Research*, **36**, 1596-1608.
- Klipatrick, F.A.,** 1993. Simulation of soluble waste transport and buildup in surface waters using tracers, *U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations*, Book 3.
- Koussis, A.D. and Rodriguez-Mirasol, J.,** 1998. Hydraulic estimation of dispersion coefficient for streams, *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, **124**, 317-20.
- Li, S.G. and Zhou, X.,** 1997. Stochastic theory for irregular stream modeling II: Solute transport, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **123(7)**, 610-615.
- Liu, H.,** 1977. Predicting dispersion coefficient of stream, *J. Envir., Engrg., Div., 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. and Keefer, T.N.,** 1974. Simple method for prediction dispersion in streams, *J Environ Eng. ASCE*, **100**, 997-1011.

- Nordin, C.F., and Sabol, G.V.,** 1974. Empirical data on longitudinal dispersion in rivers, *U.S. Geological Survey Water Resour. Investigation* 20-74, Washington, D.C.
- Parker, F.L.,** 1961. Eddy diffusion in reservoirs and pipe lines, *J. of Hydr. Div., ASCE*, **87(3)**, 151-171.
- Pasquero, C., Provenzale, A. and Babiano, A.,** 2001. Parameterization of dispersion in two-dimensional turbulence, *Journal of Fluid Mechanics*, **439**, 279-303.
- Ross, T.J.,** 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications. McGraw-Hill, Inc.
- Savcı, M.E.,** 1970. Boyuna Dispersiyon ile İlgili Çalışmaların Kritiği, Koç Holding Bursu Desteğinde Yapılan Çalışmanın Raporu. İTÜ, İnşaat Fakültesi.
- Savcı, M.E.,** 1972. Batmış sıçramanın etüdü ve batmış sıçramada maddenin boyuna dispersiyonu, *Doktora Tezi*, İTÜ, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Savcı, M.E.,** 1973. Longitudinal dispersion of soluble matter in submerged jumps. *Proceedings of 15<sup>th</sup> Congress of the International Association for Hydraulic Research (IAHR, AIRH)*, İstanbul, 71-78.
- Savcı, M.E.,** 1977. Hidrolik sıçramada maddenin boyuna dispersiyonu ve Froude sayısının boyuna dispersiyon katsayısına etkisi, *TÜBİTAK Araştırma Projesi*, MAG-325. 112 sayfa.
- Savcı, M.E.,** 1987. Su kalitesi kontrolunda türbülans dispersiyonu, *Türkiye İnş. Müh. IX. Teknik Kongresi*, Ankara.
- Savcı, M.E.,** 1989. Batmış akımlarda türbülans dispersiyonu, *VI. Ulusal Mekanik Kongresi*, Bursa.
- Sayre, W.W.,** 1968. Dispersion of mass in open channel flow, *Colorado State University Hydraulics Paper*, Colorado, **3(4)**, 73.
- Sayre, W.W. and Chang, F.M.,** 1968. A laboratory investigation of open-channel dispersion, processes for dissolved, suspended and floating dispersants, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, **433(E)**, 71.
- Scheidegger, A.E.,** 1954. Statistical hydrodynamics in porous media. *J. Appl. Phys.*, **25**.
- Seo, W. and 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, *J. Hydr. Div., ASCE*, **95(4)**, 1327-1346.

- Strack, O.D.L.**, 1992. A mathematical model for dispersion with a moving front in groundwater. *Water Resources Research*, **28(11)**, 2973-2980.
- Strack, O.D.L. and Fairbrother, M.D.**, 1997. Numerical solution of the differential equation for moving front dispersion, *Journal of Hydrology*, **194**, 164-176.
- Sugeno, M. and Kank, G.T.**, 1988. Structure identification of fuzzy model, *Fuzzy Sets and Systems*, **28(1)**, pp.15-33.
- Sümer, M.**, 1970. Ağırlıklı ve ağırlıksız maddenin boyuna dispersiyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Swamee, P.K., Pathak, S.K. and Sohrab, M.**, 2000. Empirical relations for longitudinal dispersion in streams, *J. Hydraulic Eng ASCE*, **126**, 1056-1062.
- Şen, Z.**, 1999. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Modelleme İlkeleri, ders notları, *İTÜ, İnşaat Fak, İnşaat Müh. Böl., Hidrolik ABD*, İstanbul.
- Şen, Z.**, 2001. Angström equation parameterestimation by unrestricted method, *Solar Energy*, **71**, 95-107.
- Tabeling, P., Burkhardt, S., Cardoso, O., and Willaime, H.**, 1991. Experimental study of freely decaying two dimensional turbulence, *Phys. Rev. Lett.*, **67**, 3772.
- Takagi, K.I. ve Sugeno, M.**, 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybern*, **15(1)**, 116-132.
- Taylor, G.I.**, 1921. Diffusion by continuous movements, *Proceedings of Mathematical Society*, London, **2(20)**, 196-212.
- Taylor, G.I.**, 1953. The dispersion of soluble matter in solvent flowing through a tube, *Proc., Royal Society of London*, **219(A)**, 186-203.
- Taylor, G.I.**, 1954. The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe, *Proc., Royal Society of London*, **223(A)**, 446-468.
- Thackston, E.L., and Krenkel, P.A.**, 1967. Longitudinal mixing in natural streams, *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proc. Soc. ASCE*, **93(SA5)**.
- Toprak, Z.F., Aytok, A.**, 2001. Design of a Canal Cross-section by Fuzzy Logic Approach, *International Symposium On Water Resources Enviromental Impact Assesment*, , İstanbul, July 11-13, 355-365.

