İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKARSULARDA AKIM ÖZELLİKLERİNİN ENTROPİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Onur GENÇ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKARSULARDA AKIM ÖZELLİKLERİNİN ENTROPİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Onur GENÇ
(501032503)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necati AĞIRALİOĞLU

OCAK 2013

ONAY

Aileme,

ÖNSÖZ

Ekonomik, sosyal ve stratejik bir kaynak olan suyun önemi her geçen gün daha da artarak hissedilmektedir. Sahip olduğumuz su kaynaklarımızın değerlendirilmesi ve toplumumuzun istifadesine sunulması sırasındaki çalışmalarda ortaya çıkan emek ve zaman kaybını önlemek için daha kolay bir yöntemle akıma ait bilgilere ulaşmak gerekmektedir. Bu çalışmada, açık kanal akımlarındaki hız dağılımı ve debi hesabı gibi özelliklerin akıma ait daha kolay ölçülebilen bir yaklaşım ile belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen veriler ve sonuçlar irdelenmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan entropi yöntemine getirilen bu yeni yaklaşımla akıma ait özelliklerin klasik yöntemlere göre daha kolay, çabuk ve masrafsız bir şekilde tespit edilebildiği gösterilmiştir.

Bu tezin yürütücülüğünü yapan ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan, düşünceleriyle çalışmalarıma yön veren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Necati AĞIRALİOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarımın her aşmasında engin tecrübesi ve konuya hakimiyeti ile beni destekleyen, rehberliğini ve müsamahalı yol göstericiliğini benden esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU'na hürmet ederim.

Son olarak da bu uzun ve yorucu çalışma boyunca bana maddi manevi destek olan aileme ve eşime teşekkür ederim.

Ocak 2013

Onur GENÇ
İnş. Yük. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI **1**
1.1 İncelenecek Konu 1
1.2 Konunun Önemi 2
1.3 Literatür Taraması 4
1.4 Çalışmanın Hedefi 11
1.5 Çalışmanın İçeriği 12
2. AKARSULARDAKİ AKIMLAR **15**
2.1 Giriş 15
2.2 Debi Ölçümleri 16
2.2.1 Manning eşitliği 17
2.2.2 Anahtar eğrileri 18
2.2.3 Hız alan yöntemi ile debi hesabı 20
2.2.4 Ölçüm savakları 22
2.2.5 Yüzücülerle debinin bulunması 24
2.2.6 Entropi yöntemi ile debi hesabı 24
2.3 Açık kanal akımlarında hız dağılımları 25
2.3.1 Cilalı ve pürüzlü akım şartları 26
2.3.2 Logaritmik dağılım 26
2.3.3 Cilalı akımlarda logaritmik hız dağılımı 28
2.3.3.1 Viskoz alt tabakada çözüm 29
2.3.3.2 Türbülanslı bölgede çözüm 30
2.3.4 Pürüzlü açık kanal akımlarında hız profili 31
2.3.5 Üstel dağılım 32
3. ENTROPİ KAVRAMI VE CHIU'NUN ENTROPİ TABANLI HIZ DAĞILIMI **35**
3.1 Entropi Kavramı 35
3.2 Entropi ve Enformasyon 36
3.3 Entropinin Farklı Disiplinlerde Kullanımı 38
3.4 Entropi Kavramının Hidrolik ve Su Kaynaklarında Kullanımı 40
3.5 Chiu'nun Entropi Tabanlı Hız Dağılımı 41
4. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ **47**
4.1 Ölçüm Sahası 47
4.1.1 Ölçüm istasyonunun yerinin seçimi 49
4.2 Ölçüm Cihazı 49

4.3 Ölçüm Çalışması 57
4.3.1 Bünyan istasyonunda ölçüm 65
4.3.2 Barsama istasyonunda ölçüm 68
4.3.3 Şahsenem istasyonunda ölçüm 71
4.3.4 Sosun istasyonunda ölçüm 74
5. HESAPLAMALAR VE BULGULAR 79
5.1 Entropi Yöntemi ile Debi Hesabı 79
5.2 Entropi Yöntemi ile Hız Dağılımının Belirlenmesi 89
5.2.1 İstasyona ait entropi parametresi M_i ile hız dağılımlarının modellenmesi 90
5.2.2 Entropi parametresi M = 1,31 ile hız dağılımlarının belirlenmesi 108
5.3 Manning Eşitliği ile Debinin Belirlenmesi 114
5.4 Logaritmik Dağılım ile Hız Dağılımlarının Belirlenmesi 123
5.5 Anahtar Eğrisi ile Debinin Belirlenmesi 133
6. HIZ DAĞILIMI İÇİN YENİ BİR ENTROPİ MODELİ 141
6.1 Yeni Bir Entropi Modeli 141
6.2 Bünyan ve Sosun İstasyonlarında z_{mak}/H Oranının Belirlenmesi 142
6.3 Şahsenem ve Barsama İstasyonlarında z_{mak}/H Oranının Belirlenmesi 144
6.4 Bünyan ve Sosun İstasyonlarında u_{mak}/H Oranının Belirlenmesi 146
6.5 Şahsenem ve Barsama İstasyonlarında u_{mak}/H Oranının Belirlenmesi 148
6.6 Bünyan İstasyonunda Hız Dağılımı 149
6.7 Barsama İstasyonunda Hız Dağılımı 153
6.8 Şahsenem İstasyonunda Hız Dağılımı 155
6.9 Sosun İstasyonunda Hız Dağılımı 157
6.10Yeni Entropi Modelinin Değerlendirilmesi 159
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 163
7.1 Değerlendirmeler 163
7.2 Sonuçlar ve Öneriler 164
KAYNAKLAR 169
ÖZGEÇMİŞ 175

KISALTMALAR

ABD **:** Amerika Birleşik Devletleri
ADCP **:** Acoustic Doppler Current Profiler
ADV **:** Acoustic Doppler Velocimeter
DSİ **:** Devlet Su İşleri
KKY **:** Konjestif kalp yetmezliği
KHD **:** Kalp hızı değişkenliği
Df **:** Doppler frekansı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Re sayısı değişimi 32
Çizelge 4.1 : İstasyonlarda gerçekleştirilen ölçümlerin sayıları 48
Çizelge 4.2 : Ölçüm yapılan bir noktada düşey kesit boyunca noktaların hızlarını ve ölçüme ait birçok bilgiyi veren *.dis* uzantılı dosya 54
Çizelge 4.3 : Ölçüm yapılan düşeydeki bir noktanın anlık hızlarını gösteren *.Dat* dosyası 55
Çizelge 4.4 : Ölçüm yapılan alete ait bilgilerin verildiği *.ctl* dosyası 56
Çizelge 4.5 : Ortalama u, v ve w değerlerini veren *sum* dosyası (cm/s) 57
Çizelge 4.6 : Sosun_1 hız ölçüm değerleri 61
Çizelge 4.7 : Sosun_1 istasyonu dilim ortalama hızları 62
Çizelge 4.8 : Sosun_1 istasyonu debi hesabı 63
Çizelge 4.9 : Dört istasyona ait akım karakteristikleri 64
Çizelge 4.10: Bünyan istasyonu genel akım karakteristikleri 65
Çizelge 4.11: Bünyan istasyonu akım karakteristikleri 66
Çizelge 4.12: Barsama istasyonu genel akım karakteristikleri 69
Çizelge 4.13: Barsama istasyonu akım karakteristikleri 69
Çizelge 4.14: Şahsenem istasyonu genel akım karakteristikleri 72
Çizelge 4.15: Şahsenem istasyonu akım karakteristikleri 72
Çizelge 4.16: Sosun istasyonu genel akım karakteristikleri 75
Çizelge 4.17: Sosun istasyonu akım karakteristikleri 75
Çizelge 5.1 : Bünyan istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri 80
Çizelge 5.2 : Bünyan istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdeleri. 81
Çizelge 5.3 : Barsama istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri 82
Çizelge 5.4 : Barsama istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdeleri 83
Çizelge 5.5 : Şahsenem istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri 84
Çizelge 5.6 : Şahsenem istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdeleri 84
Çizelge 5.7 : Sosun istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri 85
Çizelge 5.8 : Sosun istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdeleri 86
Çizelge 5.9 : Dört istasyona ait Q, Q_M ve Q_{Mi} debi değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri 89
Çizelge 5.10: Bünyan_1 akım durumunda farklı düşeylerde ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri 91
Çizelge 5.11: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.. 99
Çizelge 5.12: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki f bağıl hata yüzdeleri 102
Çizelge 5.13: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri 105
Çizelge 5.14: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri 107
Çizelge 5.15: Chow tarafından önerilen pürüzlülük değerleri 116
Çizelge 5.16: İstasyonlar için belirlenen manning pürüzlülük katsayıları 117

Çizelge 5.17: Manning eşitliğinde kullanılan akım karakteristikleri 120
Çizelge 5.18: İstasyonlar için manning eşitliği ile belirlenen debiler ve bağıl hata yüzdeleri 121
Çizelge 5.19: İstasyonlara ait ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler QM, QMi ve Q_{Man} arasındaki bağıl hata yüzdeleri 122
Çizelge 5.20: Şahsenem_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler 125
Çizelge 5.21: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri 126
Çizelge 5.22: Barsama_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler 127
Çizelge 5.23: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri 128
Çizelge 5.24: Bünyan_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler.. 129
Çizelge 5.25: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri 130
Çizelge 5.26: Sosun_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler 131
Çizelge 5.27: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri 132
Çizelge 5.28: Dört istasyon için ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplanan hızlar arasındaki ortalama bağıl hata yüzdeleri 132
Çizelge 5.29: Sosun istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri 134
Çizelge 5.30: Bünyan istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri 135
Çizelge 5.31: Barsama istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri 136
Çizelge 5.32: Şahsenem istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri..... 137
Çizelge 5.33: İstasyonlara ait ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M, Q_{Mi} ve Q_{Man} arasındaki bağıl hata yüzdeleri 139

Çizelge 6.1 : Bünyan_1 ölçümüne ait akım değerleri 149
Çizelge 6.2 : Bünyan_1 ölçümüne ait yeni entropi modeli ile hesaplanan hızlar.... 150
Çizelge 6.3 : Dört istasyon için ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl ortalama hata yüzdeleri 152
Çizelge 6.4: Barsama_1 ölçümüne ait akım değerleri 154
Çizelge 6.5: Şahsenem_4 ölçümüne ait akım değerleri 156
Çizelge 6.6: Sosun_2 ölçümüne ait akım değerleri 158

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çeşitli limnimetre ve limnigraflar 19
Şekil 2.2 : Anahtar eğrisi 20
Şekil 2.3 : Ölçüm yapılan düşeyde ortalama hızın hesabı 22
Şekil 2.4 : Ölçüm savağı 23
Şekil 2.5 : Parshall savağı 23
Şekil 2.6 : Sınır tabakasındaki hız dağılımı 28
Şekil 2.7 : Türbülanslı üniform akımda kayma gerilmesi dağılımı 29
Şekil 3.1 : Eş hız eğrileri 42
Şekil 3.2 : ξ ve η eğrilerinin kullanıldığı eş hız eğrileri 42
Şekil 4.1 : Çalışma sahası ve ölçüm istasyonlarının yerleri 48
Şekil 4.2 : Akustik hız ölçer ADV cihazı 50
Şekil 4.3a: ADV cihazı başlığı 51
Şekil 4.3b: ADV cihazı kontrol ünitesi 51
Şekil 4.4a: Enkesitte x doğrultusundaki u hızları 52
Şekil 4.4b: Enkesitte y doğrultusundaki v hızları 52
Şekil 4.4c : Enkesitte z doğrultusundaki w hızları 52
Şekil 4.5 : Şahsenem istasyonu ölçüm çalışması 58
Şekil 4.6 : Şahsenem_6 ölçümü en kesiti 58
Şekil 4.7 : Şahsenem istasyonu boykesit çalışması 59
Şekil 4.8 : Şahsenem_6 ölçümü boykesiti 59
Şekil 4.9 : Bünyan_1 ölçümü x doğrultusundaki hızlar 66
Şekil 4.10: Bünyan_1 ölçümü en kesiti 67
Şekil 4.11: Bünyan_1 ölçümü boykesit çalışmaları 67
Şekil 4.12: Bünyan_1 ölçümü boykesiti 68
Şekil 4.13: Barsama istasyonu ölçüm çalışması 69
Şekil 4.14: Barsama _3 ölçümü y = 500 cm'deki hız değerleri 70
Şekil 4.15: Barsama _3 ölçümü en kesiti 70
Şekil 4.16: Barsama _3 Ölçümü boykesiti 71
Şekil 4.17: Şahsenem istasyonu hız ölçüm çalışması 72
Şekil 4.18: Şahsenem_5 ölçümü y = 277 cm'de x doğrultusundaki hız değerleri 73
Şekil 4.19: Şahsenem_5 ölçümü en kesiti 73
Şekil 4.20: Şahsenem_5 ölçümü boykesiti 74
Şekil 4.21: Sosun istasyonu hız ölçüm çalışması 75
Şekil 4.22: Sosun_4 ölçümü y = 120 cm'de x doğrultusundaki hız değerleri 76
Şekil 4.23: Sosun_4 ölçümü en kesiti 76
Şekil 4.24: Sosun_4 ölçümü boykesiti 77
Şekil 5.1 : Bünyan istasyonu U-u_{mak} ilişkisi 81
Şekil 5.2 : Barsama istasyonu U-u_{mak} ilişkisi 82
Şekil 5.3 : Şahsenem istasyonu U-u_{mak} ilişkisi 84
Şekil 5.4 : Sosun istasyonu U-u_{mak} ilişkisi 85
Şekil 5.5 : Ölçüm yapılan dört istasyona ait U-u_{mak} ilişkisi 87

Şekil 5.6 : Dört istasyon için ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M ve Q_{Mi} arasındaki bağıl hata yüzdeleri 89
Şekil 5.7 : Bünyan_1 akım durumunda farklı düşeylerde ölçülen ve M_1 = 0,85, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları 91
Şekil 5.8 : Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve M_1 = 0,85 ile hesaplan hız saçılım grafiği 100
Şekil 5.9 : Barsama_3 akım durumunda ölçülen ve M_2 = 1,40 ile hesaplanan hız dağılımları 101
Şekil 5.10: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve M_2 = 1,40 ile hesaplan hız saçılım grafiği 103
Şekil 5.11: Şahsenem_3 akım durumunda ölçülen ve M_3 = 1,30 ile hesaplanan hız dağılımları 104
Şekil 5.12: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve M_3 = 1,30 ile hesaplan hız saçılım grafiği 106
Şekil 5.13: Sosun_3 akım durumunda ölçülen ve M_4 = 1,22 ile hesaplanan hızdağılımları 107
Şekil 5.14: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve M_4 = 1,22 ile hesaplan hız saçılım grafiği 108
Şekil 5.15: Bünyan_2 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları 109
Şekil 5.16: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği 110
Şekil 5.17: Barsama_4 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları 111
Şekil 5.18: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği 111
Şekil 5.19: Şahsenem_6 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları 112
Şekil 5.20: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği 113
Şekil 5.21: Sosun_4 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları 114
Şekil 5.22: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği. 114
Şekil 5.23: Şahsenem istasyonundan bir görünüş 117
Şekil 5.24: Bünyan istasyonundan bir görünüş 118
Şekil 5.25: Barsama istasyonundan bir görünüş 118
Şekil 5.26: Sosun istasyonundan bir görünüş 119
Şekil 5.27: Dört istasyon için ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M, Q_{Mi} ve Q_{Man} arasındaki bağıl hata yüzdeleri 122
Şekil 5.28 (a) - (i): Şahsenem_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi 124
Şekil 5.29: Şahsenem ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği 125
Şekil 5.30 (a)–(b): Barsama_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi 127
Şekil 5.31: Barsama ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği 127
Şekil 5.32 (a) – (b): Bünyan_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi 129

Şekil 5.33: Bünyan ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği 129
Şekil 5.34 (a) – (b): Sosun_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi..... 131
Şekil 5.35: Bünyan ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği 131
Şekil 5.36: Sosun istasyonu anahtar eğrisi 134
Şekil 5.37: Bünyan istasyonu anahtar eğrisi..... 135
Şekil 5.38: Barsama istasyonu anahtar eğrisi 137
Şekil 5.39: Şahsenem istasyonu anahtar eğrisi..... 138
Şekil 5.40: Dört istasyon için ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M, Q_{Mi}, Q_{Man} ve Q_{AE} arasındaki bağıl hata yüzdeleri..... 139
Şekil 6.1 : Bünyan istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi... 143
Şekil 6.2 : Sosun istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi..… .....…144
Şekil 6.3 : Şahsenem istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi 145
Şekil 6.4 : Barsama istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi.. 145
Şekil 6.5 : Bünyan istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi 147
Şekil 6.6 : Sosun istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi..... 147
Şekil 6.7 : Şahsenem istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi 148
Şekil 6.8 : Barsama istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi 149
Şekil 6.9 : Bünyan_1 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları..... 151
Şekil 6.10: Dört istasyon için ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki ortalama bağıl hata yüzdeleri 152
Şekil 6.11: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği..... 153
Şekil 6.12: Barsama_1 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları..... 154
Şekil 6.13: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği..... 155
Şekil 6.14: Şahsenem_4 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları..... 156
Şekil 6.15: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği..... 157
Şekil 6.16: Sosun_2 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları 158
Şekil 6.17: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği..... 159
Şekil 6.18: Bünyan_3 akım durumu için ölçüm, M_1 = 0,85, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları..... 160
Şekil 6.19: Barsama_2 akım durumu için ölçüm, M_2 = 1,40, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları..... 161
Şekil 6.20: Şahsenem_2 akım durumu için ölçüm, M_3 = 1,30, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları 161
Şekil 6.21: Sosun_1 akım durumu için ölçüm, M_4 = 1,40, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları..... 162

SEMBOL LİSTESİ

U	: Ortalama akım hızı
M	: Entropi parametresi
M_i	: İstasyona ait entropi parametresi
Φ	: Entropi fonksiyonu
u', v', w'	: Türbülanslı akımda ortalama hıza ilaveten oluşan hız sapmaları
$\vec{V}(x, y, z, t)$	: (x, y, z) koordinat sisteminde hız vektörü
ρ	: Akışkanın özgül kütlesi
μ	: Dinamik viskozite
p	: Basınç
X, Y, Z	: Kütlesel kuvvet bileşenleri
∇^2	: Laplace operatörü
δ	: Sınır tabakası yüksekliği
u_{sy}	: Su yüzü hızı
u_{mak}	: En büyük hız
z_{mak}	: En büyük hızın oluştuğu yer
H	: Su derinliği
z_0	: Hızın sıfır olduğu yükseklik
k	: Malzeme pürüzlülük yüksekliği
υ	: Kinematik viskozite
u_*	: Kayma hızı
C	: Sürtünme faktörü
R	: Hidrolik yarıçap
S	: Enerji çizgisi eğimi
A	: Islak kesit alanı
P	: Islak çevre
n	: Pürüzlülük katsayısı
R_e	: Reynolds sayısı
υ	: Kinematik viskozite
Fr	: Froude sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
m_5	: Kanalın yataydaki eğimi
h	: En büyük hızın su yüzeyinden uzaklığı
Q	: Debi
U_i	: Dilime ait ortalama hız
u_j, u_{j+1}	: Ele alınan düşeydeki ardışık hızlar
h_j	: Ardışık iki hız ölçüm noktası arasındaki uzaklık
a_i	: Ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan
H_i	: Ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliği
q_i	: Dilim debisi
A_i	: Dilime ait alan
b_i	: Dilim genişliği
h_{SY}	: Kanaldan geçen suyun tepe üzerinde kalan yüksekliği

δ : Sınır tabakasındaki akım derinliği
u_{sy} : Su yüzü hızı
z_0 : Hızın sıfır olduğu yükseklik
C : İntegrasyon sabiti
τ : Toplam gerilme
τ_v : Viskoz gerilme
τ_t : Türbülans gerilmesi
B_L : Katı sınır özelliklerine bağlı bir sabit
B_p : İntegrasyon sabiti
χ : von Karman sabiti
T : Bir ısı kaynağının sıcaklığı
dQ : Isı kaynağı ile yapılan ısı alışverişi
dS : Entropi
ξ - η : Ortogonal koordinat sistemi
ξ_0 : u = 0 olduğu durumdaki ξ
ξ_{mak} : u'nun en büyük olduğu durumda ξ
α : Kinetik enerji düzeltme katsayısı
β : Momentum düzeltme katsayısı
Q_{int} : İntegrasyon debisi
Q_{Man} : Manning eşitliği ile hesaplanan debi
Q_{int} : Anahtar eğrisi ile hesaplanan debi

AKARSULARDA AKIM ÖZELLİKLERİNİN ENTROPİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Yer altı ve yer üstü kaynakları sağladıkları zenginlik ve etkinlik sayesinde dünya genelinde değerleri her geçen gün daha da artan bir unsur haline gelmektedirler. Nüfus artışı, sanayileşme ve canlı hayatındaki değişimler gibi sebepler sonucunda suya yönelik talep büyümekte ve temiz su kaynakları da hızla tükenmektedir. Günümüzde kullanılan yöntemlerle nehir akımlarının düzenli olarak ölçülmesi hem çok zaman almakta hem de pahalı olmaktadır. Bu çalışmanın temel hedeflerinden birisi de suyun ekonomik, sosyal ve politik gelişmelerdeki önemini vurgulamak ve bu konuda yapılacak çalışmalarda emek, para ve zaman kaybını önlemek adına yeni yöntemlere uygulama sahası oluşturmaktır.

Açık kanal akımlarında kanaldan geçen debinin belirlenmesi, kanalların boyutlandırılması ve akımın özelliklerinin tespit edilmesi için enkesit boyunca hız dağılımının bilinmesi önemlidir. Açık kanallardaki akım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Chiu (1989,1991) tarafından hız dağılımını tanımlayabilmek için ölçülmüş hız bilgilerine en az ihtiyaç duyan Entropi yöntemi geliştirilmiştir. Chiu, açık kanalın bir kesitindeki ortalama hız ile en büyük hız arasındaki oranın sabit olduğunu göstererek, bu ilişkiyi entropi parametresi (M) ile tanımlamıştır. Son yıllarda literatürde sürekli olarak entropi yöntemi ele alınmakta ve deneysel verilere uyumu irdelenmektedir.

Bu çalışmada açık kanallarda akım özelliklerinin kolay ve doğru bir şekilde belirlenmesi amacıyla entropi yönteminin uygulanılabilirliği ele alınmıştır. Kayseri İli'nde benzer coğrafi özelliklere sahip farklı iki havzada (Kızılırmak ve Zamantı Havzası) dört ayrı ölçüm sahasında toplam 22 ölçümde akarsu enkesiti dilimlere bölünerek geometrisi çıkarılmış ve hız değerleri akustik hız ölçer ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) cihazı ile ölçülmüştür. Dört farklı ölçüm istasyonunu temsilen elde edilen entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak ortalama ve en büyük hızlar arasındaki doğrusal ilişkinin varlığı doğrulandı. Genel entropi parametresi M = 1,31 ve en büyük hız u_{mak} kullanılarak bütün akım şartları için debiler hesaplandı. İzafi hata yüzdelerinin ortalaması %5,4 olarak bulundu. En büyük hızın ve oluştuğu yerin derinlikle değişimi araştırıldı. Bu yeni yaklaşımla entropi hız denklemi bütün akım şartlarında herbir istasyonda uygulandı. Hesaplanan hız değerlerinin bazı düşeylerde ölçülen değerlerden daha büyük olduğu görüldü. Bu metodun uygulama basitliği dikkate alındığında akım debisinin ve hız dağılımının tahmininde ucuz ve kolay bir şekilde hizmet verebildiği söylenebilir.

Daha gelişmiş cihazlarla yapılacak saha çalışmalarında yıl içerisinde mevsim şartlarına göre ölçüm sayıları çoğaltılabilirse ve farklı havzalardaki istasyon sayısı artırılabilirse yöntemin uygulanabilirliği daha iyi değerlendirilebilir.

THE INVESTIGATION OF FLOW PROPERTIES IN RIVERS BY ENTROPY METHOD

SUMMARY

Underground and surface sources are getting more important all over the World due to the wealth and business boom they provide. The demand for water as a basic human need increases day by day and water resources are excessively exhausted due to several reasons such as growth in population, industrialization, climate change and changes in the life of living creatures. One of the main purposes of this study is to emphasize the importance of water on economic, social and political developments, and to create application areas for new methods in order to prevent loss of work, time, and money in the studies carried out in this field. Today, measuring river flows in regular way using current methods costs time and money.

Knowing velocity distributions throughout the cross section is the utmost importance for drawing the geometrical shapes of channels, determining flow and discharge properties in the open channel flows. For the purpose of determining the flow characteristics in open channels, Chiu (1989,1991) developed an entropy method least needed to velocity data in order to define velocity distribution. He showed that the constant ratio between the mean and maximum velocities in one section of an open channel and defined this relation as entropy parameter (M). In recent years, entropy method and its adaptation to experimental data have been continuously investigated in the literature.

Discharge is the volume of water flowing through a cross-section of a stream in a given amount of time and it is very important information for understanding hydrological processes. These data are very useful for water resources planning, design of hydraulic structures, flood control and decision-making. Owing to the high flood velocities, flood discharge cannot be measured efficiently by conventional methods. For this reason, records of flood discharge are scarce or do not exist for the watersheds. Many discharge prediction methods have been developed for natural rivers. The common method for discharge determination is using a stream-gaging station in river. Measurements of stream discharge at stream-gaging stations require information about the mean velocity in a number of sub-sections across the river, and knowledge of the geometry of the cross-section of the river at measuring locations.

This study consists of seven main parts. The contents and the topics of each part are as follows.

In the first chapter, a general introduction to the subject was presented and the objective of the current study was emphasized together with its importance. The previous studies carried out on the subject were reviewed in section 1.3. Then, the objectives of the study were discussed in Section 1.4. Based on the literature review, it was suggested that the entropy velocity distribution required an intensive labor and time. Instead of this distribution, it was suggested that the maximum velocity and its location could be calculated in the depth which could be measured more easily.

River flows and the methods of classic flow measurement were discussed in the second part. In section 2.3, the expressions of the velocity distribution, which are widely used in open-channel flows, were discussed.

In the third part, the concept of entropy was explained, and the application of entropy in hydraulics and different disciplines was presented. In Section 3.5, the expression of Chiu's entropy-based velocity distribution was examined, and the review of literature was performed on the issue.

In the fourth part, the geographical characteristics of the measuring area were given. Field measurements were comprehensively explained and examined by using the entropy method. The measurements and results of each station were given.

At the 5th part, the findings and the calculations obtained from the studies were presented. Also, the studies obtained from each section were evaluated at the same part. At section 5.1, flow was calculated to be based on the entropy method and the data from each station were evaluated. At section 5.2, the studies determining the velocity distribution based on entropy method were given. The determination of flow by Manning Equation, the determination of velocity distributions by logarithmic distribution and the determination of flow by rating curve were given at the sections 5.3, 5.4 and 5.5 respectively. On the other hand, the comparison of these studies by different methods was emphasized at the same part.

At the 6th part, a new approach to the entropy velocity distribution was given. Changes in the location (z_{max}/H) and the value (u_{max}/H) of the maximum velocity measured on the verticals were examined in this new approach. These changes of entropy parameter in different basins indicating similar geographical characteristics were given.

At the last and 7 th part, evaluations were made, results and suggestions were offered based on the findings of the current study. The applicability of this new entropy model was emphasized.

This study tested a simple and easy method for measuring discharge and velocity in natural streams by using the entropy concept. Entropy parameters M_i were investigated for each cross-section and a global M value was examined for all stations. For the entropy velocity distribution, basic parameters of maximum velocity (u_{max}) and its position (z_{max}) were investigated in relation to an easily measurable parameter like water depth H. Furthermore, these relations were examined for flow aspect ratio (water surface width, T, / hydraulics radius, R).

In this study, the applicability of entropy method is investigated in order to correctly and easily determines flow characteristics in open channels. With this object, two different basins (Kızılırmak and Zamantı) with similar geographical features are chosen as a field of study in the province of Kayseri (Turkey). Turkey has a semi-arid climate with some extremities in temperature. Central Anatolia has a Steppe climate with little precipitation and daily and yearly temperature values differing significantly.

Then, a total of 22 measurements are carried out in 4 different stations by dividing river cross-sections into various segments. Finally, velocity values are measured with the ADV Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) device. The SonTek/YSI FlowTracker Handheld ADV was used for field measurements. ADV measures three dimensional flow velocities (u, v, w) in a sampling volume using the Doppler shift principle and consists, basically, of a sound emitter, three sound receivers and a

signal conditioning electronic module. The ADV sampling volume is located 10 cm in front of the probe head. Therefore the probe head itself has a minimal impact on the flow field surrounding the measurement volume. Velocity range is ±0.001 m/s to 4.5 m/s, resolution 0.0001 m/s, accuracy ±1% of measured velocity.

The existence of linear relation between the mean and maximum velocities is confirmed by using the entropy parameter M = 1.31, which is obtained from 4 different measurement stations. The discharges at all flow conditions are calculated by using general entropy parameter M = 1.31 and the highest velocity, U_{max}. The mean value of absolute differences is found to be 5.4%.

Entropy parameter M which is necessary for velocity distribution using Entropy method is determined for four stations as 1.31. The depth dependent velocity distributions can be calculated easily using this value Z_{mak} / H and u_{mak} / H stations ratios. Observations of cross sections of the stations are calculated in the range of $0.20 \leq y/T \leq 0.80$ and velocity distributions dependent on depth are calculated with these parameters. Percentage relative error between the calculated velocity distributions measured values Bunyan, Barsama, Sahsenem and Sosun respectively 34.5%; 18.0%; 13.6% and 18.0%. The average relative error percentage for 4 stations is 21.0%. Depth (H) of section is the most easily measurable magnitude. Thus, the entropy parameter M, Z_{mak} / H and u_{mak} / H ratios can easily be estimated by the method of entropy which is velocity distributions depending on depth sections.

Using this new approach, entropy velocity equation is applied for each station at all velocities. Calculated velocity values are found to be higher than those of some verticals. Given the simplicity of the application of this method, it can be stated that entropy method can be used as a cheap and easy technique for estimating the distribution of the velocity and the flow discharge.

The suggestions shown below should be taken into consideration for the studies dealing with the flow parameters of rivers by using entropy method.

In the studies carried out in the future, the applicability of this method can be controlled with a large number of measurements which will be studied in different stations.

The precision of parameters in different flow conditions can be examined in the stations studied.

The parameters can be controlled by determining the exact location of maximum velocity with advanced devices which could make measurements without affecting the flow.

The factors affecting entropy parameter can be determined by detecting the relation between mean and maximum velocities based on the large number of measurements obtained from different basins.

The applicability of the method can be better evaluated if the number of stations on different basins and the number of measurements calculated throughout the year could be increased by using more developed devices.

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1 İncelenecek Konu

Günümüzde toplumların gelişmesine paralel olarak ihtiyaçlar da hızlı bir şekilde değişmekte ve artmaktadır. İnsan hayatı için en önemli ihtiyaçlardan birisi olan kullanılabilir su kaynaklarının sınırlı olmasına karşın şehirlere göç, nüfus artışları, ekonomi ve sanayideki gelişmeler, şehirleşme ve hayat standartlarındaki yükselme gibi sebepler suya talebi büyük ölçüde artırmaktadır. Medeniyetlerin kurulduğu dönemlerden günümüze kadar suyun doğru ve etkili kullanılmasındaki başarı, toplumların ekonomik gücünü ve gelişim seviyesini belirlemiştir. Bu sebeple su kaynaklarının geliştirilmesi eskiden olduğu gibi günümüzde de tüm ülkelerin gündeminde olan ve önemini koruyan bir çalışma sahasıdır. Detaylı ölçüm ve hesaplamaların gerektiği hidrolik mühendisliğinde, su talebinin sınırlı olan imkanlar ile doğru planlanması ve bu plan dahilindeki uygulamaların hayata geçirilmesi önem kazanmaktadır. Planlamacılar tarafından kullanılan verilerin, doğadaki olayları yeterince yansıtabilmesi için mümkün olduğunca belirsizliklerden arındırılmış olması gerekmektedir.

Sınırlı su kaynaklarının canlı hayatındaki önemi sebebiyle akarsulardaki akım özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi kaçınılmaz olmaktadır. Nehir yataklarındaki düzensizlik ve akım özelliklerinin değişken olmasından dolayı, klasik hidromekanik yaklaşımların kullanılması ile nehirlerdeki akımlar tam olarak modellenememiştir. Akarsulardaki akımın debisi, hız ve kayma gerilmesi dağılımı, katı madde hareketleri gibi bütün olaylar birbiriyle etkileşim içerisindedirler. Mekanik kanunlara dayalı teorik ve yarı teorik modellerin, akım özelliklerini tanımlamada yeterli olamadığı bilinmektedir (Ardıçlıoğlu, 1994). Son yıllarda geliştirilen matematik modeller, yazılımlar, bilgisayar donanımları, uydu gibi teknik ve teknolojik gelişmelerin hidrolik mühendisliğinde kullanılması ile su kaynaklarının gözlenmesi, korunması, geliştirilmesi ve işletilmesi daha hassas, ekonomik ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

1.2 Konunun Önemi

Toplumların kalkınmasını sağlamak için ekonomik ve politik ortam ne olursa olsun öncelikle doğru karar vermek ve uygulamak gereklidir. Planlama yöntem ve teknikleri bu doğru kararın verilmesine ve uygulamasına yardımcı araçlardır. Sınırlı kaynakların belli kalkınma hedeflerine ulaşmak için en akılcı biçimde kullanılması devletlerin politikasında önemli bir yer tutmaktadır. Gelişmiş ülkeler arasında yapılan kıyaslamalarda ülkemizin kalkınma düzeyinin yetersiz kaldığı, buna karşılık sahip olduğumuz doğal kaynak potansiyelinin küçük bir kısmının toplumumuzun istifadesine sunulabildiği görülmektedir (Genç, 2004).

Kullanılabilir su kaynaklarının nicelik ve nitelik bakımından giderek sınırlı hale geldiği günümüzde, artan nüfus, sanayileşme, ekonomik gelişmeler ve şehirlere göç nedeniyle mevcut su kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması konusundaki hassasiyet daha da artmıştır. Ekolojik dengenin korunması, toplumların sürdürülebilir gelişiminin sağlanması, bugünkü ve gelecekteki ihtiyaçlarının karşılanması için su kaynaklarının en akılcı bir şekilde planlanması gerekmektedir. Bu nedenle hidrolojik çevrimdeki suyun dağılımının, yer altı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir (Ardıçlıoğlu ve Öztürk, 2006a).

Hidrolik yapıların tasarımında gelecekteki akımların olası değerlerinin tahmin edilmesi önemlidir. Akımların ve bunları oluşturan yağışların gelecekteki değerlerini önceden tam olarak belirlemek mümkün olmadığından olasılık yöntemleri kullanılarak bu değerler tahmin edilmeye çalışılır. Bu verilerin tahmininde yapılan hatalar önemli can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Geçmişte yıkılmış su yapılarının yıkılma sebebi %90 oranında tasarım aşamasındaki hatalardan kaynaklanmaktadır (Kutoğlu ve Yılmaz, 2001a). Bu yıkımlar birçok zararı da beraberinde getirmiştir. Örneğin, Hindistan'da Machhu nehri üzerinde 1967 – 1972 yıllarında yapılan sulama amaçlı Machhu II Barajı, 11 Ağustos 1979 taşkınında yıkıldığında barajın 9 km aşağısındaki Morbi kasabası 3 – 4 m su altında kalmıştır. 2000 kişi ölmüş, 12.700 ev yıkılmış ve 670 ev hasara uğramıştır. 15 milyar dolar değerinde tarımsal zarar olmuştur. Yaklaşık 153.000 insan bu taşkından etkilenmiştir. Dolu savak tasarım kapasitesi yeniden hesaplanarak baraj yeniden inşa edilmiştir. ABD'de 1852 yılında tamamlanan South Fork Barajı ise 31 Mayıs 1889'daki tarihi taşkında yıkılmıştır. Bu taşkında 2209 insan ölmüş, yüzlerce ev ve işyeri sular altında kalmıştır. Tahmin

edilen zararın bugünkü yaklaşık değeri 500 milyon dolardır (Kutoğlu ve Basmacı, 2001a; Kutoğlu ve Basmacı, 2001b; Kutoğlu, 1987).

Ülkemiz sanıldığı gibi su zengini bir ülke değildir. Üç tarafının denizlerle çevrili olması, büyük nehirlerinin ve kaynak sularının olması su zengini olmasına yetmemektedir. İstatistiklere göre, kişi başına düşen su miktarı Irak'tan bile çok az durumdadır. Çünkü Türkiye 112 milyar m^3'lük su potansiyelinin tamamını kullanmamaktadır. Mevcut su kaynaklarının yalnızca 1/3'nü kullanmaktadır. Geri kalan kısım ise değerlendirilememektedir (Somuncuoğlu, 2007). Mevcut kaynakları şu an için yetmektedir ancak yakın bir gelecekte su kaynaklarının hızla tükenmesi ile ciddi bir su problemi ile karşı karşıya gelebilecektir. Var olan su kaynaklarının dağılımındaki dengesizlik nedeniyle ve ayrıca mevcut su potansiyelinin hepsinden etkin bir şekilde yararlanılamamasından dolayı suyun en büyük fayda sağlayacak şekilde kullanılması kapsamlı bir su politikasının gerekliliğini ortaya koymaktadır (Somuncuoğlu, 2007). Sadece ülkemizde değil dünya genelinde de gelecek yıllarda su kısıtının artacağı öngörülmektedir. Bu konuda iki faktör ön plana çıkmaktadır. Birincisi; demografik yapıya bağlı gelişmelerdir. Su talebinin nüfusa bağlı olarak katlı bir artış göstermesi beklenmektedir. İkinci faktör ise iklim değişikliği ile ilgilidir. İnsanların çeşitli faaliyetleri sonucunda atmosfere verilen gazların sera etkisi ortaya çıkarması ile dünya yüzeyinde sıcaklık artmaktadır.

Su kelimesi yeryüzünde geniş bir coğrafyada asırlar boyunca kullanılmaktadır. Bu kelime Türkçe, Çince, Moğolca ve Japonca dillerinde ortaktır. Uzun asırlardan beri dilimizde kullanılan su kelimesi, Doğu Türkistan'da doğan Kaşgarlı Mahmud'un (1008-1105) meşhur Divan-ı Lügat-ı Türk adlı eserinde de geçer (Ağıralioğlu, 2011). Su sahip olduğu kıymeti itibariyle küresel olmaktan öte evrensel bir üründür. Yapılan uzay çalışmalarında bilim adamlarının en çok üzerinde durdukları konulardan birisi de suyun varlığının araştırılması olmuştur. Amerikalılar 1992'de uzay aracı Pathfinder'i, 2004'de Opportunity ve Spirit'i Mars'a gönderdiler ve kızıl gezegende hayatın kaynağı adına hep suyun varlığını araştırdılar. Bu çalışmalar esnasında Mars'ta bünyesinde su bulunan ve bir çeşit pas olan Götit mineral izlerine rastlanmıştır (Url-1).

Bizim medeniyetimizde de suyun önemi çok önceleri kavranmıştır. Divan edebiyatının en büyük şairlerinden birisi olan Hz. Peygamber aşkını su üzerinden anlatan Azeri-Türk Divan şairi Fuzuli içindeki aşkı dile getirdiği kasidesine onun ismini vermiş ve onun dili ile sevdiğine gönlündeki aşkı ulaştırmaya çalışmıştır. Fuzuli'nin kasidesi çöl gibi kavrulan yüreklere düşen yağmur taneleri gibi gelir. Kızgın zemini düşen su damlasının sesini hissettirir insana.

Zevk-ı tîğundan aceb yoh olsa gönlüm çâk çâk
Kim mürûr ilen bırağur rahneler dîvâra su
İste peykânın gönül hicrinde şevkin sâkin et
Susuzam bir kez bu sahrâda benümçün are su

(Senin kılıca benzeyen keskin bakışlarının zevkinden benim gönlüm parça parça olsa buna şaşılmaz. Nitekim akarsu da zamanla duvarda, yarlarda yarıklar meydana getirir. Gönül, sevgilinin oka benzeyen kirpiklerini arzula ve ondan ayrı olduğum zaman hasretimi dindir. Susuzum, bu aşk sahrasında bir kez de benim için su ara.)

Ve yine O, 'Başını daşdan daşa urup gezer avare su' der.

Bizim şiir mecramızda suyun bambaşka bir akışı vardır. Necip Fazıl Kısakürek su üzerine birbirinden bağımsız sekiz beyit yazmıştır. Necip Fazıl suya verdiği değeri anlattığı aşağıdaki beytinde bizlere şöyle seslenmektedir (Ağıralioğlu, 2011).

Su duadır, yakarış, ayna, berraklık, saffet;

Onu madeni gökte altınlar gibi sarfet!

Evet, su gezen değerdir. Kıymet bilmek ve sahip çıkmak gerek.

1.3 Literatür Taraması

Açık kanallarda akım karakteristikleri birçok araştırmacı tarafından farklı aletler ve yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Günümüzde ölçüm teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmeler sayesinde çok daha hassas ölçümler yapılabilmektedir. Elde edilen bu ölçümler ve geliştirilen yeni yöntemlerin uygulanması ile açık kanal akımlarına ait özellikler belirlenmektedir. Bir açık kanalda akım özelliklerinin belirlenebilmesi için akım yönünün, kanal kesitinin ve kesit içindeki hız dağılımının bilinmesi gerekir. Bu konuda literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıdadır.

Chiu ve Chiou (1986), açık kanal akımlarındaki iki boyutlu akımları tanımlayabilmek için ölçülmüş hız bilgilerine en az ihtiyaç duyan, parametre tahmin yöntemine dayanan matematiksel bir model geliştirmişlerdir.

Ayrıca Chiu (1987) açık kanallardaki hız dağılımlarını olasılık kavramına dayalı entropi tabanlı bir yöntemle inceleyerek kayma gerilmesini ve katı madde konsantrasyonunu modellemede bu yöntemin uygulanabileceğini belirtmiştir. Entropi kavramı ile türetilen hız dağılımının Prandtl-von Karman hız dağılımı yasasına göre avantajlarını ortaya koymuştur.

Chiu (1988) açık kanal akımları üzerine yaptığı çalışmalarda hız dağılımının belirlenmesi için entropi parametresinin tanımlamasının kullanışlılığına vurgu yapmıştır. Enkesitte en büyük hızın oluştuğu yer ve değerinin önemine işaret etmiştir.

Chiu (1989) daha önceki çalışmalarının (Chiu 1987, 1988) devamı niteliğindeki makalesinde istatistik, istatistiksel mekanik ve bilgi kuramı alanında kullanılan entropi en büyüklemesi ilkesine dayalı bir yaklaşımla hız dağılımlarını incelemiştir. Açık kanalın bir kesitindeki ortalama hız U ile en büyük hız u_{mak} arasındaki oranın sabit olduğunu göstererek, entropi parametresini (M) içeren bu ilişkiyi aşağıdaki (1.1) nolu eşitlikte vermiştir.

$$\Phi = \frac{U}{u_{mak}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \qquad \textbf{(1.1)}$$

Xia (1997) Mississippi nehri üzerinde farklı kesitlerde ölçüm çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmalar neticesinde ortalama ve en büyük hız arasında doğrusal bir ilişki olduğunu vurgulamıştır.

Chiu ve Tung (2002) akım özelliklerini belirlemek için yaptıkları incelemelerde açık kanal akımlarında kanaldaki en büyük hızın büyüklüğünün ve oluştuğu yerin bilinmesi halinde ortalama hız yardımıyla entropi parametresi M'nin tespit edilebileceğini belirtmişlerdir. M parametresini ortalama hızın en büyük hıza oranı olan Φ şeklinde ifade etmişlerdir. Entropi parametresi M sayesinde hız ölçümleri, hız dağılımlarının belirlenmesi ve kesitin ortalama hızının tahmini kolaylaşmaktadır. Düzenli ve değişken akımlarda, akımın debisini tahmin etmede, kinetik enerji yüksekliğini ve enerji çizgisinin eğimini belirlemede entropi yönteminin kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Chen ve Chiu (2002) Taiwan' da Tanshui nehri üzerinde Taipei Köprüsü, Guan-du Köprüsü ve Ho-kou'da ölçümler yapmışlardır. Yapılan ölçümlerde ortalama düşey hızların belirlenmesi için en kesit eşit aralıklarla dilimlere bölünmüş, her dilimde 30 veya 60 dakikada bir ölçümler alınmıştır. Tanshui nehri üzerindeki bu istasyonlar için Φ parametresinin sırasıyla 0,62; 0,55 ve 0,64 olarak hesaplandığını ve buna bağlı olarak da entropi parametresi M'nin sırasıyla 1,49; 0,60 ve 1,77 değerlerini aldığını bildirmişlerdir.

Moramarco ve diğ. (2002) Orta İtalya'da Yukarı Tiber Havzası'nda P. Nuovo, Rosciano ve Bettona ölçüm istasyonlarında gerçekleştirdikleri 140 ölçüm sonucunda ortalama hız ile en büyük hız arasındaki doğrusal ilişkinin çok üst seviyede olduğunu, belirginlik katsayısının (R^2) sırasıyla 0,98; 0,99, ve 0,98 değerlerini aldığını vurgulamışlardır.

Moramarco ve diğ. (2004) Orta İtalya'da Yukarı Tiber Havzası'nda S. Lucia, P. Felcino, P. Nuovo ve Rosciano ölçüm istasyonlarında yirmi yıl boyunca yaptıkları 165 ölçüm sonucunda ortalama hız ile en büyük hız arasındaki doğrusal ilişkinin varlığını ve entropi parametresi M'nin aynı nehirlerde aynı değerleri aldığını ve bu değerin M = 2,13 olduğunu vurgulamışlardır. Ortalama hız tahminlerinde %10 bağıl hata yüzdesi ile sonuçları elde etmişlerdir. Yine bu çalışmada en kesit üzerinde ortalama hızın parabolik bir dağılım ile ifade edilebileceğini ve bu sayede ortalama hızın tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2005) açık kanal akımlarında iki farklı pürüzlülükte 24 farklı akım durumunu ele aldıkları çalışmalarında klasik yöntemler (logaritmik ve üstel dağılım) ve entropi yöntemini mukayeseli olarak incelemişlerdir. Ölçüm yapılan en kesitlerde noktasal hız ölçümleri yapmışlardır. Hız integrasyon yöntemi ile hesaplanan ortalama hızlar entropi yöntemi ile de belirlenerek karşılaştırma yapılmıştır. Her iki pürüzlülük şartı için entropi yönteminin hız integrasyon yöntemine yakın değerler verdiği tespit edilmiş, bağıl hata yüzdeleri sırasıyla %2,0 - %4,2 olarak hesaplanmıştır.

Chiu ve diğ. (2005) ABD' de 1986-2000 yılları arasında Washington-Skagit nehrinde ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) cihazı ile elde edilen ölçüm verileri üzerinde yeni yöntemlerin geliştirilebilmesi için çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda entropi parametresi M = 1,80 bulunmuştur. En büyük hız u_{mak} = 1,41

m/s kullanılarak ortalama hız U = 0,9 m/s elde edilmiştir. Kesit alanı 578 m^2 olmak üzere debi Q = UA = 520 m^3/s olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan debiler arasındaki bağıl hatanın %1 civarında olduğu belirtilmiştir. Bu tür çalışmalara özellikle taşkın kontrolü için inşa edilecek yapıların tasarımında ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır.

Chiu ve Hsu (2006) yaptıkları çalışmalarda deterministik hidrodinamiğin aksine olasılık yaklaşımını esas alan bakış açısına göre sıvıların akışkanlığının nasıl analiz edilebileceğini göstermişlerdir. Deterministik yaklaşımla sıvıların akışını tahmin etmede doğrudan kullanılamayan bazı bilgilerin olasılık yaklaşımıyla önemli ve kullanışlı hale geldiğini belirtmişlerdir. Bu bilgiler en büyük hızın büyüklüğü ve oluştuğu yer, ortalama ve en büyük hızın oranı ve en büyük hızın su yüzeyinin altında oluştuğu durumlardaki hız dağılımıdır. Olasılık temelli yaklaşım çerçevesinde akım ile ilgili bu ve buna benzer bilgilerin değerlendirilebileceğini vurgulamışlardır. U/u_{mak} ve dalma derinliğinin su derinliğine oranının (h/H) analizini yaparak bilinen entropi parametresi M'yi kullanarak mühendislik alanında olasılık tabanlı bu metodun uygulanabilir bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Ardıçlıoğlu ve Öztürk (2006b) açık kanal akımlarında ortalama hızı entropi yöntemi ile tespit etmeye çalışmışlardır. Ölçüm yapılan en kesit üzerinde ölçülen noktasal hızların integrasyonu ile hesaplanan ortalama hızlar yardımı ile belirlenen debilerin, su yüzeyinden 0,2H ve 0,8H derinliklerinde ölçülen hızların ortalaması ve 0,6H' de ölçülen hızlar kullanılarak hesaplanan debilere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Ölçüm yapılan enkesitlere ait entropi parametreleri sırasıyla M = 1,81 ve 0,55 olarak belirlenmiş ve bu değerler yardımı ile hesaplanan debilerin integrasyon yöntemi ile hesaplanan debiden sırasıyla %7,8 ve %20,2 küçük olduğu görülmüştür.

Lee ve diğ. (2007) Güney Kore' deki akarsularda Chiu' nun hız dağılım ifadesinin uygulaması üzerine çalışmışlardır. 2004–2006 yılları arasında Kore' nin 8 farklı bölgesinde ADCP ile ölçülen 64 takım veri bu çalışmada kullanılmıştır. Entropi dağılımı kullanılarak elde edilen debi değerleri ile ölçülen debi değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri %6,9 ile %4,3 aralığında bulunmuştur. Bu sonuç da göstermektedir ki entropi yöntemi ile elde edilen değerler ile ölçüm değerleri uyum sağlamaktadır.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2008a) tarafından Sarımsaklı Deresi üzerinde bulunan Barsama istasyonunda iki ayrı tarihte saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde açık kanallarda debi, hız ve kayma gerilmesi dağılımını incelemişlerdir. Bu amaçla hız-alan yöntemi ve entropi yöntemi kullanılarak bulunan debiler karşılaştırılmış ve her iki yöntem arasındaki bağıl hata yüzdesinin oldukça az olduğu belirtilmiştir. İki ölçüm için ortalama hız ve en büyük hızlar arasındaki ilişkiden hesaplanan entropi parametresi M = 1,6 olarak bulunmuştur.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2008b) Kızılırmağın yan kollarından Sarımsaklı Deresi üzerinde bulunan Şahsenem istasyonunda, 5 ayrı tarihte enkesit üzerinde hız ölçümleri yaparak farklı yöntemlerin hassasiyetlerini araştırmışlardır. Hız ölçümleri Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) cihazı ile akarsu enkesiti üzerinde belirlenen düşeylerde tabandan 4 cm yükseklikte bulunan noktadan başlayarak belirli aralıklarla su yüzüne kadar yapılarak akım doğrultusundaki hız dağılımları belirlenmiştir. Bu veriler yardımıyla integrasyon debileri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir dilimde su yüzeyinden 0.6H ve 0.2H - 0.8H derinliklerinde okunan hızların integrasyonu ile hesaplanan debiler, Manning denklemi ve entropi yöntemi ile belirlenen debilerle hız integrasyon yöntemi ile hesaplanan debilerin bağıl hata yüzdeleri belirlenmiştir. İntegrasyon yöntemi ile belirlenen debinin, su yüzeyinden su yüzeyinden 0,2H ve 0,8H derinliklerinde ölçülen hızların ortalaması ve 0.6H derinliklerinde ölçülen hızlar kullanılarak hesaplanan debilere oldukça yakın olduğu belirtilmiştir. Enkesite ait entropi parametresi M = 1,23 olarak belirlenmiş ve bu değer kullanılarak hesaplanan debi, integrasyon yöntemi ile hesaplanan debiden %16,3 farklılık göstermiştir. Ölçüm yapılan kesit için Manning pürüzlülük katsayısının n = 0,05 alınması uygun görülmüştür. Manning denklemi kullanılarak hesaplanan debi integrasyon debisinden %8,5 farklılık göstermiştir.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2008c) Kızılırmağın yan kollarından Barsama Deresi üzerinde bulunan Şahsenem ve Barsama istasyonlarında farklı akım enkesitlerinde ve farklı pürüzlülüklerde ölçümler yapmışlardır. Akım hızlarının ölçümünde ADV cihazı kullanılmıştır. Barsama ve Şahsenem istasyonları için entropi parametreleri M sırasıyla, 1,61 ve 1,37 olarak hesaplanmıştır. Entropi yöntemiyle elde edilen hızların özellikle kıyıya yakın bölgelerde ölçülen değerlerden biraz büyük sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Burnelli ve diğ. (2008) Güney İtalya' da Basento nehri üzerinde yaptıkları ölçümler sonucunda özellikle taşkın anlarında en büyük hızın belirlenmesinin güç olduğu durumlarda parabolik entropi dağılımına rahatlıkla başvurulabileceğini bildirmişlerdir.

Ammari ve Remini (2009), 1990 ve 2006 yılları arasında Cezayir'de Chiffa, Sebaou, Mazafran, ve Belah Nehirleri üzerinde yapılan saha çalışması neticesinde ortalama ve en büyük hız arasındaki oranın doğrusal olduğunu ve sırasıyla bu istasyonlara ait Φ parametrelerinin 0,688; 0,681; 0,641 ve 0,663 olarak bulunduğunu, bu verilere bağlı olarak hesaplanan entropi parametresi M'nin ise sırasıyla 2,49; 2,37; 2,02, ve 2,10 olarak elde edildiğini bildirmişlerdir. Sadece en büyük hızın belirlenmesiyle açık kanal akımlarında entropi yönteminin kullanılması sayesinde birçok akım özelliğinin kolaylıkla tahmin edilebileceğini vurgulamışlardır. En büyük hızın yerinin de birkaç ölçüm neticesinde belirlenebileceği ve daha sonraları belirlenen bu nokta yakınlarında yapılacak az sayıda hız ölçümü ile %90 doğruluk oranı ile en büyük hızın belirlenebileceğini belirtmişlerdir.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2010a) tarafından Kızılırmağın yan kollarından Sarımsaklı Deresi üzerinde, Şahsenem istasyonunda, altı farklı zamanda ADV cihazı ile arazi ölçümleri yapılmıştır. Debiler, Manning denklemiyle, su yüzeyinden 0.6H ve 0.2H - 0.8H derinliklerinde yapılan ortalama hızların integrasyonuyla ve entropi yöntemiyle belirlenmiştir. Altı farklı ölçüm sonucunda, en yüksek bağıl hata %9,4 ile Manning denkleminde bulunmuştur. 0.6H ve 0.2H - 0.8H derinliklerinde yapılan ortalama hızların integrasyonuyla bulunan debilerin iyi sonuçlar verdiği belirlenmiş ve bağıl hata yüzdeleri ise sırasıyla %2,90 ve %3,31 olarak hesaplanmıştır. Entropi parametresi (M) bilinen bir akarsu için debi en büyük hızına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Entropi yöntemiyle hesaplanan debilerle integrasyon yöntemiyle hesaplanan debiler karşılaştırıldığında altı farklı ölçüm için ortalama bağıl hata %3,23 olarak belirlenmiştir.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2010c) tarafından ölçüm yapılan Kayseri Sarımsaklı Baraj Girişi kesitindeki 5 farklı akım durumunda, enkesit boyunca belirlenen hız dağılımlarının literatürde sıklıkla kullanılan modeller ile ne derece uyumlu olduğu incelenmiştir. Ele alınan logaritmik, üstel ve entropi dağılımlarının ADV ile yapılan hız ölçümlerini hangi bölgede ne oranda temsil ettiği belirlenmiştir.

Corato ve diğ. (2011) İtalya' da Po nehri üzerinde Pontelagoscuro' nu tarafından elde edilen akım verilerini incelemişlerdir. Taşkın anlarında tahmin süresi çok önemli olduğundan diğer klasik yöntemlere kıyasla daha pratik olan entropi yönteminin daha kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir.

Cui (2011), İtalya ve İran'daki nehirler üzerine yaptığı araştırmalarda Tsallis entropisini kullanarak hız dağılımını ve katı madde debisini tahmin etmeye çalışmıştır. Geleneksel metotlar ile entropi yönteminin karşılaştırmasını yapmıştır. Her bir metodun üstünlüklerini ve eksik yanlarını belirtmiş ve sonuç olarak entropi kavramının hidrolik mühendisliğindeki avantajları üzerinde durmuştur.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2011) akarsularda hız alan yöntemindeki dilim sayısının akım debisine etkisi üzerine araştırmalar yapmışlardır. Kızılırmağın yan kollarında bulunan dört ayrı akarsu üzerindeki incelemelerde farklı tarihlerde on ölçüm gerçekleştirilmiştir. Enkesit alanları farklı sayılarda dilime bölünerek her bir dilimde ölçülen ortalama hızlar ile debiler hesaplanmıştır. En fazla dilime bölünerek hesaplanan debiler gerçek debi olarak kabul edilerek, enkesitin daha az sayıda dilimlere bölünmesi durumundaki debilerin değişimi incelenmiştir.

Ardıçlıoğlu ve diğ. (2012) İç Anadolu Bölgesi'nde Orta Kızılırmak ve Seyhan Havzasında, Kayseri ili sınırları içerisinde dört farklı kesitte debi ve hız dağılımlarını incelemişlerdir. Bünyan, Şahsenem ve Barsama istasyonları Kızılırmak Nehri'nin bir kolu olan Sarımsaklı Deresi üzerinde, Sosun istasyonu ise Zamantı ırmağının bir kolu olan Sosun Deresi üzerinde yer almaktadır. Söz konusu istasyonlarda farklı tarihlerde toplam 22 farklı akım koşulunda ADV ile hız ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda istasyonlarda ölçülen ortalama hız ile en büyük hız arasındaki doğrusal ilişki yardımıyla her bir istasyon için entropi parametresi M belirlenmiştir. Bünyan, Şahsenem, Barsama ve Sosun istasyonları için entropi parametreleri M sırasıyla 1,40; 1,30; 0,85 ve 1,22 olarak hesaplanmıştır. Aynı havzadaki akarsularda benzer bir doğrusal ilişki literatürde sıklıkla vurgulanmıştır. Bu çalışmada farklı iki havzadaki benzer karakteristikler sergileyen dört kesite ait genel entropi parametresi M = 1,31 olarak hesaplanmıştır. Sözkonusu dört istasyon için, entropi yöntemiyle hesaplanan debilerle, arazide ölçülen debiler arasındaki ortalama bağıl hata %5,4 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, u_{mak} en büyük akım hızı, H su derinliği, h su yüzünden en büyük hızın bulunduğu noktaya kadar olan düşey uzaklık, y kıyıdan ölçümün alındığı noktaya kadar olan yatay uzaklık, T enkesit su

yüzü genişliği, R hidrolik yarıçap ve z_{mak} = H-h olmak üzere u_{mak}/H ve z_{mak}/H oranlarının y/T oranı 0,2 ile 0,8 arasında dört istasyon için sabit olduğu belirlenmiştir. Özellikle geniş nehirlerde (T/R $\geq$ 5-10) bu yöntemin iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bütün istasyonlarda bu sabit oranlar yardımıyla, kolayca ölçülebilen su derinlikleri kullanılarak u_{mak} ve z_{mak} değerlerinin belirlenebileceği ifade edilmiştir.

1.4 Çalışmanın Hedefi

Bir kanal kesitindeki akım özellikleri enkesit geometrisinden, kanalın pürüzlülüğünden, boykesit eğiminden etkilenir. Akım özelliklerinin bilinmesi debi, kayma gerilmesi, sediment taşınımı, akımın enerji ve momentumunu belirlemek için gereklidir. Dairesel borular ve düz yüzeyler üzerindeki türbülanslı akımların hız dağılımını veren ifadelerin elde edilmesi Prandtl ve von Karman'ın boru akımları üzerindeki teorik araştırmaları ile başlamıştır. Yapılan çalışmalarda viskoz kuvvetlerin etkisi altındaki katı sınır yakınlarında alt tabakada doğrusal hız dağılımının geçerli olduğu, katı sınırdan uzaklaştıkça akımda türbülans etkisinin arttığı tespit edilmiş olup bu bölgedeki hız dağılımının noksan hız dağılımı (velocity defect law) ve duvar kanunu (law of the wall) dağılımları ile gösterilebileceğini bildirmişlerdir (Prandtl, 1925; Karman, 1930). Bu ifadelerdeki sabitler için hem Nezu ve Rodi (1986) hem de Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu (1997) tarafından birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde en yaygın kullanılan hız dağılımı ifadesi olan Prandtl - von Karman Logaritmik kanunu (law of the wall) ve üstel dağılım (Power Law) kanunları, nehir tabanı ve su yüzeyine yakın yerlerde iyi sonuç vermemektedir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2008c).

Açık kanallardaki akım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Chiu (1989, 1991) tarafından son yıllarda yaygın olarak kullanılan Entropi yöntemi geliştirilmiştir. Chiu, yaptığı çalışmalarda açık kanalın bir kesitindeki ortalama hız ile en büyük hız arasındaki oranın sabit olduğunu göstererek, bu ilişkiyi entropi parametresi M ile tanımlamıştır. Entropi yönteminin düzenli ve değişken akımlarda, akımın debisini tahmin etmede, kinetik enerji yüksekliğini ve enerji çizgisinin eğimini belirlemede kullanılabileceği bildirilmiştir (Chiu ve Tung, 2002).

Bu çalışmada açık kanal akımlarında hız dağılımı, debi gibi akım özelliklerinin belirlenmesinde etkili bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple açık

kanallarda akım özelliklerinin kolay ve doğru bir şekilde belirlenmesi amacıyla entropi yönteminin uygulanılabilirliği ele alınmıştır. Literatürde entropi yöntemi uygulamalarında en kesit boyunca istenilen düşeyde hız dağılımının belirlenmesi için kesite ait bilinen M değerinin yanı sıra en büyük hız değerinin (u_{mak}) ve oluştuğu yerin (z_{mak}) ölçüm yapılarak tespit edilmesi gerekmektedir. Bu ölçümler ise yoğun emek ve zaman gerektirmekle birlikte taşkın durumlarında gereçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu sebeple ele alınan düşeylerde ölçülen en büyük hızın yerinin (z_{mak}/H) ve değerinin (u_{mak}/H) daha kolay ölçülebilen derinlikle değişimi incelenmiştir. Entropi yöntemine getirilen bu yeni yaklaşımla yoğun emek ve zaman harcamadan ve daha kolay yapılabilen derinlik ölçümü sayesinde hız dağılımının tespiti hedeflenmiştir.

Saha çalışmalarında Kayseri ili sınırları içerisinde benzer coğrafi özelliklere sahip iki ayrı havza olan Orta Kızılırmak ve Seyhan Havzasında dört farklı akarsu enkesitinde ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) ile hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 2005 ve 2010 tarihleri arasında farklı zamanlarda 22 ölçüm yapılmıştır. Akarsu enkesitinde sabit olduğu belirtilen entropi parametresi M incelenerek bu parametrenin akım özellikleri ile ilişkisi irdelenmiştir. Enkesitteki hız dağılımları, bilinen M parametresi ve belirlenmesi kolay en büyük hıza, u_{mak}, bağlı olarak hesaplanmıştır. Entropi yönteminin en kesit üzerinde geçerli olduğu bölgeler araştırılmıştır.

1.5 Çalışmanın İçeriği

Çalışma yedi ana bölümden meydana gelmektedir. Her bir bölümde bahsedilen konular ve içerikleri şu şekildedir.

Birinci bölümde konuya genel bir giriş yapılmış, çalışılan konunun önemi ve çalışmanın hedefi vurgulanmıştır. Konu üzerine yapılan önceki çalışmalara Bölüm 1.3'teki literatür taramasında yer verilmiştir. Bölüm 1.4'te ise çalışmanın hedeflerinden bahsedilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda günümüzde yaygın olarak kullanılan entropi hız dağılımının yoğun emek ve zaman gerektirdiği tespit edilmiştir. Bu dağılım yerine daha kolay ölçülebilen derinlikle en büyük hızın değerinin ve oluştuğu yerin hesaplanabileceği belirtilmiştir.

İkinci bölümde akarsu akımlarına ve klasik debi ölçüm yöntemlerine değinilmiştir. Bölüm 2.3'de açık kanal akımlarında yaygın olarak kullanılan hız dağılım ifadelerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde Entropi kavramı açıklanmış ve bu kavramın farklı disiplinlerde ve hidrolikteki uygulama sahaları hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3.5'de ise Chiu'nun entropi tabanlı hız dağılım ifadesi incelenmiş ve bu konuda literatür taraması yapılmıştır.

Dördüncü bölümde ölçüm sahasının coğrafi özellikleri verilmiştir. Yapılan arazi ölçümleri detaylı olarak anlatılmış ve entropi yöntemi kullanılarak irdelenmiştir. Her bir istasyonda yapılan ölçümler ve sonuçları verilmiştir.

Beşinci bölümde ise yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen hesaplamalar ve bulgulara yer verilmiştir. Bölüm 5.1'de entropi yöntemi ile debi hesabı ele alınmış ve her bir istasyondaki veriler değerlendirilmiştir. Bölüm 5.2'de ise entropi yöntemi ile hız dağılımının belirlenmesi çalışmalarından bahsedilmiştir. Bu bölümde de her bir kesitte elde edilen çalışmalar değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde entropi hız dağılımına yeni bir yaklaşımdan bahsedilmektedir. Bu yeni yaklaşım modelinde ele alınan düşeylerde ölçülen en büyük hızın yerinin (z_{mak}/H) ve değerinin (u_{mak}/H) daha kolay ölçülebilen derinlikle değişimi incelenmiştir. Coğrafi olarak benzer özellikler gösteren farklı havzalarda entropi parametresinin değişimi ele alınmıştır.

Yedinci bölümde ise çalışma sonucunda edinilen bilgilerin ışığında değerlendirmeler, sonuçlar ve tavsiyeler sunulmuştur. Yeni entropi modelinin uygulanabilirliği vurgulanmıştır.

2. AKARSULARDAKİ AKIMLAR

2.1 Giriş

Açık kanal akımları atmosferle temasta olan serbest yüzeyli akımlar olup akarsulardaki, sulama kanallarındaki, dren borularındaki ve kanalizasyon borularındaki akımlar açık kanal akımı olarak tanımlanırlar (Sümer ve diğ., 1983). Açık kanal akımlarındaki serbest yüzeyin varlığı, enkesit geometrisinin ve özelliklerinin değişmesi ve kanal eğimindeki değişimler akımda sıçrama, ani düşü, kabarma vb. etkilere sebep olur. Bu sebeple açık kanal akımlarının incelenmesi boru akımlarından daha zor olmaktadır. Açık kanallarda akım kanalın eğimi sayesinde gerçekleşir. Akışkan potansiyel enerjisini kinetik enerjiye dönüştürerek hareket ederken sürtünme sebebiyle de enerjisinin bir kısmını kaybeder. Serbest yüzeyde atmosfer basıncı, kanal içinde de hidrostatik basınç etkilidir (Örs, 1994; Özbek, 2009).

Açık kanal akımları değişik şekillerde sınıflandırılır. Zamanın esas alınması durumunda; açık kanaldaki su derinliği zamanla değişmiyorsa veya ele alınan zaman aralığında bu değişim sabit kabul edilirse ($dh/dt = 0$) akım düzenli, kanaldaki akım derinliği zamanla değişiyorsa ($dh/dt \neq 0$) akım değişken olarak isimlendirilir. Eğer konum, yer esas alınırsa; düzenli ve değişken akımlarda akım derinliği kanal boyunca değişmiyorsa ($dh/dx = 0$) üniform akım, aksi halde üniform olmayan akım olarak sınıflandırılır. Tabiatta ve laboratuarda gerçek akışkan akımları üzerinde yapılan çalışmalar özellikleri birbirinden farklı iki akım türünün varlığını göstermektedir. Bunlar laminer akım ve türbülanslı akımlardır. Açık kanal akımları $Re = UR/\upsilon \geq 500$ için türbülanslı, $Re = UR/\upsilon < 500$ için laminer olarak değerlendirilmiştir. Burada U, ortalama hız; R, hidrolik yarıçap; υ, kinematik viskozitedir. Laminer akımda hızın hareket yönündeki bileşeni sabit iken diğer yönlerdeki hızları sıfırdır. Türbülanslı akımda ise hız bileşenleri ve benzeri diğer özellikler belli bir ortalama etrafında salınmaktadır. Pratikte görülen çoğu açık kanal akımı türbülanslı olup nadir olarak düşük hızlarda laminer akım oluşur. Açık kanal akımlarının kritik altı ve kritik üstü olarak sınıflandırılmasında Froude sayısı $Fr = \frac{U}{\sqrt{gH}}$ kullanılır. Burada H en büyük

derinliktir. Fr < 1 için akım nehir (kritik altı) rejimi, Fr = 1 için kritik ve Fr > 1 için sel (kritik üstü) rejimindedir (Chow, 1959).

2.2 Debi Ölçümleri

Gelişen sanayi ve buna bağlı çevresel etkiler, düzensiz kentleşme, küresel ısınma ve benzeri faktörler su kaynaklarının kontrolünü ve kullanımını oldukça zorlaştırmıştır. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak için hem kalite hem de miktar olarak suyun özelliklerinin belirlenmesi ve takip edilmesi, bugünkü ve gelecekteki ihtiyaçları karşılayabilecek, en akılcı şekilde planlanması gerekmektedir. Oysa dağılımdaki eşitsizlikler, düzensizlikler ve yetersiz planlama dünyanın pek çok bölgesinde su kullanımında sorunlara yol açmaktadır. Bilinen ilk su problemi M.Ö. 4500 yıllarında, Mezopotamya'da Lagash ve Umma şehirleri arasında görülmüştür. Su büyük bir hızla dünyanın en önemli ve stratejik kaynaklarından biri olmakta, tüm dünyada su kaynaklarının kontrolü ve yönetimi siyasi ve ekonomik rekabetin, uluslararası anlaşmazlıkların başlıca nedenlerinden birisi halinde gelmektedir. Ülkemiz iddiaların aksine su zengini bir ülke değildir. Hatta ekonomik büyüme ve nüfus artışı da dikkate alınacak olursa önümüzdeki yıllarda su sıkıntısı yaşanması bile ihtimal dahilindedir (Güler, 1996). Bu sebepten su kaynaklarının düzenli ve güvenilir ölçümlerle kayıt altına alınması, akım özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi su kullanımında verimliliği artırmak için gereklidir.

Açık kanal akımlarında, özellikle de akarsularda kanal kesit geometrisinin düzensiz olması, taban pürüzlülüğünün ani değişiklikler göstermesi ve akımın türbülanslı yapısı gibi nedenlerle akım özelliklerinin hassas olarak belirlenmesi kolay değildir. Akarsularda ele alınan kesitte bilinmesi gereken en önemli büyüklük, birim zamanda geçen hacimsel kütle miktarı olup debi olarak adlandırılır ve boyutu m^3/s veya lt/s olarak ifade edilir. Debi ölçümünde kullanılan deneye dayalı formüllerden en yaygın olanı Manning denklemidir. Akarsularda debi ölçümleri doğrudan debi ölçümleri veya hız-alan ölçümüne dayanan yöntemler kullanılarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Doğrudan debi ölçüm yöntemlerinde debi, kolayca ölçülebilen bir veya iki değişken yardımıyla belirlenir. Doğrudan debi ölçüm yöntemlerinden bazıları ağırlık ölçümü, manyetik akımölçerler, ventüri savakları şeklinde sıralanabilir.

Hız-alan ölçüm yönteminde ise akarsuyun belirli bir kesitinden geçen debi; ele alınan kesitteki ortalama hız ile kesit alanı çarpılarak belirlenir. Kesite ait ortalama hızın

belirlenmesi için farklı alet ve metotlar kullanılmaktadır. Bu aletlerden günümüzde en yaygın kullanılanları, pervaneli muline ve ultrasonik (ADV, ADCP) ölçüm cihazlarıdır. Yoğun emek ve zaman gerektiren bu yöntemde debinin belirlenmesi için kesit dilimlere ayrılarak her bir dilim için ortalama hız ve debi hesaplanır. Dilimler için hesaplanan debiler toplanarak kesitten birim zamanda geçen debi belirlenir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2011).

Enkesit geometrisi bilinen bir istasyona ait yapılan debi ölçümleri ile derinlik arasındaki ilişkiden elde edilen anahtar eğrileri akım ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Akarsu kesitinde ölçüm anında yapılan seviye gözlemi ve bilinen anahtar eğriler yardımı ile debiler belirlenmektedir. Ülkemizde akarsularda seviye ölçümleri Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen istasyonlarda yazıcı olmayan ölçekler (limnimetre, eşel) ve yazıcı ölçekler (limnigraf) kullanılarak yapılmaktadır.

2.2.1 Manning eşitliği

Açık kanallardaki üniform akımların hesaplarında ortalama akım hızını ve debiyi bulmak için kullanılan Manning eşitliği 1889 yılında İrlandalı Robert Manning adlı bir mühendis tarafından önerilmiştir. Manning denklemi ifadenin kolaylığı ve çoğu zaman gerçeğe yakın sonuç vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Manning denklemindeki pürüzlülük katsayısı değerleri kanalın geçtiği zemin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu değerler çeşitli deneysel çalışmalar sonunda elde edilen değerlerdir. Uygulamada mühendisler bilgi ve tecrübelerine bağlı olarak pürüzlülük katsayısı değerini belirlerler (Bulu ve Yılmaz, 2002).

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Burada U; akım enkesit ortalama hızı, n; manning pürüzlülük katsayısı, R; hidrolik yarıçap olup R = A/P ifadesi ile belirlenmektedir. Bu eşitlikte A; ıslak enkesit alanı ve P; ıslak çevreyi ifade etmektedir. S; enerji çizgisinin eğimi olup, üniform akımlarda su yüzü ve kanal taban eğimine eşit alınır.

Formülün uygulamasında karşılaşılan en büyük zorluk pürüzlülük katsayısı n'nin doğru olarak belirlenmesidir. Genel olarak, n katsayısının değeri seviye ve debi arttıkça düşer. Yataktaki su sığ ise, kanal tabanındaki düzensizlikler açığa çıkar ve pürüzlülük etkisi artar. Manning pürüzlülük katsayısının belirlemesine etki eden faktörler yüzey malzeme özelliği (n_0); ıslak çevreyi oluşturan malzeme danelerinin boyut ve şeklini ifade eder ve

akımı yavaşlatıcı etki oluşturur. Genellikle ince daneli malzemelerde n katsayısı düşük, iri daneli çeper malzemesinde n katsayısı yüksek bir değerdedir. Kanal boykesit düzensizliği (n_1); kanal boyunca kesit, boyut ve şekildeki değişimleri ve ıslak çevredeki düzensizlikleri kapsar. Doğal kanallarda bu tip düzensizlikler kanal yatağında oluşmuş kum yığınları, tümsekler, çukurlar ve boşluklardır. Bu düzensizlikler yüzey pürüzlülüğünü arttırır. Kanal enkesit düzensizliği (n_2); hidrolik yarıçaptaki değişim kanalın şekline bağlı olarak n katsayısını arttırabilir veya azaltabilir. Kanaldaki engeller (n_3), yatakta biriken kütükler, köprü ayakları ve benzeri engeller n pürüzlülük katsayısını arttırır. Artışın miktarı engelin cinsine, şekline, sayısına ve dağılımına bağlıdır. Kanal tabanı bitki dokusu (n_4); zamanla çeperde oluşan çeşitli bitkilerin gelişimi akımın hareketine engel oluşturur, yani n pürüzlülük katsayısını arttırır. Bir kesitten geçen debi yaz ve kış aylarında farklı oluşan bitki örtüsünden dolayı farklı derinlik ve hızlarda geçer. Kanalın yataydaki eğimi (m_5); bu katsayı kanaldaki mendereslenme (kıvrım) düzeyini içerir. Mendereslenme (kıvrımlılık) düzeyi kanal boyunca kıvrımlı uzunluğun düz uzunluğa oranına bağlıdır. Kıvrımlılık 1,0 den 1,2'ye kadar önemsiz, 1,2' den 1,5 değerine kadar önemli ve 1,5'dan fazla ise şiddetli olarak kabul edilir. Bütün bu faktörlerin etkisi göz önüne alınarak Manning pürüzlülük katsayısının $n = (n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)m_5$ formülü ile hesaplanabileceği Chow (1959) tarafından belirtilmiştir. Açık kanal akımları ile ilgili birçok kaynakta farklı kanal kesit ve özellikleri için çizelgeler verilmiştir.

2.2.2 Anahtar eğrileri

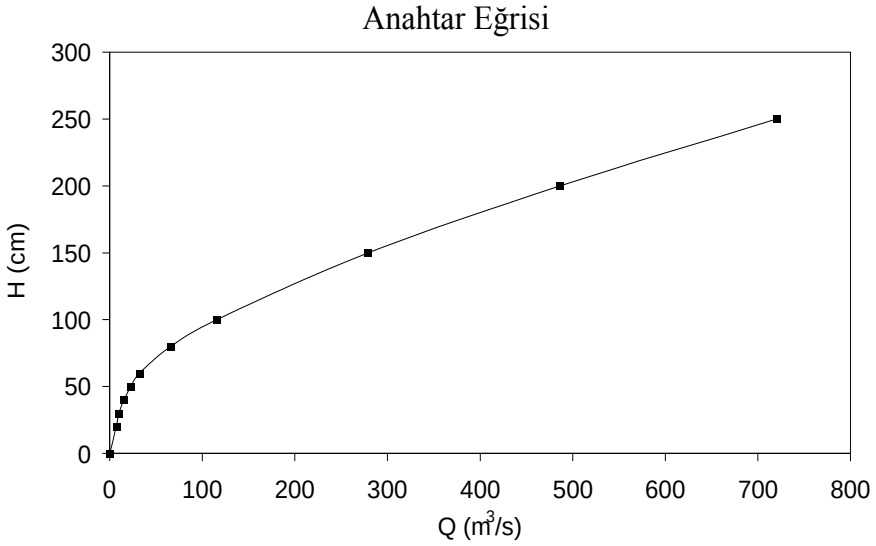
Debi ölçümü zor ve masraflı olduğundan debilerin sık sık ölçülmesi pratik değildir. Bunun yerine, daha kolay olan su seviyesi ölçümleri yapılır. Akarsu seviyesini ölçmek için Şekil 2.1' de görülen yazıcı olmayan ölçekler (limnimetre, eşel) veya yazıcı ölçekler (limnigraf) kullanılır. Limnimetrelerle, sadece ölçüm yapılan andaki su seviyesi ölçülür. Bu maksatla en yaygın olarak kullanılan cihaz, santimetre bölmeli ahşap veya metal bir çubuktur (eşel). Eşel, köprü ayağına veya başka bir yapıya bağlanarak, belirli aralıklarla su yükseklikleri ölçülür. Daha hassas okumalar için elektronik cihazlar da kullanılabilir. Ülkemizde limnimetreler günde bir (saat 8'de) veya iki defa (saat 8 ve 16'da) okunur. Taşkın zamanlarında daha sık (1-6 saatte bir) okuma yapılmalıdır. Limnigraflar ise, su seviyesi değişimlerini sürekli olarak veya belirli aralıklarla kaydederler. Akarsuya boruyla bağlı olan sakinleştirme kuyusunun üst yüzeyindeki bir şamandıranın hareketi, bir makara yardımıyla yazıcı uca iletilir. Yazıcı

uç, dönen bir kâğıt şerit üzerinde su seviyesinin değişimini sürekli olarak kaydeder. Okunan su seviyesi değişimleri bilgisayara kaydedilebilir. Bu sistemde su seviyesi 3 mm civarında bir hassaslıkta kaydedilebilir. Debideki küçük bir artışa karşılık seviyede büyük bir artışının olması, kesitin dar, derin ve taşkın yatağı içermediğinin bir göstergesi olabilmektedir (Kömürcü, 2011).

Şekil 2.2' de görüldüğü gibi bir anahtar eğrisi çizilirken, su seviyesi (H) düşey, debi (Q) ise yatay eksende alınır. Q-H ilişkisi çoğu defa eğriseldir. Ancak yarı logaritmik eksen takımında bu ilişki doğruya yaklaşır. Anahtar eğrisinin çıkarıldığı kesitte seviye ile debi arasında belirli tek bir bağıntının bulunduğu kesite "kontrol kesiti" adı verilir. Bir kontrol kesitindeki anahtar eğrisi, akarsu tabanının taranması veya sedimentle dolması, köprü yapımı ve bitkilerin büyümesi gibi çeşitli sebeplerle zamanla değişebilir. Bu sebeple kesitin anahtar eğrisinin değişip değişmediğini yılda birkaç defa kontrol etmek gerekir. Kontrol sonucunda ölçülen debiye karşı gelen seviyenin anahtar eğrisindeki değerden farklı olduğu görülürse, şift uygulama denen yöntemle anahtar eğrisi aradaki fark kadar kendisine paralel olarak kaydırılır. Taşkınlardan sonra bu kontrolü yapmak gerekir (Bayazıt, 1974).



Şekil 2.1: Çeşitli limnimetre ve limnigraflar.



Şekil 2.2: Anahtar eğrisi.

2.2.3 Hız alan yöntemi ile debi hesabı

Açık kanal akımlarında en kesit üzerinde yapılacak hız ölçümleri sayesinde debiler hassas olarak belirlenebilir. Ele alınan kesitin geometrik yapısı, kanal tabanının fiziki özellikleri ve yan duvarların özellikleri gibi etkenler enkesitte çok farklı akım şartlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu sebeple hız alan yöntemi ile akarsuların debisi belirlenirken dilimlerin belirlenmesine önem gösterilmelidir. Enkesiti kendi içerisinde benzer özellikler gösteren parçalara ayırmak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Bu amaçla enkesit, her bir dilimdeki debi toplam debinin %10'unu geçmeyecek şekilde dilimlere bölünür. Dilimlerden geçen debiler toplanarak kesitteki akımın debisi hassas bir şekilde hesaplanabilir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2011).

Şekil 2.3'te dilim debilerinin belirlenmesi için gereken ortalama hızların nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. Her bir dilime ait ortalama hızlar, o dilimi temsil edecek düşeyde yapılan noktasal hız ölçümleri yardımıyla belirlenir. Ele alınan düşeyde çok sayıda hız ölçümü olması durumunda bu düşeye ait ortalama hız, aşağıdaki (2.2) denklemindeki gibi hesaplanabilir.

$$U_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{\left(u_j + u_{j+1}\right)}{2} h_j}{H_i} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Burada U_i dilime ait ortalama hız, u_{j+1} ve u_j ele alınan düşeydeki ardışık hızlar, h_j bu iki hız ölçüm noktası arasındaki uzaklık, a_j ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan ve H_i ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliğidir.

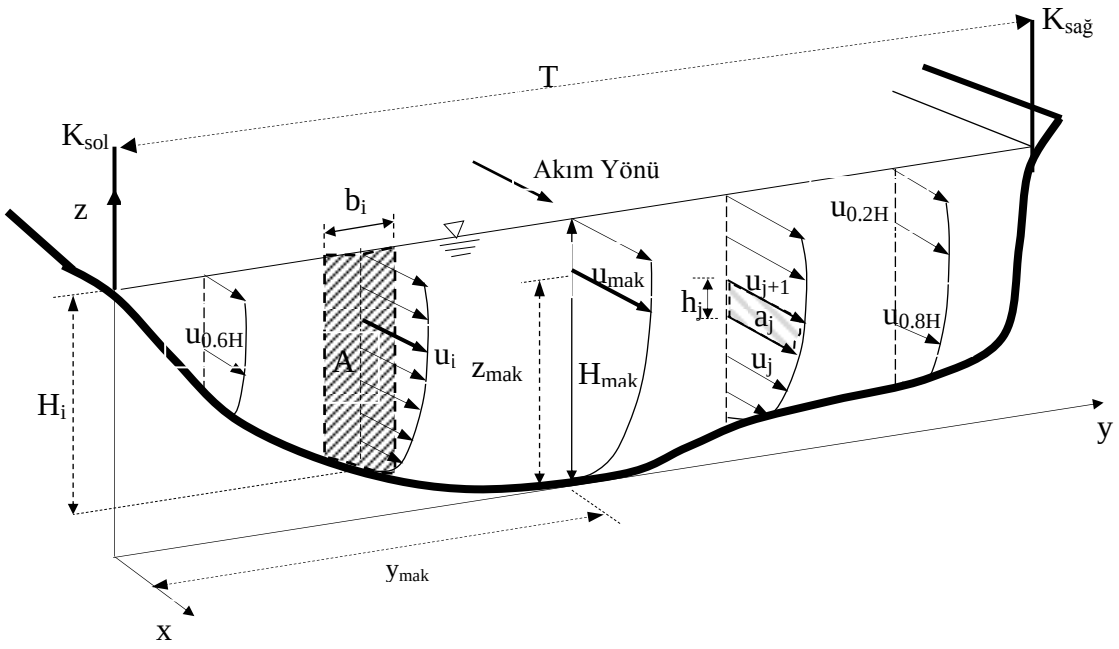
(2.2) ifadesiyle hesaplanan düşeye ait hızın (2.3) ifadesiyle elde edilen dilim alanı ile çarpılmasıyla (2.4)' deki eşitlikle o dilime ait debi belirlenebilir (q_i). (2.3) ifadesindeki A_i, dilime ait alan, b_i, dilim genişliğidir. Kesitten geçen debi (2.5) ifadesinde verildiği üzere dilim debilerinin toplanmasıyla elde edilir. Burada n enkesitteki dilim sayısıdır.

$$A_i = b_i H_i \tag{2.3}$$

$$q_i = U_i A_i \tag{2.4}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i = \sum_{i=1}^{n} U_i A_i \tag{2.5}$$

Pratikte dilim debileri belirlenirken ölçüm yapılan düşeyde, su yüzeyinden 0.2H ve 0.8H derinliğindeki hızların ortalamasının o dilime ait ortalama hızı temsil etmesinin kabul edilebileceğini belirtmişlerdir. Belirlenen bu dilim ortalama hızı yardımı ile (2.4) ve (2.5) ifadeleri kullanılarak kanal en kesitinden geçen debi hesaplanabilir. Literatürde bu yöntemin oldukça iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2005). Derinliğin az olduğu sığ sularda (H< 50–60 cm) su yüzünden 0.6H derinlikte ölçülen hız ele alınan düşeydeki ortalama hızı iyi temsil etmekte ve yine (2.4) ve (2.5) ifadeleri kullanılarak kesitten geçen debi belirlenebilmektedir (Water Measurement Manual, 2001).



Şekil 2.3: Ölçüm yapılan düşeyde ortalama hızın hesabı.

2.2.4 Ölçüm savakları

Savaklar açık kanallarda hem akımı düzenleyen hem de içlerinden kontrollü ya da kontrolsüz akımın geçtiği yapılardır. İnşa edilmeleri kolaydır. Savaklar akışı düzenleme görevi yanı sıra akan suyun debisinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Cömertpay, 2005). Savak boyunca bir daralma, bir de çıkışta akımı kritikleştirmek için açılma kısımları vardır. Savaklar şekillerine göre dikdörtgen, üçgen, yamuk ve parabolik şeklinde sınıflandırılırken, eşik genişliklerine göre ince veya kalın kenarlı olmak üzere sınıflandırılırlar. Şekil 2.4'te örnek bir dikdörtgen savak gösterilmiştir. Savaklar ile debi hesaplanırken kanaldan geçen suyun tepe üzerinde kalan yüksekliğinin (H_{SY}) doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için büzülmenin başladığı yerin doğru bir şekilde saptanması gerekir. Yapılan deneysel çalışmalara göre büzülme, savak eşiğinin ($3H_{SY}$~$4H_{SY}$) kadar uzağında başlar. Bu nedenle belirlenecek H yüksekliğinin en az ($3H_{SY}$~$4H_{SY}$) kadar uzaktaki bir kesitten alınması ve limnimetre gibi duyarlı aletlerle ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir (Kutoğlu, 1980).

Sık debi ölçümlerin yapılabilmesi için, basit ve başarılı hidrolik yapılardan biri Parshall savağıdır. Şekil 2.5'de görülen Parshall (Venturi) kanalı, bu tür savak kanallar arasında en geniş kullanımlı olanıdır ve 1930'larda tasarlanmasından bu yana kanal ölçümlerinde kullanılmıştır. Parshall kanalının en önemli üstünlüğü yük kaybının düşük olması ve kendi kendini temizleme kapasitesidir. Parshall kanalı üç bölümden oluşur: daralma

bölümü, boğaz ve genişleme bölümü. Parshall kanallarının serbest akışlı ve batmış olmak üzere iki tipi mevcuttur.



Şekil 2.4: Ölçüm savağı.



Şekil 2.5: Parshall savağı.

2.2.5 Yüzücülerle debinin bulunması

Su yüzü hızı kullanılarak debi hesabı yapılması son yıllarda kullanılan bir yöntemdir. Açık kanallardaki su yüzü hızı ile ortalama hız arasındaki ilişkinin belirlenmesi ile debi hesaplanabilmektedir. Açık kanallarda akan suyun üzerinde yüzdürülen bir cismin, hızının tespit edilmesi sayesinde akan suyun hızı yaklaşık olarak bulunabilir. Açık kanalda akan suyun sakin olduğu düzgün kesitli bir bölgede yüzücü cismin yüzdürüleceği başlangıç noktası ile bitiş noktaları işaretlenir. İki nokta arası mesafe en az kanal genişliğinin üç katı olmalıdır. Önceden belirlenen bir noktadan yüzen cisim suya bırakıldığı anda süre ölçülmeye başlanır. Yüzücü cisim işaretlenen diğer noktaya geldiğinde kronometre durdurularak, yüzücünün iki nokta arasındaki yolu alması için geçen süre bulunur. Kronometre ile yapılan zaman ölçümünde meydana gelebilecek hatayı giderebilmek amacıyla işlemin 10–15 kez yapılması gerekir. Böylece, yüzücünün belirlenen yolu alması için gereken ortalama süre bulunur. İşaretlenen iki nokta arasındaki mesafenin geçen süreye bölünmesi ile açık kanalda akan suyun ortalama su yüzü hızı u_{sy} hesaplanır. Ortalama su yüzü hızının 0,8-0,9 katı ise eşitlik (2.6)'daki ortalama akım hızını (U) verir (Water Measurement Manual, 2001).

$$U = (0{,}8\text{-}0{,}9)u_{sy} \qquad \textbf{(2.6)}$$

Kanalın kesit alanı A (m²), ortalama akım hızı U (m/s) olduğunda debi (Q) (2.7) formülü ile aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$Q = U\,A \qquad \textbf{(2.7)}$$

2.2.6 Entropi yöntemi ile debi hesabı

Chiu (1986) tarafından açık kanal akımlarında hız dağılımını tanımlamak için olasılık dağılımını esas alan entropi yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem açık kanal akımlarında ele alınan kesitte (2.8) ifadesi ile verilen ortalama hız (U) ve en büyük hız (u_{mak}) oranının sabit olması ilkesine dayanır. Bu sabit oran entropi parametresi M ile gösterilmiştir. Xia (1997) tarafından yapılan çalışmalarda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

$$\Phi = \frac{U}{u_{mak}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \qquad \textbf{(2.8)}$$

Açık kanal akımlarında entropi yöntemi ile hız dağılımının ve debinin belirlenmesi için öncelikli olarak ölçüm yapılan kesite ait entropi parametresi M'nin tespit

edilmesi gerekir. Bu parametrenin elde edilmesinden sonra ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilen en büyük hızın ölçülmesi durumunda ortalama hız; dolayısıyla debi hesaplanabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda enkesitte en büyük hızın, kesitin ortalarında ve en derin olan düşeyde oluşacağı ve bu düşeyde yüzeye yakın yapılacak birkaç hız ölçümü neticesinde (bak. Şekil 2.3) bu değerin kolaylıkla bulunabileceği belirtilmiştir (Seçkin ve diğ. 2004).

Ölçüm yapılan kesitte en kesit alanının da tespit edilmesiyle ölçülen en büyük hız ve ortalama hız arasındaki ilişki yardımı ile kesitten geçen debi (2.9) ifadesi kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q = UA \tag{2.9}$$

Bu ifadede Q; kesitten geçen debi, U; ortalama hız ve A; ıslak kesit alanıdır.

2.3 Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımları

Açık kanal akımlarında hız dağılımının elde edilmesi, debi hesabı, kanal tasarımı ve ıslah çalışmaları, katı madde modelleme ve taşınım problemlerinin çözümü, enerji ve momentum katsayılarının tespit edilmesi gibi akım özelliklerini belirlemek ve hidrolik süreçleri modellemek için gereklidir. Kanal kesiti içerisindeki hız dağılımı, akımın türbülanslı yapısı, katı sınırdaki pürüzlülük ve serbest su yüzüne bağlı etkilerle noktasal olarak değişim göstermektedir. Üç boyutlu ve oldukça karmaşık olan bu dağılımın belirlenmesi ve modellenmesi oldukça zordur. Açık kanal akımlarında hız dağılımı kanal geometrisinden, bitki örtüsünden, taban pürüzlülüğünden etkilenir. Geniş kanallarda ($B/H \geq 5–10$) hız dağılımı yan duvar etkilerinden uzaktır ve kanal tabanından su yüzüne doğru hız değerleri artar (Cui, 2011). Kesit orta bölgesindeki akım genelde iki boyutlu alınır. Bu nedenle Rause (1970) tarafından boru akımları için kullanılan hız ifadelerinin geniş açık kanallarda da kullanılabileceği bildirilmiştir. Ancak boru akımları için kullanılan ifadelerdeki katsayıların serbest su yüzeyi ve pürüzlülük etkisinin göz önüne alınmasıyla açık kanallar için yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Açık kanallarda akım hidrolik olarak cilalı veya pürüzlü olabilir. Aşağıda bu akım şartları ele alınmıştır.

2.3.1 Cilalı ve pürüzlü akım şartları

Açık kanal akımlarında cilalı akımdan bahsedebilmek için kanal tabanındaki pürüzlülüğün çok az olması gerekir. Bu durum ise pürüzlülüğün tamamen laminer alt tabakada kalması durumunda ortaya çıkar. Bu sebepten taban pürüzlülüğü cilalı akım durumunda hız dağılımına etki etmemektedir (Chow, 1959). Tabana yakın bölgede çalkantı oluşturacak kadar taban pürüzlülüğü var ise pürüzlü akım oluşur. Hız dağılımının sadece taban pürüzlülüğünden etkilendiği bu durumda viskoz alt tabaka görülmez. Henderson (1966) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, akış hidrolik cilalı ise,

$$\frac{u_* k_s}{\nu} < 4 \qquad \textbf{(2.10)}$$

geçiş durumunda ise,

$$4 < \frac{u_* k_s}{\nu} < 100 \qquad \textbf{(2.11)}$$

ve tam pürüzlü ise,

$$100 < \frac{u_* k_s}{\nu} \qquad \textbf{(2.12)}$$

Burada μ dinamik viskozite, ρ özgül kütle olmak üzere $\nu = \mu / \rho$ kinematik viskozite, k_s rölatif pürüzlülük katsayısı ve u_* kayma hızı olarak (2.13)'teki gibi tanımlanır.

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{gRS} \qquad \textbf{(2.13)}$$

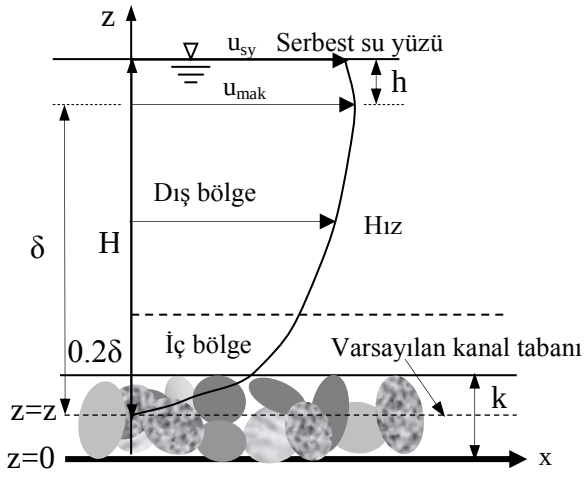
Bu ifade de R; hidrolik yarıçap, τ_0; taban kayma gerilmesi, ρ; özgül kütle ve S; enerji çizgisinin eğimi olup üniform akımlarda serbest su yüzü ve kanal taban eğimine eşittir.

2.3.2 Logaritmik dağılım

Prandtl (1925) ve Von Karman'ın (1930) boru akımları üzerindeki teorik araştırmaları ile dairesel borular ve düz yüzeyler üzerindeki türbülanslı akımların hız dağılımını veren ifadeler elde edilmiştir. Bu çalışmalarda viskoz kuvvetlerin etkisi altındaki alt tabakada yani katı sınır yakınlarında doğrusal hız dağılımının geçerliliği

vurgulanmıştır. Akımda türbülans etkisinin katı sınırdan uzaklaştıkça daha da arttığı ve bu bölgedeki hız dağılımının noksan hız dağılımı (Velocity Defect Law) ve duvar kanunu (Law of the Wall) dağılımları ile gösterilebileceğini belirtmişlerdir. Coles (1956) duvar kanununa ampirik bir fonksiyon ilave ederek tüm sınır tabakası boyunca iç ve dış bölgede geçerli olan hız dağılım ifadesini önermiştir. Nikuradse (1932) cilalı boru akımlarda hız dağılımını Reynolds sayısının belli bir aralığında üstel ifade (Power law) ile gösterilebileceğini belirtmiş, daha sonra Kandula ve diğ. (1983) açık kanallarda yaptıkları deneysel çalışmalarda üstel ifadenin açık kanallardaki hız dağılımını göstermede kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Açık kanallarda akım hızı katı sınır yakınlarında sürtünme sebebiyle azalır ve hareketsiz yüzeyde sıfır olur. Katı sınıra yakın olup viskozite sebebiyle çeper sürtünmesinden etkilenen bölgeye "sınır tabakası" denir. Gelişmiş sınır tabakasındaki akım viskoz alt tabaka, iç bölge ve dış bölge olmak üzere üç farklı bölgede incelenebilir. Viskoz alt tabakada sürtünme kuvvetleri hakim olup, akım laminerdir. Cilalı akımlarda gözlenen bu tabakanın kalınlığı oldukça küçüktür. Akarsularda olduğu gibi yüzeyin pürüzlü olduğu durumlarda türbülansın etkisi katı sınır yakınlarında da hissedilir ve akım alanında viskoz alt tabaka gözlenmez. Şekil 2.6' da bir akarsuda ele alınan düşeyde hız dağılımı ve akım bölgeleri gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere iç bölgenin kalınlığı dış bölgeye göre daha küçüktür. Dış bölgede çalkantı gerilmeleri hakimdir (Ardıçlıoğlu ve Günaydın, 2009). Şekil 2.6'da δ; sınır tabakasındaki akım derinliği, u_{mak}; δ yüksekliğinde oluşan en büyük hız, u_{sy}; su yüzü hızı, H; su derinliği, z_0; hızın sıfır olduğu yükseklik ve k; malzeme pürüzlülük yüksekliğidir. Akarsularda katı sınır özellikleri geniş aralıklarda değişebilmektedir. Çoğu zaman pürüzlü özelliğe sahip olan bu yüzeylere ait pürüzlülük katsayıları literatürde detaylı olarak incelenmiştir (Ammari ve Remeni, 2009).



Şekil 2.6: Sınır tabakasındaki hız dağılımı.

Akarsularda genellikle pürüzlü akım şartları vardır. Akım özelliklerinin belirlenmesi pek çok parametrenin bilinmesine bağlı olduğu için de zordur. Nikuradse'nin eşdeğer kum yüksekliği olarak bilinen k_s parametresi malzemenin şekline, yüksekliğine ve dağılımına bağlı olup genellikle $k_s \approx$ (3-6)k aralığında değişmektedir ve pürüzlü yüzeylerdeki malzeme özelliklerini gösteren en önemli parametredir. Burada k Şekil 2.6'da görüldüğü üzere kanal tabanındaki malzemenin çapıdır (Schlichting,1979).

2.3.3 Cilalı akımlarda logaritmik hız dağılımı

Navier-Stokes denklemleri sayesinde sürtünmeli sıkışmayan akışkanlarda hareket denklemleri elde edilmektedir. Akışkana ait hareket denkleminin oluşturulması ile de açık kanal akımları tanımlanabilir. Türbülanslı akımlar için Reynolds denklemleri olarak bilinen bu eşitlikler analitik olarak çözülememektedir (Schlichting,1979).

Reynolds denklemlerinin türbülanslı akım problemlerinde çözümü zor olmaktadır. Düz bir tabanda bir boyutlu düzenli üniform akımda Şekil 2.6'da görüldüğü gibi u = u(z), v = 0, w = 0 ifadeleri tanımlı olduğuna göre x doğrultusundaki Reynolds denklemlerinde verilen kütlesel kuvvet ve basınç gradyanının ihmal edilmesi ile (2.14)'teki gibi elde edilir

$$\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho\,\overline{u'w'}\right) = 0 \qquad \textbf{(2.14)}$$

(2.14) ifadesi z doğrultusunda integre edildiğinde (2.15) eşitliği ortaya çıkar.

$$\mu \frac{du}{dz} - \rho \overline{u'w'} = C \qquad \textbf{(2.15)}$$

Burada μdu/dz terimi akışkanın viskozitesinden kaynaklanan sürtünmeyi gösterir ve τ ile sembolize edilir. Akımın türbülanslı olmasından kaynaklanan sürtünmeyi de $-\rho\overline{u'w'}$ ifadesi gösterir.

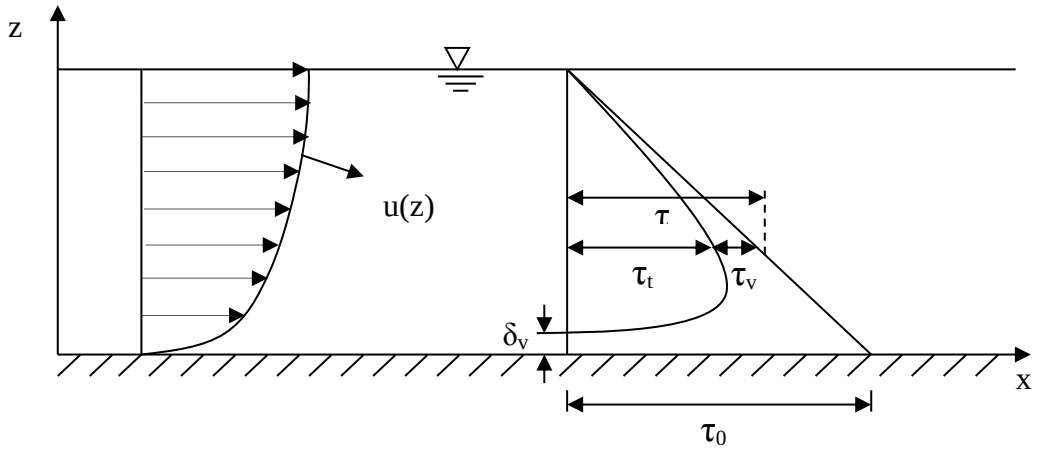
(2.15) denklemindeki integrasyon sabiti C'yi bulmak için sınır şartı olan z = 0 da u'w' = 0 ve μdu/dz = τ_0 ifadeleri kullanılırsa C = τ_0 olarak bulunur. Bu ifade (2.15) eşitliğinde yerine konursa aşağıdaki (2.16) denklemi elde edilir.

$$\mu \frac{du}{dz} - \rho \overline{u'w'} = \tau_0 \qquad \textbf{(2.16)}$$

(2.16) ifadesinden de anlaşılacağı üzere türbülanslı akımın herhangi bir noktasında viskoz gerilme (τ_v) ve türbülans gerilmesi (τ_t) olmak üzere iki tür gerilme söz konusudur. Buradan da toplam gerilme (2.17) ifadesindeki şeklini alır.

$$\tau = \tau_v + \tau_t = \mu \frac{d\bar{u}}{dz} - \rho \overline{u'w'} \qquad \textbf{(2.17)}$$

Şekil 2.7' de viskoz gerilme (τ_v) ve türbülans gerilmesinin (τ_t) toplamının akım kesiti üzerindeki dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.7: Türbülanslı üniform akımda kayma gerilmesi dağılımı.

2.3.3.1 Viskoz alt tabakada çözüm

Viskoz alt tabaka kalınlığı toplam sınır tabakası kalınlığının (δ) yaklaşık olarak %0,1-1,0' ini oluşturup çok küçüktür. Bu bölge için hareket denklemi aşağıdaki (2.18) eşitliği ile yazılabilir:

$$\mu \frac{du}{dz} = \tau_0 \qquad \textbf{(2.18)}$$

z = 0 için u = 0 sınır şartı kullanılarak (2.18) ifadesi integre edilirse (2.19) eşitliği elde edilir.

$$u = \frac{\tau_0}{\mu} z \qquad \textbf{(2.19)}$$

Bu ifade kayma hızı $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ ile boyutsuzlaştırılırsa 2.20'deki hale gelir.

$$\frac{u}{u_*} = \frac{u_* z}{\upsilon} \qquad \textbf{(2.20)}$$

Buradan da viskoz alt tabakada hız dağılımının doğrusal olduğu anlaşılmaktadır. Viskoz alt tabakanın kalınlığının belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Clark (1968) (2.20)' de verilen hız ifadesinin $u_* z/\upsilon \leq 7$ olan değerlerde geçerli olduğunu, Schlichting (1979) bu bölgenin $0 \leq u_* z/\upsilon \leq 5$ aralığında tanımlanabileceğini, Daily ve Harleman (1966) viskoz alt tabaka kalınlığının $0 \leq u_* z/\upsilon \leq 4$ aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Genel olarak, viskoz alt tabakanın kalınlığının $u_* z/\upsilon$ = 5-12 arasındaki değerlerde değiştiği kabul edilmektedir (Ardıçlıoğlu, 1994).

2.3.3.2 Türbülanslı bölgede çözüm

Çalkantı gerilmelerinin hakim olduğu bölgeler sınırdan uzak yerlerdir. Sınır tabakasının belli bir kesiminde $\mu \frac{du}{dz}$ terimi ihmal edilebilir. Bu sayede Reynolds hareket denklemi türbülanslı bölge için Prandtl' ın karışma boyu teoremi $u' = v' = \chi z(du/dz)$ kullanılarak (2.21)'deki gibi elde edilir.

$$\rho \chi^2 z^2 \left(\frac{du}{dz}\right)^2 = \tau_0 \qquad \textbf{(2.21)}$$

Buradan da

$$\frac{du}{dz} = \frac{1}{\chi z} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \qquad \textbf{(2.22)}$$

elde edilir ve $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ yazılarak (2.22) ifadesi integre edildiğinde boyutsuz hız dağılımı için (2.23) denklemi bulunur.

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln z + C_0 \qquad \textbf{(2.23)}$$

Buradan da anlaşılacağı üzere akıma dik doğrultudaki hız türbülanslı bölgede logaritmik bir dağılım göstermektedir. z = h için u = u_{mak} sınır şartı kullanılarak (2.23) ifadesindeki hız dağılımı 2.24'teki gibi bulunur.

$$\frac{u}{u_*} - \frac{u_{mak}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \frac{z}{H} \qquad \textbf{(2.24)}$$

Prandtl'ın üniversal hız dağılım ifadesi olarak bilinen bu ifade düz tabandaki türbülanslı üniform akım için literatürde "Noksan Hız - Velocity Defect" dağılımı olarak geçmektedir. Duvar Kanunu "Law of the Wall" dağılımı türbülanslı bölgede hız dağılımının ifadesi için geliştirilen diğer bir ifadedir.

$$\frac{u}{u_*} = A \ln \frac{u_* z}{\upsilon} + B_L \qquad \textbf{(2.25)}$$

Bu ifade de B_L katı sınır özelliklerine bağlı bir sabittir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda (2.25) ifadesindeki A ve B sabitlerinin sırasıyla 2,43 - 2,86 ve 3,8 - 7,0 arasında değişen değerler aldığı görülmüştür (Öztürk, 2006).

2.3.4 Pürüzlü açık kanal akımlarında hız profili

Açık kanal akımlarında taban pürüzlülüğü hız dağılımına etki etmektedir. Logaritmik hız ifadeleri pürüzlü kanallarda da kullanılabilmektedir. Üniform ve düzenli üniform olmayan akımlarda, z/H<0.20 iç bölgede logaritmik ifade aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + B_p \qquad \textbf{(2.26)}$$

Bu ifadede u düşey doğrultudaki noktasal hız, χ = 0.40 von Karman sabiti, u_*, kayma hızı, z; tabandan uzaklık, k_s; eşdeğer kum pürüzlülüğü, B_p; integrasyon sabiti olup B_p

= 8,5±%15 olarak Song ve Graf (1996) tarafından verilmiştir. Bu sabit kullanıldığı zaman (2.26) denklemi

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln\left(\frac{z}{k_s / 30}\right) \qquad \textbf{(2.27)}$$

olarak elde edilir.

2.3.5 Üstel dağılım

Üstel dağılım ifadesi açık kanal akımlarında düşey hız dağılımının modellenmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir. Prandtl (1925), cilalı borulardaki türbülanslı akımlarda katı sınıra çok yakın bölgeler hariç (2.28) ifadesindeki üstel hız dağılımının kullanılabileceğini vurgulamıştır.

$$\frac{u}{u_{mak}} = \left(\frac{y}{D/2}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad \textbf{(2.28)}$$

burada n; deney yolu ile belirlenen bir büyüklük olup Reynolds sayısı Re ile değişimi Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Re sayısı değişimi.

Re	$4x10^3$	$1,1x10^5$	$\geq 2x10^6$
n	6	7	10

Prandtl (1925) ve Nikuradse (1932) tarafından verilen üstel hız dağılımında Blasius' un dairesel boru akımı için verdiği sürtünme denklemini ($\lambda = 0,3164/Re^{0,25}$) kullanarak (2.29) ifadesini aşağıdaki gibi elde etmiştir.

$$\frac{u}{u_*} = 8.74\left(\frac{u_* z}{\nu}\right)^{\frac{1}{7}} \qquad \textbf{(2.29)}$$

(2.29) ifadesi $Re \leq 10^5$durumunda geçerli olup diğer Re sayıları için bu ifade

$$\frac{u}{u_*} = c\left(\frac{u_* z}{\nu}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad \textbf{(2.30)}$$

halini almaktadır. Chen (1991) ise üstel dağılımı (2.31) ifadesindeki gibi vermiştir.

$$\frac{u}{u_*} = a\left(\frac{z}{z_0}\right)^m \qquad \textbf{(2.31)}$$

Yukardaki denklemde z_0; hızın sıfır kabul edildiği yani kanal tabanındaki ($u = 0$) derinliktir, a ve m ise kanal karakteristiğine bağlı parametrelerdir. Pürüzlü açık kanal akımlarında z_0 ve k_s arasındaki ilişki logaritmik dağılımdan $z_0 = k_s/30$ şeklinde elde edilmektedir. ABD'de Gonzales ve diğ. (1996), ADCP kullanarak açık kanal akımları üzerinde yaptıkları ölçümlerde logaritmik ve üstel dağılımın ortalama hız dağılımını iyi tanımladığını, bu durumda üstel dağılımda $m = 1/6$ olarak alındığını bildirmişlerdir.

3. ENTROPİ KAVRAMI VE CHIU'NUN ENTROPİ TABANLI HIZ DAĞILIMI

3.1 Entropi Kavramı

Entropi terimi Alman fizikçi Rudolf Clausius tarafından Yunanca (en) in + trope = a turning (point) kelimesinden türetilmiştir. Entropi kelimesi eski Yunanca'da "dönüşme", "bozulma" anlamına gelen "Entrope"den gelmektedir ve bilim literatürüne bir termodinamik kavramı olarak girmiştir. " en " ön eki başka dillerden İngilizce 'ye girmiş sözcüklerde kullanılan bir ön ektir. Özellikle Fransızca'dan ya da Yunanca'dan alınan İngilizce kelimelerde kullanılır. Bir şeyin ya da kişinin olmasına veya yapmasına sebep olmak manasına gelir. " a turning " kelimesi ise dönüm noktası ya da bir noktadan sonra şeklinde anlaşılmalıdır. Entropi kelimesi ile enerji kelimesinin de çağrıştırılmaya çalışıldığı söylenebilir. Dilbilimciler, entropi kelimesi ile enerjinin eninde sonunda kaçınılmaz olarak sonunun geleceğinin ya da tükeneceğinin izah edildiğine, bir noktadan sonra enerjinin son bulacağı ve kâinatın sonunun geleceğinin ifade edilmeye çalışıldığına inanmaktadırlar (Url-2).

Entropi ilk olarak termodinamiğin II. yasasında ortaya çıkmış ve termodinamik, istatistiksel mekanik ve enformasyon teorisinde kullanılmıştır. Termodinamiğin yasaları kainatın yaratılışından beri yürürlüktedir, fakat termodinamiğin bir bilim olarak ortaya çıkması 1697'de Thomas Savery ve 1712'de Thomas Newcomen'in İngiltere'de ilk başarılı atmosferik buhar makinelerini yapmaları ile başlamıştır. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları 1850'lerde öncelikle William Rankin, Rudolph Clausius ve Lord Kelvin tarafından yapılan araştırmalar sonunda ortaya konmuştur. Termodinamik terimi ilk olarak Lord Kelvin tarafından 1849'da yapılan bir yayında kullanılmıştır (Çengel ve Boles, 2007).

Termodinamiğin I. Yasası kâinattaki toplam enerjinin sabit olduğunu ve enerjinin yok edilemeyeceğini ifade eder ve enerjinin korunumu yasası olarak adlandırılır. Bu yasaya göre enerji değişik hallerde bulunabilir ve bu enerji çeşitleri yine birbirlerine dönüştürülebilir. Ünlü Fransız bilim adamı Sadi Carnot geçen yüzyılın başlarında ısının mekanik enerjiye çevrilmesini incelemiş ve kendi adıyla da anılan termodinamiğin ikinci prensibini ortaya koymuştur. Bu prensibe göre, T bir ısı

kaynağının sıcaklığını, dQ ise ısı kaynağı ile yapılan ısı alışverişi olmak üzere, dQ/T oranı bir S fonksiyonu olarak ifade edildiğinde, dS = dQ/T şeklindeki ilişkiyi belirten fonksiyona "entropi" adı verilir. Burada dS ile belirtilen entropi, bir miktar belirttiğinden, termodinamikte bazen "ısının ağırlığı" adı ile de anılmaktadır (Çengel ve Boles, 2007). Termodinamiğin II. yasası, fiziğe geri dönüşümsüz olaylar düşüncesini getirmiştir. Bu kanuna göre fiziksel hadiselerde düzenden düzensizliğe, bütünden yayılmaya, kullanılır olabilirlikten kullanılamazlığa doğru yol alan geri döndürülemez belirli bir eğilim vardır (Giriftinoğlu, 2005).

Soyut bir kavram olan entropinin fiziksel olarak açıklanması zordur. Entropi moleküler düzensizlik veya moleküler rastgelelik şeklinde tanımlanabilir. Herhangi bir sistem daha düzensiz bir hal aldıkça moleküler düzensizliği de artacak, dolayısıyla entropi artacaktır. Bu ifadeden herhangi bir maddenin gaz halinin entropisinin sıvı halinden, onun da katı halinden fazla olduğu çıkarılabilir.

Bir sistemin entropisi, sistemin bulunabileceği mikroskobik hallerin toplam sayısıyla ilişkilidir. Bu sayıya termodinamik olasılık (p) da denir. Bu sayının entropiyle ilişkisini Boltzmann bağıntısı verir: S = klnp (k = 1,3806 E-23) kJ/(kmol.K). Niteliksiz enerjinin ne kadar büyük olursa olsun işe yaramadığı bilinmektedir. Entropi bir bakıma enerjinin niteliğinin ve özellikle düzenliliğin bir ölçüsüdür. Örneğin, gaz fazında moleküllerin oldukça yüksek kinetik enerjileri vardır. Ortamda bulunan bir gazın, moleküllerinin yüksek hareketine rağmen bir pervaneyi kendi kendine döndüreceği düşünülemez. Bunun nedeni düzensiz enerjidir. Bu düzensiz enerji, işe dönüşmesi zor bir enerjidir (Url–3).

3.2 Entropi ve Enformasyon

Enformasyon; nesne, olay ve/veya kişilerle ilgili veri ve gerçeklerin işleme tabi tutulmuş bir şeklidir ve alıcı durumunda olan kişinin söz konusu sistem veya süreç hakkındaki bilgisini artırır, içinde bulunduğu belirsizliği azaltır. Enformasyon bir eylem için kullanıma hazır duruma geldiğinde "bilgi" ye dönüşür. İletişim sürecinde enformasyon, mesajlar aracılığı ile iletilir. Mesajlar resim, sözcük, nota vb. olabilir. 1948 yılı entropi alanındaki çalışmaların başlangıç yılı olarak kabul edilir. Dr. Claude Shannon'un 1948'de hazırladığı "The Mathematical Theory of Communication" adlı kitabında anlatılan iletişim teorisi, entropi ve enformasyon kavramları arasında kurulan niceliksel ilişkiye dayandırılmaktadır. Shannon'un

teorisinde enformasyon belirsizlikle eş tutulmaktadır. İletişim kuramına göre, bilgi ancak belirsizlik varsa ortaya çıkan bir özelliktir (Baran, 1993).

Enformasyon teorisinde Shannon'un, bir bilgi kaynağının belirsizliğinin ölçümü olan H niceliğini keşfetmesinin ardından matematiksel formlarının ve fiziksel değerlerinin benzerliğinden dolayı bu H niceliği de istatistiksel mekanik ve termodinamikteki S gibi entropi olarak adlandırılmıştır. Shannon, bir fiziksel sistemdeki durumların sayısı n iken ve sistemin bu durumlarda bulunma olasılıkları P = (p1, p2, ….pn) olmak üzere entropiyi (3.1)'deki gibi tanımlamıştır.

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i log p_i = 1 \text{ ve } p_i \geq 0 \; i = 1,2,\ldots\ldots,n \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bunun üzerine entropi H'ye açıklık getirmek için bu kavram "Shannon'un entropisi" adı ile anılmıştır. Bu kapsamda entropi "bir sisteme ait belirsizlik düzeyinin ölçümü" olarak ifade edilebilir (Giriftinoğlu, 2005). Hidrolik süreçler sürekli oldukları için Shannon entropisi hidrolik mühendisliğindeki sürekli rasgele değişkenler için uzatılabilir. (-∞,∞) aralığında sürekli olan bir rasgele değişken x için Shannon entropisi aşağıdaki (3.2) ifadesi gibi yazılabilir (Cui, 2011).

$$H = -\sum_{-\infty}^{\infty} P(x) log P(x) dx \qquad \textbf{(3.2)}$$

Burada p (x) rasgele değişken x'in sürekli olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Jaynes (1957a, 1957b) ve Shannon (1948)'un bu çalışmasından sonra olasılık dağılımı türetmenin metodunu kullanarak en büyük entropi yöntemini geliştirmiştir.