- Toprak, Z.F., Aytek, A., Kişi, Ö., and Savcı, M.E., 2002.** The Determination of the Monthly Crop Water Requirement by Fuzzy Logic Approach *Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering*, Istanbul Technical University, Istanbul, September 25-27, 1271-1280.
- Toprak, Z.F., Şen, Z., and Savcı, M.E., 2003.** Comment on longitudinal dispersion coefficients in natural channel, *Water Research*, under publication.
- Yotsukura, N., Fischer, H.B., and Sayre, W.W., 1970.** Measurement of mixing characteristics of the Missouri River between Sioux City, Iowa, and Plattsmouth, Nebraska, *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1899-G*, Washington, D.C.
- Zadeh, L.A., 1965.** Fuzzy sets, *Information and Control*, **8**, 338-353.
- Zadeh, L.A., 1971.** Towards a theory of fuzzy systems. In *Aspects of Network and Systems Theory*, eds. R.E. Kalman and N. DeClaris.
- Zhang, Q. 1995.** Transient behavior of mixing induced by a random velocity field, *Water Resources Research*, **31(3)**, 577-591.

## ÖZGEÇMİŞ

Ekim, 1967'de Diyarbakır'ın Hızırilyas Köyü'nde doğdu. İlkokulu, aynı köyün ilkokulunda birincilikle bitirdikten sonra Diyarbakır Vakıflar Yurdu sınavını kazandı. Ortaokulu Diyarbakır Ali Emiri Ortaokulu'nda tamamladı. Devlet Parasız Yatılı Lise sınavını kazanarak, Gaziantep Lisesi'ni yatılı öğrenci olarak 1985 yılında bitirdikten sonra aynı yıl Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek öğrenimine başladı. 1989 yılında mezun olduktan hemen sonra özel sektörde, şantiye şefi olarak göreve başladı. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra, Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi oldu. 1992 yılında, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisansını 1994 yılında tamamladı. Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün Laboratuvarlarını kurmakla görevlendirildi. Bu bağlamda, Aralık, 1994'te, Dicle Üniversitesi tarafından görevlendirildiği İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında 10 gün süre ile inceleme ve araştırma yaptı. 1995-1997 yılları arasında yedek subay olarak askerlik görevini yaptı. Askerlik görevinden sonra; 1998-1999 öğretim yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde İngilizce hazırlık okudu. 1999-2000 öğretim yılı kış yarıyılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Su Programı'nda Doktora öğrenimine başladı. ASCE ve TMMOB üyesi ve kuruluşunda rol aldığı İ.T.Ü. Bulanık Mantık ve Teknolojisi Kulübünün (BUMAT) başkan yardımcısıdır. Evli ve üç çocuk sahibi olan Z. Fuat TOPRAK halen tez aşamasında Doktora çalışmasına devam etmektedir. Aralık, 2003.

## 4. BULANIK MODEL

### 4.1 Giriş

Bu bölümde amaçlanan akarsulardaki boyuna yayılma katsayısını, daha önce geliştirilen model ve bağınımlardan daha iyi birinin elde edilecek bulanık mantık temeline dayalı yeni bir modelin geliştirilmesidir. Modelin bağınımları test etmek için bulanık model sonuçları, elde edilen veriler ve konu ile ilgili mevcut denklemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modeli geliştirmek ve test etmek için ABD’de 30’dan fazla akarsu üzerinde ölçüm sonucu elde edilen ve Fischer (1968), Yotsukura ve diğ. (1970), McQuivey ve Keefer (1974), Nordin ve Sabol (1974) ve Godfrey ve Frederick (1979) rapor ve makalelerinde yayınlanan veriler kullanılmıştır. Farklı akarsulardan, farklı zamanlarda ve farklı araştırmacılar tarafından ölçüm sonucu elde edilen bu veriler, en son kullandıkları Kashafipour ve Falconer (2002) ve Seo ve Cheong (1998)’ten alınmıştır. Her iki makaleden alınan toplam veri kümesi sayısı sırasıyla 81 ve 59’dur. Kashafipour ve Falconer (2002)’de sunulan 81 veri kümesinin tümü, Seo ve Cheong (1998)’de ise sunulan 59 veri kümesinden yalnızca 35 tanesi denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Bazı veri kümelerinin, her iki çalışmada da kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle veriler alınırken her iki çalışmada geçen veri kümelerinin birleşimi göz önünde tutularak tekrarlanan veriler bir kez kullanılmıştır. Sonuçta, iki çalışmada bulunan toplam 140 veri kümesinden birbirinin aynı olmayan 96 adet veri kümesi elde edilmiştir (Table 4.1). Kashafipour ve Falconer (2002)’de sunulan 81 veri kümesi, akım derinliği, akarsu genişliği, kesit ortalama akım hızı ve kayma hızı olmak üzere dört bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken (boyuna yayılma katsayısı) olmak üzere toplam beş değişken içermektedir.