Bir karar verme sürecinde, hangi seçeneklerle hangi sonuçlara ulaşılacağını belirlemek için enformasyon gereklidir. Enformasyon bir düzenin, dolayısıyla da bir düzensizliğin ölçüsüdür ve böylelikle entropi, enformasyon almanın karşıtı olmaktadır. Bir sistemin mümkün durumlarının kesin olarak bilinmesi için gerekli bilgi, sistemin entropisine eşittir. Aynı şekilde, bir sistemin entropisinin azalması, sistem hakkında enformasyonun da artmasına neden olmaktadır; o halde, enformasyon entropinin negatifidir. Diğer taraftan, mümkün durumları belirsizlik içinde bulunan bir sistem hakkında bazı enformasyonlar oluştuğunda, söz konusu belirsizlik azalacaktır. Sistem hakkında ne kadar çok enformasyon elde edilirse, belirsizlik o oranda azalmaktadır. Bu durumda, bir sistemin belirsizliğini entropi yardımıyla ölçmek mümkün olmaktadır (Url-4).

3.3 Entropinin Farklı Disiplinlerde Kullanımı

Entropi, en genel tanımıyla, bir sistemin düzensizliğinin ölçüsüdür. Entropi fonksiyonları farklı disiplinlerde kullanılacak bir fiziksel kavramdır. Örneğin termodinamik entropi, topolojik entropi, sosyal entropi, din felsefesi açısından entropi, dalgacık entropisi, ekonomi entropisi, vs... gibi.

Entropi kavramının gerek fiziksel bilim dallarında gerekse su kaynakları mühendisliğinde uygulamasının ilk örneklerine jeomorfoloji konusunda rastlanmaktadır. Entropi kavramının kullanımı ile bir akarsu hattı boyunca kıvrıntıların oluşumunu inceleyen çalışmaların (Scheidegger, 1967) yanısıra, Leopold ve Langbein (1962) ve Yang (1971) akarsu morfolojisi konusunda araştırma yapmışlardır. Bu araştırmalarda termodinamik bir sistemdeki ısı enerjisi ile akarsu sisteminin potansiyel enerjisi ve termodinamik bir sistemdeki sıcaklık ile akarsu sisteminin yükseltileri arasında benzeşimde bulunulmuştur (Baran, 1993).

Entropi kavramının istatistiksel fizikte Boltzmann bağıntısı ile gelişiminin ardından Claude Shannon tarafından "İletişimin Matematiksel Teorisi"nde enformasyon ile entropi kavramı arasında ilişki kurulmasıyla bu kavramın kullanımı hemen hemen tüm bilim dallarına yayılmıştır. Dr. Claude Shannon'un 1948'de hazırladığı "The Mathematical Theory of Communication" adlı kitabında anlatılan iletişim teorisi, entropi ve enformasyon kavramları arasında kurulan niceliksel ilişkiye dayandırılmaktadır. Shannon'un teorisinde enformasyon belirsizlikle eş tutulmaktadır. Enformasyon Miktarı = (başlangıçtaki belirsizlik - enformasyon alındıktan sonraki belirsizlik) olarak ifade edilmiştir (Kapur ve Kesavan 1992).

Sosyal entropi, insan ilişkileri ile üretme ve gelir yaratma kapasitesi arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışan bir kuramdır. Küreselleşmenin sonucu olarak uluslar ve endüstri işletmeleri arasında giderek artan rekabet nedeniyle işletme maliyetlerinde ilave artışlar olmaksızın işletme gelirlerinde artışlar sağlanması gerek ulusal ekonomiler ve gerekse işletmeler için önemli bir sorun haline gelmiştir. Sosyal entropi, sistemi oluşturan öğeler arasındaki bütünleşememe ya da eklemleşememe (düzensizlik) nedeniyle toplumsal kaynakların, yararlı bir işe dönüştürülmesi sürecinde ortaya çıkan kayıpları ifade etmektedir. Sosyal entropi bağlamında enerji, bir toplumsal sistemin girdiden (ham madde ve yarı mamul madde), sermaye, işgücü, bilgi ve teknoloji kullanarak toplumların gereksinimlerini karşılayacak şekilde

çıktılar (ürünler) elde edebilme kapasitesidir. Bailey (1994)'e göre sosyal entropinin nesnel ölçütü, "yaşama düzeyidir". Ona göre, entropinin yani yaşama düzeyinin ölçümü, az gelişmiş toplumlarda tüketilen kalori miktarı; gelişmiş toplumlarda toplam refah düzeyi-dolar gibi faktörlerdir (Erol, 2001).

Din felsefesi, entropi kavramının evrenin oluşumu gibi üzerinde pek çok bilim adamının söz söylediği bir sahaya girmesi ile birlikte konu hakkındaki bilinmezler azalmıştır. Evrenin bir bölümünde oluşan düzenin bedeli, mutlaka başka bir bölümünde daha büyük çapta bir düzensizlik olarak ödenir. Örneğin, bir bina inşaatını ele alalım. Binanın yapımı için kullanılan maddeler (demir, tahta, v.b) dünyanın hammadde kaynakları yok edilerek elde edilir. Ayrıca binanın yapımı için belli miktarda bir enerji sarf edilir. Tam bir hesap yapıldığında yol açılan düzensizliğin miktarı her zaman düzenden fazladır. Tek yanlı süreçler ölümün habercisidir ve evrende sürekli düzensizliğe doğru bir gidiş vardır. Fizikte, entropinin artışı olarak ifade edilen bu süreç sonsuzadek devam edemez. Isı tek yönlü olarak sıcaktan soğuğa durmadan akar ve sonunda her yerde aynı sıcaklığa erişilince hareket duracaktır. Evrenin bu şekildeki sonu ısı ölümü (heath death) veya termodinamik denge (thermodynamic equilibrium) olarak isimlendirilir. Entropi yasası ile ilk olarak evrendeki düzensizliğin sürekli arttığı ve sonsuza dek sürdürülemeyecek bu sürecin evrenin sonunu gerektirdiği anlaşılmaktadır. Aslında bu sonuç, evrenin bir başı olması gerektiğini de kapsamaktadır. Davies (1983), entropi yasasından çıkan bu sonucun başta dikkat çekmemesindeki ilginçlik hakkında şunları söylemektedir: "Sonlu bir zamanda tükenecek olan bir şeyin ezelden beri var olmuş olamayacağı apaçıktır. Evren sonlu bir zaman önce var olmuş olmalıdır. Bu anlamlı sonucun, 19. yüzyılın bilim adamları tarafından gereğince kavranamamış olması enteresandır." (Url–5).

Dalgacık entropileri, Konjestif kalp yetmezliği (KKY), organizmanın metabolik ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli kardiyak debinin kalp tarafından sağlanamaması halidir. Kalp, gerekli olduğu durumda yedek kapasitesini kullanarak debisini %200-600 oranında arttırabilir. Kalbin yedek kapasitesinin aşılması veya artan debi ihtiyacını karşılayamaması durumunda KKY görülür. Kalp hızı değişkenliği (KHD) verisinin dalgacık dönüşümünden hesaplanan entropi ölçüsü olan dalgacık entropisinin konjestif kalp yetmezliği olan hastaların kontrol grubundan ayırt edilmesi uygulaması yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda dalgacık entropisi

ölçümlerinin detaylı olarak incelenmesi halinde, KKY hastalarının teşhisinde daha yüksek bir başarı elde edilebileceği söylenebilir (İşler ve Kuntal, 2007).

Biyolojik sistemler insan ömrünü uzatmanın ve daha sağlıklı bir hayat yaşamanın yollarını araştırmaktadır. Entropinin bir sistemin kaybolan ya da azalan enerjisi tarafından üretildiği düşünüldüğünde yaşlanma ve insan vücudunun zindeliğini kaybetmesi gibi sağlıkla ilgili sahalarda da bu kavramın kullanılacağı anlaşılabilir (Saridis, 2004).

Yatırım kararları gelecekle ilgili kararlardır ve bu sebeple belirsizlikler içermektedir. Belirsizliklerin risklere dönüştürülmesi ve bu risklerin gerçekleşme oranının tespit edilmesi projenin kabul edilebilirliği açısından önemlidir. Birden fazla yatırım projesi içerisinden en uygununun tespit edilmesinde belirsizlikler sebebiyle ortaya çıkabilecek olumsuzlukların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu olumsuz sonuçları ortadan kaldırmaya yönelik olarak değişkenlerin olasılık fonksiyonlarını kurmak için en büyük entropi yönteminden yararlanılmaktadır (Dinçer, 2005).

3.4 Entropi Kavramının Hidrolik ve Su Kaynaklarında Kullanımı

Çevre ve su kaynakları sistemleri mekâna ve zamana göre değişkenlik gösteren yapılarından dolayı anlaşılması zor olan konulardır. Bu sistemlerin davranışları belirsizlikler taşımaktadır. Örneğin bu sistemlerdeki yapıların geometrileri, dinamik özellikleri, etki eden kuvvetler, başlangıç ve sınır şartları önceden tahmin edilmesi kolay olmayan özelliklerdir. Entropi kavramı son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde bu sistemlerin özelliklerinin daha etkili bir şekilde belirlenmesinde tercih edilen bir yöntem olarak ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu sistemler üzerine çalışan araştırmacıların en büyük sıkıntı yaşadıkları konu yetersiz veriye sahip olmalarıdır. Olasılık yöntemlerinin kullanılması bu sorunu bir derece ortadan kaldırsa da yetersiz veriye sahip olan ülkelerde entropi kavramının kullanılması hızla yaygınlaşmaktadır. 1940'ların sonunda Shannon tarafından entropi teorisinin ve 1950'lerin sonunda Jaynes tarafından en büyük entropi prensibinin geliştirilmesinden itibaren entropi kavramı su kaynakları ve hidrolojiyi içine alan oldukça geniş bir sahada kullanılmaya başlanmıştır. Amorocho ve Espildora (1972) tarafından entropi tabanlı hidrolojik modellerin geliştirilmesi ile etkisini bu sahada da güçlü bir şekilde göstermeye başlamıştır. Singh ve Rajagopal (1987) yaptıkları çalışmalarda hidrolojide en büyük entropi prensibinin üstünlüklerini irdelemişlerdir. Harmancıoğlu ve diğ. (1992)

yaptıkları çalışmalarda entropi kavramının su kaynaklarındaki kullanımını incelemişlerdir (Singh, 1997).

Su kaynakları sistemlerinin değerlendirilme ve planlaması konularında yaygın kullanım alanı bulan ve matematiksel iletişim kuramından hareketle tanımlanan entropi kavramı, belirsizliğin mertebesini veya dolaylı olarak mevcut bilginin değerini ölçme imkânı sağladığından, belirsizlik altında verilecek kararlarda daha gerçekçi yaklaşımlara temel oluşturmaktadır.

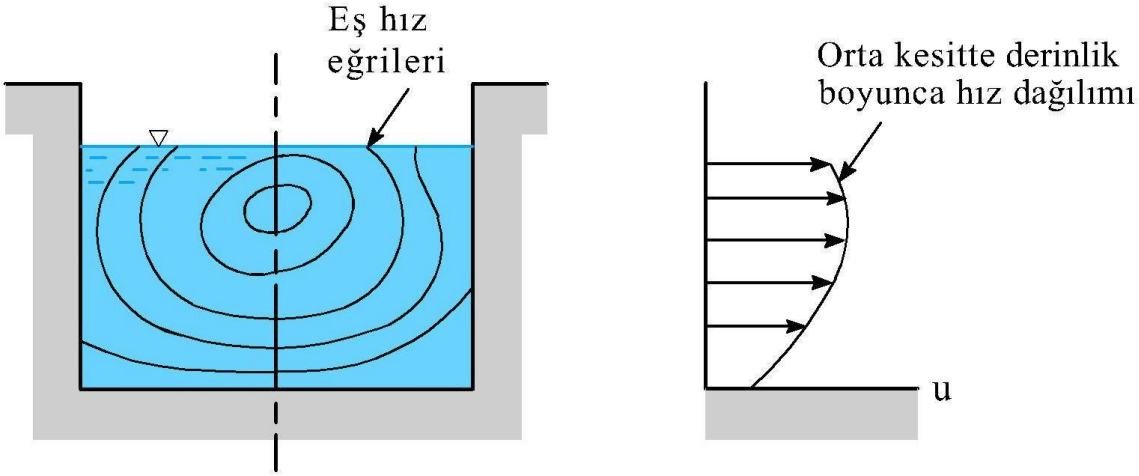
Entropi rastgele karakterdeki hidrolojik süreçlerin içerdiği belirsizliğin ölçüsü olmakta ve yapılan gözlemler yoluyla kazanılan bilgi = giderilen belirsizlik olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte uygulamada ortaya çıkan matematiksel problemler yöntemin daha yaygın kullanılmasını engellemiştir.

3.5 Chiu'nun Entropi Tabanlı Hız Dağılımı

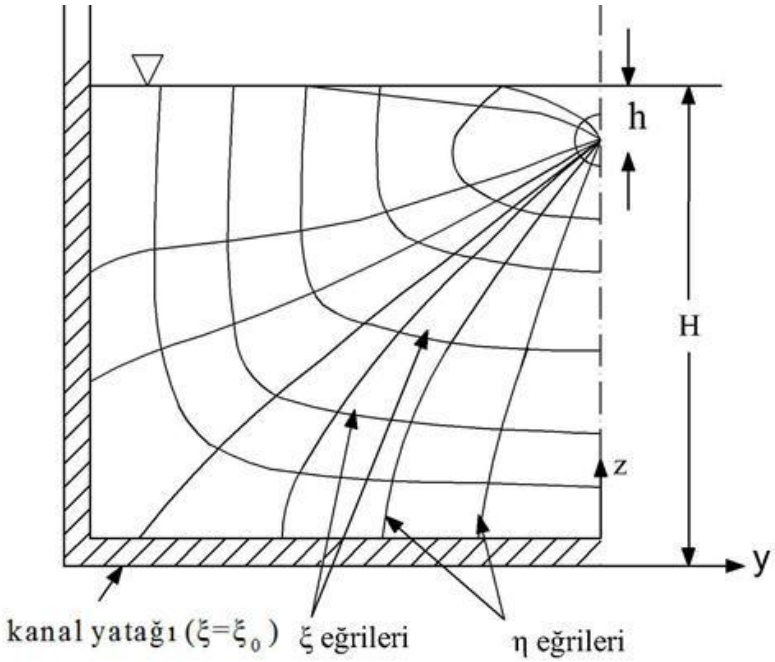
Açık kanal akımlarında ele alınan düşeyde iki boyutlu hız dağılımı için yaygın olarak kullanılan ifadeler logaritmik ve üstel dağılımlardır. Bölüm 2' de verilen denklem (2.27)'de logaritmik dağılım ifadesinde kayma hızı (u_*) ve pürüzlülük katsayısının (k_s) belirlenmesi gerekmektedir. Üstel dağılım ifadesinde denklem (2.31)'de ayrıca katsayı (a) ve üssün (m) belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenmesi zahmetli ve tecrübe gerektiren bu dağılımlar özellikle su yüzüne ve yan duvarlara yakın bölgede iyi sonuç vermemektedir. Açık kanal akımlarında en büyük hız genellikle su yüzeyinin altında oluşur ve Şekil 3.1'de görüldüğü gibi hız düşeydeki farklı iki noktada aynı değeri alabilir. Bu sebeple de Prandtl-von Karman hız dağılım ifadesi açık kanal akımlarını yeterince tanımlayamamaktadır. Logaritmik dağılım ifadesinin diğer bir eksik noktası da kanal yatağında kayma hızının sonsuz olmasıdır. Yani kanal tabanında, katı sınırda hız değeri sıfır olmamaktadır. Oysaki ele alınacak hız dağılım ifadesi en kesitte oluşabilecek bütün hız dağılım özelliklerini temsil etmelidir (Chen, 1998).

Açık kanal akımlarında hız dağılımını modellemek için Chiu (1987) tarafından Shannon entropi yöntemini esas alan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu hız dağılımı Chiu'nun adı ile anılmaktadır. Geniş olmayan açık kanallarda hız, zamanla düşey ve yatay yönde değişir. Eş hız eğrileri su yüzeyine doğru artar fakat en büyük hız su yüzeyinin hemen altında görülebilir (Şekil 3.1). Bu yüzden hız dağılımının

modellenmesinde kartezyen y ve z koordinatlarını başka bir koordinat sistemine dönüştürmek gerekir. Bu amaçla Chiu (1988) ξ-η ortogonal koordinat sistemini önermektedir. Eş hız eğrilerinin yerine hız değeri ile birebir ilişki içindeki ξ eğrilerinin kullanıldığı ξ−η koordinat sistemindeki iki boyutlu hız dağılımı Şekil 3.2' de verilmiştir (Chen, 1998).



Şekil 3.1: Eş hız eğrileri.



Şekil 3.2: ξ ve η eğrilerinin kullanıldığı eş hız eğrileri.

$0 \leq \xi \leq 1$ olmak üzere ξ eğri ailesi y ve z' ye bağlı bir fonksiyon olarak ele alınırsa, η buradan türetilebilir. ξ_0, u = 0 olduğu durumda yani kanal tabanı ya da kenarında

ξ'nin aldığı değerdir. ξ_{mak} ise u'nun en büyük olduğu durumda yani yüzeyde veya yüzeyin hemen altında ξ' nin aldığı değerdir. Hız değeri u, ξ_{mak} koordinatından ξ_0'a doğru düzenli olarak azalmaktadır. Buradan anlaşıldığı gibi uzaysal koordinat değeri ξ'den küçük olan bir yerde hız da u'dan küçük olur ve u'yu ξ'ye bağlayan deterministik bir G fonksiyonu aşağıdaki gibi belirtilebilir.

$$u = G(\xi) \tag{3.3}$$

Olasılık formülünde sırasıyla ξ ve u, olasılık yoğunluk fonksiyonundaki q ve p gibi rastgele değişkenler kabul edilirse ξ_0 ve ξ_{mak} arasındaki ξ uzaysal değişkeninin bütün değerleri eşit ve ξ'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu $\xi_0 - \xi_{mak}$ aralığında üniform olacaktır.

$$q(\xi) = \frac{1}{\xi_{mak} - \xi_0} \tag{3.4}$$

Hızın olasılığı u'dan küçük veya u'ya eşittir. P'nin u'ya bağlı kümülatif dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P(u) = \int_0^u p(u)\,du = \int_0^u p\ G(\xi)\ du = \int_{\xi_0}^{G_{(u)}^{-1}} q(\xi)\,d\xi = \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{mak} - \xi_0} \tag{3.5}$$

Bunun anlamı; eğer ξ, ξ_0 ve ξ_{mak} arasında rastgele bir değer alırsa ve buna uygun u = G(ξ) elde edilirse, hızın olasılığı p(u)du' dur ve (u – u+du) aralığında oluşur. Bu Chiu ve Chiou (1986) tarafından geliştirilen metotla ampirik olarak gösterilirse (3.5) eşitliğindeki $\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{mak} - \xi_0}$ değeri ξ eş hız eğrisi ile kanal yatağı arasındaki alanın kanal kesitinin tüm alanına oranıdır. (3.5) eşitliği ve olasılık yoğunluk fonksiyonundan;

$$p(u) = \frac{dP(u)}{du} = \frac{dP(u)}{d\xi}\frac{d\xi}{du} = \left[(\xi_{mak} - \xi_0)\frac{du}{d\xi}\right]^{-1} \tag{3.6}$$

elde edilir. (3.5) ve (3.6) ifadelerinden anlaşılacağı üzere, y ve z koordinatlarındaki u'nun değişimini gösteren hız dağılımı ξ'ye bağlı olarak ifade edilebilir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu p(u)'nun türetilmesinde, " Entropi Maksimizasyon" metodu kullanılabilir. Bu durumda entropiyi maksimize eden p(u) aşağıdaki gibi belirlenir.

$$H(u) = -\int_0^{u_{mak}} p(u)\ \ln p(u)\,du \tag{3.7}$$

Yöntem düzenli denge durumundaki sistemin entropiyi maksimize etmesi şartına göre türetilmiştir. Eşitliklerdeki p(u)'nun belirlenmesi için değişkenlerin hesabı yöntemi kullanılabilir (Chen, 1998).

$$\frac{\partial}{\partial p}\left(-p\ln p+\sum_{i=0}^{3}\lambda_{i+1}u^{i}p\right)=0 \qquad \textbf{(3.8)}$$

(3.8) eşitliğinden;

$$p(u)=e^{\left(\sum_{i=0}^{3}a_{i+1}u^{i}\right)} \qquad \textbf{(3.9)}$$

elde edilir. Burada λ_j Lagrange çarpanları, $a_ı = \lambda_ı - 1$ ve $a_j = \lambda_j$ ($j \neq 1$ için) dir. a_1, a_2, a_3, ve a_4 parametreleri u_{mak}'dan , u'nun ilk üç momentinden ya da u_{mak}, U, α (kinetik enerji düzeltme katsayısı), ve β'dan (momentum düzeltme katsayısı) bulunabilir. Eğer H(u)'nun maksimize edilmesinde sadece (3.7) ve (3.9) ifadeleri kullanılırsa olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki hali alır.

$$e^{a_1}=a_2(e^{a_2u_{mak}}-1)^{-1} \qquad \textbf{(3.10)}$$

ve

$$U=u_{mak}e^{a_2u_{mak}}(e^{a_2u_{mak}}-1)^{-1}-\frac{1}{a_2} \qquad \textbf{(3.11)}$$

(3.6) ve (3.9) eşitliklerinden elde edilen diferansiyel denklem $\xi = \xi_0$'da u = 0 sınır şartı kullanılarak çözülürse;

$$U=\frac{1}{\lambda_2}\ln\left(\frac{\lambda_2}{e^{\lambda_1-1}}\frac{\xi-\xi_0}{\xi_{mak}-\xi_0}\right) \qquad \textbf{(3.12)}$$

elde edilir. Eğer U ve u_{mak} biliniyorsa (ölçülmüşse) $\lambda_1$ve λ_2 parametreleri (3.10) ve (3.11) eşitliklerinden bulunabilir, eğer ölçülmemişse hız dağılımı verisi kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile bulunabilir.

e^{λ_1-1} terimi p(u) olasılık yoğunluk fonksiyonunun u = 0'daki değeri olup λ_2 ve u_{mak}'a bağlıdır. Bu yüzden (3.12) eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{U}{u_{mak}} = \frac{1}{M}\ln\left[1+(e^{M}-1)\frac{\xi-\xi_0}{\xi_{mak}-\xi_0}\right] \qquad \textbf{(3.13)}$$

burada; $M = \lambda_2 u_{mak}$ boyutsuz bir parametredir. (3.6) ve (3.9) eşitliklerinden;

$$M = \ln\frac{p(u_{mak})}{p(0)} = \ln\frac{\left(\frac{du}{d\xi}\right)_{\xi=\xi_0}}{\left(\frac{du}{d\xi}\right)_{\xi=\xi_{mak}}} \qquad \textbf{(3.14)}$$

burada; $\left(\frac{du}{d\xi}\right)_{\xi}$, ξ' deki $\frac{du}{d\xi}$' dir. Buradan anlaşıldığı gibi M, olasılık ve hız dağılımının üniformluğunun ölçümüdür. (3.13) eşitliği en büyük hızın su yüzeyinin hemen altında oluşması durumunda açık kanallardaki iki boyutlu hız dağılımını ifade eder. M'nin iki parametresi vardır; λ_2 ve u_{mak}. Geniş kanallarda $\frac{\xi-\xi_0}{\xi_{mak}-\xi_0}$ yerine $\frac{z}{H}$ kullanılabilir; burada H su derinliğidir. (3.13) eşitliğinde $\frac{\xi-\xi_0}{\xi_{mak}-\xi_0}$ yerine $\frac{z}{H}$ kullanılırsa, Prandtl-von Karman hız dağılım ifadelerine göre daha kullanışlı ifadeler elde edilir (Chiu 1987). Ayrıca (3.11) eşitliğinin her iki tarafı da u_{mak}' a bölünürse;

$$\Phi\ M = \frac{U}{u_{mak}} = \frac{e^{M}}{e^{M}-1} - \frac{1}{M} \qquad \textbf{(3.15)}$$

eşitliği elde edilir. Bu ifade entropi parametresi M'nin belirlenmesinde kullanılabilir. (3.13) denkleminde toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu, ξ (y,z) eğrisel eksen takımı, $\xi = \xi_{mak}$, en büyük hızın oluştuğu eğri, $\xi = \xi_0$ kanal tabanındaki hızın sıfır olduğu eğri olup ξ, z'nin fonksiyonu olarak (3.16) nolu denklemde verildiği gibi tanımlanmıştır (Ardıçlıoğlu ve diğ. 2010b).

$$\xi = \frac{z}{H-h}\exp\left(1-\frac{z}{H-h}\right) \qquad \textbf{(3.16)}$$

(3.16) ifadesinde z; kanal tabanından olan uzaklık, H; akım derinliği ve h; en büyük hızın oluştuğu derinliğin serbest su yüzünden olan mesafesini göstermektedir. En büyük hız (u_{mak}) su yüzünün altında oluşması durumunda h>0, aksi durumda h=0 olacaktır. İki boyutlu hız dağılım denklemi de z ve h'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$u = \frac{u_{mak}}{M} \ln\left[1 + \left(e^{M} - 1\right) \frac{z}{H-h} \exp\left(1 - \frac{z}{H-h}\right)\right] \qquad \textbf{(3.17)}$$

(3.17) nolu denklem 3 bilinmeyen parametreyi içermektedir. Bunlar; M, h ve u_{mak} olup, entropi parametresi M, kesit ortalama hızı u ve en büyük hız u_{mak}' a bağlı olarak (3.15) ifadesi ile belirlenebilmektedir.

4. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

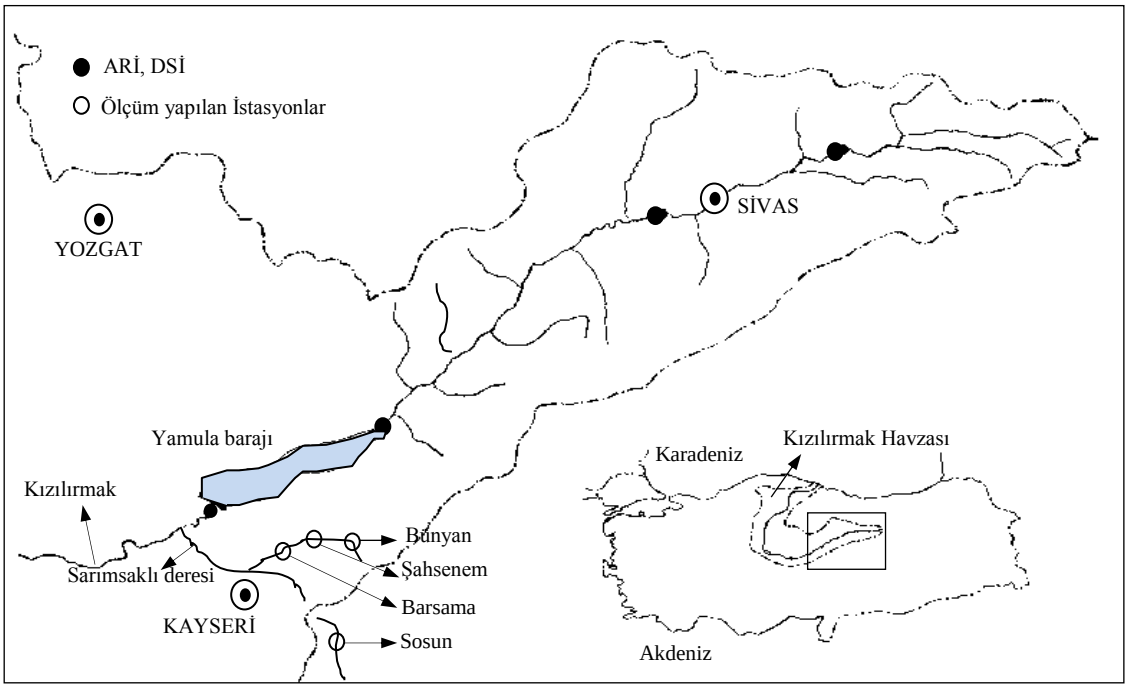
4.1 Ölçüm Sahası

Tez çalışması kapsamındaki akım ölçümleri, İç Anadolu Bölgesi'nde Orta Kızılırmak ve Seyhan Havzasında, Kayseri ili sınırları içerisinde Şekil 4.1'de görüldüğü gibi dört farklı istasyonda yapılmıştır. Bünyan, Şahsenem ve Barsama istasyonları Kızılırmak Nehri'nin bir kolu olan Sarımsaklı Deresi üzerinde, Sosun istasyonu ise Zamantı Irmağı'nın bir kolu olan Sosun Deresi üzerinde yer almaktadır. Söz konusu istasyonlarda farklı tarihlerde Çizelge 4.1'de verildiği üzere toplam 22 ölçüm yapılmıştır. Bünyan, Şahsenem, Barsama ölçüm istasyonlarında 2005 ve 2010 yılları arasında, Sosun istasyonunda ise Mayıs 2009 ve Nisan 2010 tarihleri arasında saha çalışması yapılmıştır.

Bünyan, Şahsenem ve Barsama İstasyonlarının yer aldığı Kızılırmak havzası Fırat Havzasından sonra, Türkiye'nin ikinci büyük havzası olup İç Anadolu ve Karadeniz Bölgelerinde yer almaktadır. Ülke topraklarının yaklaşık %11'ini kaplayan havzanın geniş bölümü tepelik alan görünümünde iken yalnızca kuzey ve doğu kesimleri dağlıktır. Kızılırmak 1355 km uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun akarsuyu olup, İç Anadolu'nun doğusundaki Sivas ilinde Kızıldağ'ın güney yamaçlarından doğar. Yaklaşık 128 km'lik bölümü Kayseri il sınırları içindedir. Kızılırmak, Kayseri iline kuzeybatıda Ebülhayır köyü yakınlarında girmekte ve bir süre kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda akmaktadır. Kuşçu Kasabası önünde kuzeye doğru bir dirsek yapıp, kasabayı çevreleyen Kızılırmak burada doğu-batı doğrultusunu alır. Kızılırmak bir süre aynı yönde aktıktan sonra kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunu alarak Bahçe Köyü'nün güneybatısında İl sınırları dışına çıkar. Sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Aksaray, Çankırı, Çorum ve Samsun illerini kapsayan yolculuğunu Bafra Burnu'ndan Karadeniz'e dökülerek tamamlar (Url-6).

Arazi ölçümleri yapılan son istasyon olan Sosun Deresi Seyhan Havzası'nda yer almaktadır. Seyhan Havzası Kayseri ilinin doğusunu kaplamaktadır. Havzanın yukarı bölümü İç Anadolu'da, orta ve aşağı bölümü ise Akdeniz Bölgesi'nde kalmaktadır. Seyhan Havzası dağlık bir alan görünümündedir. Seyhan Irmağı'nın iki büyük

kolundan biri olan ve il topraklarındaki uzunluğu 230 km. olan Zamantı Irmağı, Uzunyayla ortalarında, Örenşehir Bucağı yakınlarında Şerefiye Köyü'nde doğar. İlk kaynaklarını Uzunyayla'dan aldıktan sonra kabaca kuzey-güney doğrultusunda akan Zamantı, Pınarbaşı İlçesi'nin kuzeydoğusunda, kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunu alır. Menderesler çizerek akan Zamantı Irmağı, Tomarza İlçesinin güneyinde sert bir dirsek yaparak batıya yöneldikten sonra yine sert bir dirsekle kuzey-güney doğrultusunu alır ve Yahyalı İlçesi'nin güneyinde il sınırları dışına çıkarak Akdeniz'e dökülür (Url-6).



Şekil 4.1: Çalışma sahası ve ölçüm istasyonlarının yerleri.

Çizelge 4.1: İstasyonlarda gerçekleştirilen ölçümlerin sayıları.

İstasyon	Ölçüm Sayısı	Ölçüm Tarihleri
Bünyan	6	2005 - 2010
Şahsenem	6	2005 - 2010
Barsama	6	2005 - 2010
Sosun	4	2009 - 2010

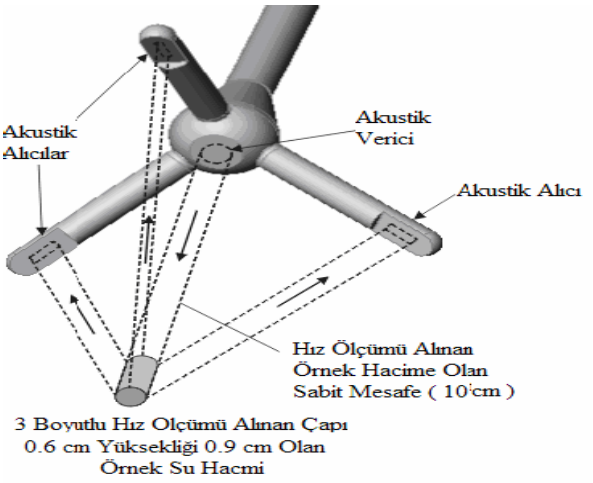
4.1.1 Ölçüm istasyonunun yerinin seçimi

Ölçüm istasyonu, ölçüm yapılan açık kanaldaki bir yer veya enkesittir. Ölçüm istasyonları aşağıda belirtilen özellikleri taşımalıdır.

- Akarsu kesiti düz ve üniform olmalıdır.
- Kıyılar ve nehir yatağı silt ve tortudan kaynaklanan değişmeleri önlemek için kararlı olmalıdır.
- Taşkınlarda ölçüm istasyonu zarar görmemelidir.
- Ölçüm sistemi akarsu yatağında ve kenarlarında suda yaşayan hayvanlardan en az etkilenmelidir.
- Ölçüm yapılacak kesitin iki akarsuyun karışma bölgesinden uzak olması gerekir.
- Ölçüm istasyonlarına elektrik tesisatı çekme ve işletme bakımından kolay erişilebilmelidir.
- Ölçüm istasyonunun yeri hidrolik verilerin toplanmasına uygun şartları sağlamalıdır.
- Ölçüm istasyonu için en önemli şartlardan birisi de ortamın güvenliğidir.

4.2 Ölçüm Cihazı

Akustik hız ölçer ADV, arazide ve laboratuvarda debi, üç boyutlu hız ve türbülans gibi hidrolik ölçümleri yapabilen gelişmiş bir alettir. Kullanım yerleri su kanalları, fiziksel modeller, göller, nehirler ve bataklıklar olarak belirtilmektedir. Şekil 4.2'de görülen ADV aynı zamanda çok düşük hızlar için de ölçüm yapmaya imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Özel uygulamalar için değişik başlık (probe) seçenekleri sunmaktadır (Öztürk, 2006).



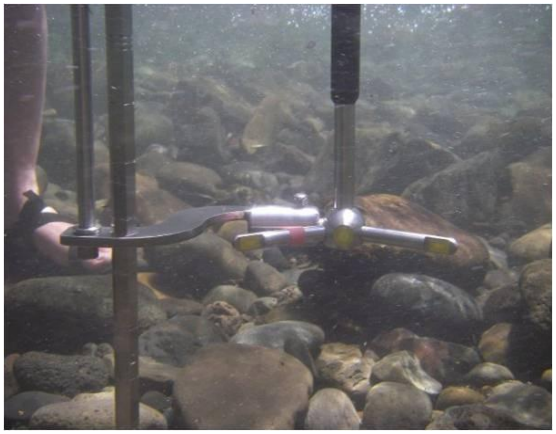
Şekil 4.2: Akustik hız ölçer ADV cihazı

İlk kez 1842 yılında Avustralyalı fizikçi Christian Johann Doppler tarafından tanımlanan "Doppler Etkisi" dalga yayan bir enerji (ses, ışık ya da diğer dalgalar) kaynağından çıkan bir dalganın hareket eden bir hedeften yansıdığında frekansında bir değişiklik saptanmasıdır. Örneğin belli bir frekansla ses veren hareketli bir kaynak yaklaştıkça daha tiz (artmış frekans), uzaklaştıkça daha pes (azalmış frekans) işitilir. Frekanstaki bu değişikliğe "Doppler frekans değişimi" ya da "Doppler değişimi" adı verilir (Url-7).

Ultrasonik Doppler Hızölçeri akışı rahatsız etmeden akış içerisinde asılı duran yaklaşık 1 µm çapındaki parçacıkların hareketlerinin Doppler frekansı (df) ile ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Belli bir noktaya odaklanan sinyaller bu noktadan geçen parçacıklar tarafından saçılır. Saçılan sinyallerin frekansı parçacık hızına bağlı olarak değişir. Dedektör ile toplanan bu saçılmış sinyallerin frekans kayması akış hızı ile doğru orantılıdır. Alınan sinyallerin büyüklüğü ve modülasyonu gürültüye, parçacıkların hızına ve büyüklüğüne, toplayıcı dedektörün yerine, dalga boyuna ve iki sinyal arasındaki açıya bağlıdır. Büyük ve küçük akışkan parçacıkları farklı frekans genlikleri oluşturduklarından parçacık hızlarını parçacık çapının fonksiyonu olarak ölçmek mümkün olmaktadır (Url-7).

Açık kanallarda ve akarsularda Doppler yöntemi ile yapılan ölçümlerin akışı rahatsız etmemesi, bütün yönlerde hız bileşenlerinin ölçülmesine imkan sağlaması ve yüksek doğruluk seviyesi gibi üstünlükleri sebebiyle araştırmacılar tarafından bu yöntem debi ve hız ölçümü için kolay, güvenilir ve en uygun metotlardan birisi olarak vurgulanmıştır (Url-7).

Ultrasonik ses dalgalarının yayılma prensibini açıklayan Doppler prensibinden yararlanarak hız ölçmek için geliştirilen ADV Şekil 4.3a-b'de gösterilmiştir. Ölçümler sırasında kullanılan FlowTracker olarak isimlendirilen SonTek marka ADV cihazında LCD ekran, bilgi girişi ve cihazın kontrolünde kullanılan düğmelerin bulunduğu kontrol ünitesi, veri aktarma bağlantısı ve 3 boyutlu ölçüm başlığı bulunmaktadır. Hareketli bir akışkan içerisinde akışkan hızını tam olarak takip edebilen gaz, duman, küçük katı parçacıklar var ise bu taneciklerden saçılan dalganın frekansının ölçülmesi ile bu taneciklerin dolayısıyla akışkanın hızı ölçülebilir (Öztürk, 2006).



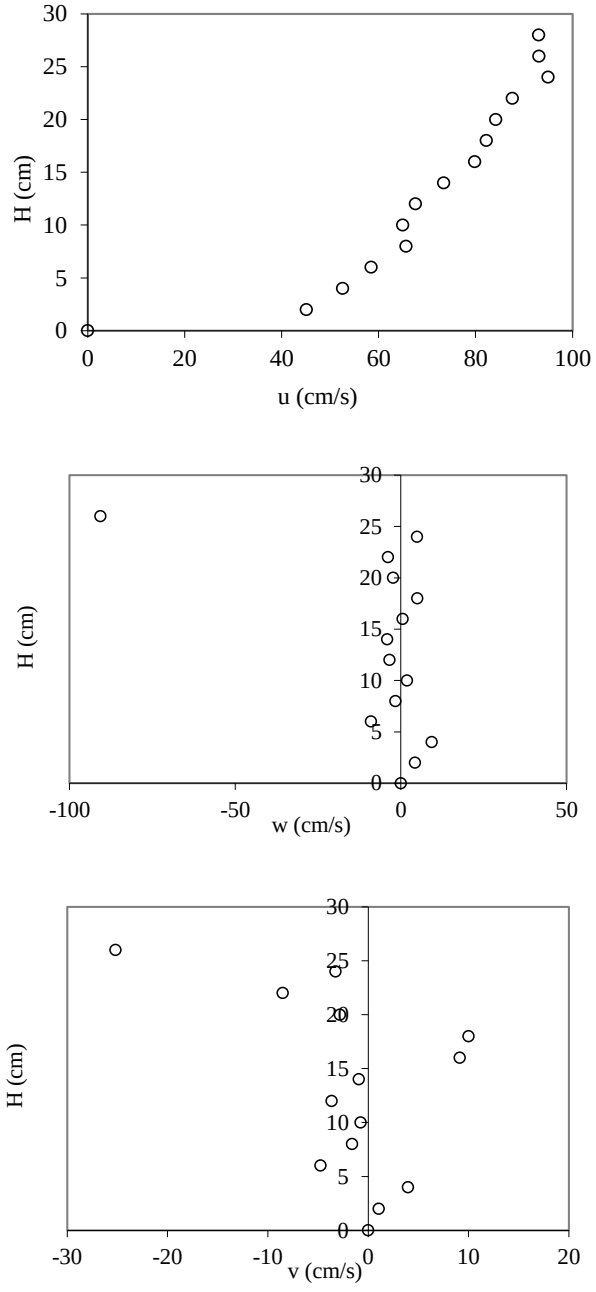
Şekil 4.3a: ADV cihazı başlığı.



Şekil 4.3b: ADV cihazı kontrol ünitesi.

Şekil 4.4 a-c'de görüldüğü gibi ölçüm başlığının 10 cm önündeki 6 mm çap ve 10 mm yüksekliğindeki silindirik bir kontrol hacminin içerisindeki x, y ve z doğrultularındaki u, v ve w hızlarını her bir saniyede ölçerek, 10 sn ile 1000 sn

arasında istenilen zaman aralığında hızların ortalamasını belirlemektedir Dağılımlarda da görüldüğü gibi akım doğrultusundaki hızlar diğer doğrultulara göre daha büyüktür. Ölçüm hız aralığı ±0.001m/s - 5 m/s olup, ±%1 hassasiyette nehirlerde, sulama kanallarında, atık su kanallarında ve laboratuvarda ölçüm yapabilmektedir (Ardıçlıoğlu ve diğ. 2008b).



Şekil 4.4 a-c: En kesitte x, y, z doğrultusundaki u, v, w hızları.

Noktasal hız ve enkesit debi ölçme fonksiyonları bulunan aletin 4 Mb' lık hafızası en fazla 64 data dosyasına ölçüm değerlerini kaydedebilmekte, RS-232 bağlantısı ile bilgisayara ölçüm değerlerinin aktarılması mümkün olmaktadır. Cihaz tarafından

kaydedilen dosyalar *.wad* uzantılı olup SonTek yazılımı sayesinde bilgisayara aktarılarak 4 farklı dosya elde edilmektedir. Birinci dosya, çalışma kapsamında ölçümlerde kullandığımız, akımın ortalama hızlarını, ölçüm yüksekliklerini, suyun sıcaklığını, ölçüm mesafesinin başlangıç mesafesine olan uzaklığını, vb. bilgileri bulunduran *.dis* uzantılı dosyadır (Çizelge 4.2). *.dat* uzantılı olan bir diğer dosya her saniyede alınan anlık u, v ve w değerlerini, anlık SNR (Signal to Noise Ratio) değerlerini ve ölçüm yapılan zamanı kaydeder (Çizelge 4.3). Diğer dosya, ölçüm yapılan cihazda kullanılan seçeneklerin verildiği *.ctl* uzantılı olandır (Çizelge 4.4). Bunlardan sonuncusu da Çizelge 4.5'te verilen sadece ortalama u, v ve w değerlerini gösteren *.sum* uzantılı özet dosyadır (Öztürk, 2006).

Çizelge 4.2: Ölçüm yapılan bir noktada düşey kesit boyunca noktaların hızlarını ve ölçüme ait birçok bilgiyi veren *.dis* uzantılı dosya.

Start Date andTime				2005/May/28		10:00	08:20											
Sensor Type				ADV														
Serial Number				0														
Averaging Time				40 sec														
Unit S system																		
Number of stations				11														
Mean velocity	(Vx/Vy)			98,06	cm/s													
Mean SNR				33,1	dB													
Mean std. error of vel.				4,1	Cm/s													
Mean boundary conditions				0	(BEST)													
Boundary condition			(Bnd) -	0:	(BEST)													
				1:	GOOD													
				2:	FAIR													
				3:	POOR													
ST.	Loc 1	Loc 2	WaterD	MeasD	Clock	Npts	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	VxErr	VyErr	VzErr	Bnd	Temp
	(m)	(m)	(m)	(m)				(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(dB)	(dB)	(dB)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)		(degC)
1	0	0	0,32	0,02	10:08	40	1	70,06	-0,57	5,88	35,2	36,9	35,2	3	1,9	2,4	0	11,71
2	0	0	0,32	0,04	10:09	40	0	72,94	-9,1	-4,61	34,8	36,1	35,2	2,8	1,5	2,3	0	11,71
3	0	0	0,32	0,06	10:10	40	0	82,83	-1,74	-6,43	35,2	36,5	36,1	3,1	1,7	2,8	0	11,72
4	0	0	0,32	0,08	10:12	40	0	948	5,11	3,07	35,6	36,9	35,6	3,1	1,9	2,8	0	11,73
5	0	0	0,32	0,10	10:13	40	0	100,88	-3.45	-3,34	35,.6	36,9	35,6	3	1,6	3,0	0	11,74
6	0	0	0,32	0,12	10:14	40	1	111,4	-2,03	-3,97	35,6	36,9	36,1	2,6	1,5	2,1	0	11,75
7	0	0	0,32	0,16	10:15	40	0	116,08	0,09	-1,57	35,6	36,9	36,1	2,9	1,8	2,7	0	11,77
8	0	0	0,32	0,20	10:16	40	0	125,17	6,61	2,07	35,6	37,4	36,1	2,3	1,3	2,7	0	11,78
9	0	0	0,32	0,24	10:18	40	1	127,9	4,06	-19,53	36,1	37,8	5,1	2	1,2	23,6	0	11,8
10	0	0	0.32	0,28	10:19	40	0	133,74	-6,97	-39,66	36,1	35,2	7,3	3,1	1,3	19,9	1	11,81
11	0	0	0,32	0,30	10:22	40	0	40,33	-10,28	-57,85	31,8	27	13,3	12,5	2,8	14,9	2	11,83

Çizelge 4.3: Ölçüm yapılan düşeydeki bir noktanın anlık hızlarını gösteren *.dat* dosyası.

Y	M	D	H	M	S	u error	v error	w error	u cm/s	v cm/s	w cm/s
2005	5	28	9	3	4	0,17	-0,09	3,37	32,7	39,6	40,8
2005	5	28	9	3	5	0,01	0,08	-0,34	37,0	53,3	49,0
2005	5	28	9	3	6	-1,00	-0,09	-0,01	37,4	51,2	46,4
2005	5	28	9	3	7	0,56	0,11	1,66	37,0	53,8	48,6
2005	5	28	9	3	8	1,05	-0,24	-0,84	34,8	52,9	50,7
2005	5	28	9	3	9	-0,55	-0,04	-0,06	34,8	53,3	52,5
2005	5	28	9	3	10	-0,39	-0,09	-0,83	34,8	53,3	51,6
2005	5	28	9	3	11	0,21	-0,22	-0,88	34,0	54,2	52,5
2005	5	28	9	3	12	-0,69	-0,05	-0,82	35,3	54,6	54,2
2005	5	28	9	3	13	-0,14	0,05	0,21	34,8	54,6	53,8
2005	5	28	9	3	14	-0,39	0,02	1,04	36,1	55,5	54,2
2005	5	28	9	3	15	-0,36	-0,05	-0,17	33,1	53,3	53,3
2005	5	28	9	3	16	-0,69	0,04	0,66	34,0	55,0	52,9
2005	5	28	9	3	17	-0,63	0,04	-0,14	34,0	54,2	53,3
2005	5	28	9	3	18	-0,39	0,05	0,06	35,3	55,5	54,6
2005	5	28	9	3	19	0,27	-0,01	1,09	32,3	53,8	53,8
2005	5	28	9	3	20	-0,72	0,17	0,35	35,3	53,3	54,2
2005	5	28	9	3	21	0,19	0,16	-0,04	34,4	54,6	54,2
2005	5	28	9	3	22	-0,34	0,08	0,67	34,0	54,6	54,2
2005	5	28	9	3	23	0,42	-0,05	0,59	35,7	53,8	52,9
2005	5	28	9	3	24	0,40	-0,08	-0,01	34,0	52,9	50,7
2005	5	28	9	3	25	-0,37	0,19	1,37	37,0	55,5	51,6
2005	5	28	9	3	26	0,35	-0,04	0,28	41,3	59,8	51,2
2005	5	28	9	3	27	-0,45	-0,01	-1,01	41,7	58,9	50,7
2005	5	28	9	3	28	-0,16	0,04	0,30	44,7	69,7	74,0
2005	5	28	9	3	29	-0,02	0,00	-0,02	60,6	74,4	71,4
2005	5	28	9	3	30	0,29	0,33	-0,02	59,8	74,0	71,8
2005	5	28	9	3	31	0,07	-0,02	-0,12	53,8	73,1	72,2
2005	5	28	9	3	32	0,05	-0,01	0,09	55,9	72,2	70,5
2005	5	28	9	3	33	-0,12	0,03	-0,01	53,8	72,7	70,1
2005	5	28	9	3	34	-0,06	0,00	-0,03	48,6	72,7	72,2
2005	5	28	9	3	35	-0,04	0,00	0,07	50,3	72,2	71,4
2005	5	28	9	3	36	0,01	-0,03	-0,22	46,4	70,1	73,5
2005	5	28	9	3	37	-0,01	-0,02	-0,04	45,2	70,9	73,1
2005	5	28	9	3	38	0,17	-0,06	-0,25	46,0	70,5	73,1
2005	5	28	9	3	39	0,21	0,01	0,10	46,4	70,1	73,5
2005	5	28	9	3	40	0,25	-0,07	-0,33	46,0	70,1	73,5
2005	5	28	9	3	41	-0,22	0,03	0,13	45,2	70,5	73,5
2005	5	28	9	3	42	-0,14	0,05	0,24	44,3	71,4	71,8
2005	5	28	9	3	43	0,13	-0,04	-0,18	44,3	70,9	72,2

Çizelge 4.4: Ölçüm yapılan alete ait bilgilerin verildiği *.ctl* dosyası.

File	
File size (bytes)	22760
Number of bursts	14
Time of first burst	2005/05/28 09:47:08
Time of last burst	2005/05/28 10:05:12
Flow Tracker Handheld ADV Hardware Configuration	
System Type	ADV
Serial Number	P390
Frequency (kHz)	10000
CPU Firmware Version	2,4
CPU Board Revision	G
Recorder Installed	YES
Temperature Installed	YES
Flow Tracker Handheld ADV User Setup	
Default Temperature (deg C)	20,00
Default Salinity (ppt)	0,00
Temperature Mode	MEASURED
Default Sound Speed (m/s)	1482,30
Averaging Interval (sec)	1
Sample Interval (sec)	1
Velocity Range (cm/s)	AUTO
Samples per Burst	40
Coordinate System	XYZ
Output Format	METRIC
Keypad Mode	KEYPAD GENERAL
Advanced Probe Configuration	
Serial Number	P390
Probe Type	SIDE XYZ 10cm
Number of Beams	3

Çizelge 4.5: Ortalama u, v ve w değerlerini veren *sum* dosyası (cm/s).

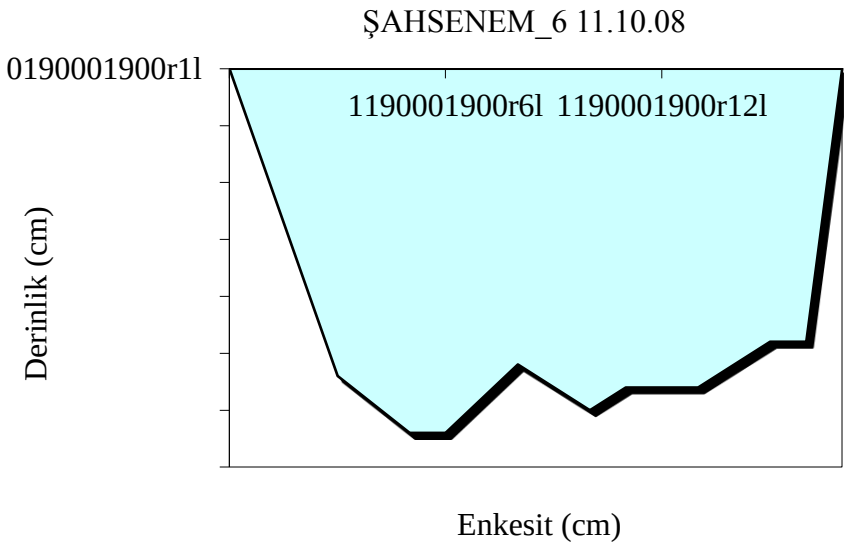
u (cm/s)	v (cm/s)	w (cm/s)
19,713	12,079	28,684
22,504	11,457	27,891
21,392	12,327	20,754
18,818	13,858	19,798
21,496	13,098	23,287
21,316	13,691	23,206
23,236	13,077	20,715
23,672	12,925	20,766
18,447	14,404	17,591
17,017	9,136	71,581
16,589	9,769	189,006

4.3 Ölçüm Çalışması

Hız ölçümlerinin yapıldığı akarsu enkesitlerinde Şekil 4.5'te görüldüğü gibi akarsuyun her iki kenarına çakılan kazıklar ($K_{sağ}$ ve K_{sol}) yardımı ile akım doğrultusuna dik ip çekilmiştir. Kesite bağlı olarak sol veya sağ kazık başlangıç koordinatı alınıp en kesit boyunca (y ekseni) ölçüm yapılacak düşeyler belirlenmiştir Ölçümler sırasında su yüzü genişliği T' ye (m) bağlı olarak ölçüm yapılacak düşey sayısı dolayısıyla enkesit dilim sayıları belirlenmiştir. Nehir tabanındaki pürüzlülük nedeniyle ölçüm yapılan düşeylerde kanal tabanına en yakın 4 cm'de hız ölçülmüştür. Bu derinlikten itibaren serbest su yüzüne kadar her 2 ila 4 cm'de bir hız ölçümleri yapılmıştır. Her bir düşeyde su yüzeyindeki hızlar ise yüzeye en yakın 2 ölçümün gidişine göre tahmin edilmiştir. Bu ölçümler sırasında kanal enkesitleri de Şekil 4.6'daki gibi elde edilmiştir



Şekil 4.5: Şahsenem istasyonu ölçüm çalışması.

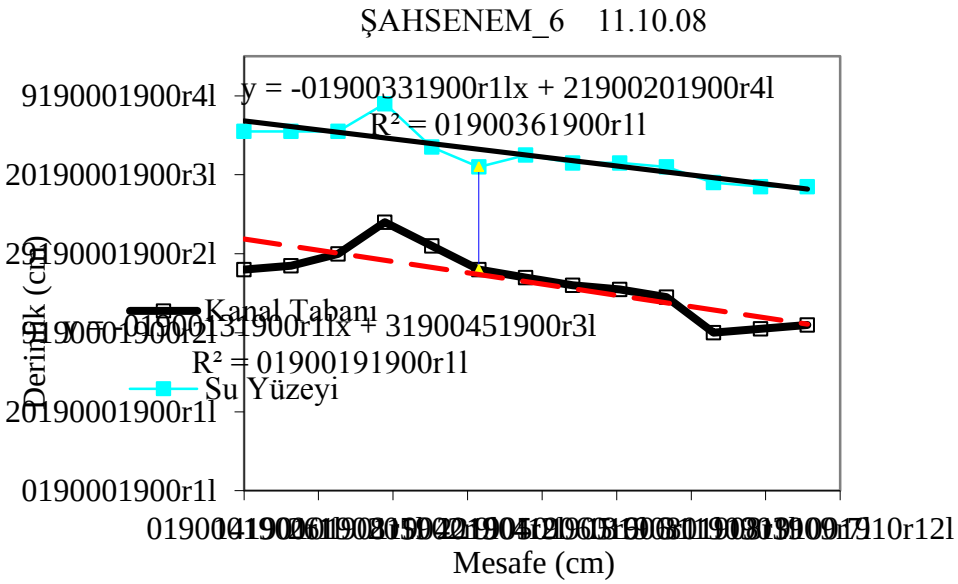


Şekil 4.6: Şahsenem_6 ölçümü enkesiti.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi ölçümler sırasında kanal taban ve su yüzü eğiminin belirlenmesi amacıyla ele alınan kesitin memba ve mansabında belirli mesafelerde taban kotları ölçülmüş, bu noktalardaki su derinlikleri de belirlenerek kanal taban ve su yüzü profilleri Şekil 4.8'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.7: Şahsenem istasyonu boykesit çalışması.



Şekil 4.8: Şahsenem_6 ölçümü boykesiti.

Çizelge 4.6'da da görüldüğü gibi uygun aralıklara bölünen en kesitte (Sosun_1 ölçümü için 6 aralık) hız ölçümleri yapılmıştır. Nehrin sol sahilinden 35 cm uzaklıkta birinci düşey olan S1'de (y = 35 cm) ilk ölçüm yapılmış daha sonra da 50'şer cm ara ile bu ölçümler tekrarlanmış ve sağ sahile 35 cm mesafede S6 düşeyinde (y = 285 cm) son ölçüm yapılmıştır. Her bir düşeyde 2 ila 4 cm ara ile hız değerleri ölçülmüştür. Çizelge 4.6'da ölçüm düşeylerinin kesit üzerindeki yeri (y), ölçümlerde x doğrultusunda elde edilen hız değerleri (u) ve ölçüm noktalarının bulundukları düşeydeki konumları (z) verilmiştir.

Bu çizelgede yer alan bilgiler hız alan yöntemi ile debilerin hesaplanmasında esas teşkil etmektedir. Kesite ait debinin bulunması amacıyla dilim ortalama hızları (U) 2.2 denklemi ile hesaplanmıştır ve Çizelge 4.7'de verilmiştir. Her bir dilime ait ortalama hızlar yardımıyla dilim debileri (q_i), (2.4) denklemi ile hesaplanarak Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. (2.5) eşitliği kullanılarak dilim debilerinin toplanması ile kesitten geçen akımın debisi Q hesaplanmıştır. Çizelge 4.8'de Sosun_1 ölçümüne ait akımın debisi 0,854 m^3/sn ve U = 0,585 m/sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6: Sosun_1 hız ölçüm değerleri.

S1 y=35cm		S2 y=85cm		S3 y=135cm		S4 y=185cm		S5 y=235cm		S6 y=285cm	
z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,457	4	0,350	4	0,550	4	0,630	4	0,400	4	0,150
6	0,429	6	0,366	6	0,600	6	0,650	6	0,450	6	0,200
8	0,415	8	0,429	8	0,650	8	0,670	8	0,474	8	0,211
10	0,477	10	0,468	10	0,707	10	0,671	10	0,487	10	0,184
12	0,510	12	0,583	12	0,689	12	0,666	12	0,439	12	0,225
14	0,439	14	0,499	14	0,743	14	0,785	14	0,442	14	0,214
16	0,467	16	0,587	16	0,695	16	0,731	16	0,525	16	0,241
18	0,481	18	0,565	18	0,661	18	0,809	18	0,477	18	0,258
20	0,479	20	0,558	20	0,746	20	0,812	20	0,459	20	0,219
22	0,504	22	0,587	22	0,696	22	0,893	22	0,474	22	0,236
24	0,488	24	0,642	24	0,768	24	0,880	24	0,488	24	0,230
26	0,444	26	0,674	26	0,734	26	0,872	28	0,448	26	0,220
28	0,494	28	0,594	28	0,766	28	0,892	32	0,502	28	0,214
30	0,467	30	0,657	32	0,766	30	0,838	36	0,491	30	0,246
32	0,460	32	0,757	36	0,813	32	**0,949**	40	0,499	32	0,190
34	0,452	34	0,722	40	0,833	36	0,886	44	0,475	34	0,215
36	0,432	36	0,701	44	0,855	40	0,848	48	0,500	36	0,170
38	0,400	38	0,699	48	0,860	44	0,819	50	0,533	38	0,188
40	0,390	40	0,690	52	0,893	48	0,904	52	0,548	40	0,174
42	0,380	42	0,698	56	0,928	52	0,846	54	0,506	42	0,147
44	0,370	44	0,735	58	0,894	56	0,896	55	0,500	44	0,140
		46	0,731	60	0,910	58	0,866			46	0,140
		48	0,704	61	0,890	60	0,864			48	0,130
		50	0,702			61	0,860			49	0,130
		52	0,668								
		54	0,581								
		56	0,605								
		58	0,568								
		60	0,561								

Çizelge 4.7: Sosun_1 istasyonu dilim ortalama hızları.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Y	35	85	135	185	235	285
	0,009	0,007	0,011	0,013	0,008	0,003
	0,009	0,007	0,012	0,013	0,009	0,004
	0,008	0,008	0,013	0,013	0,009	0,004
	0,009	0,009	0,014	0,013	0,010	0,004
	0,010	0,011	0,014	0,013	0,009	0,004
	0,009	0,011	0,014	0,015	0,009	0,004
	0,009	0,011	0,014	0,015	0,010	0,005
	0,009	0,012	0,014	0,015	0,010	0,005
	0,010	0,011	0,014	0,016	0,009	0,005
	0,010	0,011	0,014	0,017	0,009	0,005
	0,010	0,012	0,015	0,018	0,010	0,005
	0,009	0,013	0,015	0,018	0,019	0,005
	0,009	0,013	0,015	0,018	0,019	0,004
	0,010	0,013	0,031	0,017	0,020	0,005
	0,009	0,014	0,032	0,018	0,020	0,004
	0,009	0,015	0,033	0,037	0,019	0,004
	0,009	0,014	0,034	0,035	0,019	0,004
	0,008	0,014	0,034	0,033	0,010	0,004
	0,008	0,014	0,035	0,034	0,011	0,004
	0,008	0,014	0,036	0,035	0,011	0,003
	0,008	0,014	0,018	0,035	0,005	0,003
		0,015	0,018	0,018		0,003
		0,014	0,009	0,017		0,003
		0,014		0,009		0,001
		0,014				
		0,012				
		0,012				
		0,012				
		0,011				

Çizelge 4.8: Sosun_1 istasyonu debi hesabı.

y (cm)	35	85	135	185	235	285		
Toplam =	0,190	0,351	0,458	0,484	0,254	0,092		
U_i (m/s) =	0,431	0,586	0,751	0,794	0,463	0,188	Q (m^3/s)	U (m/s)
q_i (m^3/s) =	0,073	0,165	0,228	0,236	0,127	0,025	0,854	0,585

Dört ayrı istasyonda farklı tarihlerde gerçekleştirilen ölçümlere ait akım karakteristikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çizelge 4.9'da daha önce de tanımlandığı gibi Q, hesap edilen debidir. U, (=Q/A) A enkesit alanı olmak üzere ortalama hızdır. u_{mak}, kanal enkesitinde ölçülen en büyük hızdır. Re (= 4U R / ν) Reynolds sayısıdır. (R = A/P) hidrolik yarıçap olup P, ıslak çevre, ν, kinematik viskozitedir. ($Fr = \frac{U}{\sqrt{gH}}$) Froude sayısı olup g yerçekimi ivmesi, H, kanal enkesitindeki en büyük derinliktir. T/R, T su yüzü genişliği olmak üzere kesit oranıdır. Çizelgede verilen Reynolds ve Froude sayılarından da anlaşılacağı üzere yapılan ölçümlerde kanaldaki akım türbülanslı nehir rejimindedir.

Çizelge 4.9: Dört istasyona ait akım karakteristikleri.

	Tarih g/a/y	Q (m^3/s)	U (m/s)	u_{mak} (m/s)	Re $x10^6$	Fr -	T/R
Bünyan_1	24/06/2009	0,788	0,354	0,595	7,1	0,133	7,0
Bünyan_2	02/08/2010	0,434	0,214	0,412	4,0	0,084	7,5
Bünyan_3	27/09/2009	0,636	0,301	0,593	5,0	0,113	8,2
Bünyan_4	04/04/2010	1,082	0,405	0,687	7,8	0,140	7,3
Bünyan_5	16/05/2010	1,188	0,426	0,671	8,5	0,147	7,0
Bünyan_6	20/06/2010	0,708	0,286	0,557	5,3	0,103	7,3
Şahsenem_1	29/03/2006	0,816	0,600	0,950	4,7	0,350	26,8
Şahsenem_2	20/10/2007	0,718	0,529	0,841	4,7	0,298	21,9
Şahsenem_3	22/02/2008	0,792	0,565	0,932	4,9	0,314	22,1
Şahsenem_4	03/05/2008	0,613	0,518	0,870	3,9	0,307	25,1
Şahsenem_5	11/10/2008	0,667	0,536	0,902	4,4	0,303	22,0
Şahsenem_6	08/11/2008	0,732	0,516	0,875	5,1	0,282	19,6
Barsama_1	28/05/2005	1,813	0,890	1,400	7,6	0,481	34,0
Barsama_2	19/05/2006	2,443	1,051	1,600	9,4	0,531	35,2
Barsama_3	19/05/2009	3,933	1,214	1,900	1,3	0,578	29,7
Barsama_4	31/05/2009	0,965	0,590	1,100	3,8	0,333	45,4
Barsama_5	24/03/2010	1,505	0,806	1,400	7,1	0,417	34,4
Barsama_6	18/04/2010	2,148	0,865	1,500	1,2	0,421	22,1
Sosun_1	19/05/2009	0,886	0,561	0,949	8,4	0,229	7,5
Sosun_2	31/05/2009	0,294	0,285	0,495	3,2	0,134	9,5
Sosun_3	24/03/2010	0,338	0,327	0,572	3,7	0,152	8,9
Sosun_4	18/04/2010	0,529	0,541	0,859	6,7	0,235	6,5

4.3.1 Bünyan istasyonunda ölçüm

Bünyan ilçe merkezi, 1900 metre yüksekliği olan Koramaz dağının kuzey yamaçlarına kurulmuştur. Kayseri il merkezine uzaklığı 40 km olup toplam yüzölçümü 1306 km^2 ve rakım 1375 m'dir. İlçenin akarsuları ise, Sarımsaklı Deresi, Taçın Suyu, Kahveci Suyu, Elbaşı Suyu, Samağır Suyu, Girveli Suyudur. Bünyan istasyonu Bünyan ilçesinin 2 km doğusunda yer alan Sarımsaklı Deresi üzerindedir. Kayseri ilinin önemli akarsularından birisi olan Sarımsaklı Deresi mevkii Selçuklular döneminden itibaren Yörük topluluklarının yerleşim alanı olmuştur. Sarımsaklı Deresi, Türkiye'de akarsu rejimleri bakımından "Yalnız gür kaynaklardan beslenen akarsulara" verilen önemli bir örnektir. Bünyan'ın 3 km güneydoğusundaki Göztepe denilen dağdan kaynağını alır. Kaynaktaki adı Pınarbaşı suyudur. Bu suyun kasaba içinde yaklaşık 80 m yükseklikteki çağlayandan düşüşü sırasında, üzerinde kurulan hidroelektrik santrali ile 1000 KW gücünde elektrik elde edilir. Dere kasaba içinde doğudan gelen Bük suyu (Boğaz suyu) ile birleşerek batıya doğru yönelir. Kayseri ovasına açılan vadisinde Sarımsaklı Barajını doldurduktan sonra Kayseri şehir merkezinin kuzeyinden batıya doğru akarak Boğaz köprüye ulaşır, burada Karasu ile birleşerek Beğdeğirmeni köyü yakınlarında Kızılırmak' a karışır (Url–8).

Bu kesitte Çizelge 4.10'da görüldüğü gibi 2009 ve 2010 yılları arasında belirtilen tarihlerde toplam altı adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Hız ölçümlerinin yanı sıra birçok akım özelliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu özellikler integrasyon debisi Q_{int}, en büyük hızın meydana geldiği su derinliği H_{mak}, su yüzü genişliği T, en kesit alanı A, ortalama hız U, en büyük hız u_{mak} değerleridir. Çizelge 4.11'de ise hidrolik yarıçap R, Reynolds Sayısı Re, su yüzü eğimi S_{sy}, Froude Sayısı Fr ve en boy oranı T/R değerleri verilmektedir.

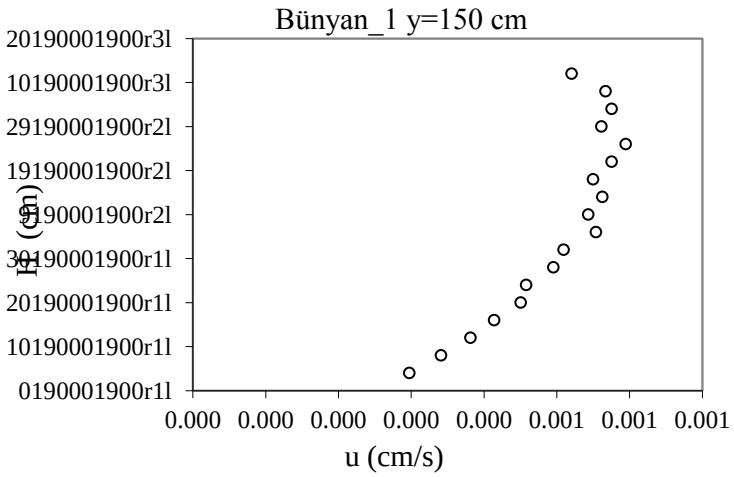
Çizelge 4.10: Bünyan istasyonu genel akım karakteristikleri.

Ölçüm	Tarih	Q_{int}	H_{mak}	T	A	U	u_{mak}
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)	(m)	(m^2)	(m/s)	(m/s)
Bünyan_1	24.06.2009	0,788	72	4,0	2,225	0,354	0,595
Bünyan_2	08.02.2009	0,434	66	4,0	2,030	0,214	0,412
Bünyan_3	27.09.2009	0,636	72	3,9	2,110	0,301	0,593
Bünyan_4	04.04.2010	1,082	85	4,0	2,670	0,405	0,687
Bünyan_5	16.05.2010	1,188	86	4,0	2,793	0,426	0,671
Bünyan_6	20.06.2010	0,708	79	3,9	2,475	0,286	0,557

Çizelge 4.11: Bünyan istasyonu akım karakteristikleri.

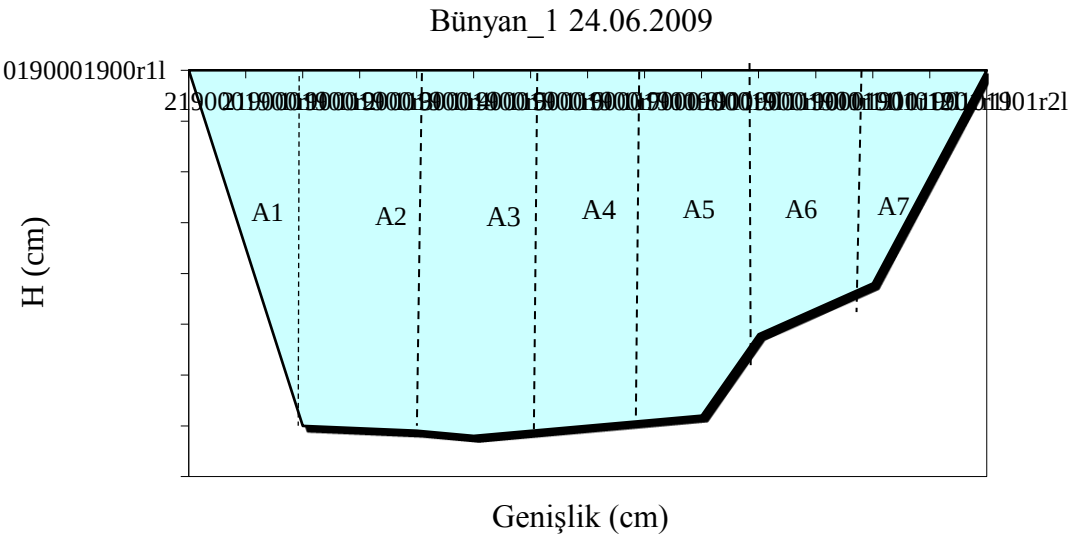
Ölçüm	R	S_{sy}	R_e	Fr	T/R
	(m)	-	-	-	
Bünyan_1	0,571	0,00200	709345	0,133	7,0
Bünyan_2	0,534	0,00300	400581	0,084	7,5
Bünyan_3	0,474	0,00220	501312	0,113	8,2
Bünyan_4	0,550	0,00180	782049	0,140	7,3
Bünyan_5	0,572	0,00240	854129	0,147	7,0
Bünyan_6	0,532	0,00100	533980	0,103	7,3

Bu kesitte yapılan ölçümler neticesinde y = 150 cm'deki düşeyde elde edilen x doğrultusundaki u hızına ait dağılımlar Şekil 4.9'da verilmiştir. Dağılımın logaritmik dağılıma yakınlığı görülmektedir.



Şekil 4.9: Bünyan_1 ölçümü x doğrultusundaki hızlar.

Enkesitte taban malzemesi olarak yer yer iri taneli çakıllar yer yer de kumlu siltli malzeme vardır. Genişliği yaklaşık 4 m olan istasyonda 24 Haziran 2009 tarihinde yapılan ölçümlere ait enkesit Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

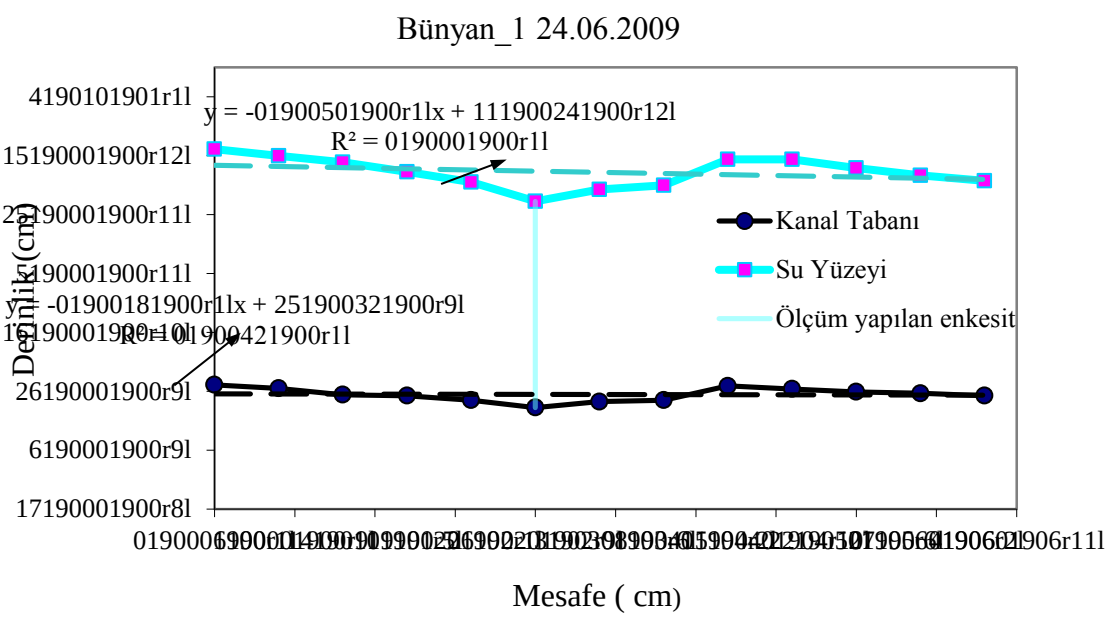


Şekil 4.10: Bünyan_1 ölçümü enkesiti.

Bünyan_1 Ölçüm İstasyonunda 24 Haziran 2009 tarihinde nivo ve mira vasıtasıyla yapılan boykesit belirleme çalışmaları Şekil 4.11'de görülmektedir. Bu çalışmalar sonucu oluşturulan boykesit ise Şekil 4.12'de verilmektedir.



Şekil 4.11: Bünyan_1 ölçümü boykesit çalışmaları.



Şekil 4.12: Bünyan_1 ölçümü boykesiti.

4.3.2 Barsama istasyonunda ölçüm

Kayseri ilinin 20 km doğusunda bulunan Barsama Köyü bölgedeki ilk yerleşim yerlerindendir. Barsama ismi eski Karahöyük hükümdarının oğlunun isminden gelmektedir. İlk ismi Warşama olarak tarihte geçmektedir (Url–9). Barsama botanik biliminde güzel kokulu yaprakları yemeklere konulan, nane ve yaban kekiğinin ortak adı olarak geçmektedir (Url–10). Barsama vadisi olarak bilinen yerden üç dere geçmektedir. Köyde bir de küçük baraj taksimat göleti bulunmaktadır. Bu sudan köyün aşağısındaki ovada sulu tarım yapılabilmektedir.

Şekil 4.13'te görülen bu kesitte farklı tarihlerde toplam altı ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bünyan istasyonuna benzer şekilde elde edilen akım özellikleri Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13: Barsama istasyonu ölçüm çalışması.

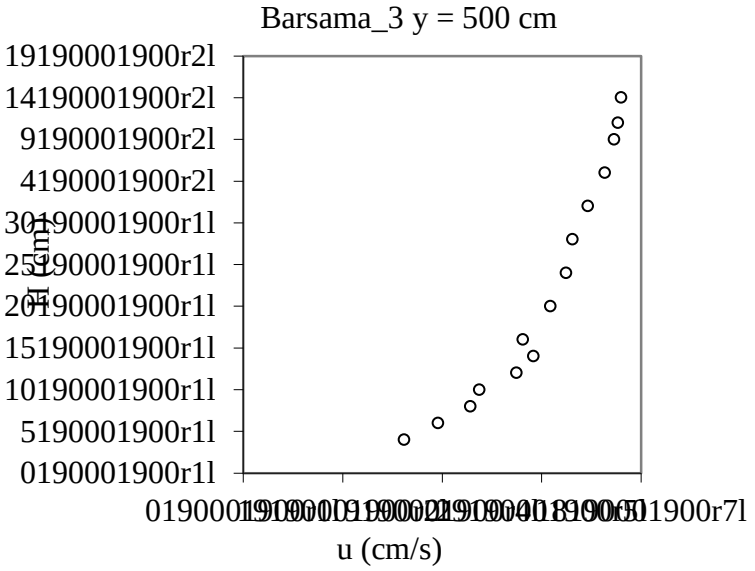
Çizelge 4.12: Barsama istasyonu genel akım karakteristikleri.

Ölçüm	Tarih	Q_{int}	H_{mak}	T	A	U	u_{mak}
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)	(m)	(m^2)	(m/s)	(m/s)
Barsama_1	28.05.2005	1,81	39,00	8,30	2,04	0,89	1,41
Barsama_2	19.05.2006	2,44	40,00	9,00	2,32	1,05	1,67
Barsama_3	19.05.2009	3,93	45,00	9,00	3,24	1,21	1,90
Barsama_4	31.05.2009	0,97	26,00	8,40	1,64	0,59	1,14
Barsama_5	24.03.2010	1,51	38,00	8,60	1,87	0,81	1,50
Barsama_6	18.04.2010	2,15	38,20	8,80	2,48	0,87	1,53

Çizelge 4.13: Barsama istasyonu akım karakteristikleri.

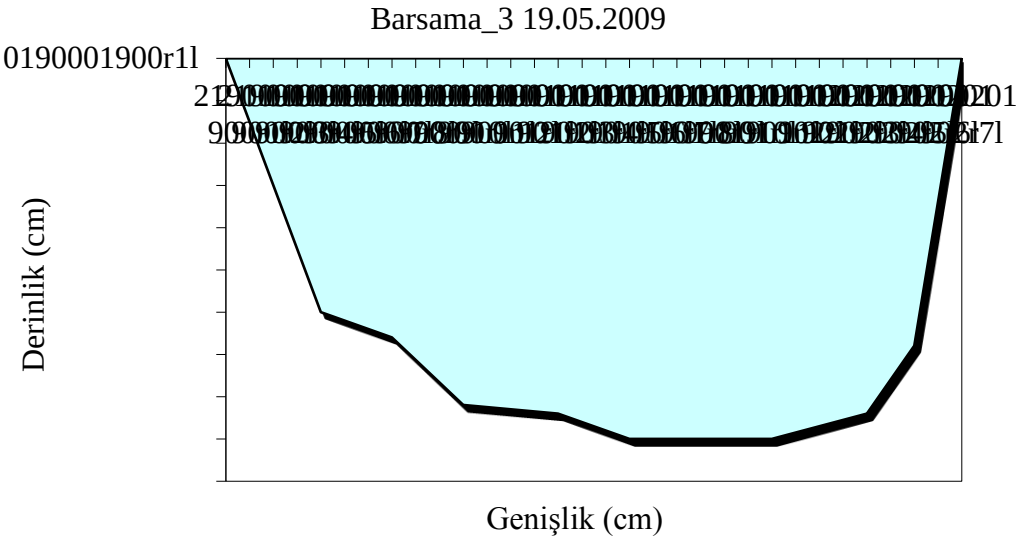
Ölçüm	R	S_{sy}	R_e	Fr	T/R
	(m)	-	-	-	
Barsama_1	0,244	0,0091	761203	0,481	34,0
Barsama_2	0,256	0,0036	944972,34	0,531	35,2
Barsama_3	0,346	0,0094	1474604,3	0,578	29,7
Barsama_4	0,194	0,0092	400906,72	0,333	45,4
Barsama_5	0,216	0,0097	610978,12	0,417	34,4
Barsama_6	0,280	0,012	849715,99	0,421	22,1

19 Mayıs 2009 tarihinde Barsama_3 ölçümünde yapılan çalışmalar neticesinde y = 500 cm'deki düşeyde elde edilen x doğrultusundaki hız dağılımları Şekil 4.14'te verilmiştir. Dağılımın logaritmik dağılıma yakınlığı görülmektedir.

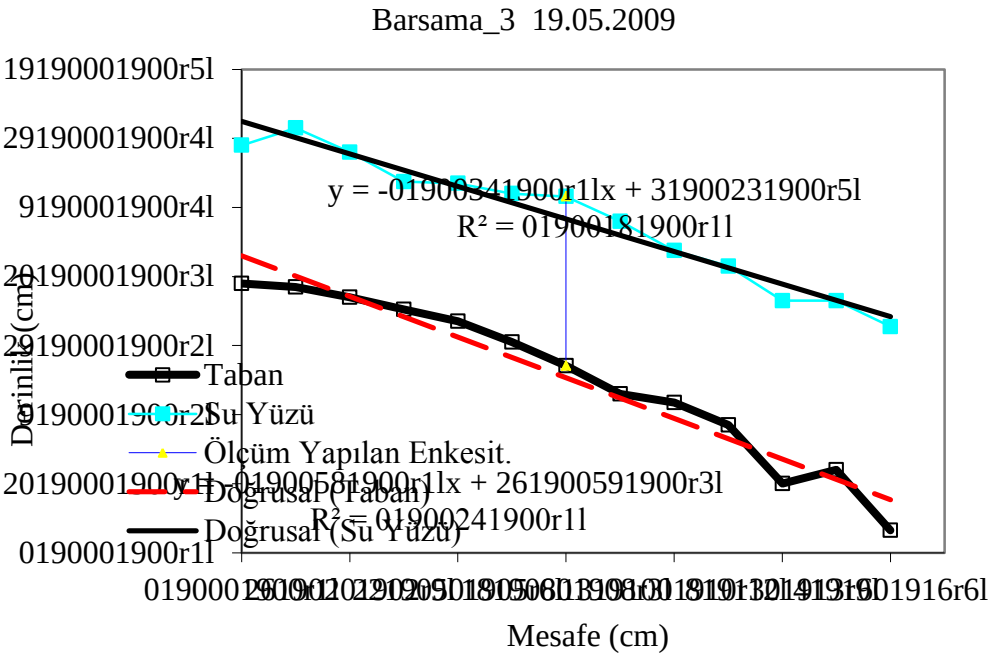


Şekil 4.14: Barsama_3 ölçümü y=500 cm'deki hız değerleri.

Enkesitte taban malzemesi olarak çoğunlukla iri taneli çakıllar ve büyük taş parçacıkları vardır. Genişliği yaklaşık 9 m olan istasyona ait enkesit Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Yine bu istasyonda aynı tarihte nivo ve mira vasıtasıyla yapılan çalışmalar sonucu elde edilen boykesit Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.15: Barsama_3 ölçümü enkesiti.



Şekil 4.16: Barsama_3 ölçümü boykesiti.

4.3.3 Şahsenem istasyonunda ölçüm

Şahsenem istasyonu çalışma alanı Orta Kızılırmak Havzasında, Kayseri ili sınırları içerisinde ve Kızılırmak nehrinin yan kollarından olan Sarımsaklı Deresi üzerinde yer almaktadır. Bünyan ilçesi çıkışında Şahsenem mevkiinde belirlenen Şekil 4.17'de görülen enkesit üzerinde hız ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen akım değerleri Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.17: Şahsenem istasyonu hız ölçüm çalışması

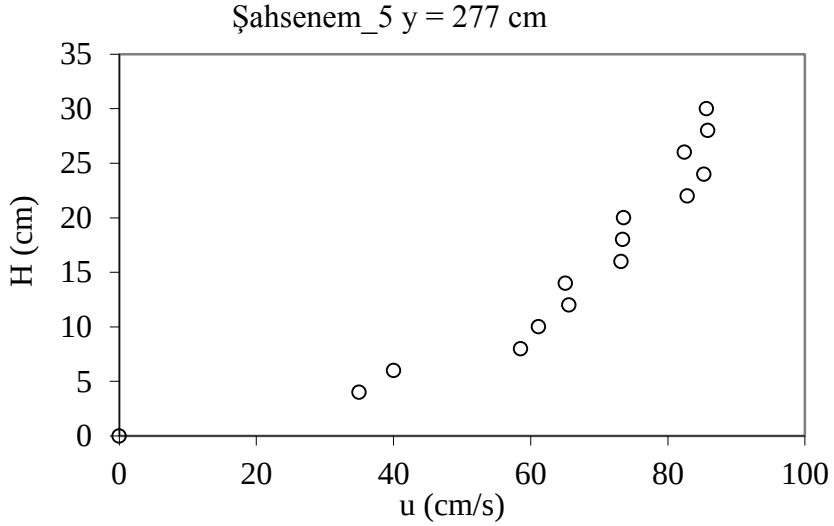
Çizelge 4.14: Şahsenem istasyonu genel akım karakteristikleri.

Ölçüm	Tarih	Q_{int}	H_{mak}	T	A	U	u_{mak}
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)	(m)	(m^2)	(m/s)	(m/s)
Şahsenem_1	29.03.2006	0,816	28	6,00	1,40	0,600	0,95
Şahsenem_2	20.10.2007	0,719	32	5,40	1,36	0,529	0,88
Şahsenem_3	22.03.2008	0,792	33	6,00	1,40	0,565	0,93
Şahsenem_4	03.05.2008	0,613	32	5,40	1,18	0,518	0,87
Şahsenem_5	11.10.2008	0,666	32	5,50	1,24	0,536	0,88
Şahsenem_6	08.11.2008	0,732	34	5,60	1,40	0,516	0,88

Çizelge 4.15: Şahsenem istasyonu akım karakteristikleri.

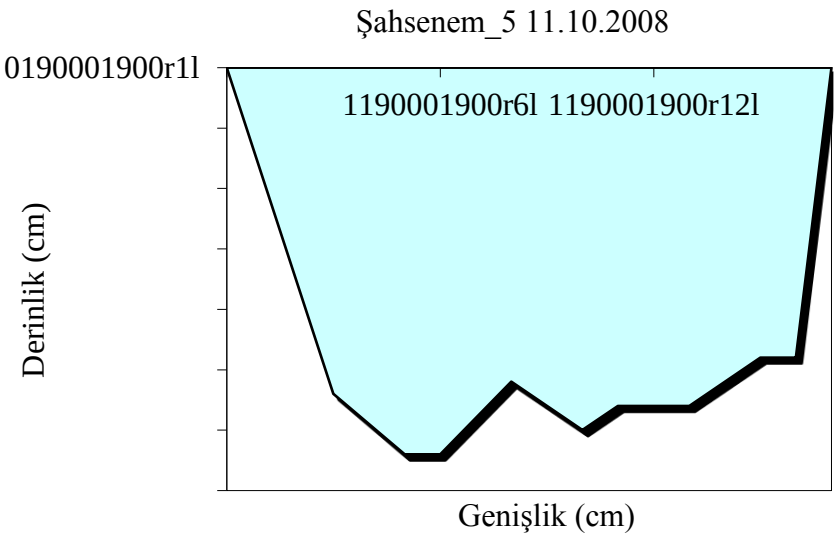
Ölçüm	R	S_{sy}	R_e	Fr	T/R
	(m)	-	-	-	
Şahsenem_1	0,22404	0,0059	471853,95	0,350	26,8
Şahsenem_2	0,24694	0,0061	458313,03	0,298	21,9
Şahsenem_3	0,24864	0,0037	493324,44	0,314	22,1
Şahsenem_4	0,21540	0,0045	391791,03	0,307	25,1
Şahsenem_5	0,23488	0,0046	441520,46	0,303	22,0
Şahsenem_6	0,28100	0,0064	508517,37	0,282	19,6

11 Ekim 2008 tarihinde yapılan Şahsenem_5 ölçüm çalışması neticesinde y = 277 cm'deki düşeyde elde edilen x doğrultusundaki hız dağılımları Şekil 4.18'de verilmiştir. Dağılımın logaritmik dağılıma yakınlığı bu kesitte de görülmektedir.

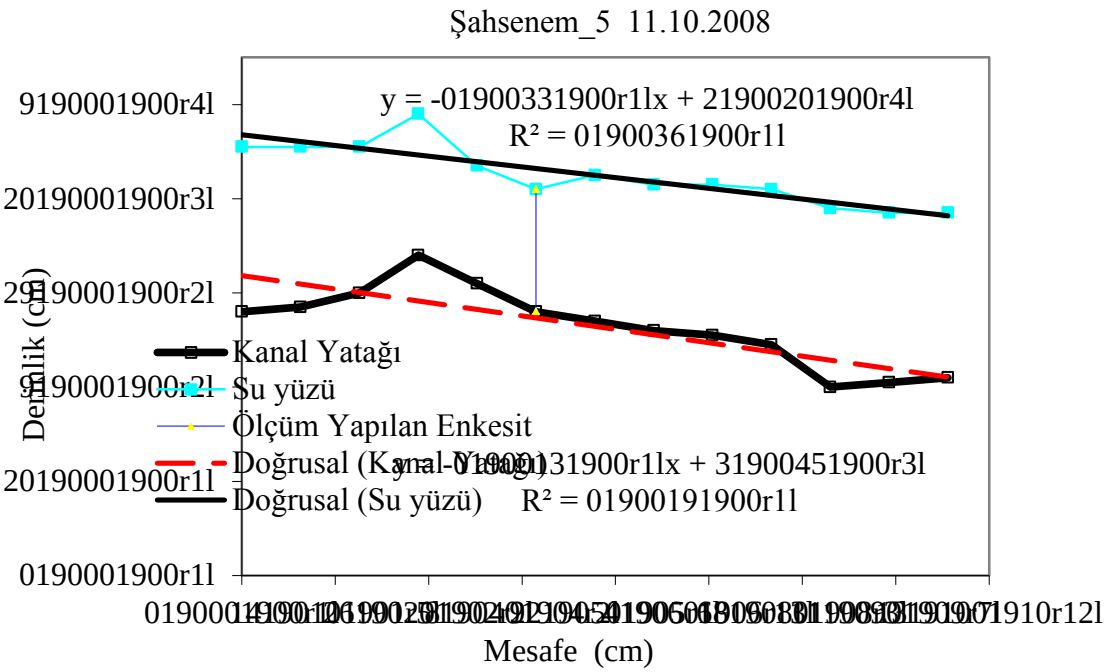


Şekil 4.18: Şahsenem_5 ölçümü y = 277 cm'de x doğrultusundaki hız değerleri.

Enkesitte taban malzemesi olarak çoğunlukla iri taneli çakıllar ve yer yer de büyük taş parçacıkları gözlemlenmiştir. Genişliği yaklaşık 6 m olan istasyonda 11 Ekim 2008 tarihinde yapılan ölçümlere ait enkesit Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Yine bu istasyonda aynı tarihte yapılan çalışmalar sonucu elde edilen boykesit Şekil 4.20'de verilmektedir.



Şekil 4.19: Şahsenem_5 ölçümü enkesiti.



Şekil 4.20: Şahsenem_5 ölçümü boykesiti.

4.3.4 Sosun istasyonunda ölçüm

Şekil 4.21'de görülen Sosun ölçüm istasyonu ise Seyhan Havzası'nda Zamantı Irmağının bir kolu üzerinde yer almaktadır. Elde edilen akım değerleri Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.21: Sosun istasyonu hız ölçüm çalışması.

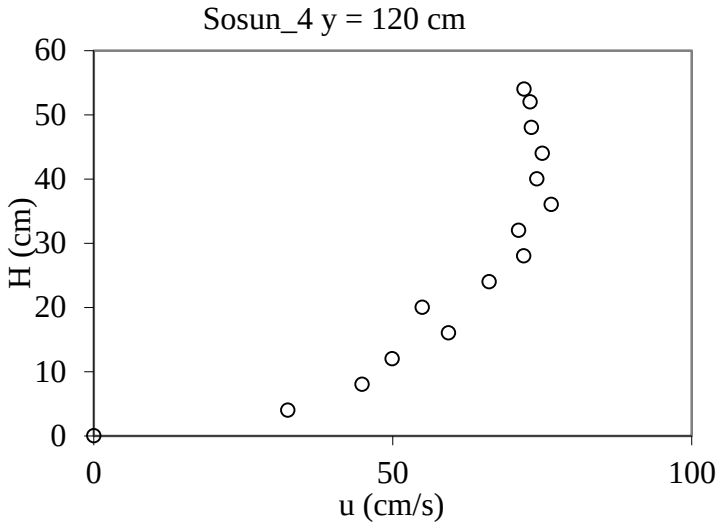
Çizelge 4.16: Sosun istasyonu genel akım karakteristikleri.

Ölçüm	Tarih	Q_{int}	H_{mak}	T	A	U	u_{mak}
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)	(m)	(m^2)	(m/s)	(m/s)
Sosun_1	19.05.2009	0,886	62	3,20	1,58	0,56	0,95
Sosun _2	31.05.2009	0,294	40	3,00	1,03	0,29	0,50
Sosun _3	24.03.2010	0,338	45	2,88	1,03	0,33	0,57
Sosun _4	18.04.2010	0,529	54	2,30	0,98	0,54	0,86

Çizelge 4.17: Sosun istasyonu akım karakteristikleri.

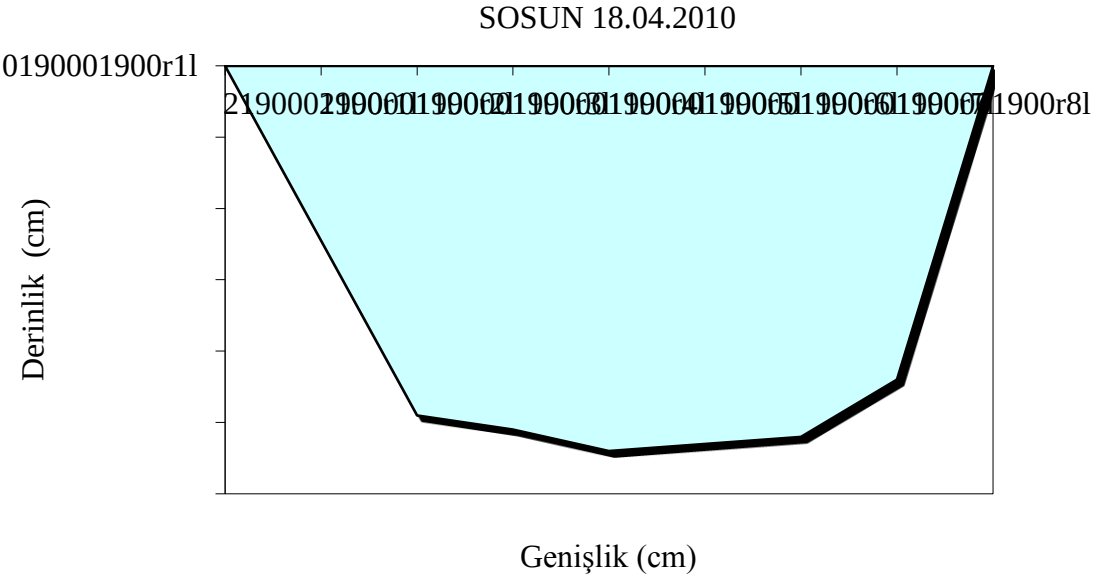
Ölçüm	R	S_{sy}	R_e	Fr	T/R
	(m)	-	-	-	
Sosun_1	0,427	0,00320	840947,35	0,227334	7,49
Sosun _2	0,316	0,00160	316597,97	0,144017	9,49
Sosun _3	0,325	0,00260	373575,31	0,155727	8,85
Sosun _4	0,352	0,00340	668547,20	0,234903	6,53

Sosun_4 Ölçüm istasyonunda 18 Nisan 2010 tarihinde yapılan hız ölçümleri neticesinde y = 120 cm'deki düşeyde elde edilen x doğrultusundaki hız dağılımları Şekil 4.22'de verilmiştir. Dağılımın logaritmik dağılıma yakınlığı görülmektedir.

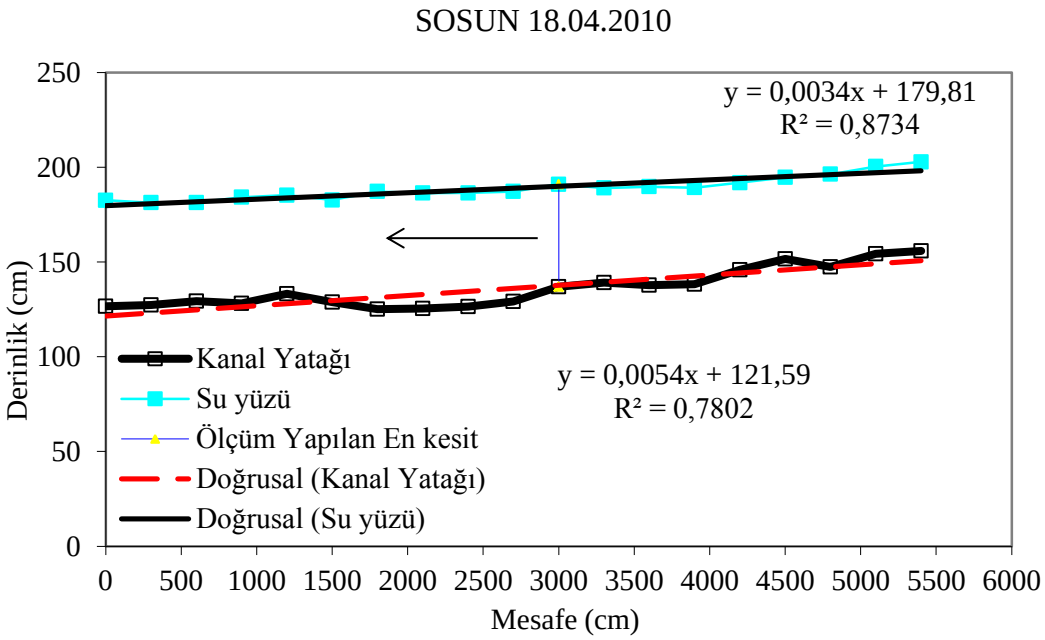


Şekil 4.22: Sosun_4 ölçümü y=120 cm'de x doğrultusundaki hız değerleri.

En kesitte taban malzemesi olarak çoğunlukla iri taneli çakıllar ve yer yer de büyük taş parçacıkları gözlemlenmiştir. Genişliği yaklaşık 3 m olan istasyonda 18 Nisan 2010 tarihinde yapılan ölçümlere ait enkesit Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Yine bu istasyonda aynı tarihte yapılan çalışmalar sonucu elde edilen boykesit Şekil 4.24'te verilmektedir.



Şekil 4.23: Sosun_4 ölçümü enkesiti.



Şekil 4.24: Sosun_4 ölçümü boykesiti.

5. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

5.1 Entropi Yöntemi ile Debi Hesabı

Su kaynakları çalışmalarında debi hesabı en önemli konulardan birisidir. Akarsularda taşkın kontrolü, su kaynakları yönetimi, su kalitesinin gözlenmesi ve hidrolik analizler gibi pek çok nedenden dolayı akım ölçümlerine ve debinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Debi ölçümlerinde en çok kullanılan yöntem, hız-alan (integrasyon) yöntemidir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için ortalama dilim hızlarına ve en kesit alanına ihtiyaç vardır. Bu değerlerin ölçülmesi çok fazla çaba ve zaman gerektirir. Ayrıca taşkın olayları sırasında debi ölçmek çoğunlukla mümkün değildir. Bu sebepten Chezy, Darcy-Weisbach ve Manning Denklemi gibi ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Manning denklemi açık kanallarda debi hesabında en sık kullanılan ampirik denklemdir. Fakat kesite ait Manning pürüzlülük katsayısı n'nin belirlenmesi son derece hassastır ve kolay değildir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2011).

Chiu ve Said (1995) açık kanallardaki entropi parametresini M, kullanarak debinin tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Bir kanaldaki en kesitte ortalama hız U ve en büyük hız u_{mak} arasındaki oran sabit kalma eğilimindedir. Bu sabit orana bağlı olarak denklem (3.15) ile hesaplanan entropi parametresi M kesite ait debi, hız dağılımı, kinetik enerji ve momentum düzeltme katsayıları gibi akım özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Entropi yöntemi ile debi hesabının yapılabilmesi için kesite ait geometrik özelliklerin ve ortalama hızın belirlenmesi gerekmektedir. Ortalama hızın belirlenmesi kesit üzerinde birçok hız ölçümünü zorunlu kılar. Oysaki en büyük hız genellikle kesitin ortalarında ve su yüzüne yakın bir bölgede meydana gelir. Bu bölgede yapılacak birkaç ölçüm ile en büyük hız daha kolay bir şekilde belirlenebilir. Bilinen bu en büyük hız ve kesite ait entropi parametresi ile ortalama hız dolayısıyla debi kolaylıkla hesaplanabilir.

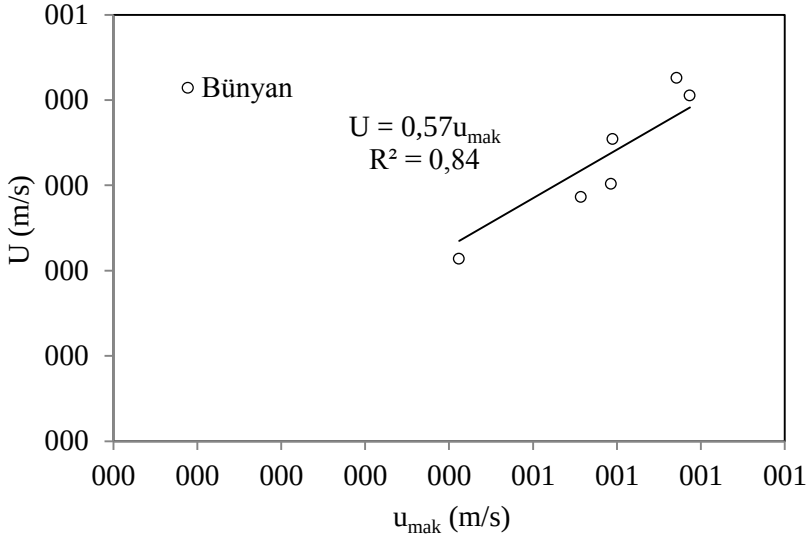
Tez çalışması kapsamında ele alınan her bir istasyon için ölçümlerde elde edilen akım özellikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ele alınan Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için ortalama hız U ve en büyük hızların u_{mak} ilişkileri ve entropi parametrelerinin hesabı sırasıyla aşağıda ele alınmıştır.

Bünyan istasyonunda yapılan ölçümler neticesinde elde edilen ortalama hız ve en büyük hız değerleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Ölçülen bu hız değerleri yardımı ile U-u_{mak} ilişkisi grafik halinde Şekil 5.1' de çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi = 0,57$ değeri kullanılarak (3.15) ifadesi yardımıyla Bünyan istasyonuna ait entropi parametresi $M_1 = 0,85$ olarak hesaplanmıştır. Bu istasyona ait belirlenen U-u_{mak} ilişkisini gösteren denklemin belirginlik katsayısı $R^2 = 0,84$'dür. Bünyan istasyonuna ait bilinen M_1 değeri ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri kullanılarak (3.15) ifadesi yardımıyla kesitlere ait U ortalama hızları tespit edilmiştir. Belirlenen ortalama hızlar ile kesit alanın çarpılması ile hesaplanan debi değerleri Q_{M1} Çizelge 5.2' de 2. sütunda verilmiştir. Çizelgede ayrıca hız alan yöntemiyle hesaplanan debiler Q birinci sütunda ve ortak entropi parametresi M = 1,31 yardımıyla hesaplanan debiler Q_M ise üçüncü sütunda verilmiştir. Aynı çizelgede 1. ve 2. sütunlardaki debiler arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) ifadesi ile hesaplanmıştır. Çizelgeden görüleceği üzere Bünyan istasyonu için ele alınan ölçümlerde iki yönteme ait bağıl hata yüzdesi %3,4–12,1 arasında değişmektedir. İstasyona ait bağıl hata yüzdelerinin genel ortalaması ise %8,4 olmaktadır.

$$\varepsilon(\%) = \left| \frac{Q - Q_{Mi}}{Q} \right| x100 \qquad \textbf{(5.1)}$$

Çizelge 5.1: Bünyan istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri.

Ölçüm	U (m/s)	u_{mak} (m/s)	U/ u_{mak}
Bünyan_1	0,354	0,595	0,595
Bünyan_2	0,214	0,412	0,519
Bünyan_3	0,301	0,593	0,508
Bünyan_4	0,405	0,687	0,590
Bünyan_5	0,426	0,671	0,634
Bünyan_6	0,286	0,557	0,514
		Ortalama=	**0,570**
		M_1=	**0,85**



Şekil 5.1: Bünyan istasyonu U-u_{mak} ilişkisi.

Çizelge 5.2: Bünyan istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdesi.

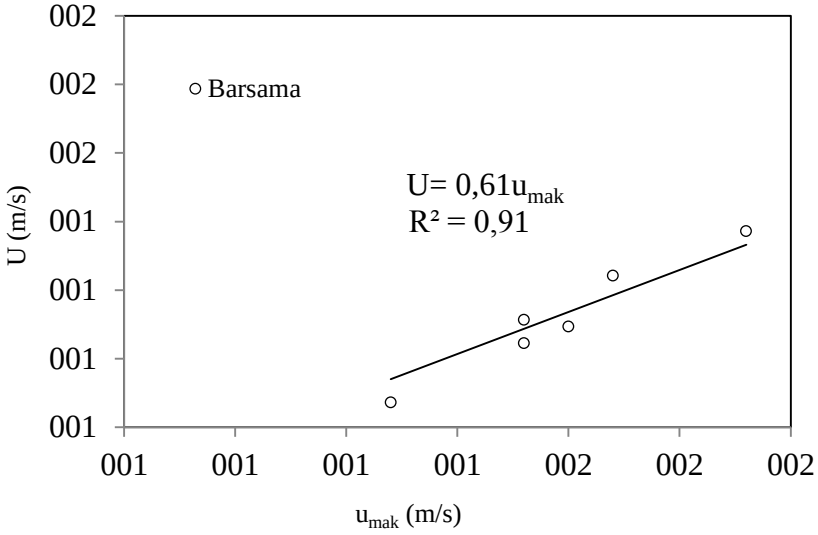
Ölçüm	Q (m^3/s) (1)	Q_{M1} (m^3/s) (2)	Q_M (m^3/s) (3)	Bağıl Hata % $(Q-Q_{M1})/Qx100$ (4)	Bağıl Hata % $(Q-Q_M)/Qx100$ (5)
Bünyan_1	0,788	0,755	0,802	4,2	1,8
Bünyan_2	0,434	0,477	0,507	9,8	13,8
Bünyan_3	0,636	0,713	0,758	12,1	14,2
Bünyan_4	1,082	1,046	1,112	3,4	2,7
Bünyan_5	1,188	1,068	1,136	10,1	4,5
Bünyan_6	0,708	0,786	0,835	11,0	16,0
			Ortalama	**8,4**	**8,8**

Ölçümlerin gerçekleştirildiği ikinci istasyon Barsama istasyonu olup bu istasyonda da altı farklı tarihte ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bünyan istasyonunda yapılan hesaplamalara benzer şekilde Barsama istasyonunda da ölçümler neticesinde elde edilen ortalama hız ve en büyük hız değerleri Çizelge 5.3' te gösterilmiştir. Belirlenen bu hız değerleri yardımı ile U-u_{mak} ilişkisi grafik halinde Şekil 5.2'de çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi = 0,61$ değeri kullanılarak (3.15) ifadesi yardımıyla Barsama istasyonuna ait entropi parametresi $M_2 = 1,40$ olarak hesaplanmıştır. Bu istasyona ait belirlenen U-u_{mak} ilişkisini gösteren denklemin belirginlik katsayısı $R^2 = 0,91$'dir. Çizelge 5.4'te Barsama istasyonuna ait bilinen M_2 değeri ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan debi değerleri Q_{M2} ikinci sütunda verilmiştir. Çizelgede ayrıca hız alan yöntemiyle hesaplanan debiler (Q) de 1. sütunda verilmiş olup 1. ve 2. sütunlardaki debiler arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) nolu denklem ile hesaplanmıştır. Çizelgeden görüleceği üzere Barsama

istasyonu için ele alınan ölçümlerde iki yönteme ait bağıl hata yüzdeleri %3,6–14,4 arasında değişmektedir. İstasyona ait bağıl hata yüzdelerinin genel ortalaması ise %6,9 olmaktadır. Barsama istasyonunda entropi yöntemi ile hesaplanan debiler Bünyan istasyonuna göre dilim debileri ile daha uyumlu, yakın olmaktadır.

Çizelge 5.3: Barsama istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri.

Ölçüm	U	u_{mak}	U / u_{mak}
	(m/s)	(m/s)	
Barsama_1	0,890	1,400	0,636
Barsama_2	1,051	1,600	0,657
Barsama_3	1,214	1,900	0,639
Barsama_4	0,590	1,100	0,536
Barsama_5	0,806	1,400	0,575
Barsama_6	0,865	1,500	0,577
		Ortalama	**0,613**
		M_2	**1,40**



Şekil 5.2: Barsama istasyonu U-u_{mak} ilişkisi.

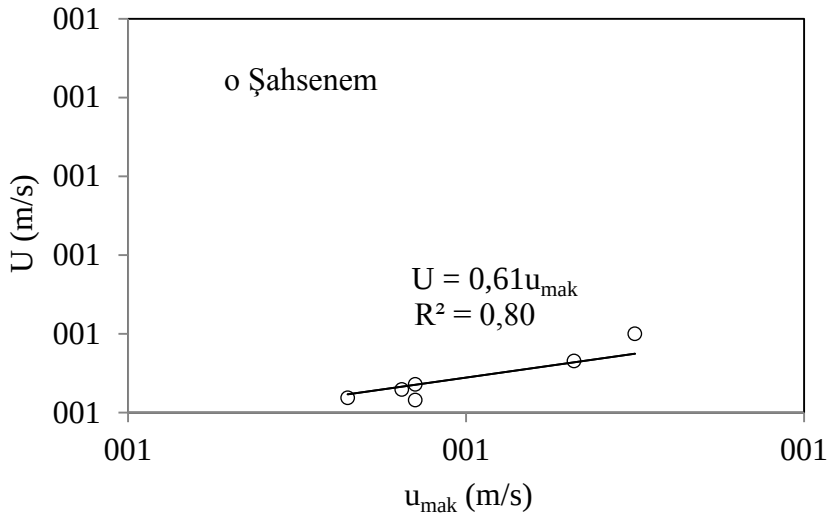
Çizelge 5.4: Barsama istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Ölçüm	Q (m^3/s) (1)	Q_{M2} (m^3/s) (2)	Q_M (m^3/s) (3)	Bağıl Hata % $(Q-Q_{M1})/Qx100$ (4)	Bağıl Hata % $(Q-Q_M)/Qx100$ (5)
Barsama_1	1,813	1,747	1,727	3,6	4,7
Barsama_2	2,443	2,279	2,253	6,7	7,8
Barsama_3	3,933	3,772	3,729	4,1	5,2
Barsama_4	0,965	1,104	1,092	14,4	13,1
Barsama_5	1,505	1,603	1,585	6,5	5,3
Barsama_6	2,148	2,282	2,256	6,2	5,0
			Ortalama	**6,9**	**6,8**

Ölçüm yapılan 3. istasyon Şahsenem istasyonu olup bu istasyonda da altı farklı zamanda hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlere ait elde edilen ortalama hız ve en büyük hız değerleri Çizelge 5.5' te gösterilmiştir. Ölçülen en büyük hız ve hesaplanan ortalama hızlara ait U-u_{mak} ilişkisi grafik halinde Şekil 5.3' te çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi = 0,61$ değeri kullanılarak (3.15) ifadesi yardımıyla Şahsenem istasyonuna ait entropi parametresi $M_3 = 1,30$ olarak hesaplanmıştır. Bu istasyona ait belirlenen denklemin belirginlik katsayısı $R^2 = 0,80$'dir. Çizelge 5.6' da Şahsenem istasyonuna ait bilinen M_3 değeri ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan debi değerleri Q_{M3} ikinci sütunda verilmiştir. Çizelgede ayrıca hız alan yöntemiyle hesaplanan debiler (Q) de 1. sütunda verilmiş olup 1. ve 2. sütunlardaki debiler arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) nolu denklem ile hesaplanmıştır. Çizelgeden görüleceği üzere Şahsenem istasyonu için ele alınan ölçümlerde iki yönteme ait bağıl hata yüzdesi %0,1–4,2 arasında değişmektedir. İstasyona ait bağıl hata yüzdelerinin genel ortalaması ise %1,7 olmaktadır. Şahsenem istasyonunda entropi yöntemi ile hesaplanan debiler Bünyan ve Barsama istasyonlarına göre dilim debileri ile oldukça uyumlu ve çok yakın olmaktadır.

Çizelge 5.5: Şahsenem istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri.

Ölçüm	U	u_{mak}	U / u_{mak}
	(m/s)	(m/s)	
Şahsenem_1	0,600	0,950	0,632
Şahsenem_2	0,529	0,881	0,600
Şahsenem_3	0,565	0,932	0,607
Şahsenem_4	0,518	0,865	0,599
Şahsenem_5	0,536	0,885	0,605
Şahsenem_6	0,516	0,885	0,583
		Ortalama=	**0,605**
		M_3=	**1,30**



Şekil 5.3: Şahsenem istasyonu U-u_{mak} ilişkisi.

Çizelge 5.6: Şahsenem istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

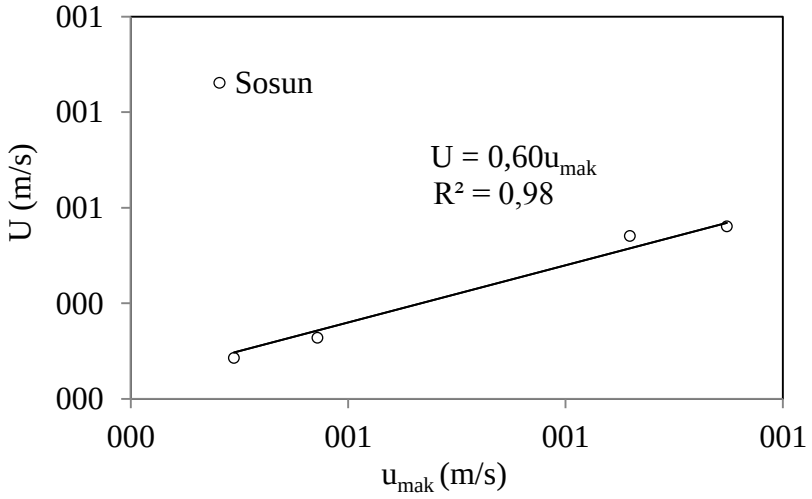
Ölçüm	Q	Q_{M3}	Q_M	Bağıl Hata %	Bağıl Hata %
	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(Q-Q_{M1})/Qx100	(Q-Q_M)/Qx100
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Şahsenem_1	0,816	0,782	0,783	4,2	4,0
Şahsenem_2	0,719	0,724	0,726	0,8	0,9
Şahsenem_3	0,792	0,789	0,791	0,3	0,1
Şahsenem_4	0,613	0,619	0,620	0,9	1,1
Şahsenem_5	0,666	0,666	0,667	0,1	0,1
Şahsenem_6	0,732	0,760	0,762	3,8	4,0
			Ortalama	**1,7**	**1,7**

Dördüncü ve son ölçüm istasyonu olan Sosun istasyonunda dört farklı tarihte hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlere ait elde edilen ortalama hız ve en büyük hız değerleri Çizelge 5.7' de gösterilmiştir. Ölçülen bu hız değerleri yardımı ile U-u_{mak} ilişkisi grafik halinde Şekil 5.4' te çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi

olan ϕ = 0,60 değeri kullanılarak (3.15) ifadesi yardımıyla Sosun istasyonuna ait entropi parametresi M_4 = 1,22 olarak hesaplanmıştır. Bu istasyona ait belirlenen denklemin belirginlik katsayısı R^2 = 0,98'dir. Çizelge 5.8'de Sosun istasyonuna ait bilinen M_4 değeri ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan debi değerleri Q_{M4} ikinci sütunda verilmiştir. Çizelgede ayrıca hız alan yöntemiyle hesaplanan debiler (Q) de 1. sütunda verilmiş olup 1. ve 2. sütunlardaki debiler arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) nolu denklem ile hesaplanmıştır. Çizelgeden görüleceği üzere Sosun istasyonu için ele alınan ölçümlerde iki yönteme ait bağıl hata yüzdeleri %1,3–4,8 arasında değişmektedir. İstasyona ait bağıl hata yüzdelerinin genel ortalaması ise %3,7 olmaktadır. Sosun istasyonunda entropi yöntemi ile hesaplanan debiler Bünyan ve Barsama istasyonlarına göre dilim debileri ile oldukça uyumlu olmakta, istasyona ait bağıl hata yüzdesi Şahsenem'e göre biraz yüksek kalmaktadır.

Çizelge 5.7: Sosun istasyonu ortalama ve en büyük hız değerleri.

Ölçüm	U (m/s)	u_{mak} (m/s)	U / u_{mak}
Sosun_1	0,561	0,949	0,591
Sosun_2	0,285	0,495	0,576
Sosun_3	0,327	0,572	0,572
Sosun_4	0,541	0,859	0,629
		Ortalama=	**0,599**
		M_4=	**1,22**



Şekil 5.4: Sosun istasyonu U-u_{mak} ilişkisi.

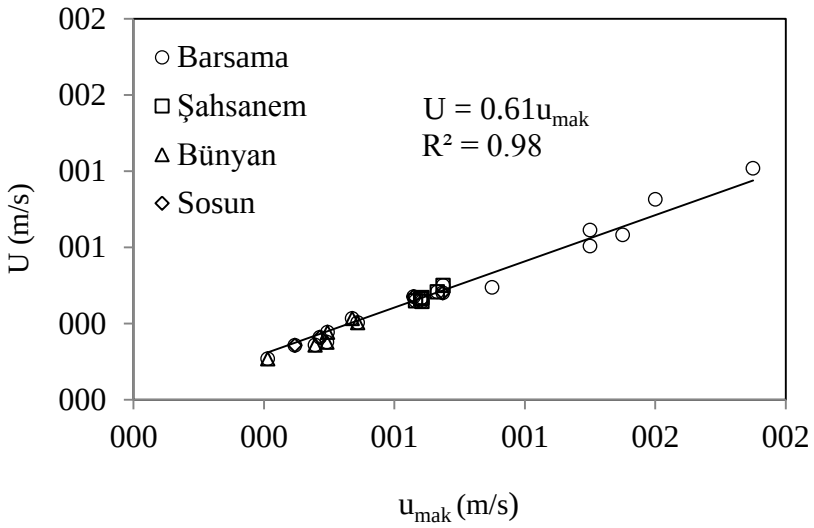
Dört istasyona ait bütün ortalama ve en büyük hız çiftleri Şekil 5.5' teki gibi çizildiği zaman ortalama ve en büyük hızlar arasında çok güçlü bir doğrusal ilişkinin (R^2 = 0.98) var olduğu görülmektedir. Bu U/u_{mak}'a karşılık gelen doğrusal regresyon çizgisinin eğimi 0,61'dir. Bu orana bağlı dört istasyon için entropi parametresi M (3.15) ifadesinden hesaplanırsa M = 1,31 olarak belirlenir. Benzer doğrusal ilişki Xia (1997) ve Moramarco ve diğ. (2004) tarafından aynı havzalarda bulunan farklı istasyonlar için gözlenmiştir.

Çizelge 5.8: Sosun istasyonu debiler arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Ölçüm	Q	Q_{M4}	Q_M	Bağıl Hata %	Bağıl Hata %
	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	$(Q-Q_{M1})/Qx100$	$(Q-Q_M)/Qx100$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sosun_1	0,886	0,898	0,908	1,3	2,5
Sosun_2	0,294	0,305	0,309	3,9	5,1
Sosun_3	0,338	0,353	0,358	4,7	5,9
Sosun_4	0,529	0,503	0,509	4,8	3,7
			Ortalama	**3,7**	**4,3**

Literatürde gerçek debi (Q) ve ele alınan yöntem ile belirlenen debi (Q_{hes}) arasındaki bağıl hata yüzdesine bağlı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelere göre (5.1) ifadesi ile hesaplanan bağıl hata yüzdesinin %2'ye kadar olması durumunda yöntemin çok iyi olduğu belirtilmiştir. %5'e kadar olan farklarda yöntemin iyi olduğu, %8'e kadar olan farklarda ise kabul edilebilir olduğu vurgulanmıştır. %8'den büyük farkların olması durumunda ise yöntemin debi hesabı için yetersiz olacağı belirtilmiştir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2011).

Ele alınan dört istasyon olan Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonlarına ait entropi yöntemi ile hesaplanan debilerin gerçek debiler ile ortalama bağıl hata yüzdeleri sırasıyla %8,4; %6,9; %1,7 ve %3,7 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden görüleceği üzere Şahsenem ve Sosun istasyonlarında entropi yöntemi debi tahmininde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Bünyan ve Barsama istasyonlarında ise ortalama bağıl hata yüzdeleri bu iki istasyona göre biraz yüksek olmakla birlikte kabul edilebilir düzeydedir. Bu farklılıklar entropi parametresinin belirlenmesi için daha fazla sayıda ölçüm yapılmasının gerekliliğini göstermektedir. Dolayısıyla entropi yönteminin akarsularda debi hesabında kolay ve güvenilir bir şekilde kullanılabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.5: Ölçüm yapılan dört istasyona ait U-u_{mak} ilişkisi.

Tez çalışması kapsamında ölçümlerin yapıldığı Kızılırmak ve Seyhan Havzası benzer coğrafi özellikler taşıyan farklı havzalar olup yapılan hız ölçümleri neticesinde yukarıda belirtilen doğrusal ilişkinin varlığı bu farklı havzalarda da tespit edilmiştir. Bu doğrusal ilişki ile belirlenen entropi parametresi M = 1,31 dört istasyon için debi hesabında kullanılmıştır. Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonlarındaki akım durumlarında ortak entropi parametresi M'lerle hesaplanan debiler sırasıyla Çizelge (5.2, 5.4, 5.6, 5.8)'de üçüncü sütunlarda Q_M olarak verilmiştir. Aynı çizelgelerde $(Q-Q_M)/Q$ debileri arasındaki bağıl hata yüzdeleri hesaplanarak beşinci sütunda gösterilmiştir.

Çizelge 5.2'de Bünyan istasyonunda birinci sütunda hız alan yöntemiyle hesaplanan gerçek debiler (Q) ile bu istasyona ait belirlenen entropi parametresi (M_i) ile hesaplanan debiler (Q_{M1}) ve genel entropi parametresi M = 1,31 değeri ile hesaplanan debiler (Q_M) arasındaki bağıl hata yüzdeleri sırasıyla (4) ve (5) sütunlarda gösterilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere Bünyan istasyonu için ele alınan ölçümlerde $(Q-Q_M)/Q$ debi değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri %1,8–16,0 arasında değişmektedir. Bünyan istasyonuna ait söz konusu bu debilerin bağıl hata yüzdelerinin genel ortalaması ise %8,8 olmaktadır. Bu değer biraz yüksek olmakla birlikte istasyona ait M_1 kullanılarak hesaplanan $(Q-Q_{M1})/Q$ değeri ile oldukça yakındır.

Ölçüm yapılan ikinci istasyon olan Barsama istasyonunda ele alınan ölçümlerde $Q-Q_M$ değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri %4,7–13,1 arasında değişmektedir. Barsama istasyonuna ait söz konusu bu debilerin bağıl hata yüzdelerinin genel

ortalaması ise 6,8 olmaktadır. Bu değer de istasyona ait M_2 kullanılarak hesaplanan $Q\text{-}Q_{M2}$ değeri ile oldukça yakındır. Dolayısıyla Bünyan ve Barsama istasyonunda M_2 değeri yerine M değeri kullanılabilir.

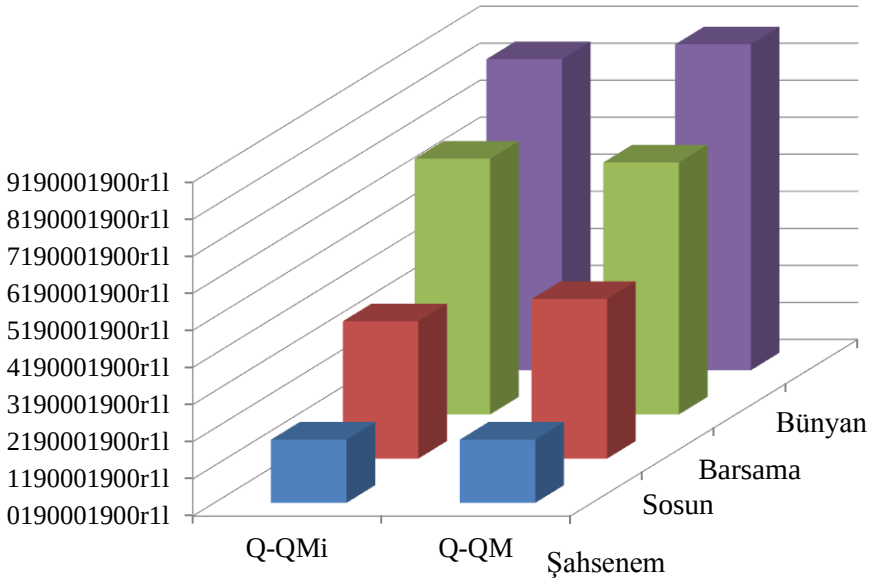
Benzer çalışmaların yapıldığı Şahsenem istasyonunda da yapılan ölçümlerde $(Q\text{-}Q_M)/Q$ değeri arasındaki bağıl hata yüzdeleri %0,1–4 arasındadır. Şahsenem istasyonuna ait Q ve Q_M debilerinin bağıl hata yüzdelerinin genel ortalaması ise %1,7 olmaktadır. Bu değer de istasyona ait M_3 kullanılarak hesaplanan $(Q\text{-}Q_{M3})$ değeri ile aynıdır. Bu da göstermektedir ki, Şahsenem istasyonunda da M_3 değeri yerine M değeri kullanılabilir. Literatürdeki değerlendirmelere göre % 2'ye kadar olan bağıl hata yüzdelerinin çok iyi olarak kabul edildiği göz önüne alındığında bu kesitteki sonuçların uyumu daha iyi anlaşılmaktadır.

Dördüncü istasyon olan Sosun istasyonunda yapılan ölçümler sonucunda Q ve Q_M debilerinin arasındaki bağıl hata yüzdeleri %2,5 – 5,9 arasındadır. Sosun istasyonuna ait Q ve Q_M debilerinin bağıl hata yüzdelerinin genel ortalaması ise %4,3'tür. Bu değer de istasyona ait M_4 kullanılarak hesaplanan $(Q\text{-}Q_{M4})/Q$ değerine oldukça yakındır. Literatürdeki değerlendirmelere göre %5'e kadar olan bağıl hata yüzdelerinin iyi olarak kabul edildiği göz önüne alındığında bu kesitteki sonuçların da uyumu ortaya çıkmaktadır.

Dört istasyon için ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M ve Q_{Mi} debi değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri Çizelge 5.9' da verilmiştir. Çizelgenin son satırında ayrıca bu bağıl hata yüzdelerinin ortalamaları da gösterilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere ortalama bağıl hata yüzdeleri Q_{Mi} için %1,7 ile %8,4 arasında, Q_M için ise %1,7 ile %8,8 arasında değişmektedir. Dört istasyona ait bağıl hata yüzdelerinin ortalaması ise $(Q\text{-}Q_M)/Q$ için %5,4 ve $(Q\text{-}Q_{Mi})/Q$ için %5,2 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere her bir istasyon için belirlenen entropi parametreleri M_i değerleri yerine, tüm istasyonları temsil eden M = 1,31 değeri akım özelliklerini belirlemek için kullanılabilir. Şekil 5.6'da bu bağıl hata yüzdelere ait çubuk grafikler çizilmiştir.

Çizelge 5.9: Dört istasyona ait Q, Q_M ve Q_{Mi} debi değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

	$(Q-Q_{Mi})/Qx100$	$(Q-Q_M)/Qx100$
	%	%
Barsama	6,9	6,8
Şahsenem	1,7	1,7
Bünyan	8,4	8,8
Sosun	3,7	4,3
Ortalama=	**5,2**	**5,4**



Şekil 5.6: Dört istasyon için ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M ve Q_{Mi} arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Bu değerlerden anlaşılacağı üzere bir nehir havzası ya da coğrafi bir bölge için entropi parametresi M'nin değeri biliniyorsa ve kanal enkesitinde en büyük hızın ölçülmesi durumunda ortalama hız ve debiyi elde etmek çok kolay olmaktadır. Ölçüm yapılan istasyonların benzer özellikler taşıyan farklı havzalarda yer alması genel entropi parametresinin kullanımına engel olmamaktadır.

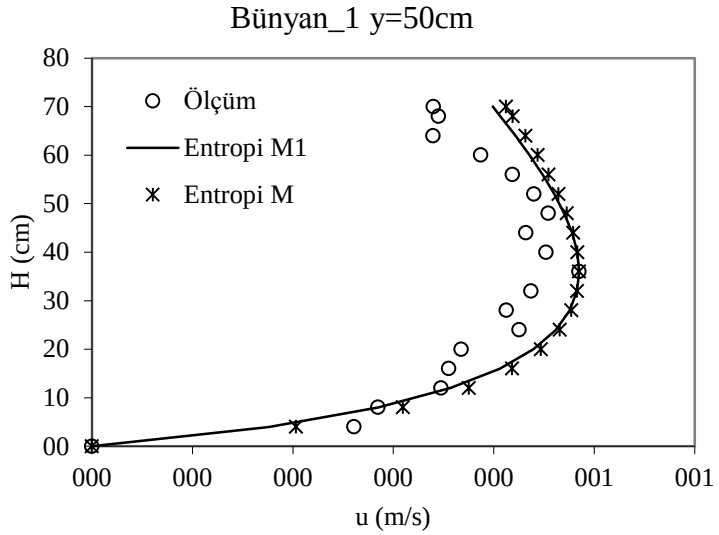
5.2 Entropi Yöntemi ile Hız Dağılımının Belirlenmesi

Akarsularda hız dağılımının belirlenmesi amacıyla Chiu (1987) tarafından geliştirilen entropi tabanlı hız dağılım modeli son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla geliştirilen iki boyutlu hız dağılım modeli Bölüm 3.5'te açıklanmıştır. Entropi yöntemi ile hız dağılımını belirleyen (3.17) ifadesine göre akım özellikleri belirlenecek kesite ait entropi parametresi M'nin bilinmesi gerekmektedir. Ele alınan

kesite ait sabit U/u_{mak} ilişkisine bağlı olarak belirlenen entropi parametreleri (M_i) Bölüm 4'de belirtildiği üzere dört farklı istasyon için hesaplanmıştır. Ele alınan istasyonda, ölçüm yapılan düşeyde belirlenecek olan en büyük hız (u_{mak}) ve yeri (h) yardımı ile derinlik boyunca hız dağılımları (3.17) ifadesi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

5.2.1 İstasyona ait entropi parametresi (M_i) ile hız dağılımlarının modellenmesi

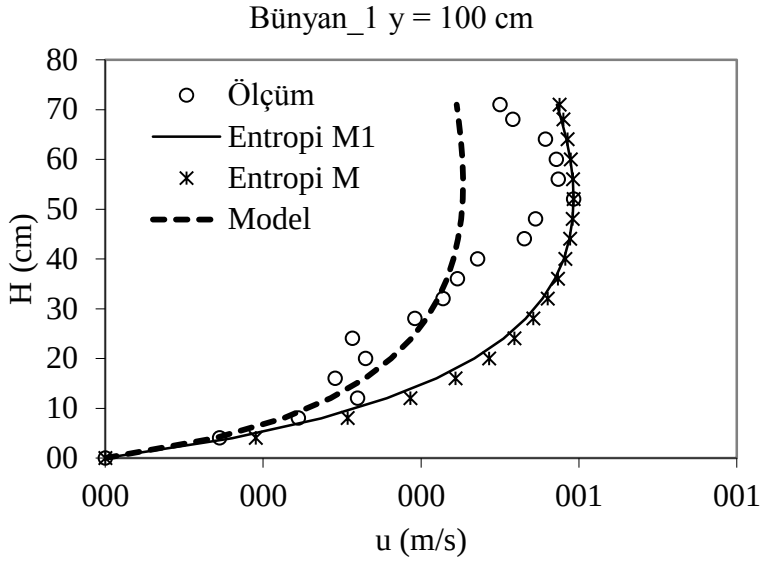
Saha çalışması yapılan ilk istasyon olan Bünyan İstasyonuna ait entropi parametresi Bölüm 4'te verildiği üzere $M_1 = 0,85$ olarak belirlenmiştir. Bu entropi parametresi farklı tarihlerde yapılan 6 ayrı akım durumunda ve belirlenen her bir düşeydeki hız dağılımında kullanılmıştır. Şekil 5.7 (a)-(g)' de Bünyan_1 akım durumunda ölçülen ve $M_1 = 0,85$ entropi parametresi ile hesaplanan hız dağılımları verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere bu akım durumunda yedi farklı düşeyde yapılan ölçümler sonucu elde edilen hız değerleri yuvarlak simge ve entropi yöntemi $M_1 = 0,85$ ile hesaplanan hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Her bir düşeyde ölçüm değerleri ile entropi hız dağılımı derinlik boyunca benzer bir dağılım göstermekle birlikte ölçüm değerlerinin biraz büyük olduğu görülmektedir. Çizelge 5.10(a)-(g)' de Bünyan_1 istasyonunda gerçekleştirilen ölçüm sonucu elde edilen hızlar 1. sütunda ve $M_1 = 0,85$ ile hesaplanan entropi dağılımı sütun 2'de verilmiştir. Bu hızlara ait (5.1) ifadesi ile benzer şekilde hesaplanan bağıl hata yüzdeleri da aynı çizelgede 4. sütunda gösterilmiştir. Çizelgede her bir düşeye ait bağıl hata yüzdelerinin ortalaması en altta gösterilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere Bünyan_1 ölçümünde y = 50 cm düşeyde ölçülen ve hesaplanan hızlara ait ortalama bağıl hata yüzdesi %10,3 olarak belirlenmiştir. Bu ölçümde diğer düşeylere ait hesaplanan bağıl hata yüzdeleri de Çizelge 5.10 (b)-(g)' de gösterilmiştir. İstasyonlara ait en büyük hızın derinlikle değişimi u_{mak}/H ve en büyük hızın oluştuğu nokanın derinlikle değişimi z_{mak}/H oranları kullanılarak derinliğe bağlı hesaplanan hız dağılımları Çizelge 5.10(b)-(f)' de dördüncü sütunda gösterilmiştir.



Şekil 5.7a: y = 50 cm'deki hız dağılımları.

Çizelge 5.10a: y = 50 cm'deki hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

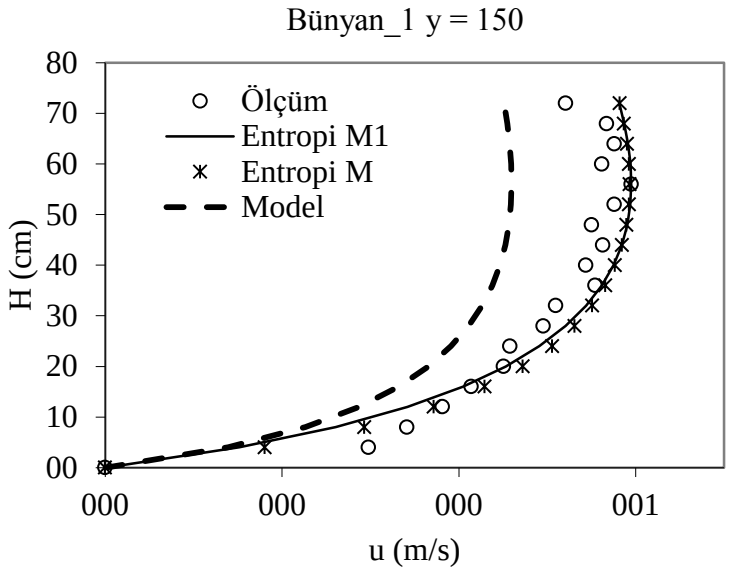
Ölçüm (u) m/sn	M_1 = 0.85 (u) m/sn	M = 1.31 (u) m/sn	Bağıl Hata ((1)-(2))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(3))/(1)x100
1	2	3	4	5
0,285	0,285	0,310	0,1	8,8
0,347	0,357	0,375	2,8	8,1
0,355	0,406	0,418	14,4	17,8
0,368	0,440	0,447	19,6	21,6
0,425	0,462	0,466	8,6	9,5
0,412	0,475	0,477	15,3	15,7
0,437	0,483	0,483	10,5	10,5
0,485	0,485	0,485	0,0	0,0
0,452	0,483	0,483	6,8	6,9
0,432	0,478	0,479	10,6	10,9
0,454	0,470	0,473	3,5	4,0
0,440	0,460	0,464	4,7	5,6
0,419	0,449	0,455	7,2	8,6
0,387	0,436	0,444	12,6	14,6
0,340	0,422	0,432	24,2	27,1
0,345	0,407	0,419	17,9	21,4
0,340	0,399	0,412	17,4	21,3
		Ortalama	**10,3**	**12,5**



Şekil 5.7b: y = 100 cm'deki hız dağılımları.

Çizelge 5.10b: y = 100 cm'deki hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

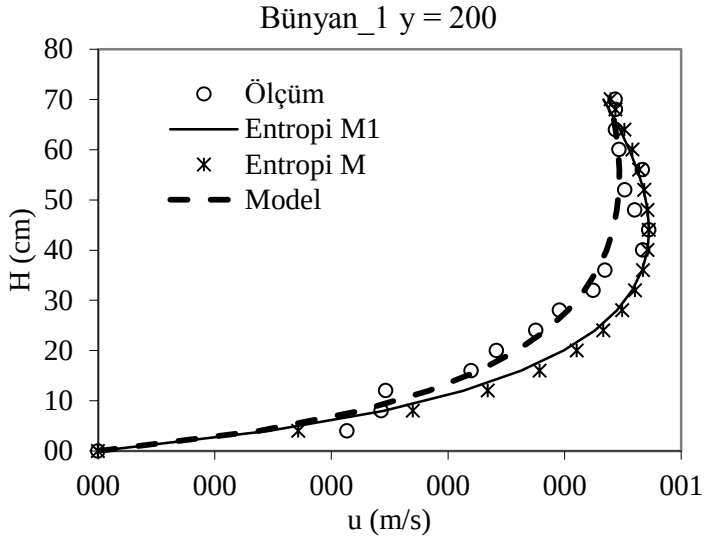
Ölçüm (u) m/sn	M_1=0.85 (u) m/sn	M=1.31 (u) m/sn	Model (u) m/sn	Bağıl Hata ((1)-(2))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(3))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(4))/(1)x100
1	2	3	4	5	6	7
0,145	0,161	0,191	0,139	11,0	31,6	4,4
0,245	0,274	0,307	0,225	11,9	25,5	7,9
0,320	0,357	0,387	0,285	11,6	20,9	10,7
0,291	0,419	0,444	0,329	44,1	52,4	13,1
0,330	0,467	0,486	0,362	41,8	47,5	9,9
0,313	0,504	0,518	0,387	61,1	65,6	23,8
0,392	0,532	0,542	0,407	35,8	38,3	3,7
0,428	0,554	0,560	0,422	29,4	31,0	1,5
0,446	0,57	0,574	0,433	27,7	28,6	3,0
0,472	0,581	0,583	0,441	23,1	23,6	6,5
0,531	0,588	0,589	0,447	10,8	10,9	15,8
0,545	0,592	0,592	0,451	8,6	8,7	17,3
0,593	0,593	0,593	0,453	0,0	0,0	23,7
0,574	0,592	0,592	0,453	3,2	3,3	21,0
0,571	0,589	0,590	0,452	3,1	3,2	20,8
0,558	0,584	0,586	0,451	4,8	5,0	19,2
0,516	0,578	0,580	0,448	11,9	12,4	13,3
0,500	0,572	0,576	0,445	14,4	15,1	11,0
			Ortalama	**19,7**	**23,5**	**12,6**



Şekil 5.7c: y = 150 cm'deki hız dağılımları.

Çizelge 5.10c: y = 150 cm'deki hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

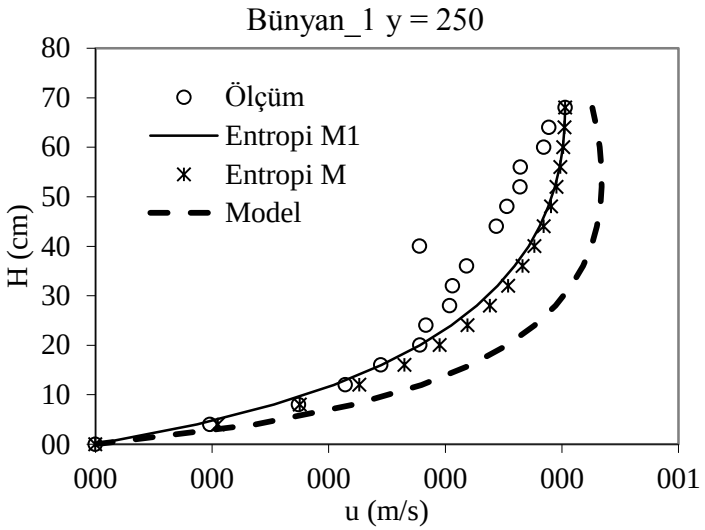
Ölçüm (u) m/sn	M_1=0.85 (u) m/sn	M=1.31 (u) m/sn	Model (u) m/sn	Bağıl Hata ((1)-(2))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(3))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(4))/(1)x100
1	2	3	4	5	6	7
0,382	0,342	0,372	0,287	10,4	2,6	24,7
0,414	0,404	0,429	0,332	2,3	3,7	19,9
0,451	0,453	0,472	0,365	0,5	4,8	19,0
0,458	0,491	0,506	0,391	7,2	10,4	14,6
0,496	0,521	0,531	0,411	5,1	7,2	17,1
0,510	0,544	0,551	0,426	6,7	8,0	16,4
0,554	0,562	0,566	0,438	1,3	2,0	21,0
0,544	0,575	0,577	0,446	5,8	6,1	17,9
0,563	0,584	0,584	0,452	3,8	3,8	19,6
0,550	0,59	0,590	0,457	7,3	7,2	17,0
0,576	0,594	0,592	0,459	3,1	2,9	20,3
0,595	0,595	0,593	0,460	0,0	0,3	22,7
0,562	0,594	0,592	0,459	5,7	5,5	18,3
0,576	0,591	0,590	0,457	2,7	2,5	20,5
0,567	0,587	0,587	0,455	3,5	3,4	19,8
0,521	0,581	0,582	0,451	11,6	11,8	13,3
			Ortalama	**4,8**	**5,1**	**18,9**



Şekil 5.7d: y = 200 cm'deki hız dağılımları.

Çizelge 5.10d: y = 200 cm'deki hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

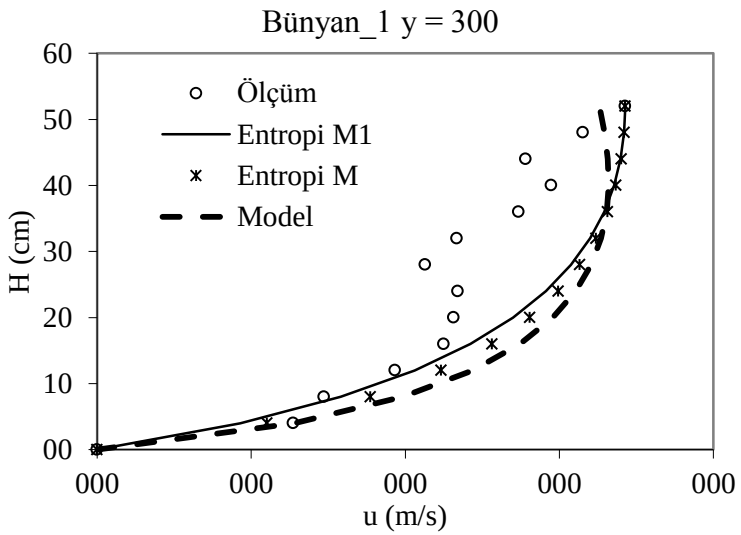
Ölçüm (u) m/sn	M_1=0.85 (u) m/sn	M=1.31 (u) m/sn	Model (u) m/sn	Bağıl Hata ((1)-(2))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(3))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(4))/(1)x100
1	2	3	4	5	6	7
0,320	0,363	0,379	0,327	13,3	18,4	2,0
0,342	0,399	0,411	0,359	16,8	20,2	5,1
0,375	0,426	0,433	0,384	13,4	15,4	2,2
0,396	0,445	0,449	0,403	12,4	13,6	1,8
0,425	0,458	0,460	0,417	7,9	8,4	1,8
0,435	0,466	0,467	0,428	7,3	7,5	1,6
0,467	0,471	0,471	0,436	0,9	0,9	6,7
0,472	0,472	0,472	0,441	0,0	0,0	6,6
0,460	0,471	0,471	0,445	2,4	2,4	3,3
0,452	0,468	0,469	0,447	3,5	3,7	1,2
0,467	0,462	0,464	0,447	1,0	0,6	4,3
0,447	0,456	0,458	0,446	2,0	2,6	0,2
0,444	0,447	0,452	0,444	0,8	1,8	0,0
0,444	0,438	0,444	0,441	1,2	0,0	0,7
0,444	0,433	0,440	0,439	2,3	0,9	1,1
			Ortalama	**5,7**	**6,4**	**2,6**



Şekil 5.7e: y = 250 cm'deki hız dağılımları.

Çizelge 5.10e: y = 250 cm'deki hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

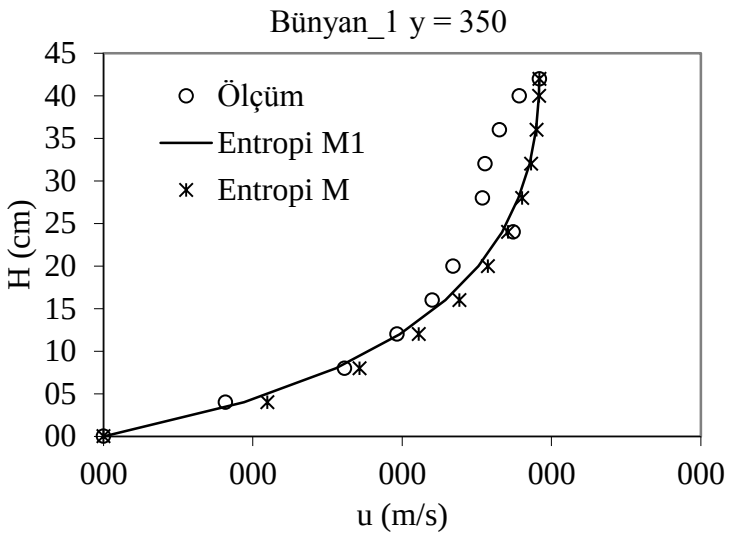
Ölçüm (u) m/sn	M_1=0.85 (u) m/sn	M=1.31 (u) m/sn	Model (u) m/sn	Bağıl Hata ((1)-(2))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(3))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(4))/(1)x100
1	2	3	4	5	6	7
0,214	0,204	0,226	0,280	4,8	5,6	30,4
0,245	0,245	0,265	0,321	0,1	8,2	31,3
0,278	0,278	0,295	0,353	0,1	6,1	26,7
0,284	0,305	0,319	0,376	7,5	12,6	32,7
0,304	0,327	0,338	0,394	7,6	11,5	29,9
0,306	0,345	0,354	0,408	12,6	15,6	33,2
0,318	0,36	0,367	0,418	12,9	15,1	31,3
0,278	0,371	0,377	0,425	33,5	35,4	52,9
0,344	0,381	0,385	0,430	10,7	11,8	25,0
0,353	0,388	0,391	0,433	10,1	10,7	22,7
0,364	0,394	0,395	0,434	8,2	8,6	19,2
0,364	0,398	0,399	0,434	9,2	9,5	19,0
0,385	0,401	0,401	0,432	4,2	4,3	12,4
0,389	0,402	0,402	0,430	3,4	3,5	10,5
0,403	0,403	0,403	0,426	0,0	0,0	5,8
			Ortalama	**8,3**	**10,6**	**25,5**



Şekil 5.7f: y = 300 cm'deki hız dağılımları.

Çizelge 5.10f: y = 300 cm'deki hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Ölçüm (u) m/sn	M_1=0.85 (u) m/sn	M=1.31 (u) m/sn	Model (u) m/sn	Bağıl Hata ((1)-(2))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(3))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(4))/(1)x100
1	2	3	4	5	6	7
0,127	0,093	0,110	0,128	26,9	13,4	0,4
0,147	0,158	0,177	0,198	7,4	20,5	34,8
0,193	0,206	0,223	0,244	6,6	15,5	26,1
0,225	0,242	0,256	0,274	7,7	13,9	21,9
0,231	0,27	0,281	0,296	16,7	21,4	27,8
0,234	0,291	0,299	0,311	24,4	27,9	32,7
0,213	0,308	0,313	0,321	44,5	47,1	50,6
0,233	0,32	0,324	0,327	37,1	38,7	40,1
0,274	0,329	0,331	0,331	20,3	21,1	20,9
0,295	0,335	0,337	0,332	13,8	14,2	12,6
0,278	0,34	0,340	0,331	22,1	22,3	19,2
0,315	0,342	0,342	0,329	8,5	8,5	4,5
0,343	0,343	0,343	0,326	0,0	0,0	4,9
			Ortalama	**18,2**	**20,4**	**22,8**



Şekil 5.7 g: y = 350 cm'deki hız dağılımları.

Çizelge 5.10g: y = 350 cm'deki hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

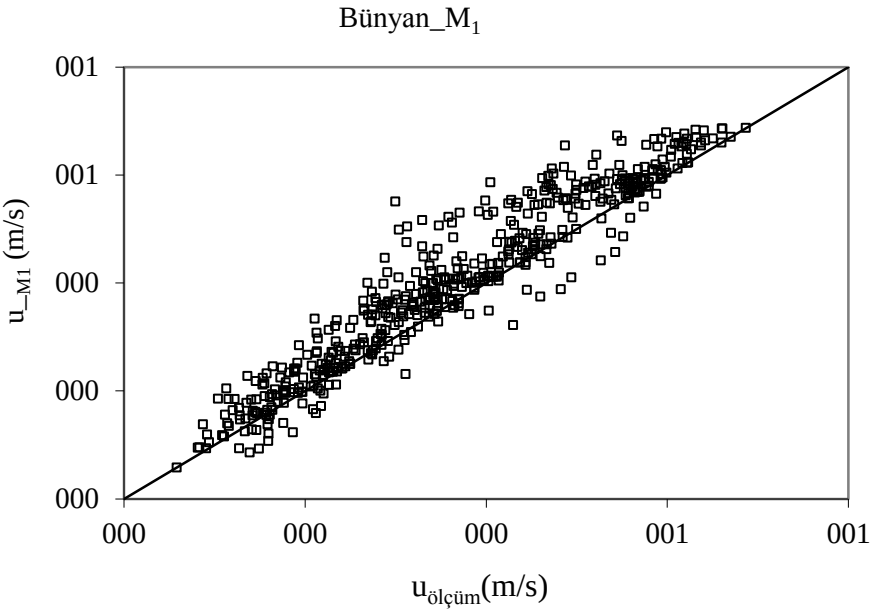
Ölçüm (u) m/sn	M_1=0.85 (u) m/sn	M=1.31 (u) m/sn	Bağıl Hata ((1)-(2))/(1)x100	Bağıl Hata ((1)-(3))/(1)x100
1	2	3	4	5
0,082	0,094	0,110	15,3	34,6
0,161	0,156	0,171	3,5	6,3
0,197	0,198	0,211	0,9	7,4
0,220	0,229	0,238	4,0	8,3
0,234	0,251	0,257	7,3	10,0
0,274	0,267	0,271	2,7	1,3
0,254	0,278	0,280	9,5	10,4
0,255	0,285	0,286	11,7	12,1
0,265	0,29	0,290	9,3	9,4
0,279	0,292	0,292	4,7	4,7
0,292	0,292	0,292	0,0	0,0
		Ortalama	**6,3**	**9,5**

Bünyan_1 ölçümünde ele alınan 5 düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.11' de görüldüğü gibi %11,3 olarak belirlenmiştir. Aynı çizelgede M_1 = 0,85 parametresi ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri altı farklı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Bu çizelgenin son sütununda ise ölçümlere ait ortalama bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu ortalama bağıl hata yüzdeleri altı akım durumunda %11,3–19,1 arasında değişmektedir. Bu bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Burada y kenar bölgelerden olan yatay mesafeyi ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle yan duvarlara genişliğin (T) %20'sinden daha yakın düşeylerde ölçülmüş hızlar gösterilmemiştir. Pratikte çok kullanılan logaritmik dağılımın kanal tabanına yakın yerlerde ve serbest su yüzü yakınlarında ölçüm değerlerini çok iyi temsil etmediği bilinmektedir. Bununla birlikte entropi dağılım ile hesaplanan hızlar özellikle taban ve serbest su yüzeyine yakın yerlerde ölçülen hızlar ile çok iyi eşleşmektedir. Çizelgeden bağıl hata yüzdelerinin kanal orta kesitinde nispeten küçük olduğu da görülmektedir. Bünyan istasyonunda altı farklı akım durumunda tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi ise %14,6 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.11: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

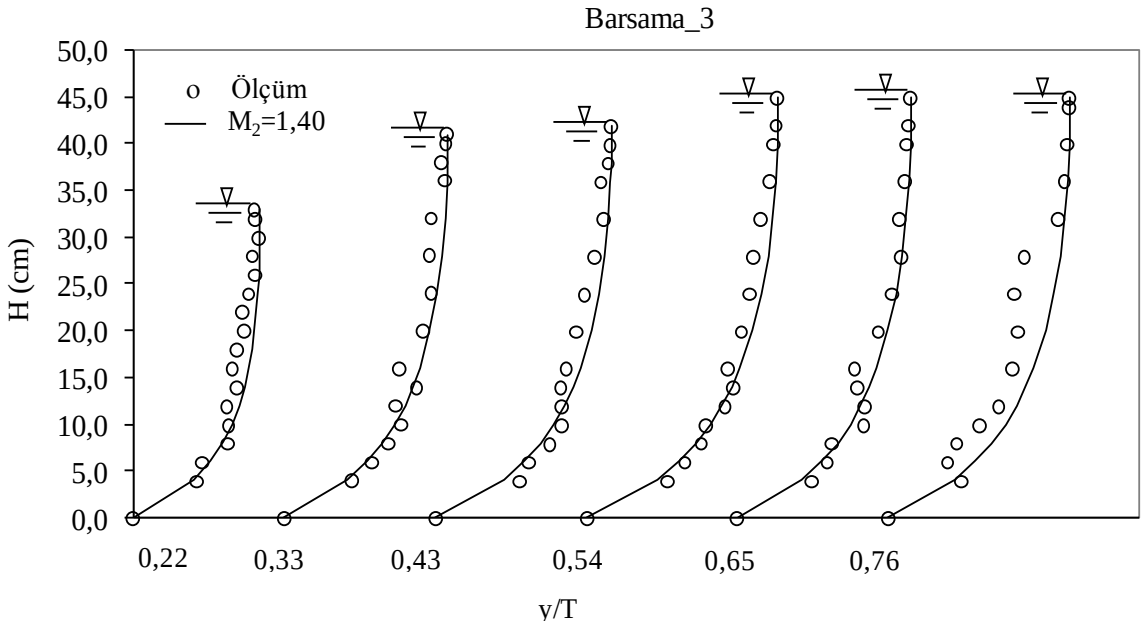
Bünyan_1	y/T		0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	Ortalama
	ε (%)							(%)
	Ölçüm-M_1		19,7	4,8	5,7	8,3	18,2	11,3
	Ölçüm-M		23,5	5,1	6,4	10,6	20,4	13,2
	Ölçüm-Model		12,6	18,9	2,6	25,5	22,8	16,5
Bünyan_2	y/T		0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	
	ε (%)							
	Ölçüm- M_1		20,9	9,6	5,4	24,0	24,3	16,8
	Ölçüm-M		16,7	11,1	5,9	27,8	27,3	17,7
	Ölçüm-Model		29,4	14,4	22,8	120,1	124,9	62,3
Bünyan_3	y/T		0,27	0,42	0,58		0,73	
	ε (%)							
	Ölçüm- M_1		15,3	3,4	17,3		40,4	19,1
	Ölçüm-M		16,6	3,8	17,9		42,5	20,2
	Ölçüm-Model		13,9	21,9	22,3		85,4	35,9
Bünyan_4	y/T	0,20		0,38	0,50		0,69	
	ε (%)							
	Ölçüm-M_1	21,1		10,1	11,9		16,4	12,8
	Ölçüm-M	23,4		11,7	11,3		18,4	13,8
	Ölçüm-Model			7,7	15,4			11,6
Bünyan_5	y/T	0,20		0,38	0,50	0,63		
	ε (%)							
	Ölçüm-M_1	16,2		12,3	11,9	11,7		12,0
	Ölçüm-M	19,1		11,9	11,1	13,7		12,2
	Ölçüm-Model			9,6	14,0	42,5		22,0
Bünyan_6	y/T		0,31		0,46	0,62		
	ε (%)							
	Ölçüm-M_1		26,9		6,5	14,0		15,8
	Ölçüm-M		28,6		7,1	16,6		17,4
	Ölçüm-Model		18,6		11,0	120,2		49,9

Şekil 5.8'de Bünyan istasyonunda altı farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile M_1 = 0,85 parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir.



Şekil 5.8: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve $M_1 = 0,85$ ile hesaplan hız saçılım grafiği.

Ölçümlerin yapıldığı ikinci istasyon Barsama kesitine ait entropi parametresi Bölüm 4'te verildiği üzere $M_2 = 1,40$ olarak belirlenmiştir. Farklı tarihlerde yapılan altı akım durumunda ve her bir düşeyde bu entropi parametresi kullanılmıştır. Şekil 5.9'da Barsama_3 ölçümünde altı düşeyde $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki hız dağılımları verilmiştir. Şekil 5.9'dan görüleceği üzere Barsama_3 ölçümü için ele alınan düşeylerdeki hesaplanan entropi hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Bünyan istasyonunda olduğu gibi Barsama_3 akım durumunda da entropi dağılımı ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Barsama_3 ölçümünde ele alınan altı düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdelesi Çizelge 5.12'de görüldüğü gibi %6,9 olarak belirlenmiştir.



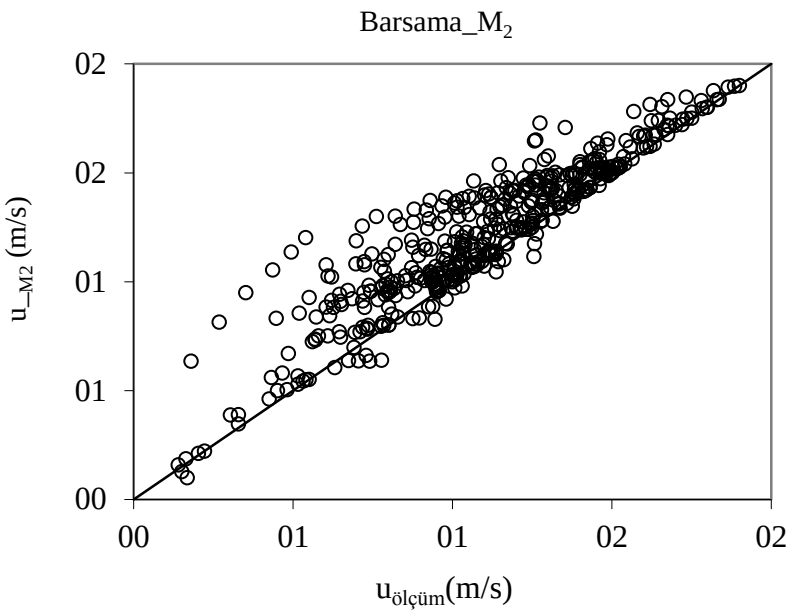
Şekil 5.9: Barsama_3 akım durumunda ölçülen ve M_2 = 1,40 ile hesaplanan hız dağılımları.

Çizelge 5.12'de M_2 = 1,40 parametresi ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri altı farklı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Ortalama bağıl hata yüzdeleri ise bu çizelgenin son sütununda verilmiştir. Altı ayrı akım durumu için ortalama bağıl hata yüzdeleri %6,9–21,2 arasında değişmektedir. Bu ortalama bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken Bünyan istasyonunda olduğu gibi $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Barsama istasyonunda altı farklı akım durumunda, tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri arasındaki ortalama bağıl hata yüzdeleri ise %13,2 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.12: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

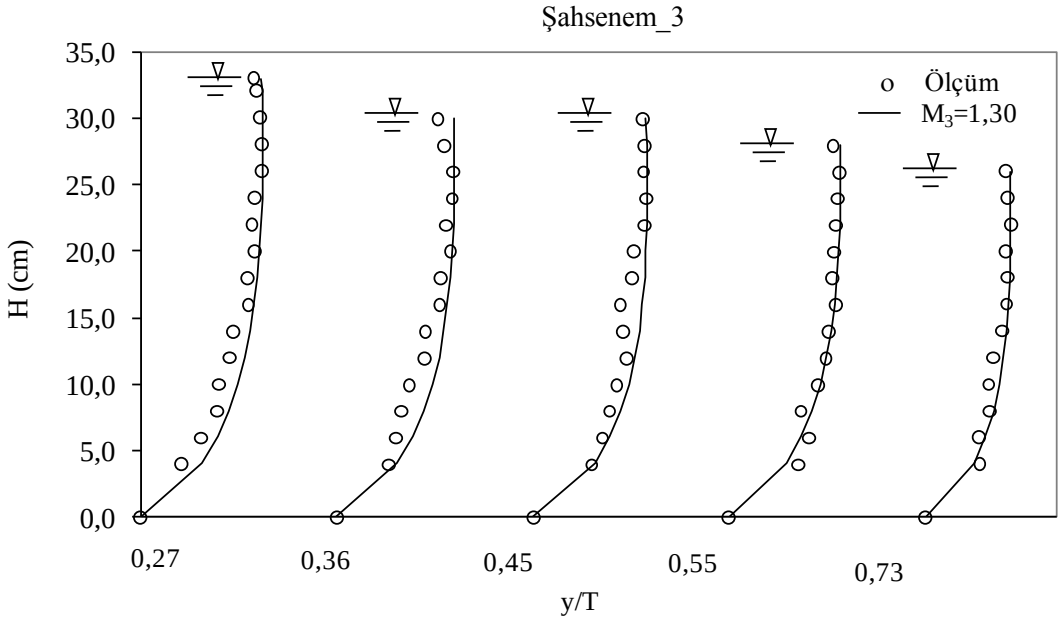
Barsama_1	y/T	0,27	0,41	0,55	0,68			Ortalama
	ε (%)							(%)
	Ölçüm-M_2	8,30	22,42	3,80	26,24			15,19
	Ölçüm-M	8,30	22,42	3,80	26,24			15,19
	Ölçüm-Model	4,55	20,01	6,15	33,48			16,04
Barsama_2	y/T	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	
	ε (%)							
	Ölçüm-M_2	13,32	12,64	4,31	18,78	6,94	17,15	12,19
	Ölçüm-M	12,75	11,90	4,39	18,58	6,68	16,52	11,80
	Ölçüm-Model	10,14	8,61	5,53	27,26	6,92	14,74	12,20
Barsama_3	y/T	0,22	0,33	0,43	0,54	0,65	0,76	
	ε (%)							
	Ölçüm-M_2	7,33	5,3	5,6	4,3	5,8	13,2	6,9
	Ölçüm-M	7,24	5,6	5,7	4,5	6,0	12,7	6,9
	Ölçüm-Model	13,72	7,5	5,4	4,0	11,0	17,4	9,8
Barsama_4	y/T		0,30	0,42	0,54	0,65	0,77	
	ε (%)							
	Ölçüm-M_2		5,8	9,2	3,8	15,4	14,1	9,6
	Ölçüm-M		5,7	9,0	3,5	15,3	14,0	9,5
	Ölçüm-Model		14,3	12,4	16,2	31,0	16,1	18,0
Barsama_5	y/T	0,20	0,35	0,50	0,65			
	ε (%)							
	Ölçüm-M_2	21,3	23,8	22,8	16,9			21,2
	Ölçüm-M	21,1	23,5	22,6	15,3			20,6
	Ölçüm-Model	14,7	28,1	22,2	21,4			21,6
Barsama_6	y/T	0,20	0,35	0,5	0,65		0,80	
	ε (%)							
	Ölçüm-M_2	10,7	19,7	5,2	12,5		23,2	14,2
	Ölçüm-M	10,6	19,6	7,1	13,1		22,8	14,6
	Ölçüm-Model	47,9	30,2	26,6	29,6		16,0	30,1

Şekil 5.10' da Barsama istasyonunda altı ayrı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen hızlar ile $M_2 = 1{,}40$ parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir.



Şekil 5.10: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve $M_3 = 1{,}30$ ile hesaplan hız saçılım grafiği.

Ölçümlerin yapıldığı üçüncü kesit olan Şahsenem istasyonuna ait entropi parametresi Bölüm 4'te verildiği üzere $M_3 = 1{,}30$ olarak belirlenmiştir. Şahsenem_3 istasyonunda farklı tarihlerde 6 ayrı akım durumunda arazi ölçümleri çalışması yapılmıştır. Bünyan ve Barsama istasyonlarında olduğu gibi Şahsenem_3 istasyonunda da $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınarak ölçülen ve $M_3 = 1{,}30$ entropi parametresi ile hesaplanan hız dağılımları Şekil 5.11'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Entropi dağılımı ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Şahsenem_3 ölçümünde ele alınan beş düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.13'te görüldüğü gibi %8,8 olarak belirlenmiştir.



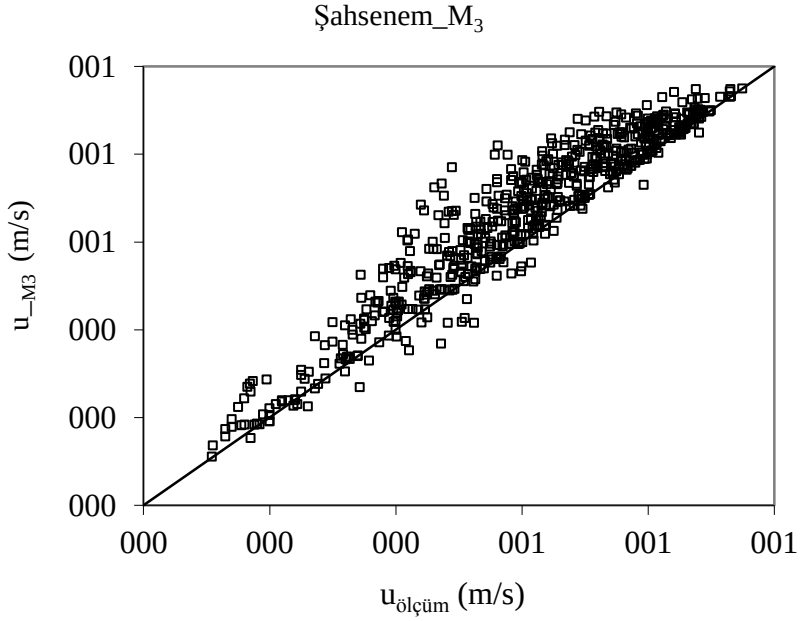
Şekil 5.11: Şahsenem_3 akım durumunda ölçülen ve $M_3 = 1,30$ ile hesaplanan hız dağılımları.

Çizelge 5.13: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

	y/T		0,33		0,50		0,67		Ortalama
	ε (%)								(%)
Şahsenem_1	Ölçüm-M_3		4,8		11,1		8,7		9,3
	Ölçüm-M		4,8		11,1		8,8		9,3
	Ölçüm-Model		4,9		8,3		14,7		9,3
	y/T	0,22	0,31	0,41	0,50	0,59	0,69	0,78	
	ε (%)								
Şahsenem_2	Ölçüm-M_3	13,3	10,3	10,3	12,0	9,3	21,0	4,1	11,5
	Ölçüm-M	13,4	10,4	10,3	12,0	8,3	21,1	4,7	11,5
	Ölçüm-Model	20,4	23,8	24,5	13,7	20,9	19,6	39,9	23,3
	y/T		0,27	0,36	0,45	0,55		0,73	
	ε (%)								
Şahsenem_3	Ölçüm-M_3		9,1	13,6	9,0	4,1		8,0	8,8
	Ölçüm-M		9,2	13,7	9,1	4,1		6,8	8,6
	Ölçüm-Model		10,0	9,7	6,3	4,4		20,3	10,1
	y/T	0,22	0,31	0,41	0,50	0,59	0,69	0,78	
	ε (%)								
Şahsenem_4	Ölçüm-M_3	32,1	10,8	21,9	6,7	10,5	7,4	13,1	14,7
	Ölçüm-M	32,1	10,8	21,9	6,7	10,5	7,4	13,1	14,7
	Ölçüm-Model	30,9	10,0	10,3	5,4	7,1	4,5	31,7	14,3
	y/T	0,25	0,34	0,44		0,54	0,63	0,73	
	ε (%)								
Şahsenem_5	Ölçüm-M_3	24,9	8,2	18,5		10,2	15,5	3,9	13,5
	Ölçüm-M	24,9	8,2	18,5		10,2	15,5	3,9	13,5
	Ölçüm-Model	32,7	11,1	8,3		11,9	7,4	4,1	12,6
	y/T	0,21	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66	0,75	
	ε (%)								
Şahsenem_6	Ölçüm-M_3	8,6	11,7	11,2	3,1	5,1	4,5	11,1	7,9
	Ölçüm-M	8,6	11,7	11,2	3,1	5,1	4,5	11,1	7,9
	Ölçüm-Model	19,4	20,8	18,8	4,1	9,8	5,0	8,1	12,3

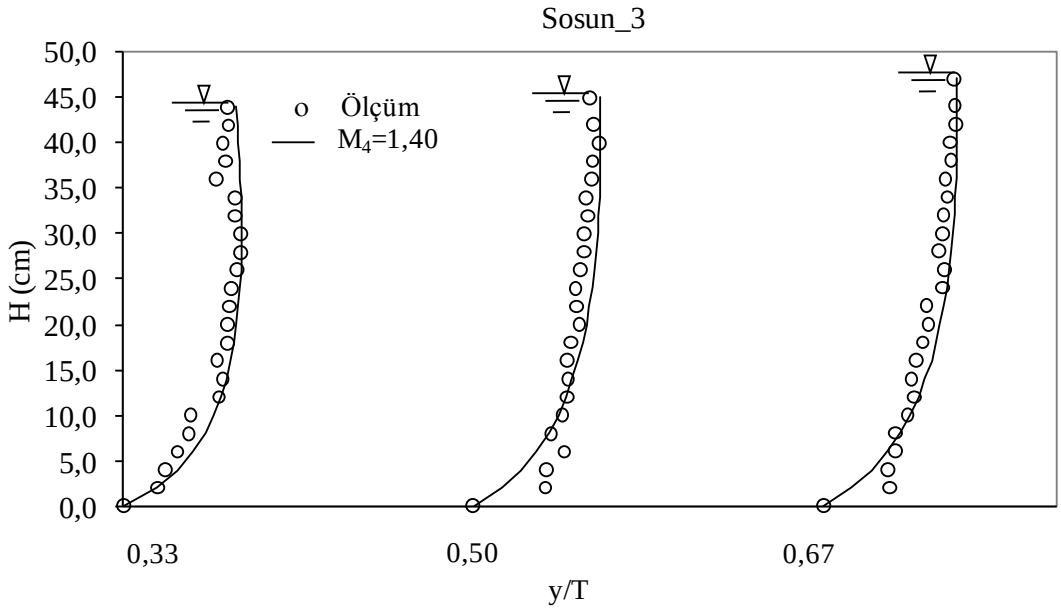
Çizelge 5.13'te M_3 = 1,30 parametresi ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri altı farklı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Ortalama bağıl hata yüzdeleri ise bu çizelgenin son sütununda verilmiştir. Altı ayrı akım durumu için ortalama bağıl hata yüzdeleri %8,8–14,7 arasında değişmektedir. Bu ortalama bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Önceki istasyonlarda olduğu gibi Şahsenem istasyonunda da farkların kanal orta kesitinde nispeten küçük olduğu görülmektedir. Şahsenem istasyonunda altı farklı akım durumunda tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi ise %10,9 olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.12' de Şahsenem istasyonunda altı ayrı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen hızlar ile M_3 = 1,30 parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı özellikle yüksek hız bölgesinde ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir.



Şekil 5.12: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve M_3 = 1,30 ile hesaplan hız saçılım grafiği.

Arazi çalışması yapılan son istasyon Sosun kesitine ait entropi parametresi Bölüm 4'de verildiği üzere M_4 = 1,22 olarak hesaplanmıştır. Sosun istasyonunda farklı tarihlerde dört ayrı akım durumunda saha çalışması yapılmıştır. Önceki istasyonlarda olduğu gibi Sosun_3 ölçümünde de $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınarak ölçülen ve M_4 = 1,22 entropi parametresi ile hesaplanan hız dağılımları Şekil 5.13'te görüldüğü gibi elde edilmiştir. Entropi dağılımı ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Sosun_3 ölçümünde ele alınan üç düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.14'te görüldüğü gibi %7,7 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.13: Sosun_3 akım durumunda ölçülen ve M_4 = 1,22 ile hesaplanan hız dağılımları.

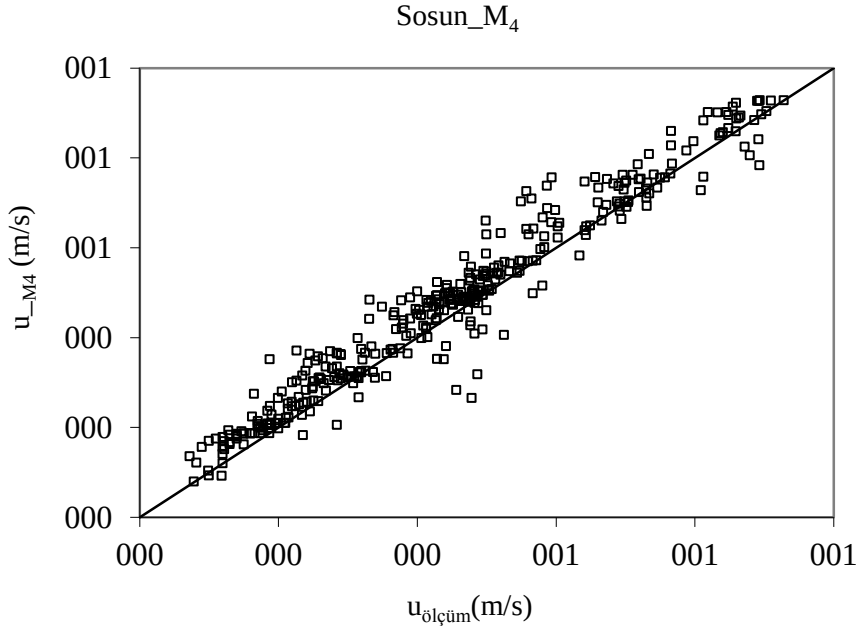
Çizelge 5.14: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

	y/T	0,27	0,42	0,58	0,73	Ortalama
	ε (%)					(%)
Sosun_1	Ölçüm-M_4	13,0	5,8	5,0	10,4	8,5
	Ölçüm-M	13,1	6,0	4,8	10,0	8,5
	Ölçüm-Model	10,4	10,6	15,8	28,6	16,4
	y/T	0,33	0,50	0,67		
	ε (%)					
Sosun_2	Ölçüm-M_4	16,1	7,6	23,7		15,8
	Ölçüm-M	16,3	7,6	31,0		18,3
	Ölçüm-Model	26,3	16,7	99,0		47,3
	y/T	0,33	0,50	0,67		
	ε (%)					
Sosun_3	Ölçüm-M_4	7,8	7,9	7,3		7,7
	Ölçüm-M	8,0	7,9	7,7		7,9
	Ölçüm-Model	15,5	13,8	13,8		14,4
	y/T	0,35	0,52		0,70	
	ε (%)					
Sosun_4	Ölçüm-M_4	3,9	7,1		7,5	6,2
	Ölçüm-M	3,6	7,3		8,1	6,3
	Ölçüm-Model	11,3	7,6		16,9	11,9

Çizelge 5.14'te M_4 = 1,22 parametresi ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri dört farklı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Ortalama bağıl hata yüzdeleri ise bu çizelgenin son sütununda verilmiştir. Dört ayrı akım durumu için ortalama bağıl hata yüzdeleri %6,2–15,8

arasında değişmektedir. Bu ortalama bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Önceki istasyonlarda olduğu gibi Sosun istasyonunda da farkların kanal orta kesitinde nispeten küçük olduğu görülmektedir. Sosun istasyonunda dört farklı akım durumunda tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri arasındaki ortalama bağıl hata yüzdeleri ise %7,6 olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.14' te Sosun istasyonunda dört ayrı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen hızlar ile $M_4 = 1{,}22$ parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı derinlik boyunca ölçüm değerlerinden biraz büyük olmaktadır.

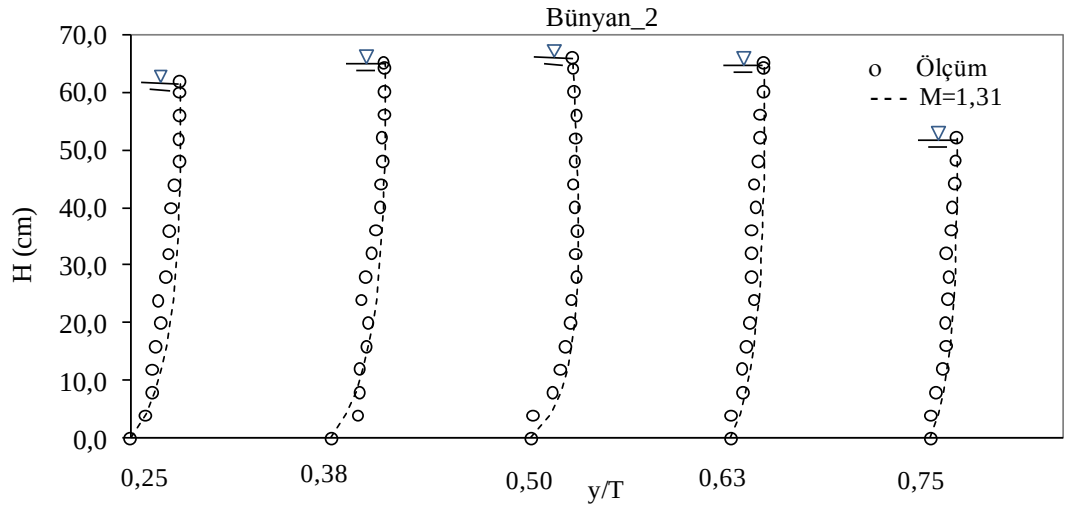


Şekil 5.14: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve $M_4 = 1{,}22$ ile hesaplan hız saçılım grafiği.

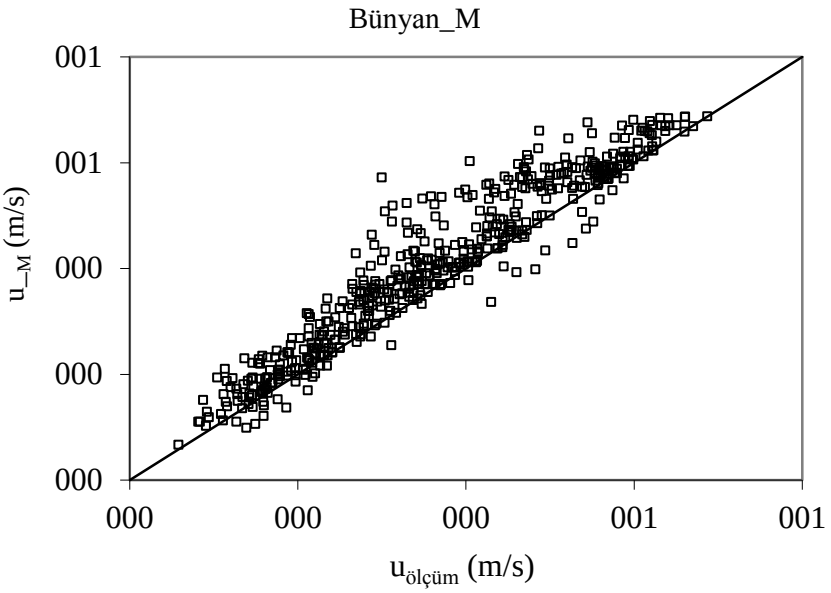
5.2.2 Entropi parametresi M = 1.31 ile hız dağılımlarının belirlenmesi

Dört istasyonda gerçekleştirilen 22 ölçüme ait hesaplanan ortalama hız ve ölçülen en büyük hızlar kullanılarak elde edilen M = 1,31 entropi parametresi hız dağılımlarının modellenmesinde kullanılabilir. Ortak entropi parametresi M = 1,31 ve her bir düşeyde ölçülen en büyük hızlar ile belirlenen hız dağılımları tüm istasyon ve ele alınan akım durumlarında hesaplanmıştır.

Bünyan istasyonunda gerçekleştirilen 2. ölçüme ait 5 düşeydeki ölçülen hız dağılımları Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Bu düşeylerde M = 1,31 parametresi ile hesaplanan hız dağılımları kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Bu dağılımlardan görüleceği üzere entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımları ele alınan tüm düşeylerde ölçüm değerleri ile oldukça iyi uyum sağlamaktadır. Çizelge 5.11'de Bünyan_2 ölçümüne ait her bir düşeyde ölçülen ve hesaplanan hız dağılımları arasındaki bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgenin son sütununda verildiği üzere bu akıma ait tüm düşeylerdeki ortalama bağıl hata yüzdesi %17,7 olarak hesaplanmıştır. Bu farkın istasyona ait M_1 = 0,85 parametresi ile hesaplanan bağıl hata yüzdesine göre (%16,8) biraz yüksek olduğu görülmektedir. Yine çizelgede kanal orta kesit bölgesinde y/T oranının 0,38 ve 0,50 değerlerinde ölçüm ve hesap değerleri arasındaki bağıl hata yüzdelerinin düşük olduğu görülmektedir. Şekil 5.16'da Bünyan istasyonunda altı farklı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerde edilen hızlar ile M = 1,31 parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı derinlik boyunca ölçüm değerlerinden biraz büyük olmaktadır. İstasyona ait genel ortalama bağıl hata yüzdesi ise %15,8 olarak hesaplanmıştır.

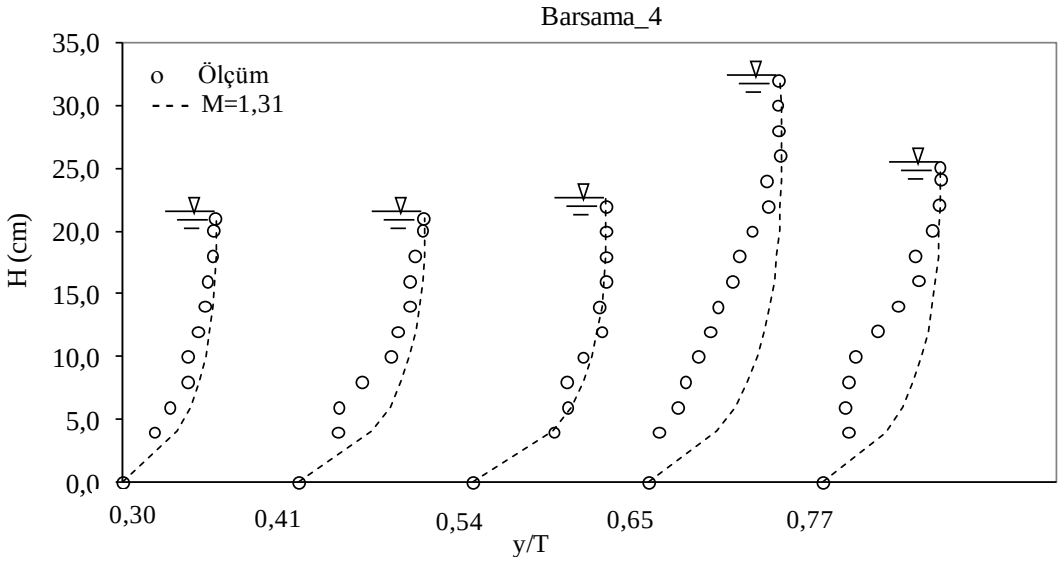


Şekil 5.15: Bünyan_2 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları.

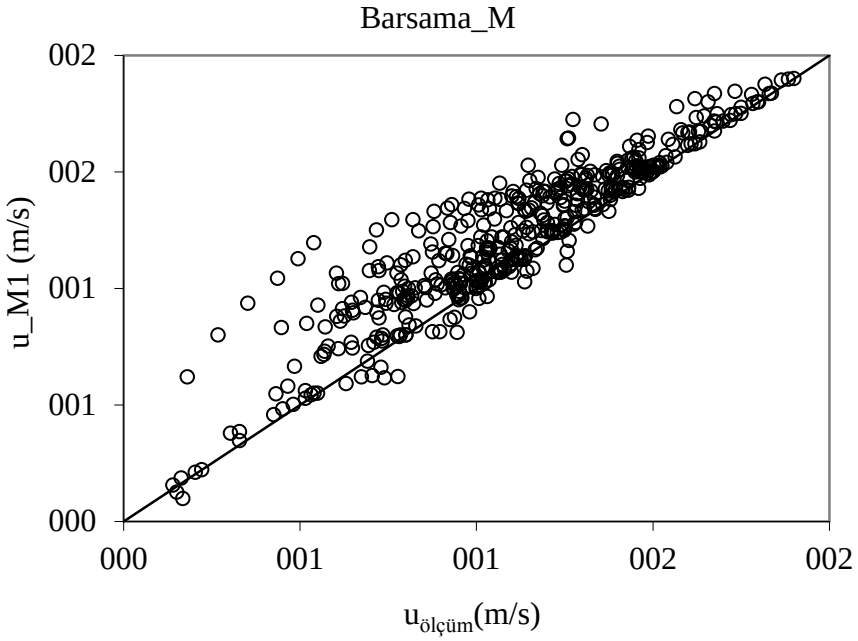


Şekil 5.16: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği.

Barsama istasyonunda gerçekleştirilen 4. ölçüme ait beş düşeydeki hız dağılımları Şekil 5.17' de gösterilmiştir. Bu düşeylerde Bünyan istasyonunda da olduğu gibi ortak entropi parametresi M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Bu hız dağılımlarından görüleceği üzere entropi hız dağılımı ele alınan tüm düşeylerde özellikle kanal tabanına yakın bölgelerde ölçüm değerlerinden yüksek değerler vermektedir. Çizelge 5.12'de Barsama_4 ölçümüne ait her bir düşeyde ölçülen ve hesaplanan hız dağılımları arasındaki bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu akıma ait tüm düşeylerdeki ortalama bağıl hata yüzdesi %9,5 olarak hesaplanmıştır. Bu bağıl hata yüzdesinin istasyona ait M_2 = 1,40 parametresi ile hesaplanan bağıl hata yüzdesine göre (%9,6) biraz düşük olduğu görülmektedir. İstasyona ait genel ortalama bağıl hata yüzdesi ise %13,1 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.18'de Barsama istasyonunda altı farklı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerde edilen hızlar ile M = 1,31 parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı düşük hız bölgesinde ($u \leq$ 0,50 m/s) ve yüksek hız değerlerinde ($u \geq$ 1,50 m/s) ölçüm değerleri ile iyi uyum sağlamakta ve bu iki hız arasında ise biraz büyük hesaplanmaktadır.



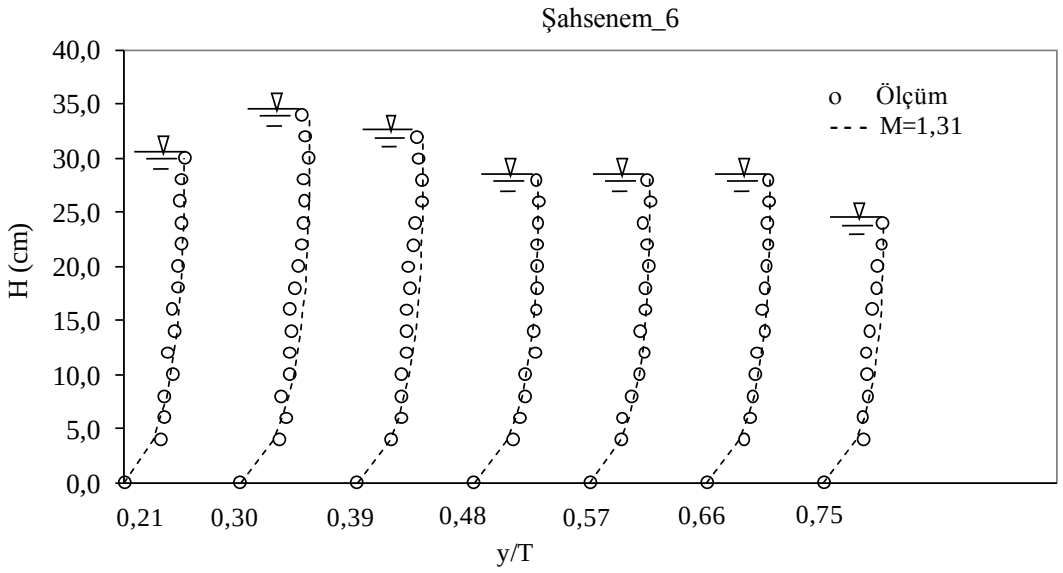
Şekil 5.17: Barsama_4 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları.



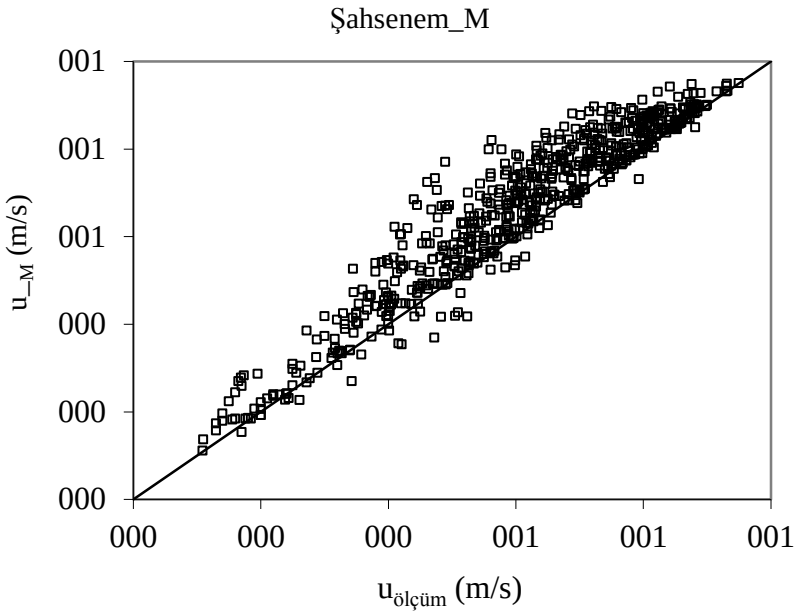
Şekil 5.18: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği

Ölçüm yapılan üçüncü istasyon olan Şahsenem istasyonunda gerçekleştirilen 6. ölçüme ait 7 düşeydeki hız dağılımları Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Bu düşeylerde önceki istasyonlarda olduğu gibi ortak entropi parametresi M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları yine kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Bu hız dağılımlarından görüleceği üzere entropi hız dağılımı ele alınan tüm düşeylerde ölçüm değerleri ile oldukça uyumlu değerler vermektedir. Çizelge 5.13'te Şahsenem_6 ölçümüne ait her

bir düşeyde ölçülen ve hesaplanan hız dağılımları arasındaki bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu akıma ait tüm düşeylerdeki ortalama bağıl hata yüzdesi %7,9 olarak hesaplanmıştır. Bu hata yüzdesinin istasyona ait M_3 = 1,30 parametresi ile hesaplanan bağıl hata yüzdesi ile (%7,9) aynı olduğu görülmektedir. İstasyona ait genel ortalama bağıl hata yüzdesi ise %10,9 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.20'de Şahsenem istasyonunda altı farklı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerde edilen hızlar ile M = 1,31 parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda tüm hız aralıklarında entropi dağılımı derinlik boyunca ölçüm değerlerinden biraz büyük olmaktadır.

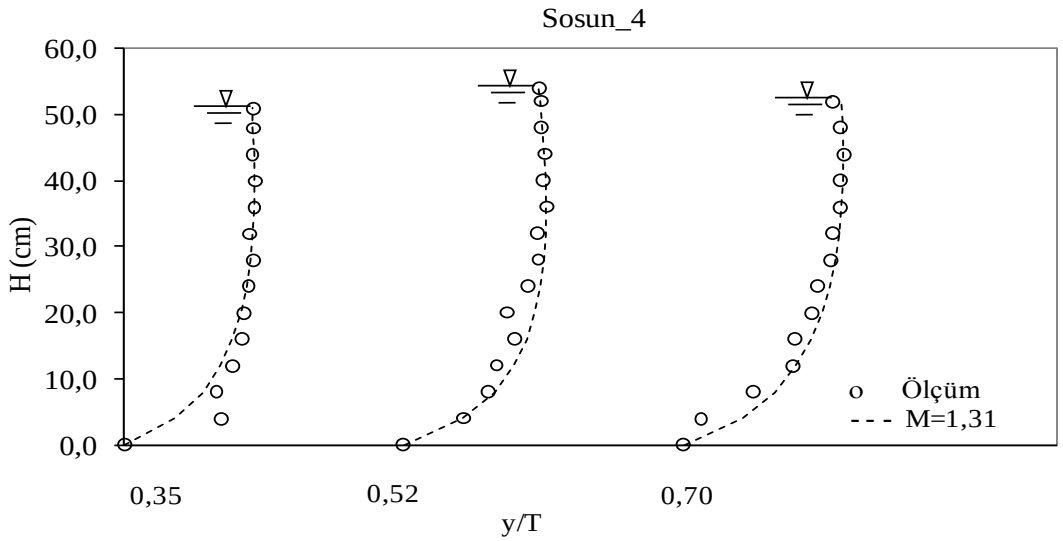


Şekil 5.19: Şahsenem_6 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları.

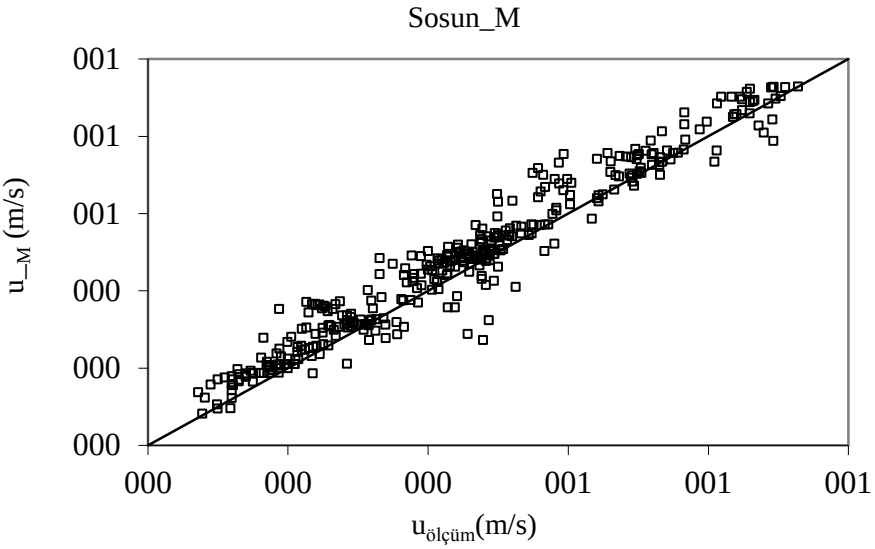


Şekil 5.20: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği.

Ölçüm yapılan son istasyon olan Sosun istasyonunda gerçekleştirilen 4. ölçüme ait üç düşeydeki hız dağılımları Şekil 5.21'de verilmiştir. Ortak entropi parametresi M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Bu hız dağılımlarından görüleceği üzere entropi hız dağılımı ele alınan tüm düşeylerde ölçüm değerleri ile oldukça uyumlu değerler vermektedir. Çizelge 5.14'te Sosun_4 ölçümüne ait her bir düşeyde ölçüm ve hesaplanan hız dağılımları arasındaki bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu akıma ait tüm düşeylerdeki ortalama bağıl hata yüzdesi %6,3 olarak hesaplanmıştır. Bu bağıl hata yüzdesinin istasyona ait M_4 = 1,22 parametresi ile hesaplanan bağıl hata yüzdesiyle (%6,2 oldukça yakın olduğu görülmektedir. İstasyona ait genel ortalama bağıl hata yüzdesi ise %8,2 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.22'de Sosun istasyonunda dört farklı tarihte gerçekleştirilen ölçümlerde edilen hızlar ile M = 1,31 parametresi kullanılarak entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı derinlik boyunca ölçüm değerlerinden biraz büyük olmaktadır.



Şekil 5.21: Sosun_4 akım durumunda ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplanan hız dağılımları.



Şekil 5.22: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve M = 1,31 ile hesaplan hız saçılım grafiği.

5.3 Manning Eşitliği ile Debinin Belirlenmesi

Açık kanallarda debinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan Manning eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad \textbf{(5.2)}$$

Burada U; akım enkesit ortalama hızı, n; Manning pürüzlülük katsayısı, R; hidrolik yarıçap olup R = A/P ifadesi ile belirlenmektedir. Bu ifadede A; ıslak enkesit alanını ve P; ıslak çevreyi ifade etmektedir. S; enerji çizgisinin eğimi olup, üniform

akımlarda su yüzü ve kanal taban eğimine eşit alınır. Bu ifadede belirlenmesi en güç parametre n Manning pürüzlülük katsayısıdır. Cowan (1956) Manning pürüzlülük katsayısının (5.3) ifadesi ile hesaplanabileceğini belirtmiştir.

$$n = (n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)m_5 \quad \textbf{(5.3)}$$

Bu ifadede n_0; yüzey malzeme özelliği, n_1; kanal boykesit düzensizliği (n_2), kanal enkesit düzensizliği (n_3), kanaldaki engeller (n_4) kanal tabanı bitki dokusu ve (m_5) kanalın yataydaki eğimi dir. Bu parametrelerin alabileceği değerler Chow (1959) tarafından farklı kesit özelliklerine ait resimler verilerek Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Dört farklı istasyonda gerçekleştirilen her bir ölçüme ait Manning pürüzlülük katsayısının belirlenmesi amacıyla (5.3) ifadesi kullanılmıştır. Bu ifadedeki parametreler her bir istasyon için belirlenerek Çizelge 5.16'da gösterilmiştir.

Şekil 5.23'te görülen Şahsenem istasyonunda enkesit özellikleri incelendiği zaman kanal tabanının genel olarak az bir kısmında irili ufaklı çakıl parçacıkları olsa da yüzey malzeme özelliği n_0 = 0,02 olarak belirlenmiştir. Düzensizlik derecesi incelendiğinde düzensizliklerin orta derecede olduğu gözlemlenerek kanal boykesit düzensizliği için n_1 = 0,01 alınabileceği tespit edilmiştir. Kesit geometrisi çok sık değişmediğinden kanal enkesit düzensizliği n_2 = 0,005 alınmıştır. Kanal boyunca engellerin etkisi çok fazla olmadığı için n_3 = 0,01 olarak belirlenmiştir. Kanaldaki bitki örtüsü düşük seviyede olduğundan kanal tabanı bitki dokusu n_4 = 0,005 alınmıştır. Boykesitte yer alan kıvrımlar az olduğu için kanalın yataydaki eğimi m_5 = 1,0 alınması uygun bulunmuştur. Bütün bu faktörlerin etkisi göz önüne alınarak Şahsenem istasyonu için kesite ait Manning pürüzlülük katsayısı $n = (0,02+0,01+0,005+0,01+0,005)1,0 = 0,05$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.15: Chow tarafından önerilen pürüzlülük değerleri.

Kanalın Fiziki Yapısı		Değer	
Malzeme içeriği	Toprak	n_0	0,02
	Kaya Parçaları		0,025
	Çakıl		0,024
	İri Çakıl		0,028
Düzensizlik derecesi	Pürüzsüz	n_1	0
	Az		0,005
	Orta		0,01
	Çok		0,02
Kanal kesit değişimi	Yavaş	n_2	0
	Nadir		0,005
	Sık		0,01 - 0,015
Engellemelerin etkileri	Çok az	n_3	0
	Küçük		0,01 - 0,015
	Orta		0,02 - 0,03
	Çok		0,04 - 0,06
Bitki Örtüsü	Az	n_4	0,005 - 0,01
	Orta		0,01 - 0,025
	Çok		0,025 - 0,050
	Çok yüksek		0,05 - 0,1
Kıvrım Derecesi	Az	m_5	1
	Orta		1,15
	Çok		1,3



Şekil 5.23: Şahsenem istasyonundan bir görünüş.

Benzer çalışmalar Şekil (5.24; 5.25; 5.26)' da verilen diğer istasyonlar için de yapılmış ve o kesitlere ait Manning pürüzlülük katsayısı Çizelge 5.16'da verildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.16: İstasyonlar için belirlenen manning pürüzlülük katsayıları.

	Bünyan	Barsama	Şahsenem	Sosun
n_o	0,025	0,025	0,020	0,025
n_1	0,010	0,005	0,010	0,010
n_2	0,005	0,005	0,005	0,005
n_3	0,015	0,010	0,010	0,010
n_4	0,015	0,005	0,005	0,005
m_5	1	1	1	1
n	0,070	0,050	0,050	0,055



Şekil 5.24: Bünyan istasyonundan bir görünüş.



Şekil 5.25: Barsama istasyonundan bir görünüş.



Şekil 5.26: Sosun istasyonundan bir görünüş.

Ölçüm yapılan dört istasyondaki Q_{Man} Manning debilerini belirlemek amacıyla 22 ölçüme ait akım karakteristikleri Çizelge 5.17'de gösterilmiştir. Burada birinci sütunda ölçüm istasyonları ve numaraları verilmiştir. İkinci sütunda (5.3) ifadesi ile hesaplanan Manning pürüzlülük katsayıları görülmektedir. Üçüncü sütunda A; enkesit alanı, dördüncü sütunda R; hidrolik yarıçap ve beşinci sütunda S; enerji çizgisi eğimi yer almaktadır. İstasyonlar için belirlenen Manning pürüzlülük katsayıları kullanılarak (5.2) ifadesi ile kesite ait U ortalama hızı belirlendikten sonra (2.7) denklemi ile de her bir akıma ait debiler hesaplanmıştır. Hesaplanan bu debiler Çizelge 5.18'de üçüncü sütunda Q_{Man} olarak verilmiştir. Aynı çizelgede hız alan yöntemi kullanılarak elde edilen Q debileri ise ikinci sütunda sunulmuştur. Manning eşitliği kullanılarak elde edilen Q_{Man} debileri ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdeleri (5.1) eşitliği ile hesaplanarak aynı çizelgede dördüncü sütunda verilmektedir.

Çizelge 5.17: Manning eşitliğinde kullanılan akım karakteristikleri.

İstasyon	n	A	R	S
	-	(m^2)	(m)	-
Bünyan_1	0,070	2,23	0,571	0,0020
Bünyan_2		2,03	0,534	0,0030
Bünyan_3		2,11	0,474	0,0022
Bünyan_4		2,67	0,550	0,0018
Bünyan_5		2,79	0,572	0,0024
Bünyan_6		2,48	0,532	0,0010
Barsama_1	0,050	2,04	0,244	0,0091
Barsama_2		2,32	0,256	0,0036
Barsama_3		3,24	0,346	0,0094
Barsama_4		1,64	0,194	0,0092
Barsama_5		1,87	0,216	0,0097
Barsama_6		2,48	0,280	0,0120
Şahsenem_1	0,050	1,40	0,224	0,0059
Şahsenem_2		1,36	0,247	0,0061
Şahsenem_3		1,40	0,249	0,0037
Şahsenem_4		1,18	0,215	0,0045
Şahsenem_5		1,24	0,235	0,0046
Şahsenem_6		1,40	0,281	0,0064
Sosun_1	0,055	1,58	0,427	0,0032
Sosun _2		1,03	0,316	0,0016
Sosun _3		1,03	0,325	0,0026
Sosun _4		0,98	0,352	0,0034

Çizelge 5.18: İstasyonlar için manning eşitliği ile belirlenen debiler ve bağıl hata yüzdeleri.

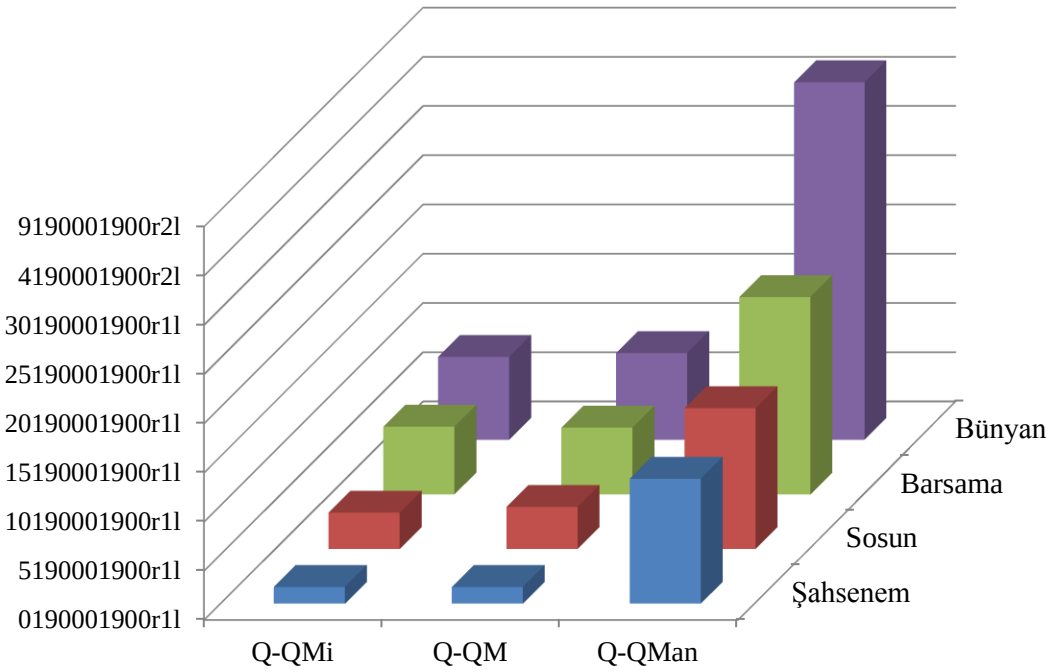
Ölçüm	Tarih	Q	Q_{Man}	Bağıl Hata %
	g/a/y	(m^3/s)	(m^3/s)	$(Q-Q_{Man})/Qx100$
	(1)	(2)	(3)	(4)
Bünyan_1	24.06.2009	0,788	0,978	24,16
Bünyan_2	08.02.2009	0,434	1,045	140,90
Bünyan_3	27.09.2009	0,636	0,861	35,33
Bünyan_4	04.04.2010	1,082	1,086	0,40
Bünyan_5	16.05.2010	1,188	1,347	13,38
Bünyan_6	20.06.2010	0,708	0,734	3,69
			Ortalama	36,31
Barsama_1	28.05.2005	1,81	1,520	16,04
Barsama_2	19.05.2006	2,44	1,122	54,00
Barsama_3	19.05.2009	3,93	3,096	21,21
Barsama_4	31.05.2009	0,97	1,054	8,69
Barsama_5	24.03.2010	1,51	1,326	12,18
Barsama_6	18.04.2010	2,15	2,325	8,16
			Ortalama	20,05
Şahsenem_1	29.03.2006	0,816	0,793	2,78
Şahsenem_2	20.10.2007	0,719	0,836	16,30
Şahsenem_3	22.03.2008	0,792	0,673	14,97
Şahsenem_4	03.05.2008	0,613	0,569	7,20
Şahsenem_5	11.10.2008	0,666	0,640	3,86
Şahsenem_6	08.11.2008	0,732	0,961	31,28
			Ortalama	12,73
Sosun_1	19.05.2009	0,886	0,920	3,82
Sosun _2	31.05.2009	0,294	0,347	17,99
Sosun _3	24.03.2010	0,338	0,451	33,30
Sosun _4	18.04.2010	0,529	0,517	2,26
			Ortalama	14,34
Ortalama bağıl hata yüzdesi				20,86

Ayrıca Çizelge 5.19'da istasyonlara ait hız alan yöntemi kullanılarak hesaplanan Q debileri ile herbir istasyona ait bilinen M_i değeri ile hesaplanan debi değerleri Q_{Mi} arasındaki bağıl hata yüzdelerinin ortalaması birinci sütunda verilmiştir. Yine aynı çizelgede ortak entropi parameteresi M = 1,31 kullanılarak hesaplanan Q_M debileri ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdelerinin ortalaması ikinci sütunda, Manning eşitliği kullanılarak elde edilen debiler Q_{Man} ile Q debileri arasındaki bağıl hata

yüzdelerinin ortalaması da üçüncü sütunda verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi Manning eşitliği ile hesaplanan debi Q_{Man} ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdesi %20,9 olarak hesaplanmıştır. Bu bağıl hata yüzdesinin Q_M ve Q_{Mi} debileri ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdelerine göre yüksek kaldığı görülmektedir. Şekil 5.27'de bu bağıl hata yüzdelerine ait çubuk grafikler çizilmiştir.

Çizelge 5.19: İstasyonlara ait ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M, Q_{Mi} ve Q_{Man} arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Ölçüm	$(Q-Q_{M1})/Qx100$	$(Q-Q_M)/Qx100$	$(Q-Q_{Man})/Qx100$
	%	%	%
	(1)	(2)	(3)
Barsama	6,9	6,8	20,1
Şahsenem	1,7	1,7	12,7
Bünyan	8,4	8,8	36,3
Sosun	3,7	4,3	14,3
Ortalama=	5,2	5,4	20,9



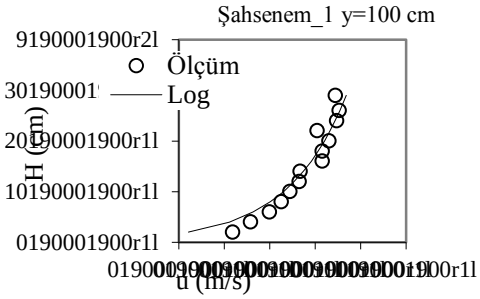
Şekil 5.27: Dört istasyon için ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M, Q_{Mi} ve Q_{Man} arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

5.4 Logaritmik Dağılım ile Hız Dağılımlarının Belirlenmesi

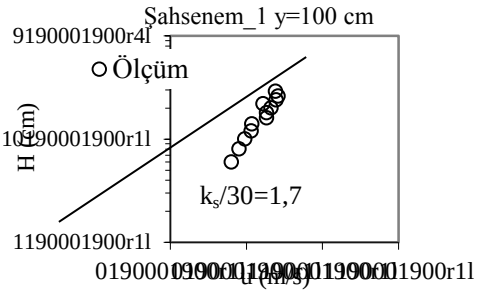
Logaritmik model pürüzlü akım şartlarının olduğu akarsularda iki boyutlu hız dağılımını tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kanal tabanındaki malzemenin boyutları, şekli ve dağılımı pürüzlü açık kanallardaki hız dağılımını etkilemektedir. Akım özelliklerinin belirlenmesi pek çok parametrenin bilinmesine bağlı olduğu için zordur. Logaritmik dağılımda kesitte ele alınan düşeye ait kayma hızı (u_*) ve rölatif pürüzlülüğün (k_s) bilinmesi gerekmektedir.

Sümer (2004), ele alınan düşeyde ölçülen hız dağılımları, u(z), yardımı ile von Karman sabiti χ = 0,40 olmak üzere 1 / χ = 2,5 alınarak, u_* değerinin (2.27) denkleminden elde edilebileceğini bildirmiştir. Enkesitte herbir dilimde derinlik boyunca ölçülen noktasal hız değerlerinin grafiği düşey eksen (z) logaritmik olacak şekilde çizildiği zaman, logaritmik hız dağılım bölgesinin $0{,}1H \leq z \leq (0{,}2 - 0{,}3)H$ aralığında kalacağını, bu bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği noktanın $k_s/30$ değerini gösterdiğini belirtmiştir. Belirlenen bu $k_s/30$ değeri yardımı ile ölçülen hız değerlerini logaritmik bölgede en iyi temsil eden kayma hızı, u_*, (2.27) denklemi yardımı ile belirlenebilir.

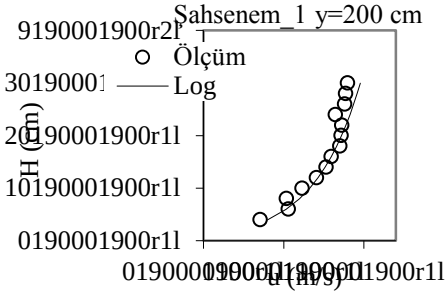
Şekil 5.28 (a)' da Şahsenem_1 ölçümüne ait y= 100 cm' de derinlik boyunca ölçülen hız dağılımı verilmiştir. Bu düşeye ait yarı logaritmik ölçekte çizilen hız dağılımı da Şekil 5.28 (b)' de gösterilmiştir. Şekilde logaritmik bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği nokta $k_s/30 = 1{,}7$ olarak belirlenmiştir. $k_s/30$ değeri diğer tüm ölçüm durumlarında ve ele alınan düşeylerde benzer şekilde tespit edilmiştir. Bu pürüzlülük yükseklikleri kullanılarak (2.27) ifadesi yardımı ile ölçülen hızlara logaritmik bölgede en iyi uyum gösteren kayma hızları, u_*, her bir düşey için belirlenmiştir. Şekil 5.28 (a)' da bu kayma hızı ile hesaplanan logaritmik dağılım düz çizgi olarak ve ölçümler sonucunda tespit edilen hızlar ise yuvarlak simge ile gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere logaritmik dağılım katı sınır ve serbest su yüzüne yakın bölgelerde ölçüm hızlarını iyi temsil edememektedir. Diğer bölgelerde ise logaritmik dağılım ve ölçüm değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir. Şahsenem_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler Çizelge 5.20' de verilmiştir. Şahsenem istasyonunda gerçekleştirilen çalışmalarda enkesit üzerinde ölçüm yapılan düşeylerde derinlik boyunca (2.27) denklemi ile hesaplanan hız dağılımları Şekil 5.28 (a) - (i)' de gösterilmiştir.


Şahsenem_1 y=100 cm
Ölçüm
Log
H (cm)
u (m/s)

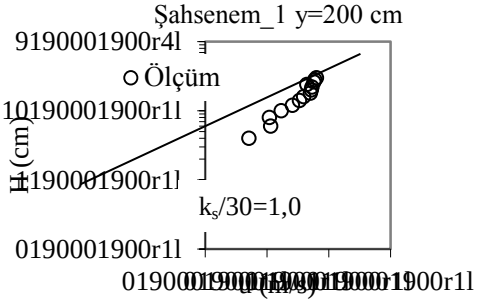
(a)


Şahsenem_1 y=100 cm
Ölçüm
H (cm)
k_s/30=1,7
u (m/s)

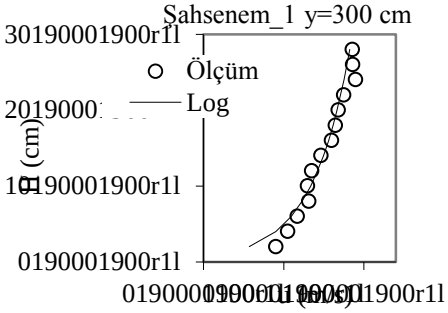
(b)


Şahsenem_1 y=200 cm
Ölçüm
Log
H (cm)
u (m/s)

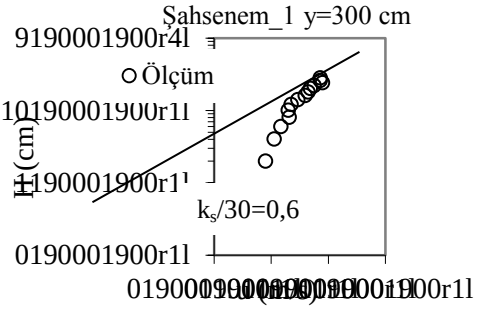
(c)


Şahsenem_1 y=200 cm
Ölçüm
H (cm)
k_s/30=1,0
u (m/s)

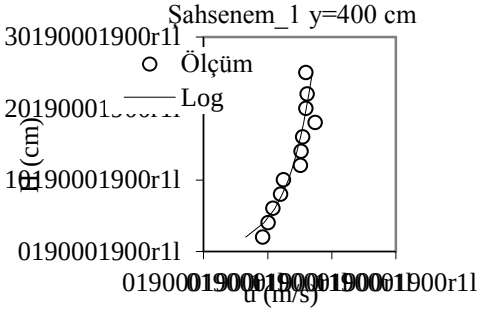
(d)


Şahsenem_1 y=300 cm
Ölçüm
Log
H (cm)
u (m/s)

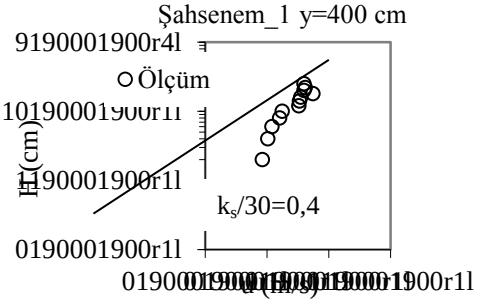
(e)


Şahsenem_1 y=300 cm
Ölçüm
H (cm)
k_s/30=0,6
u (m/s)

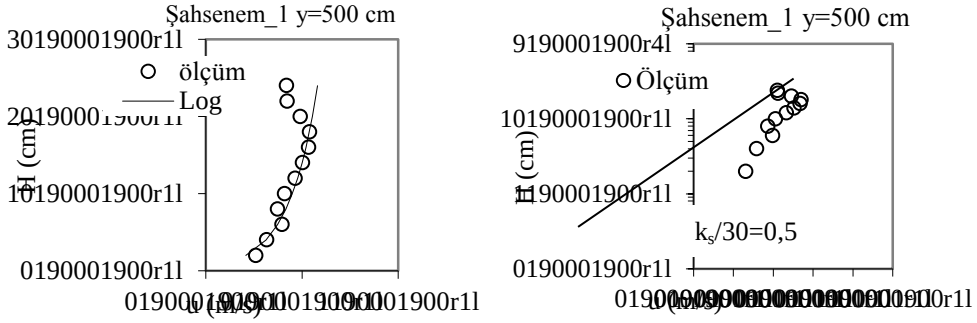
(f)


Şahsenem_1 y=400 cm
Ölçüm
Log
H (cm)
u (m/s)

(g)


Şahsenem_1 y=400 cm
Ölçüm
H (cm)
k_s/30=0,4
u (m/s)

(h)



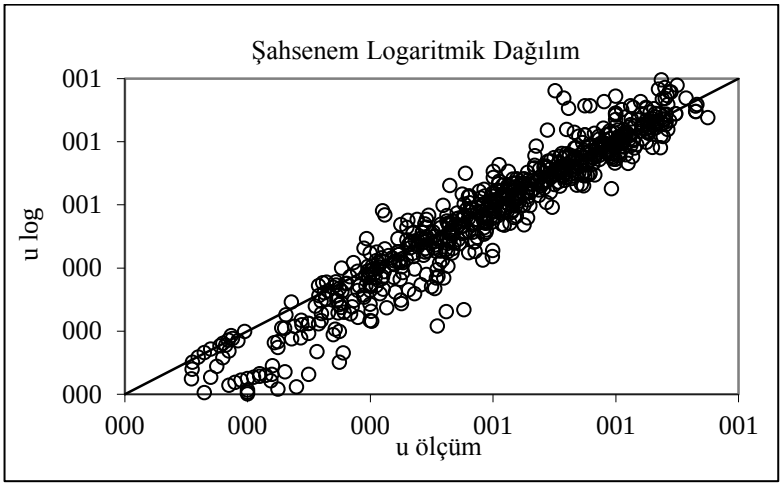
(ı) (i)

Şekil 5.28 (a) - (i): Şahsenem_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi.

Çizelge 5.20: Şahsenem_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler.

y (cm)	100	200	300	400	500
$k_s/30$	1,7	1	0,6	0,4	0,5
k_s	51	30	18	12	15
u_*(m/s)	0,104	0,115	0,095	0,082	0,060

Şekil 5.29’ da Şahsenem istasyonundaki altı ölçüme ait ölçülen akım hızları ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere logaritmik dağılım modeli ölçülen hızlara göre bazen yüksek bazen de düşük kalmaktadır. Özellikle kanal tabanına yakın yerlerde logaritmik dağılım düşük sonuçlar vermektedir. Serbest yüzey yakınlarında ise hesaplanan değerler ölçümlerden biraz yüksek olmaktadır.



Şekil 5.29: Şahsenem ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği.

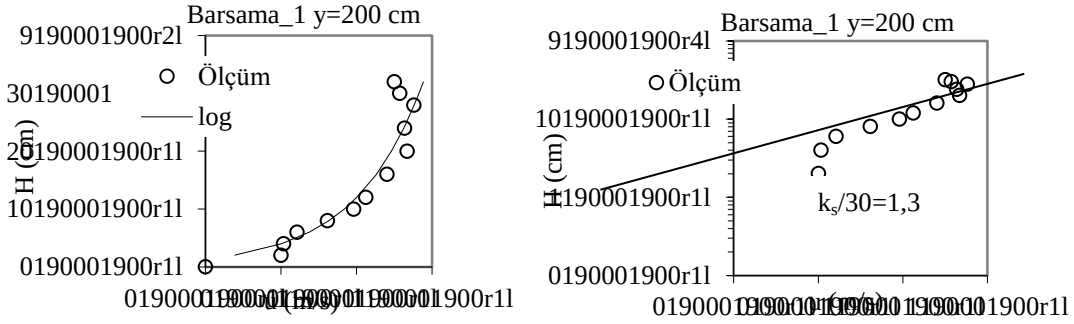
Şahsenem istasyonunda gerçekleştirilen altı ölçümde 0,20 ≤ y/T ≤ 0,80 aralığında ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) ifadesi ile belirlenmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi logaritmik dağılım ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Bağıl hata yüzdeleri özellikle su yüzüne yakın noktalarda artmakta ve her bir ölçüm için ortalama olarak %5,55 ile %10,77 arasında değişmektedir. Şahsenem istasyonunda gerçekleştirilen ölçümlerde ele alınan 0,20 ≤ y/T ≤ 0,80 aralığındaki düşeylere ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.21'de görüldüğü gibi %8,27 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.21: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Şahsenem_1	y/Y	0,17		0,33		0,50		0,67		0,83		Ortalama
	Ö-Log	13,19		5,67		6,77		6,59		6,14		6,34
Şahsenem_2	y/Y	0,13	0,22	0,31	0,41	0,50	0,59	0,69	0,78	0,87		
	Ö-Log	14,40	9,26	13,61	7,54	11,08	10,75	4,97	18,15	18,09		**10,77**
Şahsenem_3	y/Y	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,55	0,73		0,82	0,91	
	Ö-Log	6,56	7,38	4,21	6,38	5,06	6,06	6,04		10,61	76,01	**5,55**
Şahsenem_4	y/Y	0,13	0,22	0,31	0,41	0,50	0,59	0,69	0,78	0,87		
	Ö-Log	7,06	12,95	8,68	5,90	9,12	10,21	10,91	8,52	11,22		9,47
Şahsenem_5	y/Y	0,15	0,25	0,34	0,44	0,54	0,63	0,73	0,83		0,92	
	Ö-Log	9,62	8,63	11,37	9,73	4,46	11,71	5,48	7,06		27,76	8,56
Şahsenem_6	y/Y	0,12	0,21	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66	0,75	0,85	0,94	
	Ö-Log	9,51	7,55	7,6	8,1	11,04	9,22	7,9	10,9	10,53	10,89	8,90
Ortalama bağıl hata yüzdesi												**8,27**

Benzer çalışmalar Barsama istasyonu için de yapılmıştır. Bu istasyonda da enkesit üzerinde ölçüm yapılan 0,20 ≤ y/T ≤ 0,80 aralığındaki düşeylerde derinlik boyunca (2.27) denklemi ile hız dağılımları hesaplanmıştır. u_* ve k_s değerleri tespit edilmiştir. Barsama_1 ölçümüne ait y = 200 cm' de derinlik boyunca ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hız dağılımı Şekil 5.30 (a)'da verilmiştir. Bu düşeye ait yarı logaritmik ölçekte çizilen hız dağılımı ise Şekil 5.30 (b)' de gösterilmiştir. Bu şekilde logaritmik bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği nokta $k_s/30$ = 1,3 olarak belirlenmiştir. $k_s/30$ değeri diğer tüm ölçüm durumlarında ve ele alınan düşeylerde benzer şekilde tespit edilmiştir. Bu pürüzlülük yükseklikleri kullanılarak (2.27) ifadesi yardımı ile ölçülen hızlara logaritmik bölgede en iyi uyum gösteren kayma hızları u_* her bir düşey için belirlenmiş ve Çizelge 5.22' de verilmiştir. Şekil 5.30 (a)' da bu kayma hızı ile hesaplanan logaritmik dağılım düz çizgi olarak ve ölçümler sonucunda tespit edilen hızlar ise yuvarlak simge ile gösterilmiştir. Şekilden

görüleceği üzere logaritmik dağılım katı sınır ve serbest su yüzüne yakın bölgeler haricinde ölçüm hızlarını oldukça iyi temsil etmektedir.



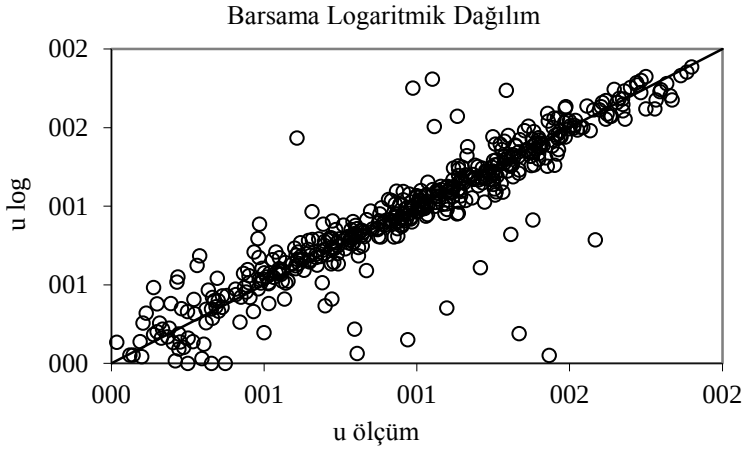
(a) (b)

Şekil 5.30 (a)–(b): Barsama_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi.

Çizelge 5.22: Barsama_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler.

y (cm)	100	200	300	400	500	600	700
$k_s/30$	1,8	1,3	2	0,8	2	2	1,8
k_s	54	39	60	24	60	60	54
u* (m/s)	0,16	0,18	0,2	0,16	0,165	0,19	0,17

Şekil 5.31' de Barsama istasyonundaki altı ölçüme ait ölçülen akım hızları ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere logaritmik dağılım modeli ölçülen hızlara göre bazen yüksek bazen de düşük kalmaktadır.



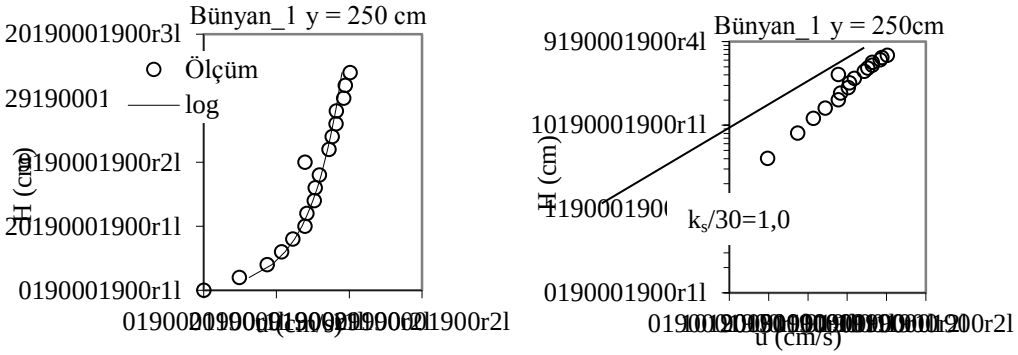
Şekil 5.31: Barsama ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği.

Barsama istasyonunda gerçekleştirilen altı ölçümde 0,20 ≤ y/T ≤ 0,80 aralığında ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) ifadesi ile belirlenmiştir. Logaritmik dağılım, ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Bağıl hata yüzdeleri %5,66 ile %23,67 arasında değişmektedir. Şahsenem istasyonunda gerçekleştirilen ölçümlerde ele alınan 0,20 ≤ y/T ≤ 0,80 aralığındaki düşeylere ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.23'te görüldüğü gibi %12,06 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.23: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Bar_1	y/Y	0,14	0,27	0,41	0,55	0,68			0,82	0,96	Ort
	Ö - Log	67,00	10,82	9,39	5,06	8,66			5,27	2,74	8,48
Bar_2	y/Y	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89		
	Ö - Log	16,35	5,21	7,53	6,13	11,84	8,94	6,60	11,58		7,71
Bar_3	y/Y	0,11	0,22	0,33	0,43	0,54	0,65	0,76	0,87	0,95	
	Ö - Log	6,60	3,85	5,44	7,10	3,58	4,78	9,19	8,04	5,57	**5,66**
Bar_4	y/Y	0,06	0,18	0,30	0,42	0,54	0,65	0,77		0,90	
	Ö - Log	29,67	3,53	4,12	9,75	8,06	16,50	39,30		19,56	15,55
Bar_5	y/Y		0,20	0,35	0,50	0,65					
	Ö - Log		12,51	13,85	12,54	6,38					11,32
Bar_6	y/Y		0,20	0,35	0,50	0,65	0,80				
	Ö - Log		14,79	19,93	13,23	62,36	8,03				**23,67**
Ortalama bağıl hata yüzdesi											**12,06**

Şahsenem ve Barsama istasyonlarındaki çalışmaların benzeri Bünyan kesiti için de yapılmıştır. Bünyan_1 ölçümüne ait y = 250 cm' de derinlik boyunca ölçülen hız dağılımı Şekil 5.32 (a)'da verilmiştir. Bu düşeye ait yarı logaritmik ölçekte çizilen hız dağılımı da Şekil 5.32 (b)' de gösterilmiştir. Bu şekilde logaritmik bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği nokta $k_s/30 = 1,0$ olarak belirlenmiştir. $k_s/30$ değeri diğer beş ölçüm durumunda ve ele alınan düşeylerde benzer şekilde tespit edilmiştir. Bu pürüzlülük yükseklikleri kullanılarak (2.27) ifadesi yardımı ile ölçülen hızlara logaritmik bölgede en iyi uyum gösteren kayma hızları u_* her bir düşey için belirlenmiş ve Çizelge 5.24' te verilmiştir. Şekil 5.32 (a)'dan görüleceği üzere logaritmik dağılım katı sınır ve serbest su yüzüne yakın bölgeler haricinde ölçüm hızlarını oldukça iyi temsil etmektedir.



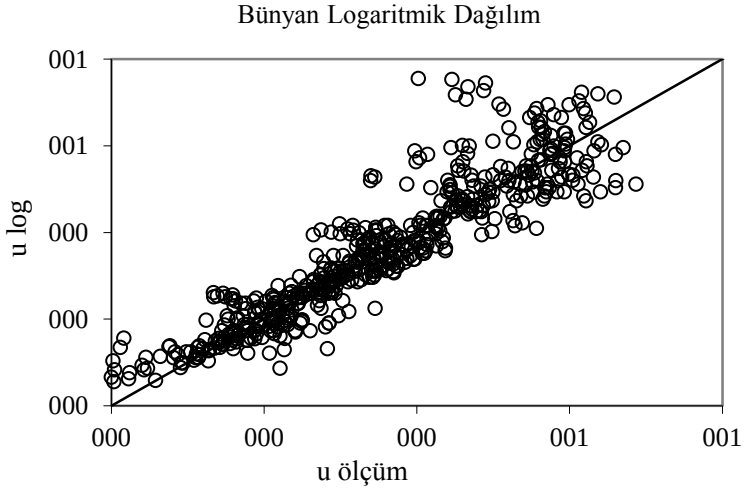
(a) (b)

Şekil 5.32 (a) – (b): Bünyan_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi.

Çizelge 5.24: Bünyan_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler.

y (cm)	50	100	150	200	250	300	350
$k_s/30$	1	1	1	1	1	1	1
k_s	30	30	30	30	30	30	30
u* (m/s)	5,0	5,0	6,0	4,8	3,6	3,0	3,2

Şekil 5.33' te Bünyan istasyonunda altı ölçüme ait ölçülen akım hızları ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere logaritmik dağılım modeli ölçülen hızlara göre bazen yüksek bazen de düşük kalmaktadır. Kanal tabanına ve serbest yüzeye yakın yerlerde logaritmik dağılım yüksek sonuçlar vermektedir.



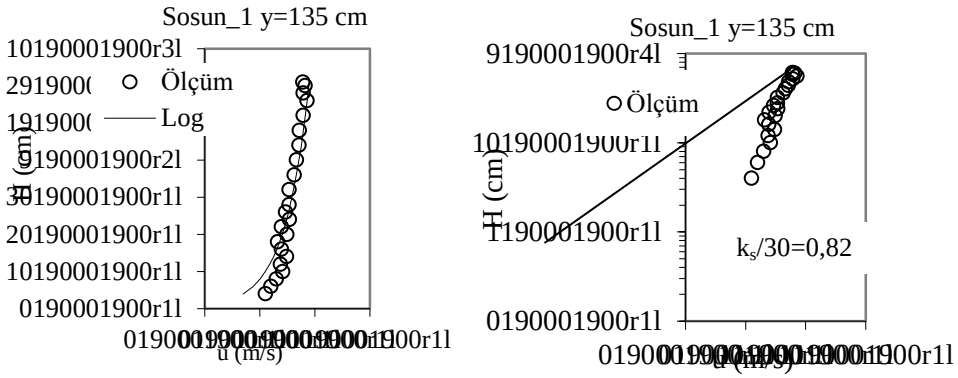
Şekil 5.33: Bünyan ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği.

Bünyan istasyonunda gerçekleştirilen altı ölçümde $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığında ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) ile belirlenmiştir. Logaritmik dağılım ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Bağıl hata yüzdeleri %7,26 ile %20,47 arasında değişmektedir. Bünyan istasyonunda gerçekleştirilen ölçümlerde ele alınan $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığındaki düşeylere ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.25'te görüldüğü gibi %14,01 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.25: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Bünyan_1	y/Y	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	Ort
	Ö - Log	17,66	9,74	6,49	7,25	5,13	7,70	7,35	**7,26**
Bünyan_2	y/Y	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	
	Ö - Log	32,94	9,00	12,88	11,81	12,34	17,03	3,00	12,61
Bünyan_3	y/Y	0,12	0,27	0,42	0,58		0,73	0,88	
	Ö - Log	38,75	9,03	10,42	13,54		48,90	41,36	**20,47**
Bünyan_4	y/Y	0,19		0,38	0,50		0,69		
	Ö - Log	13,77		8,92	26,79		9,65		15,12
Bünyan_5	y/Y	0,19		0,38	0,50	0,63			
	Ö - Log	9,10		7,33	13,88	15,45			12,22
Bünyan_6	y/Y	0,15	0,31		0,46	0,62			
	Ö - Log	14,38	20,01		17,12	12			16,38
Ortalama bağıl hata yüzdesi									**14,01**

Sosun kesiti için de logaritmik dağılım ile hız dağılımının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Sosun_1 ölçümüne ait y = 135 cm' de derinlik boyunca ölçülen hız dağılımı Şekil 5.34 (a)'da verilmiştir. Şekil 5.34 (b)' de ise bu düşeye ait yarı logaritmik ölçekte çizilen hız dağılımı gösterilmiştir. Bu şekilde logaritmik bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği nokta $k_s/30 = 0{,}82$ olarak belirlenmiştir. $k_s/30$ değeri diğer üç ölçüm durumunda ve ele alınan tüm düşeylerde benzer şekilde tespit edilmiştir. Bu pürüzlülük yükseklikleri kullanılarak (2.27) ifadesi yardımı ile ölçülen hızlara logaritmik bölgede en iyi uyum gösteren kayma hızları u_* her bir düşey için belirlenmiş ve Çizelge 5.26' da verilmiştir. Şekil 5.34 (a)'dan görüleceği üzere diğer kesitlerde olduğu gibi logaritmik dağılım katı sınır ve serbest su yüzüne yakın bölgeler haricinde ölçüm hızlarını oldukça iyi temsil etmektedir.



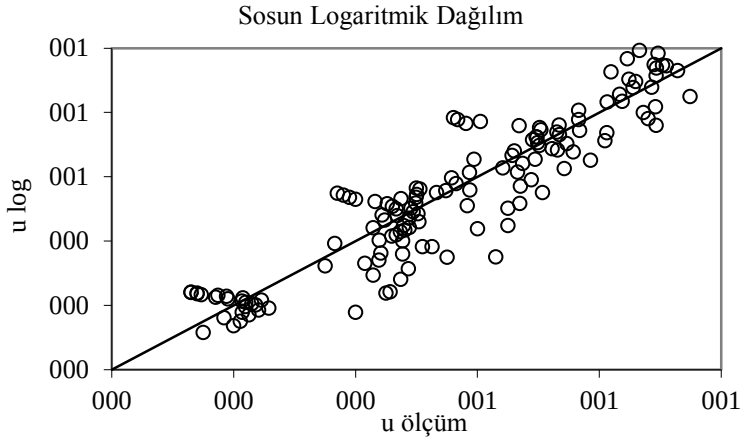
(a) (b)

Şekil 5.34 (a) – (b): Sosun_1 ölçümüne ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi.

Çizelge 5.26: Sosun_1 ölçümü logaritmik dağılıma ait belirlenen parametreler.

y	35	85	135	185	235	285
$k_s/30$	0,6	0,6	0,82	0,93	1,2	0,4
k_s	18	18	25	28	36	12
u* (m/s)	0,051	0,068	0,088	0,096	0,059	0,02

Şekil 5.35' te Sosun istasyonunda altı ölçüme ait ölçülen akım hızları ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere logaritmik dağılım modeli ölçülen hızlara göre bazen yüksek bazen de düşük kalmaktadır. Özellikle serbest yüzeye yakın yerlerde logaritmik dağılım yüksek sonuçlar vermektedir.



Şekil 5.35: Bünyan ölçümünde ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hız saçılım grafiği.

Sosun istasyonunda gerçekleştirilen altı ölçümde $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığında ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdesi (5.1) ile belirlenmiştir. Logaritmik dağılım ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Bağıl hata yüzdeleri 5.27'de görüldüğü gibi %7,18 ile %11,97 arasında değişmektedir. Sosun istasyonunda yapılan ölçümlerde ele alınan $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki düşeylere ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.27'de görüldüğü gibi %8,34 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.27: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Sosun_1	y/Y	0,11	0,27	0,42	0,58	0,73	0,89	Ort
	Ölçüm-Log	19,89	9,12	8,70	13,19	16,89	29,65	**11,97**
Sosun_2	y/Y	0,17	0,33	0,50	0,67		0,83	
	Ölçüm-Log	15,27	8,33	4,98	7,17		13,06	6,83
Sosun_3	y/Y	0,17	0,33	0,50	0,67		0,83	
	Ölçüm-Log	13,60	10,92	5,51	5,11		14,60	**7,18**
Sosun_4	y/Y	0,17	0,35	0,52	0,70		0,87	
	Ölçüm-Log	15,49	9,03	4,81	8,33		34,28	7,39
Ortalama bağıl hata yüzdesi								**8,34**

Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonlarında yapılan saha çalışmaları sonucunda logaritmik dağılım kullanılarak elde edilen hızlar ile ölçülen hızlar arasındaki bağıl hata yüzdelerinin ortalamaları Çizelge 5.28'de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi bağıl hata yüzdeleri %8,27 ile %14,01 aralığında değişmektedir. Bağıl hata yüzdelerinin ortalaması %10,67 olmaktadır.

Çizelge 5.28: Dört istasyon için ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplanan hızlar arasındaki ortalama bağıl hata yüzdeleri.

İstasyon Adı	Ölçüm - Log
Bünyan	14,01
Barsama	12,06
Şahsenem	8,27
Sosun	8,34
Ortalama	10,67

5.5 Anahtar Eğrisi ile Debinin Belirlenmesi

Bir akarsu üzerindeki belirli bir kesitten belirli bir zaman aralığında geçen su miktarını tespit etmek amacıyla kurulan tesislerin hepsine birden akım ölçüm istasyonu denir. Uygun bir akım ölçüm istasyonunda eşel, limnigraf, yüksek ölçü tesisi ve kontrol kesitinin bulunması gerekir. Akım ölçüm istasyonundan belirli bir zaman aralığında geçen suyun miktarını belirlemek için seviye değişimi gözlenir. Taşkın aylarında ise (özellikle limnigrafsız istasyonlarda) taşkın raporları tutulmalıdır.

Akarsularda belirlenmesi gereken akım özelliklerinin en önemlilerinden birisi olan debinin tespit edilebilmesi için nehir seviyesi ile debisi arasında anahtar eğrisi oluşturabilmek gerekir. Akarsularda akım ölçümleri yoğun emek ve zaman alıcı olmakla birlikte pahalıdır. Bundan dolayı, uygulamada genellikle nehir seviyeleri ölçümlerinden bir anahtar eğrisi kullanılarak nehir akışlarının tahmini yoluna gidilmektedir. Anahtar eğrileri genellikle seviye ile akış değerleri arasında (5.4) ifadesinde verilen eğrisel bir ilişki kurularak elde edilirler (Kişi, 2009). Akarsu enkesitinden geçen debiyi belirlemek için bir istasyonun debi-seviye bağıntısını belirledikten sonra sadece su seviyesini ölçmek yeterli olur ve bu seviyeye karşı gelen debi anahtar eğrisinden okunur (Bayazıt, 1995).

$$Q = aH^b \qquad \textbf{(5.4)}$$

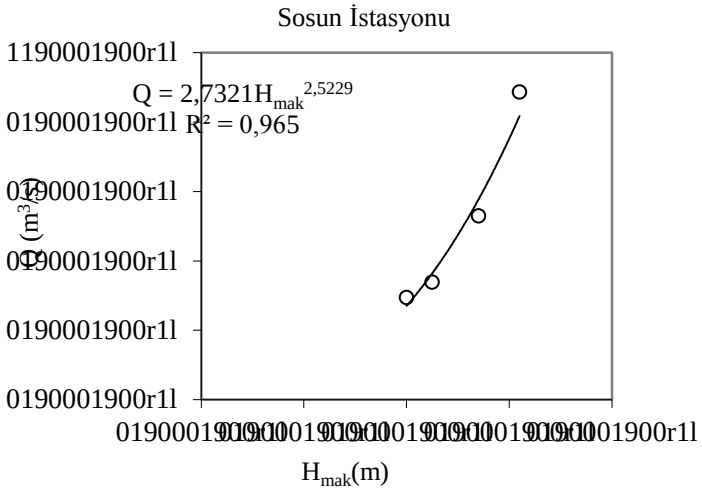
Burada Q; nehir akımı debisini, H; nehir su seviyesini, a ve b ise nehir akımı özelliklerine bağlı katsayıları göstermektedir.

Saha çalışması yapılan dört istasyonda kesitlere ait debiler ile en büyük su yüksekliği H_{mak} arasında üstel bir ilişki aranmıştır. Bu ilişki kullanılarak kesitlere ait oluşturulan anahtar eğrileri yardımıyla da debi belirlenmesine çalışılmıştır. Çizelge 5.29'da Sosun istasyonunda yapılan ölçümlerin tarihi birinci sütunda, hız alan yöntemi ile hesaplanan debiler Q, ikinci sütunda ve en büyük su yükseklikleri de üçüncü sütunda verilmiştir.

Çizelge 5.29: Sosun istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri.

Ölçüm	Tarih	Q	H_{mak}	Q_{AE}	$(Q-Q_{AE})/Q*100$
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)	(m^3/s)	%
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sosun_1	19.05.2009	0,886	62	0,818	7,68
Sosun _2	31.05.2009	0,294	40	0,271	7,92
Sosun _3	24.03.2010	0,338	45	0,364	7,81
Sosun _4	18.04.2010	0,529	54	0,577	9,12
Ortalama bağıl hata yüzdesi					8,13

Sosun kesiti için anahtar eğrisini oluşturabilmek amacıyla herbir ölçüme ait $Q\text{-}H_{mak}$ arasındaki dağılım çizilerek Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Şekilde anahtar eğrisini gösteren üstel dağılım ve bu dağılımlara ait R^2 değeri de verilmiştir.



Şekil 5.36: Sosun istasyonu anahtar eğrisi.

Sosun istasyonu için bu dağılım (5.5) ifadesindeki gibi elde edilmiştir. Sosun istasyonuna ait anahtar eğrisinin belirginlik katsayısı R^2 = 0,965 olarak belirlenmiştir. Bu değerden de anlaşılacağı üzere elde edilen üstel dağılım istasyon için oldukça anlamlı görülmektedir.

$$Q = 2.7321(H_{mak})^{2.5229} \quad \textbf{(5.5)}$$

Sosun istasyonunda gerçekleştirilen dört ölçüme ait hız alan yöntemi ile belirlenen debiler (Q) ile istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denklem (5.5)'den elde edilen debi değerleri (Q_{AE}) arasındaki bağıl hata yüzdeleri Çizelge 5.29'da beşinci sütunda gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüleceği üzere Sosun istasyonundaki bağıl hata

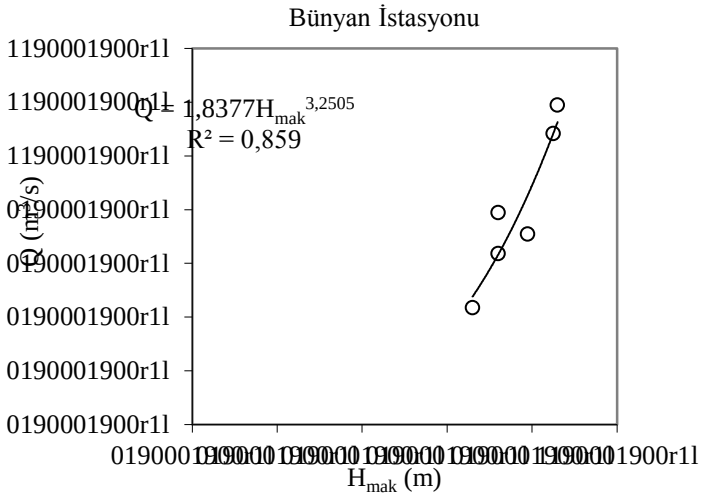
yüzdeleri %8 civarındadır. Bu oran da literatürdeki kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Yapılan 4 ölçüme ait ortalama fark da %8,13 olarak belirlenmiştir.

Bünyan istasyonunda saha çalışması sonucunda elde edilen ve kesite ait anahtar eğrisi oluşturulurken kullanılan akım özellikleri Çizelge 5.30'da verilmiştir.

Çizelge 5.30: Bünyan istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri.

Ölçüm	Tarih	Q	H_{mak}	Q_{AE}	$(Q-Q_{AE})/Q*100$
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)	(m^3/s)	%
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bünyan_1	24.06.2009	0,788	72	0,631	19,83
Bünyan_2	08.02.2009	0,434	66	0,476	9,70
Bünyan_3	27.09.2009	0,636	72	0,631	0,67
Bünyan_4	04.04.2010	1,082	85	1,084	0,14
Bünyan_5	16.05.2010	1,188	86	1,126	5,26
Bünyan_6	20.06.2010	0,708	79	0,854	20,64
Ortalama bağıl hata yüzdesi					9,37

Sosun istasyonunda yapılan çalışmaların benzeri Bünyan kesiti için de yapılmıştır. Anahtar eğrisini oluşturabilmek amacıyla herbir ölçüme ait $Q\text{-}H_{mak}$ arasındaki dağılım çizilerek Şekil 5.37'de gösterilmiştir. Şekilde anahtar eğrisini gösteren üstel dağılım ve bu dağılımlara ait R^2 değeri de verilmiştir.



Şekil 5.37: Bünyan istasyonu anahtar eğrisi.

Bünyan istasyonu için bu dağılım (5.6) ifadesindeki gibi elde edilmiştir. Bünyan istasyonuna ait anahtar eğrisinin belirginlik katsayısı R^2 = 0,859 olarak belirlenmiştir. Bu değerden de anlaşılacağı üzere elde edilen üstel dağılım istasyon için oldukça anlamlı görülmektedir.

$$Q = 1.8377(H_{mak})^{3.2505} \quad \textbf{(5.6)}$$

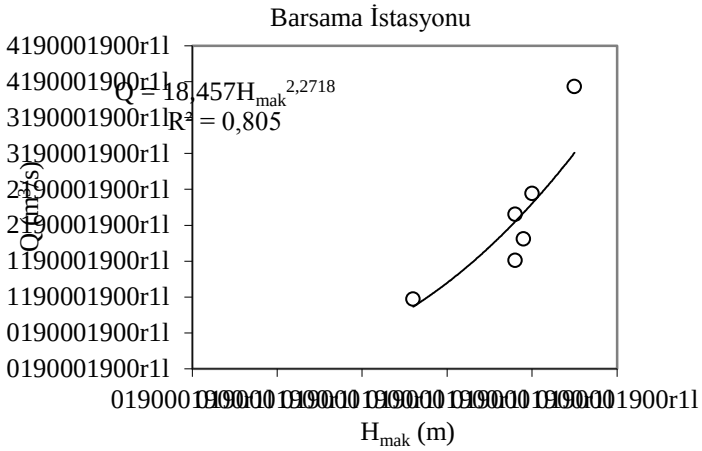
Bünyan istasyonunda gerçekleştirilen altı ölçüme ait hız alan yöntemi ile belirlenen debiler (Q) ile istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denklem (5.6)'dan elde edilen debi değerleri (Q_{AE}) arasındaki bağıl hata yüzdeleri Çizelge 5.30'da gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüleceği üzere Bünyan istasyonundaki bağıl hata yüzdeleri %0,14 ile %20,64 arasında değişmektedir. Yapılan 6 ölçüme ait ortalama fark da %9,37 olarak belirlenmiştir.

Barsama istasyonunda saha çalışması sonucunda elde edilen ve kesite ait anahtar eğrisi oluşturulurken kullanılan akım özellikleri Çizelge 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5.31: Barsama istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri.

Ölçüm	Tarih	Q	H_{mak}	Q_{AE}	$(Q-Q_{AE})/Q*100$
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)	(m^3/s)	%
Barsama_1	28.05.2005	1,81	39	2,17	20,08
Barsama_2	19.05.2006	2,44	40	2,30	5,65
Barsama_3	19.05.2009	3,93	45	3,01	23,45
Barsama_4	31.05.2009	0,97	26	0,87	10,81
Barsama_5	24.03.2010	1,51	38	2,05	35,69
Barsama_6	18.04.2010	2,15	38	2,05	4,70
Ortalama bağıl hata yüzdesi					16,73

Barsama istasyonunda da anahtar eğrisini oluşturabilmek amacıyla herbir ölçüme ait $Q\text{-}H_{mak}$ arasındaki dağılım çizilerek Şekil 5.48'de gösterilmiştir. Şekilde anahtar eğrisini gösteren üstel dağılım ve bu dağılımlara ait R^2 değeri de verilmiştir.



Şekil 5.38: Barsama istasyonu anahtar eğrisi.

Barsama istasyonu için bu dağılım (5.7) ifadesindeki gibi elde edilmiştir. Barsama istasyonuna ait anahtar eğrisinin belirginlik katsayısı R^2 = 0,805 olarak belirlenmiştir. Bu değerden de anlaşılacağı üzere elde edilen üstel dağılım istasyon için anlamlı görülmektedir.

$$Q = 18.457(H_{mak})^{2.2718} \quad \textbf{(5.7)}$$

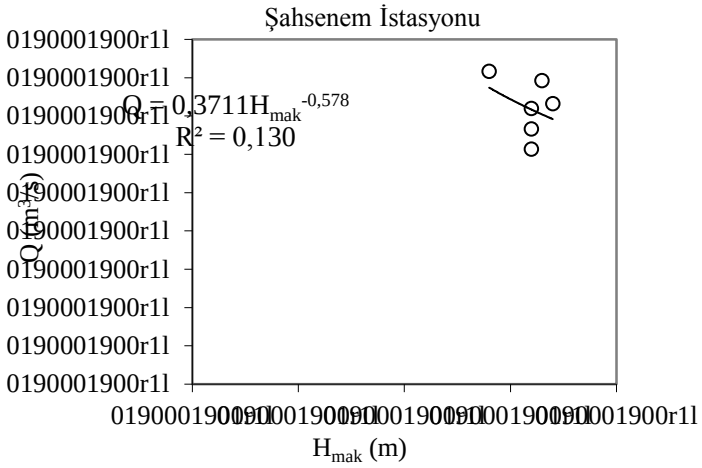
Barsama istasyonunda gerçekleştirilen altı ölçüme ait hız alan yöntemi ile belirlenen debiler (Q) ile istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denklem (5.7)'den elde edilen debi değerleri (Q_{AE}) arasındaki bağıl hata yüzdeleri Çizelge 5.31'de gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüleceği üzere Barsama istasyonundaki bağıl hata yüzdeleri %4,70 ile %35,69 arasında değişmektedir. Yapılan 6 ölçüme ait ortalama fark da %16,73 olarak belirlenmiştir.

Şahsenem istasyonunda kesite ait anahtar eğrisi oluşturulurken kullanılan akım özellikleri Çizelge 5.32'de verilmiştir.

Çizelge 5.32: Şahsenem istasyonuna ait anahtar eğrisine esas akım özellikleri.

Ölçüm	Tarih	Q	H_{mak}
	g/a/y	(m^3/s)	(cm)
Şahsenem_1	29.03.2006	0,816	28
Şahsenem_2	20.10.2007	0,719	32
Şahsenem_3	22.03.2008	0,792	33
Şahsenem_4	03.05.2008	0,613	32
Şahsenem_5	11.10.2008	0,666	32
Şahsenem_6	08.11.2008	0,732	34

Şahsenem istasyonunda da diğer istasyonlarda olduğu gibi anahtar eğrisini oluşturabilmek amacıyla benzer çalışmalar yapılmıştır. Herbir ölçüme ait Q-H_{mak} arasındaki dağılım çizilerek Şekil 5.39'da gösterilmiştir. Şekilde anahtar eğrisini gösteren üstel dağılım ve bu dağılımlara ait R^2 değeri de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ölçümlerde debi ve seviyeler çok yakın kalmaktadır. Dolayısıyla anlamlı bir anahtar eğrisi elde edilememiştir.

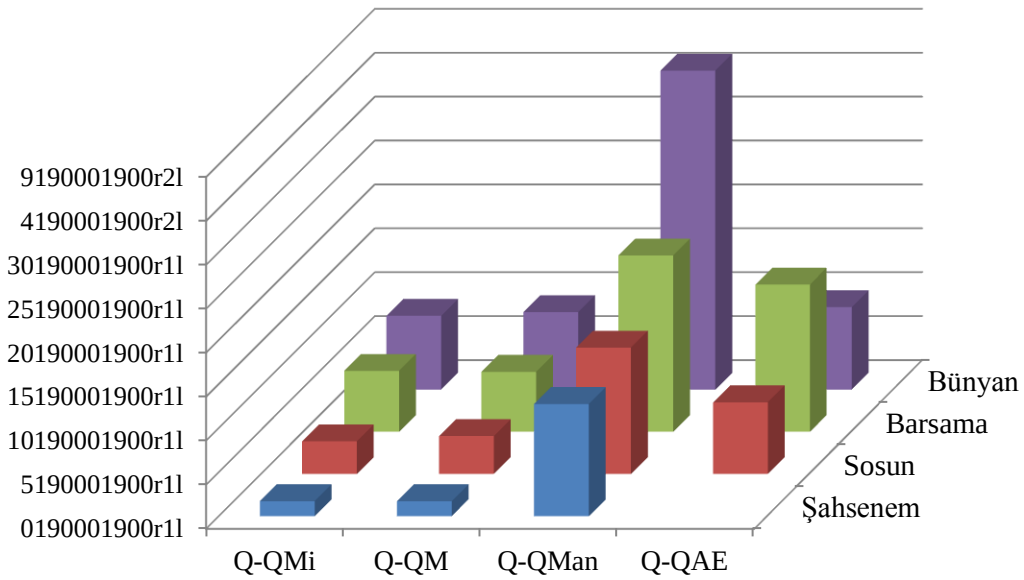


Şekil 5.39: Şahsenem istasyonu anahtar eğrisi.

Çizelge 5.33'te istasyonlara ait hız alan yöntemi kullanılarak hesaplanan Q debileri ile herbir istasyona ait bilinen M_i değeri ile hesaplanan debi değerleri Q_{Mi} arasındaki bağıl hata yüzdelerinin ortalaması birinci sütunda verilmiştir. Yine aynı çizelgede ortak entropi parameteresi kullanılarak hesaplanan Q_M debileri ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdelerinin ortalaması ikinci sütunda, Manning eşitliği kullanılarak elde edilen debiler Q_{Man} ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdelerinin ortalaması da üçüncü sütunda verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi Anahtar Eğrisi kullanılarak hesaplanan debi Q_{AE} ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdesi %11,4 olarak hesaplanmıştır. Bu bağıl hata yüzdesinin Q_M ve Q_{Mi} debileri ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdelerine göre yüksek kaldığı buna karşılık Manning eşitliği kullanılarak hesaplanan Q_{Man} ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdesine göre ise düşük kaldığı görülmektedir. Şekil 5.40'da bu bağıl hata yüzdelerine ait çubuk grafikler çizilmiştir.

Çizelge 5.33: İstasyonlara ait ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M, Q_{Mi} ve Q_{Man} arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

Ölçüm	$Q-Q_{Mi}$	$Q-Q_M$	$Q-Q_{Man}$	$Q-Q_{AE}$
	%	%	%	%
Barsama	6,9	6,8	20,1	16,7
Şahsenem	1,7	1,7	12,7	-
Bünyan	8,4	8,8	36,3	9,4
Sosun	3,7	4,3	14,3	8,1
Ortalama=	5,2	5,4	20,9	11,4



Şekil 5.40: Dört istasyon için ölçülmüş debi Q ve hesap edilen debiler Q_M, Q_{Mi}, Q_{Man} ve Q_{AE} arasındaki bağıl hata yüzdeleri.

6. HIZ DAĞILIMI İÇİN YENİ BİR ENTROPİ MODELİ

6.1 Yeni Bir Entropi Modeli

Bölüm 5'de izah edildiği üzere ele alınan dört istasyonda entropi yöntemi hız dağılımını modellemek için kullanılabilmektedir. Ancak bu amaçla ölçüm kesiti ve akıma ait üç parametrenin bilinmesi gereklidir. Bu parametreler, kesite ait entropi parametresi M, hız dağılımı belirlenecek düşeydeki en büyük hız u_{mak} ve bu düşeydeki en büyük hızın oluştuğu yüksekliktir z_{mak}.

Literatürde belirtildiği üzere bir akarsu kesitinde, akıma ait ortalama ve en büyük hız oranı (U/u_{mak}) değişmemekte dolayısıyla enkesite ait entropi parametresi M sabit kalmaktadır. Debi hesabında açıklandığı gibi birbirine yakın ve benzer özellikler taşıyan enkesitlere ait genel bir entropi parametresi tanımlanabilmektedir. Her bir istasyon için belirlenen entropi parametreleri kullanılarak hesaplanan debiler ile gerçek debiler arasındaki dört istasyona ait ortalama bağıl hata yüzdesi Çizelge 5.9'da görüldüğü gibi %5,2 olarak hesaplanmıştır. Dört istasyon için hesaplanan ortak entropi parametresi M = 1,31 değeri kullanılarak hesaplanan debiler ile gerçek debiler arasındaki bağıl hata yüzdesi de aynı çizelgede %5,4 olarak belirlenmiştir. Bu iki farkın oldukça yakın olması nedeniyle hız dağılımı için de ortak M = 1,31 değerinin kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Enkesit boyunca istenilen düşeyde hız dağılımının belirlenmesi için kesite ait bilinen M değerinin yanısıra en büyük hızın değerinin (u_{mak}) ve oluştuğu yerin (z_{mak}) ölçüm yapılarak tespit edilmesi gerekmektedir. Bu ölçümler ise yoğun emek ve zaman gerektirmekle birlikte taşkın durumlarında gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Enkesitte debi hesabı için gerekli en büyük hızın yerinin tahmini için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmış olup en büyük hızın kesit orta bölgelerine yakın derin

bölgedeki düşeyde ve su yüzü yakınlarında oluştuğu bildirilmektedir (Seçkin ve diğ., 2004). Ancak enkesit boyunca farklı düşeylerdeki hız dağılımı için gerekli olan bu değerlerin belirlenmesi her defasında birkaç ölçüm yapılmasını zorunlu kılar. Bu ölçümler de zaman alıcı yoğun iş gücü gerektirir.

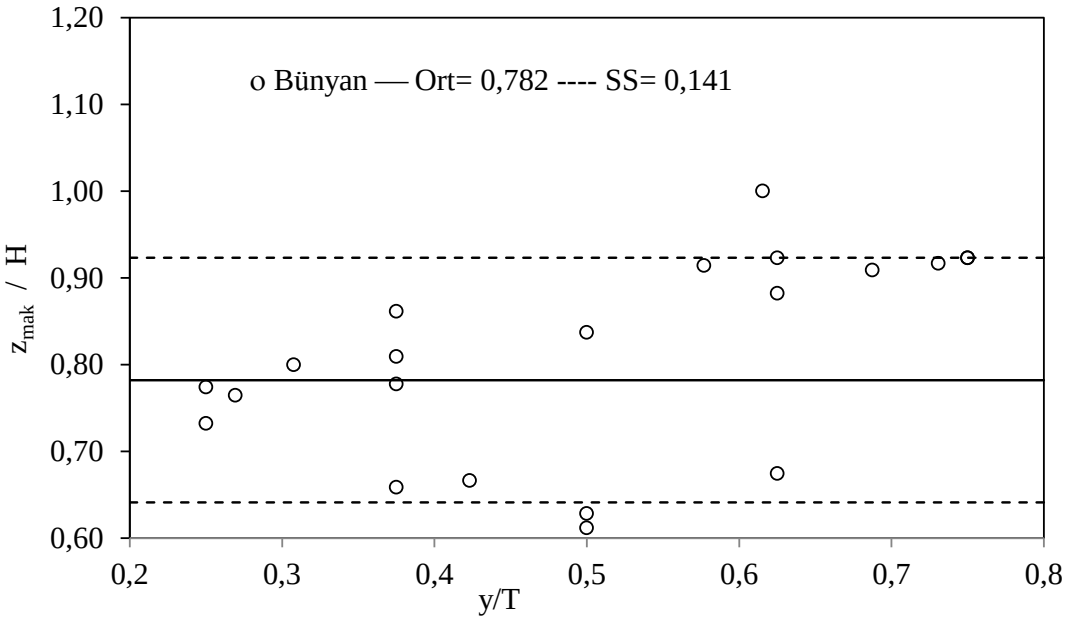
Bu çalışma kapsamında ele alınan düşeylerde en büyük hızın yerinin ve büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla daha kolay ölçülebilen derinliğe bağlı bir ilişki aranmıştır. Literatürde açık kanal akımları kesit oranı T/R' ye bağlı (burada T; serbest su yüzü genişliği, R; hidrolik yarıçap) olarak dar kanal akımları ($T/R \leq 5–10$) ve geniş kanal akımları ($T/R \geq 5–10$) olarak sınıflandırılmaktadır. Geniş kanallarda en büyük hız genellikle su yüzüne yakın bölgede oluşurken, dar kanallarda yan duvarların etkisi ile en büyük hız su yüzünün alt bölgesinde oluşmaktadır. Bu olaya dalma etkisi (dip effect) adı verilmektedir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2012). Ölçümlerin gerçekleştirildiği dört istasyonda kesit oranı T/R değerleri ele alınan akım durumlarında $6,5 \leq T/R \leq 45,4$ aralığında değişmektedir.

Ele alınan kesitlerde kanal yan cidar yakınlarında gerek malzeme dağılımındaki gerekse buradaki bitki dokusuna bağlı düzensizlik hızı oldukça yavaşlatmaktadır. Dolayısıyla bu bölgelerde kütle taşınımı düşük olmakta ve hız dağılımı düzenli bir şekil sergilememektedir. Ele alınan modelde enkesitin katı sınıra yakın bölgeleri ($y/T < 0,2$ ve $y/T > 0,8$) bu nedenlerle değerlendirme dışı bırakılmıştır.

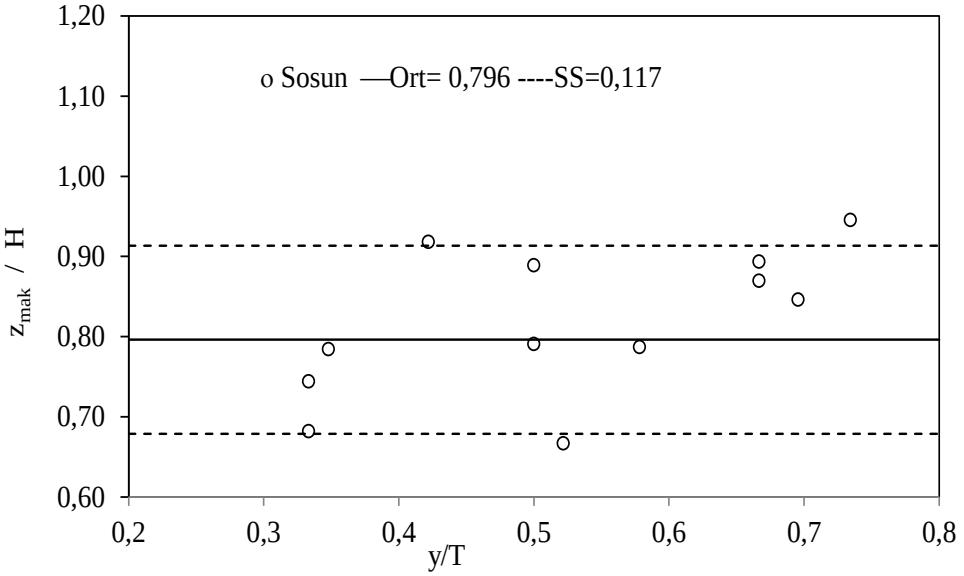
6.2 Bünyan ve Sosun İstasyonlarında z_{mak}/H Oranının Belirlenmesi

Bünyan istasyonunda gerçekleştirilen ölçümlerde altı farklı akım durumunda kesit oranı $7,0 \leq T/R \leq 8,2$ aralığında, Sosun istasyonunda ise dört farklı akım durumunda $6,5 \leq T/R \leq 9,5$ aralığında değişmektedir. Dolayısıyla bu kanallardaki akım dar kanal akımı olmakta ve en büyük hızın su yüzünün altında olması beklenmektedir. Kesit oranının 10,0'dan küçük olduğu bu iki istasyondaki akımlarda, enkesitin $0,2 \leq y/T \leq 0,8$ aralığındaki düşeylerde ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi (z_{mak}/H) Şekil 6.1 ve Şekil 6.2' de gösterilmiştir.

Şekil 6.1'de verilen Bünyan istasyonuna ait grafikten en büyük hızın yerinin ele alınan düşeylerde yaklaşık sabit kaldığı ve z_{mak}/H = 0,782 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlere ait standart sapma da SS = 0,141 olarak hesaplanmıştır. Benzer çalışmaların yapıldığı Sosun istasyonunda da Şekil 6.2'de görüleceği üzere z_{mak}/H = 0,796 ve standart sapma da SS = 0,117 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla benzer dar kanallarda en büyük hızın yerinin su yüzünün 0,20-0,21H altında oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.1: Bünyan istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi.



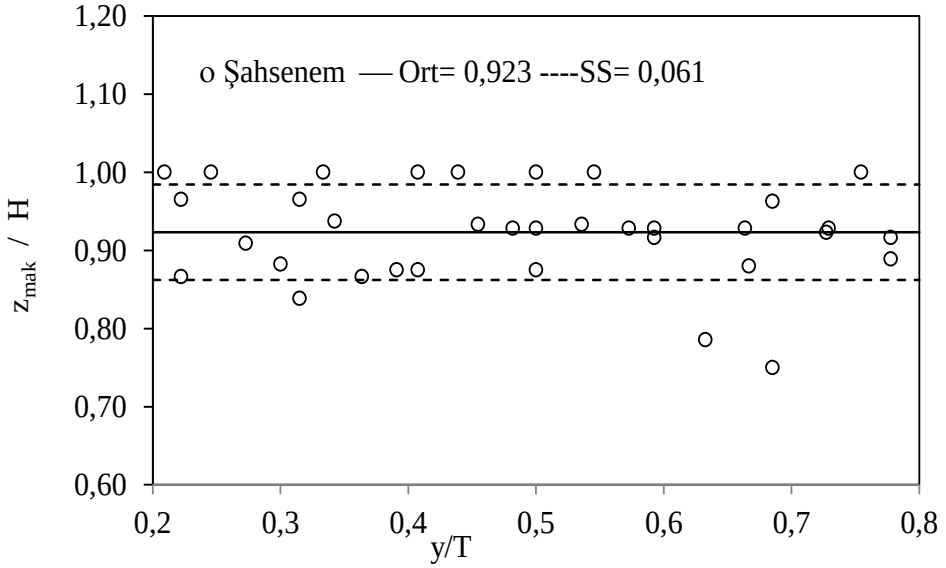
Şekil 6.2: Sosun istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi.

6.3 Şahsenem ve Barsama İstasyonlarında z_{mak}/H Oranının Belirlenmesi

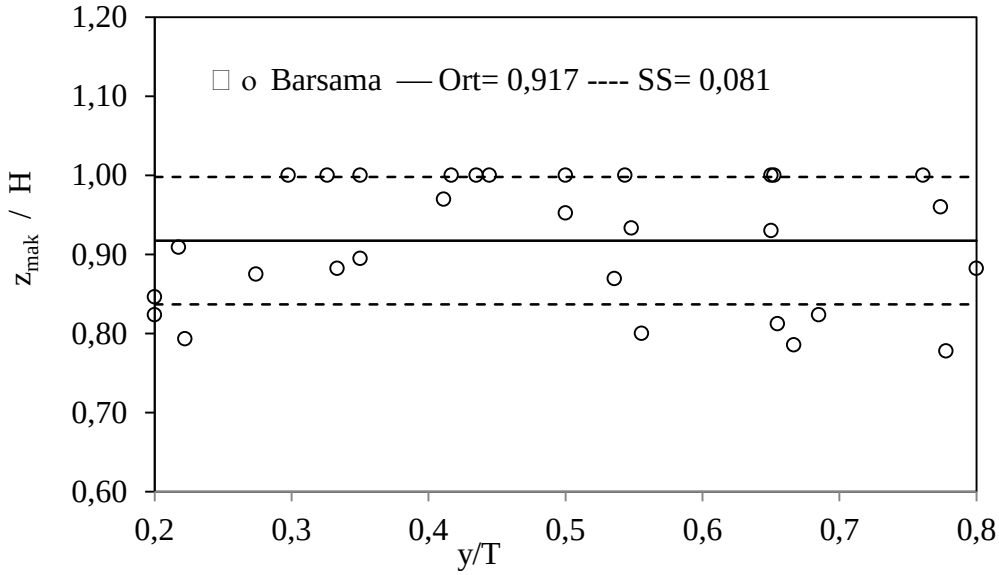
Kesit oranının 10,0'dan büyük olduğu Şahsenem istasyonunda gerçekleştirilen ölçümlerde altı farklı akım durumunda bu oran $19,6 \leq T/R \leq 26,8$ aralığında değişmektedir. Yine altı farklı akım durumunda ölçüm yapılan Barsama istasyonunda da kesit oranının $22,1 \leq T/R \leq 45,4$ aralığında değiştiği Çizelge 4.9'da görülmektedir. Geniş kanal akımları olarak sınıflandırılan bu akımlara ait en büyük hızın yerinin enkesit boyunca değişimi (z_{mak}/H) Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

Şekil 6.3'te verilen Şahsenem istasyonuna ait grafikten en büyük hızın yerinin ele alınan düşeylerde yaklaşık sabit kaldığı ve $z_{mak}/H = 0,923$ olduğu belirlenmiştir. Bu değerlere ait standart sapma da SS = 0,061 olup dar kanallara göre daha düşük olmaktadır. Barsama istasyonu da Şekil 6.4'te görüleceği üzere $z_{mak}/H = 0,917$ ve standart sapma da SS = 0,081 olarak hesaplanmıştır. Yine bu istasyona ait en büyük hızın ele alınan düşeydeki yerine ait standart sapma dar kanallara göre düşük olmaktadır. Yani en büyük hızın bulunduğu yer, derinliğin su yüzünden 0,08H altında oluştuğu anlaşılmaktadır. Geniş kanallar için en büyük hızın yerinin su yüzüne daha yakın olması gerektiği düşüncesini de doğrulamaktadır. Dolayısıyla

geniş kanallarda (T/R ≥ 10,0) en büyük hızın yerinin su yüzüne yakın bölgede su yüzünün 0,07-0,08H altında aranabileceği belirlenmiştir.



Şekil 6.3: Şahsenem istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi.

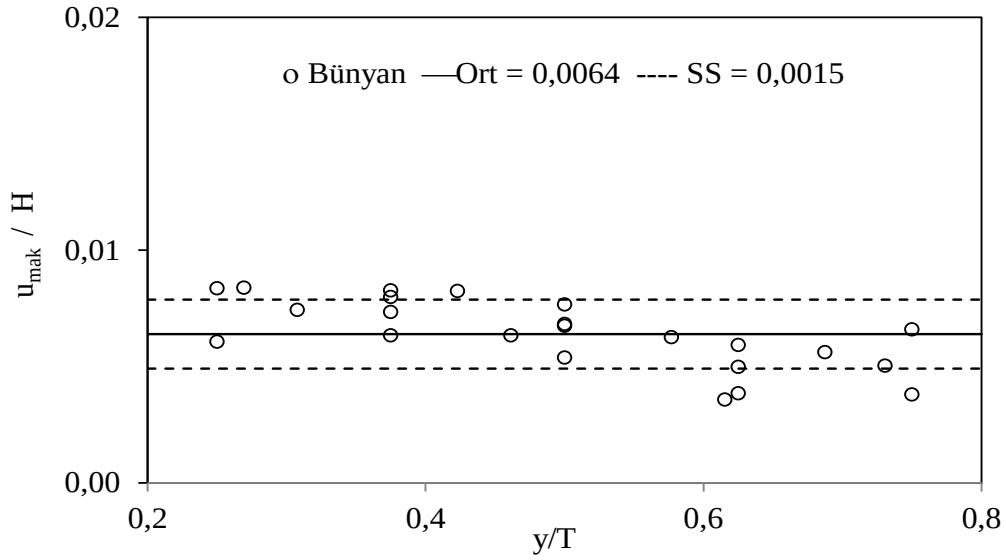


Şekil 6.4: Barsama istasyonunda ölçülen en büyük hızın yerinin derinlikle değişimi.

6.4 Bünyan ve Sosun İstasyonlarında u_{mak}/H Oranının Belirlenmesi

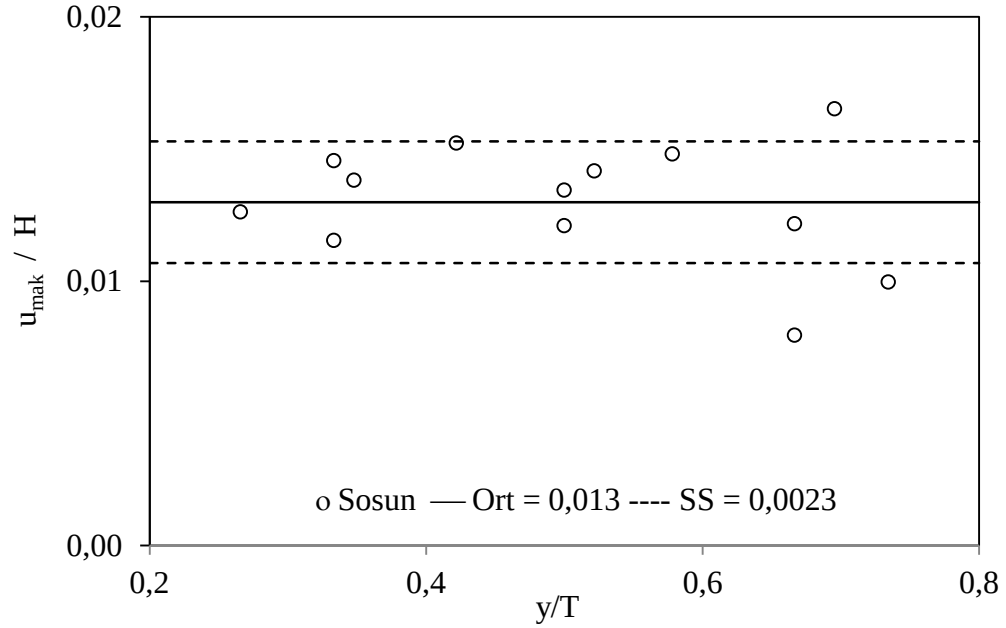
Entropi hız dağılımı için gerekli olan en büyük hızın yeri kanal kesit oranına bağlı olarak yukarda izah edildiği üzere belirlenebilmektedir. Ancak entropi dağılımı için sadece en büyük hızın oluştuğu (z_{mak}) derinliğinin veya dalma derinliğinin (h) bilinmesi yeterli olmamaktadır. Ele alınan düşey için en büyük hızın değerinin de (u_{mak}) bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilecek hız ölçümleri konumu belli olsa da yine zaman alıcı ve emek gerektiren çalışmaları içermektedir. Dolayısıyla kolay ölçülebilen veya enkesit boyunca bilinen bir parametreye bağlı en büyük hızın değerinin belirlenmesi modelleme çalışmalarına büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu amaçla ele alınan dört istasyonda gerçekleştirilen tüm ölçüm durumlarında yine $0,2 \leq y/T \leq 0,8$ aralığındaki düşeyler için u_{mak}/H ilişkisi incelenmiştir.

Ölçümlerin yapıldığı Bünyan istasyonunda altı ölçüm durumunda enkesitin $0,2 \leq y/T \leq 0,8$ aralığında u_{mak}/H ilişkisi Şekil 6.5'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere bu istasyona ait ortalama $u_{mak}/H = 0,0064$ ve bu ölçümlere ait standart sapma da oldukça küçük olmaktadır (SS = 0,0015). Şekilde ölçüm değerlerine ait ortalama düz çizgi ile ve ölçümlerin bu ortalamadan artı/eksi sapma değerleri de kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Dolayısıyla Bünyan istasyonu için ele alınan düşeyde en büyük hızın değeri belirlenen ortalama değerin ($u_{mak}/H = 0,0064$) o düşeye ait derinlik ile çarpılmasıyla kolaylıkla hesaplanabilir. Dolayısıyla entropi hız dağılım modelindeki parametreler (z_{mak}, u_{mak}) sadece bilinen ve/veya kolaylıkla ölçülebilen derinliğe bağlı olarak tahmin edilebilmektedir.



Şekil 6.5: Bünyan istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi.

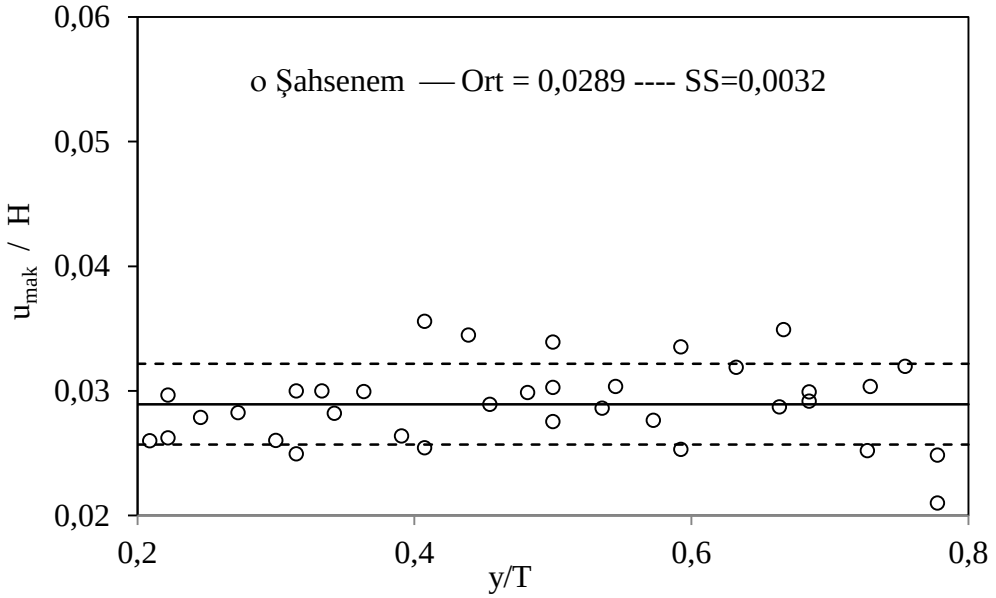
Saha çalışması yapılan Sosun istasyonu içinde u_{mak}/H ilişkisinin enkesit boyunca değişimi Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Sosun istasyonu için ortalama u_{mak}/H değeri 0,013 olarak grafikte düz çizgi ile gösterilmiştir. Ölçülen değerlere ait (+) – (-) standart sapmalar da şekil üzerinde kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere Sosun istasyonuna ait standart sapma değeri SS = 0,0023 oldukça küçük hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu istasyon için ele alınacak düşeyde en büyük hız değeri (u_{mak}), H derinliğinin 0,013 ile çarpılmasıyla kolaylıkla hesaplanabilecektir.



Şekil 6.6: Sosun istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi.

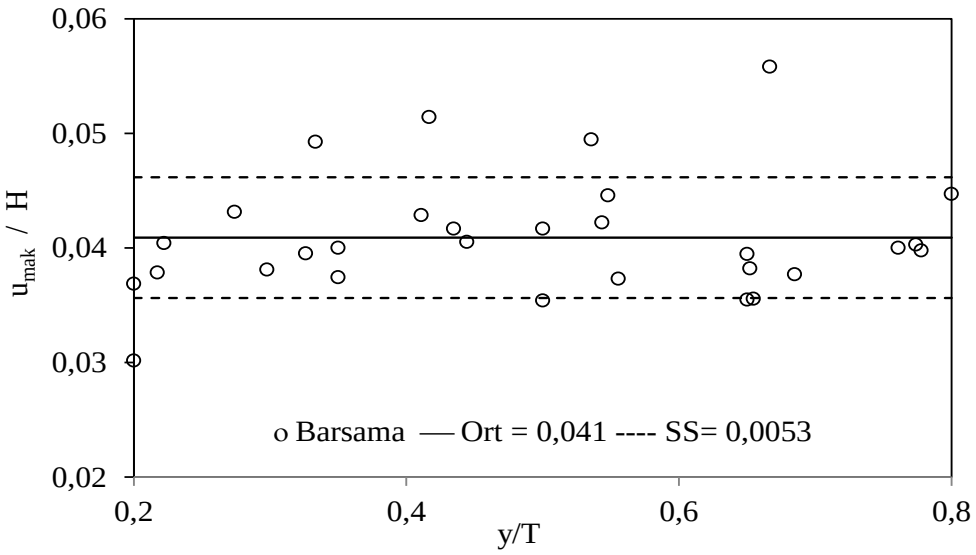
6.5 Şahsenem ve Barsama İstasyonlarında u_{mak}/H Oranının Belirlenmesi

Benzer şekilde ölçüm yapılan diğer istasyon olan Şahsenem'de de enkesit boyunca u_{mak}/H ilişkisi Şekil 6.7' de gösterilmiştir. Şahsenem istasyonu için ortalama u_{mak}/H değeri 0,0289 olarak belirlenmiştir. Şekilden görüleceği üzere Şahsenem istasyonuna ait standart sapma değeri de SS = 0,0032 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu istasyon içinde ele alınacak düşeyde en büyük hız değeri H derinliğinin 0,0289 ile çarpılmasıyla kolaylıkla bulunabilecektir.



Şekil 6.7: Şahsenem istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi.

Arazi çalışması yapılan Barsama istasyonunda da enkesit boyunca elde edilen u_{mak}/H ilişkisi Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Barsama istasyonu için ortalama u_{mak}/H değeri 0,041 olarak belirlenmiştir. Şekilden görüleceği üzere Barsama istasyonuna ait standart sapma değeri de SS = 0,0053 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu istasyon içinde ele alınacak düşeyde en büyük hız değeri H derinliğinin 0,041 ile çarpılarak kolaylıkla hesaplanabilecektir.



Şekil 6.8: Barsama istasyonunda ölçülen en büyük hızın derinlikle değişimi.

6.6 Bünyan İstasyonunda Hız Dağılımı

Saha çalışması yapılan Bünyan istasyonunda (3.17) ifadesi ile verilen entropi hız dağılımı, ele alınan kesit ve düşeyde derinliğe bağlı bilinen u_{mak} ve yeri z_{mak} kullanılarak belirlenecektir. Bu amaçla farklı tarihlerde yapılan ölçümlerde altı ayrı akım durumunda ve ölçüm yapılan ele alınan her bir düşeydeki derinlikler (H) kullanılacaktır. Bu istasyonda en kesitin $0,2 \leq y/T \leq 0,8$ aralığında belirlenen ortalama $z_{mak}/H = 0,782$ ve $u_{mak}/H = 0,0064$ değerleri kullanılacaktır. Çizelge 6.1'de Bünyan_1 çalışmasına ait ölçüm yapılan düşeyin yerinin kesit genişliğine oranı (y/T) ve ölçüm yapılan düşeydeki su derinliği (H) ilk iki sütunda verilmiştir. Ele alınan istasyona ait belirlenen $z_{mak}/H = 0,782$ oranı ile akım derinliği çarpılarak hesaplanan en büyük hızın oluşma yeri z_{mak} 3. sütunda ve yine kesite ait belirlenen $u_{mak}/H = 0,0064$ oranı ile hesaplanan en büyük hız (u_{mak}) 4. sütunda verilmiştir.

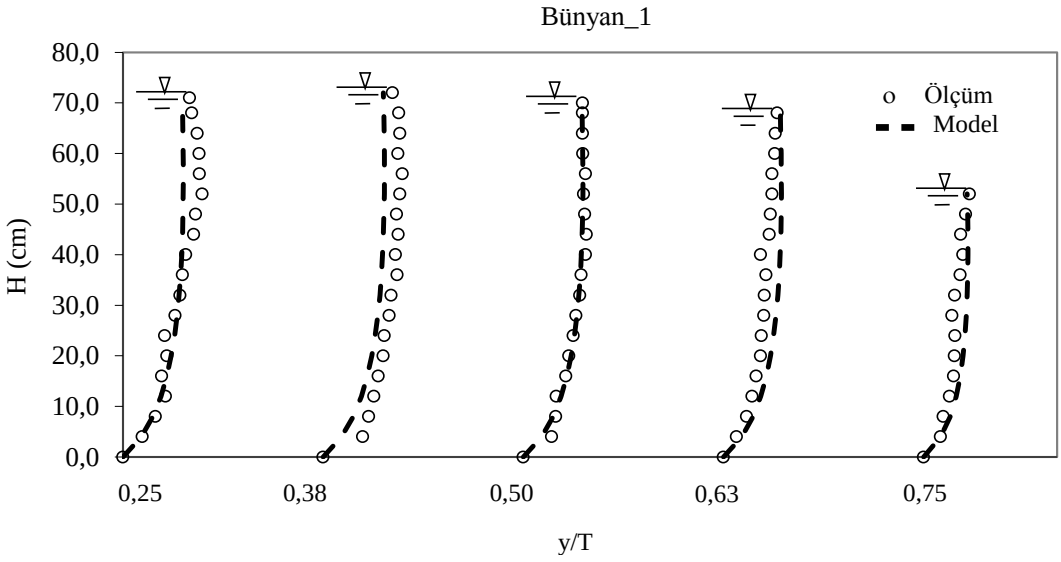
Çizelge 6.1: Bünyan_1 ölçümüne ait akım değerleri.

y/T	**H**	**z_{mak}**	**u_{mak}**
	(cm)	(cm)	(m/s)
1	2	3	4
0,250	71	55,54	0,453
0,375	72	56,32	0,460
0,500	70	54,75	0,447
0,625	68	53,19	0,434
0,750	52	40,67	0,332

Ölçüm yapılan kesitte her bir düşeyde hesaplanan z_{mak} ve u_{mak} değerleri belirlendikten sonra ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak (3.17) ifadesi yardımıyla hesaplanan her bir düşeydeki hız değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Bu çizelgede ilk iki satırda ölçüm yapılan düşeyde en büyük hızın oluştuğu yer (z_{mak_1}) ve o düşeydeki en büyük hızın hesaplanan değerleri (u_{mak_1}) verilmiştir. Ölçüm yapılan düşeylerde (z) hesaplanan hızlar (u) tabloda verilmiştir. Bünyan_1 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları Şekil 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.2: Bünyan_1 ölçümüne ait yeni entropi modeli ile hesaplanan hızlar.

z_{mak_1}	55,54		56,32		54,75		53,19		40,67	
u_{mak_1}	0,453		0,460		0,447		0,434		0,332	
	y=100cm		**y=150cm**		**y=200 cm**		**y=250 cm**		**y=300 cm**	
	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)	z (cm)	u (m/sn)
	4	0,139	4	0,139	4	0,138	4	0,137	4	0,128
	8	0,225	8	0,226	8	0,224	8	0,222	8	0,198
	12	0,285	12	0,287	12	0,283	12	0,280	12	0,244
	16	0,329	16	0,332	16	0,327	16	0,321	16	0,274
	20	0,362	20	0,365	20	0,359	20	0,353	20	0,296
	24	0,387	24	0,391	24	0,384	24	0,376	24	0,311
	28	0,407	28	0,411	28	0,403	28	0,394	28	0,321
	32	0,422	32	0,426	32	0,417	32	0,408	32	0,327
	36	0,433	36	0,438	36	0,428	36	0,418	36	0,331
	40	0,441	40	0,446	40	0,436	40	0,425	40	0,332
	44	0,447	44	0,452	44	0,441	44	0,430	44	0,331
	48	0,451	48	0,457	48	0,445	48	0,433	48	0,329
	52	0,453	52	0,459	52	0,447	52	0,434	52	0,326
	56	0,453	56	0,460	56	0,447	56	0,434		
	60	0,452	60	0,459	60	0,446	60	0,432		
	64	0,451	64	0,457	64	0,444	64	0,430		
	68	0,448	68	0,455	68	0,441	68	0,426		
	71	0,445	72	0,451	70	0,439				



Şekil 6.9: Bünyan_1 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.

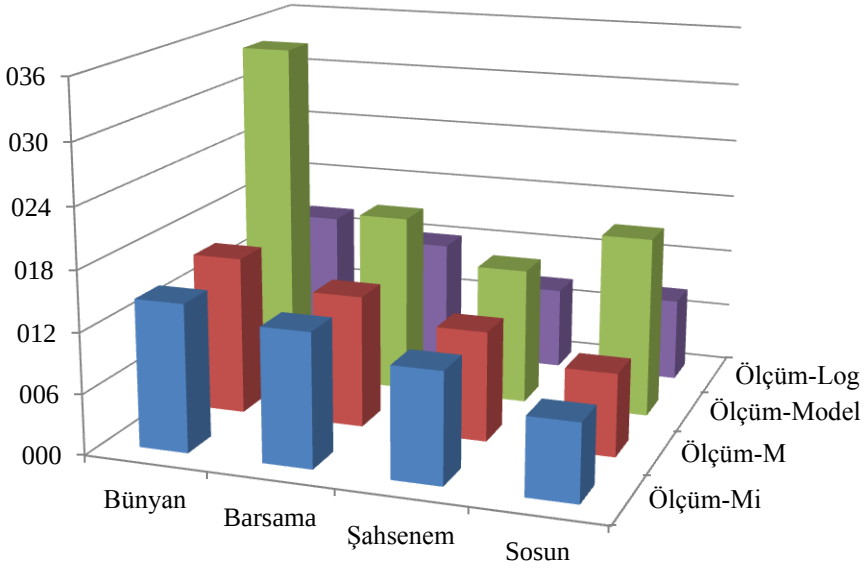
Çizelge 5.10 (b)-(f)' de Bünyan_1 istasyonunda gerçekleştirilen ölçüm 1.sütunda ve ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak yeni entropi modeli ile hesaplanan entropi hız dağılımı sütun 4'de verilmiştir. Bu hızlara ait (5.1) ifadesi ile benzer şekilde hesaplanan bağıl hata yüzdesi de aynı çizelgede 7. sütunda gösterilmiştir. Çizelgede her bir düşeye ait bağıl hata yüzdelerinin ortalaması en altta yer almaktadır. Çizelgeden görüleceği üzere Bünyan_1 ölçümünde y = 100 cm düşeyde (y/T = 0,25) ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hızlara ait ortalama bağıl hata yüzdesi %12,6 olarak belirlenmiştir. Bu ölçüme ait diğer düşeylere ait bağıl hata yüzdeleri de Çizelge 5.10 (b)-(f)' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11'de Bünyan_1 ölçümünde ele alınan 5 düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdesi %16,5 olarak belirlenmiştir. Yine aynı çizelgede M = 1,31 parametresi ile yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri altı ayrı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Bu çizelgenin son sütununda ise ölçümlere ait ortalama farklar verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu ortalama bağıl hata yüzdeleri altı akım durumunda %11,6–62,3 arasında değişmektedir. Bu ortalama bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Çizelgeden bağıl hata yüzdelerinin kanal orta kesitinde nispeten küçük olduğu da görülmektedir. Bünyan istasyonunda altı farklı akım durumunda tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi ise Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi

%34,5 olarak belirlenmiştir. Şekil 6.10'da ise bu ortalama bağıl hata yüzdesine ait grafik yer almaktadır.

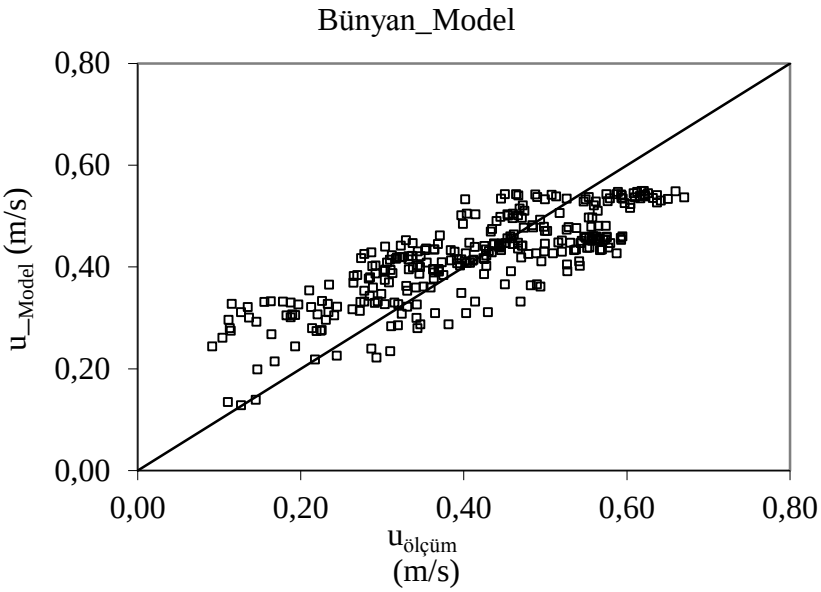
Çizelge 6.3: Dört istasyon için ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi.

	Bünyan	**Barsama**	**Şahsenem**	**Sosun**	**Ortalama**
	1	2	3	4	5
Ölçüm - M_i	14,63	13,23	10,94	7,65	11,61
Ölçüm - M	15,77	13,12	10,91	8,20	12,00
Ölçüm - Model	34,51	17,96	13,65	18,00	21,03
Ölçüm - Log	14,01	13,69	10,55	12,58	12,71



Şekil 6.10: Dört istasyon için ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi.

Şekil 6.11'de Bünyan istasyonunda 6 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak yeni entropi modeli ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir.



Şekil 6.11: Bünyan istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği.

6.7 Barsama İstasyonunda Hız Dağılımı

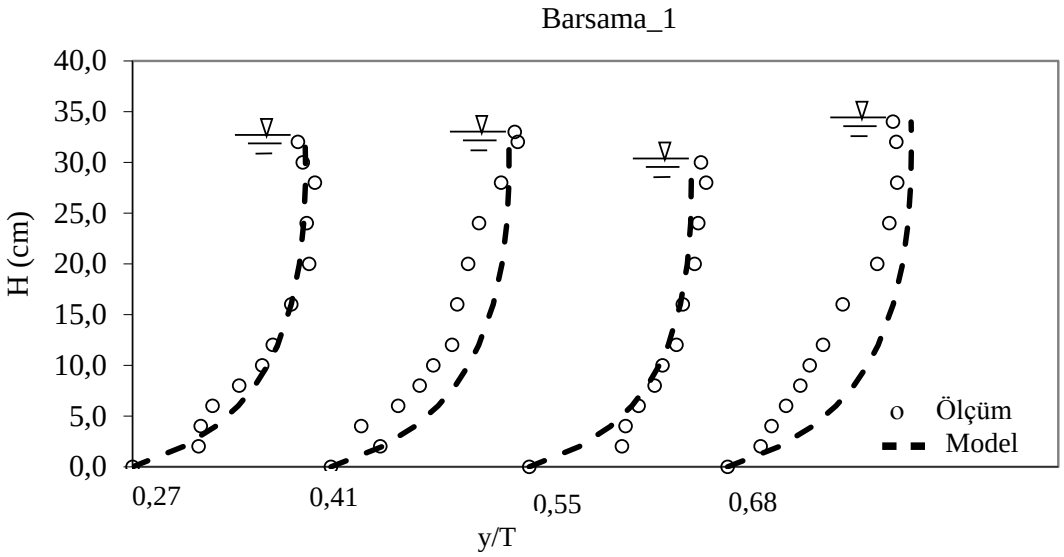
28/05/2005 ile 18/04/2010 tarihleri arasında altı ayrı akım durumunda saha çalışması yapılan Barsama istasyonunda da yukarda Bünyan istasyonu için detaylı bir şekilde izah edilen ölçümler ve hesaplamalar yapılmıştır. Entropi hız dağılımı için geliştirilen yeni entropi modeli her bir akım durumunda ve belirlenen her bir düşeydeki hız dağılımının elde edilmesinde kullanılmıştır. Barsama istasyonunda en kesitin $0,2 \leq y/T \leq 0,8$ aralığında ortalama $z_{mak}/H = 0,917$ ve $u_{mak}/H = 0,0041$ olduğu daha önce belirtilmişti.

Çizelge 6.4'te Barsama_1 çalışmasına ait ölçüm yapılan düşeyin yerinin kesit genişliğine oranı (y/T) ölçüm yapılan düşeydeki su derinliği (H) ilk iki sütunda verilmiştir. Ele alınan istasyona ait belirlenen $z_{mak}/H = 0,917$ oranı ile akım derinliği çarpılarak hesaplanan en büyük hızın oluşma yeri z_{mak} 3. sütunda ve yine kesite ait belirlenen $u_{mak}/H = 0,0041$ oranı ile hesaplanan en büyük hız (u_{mak}) 4. sütunda verilmiştir.

Çizelge 6.4: Barsama_1 ölçümüne ait akım değerleri.

y/T	H	z_{mak}	u_{mak}
	(cm)	(cm)	(m/s)
1	2	3	4
0,274	32	29,36	1,307
0,411	33	30,27	1,348
0,548	30	27,52	1,226
0,685	34	31,19	1,389

Ölçüm yapılan kesite ait her bir düşeydeki hesap z_{mak} ve hesap u_{mak} değerleri belirlendikten sonra ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak Barsama_1 ölçümü için her bir düşeyde (3.17) ifadesi yardımıyla elde edilen hız dağılımları Şekil 6.12'de verilmiştir.

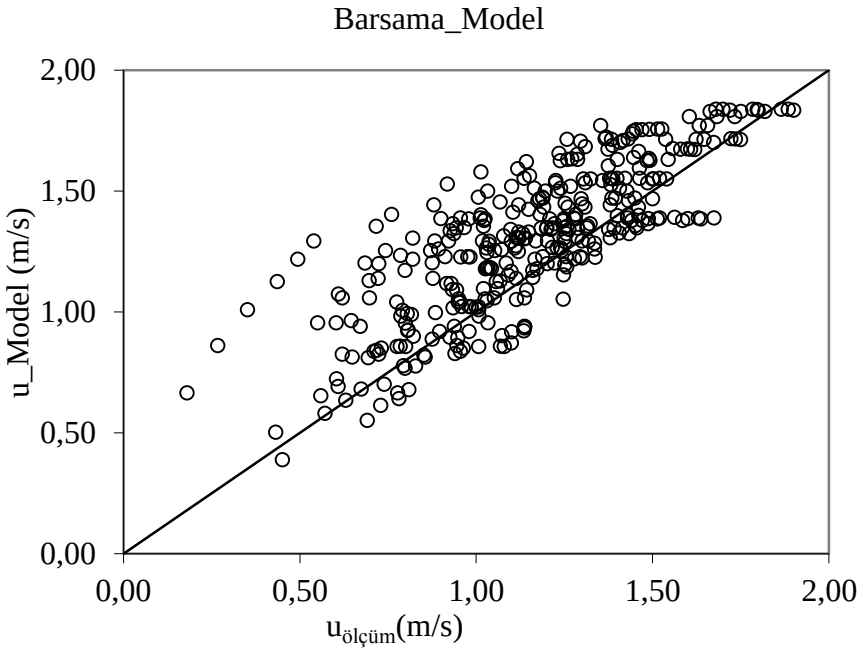


Şekil 6.12: Barsama_1 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.

Çizelge 5.12'de Barsama_1 ölçümünde ele alınan 4 düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdesi %16,04 olarak belirlenmiştir. Yine aynı çizelgede M = 1,31 parametresi kullanılarak yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki farklar altı ayrı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Bu çizelgenin son sütununda ise ölçümlere ait ortalama bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu ortalama bağıl hata yüzdeleri altı akım durumunda %9,8 – 30,1 arasında değişmektedir. Bu ortalama bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Barsama istasyonunda altı farklı akım durumunda tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri

arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi ise Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi %18,0 olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.13'te Barsama istasyonunda altı farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak yeni entropi modeli ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir.



Şekil 6.13: Barsama istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği.

6.8 Şahsenem İstasyonunda Hız Dağılımı

Arazi çalışması yapılan üçüncü istasyon Şahsenem kesitinde de Bünyan ve Barsama istasyonları için yukarda detaylı şekilde izah edilen ölçümler ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu kesitte de entropi hız dağılımına yeni yaklaşım metodu farklı tarihlerde gerçekleştirilen altı akım durumunda ve belirlenen her bir düşeydeki hız dağılımının elde edilmesinde kullanılmıştır. Şahsenem istasyonunda en kesitin $0,2 \leq y/T \leq 0,8$ aralığında ortalama $z_{mak}/H = 0,923$ ve $u_{mak}/H = 0,0289$ olduğu daha önce belirtilmişti.

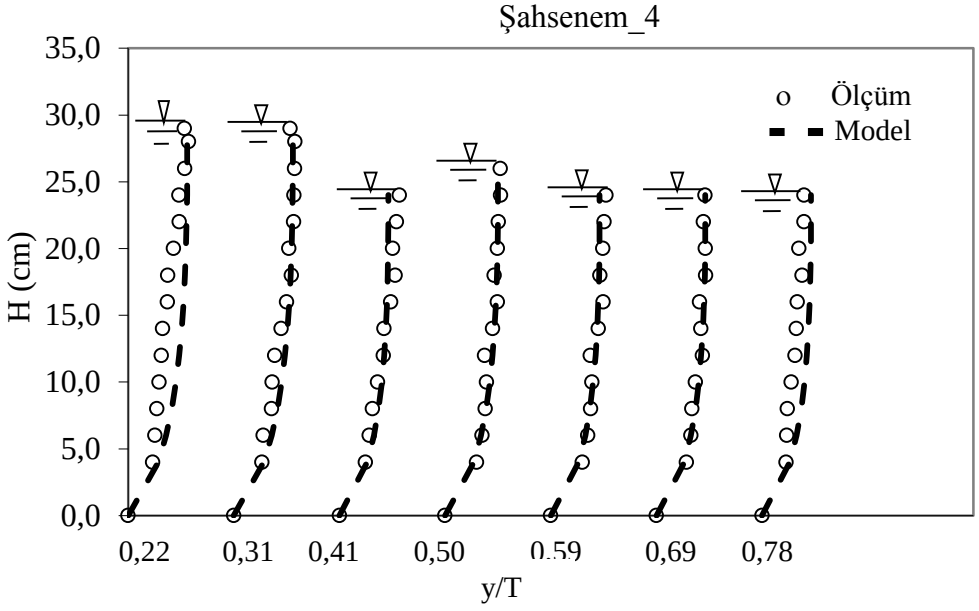
Çizelge 6.5'te Şahsenem_4 çalışmasına ait ölçüm yapılan düşeyin yerinin kesit genişliğine oranı (y/T) ölçüm yapılan düşeydeki su derinliği (H) ilk iki sütunda verilmiştir. Ele alınan istasyona ait belirlenen $z_{mak}/H = 0,923$ oranı ile akım derinliği

çarpılarak hesaplanan en büyük hızın oluşma yeri z_{mak} 3. sütunda ve yine kesite ait belirlenen u_{mak}/H = 0,0289 oranı ile hesaplanan en büyük hız (u_{mak}) 4. sütunda verilmiştir.

Çizelge 6.5: Şahsenem_4 ölçümüne ait akım değerleri.

y/T	**H**	**z_{mak}**	**u_{mak}**
	(cm)	(cm)	(m/s)
1	2	3	4
0,222	29	26,7	0,839
0,315	29	26,7	0,839
0,407	24	22,1	0,694
0,500	26	23,9	0,752
0,593	24	22,1	0,694
0,685	24	22,1	0,694
0,778	24	22,1	0,694

Ölçüm yapılan kesite ait her bir düşeydeki hesap z_{mak} ve hesap u_{mak} değerleri belirlendikten sonra ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak Şahsenem_4 kesiti için her bir düşeyde (3.17) ifadesi yardımıyla yeni entropi modeli ile elde edilen hız dağılımları Şekil 6.14'te verilmiştir.

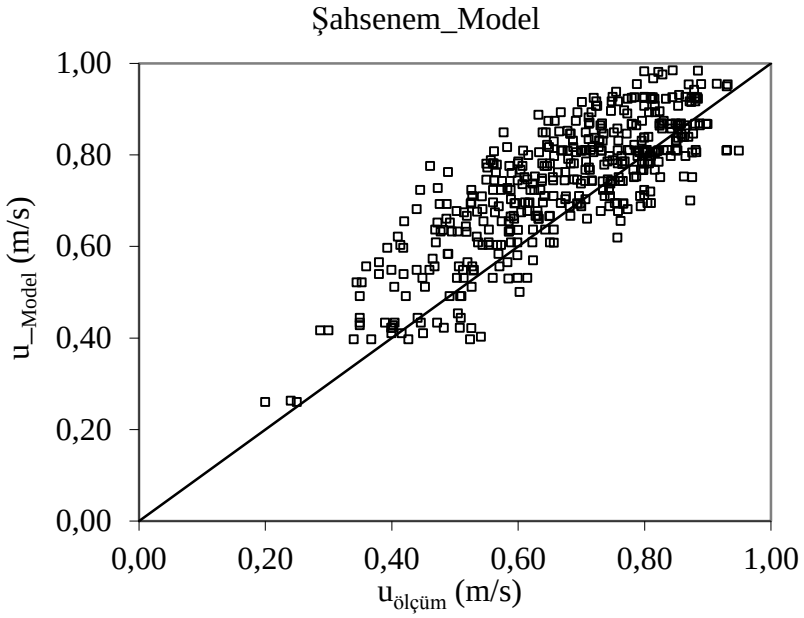


Şekil 6.14: Şahsenem_4 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.

Çizelge 5.13'te Şahsenem_4 ölçümünde ele alınan yedi düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdesi %14,3 olarak belirlenmiştir. Yine aynı çizelgede M = 1,31 parametresi ile yeni model ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata

yüzdeleri altı ayrı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Bu çizelgenin son sütununda ise ölçümlere ait ortalama bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu ortalama bağıl hata yüzdeleri altı akım durumunda %9,3 – 23,3 arasında değişmektedir. Bu ortalama bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Şahsenem istasyonunda altı farklı akım durumunda tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi ise Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi %13,6 olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.15'te Şahsenem istasyonunda 6 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak yeni entropi modeline göre hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir.



Şekil 6.15: Şahsenem istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği.

6.9 Sosun İstasyonunda Hız Dağılımı

19/05/2009 ve 18/04/2010 tarihleri arasında arazi çalışması yapılan Sosun istasyonunda da diğer istasyonlarda yapılan çalışmalara benzer şekilde ölçümler ve hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu kesitte de farklı tarihlerde gerçekleştirilen dört akım durumunda entropi hız dağılımına yeni yaklaşım metodu belirlenen her bir

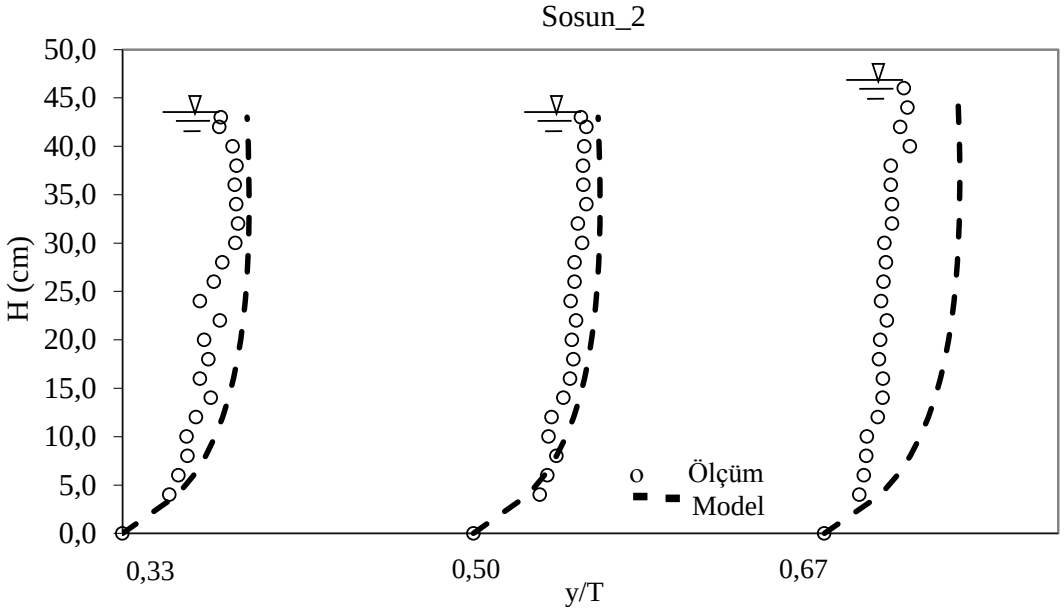
düşeydeki hız dağılımının elde edilmesinde kullanılmıştır. Sosun istasyonunda en kesitin $0,2 \leq y/T \leq 0,8$ aralığında ortalama $z_{mak}/H = 0,796$ ve $u_{mak}/H = 0,013$ olduğu daha önce belirtilmişti.

Çizelge 6.6'da Sosun_2 kesitine ait ölçüm yapılan düşeyin yerinin kesit genişliğine oranı (y/T) ölçüm yapılan düşeydeki su derinliği (H) ilk iki sütunda verilmiştir. Ele alınan istasyona ait belirlenen $z_{mak}/H = 0,796$ oranı ile akım derinliği çarpılarak hesaplanan en büyük hızın oluşma yeri z_{mak} 3. sütunda ve yine kesite ait belirlenen $u_{mak}/H = 0,013$ oranı ile hesaplanan en büyük hız (u_{mak}) 4. sütunda verilmiştir.

Çizelge 6.6: Sosun_2 ölçümüne ait akım değerleri.

y/T	**H**	**z_{mak}**	**u_{mak}**
	(cm)	(cm)	(m/s)
1	2	3	4
0,333	43	34,23	0,541
0,500	43	34,23	0,541
0,667	46	36,62	0,579

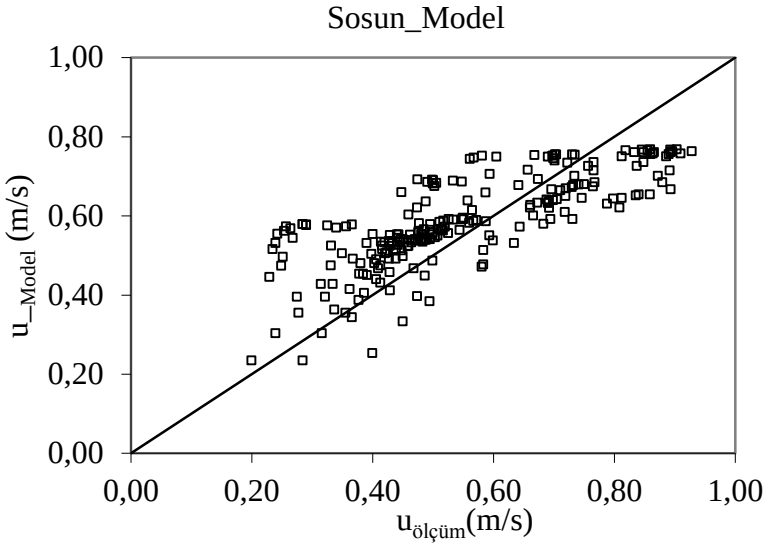
Ölçüm yapılan kesite ait her bir düşeydeki hesap z_{mak} ve hesap u_{mak} değerleri belirlendikten sonra ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak Sosun_2 kesiti için her bir düşeyde (3.17) ifadesi yardımıyla yeni entropi modeli ile elde edilen hız dağılımları Şekil 6.16'da verilmiştir.



Şekil 6.16: Sosun_2 akım durumunda ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.

Çizelge 5.14'te Sosun_2 ölçümünde ele alınan üç düşeye ait ortalama bağıl hata yüzdesi %47,3 olarak belirlenmiştir. Yine aynı çizelgede M = 1,31 parametresi ile yeni model ile hesaplanan hız dağılımları ile ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri dört ayrı akım durumunda her bir düşey için hesaplanmıştır. Bu çizelgenin son sütununda ise ölçümlere ait ortalama bağıl hata yüzdeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere bu ortalama bağıl hata yüzdeleri dört akım durumunda %11,9 – 47,3 arasında değişmektedir. Bu ortalama bağıl hata yüzdeleri hesaplanırken $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki ölçümler dikkate alınmıştır. Şahsenem istasyonunda altı farklı akım durumunda tüm düşeyler için gerçekleştirilen ölçümler ile hesap değerleri arasındaki ortalama bağıl hata yüzdesi ise Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi %18,0 olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.17'de Sosun istasyonunda dört farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak yeni entropi modeline göre hesaplanan hızlara ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir.



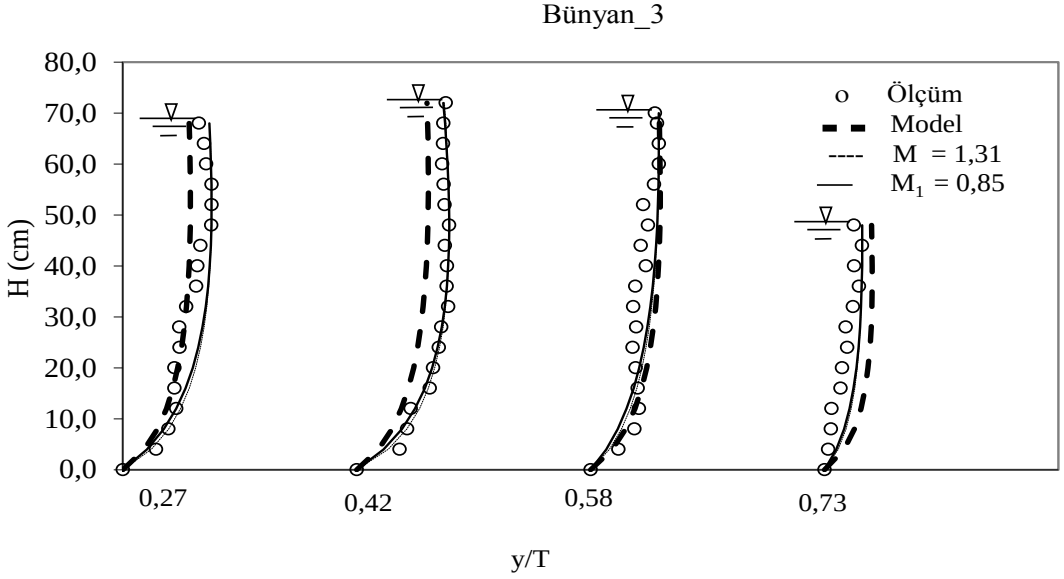
Şekil 6.17: Sosun istasyonuna ait ölçülen ve yeni entropi modeli ile hesaplan hız saçılım grafiği.

6.10 Yeni Entropi Modelinin Değerlendirilmesi

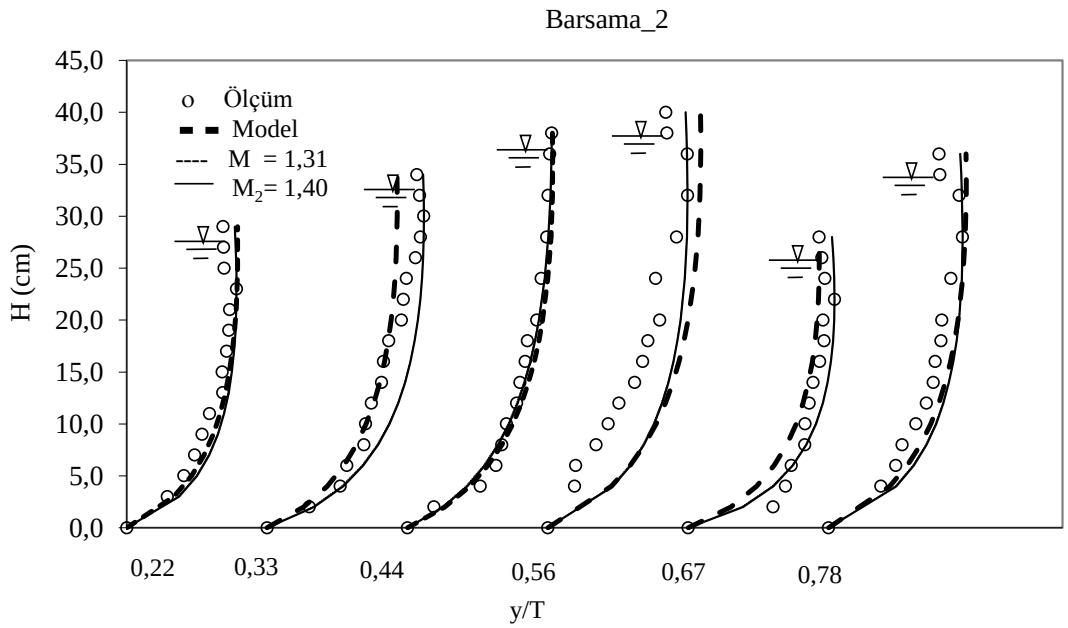
Bünyan, Barsama, Şahsenem ölçüm istasyonlarında 2005 ve 2010 yılları arasında, Sosun istasyonunda ise Mayıs 2009 ve Nisan 2010 tarihleri arasında 22 farklı akım durumunda saha çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalarda yapılan hız ölçümleri

neticesinde elde edilen değerler ile hız dağılımlarını belirlemek için son yıllarda yaygın olarak kullanılan entropi yöntemi yardımıyla hesaplanan değerler arasındaki ilişki incelenmiştir. Çizelge 6.3'te ölçümler sonucunda elde edilen hızlar ile sırasıyla her bir istasyona ait entropi parametresi M_i (Bünyan istasyonu için M_1 = 0,85, Barsama İstasyonu için M_2 = 1,40 Şahsenem İstasyonu için M_3 = 1,30 ve Sosun İstasyonu için M_4 = 1,22) ve ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak entropi yöntemi yardımıyla elde edilen hızlar arasındaki mutlak ortalama bağıl hata yüzdeleri yer almaktadır. Çizelgede ayrıca entropi yöntemine yeni bir yaklaşımla hesaplanan ve her bir istasyona ait z_{mak}/H ve u_{mak}/H oranları kullanılarak ortak entropi parametresi M = 1,31 için elde edilen mutlak ortalama bağıl hata yüzdeleri gösterilmiştir. Şekil 6.10'da ise söz konusu bu mutlak ortalama bağıl hata yüzdeslere ait grafik verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi Bünyan istasyonu için model yüksek hata yüzdesi vermektedir (%34,5).

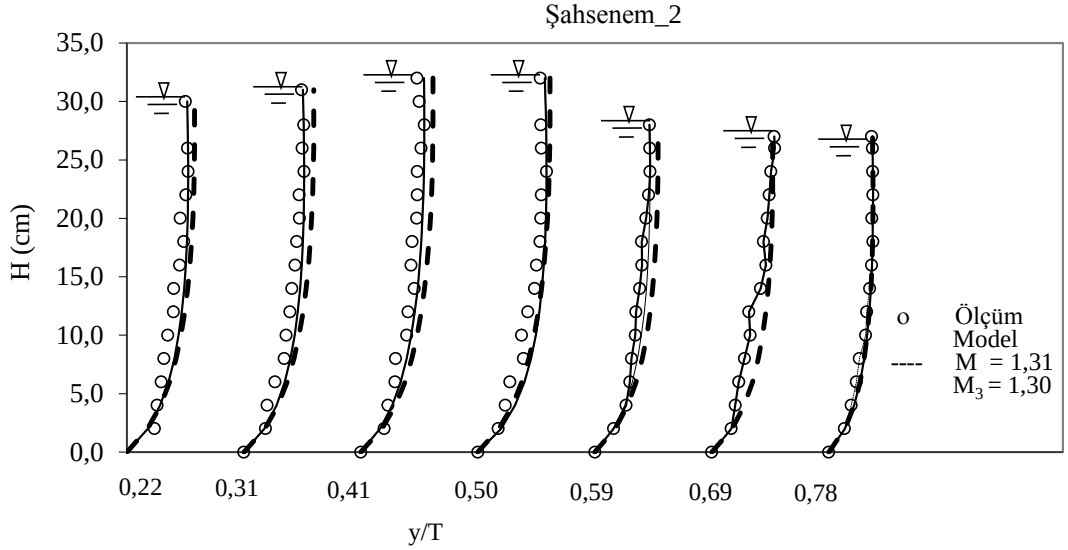
Bünyan_3, Barsama_2, Şahsenem_2 ve Sosun_1 saha çalışmalarına ait ölçülen hızlar, M_i ile M = 1,31 için hesaplanan hızlar ve entropi yöntemine yeni bir yaklaşımla belirlenen hızlara ait dağılımlar Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21' de gösterilmiştir.



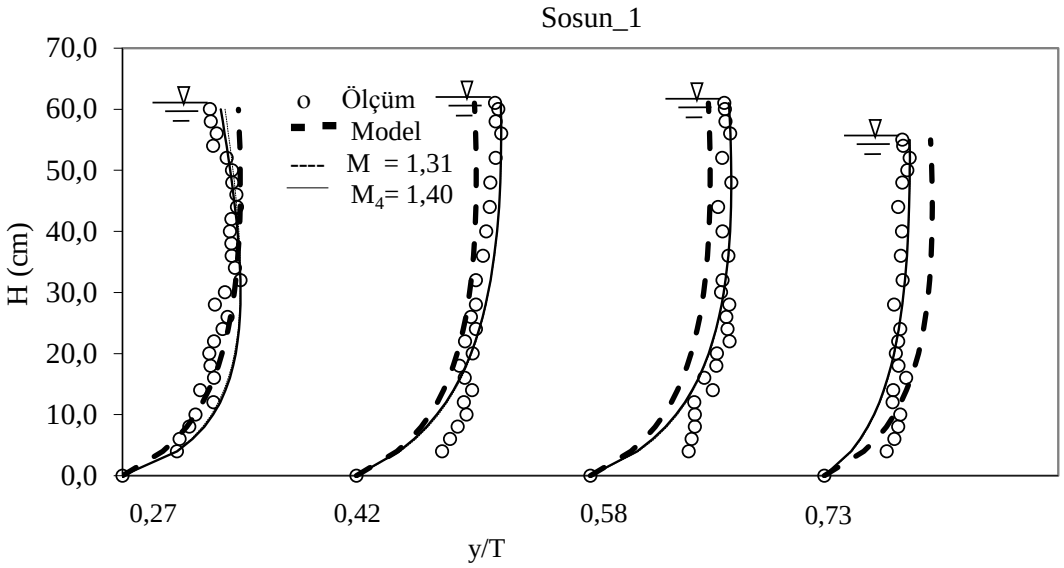
Şekil 6.18: Bünyan_3 akım durumu için ölçüm, M_1 = 0,85, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.



Şekil 6.19: Barsama_2 akım durumu için ölçüm, M_2 = 1,40, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.



Şekil 6.20: Şahsenem_2 akım durumu için ölçüm, M_3 = 1,30, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.



Şekil 6.21: Sosun_1 akım durumu için ölçüm, M_4 = 1,40, M = 1,31 ve yeni entropi modeli ile hesaplanan hız dağılımları.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Değerlendirmeler

Akarsularda debi ve enkesit boyunca hız dağılımının belirlenmesi, akım özelliklerinin tespit edilmesi, kanalların boyutlandırılması, taşkın koruma ve kanal ıslah çalışmaları, sediment modelleme ve taşınım problemlerinde kayma hızının belirlenmesi için gereklidir. Akarsularda değişken en kesit ve pürüzlülük nedeniyle akım özelliklerini belirlemek güç olmaktadır. Son yıllarda detaylı ve hassas akım ölçümü yapabilen aletler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Prandtl (1925) ve von Karman'ın (1930) boru akımları üzerindeki teorik araştırmaları ile dairesel borular ve düz yüzeyler üzerindeki türbülanslı akımların hız dağılımını veren logaritmik ifadeler elde edilmiştir. Su yüzü genişliğinin (B), akım derinliğine (H) oranının büyük olduğu ($B/H \geq 5-10$) geniş kanallarda kesit orta bölgesindeki hız dağılımı yan duvarlardan etkilenmediği için akım genelde iki boyutlu alınır. Bu sebeple boru akımlarında kullanılan hız ifadeleri geniş kanallar ve akarsular içinde kullanılabilmektedir. Fakat akarsularda kesit içerisindeki hız dağılımı, akımın türbülanslı yapısı, katı sınırdaki pürüzlülük ve serbest su yüzüne bağlı etkilerle noktasal olarak değişim göstermektedir. Bu etkilerin göz önüne alınması amacıyla logaritmik ifadelerdeki katsayıların açık kanalar için yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde en yaygın kullanılan hız dağılımı ifadesi olan Prandtl - von Karman logaritmik kanunu (law of the wall) ve üstel (kuvvet) dağılım (Power Law) kanunları, nehir tabanı ve su yüzeyine yakın yerlerde iyi sonuç vermemektedir. Üç boyutlu ve karmaşık olan yapısı sebebiyle açık kanallardaki hız dağılımının belirlenmesi ve modellenmesi zor olmaktadır.

Akarsulardaki akım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Chiu (1989, 1991) tarafından son yıllarda yaygın olarak kullanılan entropi yöntemi geliştirilmiştir. Chiu, yaptığı çalışmalarda açık kanalın bir kesitindeki ortalama hız ile en büyük hız arasındaki oranın sabit olduğunu göstererek, bu ilişkiyi entropi parametresi M ile tanımlamıştır. Entropi yöntemi diğer yöntemlere göre en az ölçüm parametresi ile

akım alanını tanımlayabilmektedir. Entropi yönteminin açık kanal akımlarındaki uygulamasında ölçüm kesitine ait entropi parametresi (M), hız dağılımı belirlenecek düşeydeki en büyük hız (u_{mak}) ve bu düşeydeki en büyük hızın oluştuğu derinlik (h) belirlenmelidir. Ele alınan kesitte, farklı düşeylerde hız dağılımını belirlemek için gerekli olan bu değerlerin tespit edilmesi birkaç ölçüm yapılmasını zorunlu kılar. Bu ölçümler de yoğun emek ve zaman gerektirir.

Literatürde entropi yöntemi üzerine yapılan incelemelerde ya tek bir nehir üzerinde çalışmalar yapılmış ya da aynı havza üzerindeki birden fazla sayıda nehirde incelemede bulunulmuştur. Coğrafi olarak benzer özellikler gösteren farklı havzalarda entropi parametresinin değişimi ele alınmamıştır. Bu tez çalışması kapsamında iki ayrı havza olan Kızılırmak ve Seyhan Havzası'ndaki dört farklı kesitte toplamda 22 kez enkesit akım ölçümleri yapılmıştır. Ele alınan istasyonlarda entropi parametrelerin değişimi incelenmiş ve klasik debi hesabı ile entropi debi hesabı arasındaki bağıl hata yüzdeleri hesaplanmıştır. Kesitte, ele alınan düşeyde hız dağılımının belirlenmesi için gerekli olan en büyük hız ve oluştuğu yer için derinliğe bağlı ilişkiler belirlenmiştir. Ölçümü ve tahmini daha kolay olan akım derinliği kullanılarak debi ve hız dağılımının ölçüm değerlerine yakın olarak tahmin edilebileceği vurgulanmıştır.

7.2 Sonuçlar ve Tavsiyeler

Bu tez çalışması kapsamında Kayseri ili sınırları içinde, Kızılırmak ve Seyhan havzalarında iki farklı akarsu üzerinde, dört farklı istasyonda 22 kez akım ölçümü yapılmıştır. Bu istasyonlardan Bünyan, Barsama ve Şahsenem istasyonlarında altı ve Sosun istasyonunda ise dört farklı tarihte ve akım durumunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. En kesit üzerinde ADV ile yapılan üç boyutlu hız ölçümleri ile kesitten geçen debi ve ele alınan düşeylerdeki gerçek hız dağılımları belirlenmiştir.

Debi hesabı ile ilgili aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Ele alınan Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için entropi parametreleri sırasıyla 0,85; 1,40; 1,30 ve 1,22 olarak belirlenmiştir. Her bir istasyon için belirlenen bu entropi parametreleri (M_i) ve ele alınan akım durumunda ölçülen

en büyük hız değerleri (u_{mak}) kullanılarak hesaplanan debi değerleri (Q_{Mi}) ölçüm sonuçları (Q) ile karşılaştırılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan debiler arasındaki ($Q-Q_{Mi}$) ortalama bağıl hata yüzdeleri istasyonlar için sırasıyla %8,4, %6,9, %1,7 ve %3,7 olarak hesaplanmıştır. Dört istasyona ait bağıl hata yüzdelerinin ortalaması ise %5,2 olarak belirlenmiştir.

Coğrafi özellikleri yakın olan iki ayrı havzada, dört farklı ölçüm istasyonunda yapılan ölçümler ile belirlenen ortalama hız (U) ve en büyük hızlara (u_{mak}) ait ilişkinin de doğrusal olduğu gözlenmiştir. Bu istasyonlara ait ortak entropi parametresi M = 1,31 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen bu entropi parametresi ile her bir istasyon ve akım durumunda ölçülen en büyük hızlar yardımı ile debiler hesaplanmış (Q_M) ve ölçüm değerleri (Q) ile karşılaştırılmıştır. Ele alınan Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için ölçülen ve hesaplanan debilere ait ortalama bağıl hata yüzdeleri de sırasıyla %8,8; %6,8; %1,7 ve %4,3 olarak hesaplanmıştır. Dört istasyona ait bağıl hata yüzdelerinin ortalaması ise %5,4 olarak belirlenmiştir.

İstasyonlara ait ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak hesaplanan debilere ait ortalama bağıl hata yüzdeleri (%5,4) ile her bir istasyonlara ait entropi parametreleri ile hesaplanan debilere ait ortalama bağıl hata yüzdelerinin (%5,2) oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Ele alınan dört istasyon için hesaplanan bu ortak entropi parametresinin debi hesabında kullanılabileceği belirlenmiştir.

Açık kanallarda debinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan Manning eşitliği yardımıyla da istasyonlara ait debiler belirlenmiştir. Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için Manning eşitliği kullanılarak elde edilen debiler Q_{Man} ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdeleri sırasıyla %36,3; %20,1; %12,7 ve %14,3 olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonlara ait bağıl hata yüzdelerinin ortalaması ise %20,9 olarak belirlenmiştir.

Akarsularda belirlenmesi gereken akım özelliklerinin en önemlilerinden birisi olan debinin tespit edilebilmesi için ele alınan bütün kesitlere ait nehir seviyesi ile debi ilişkisini gösteren anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Şahsenem istasyonunda debi ve seviyeler çok yakın kalmaktadır. Bu sebeple anlamlı bir anahtar eğrisi elde edilememiştir. Anahtar Eğrisi kullanılarak hesaplanan debi Q_{AE} ile Q debileri arasındaki bağıl hata yüzdeleri Bünyan, Barsama, ve Sosun istasyonları için sırasıyla

%9,4; %16,7 ve %8,1 olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonlara ait bağıl hata yüzdelerinin ortalaması ise %11,4 olarak belirlenmiştir.

Hız dağılımı ile ilgili aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Ele alınan kesitlerde yan duvarlara (şevlere) yakın bölgelerde bitki dokusu ve pürüzlülüğe bağlı nedenlerle oldukça düşük hızlarda akım meydana gelmektedir. Dolayısıyla $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığındaki düşeylerde hız dağılımları dikkate alınmıştır.

Her bir istasyona ait hesaplanan entropi parametreleri (M_i) ile belirlenen hız dağılımları ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için ölçüm ve hesap hızlarına ait ortalama bağıl hata yüzdeleri sırasıyla %14,6; %13,2; %10,9 ve %7,6 olarak belirlenmiştir. Dört istasyona ait ortalama bağıl hata yüzdesi ise %11,6 olmaktadır.

Ölçüm yapılan istasyonlara ait ortak entropi parametresi M = 1,31 kullanılarak 22 akım durumunda, $0,20 \leq y/T \leq 0,80$ aralığında ele alınan düşeylerdeki hız dağılımları hesaplanmıştır. Ölçüm değerleri ile hesaplan hızlara ait ortalama bağıl hata yüzdeleri Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için sırasıyla %15,8; %13,1; % 10,9 ve %8,2 olarak belirlenmiş ve dört istasyona ait ortalama bağıl hata yüzdesi ise %12,0 olmaktadır.

İstasyona ait entropi parametresi (M_i) ile hesaplanan hızlar ve ortak entropi parametresi M = 1,31 ile hesaplanan hızlar birbirine yakın olmaktadır. Fakat her iki yöntemde de ele alınan düşeyde en büyük hızların yeri ve değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu da çok sayıda ölçüm çalışmasının yapılmasını gerektirir.

Pürüzlü akım şartlarının olduğu akarsularda iki boyutlu hız dağılımını tanımlamak için yaygın olarak kulanılan logaritmik model saha çalışması yapılan bütün istasyonlarda uygulanmıştır. Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonlarında yapılan ölçümler neticesinde logaritmik dağılım kullanılarak elde edilen hızlar ile ölçülen hızlar arasındaki bağıl hata yüzdelerinin ortalamaları sırasıyla %14,01; %12,06; %8,27 ve %8,34 olarak belirlenmiştir. Dört istasyona ait ortalama bağıl hata yüzdesi ise %10,67 olmaktadır.

Ele alınan istasyonlarda enkesitin $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığında z_{mak}/H ve u_{mak}/H oranları belirlenmiştir. Bünyan ve Sosun istasyonlarında ele alınan akımlarda kesit oranı (T/R) $6{,}5 \leq T/R \leq 9{,}5$ aralığında değişmekte olup dar kanal olarak ele alınabilir. Bu kesitlere ait z_{mak}/H oranları sırasıyla 0,782 ve 0,796 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla dar kanallarda en büyük hız derinliğin yaklaşık 0,8 inde oluştuğu anlaşılmaktadır. Kesit oranının $19{,}6 \leq T/R \leq 45{,}4$ aralığında değiştiği Şahsenem ve Barsama istasyonlarında z_{mak}/H oranı sırasıyla 0,923 ve 0,917 olmaktadır. Yani geniş kanallarda en büyük hız su yüzüne daha yakın bir bölgede derinliğin yaklaşık 0,92' sinde oluşmaktadır. Dolayısıyla en büyük hızın yeri derinliğe bağlı olarak tahmin edilebilmektedir.

Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığında ele alınan düşeylerde u_{mak}/H oranları sabit kalmaktadır. Bu oranlar sırasıyla 0,0064; 0,041; 0,0289 ve 0,013 olarak belirlenmiştir. Kesit üzerindeki derinliğe bağlı bu oranlar ile u_{mak} değer kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Entropi yönteminde hız dağılımı için gerekli olan entropi parametresi M dört istasyon için M = 1,31 olarak belirlenmiştir. Bu değer ve istasyonlara ait bilinen z_{mak}/H ve u_{mak}/H oranları kullanılarak derinliğe bağlı hız dağılımları kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Ele alınan istasyonlarda en kesitin $0{,}20 \leq y/T \leq 0{,}80$ aralığında gerçekleştirilen ölçümlerde derinliğe bağlı hız dağılımları bilinen bu parametreler ile hesaplanmıştır. Hesaplanan hız dağılımlarının ölçüm değerleri arasındaki bağıl hata yüzdeleri Bünyan, Barsama, Şahsenem ve Sosun istasyonları için sırasıyla %34,5, %18,0, %13,6 ve %18,0 olarak belirlenmiştir. Dört istasyona ait ortalama bağıl hata yüzdesi ise %21,0 olmaktadır.

Derinlik (H) ele alınan kesite ait en kolay ölçülebilir büyüklüktür. Böylece entropi parametresi M, z_{mak}/H ve u_{mak}/H oranları bilinen kesitlerde derinliğe bağlı hız dağılımları entropi yöntemi ile kolaylıkla tahmin edilebilecektir.

Akarsularda akım özelliklerinin entropi yöntemi ile incelenmesi konusunda önümüzdeki yıllarda yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır.

- İleride yapılacak çalışmalarda yöntemin uygulanabilirliği farklı istasyonlarda yapılacak daha çok sayıda ölçümle kontrol edilebilir.
- Ele alınan istasyonlarda farklı akım şartlarında parametrelerin hassasiyeti incelenebilir.

- Akıma müdahale etmeden ölçüm yapabilen daha gelişmiş cihazlar ile özellikle en büyük hızın yeri hassas olarak belirlenerek parametreler kontrol edilebilir.
- Farklı havzalardaki daha çok sayıdaki ölçümle ortalama hız ve en büyük hız arasındaki ilişki belirlenerek entropi parametresine (M) etki eden faktörler belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Ağıralioğlu, N., (2011). Su ve Su Mühendisliği Hedefleri , *Yapı Dünyası*, Yıl 15, Ekim-Kasım-Aralık, 2011, s. 8-24, İstanbul.

Ammari, A.,Remeni, B., (2009). Estimation of Algerian rivers discharges based on Chiu's equation, *Arabian Journal of Geosciences*, Springer, 9 : 1007-1014.

Amorocho, J., Espildora, B., (1973). Entropy in the assessment of uncertainty of hydrologic systems and models, *Water Resources Research* 9 (6) 1511-1522.

Ardıçlıoğlu, M., (1994). Pürüzsüz açık kanal akımlarında türbülanslı hız dağılımının laser doppler anemometresi ile incelenmesi, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Ardıçlıoğlu, M., Seçkin, G., Öztürk, Ö., (2005). Pürüzlü açık kanal akımlarında debi hesabı için entropi yönteminin kullanılması, 34-41, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 22-24 Eylül, Antalya.

Ardıçlıoğlu, M. ve Öztürk, Ö., (2006a). Tabii Nehirlerde Hız Dağılımı ve Debinin Belirlenmesinde Entropi Yönteminin Kullanılması, *GAP V. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 26–28 Nisan, Şanlıurfa.

Ardıçlıoğlu, M., Öztürk, Ö., (2006b). Tabii nehirlerde hız dağılımı ve debinin belirlenmesinde entropi yönteminin kullanılması, *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, 11-13 Ekim Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Ardıçlıoğlu, M., Atabay, S., Omran, M., (2008a). Determination of flow resistance and shear stres distribution in natural channels, *International Conference on Fluvial Hydraulics*, September 3-5, Çeşme, İzmir.

Ardıçlıoğlu, M., Ağıralioğlu, N., Genç, O., (2008b). Akarsulardaki akım karakteristiklerinin entropi yöntemi ile incelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu*, 16-17 Ekim, Adana.

Ardıçlıoğlu, M., Genç, O., Girayhan, A., Kırkgöz, M. S., (2008c). ADV measurement of velocity distributions in natural rivers, *International Conference on Fluvial Hydraulics*, Çeşme, İzmir.

Ardıçlıoğlu, M., Günaydın, E., (2009). Açık kanal akımlarında hız dağılımının farklı alet ve yöntemler ile incelenmesi, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, 06-10 Temmuz, İstanbul.

Ardıçlıoğlu, M., Bilgin, H., Genç, O., Ağıralioğlu, N., (2010a). Determination of discharge by entropy concept in natural river, *Fourth International*

Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, BALWOIS, May 25-29, Ohrid, Macedonia.

Ardıçlıoğlu, M.,Özdin, S., Gemici, E., (2010b). Akarsularda Hız Dağılımının Modellenmesi ve ADV Ölçümleri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3 (1): 53-58

Ardıçlıoğlu, M.,Özdin, S., Gemici, E., (2010c). Akarsularda Hız Dağılımının Modellenmesi ve ADV Ölçümleri, *I. Ulusal Su Kaynakları Yönetimi Sempozyumu*, 20-22 Ekim, Karaman.

Ardıçlıoğlu, M.,Özdin, S., Gemici, E., (2011). Doğal Akarsularda Debinin Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi,* 4 (2): 73-77, 2011.

Ardıçlıoğlu, M., Genç, O., Kalin, L., Ağıralioğlu, N., (2012). Investigation of flow properties in natural streams by entropy concept, *Water and Environment Journal 26(2012)*, pp.147-154.

Bailey, D.K., (1990). Social Entropy Theory, *State University of New York Press*, USA.

Baran, T., (1993). Hidrolojik Süreçlerin Bilgi İçeriğindeki Değişim Miktarı Olarak Entropi Tanımı, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi FBE, İzmir.

Bayazıt, M., (1974). *Hidroloji Kitabı*, İstanbul, Birsen Yayınevi.

Bayazıt, M., (1995). *Hidroloji Kitabı,* 237 s, Ankara, İ.T.Ü. Yayınları.

Bulu, A.,Yılmaz, E., (2002). TMH - *Türkiye Mühendislik Haberleri* sayı 420-421-422 / 2002/4-5-6.

Burnelli, A., Mirauda, D., Moramarco, T., Pascale, V., (2008). Application of Entropic Velocity Distribution in Natural Channels, *River Flow Congres*, İzmir.

Chen, C.Y., (1991). Unified theory on power laws for flow resistance, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117 (3): 371-389.

Chen, C.Y., (1998). An Efficient Method of Discharge Measurement, *Master of science*, University of Pittsburgh, USA.

Chen, C. Y., Chiu, C. L., (2002). An efficient method of discharge measurement in tidal streems, *Journal of Hydraulic Engineering*, ELSEVIER, 265: 212-224.

Chiu, C. L., Chiou, J. D., (1986). "Structure of 3-D Flow in Rectangular Open Channel", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 11.

Chiu, C.L., (1987). Entropy and Probability Concepts in Hydraulics, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.113, No. 5.

Chiu, C.L., (1988). Entropy and 2-d Velocity Distribution in Open Channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 114, No.7.

Chiu, C.L., (1989). Velocity Distribution in Open Channel Flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 576-594.

Chiu, C.L., (1991). Application of Entropy Concept in Open Channel Flow Study, *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(5), 615-627.

Chiu C.L., Tung, N.C., (2002). Maximum velocity and regularities in open-channel flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 4, pp. 390-398.

Chiu, C. L., Hsu, S.M., Tung, N.C., (2005). Efficient methods of discharge measurements in rivers and streams based on the probability concept, *Hydrological processes*, 19: 3935-3946.

Chiu, C. L., Hsu, S.M., (2006). Probabilistic Approach to modeling of Velocity Distribution in fluid Flows, *Journal of Hydrology*, 316 (1): 28-42.

Chow, V. T., (1959). Open Channel Hydraulics, *Mc Graw – Hill Book Company*, 680s. Tokyo, Japan.

Clark, J. A., 1968. A study of in copressible turbulent baundary layers in channel flow, Transactions of ASME, J. Basic Eng., 455-468.

Coles, D., (1956). The law of the wake in the turbulent boundary layer, *Journal of Fluid Mechanics*, 1: 191-226.

Corato, G., Moramarco, T., Tucciarelli, T., (2011). Discharge Estimation Combining Flow routing and Occasional Measurements of Velocity, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 15: 2979-2994.

Cömertpay, M.C., (2005). Dengesiz Akım Durumunda Akifer Parametrelerinin Bulunması, *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ FBE, İstanbul.

Cui, H., (2011). Estimation of velocity distribution and suspended sediment discharge in open channels using Entropy, *Master of Science*, Texas A&M University, Texas, USA.

Çengel, Y., Boles, M., (2007). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, İstanbul, Literatür Yayıncılık.

Daily, J. W., Harleman, D.R.F., (1966). *Fluid Dynamics*, Addison-Wesley Pub. Co.

Davies, Paul., (1983). *God And The New Physics*, New York: Simon and Schuster,

Dinçer, E., (2005). Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Maksimum Entropi Yöntemi ile Çok Ölçütlü Çözüm Yaklaşımı, *Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi* Cilt XX Sayı 1, İstanbul.

Erol, M., (2001). Sosyal Entropi'nin Verimlilik Üzerindeki Etkileri, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, Sivas.

Genç, O., (2004). Baraj Planlaması, Ekonomik Analiz, Mali Analiz ve Maliyet Taksimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi FBE, İstanbul.

Genç, O., Ardıçlıoğlu, M., Ağıralioğlu, N., (2008). Akarsulardaki Akım Karakteristiklerinin Entropi Yöntemi İle İncelenmesi, *Ç.Ü. Mühendislik - Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu*, 16-17 Ekim, Adana.

Giriftinoğlu, Ç., (2005). Kesikli Rassal Değişkenler için Entropi Optimizasyon Prensipleri ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi FBE, Eskişehir.

Gonzalez, J.A., Melching, C.S., Oberg, K.A., (1996). Analysis of open channel velocity measurements collected with an acoustic doppler current

profiler. *Proc. from the 1st Int. Conf. On New/Emerging Concepts for Rivers*, Chicago, Illinois, USA.

Güler, F., (1996). Kalkınmada Su Faktörü, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi SBE, Ankara.

Harmancıoğlu, N., Singh, V.P.,Alpaslan, N., (1992). Versatile Uses of the Entropy Concept in water Resources, Entropy and Energy Dissipation in Water Resources, *Kluwer Academic Publishers*, pp. 91-117, Netherlands.

Henderson, F. M., (1966). *Open channel flow*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ., 522 s.

İşler,Y., Kuntal, M., (2007). Investigating Effects of Wavelet Entropy Detailed Measures in Heart Rate Variability Analysis, *Signal Processing and Communications Applications*, 2007. SIU 2007. IEEE 15th.

Jaynes, E. T., (1957a). Information theory and statistical mechanics 1., *Phys. Rev., 106(4),* 620-630.

Jaynes, E. T., (1957b). Information theory and statistical mechanics 2., *Phys. Rev.*, 108(2), 171-190.

Kandula, V.N.S., Lakshminarayana, P., Lakshmana, Rao N. S., (1983). Velocity Distribution in Smooth Rectangular Open Channel, *Journal of Hydraulic Engineering*, 2: 109

Kapur, J.N., Kesavan, H.K., (1992). Entropy Optimization Principles with Applications, *Academic Press*, New York, USA.

Karman, T. Von., (1930). Meshanische Ahnlichkeitund Turbulenz, *Göttinger Nachrichten, Math, Phys*, Klasse, 58-60, Germany.

Kırkgöz M. S. and Ardıçlıoğlu M., (1997). Velocity Profiles of Developing and Developed Open Channel Flow, *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, Vol. 123, No 12.

Kişi, Ö., (2009). Seviye - akış ilişkilerinin dinamik regresyon ve anahtar eğrileri ile belirlenmesi, s. 439-447, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, 06-10 Temmuz, 2009, İstanbul.

Kutoğlu, H.Y., (1980). *Uygulamalı Hidrolik ve Hidroloji*, İstanbul, M.E.B.

Kutoğlu, H.Y., 1987. Su Kaynakları Mühendisliğinde Hidrolojik Tasarım, İ.M.O. IX, Teknik Kongre, Ankara.

Kutoğlu, H.Y., Yılmaz T., (2001a). Su Yüzü Profiline Örnek Uygulama, *I. Türkiye Su Kongresi*, İstanbul.

Kutoğlu, H.Y., Basmacı E., (2001b). Taşkın Koruma Projesi Planlama Çalışmaları, *I. Türkiye Su Kongresi*, İstanbul.

Kömürcü, M.İ., (2010). *Hidroloji Ders Notları*, KTÜ, İnş. Müh. Böl., Trabzon.

Lee, C., Kim, C., Kim, W., (2007). Application of Chiu's velocity distribution function to natural rivers in Korea, *Proceedins of The Congress*, Spain - International Association for Hydraulic Research, 32 (1): 198-207.

Leopold, L.B., Langbein, W.B., (1962). The Concept of Entropy in landscape Evoluation. *USGS prof. Paper 500 A*, pp. A1 – A20.

Moramarco, T., Saltalippi, C., Singh, V.P., (2002). Estimating the Cross Sectional Mean Velocity in Natural Channels by the Entropy Approach, *Surface Water Hydrology*.

Moramarco, T., Saltalippi, C., Singh, V. P., (2004). Estimation of mean velocity in natural channel based on Chiu's velocity distribution equation, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 9 (1): 42-50.

Nezu, I., Rodi,W., (1986). Open Channel Flow Measurement with a Laser Doppler Anemometer. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 5.

Nikuradse, J., (1932). Gesetzmassigkeiten der turbulent Strömung in glatten Rohren, *Forsch. Geb. Ing.-Wes.*, pp. 356.

Örs, H., (1994). *Akışkanlar Mekaniği Kitabı*, İstanbul, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 375 s.

Özbek, T., (2009). *Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar*, Ankara, Teknik Yayınevi, 638 s.

Öztürk, Ö., (2006). Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Prandtl, L., (1925). Überdie Ausgebildate Turbulenz, *Z. Angew Math. Mech. Bd. 5*, Germany.

Rause , H., (1970). Elementary mechanics of fluids. *Wiley Eastern Reprint*, New Delphi.

Saridis, G., (2004). Entropy as a Philosophy, Nationalnst of Standards and Technology Gaithersburg md Manufacturıng Engineering Lab.

Scheidegger, A. E., (1967). *A Thermodynamic Analogy for meander Systems. Water Resources Research*, no. 3(4), pp. 1041 – 1046.

Schlichting, H., (1979). *Boundary Layer Theory*, s. 812, New York, USA, Mc Graw-Hill Book Company.

Seçkin, G., Ardıçlıoğlu, M., Seçkin, N., Atabay, S., (2004). Bileşik kesitlerde enerji ve momentum düzeltme katsayılarının deneysel irdelenmesi. *İMO Teknik Dergi,* 1 : 3323-3334.

Shannon, C. E., (1948). A Mathematical Theory of Communications. *I and II. Bell System Tech. Journal*, no.27, pp 379 – 423.

Singh, V.P., Rajagopal, A.K., (1987). Some Recent Advences in the Application of the Principle of Maximum Entropy (POME) in Hydrology. Water for the future (ed. By J.C. Rodda and N.C. Matalas), *Proceedings of the Rome Symposium*, April 1987, IAHS publications, no. 164, pp. 353 – 364.

Singh, V. P., (1997). The Use of Entropy in Hydrology and Water Resources, *Hydrological Processes*, vol. 11, 587-626.

Somuncuoğlu, E., (2007). Ortadoğu'da Su Meseleleri ve Türkiye, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Song, T., Graf, H., (1996). Velocity and turbulence distribution in unsteady open-channel flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 122 (3): 141-154.

Sümer, M., Ünsal, İ., Bayazıt, M., (1983). *Hidrolik Kitabı 176 s.*, İstanbul, Birsen Yayınevi.

Sümer B. M. (2004). Lecture Notes on Turbulence, *Technical University of Denmark*, 2800 Lyngby, Denmark.

Url-1<http://arama.hurriyet.com.tr/arsivnews.aspx?id=289000>, alındığı tarih: 12.08.2011.

Url-2<http://www.scholarpedia.org/article/Entropy>, alındığı tarih: 29.06.2010.

Url-3<http://www.tevfikuyar.com/raporlar/entropi.pdf> alındığı tarih: 21.09.2010.

Url-4<http://behlulcaliskan.com/pdf/05.pdf> alındığı tarih: 21.03.2012.

Url-5<http://www.canertaslaman.com/2011/10/din-felsefesi-acisindan-entropi-yasasi/> alındığı tarih: 11.05.2012.

Url-6<http://www.kayserim.net/bilgid.asp?id=19> alındığı tarih: 21.11.2011.

Url-7<http://cevre.club.fatih.edu.tr/webyeni/konfreweb/konu12.pdf> alındığı tarih: 21.11.2011.

Url-8<http://www.bunyan.gov.tr/default_B0.aspx?content=195> alındığı tarih: 21.11.2011.

Url-9<http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87avu%C5%9Fa%C4%9Fa,_Kocasinan> alındığı tarih: 21.11.2011.

Url-10<http://www.sifamarket.com/sifali_bitkiler_67_barsama-otu_1796.html> alındığı tarih: 21.11.2011.

Water Measurement Manual, (2001). A Water Resource Technical Publication, *U.S. Department of the Interior*, Washington, DC 20402.

Xia, R., (1997). Relation Between Mean and Maximum Velocities in a Natural River, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 123. No.8.

Yang, G.T., (1971). Potential Energy and Stream Morphology, *Water Resources Research*, no.7(2), pp. 311 – 322.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Onur GENÇ

Doğum Yeri ve Tarihi : Kayseri, 22.02.1977

Adres : Melikgazi Mah. Ünal Sok. No:17
Daire:31Melikgazi / Kayseri

E-Posta : onur.genc@agu.edu.tr

Lisans : İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans : İ.T.Ü. Hidrolik ve Su Kaynakları ABD

Mesleki Deneyim ve Ödüller : Serbest Meslek : 2006 Eylül - 2009 Mayıs
Türk Telekom : 2009 Mayıs - 2011 Ağustos
Abdullah Gül Üni. : 2011 Ağustos - …

Yayınlar

1-) Ardiclioglu, M., **Genc, O.,** Girayhan, A., Kirkgoz, M.S., 2008. ADV Measurements of Velocity Distributions in Natural Rivers, International Conference on Fluvial Hydraulics, September 3-5, Çeşme, İzmir.

2-) Genç, O., Ardıçlıoğlu, M., Ağıralioğlu, N., 2008. Akarsulardaki Akım Karakteristiklerinin Entropi Yöntemi ile İncelenmesi, Ç.Ü. Mühendislik - Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim, Adana.

3-) Ardiclioglu, M., Bilgin H., **Genc O.,** Agiralioglu N., 2010. Determination of Discharge by Entropy Concept in Natural River, Fourth International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, BALWOIS, 25-29 May, Ohrid, Macedonia.

4-) Ardiclioglu, M., **Genc, O.,** Kalin, L., Agiralioglu, N., 2012. Investigation of Flow Properties in Natural Streams By Entropy Concept, Water and Environment Journal 26 (2012), pp. 147-154.